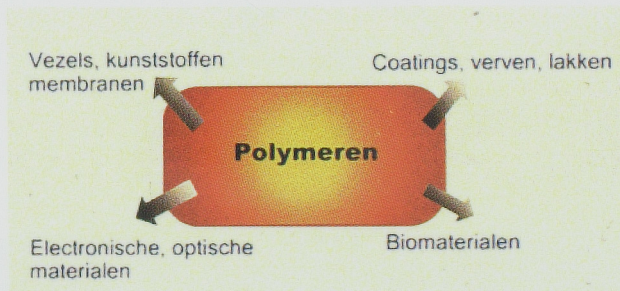


Het is (de) tijd

Afscheidsrede

2 Februari 2000

Prof.dr. W.J. Mijs



735 835

Red 2000

HET IS (DE) TIJD

Afscheidscollege

Prof.dr. W.J. Mijs

2 februari 2000



Technische Universiteit Delft
Faculteit Technische Natuurwetenschappen
Afdeling Technische Materiaalwetenschappen
Sectie Polymer Engineering/Polymer Materials

Mijs_
red_
2000

Het is (de) tijd

*Mijnheer de Rector Magnificus
Leden van het college van bestuur
Collegae hoogleraren en
andere leden van de universitaire gemeenschap
Zeer gewaardeerde toehoorders
Dames en heren*

I Inleiding

De tijd gaat snel, de tijd vliegt! Iedereen zegt het, maar is het ook zo? Ik heb bij mijn fysische collega's geïnformeerd en na nauwkeurige metingen aan bewegingen van hemellichamen stelden zij vast dat de tijd niet sneller loopt dan vroeger. Het moet dus onze perceptie van de tijd zijn. De Franse filosoof Bergson merkte reeds verschil op tussen "le temps" en "la durée", d.w.z. een bepaald moment en een bepaalde duur. Ons leven is geassocieerd met voortdurende beweging en de gebeurtenissen, de veranderingen kunnen we meten met de tijd. De tijd zou daarom de knecht moeten zijn, maar hij is vaak de meester. De mensen schijnen achter de tijd aan te hollen, hun horizon komt dichterbij, hun visie wordt beperkter. Moderne wetenschap en technologie bieden zoveel mogelijkheden, die we in korte tijdsduur willen benutten, dat we het gevoel hebben dat de tijd vliegt. Dat is niet zo, *wij* vliegen. We leven in een periode van korte termijn denken, we hebben als het ware het eeuwige voor het tijdelijke verwisseld. Ik wil dat graag in het vervolg van mijn rede illustreren. Eerst ga ik eens even met u in het verleden vertoeven. In die positie zijn we "uit de tijd". De tijd is immers voortgeschreden. We kunnen ons dan weemoedig afvragen: "Waar blijft de tijd?". Daarna wil ik met u in het heden vertoeven. In die positie zijn we "bij de tijd". Tot slot wil ik met u in de toekomst kijken; we zijn dan "onze tijd vooruit". Op die manier hebben we dus alle tijd.

II Waar blijft de tijd?

Mijn studie in de chemie viel vlak na de tweede wereldoorlog in een periode van opbouw. Wetenschap en technologie moesten daarvoor een fundament leggen. Na het gymnasium (dat was toen echt voorbe-

reidend hoger onderwijs, niet een wirwar van stukjes direct bruikbare leerstof) ging ik scheikunde studeren in Leiden. Grote vrijheid kenmerkte de studie in die tijd en maatregelen om deze te beperken werden door de Leidse senaat eenvoudig niet opgemerkt. Je leerde door de vrijheid echt studeren en kritisch zelfstandig denken. Wat leek de scheikunde studie taai en droog in het begin met eindeloze analyses en routineproeven! Het enthousiasme kwam bij mij pas na het kandidaatsexamen, waarvoor ik geruime tijd genomen had (in de studenten Almanak stond ik reeds als reünist vermeld), onder de inspirerende leiding van Prof. E. Havinga, hoogleraar in de organische chemie. Zo gaat het zovelen: markante leraren hebben een beslissende invloed op je leven. Bij hem ben ik gepromoveerd. Het onderwerp was structuur en eigenschappen van aromatische C nitrosoverbindingen. De samenhang tussen de structuur, eigenschappen en toepassingen in het kort de moleculaire architectuur, heeft mij sindsdien altijd gefascineerd. Om een vaardig moleculair architect te worden heeft men een aantal kunsten nodig: synthese om het molecuul te bereiden, theoretisch inzicht, intuïtie en fantasie om de structuur te ontwerpen, kennis van fysische chemie om de eigenschappen te bepalen en belangstelling voor mogelijke toepassingen.

Bij de veeleisende Prof. Oosterhoff heb ik theoretische scheikunde beoefend. Tentamen doen bij hem was geen sinecure: de kandidaat ging 's morgens vroeg met een lunchpakket van huis om 's middags laat totaal uitgeput terug te keren. In de middag was uitsluitend de professor aan het woord: de student beperkte zich er toe een zo verstandig mogelijke opmerking tussen te werpen. Nu ik het over tentamen heb: bij Prof. Van Arkel (anorganische chemie) was het maken van een tentamenafspraken onmogelijk: hij was te verstrooid. Was de kandidaat eenmaal binnen, dan werd hij gastvrij onthaald. Zo'n tentamen was niet een ondervraging, of nog erger, een meerkeuze probleemstelling, maar een wetenschappelijk gesprek meestal naar aanleiding van een boek.

Door het initiatief te nemen een theorie van een wetenschappelijke tegenstander van Van Arkel ter discussie te stellen kon ik het gesprek in voor mij goede banen leiden. De innemende en geestige professor kwam zo ook optimaal tot zijn recht. Ik heb veel van hem geleerd.

Uitgerust met kennis, die mij onder leiding van bovenvermelde coryfeeën was bijgebracht, besloot ik een researchpositie in de industrie te verwerven. Dat was in die tijd (1959) niet moeilijk. Afgestudeerde (en daarmee bedoel ik gepromoveerde) universitaire

chemici werden door de industrie achterna gezeten om als onderzoeker te komen werken.

In de onderzoekslaboratoria van de grote bedrijven heerste een grote vrijheid en een welhaast academische sfeer. Economische groei zorgde er immers voor dat een nieuw product het met mislukkingen "verloren" geld ruimschoots terugverdiende. Zo groot mogelijke publicatievrijheid van onderzoeksresultaten werd door de sollicitanten geëist. Waar blijft de tijd, vraag ik zonder terugverlangende weemoed.

Ik koos Organon, thans een deel van de Pharmagroep van AKZO Nobel en nam deel aan het onderzoek naar nieuwe geneesmiddelen in de klasse der steroiden, waartoe ook cortison en prednison, cholesterol, de pil en sommige dopings, misbruikt in de sport, behoren (zie fig.1). De leiding van de steroidresearch-groep had Dr.

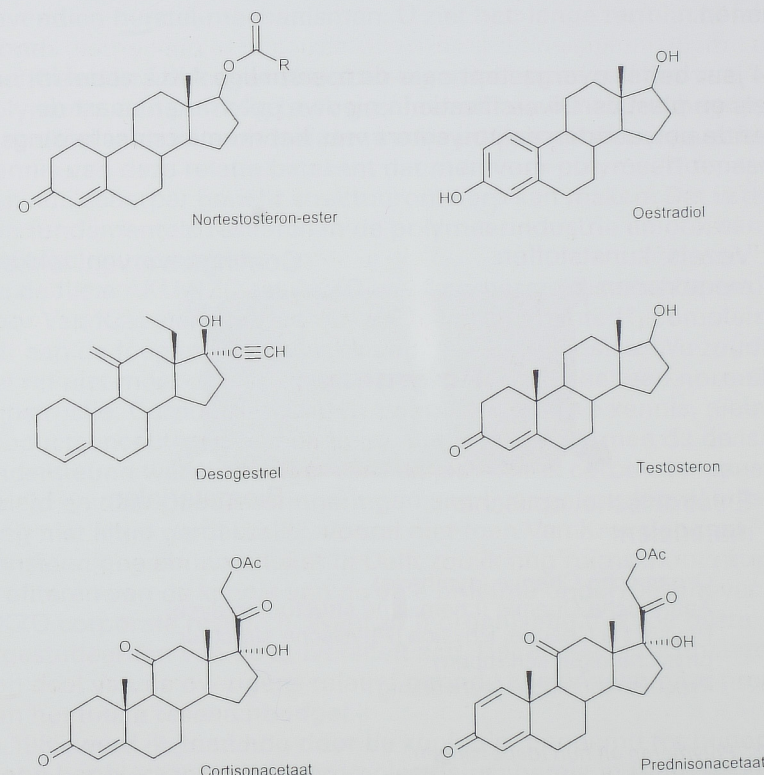


Fig. 1 Verschillende steroidhormonen en hun structuur (met dank aan Dr. M.B. Groen, Organon, Oss)

Stephan Szpilfogel, een knappe organicus, van wie ik veel geleerd heb. Je moest op je tenen staan, anders werd het gesprek met hem snel eenzijdig. Heel stimulerend voor de jonge onderzoeker. Vakdeskundigheid was in die tijd voor managers een belangrijke kwaliteit.

Het onderzoek naar nieuwe geneesmiddelen was toen voornamelijk op trial en error gebaseerd. Bepaalde structuur-elementen waren veelbelovend uit de farmacologische tests gekomen en dan gingen men allerlei variaties daarop onderzoeken. Nu is dat heel anders: structuurontwerpen van moderne geneesmiddelen worden steeds meer gebaseerd op bioproces-mechanismen, de wetenschap en technologie van de genen, die de erfelijkheidseigenschappen dragen. Bovendien worden actieve structuurelementen in grote getale tegelijk bereid in de z.g. "combinatorial chemistry" technieken. Dat spaart onderzoektijd. Ik heb daarover een fascinerende voordracht gehoord van Dr. J.J. de Ridder, researchdirecteur van Organon.

Na 4 jaar ben ik overgestapt naar de toenmalige AKU, actief in vezels en plastics. Diversificatie in nieuwe polymeren naast de bekende polyamiden en polyester was het thema onder leiding

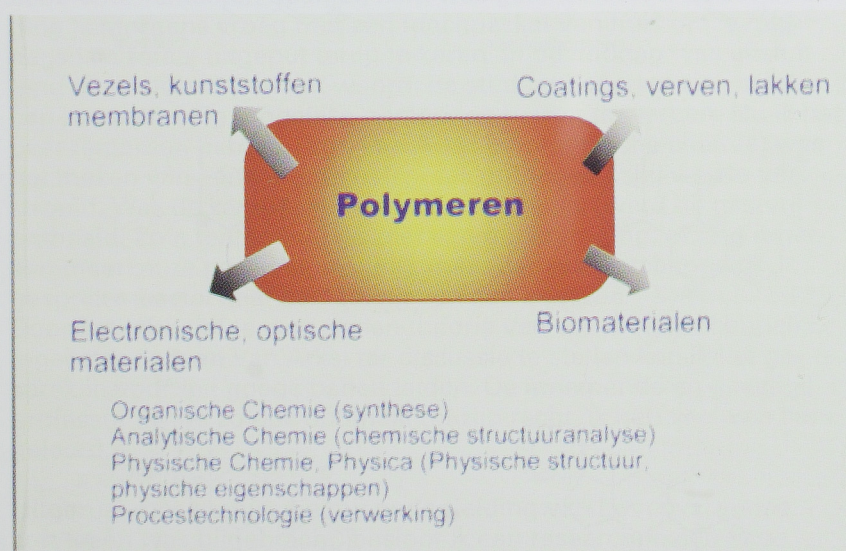


Fig. 2 Polymeren en hun toepassingen

van Prof. D.W. van Krevelen, eredoctor aan deze universiteit en mijn leermeester in de industriële research.

Polymeren of macromoleculen zijn grote moleculen, molecuulgewicht van ongeveer 10000 tot enkele miljoenen, 200 tot meer dan 30000 x zo groot als alcohol, een molecuul, waar u misschien in verband met de komende receptie aan denkt. Polymeren zijn niet alleen succesvolle synthetische materialen (zie fig. 2) ook de natuur, die super Nobelprijswinnaar voor chemie, maakt er ruim gebruik van: eiwitten, suikers, nucleïne-zuren, waaronder DNA, een polymeer dat tegenwoordig vaak de pers haalt. Polymeren met hun dynamische ruimtelijke structuur lenen zich voor specifieke reacties. De natuur doet die reacties bij 37°C (bij de mens, kouder of warmer kan ook) vaak met enzymkatalyse. Zij heeft daarover ook miljarden jaren nagedacht. De natuur heeft de tijd in de zin van Bergsons *la durée*, die haar toestaat de juiste chemische reacties te selecteren voor essentiële bioprocessen. Als er een reactie mis gaat, zijn er bovendien herstel-mechanismen. U ziet het, lange termijn beleid loont!

Van Krevelen heeft over structuur-eigenschappen relaties van polymeren een prachtig boek geschreven¹⁾ en ik heb het begrip macromoleculaire architectuur in mijn introerede uiteengezet²⁾. Kennis van deze relatie betekent dat men voor polymeertoepassingen een scherper gericht structuurontwerp kan maken. Dat is de zin van fundamentele research in de polymeerindustrie en ook aan een technische universiteit.

Na de fusie AKU-KZO tot AKZO werd corporate research opgericht, door Van Krevelen beschreven als "science oriented", complementair aan de toegepaste research van de AKZO divisies. We zouden het nu niet meer durven zeggen, maar toen was het een normale constructie. Corporate research kwam met nieuwe kennis, nieuwe productconcepten, geavanceerde methoden, waarmee de divisies ondersteund werden. Ongeveer tien jaar heb ik corporate research geleid en daar goede herinneringen aan over gehouden, al was het lang niet altijd gemakkelijk, vooral niet toen Van Krevelen met pensioen gegaan was. Later in Delft zou ik nog ruimschoots kunnen profiteren van de kennis van de vele briljante onderzoekers van AKZO corporate research. Want zo'n organisatie trekt de beste afgestudeerden van de universiteit aan. Dat alleen al rechtvaardigt een deel van de overigens relatief geringe kosten: een paar procent van het totale researchbudget.

In 1985 werd ik, toen nog door de koningin, benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de macromoleculaire chemie in Delft. AKZO stond mij zeer genereus toe daaraan één dag per week te wijden.

Overigens typerend voor die tijd dat de grote industrie het belang hiervan zag.
Daarmee zijn we aan het heden gekomen, dat ik voor het gemak in 1985 zou willen laten beginnen.

III Bij de tijd.

In de vakgroep Technologie van Macromoleculaire Stoffen trof ik een stimulerende collegiale atmosfeer aan. Prof. Anne v.d. Vegt was de voorzitter, een begenadigd docent. Van zijn grote kennis in de fysica en technologie van materialen heb ik ruim kunnen profiteren. Van der Vegt werd opgevolgd door Posthuma de Boer, een polymeertechnoloog afkomstig van Philips en onder zijn leiding werd het research en onderwijsprofiel verder uitgebouwd. Dat hield in: rheologie, specifieke verwerkings-technieken, relaties tussen structuur en mechanische en elektrische eigenschappen van polymeren. Dynamisch mechanische analyse was de specialiteit van Dr. Klaas te Nijenhuis, dielektrische analyse was de specialiteit van Prof. Jan van Turnhout, buitengewoon hoogleraar afkomstig van TNO. Beiden zijn coryfeeën op hun gebied. Zij hebben veel bijgedragen aan de bekendheid van de Delftse polymeergroep, vooral buiten onze landsgrenzen.

Voor de opbouw van vele interessante polymeerstructuren heb ik met veel genoegen samengewerkt met Dr. Ruud Addink, organisch chemicus afkomstig van de Delftse biochemie. In dit kader heb ik vijf promovendi (Anton Schotman, Shahab Jahromi, Shengyu Jin, Paul Buysen en John Jansen) begeleid, een zesde, Paul Kouwer, is nog veelbelovend aan zijn promotie bezig. Dat is wel het mooiste werk, die verschillende interessante persoonlijkheden zich wetenschappelijk te zien ontwikkelen, hun studie bekronen en de kiem te leggen voor hun latere loopbaan.

Het wordt nu tijd eens wat dieper in te gaan op de moleculaire architectuur, die we met bovengenoemde bouwmeesters hebben beoefend. Centraal stonden de vloeibaarkristallijne polymeren (LCP's). Kristallen kent u. Denk maar aan keukenzout. Geordende moleculen in een kristalrooster. Vloeibare kristallen vertonen ordening in de vloeistof toestand. Beelden bijvoorbeeld op uw digitale horloge, vlakke televisiebeeldschermen, autodashboards ("liquid crystal displays" LCD's) enz. zijn gebaseerd op vloeibare kristallen. Polymere vloeibare kristallen hebben voordelen voor toepassing: makkelijk vorm te geven tot een kunststof of een film en mechanisch, magnetisch of elektrisch oriënteerbaar.

LCP's kunnen voor informatieopslag gebruikt worden, want het is mogelijk in een LCP film met een laser te schrijven. De plaatselijke verwarming verstoort de ordening en beeldt zo het schrift uit. Uitwissen kan door totale verwarming, waarbij alle ordening door molecuulbeweging verstoord wordt. Pioniers op dit gebied zijn bijvoorbeeld Finkelman ³⁾, Gray ⁴⁾, Percec ⁵⁾, en Ringsdorf ⁶⁾. Vloeibaar kristallijne polymeren kunnen worden samengesteld uit starre stijve molecuulfragmenten, gebonden aan flexibele molecuulfragmenten (fig.3). Stelt u zich een waslijn voor. Daar kan



Fig. 3 Voorstelling van vloeibaar kristallijne zijketen polymeren (met dank aan Dr. Jan Hubert, Dieren)

men ijzeren staven aanhangen via een stuk elastiek. Dit zijn de vloeibaarkristallijne zijketen polymeren met hun elektro-optische toepassingen. Een kind kan de was doen zou u zeggen, maar de moleculaire werkelijkheid is toch gecompliceerder. Men kan ook de

ijzeren staven in de waslijn inbouwen, waardoor men een draad met afwisselend stijve en soepele stukken krijgt. Die heeft interessante mechanische eigenschappen. Hieraan verwant zijn de supersterke vezels Twaron en Kevlar. Onze macromoleculaire architect Jin onderzocht als waslijn polyurethaanketens, als ijzeren staven p-nitrostilbeengroepen en als elastiekjes oligoethyleenfragmenten (fig.4). U moet zich voorstellen

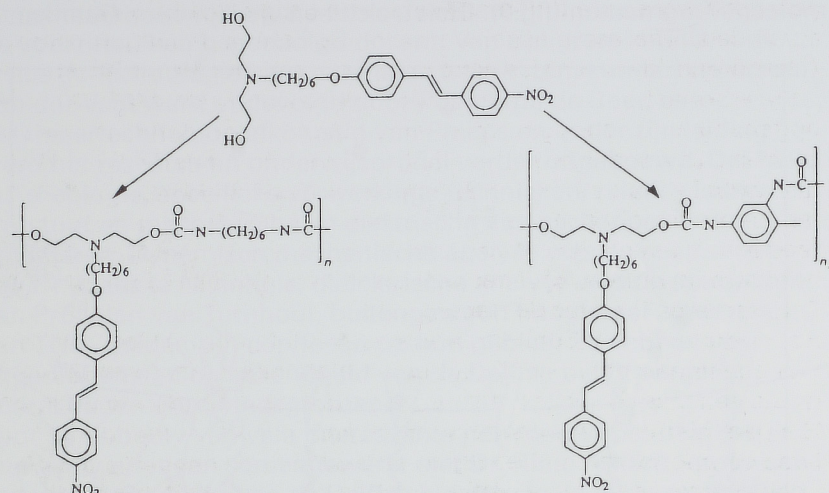


Fig. 4 Polyurethanen met flexibel opgehangen p-nitrostilbeenzijgroepen

dat u dit polymeer in de hand samendrukt: de starre staven ordenen zich vanzelf naast elkaar, dan nemen ze de minste plaats in. Die ordening komt ook als we ze laten stromen in smelt of oplossing als boomstammen in een rivier, of aan een elektrisch veld onderwerpen. Jin onderzocht samen met Michael Wübbenhorst, docent bij Van Turnhout, de elektrische eigenschappen van dit systeem⁷⁾. Het bleek mogelijk de starre nitrostilbeendipool (aan het ene eind plus, aan het andere min) in een elektrisch veld uit te richten. Wanneer de dipolen elkaar niet opheffen, kan men een z.g. niet-lineair optisch effect krijgen. De brekingsindex van het polymere materiaal verandert dan door een uitwendig elektrisch veld. Hier zit een toepassing als optische schakelaar in. Dat gaat heel snel, een optische computer komt in zicht, passend bij de toenemende haast van het leven.

Het niet-lineair optisch effect bleek stabiel omdat de polyurethaanwaslijnkettens elkaar via waterstofbruggen vasthouden, maar bij

hogere temperatuur wordt dit verstoord. Het zijn net stramme huzaren die starre nitrostilbeendipoolgroepen. Bij lagere temperatuur liggen ze keurig naast elkaar, in een elektrisch veld klik-klak daar staan ze weer, maar bij hogere temperatuur lopen ze ordeloos door elkaar, slechts beperkt in hun beweging door waslijn en elasticiteit, een soort huzarensla krijgt men dan.

John Jansen in 1996 gepromoveerd⁸⁾, ontdekte een nieuwe klasse vloeibaar kristallijne zijketenpolymeren, de polycarbonaten⁹⁾. Hij gebruikte twee bereidingsmethoden. De eerste met CO₂ en epoxyden, waaraan elastiek en starre elementen gehangen waren. Alternierend (dat is afwisselend) reageren die met elkaar tot een polycarbonaat, een zeer flexibele keten met daaraan, elastisch opgehangen, de starre staafvormige groepen, die verantwoordelijk kunnen zijn voor vloeibaar kristallijne fasen. Hun beweeglijkheid in dit flexibele systeem is groot, dus de ordening kan reeds bij lagere temperatuur ontstaan. De tweede methode is een stapsgewijze reactie van twee bifunctionele monomeren. Dit is te vergelijken met het vormen van een rij ("het polymeer") als een aantal mensen (de "monomeren") elkaar de hand geven.

Het onderwerp van Shahab Jahromi, in 1994 gepromoveerd¹⁰⁾, was niet een lineair polymeer (zoals een kralensnoer) maar een netwerk (zoals een visnet). Daarin bracht hij de te oriënteren starre groepen. Het gaat hier om epoxy-amine netwerken (u welbekend van de z.g. twee componentenlijm) en hij was de eerste die erin slaagde een hoge macroscopische ordening met een hoge vernettingsgraad

(nauwmazig net) te combineren

¹¹⁾. Het lijkt zo simpel: in plaats van tweehandige mensen gebruikt men meerhandige supermensen, die ook nog een elastische staafje eraan, dat niet mee reageert. Dan krijgt men een supermenselijk netwerk met staafjes (fig.5). Maar onderschat de experimentele moeilijkheden niet! De gewenste chemische reacties zijn vaak moeilijk. Trouwens er zijn in de wereld ook heel veel mensen, die om onduidelijke redenen weigeren elkaar de hand te geven. De mogelijke toepassing van de

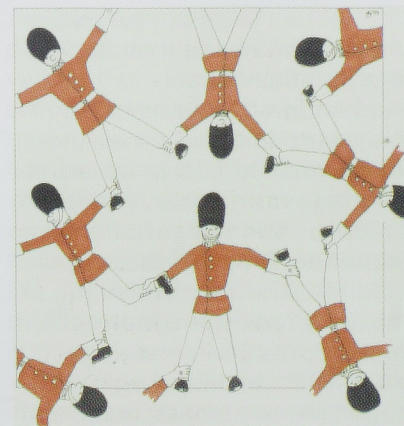


Fig. 5 Supermenselijk netwerk met starre elementen (met dank aan Dr. Jan Hubert, Dieren)

netwerken kan liggen in de omhulling van chips in geïntegreerde circuits, die tegen invloeden van buiten (bijv. vocht) beschermd moeten worden.

Hoe kunnen we vaststellen, of en wat voor soort vloeibaar-kristallijne fasen er optreden als functie van de temperatuur in polymeren? Dat kan met microscopie en met röntgenanalyse, die beide direct de ordening van de moleculen analyseren, maar ook met thermische analyse van de warmte-effecten bij het ontstaan of verdwijnen (smelten) van de vloeibare kristallen. Echter rheologische metingen (analyse van het stromingsgedrag) kunnen soms effectiever zijn. Dr. S. Jin poneerde dit als stelling in zijn proefschrift. De viscositeitsverandering bij fase overgangen zijn vaak groter dan de warmte-effecten.

Op het gebied van de rheologische analyse en de dynamisch-mechanische analyse is de jarenlange samenwerking met Klaas te Nijenhuis bijzonder vruchtbaar geweest. Met dynamisch-mechanische metingen kan men de bewegingen van molecuuldelen in polymeren analyseren. Het polymere materiaal wordt daarbij aan trillingen onderworpen waarvan men de frequentie kan variëren. In ons geval dus van de waslijn, de elastiekjes en de starre staven of de huzaren. Hoe snel gaan de huzaren slapen, hoe hoog is de temperatuur, hoe lang de tijd, hoe frequent de trilling om ze weer te activeren? Dit zijn vragen, die in de praktijk belangrijk zijn: de stabiliteit van electro-optische materialen en de activeringstijd.

Behalve dynamisch-mechanische metingen kan men ook dielectrische relaxatie gebruiken. Hier hebben wij met veel anderen samengewerkt met Jan van Turnhout en Michael Wübbenhorst. Deze techniek analyseert de bewegingen van polaire molecuuldelen (zo iets als een magnetron, maar wel fijner) als functie van temperatuur en frequentie. Dit geeft prachtige driedimensionale plaatjes (fig.6). Het zeer brede frequentie gebied waarover men kan meten geeft extra inzicht in de bewegings mogelijkheden van de verschillende groepen. Thermally stimulated discharge (TSD), beschreven door Van Turnhout

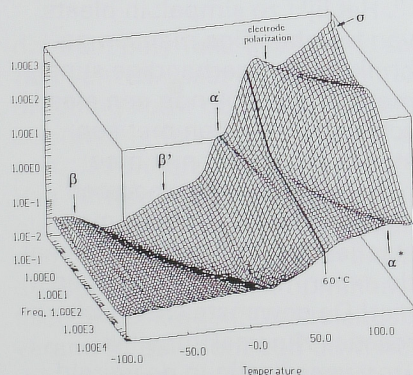


Fig. 6 Overzicht van dielectrische verliezen als functie van temperatuur en frequentie van een polyurethaan met flexibel opgehangen p-nitrostilbeen zijgroepen (dissertatie S. Jin)

in een prachtig boek ¹²⁾ werd als derde methode door Jin gebruikt. TSD meet de molecuulbewegingen met behulp van thermisch geïnduceerde ontlading van een geladen polymeer-film. De drie technieken zijn complementair. U ziet: een molecuul moet wel heel steels bewegen wil dat aan onze aandacht ontsnappen.

De twee overige promovendi bewerkten andere onderwerpen. Anton Schotman onderzocht de reactie van isocyanaten en carbonzuren, die veel ingewikkelder bleek als in de literatuur beschreven staat ¹³⁾. Hij ontdekte daarbij een nieuwe synthese van aromatische polyamiden (u weet wel de supersterke vezels, waarover ik het eerder had). Die geeft in principe toegang tot uit de smelt, dus goedkoper en sneller verwerkbaar thermotabiele kunststoffen, misschien ook wel vezels ¹⁴⁾.

Paul Buysen tenslotte ¹⁵⁾ bestudeerde het moleculaire fundament van de uitharding d.w.z. het vernetten van polymeermoleculen met behulp van elektronenstralen. Stralingsuitharding ook met u.v. licht wordt veel toegepast in de coatings industrie, vooral blanke lakken. CD platen, meubelplaten, drukplaten, stoelen, golfballen, speelkaarten enz. worden zo snel en goedkoop van een harde laklaag voorzien.

Dames en heren, de polymeren vakgroep TMS neemt met o.a. het bovenbeschreven multidisciplinair onderzoek een unieke positie in Nederland in. De met het kabinetsbeleid samenhangende inkrimpingen hebben TMS niet onberoerd gelaten. Er schijnen zelfs plannen te zijn geweest om haar op te heffen. Ik heb mij daarover nooit erg druk gemaakt: de bestuurscolleges van universiteit en faculteit zijn veel te verstandig zulke plannen ook werkelijk uit te voeren.

Ik schat dat ongeveer 60% van de afgestudeerde chemici later in het bedrijfsleven met polymeren in aanraking komt. Dat bedrijfsleven bestaat uit grote bedrijven als Shell, DSM, AKZO-Nobel, Philips en wat betreft biopolymeren in voeding en farmacie ook bijv. Unilever en Organon, daarnaast vele kleine bedrijven in polymeerspecialiteiten en productformuleringen.

De TU Delft die zich volgens de strategienota 1994 immers wil profileren als een internationale vooraanstaande technische universiteit met onderwijs van hoog academisch niveau en grensverleggend onderzoek, moet op het gebied van polymeren een sterke positie innemen. Noodzakelijke disciplines in zo'n groep zijn:

- * organische chemie voor structuurontwerp en bereiding van polymeren

- * fysische chemie en fysica voor meting en theorie van fysische eigenschappen
- * rheologie, verwerking, vormgeving in relatie met toepassingen. Hierbij komen procestechnologie en werktuigbouwkunde ook aan de orde.

Dit zijn niet alleen de uitgangspunten voor het leerstoelenbeleid in de polymeergroep, maar ook voor multidisciplinaire samenwerking met andere vakgroepen. Ik denk hier aan procestechnologie, organische en fysische chemie. In Eindhoven en in Twente wordt een belangrijk synergisme bereikt door samenwerking van organische chemie, procestechnologie en electrotechniek met de polymerengroep. Vaktechnisch worden daarbij geen concessies gedaan, integendeel.

Binnen de TUD wordt overigens wel op verschillende plaatsen aan en met polymeren gewerkt, o.a. bij industrieel ontwerpen, lucht- en ruimtevaart en werktuigbouwkunde. Wat meer coördinatie zou het Delftse polymere gezicht ook voor de geïnteresseerde industrie duidelijker herkenbaar maken.

Het is verheugend dat de TU Delft mee gaat doen aan het DPI (niet het Delfts Polymeer Instituut, wat het natuurlijk zou moeten zijn, maar het "Dutch Polymer Institute" een z.g. toponderzoekschool) al ben ik er niet zeker van of zo'n instituut in het algemeen nivelerende Nederlandse klimaat en de beperkte financiële middelen wel zal kunnen bloeien. Ik weet ook niet of een topinstituut georganiseerd kan worden. Als het klimaat goed is, groeien topgroepen vanzelf. Maar misschien ben ik te pessimistisch. Gelukkig staat de Nederlandse chemie internationaal nog goed aangeschreven, maar of dat nu te danken is aan de gulle productie van overheidsbeleid, betwijfel ik. Hiermee kom ik op de bredere context, waarin de universiteiten hun onderwijs en onderzoek taak moeten vervullen. Het is bekend, Nederland besteedt minder dan het OESO gemiddelde aan onderzoek en onderwijs. De meeste landen brengen het budget voor wetenschap en technologie omhoog in het besef dat daar de basis voor toekomstige welvaart ligt, het Nederlandse regeerakkoord voorspelt nieuwe bezuinigingen. Hier overheerst het korte termijn denken.

Zou de markt kunnen helpen, meer onderzoekssponsoring door het bedrijfsleven, een ondernemende universiteit, strevend naar directe probleemloze inzet van de afgestudeerden op de arbeidsmarkt, zoals oud Shell president Herkströter bepleit?¹⁶⁾ Slechts gedeeltelijk. Oriëntatie op toepassingen is prima, zeker voor een technische universiteit. Ook contract research kan goed zijn, maar onder bepaalde

voorwaarden: behoud van ieders verantwoordelijkheid, vrijheid van communicatie en publikatie door de universiteit na een paar maanden "lead time" voor octrooiaanvraag door de contractor. Het bedrijfsleven moet het gecontracteerde werk aan de universiteit als complementair beschouwen aan de eigen research, die hun technologische basis vormt. Hoe dit in een moderne organisatie gerealiseerd kan worden, kan men lezen in een recent interview met Prof. Emmo Meijer, de nieuwe researchdirecteur van DSM¹⁷⁾.

Overigens citeer ik met grote instemming rector Wakker van de TU Delft in zijn diesrede¹⁸⁾: "Een groot deel van ons huidige stelsel van normen en waarden en van de vooruitgang van de techniek is het gevolg van het feit dat er universiteiten bestonden, waar mensen zich niet met de problemen van alledag behoefden bezig te houden, maar konden werken aan zaken, die veel verder reikten". Zo is het, universiteiten zijn instellingen voor onderwijs en onderzoek op hoog academisch niveau, met een groeiende internationale oriëntatie, zoals beschreven in de jongste strategienota van de TUD. Voor korte termijn inzetbaarheid van afgestudeerden heeft Nederland een uitstekend (HBO) stelsel van beroepsonderwijs, dat maatschappelijk even belangrijk is als de universiteit. De TUD kondigt terecht een selectiesysteem aan met verwijsmogelijkheden. Sommige van mijn studenten had ik graag naar de HTS verwezen, waar zij zich beter hadden kunnen ontplooiën.

Wij hopen dat het dwaze lotingsstelsel voor overbelaste studierichtingen nu ook snel het loodje legt.

IV De tijd vooruit

We gaan nu in gedachten de tijd vooruit snellen en in de toekomst plaats nemen. We zitten daar op een heuvel en kijken terug in de verte, waar de gebeurtenissen elkaar opvolgen met een door de tijd aangegeven snelheid. Dat noemen we een visie ontwikkelen, een eenzame bezigheid tegenwoordig. We hebben wel veel politici, maar weinig staatslieden.

Scherp kunnen we niet zien, daarvoor is het toneel te ver weg, maar we kunnen wel gebeurtenissen groeperen, trends identificeren en dan over een breed gebied tijdig de nodige kennis opbouwen. Daarvoor hoeven we gelukkig de toekomst niet precies te kennen, alleen de belangrijkste elementen ervan.

Die wil ik nu analyseren, toegespitst natuurlijk op de chemie, in het bijzonder de polymeerchemie en haar vele toepassingen. De algemeen maatschappelijke invloed op de wetenschap en haar toepassingen zal verder toenemen. Voor de chemie denken we dan aan

milieu, energie, gezondheid en veiligheid. Met milieu bedoel ik niet de dubieuze kosmische verschijnselen, die door sommige politici, op sensatie beluste journalisten en op financiering gebrande professoren opgeklopt worden, maar de reële milieubelasting voor het grootste deel af te leiden uit de groei van de wereldbevolking, de massificatie. Onderzoekers en ontwikkelaars zullen zich door problemen op deze gebieden laten inspireren. Deze vereisen fundamentele doorbraken in chemische wetenschap en technologie. Waar de wetenschap gekenmerkt wordt door visie, kwaliteit en dynamiek zal de voortrekkersrol gespeeld worden. Koppeling met vrij onderzoek, door nieuwsgierigheid gedreven, zal dit nog effectiever maken. Vele waardevolle uitvindingen worden immers bij toeval gedaan. Hierover ben ik op langere termijn optimistisch: wetenschap is internationaal, de communicatie wordt steeds makkelijker en efficiënter. Een paar leidende onderzoekers zijn al genoeg voor baanbrekend werk. De grenzen van de groei zijn gelijk aan de grenzen van de menselijke geest en die zijn nog lang niet bereikt. Trouwens ware dit wel zo, dan zou het leven ophouden en daar geloof ik niet in.

Als belangrijke gebieden van wetenschap en toepassing voor de toekomst beschouw ik: chemie en materialen, chemie en gezondheid / voeding, levenswetenschappen, chemie en energie. Hierin zullen polymeren, althans grotere moleculen een sleutelrol spelen. Het hoofdelement van onderzoek zal zijn: de samenhang tussen structuur en fysische eigenschappen, de moleculaire basis van processen en producten, dichtbij het vak dus, dat ik in Delft heb gedoceerd. Alhoewel de moleculaire chemie, gebaseerd op sterke covalente bindingen nog lang niet is uitgespeeld (er zullen met steeds grotere precisie nieuwe structuren gebouwd worden voor geavanceerde toepassingen), geloof ik toch dat er een verschuiving zal plaatsvinden naar de supramoleculaire chemie, gebaseerd op zwakkere intermoleculaire interacties. Denkt u maar aan de waterstofbruggen in DNA of de vloeibaar kristallijne interacties waar ik het zojuist over gehad heb. Deze intermoleculaire interacties zijn te vergelijken met klittenband, de sterke covalente bindingen met draden. De klittenbanden moeten goed in elkaar passen, desgewenst kan men ze weer uit elkaar trekken. De natuur doet dat ook vaak, bij 37°C lukt het al. Draden breken kost veel meer kracht, of hoge temperatuur, koorts dus. Voortrekkers van de supramoleculaire chemie zijn de Nobelprijswinnaars Lehn uit Frankrijk en Cram uit de VS.

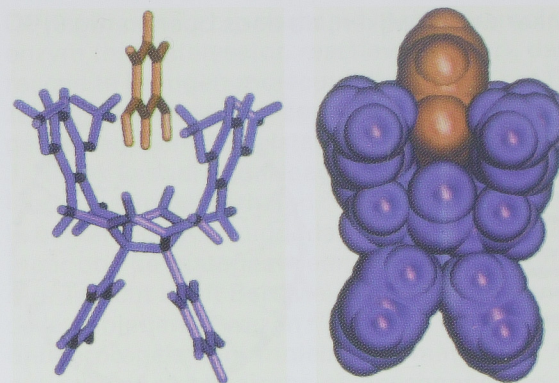
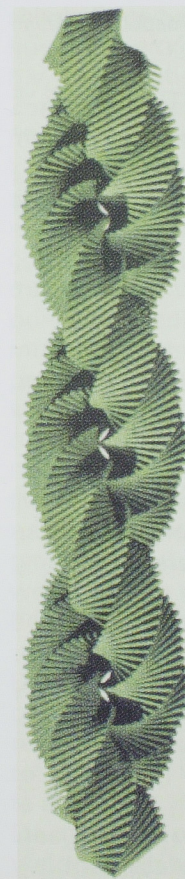


Fig. 7 Binding van een 1,3-dihydroxybenzeen molecuul als gast in een diphenylglycoluril wasknijper, met behulp van waterstofbruggen en π - π interacties (met dank aan Dr. J.A.A.W. Elemans, Nijmegen en met permissie van de American Chemical Society (copyright 1997) voor de reproductie, ref. 19)



Het zwaartepunt van de supramoleculaire chemie is moleculaire herkenning: moleculen passen in of op elkaar en vormen zo een complex systeem met nieuwe eigenschappen.

Bijvoorbeeld de moleculaire wasknijper die door Prof. Nolte en medewerkers uit Nijmegen is gemaakt, pakt alleen moleculen met een bepaalde structuur in de kraag ¹⁹⁾ (zie fig. 7). De wasserij achter zich latend, zijn de Nijmeegse chemici nu toegekomen aan de constructie van een moleculaire wenteltrap, simpel door zelfassemblage van speciale polymeren. Twee wenteltrappen kunnen spontaan in elkaar draaien en vormen dan korte vezels ²⁰⁾ (fig.8). Men denkt aan opto-electronische toepassingen.

Prof. Bert Meijer en medewerkers van de TU Eindhoven maakten z.g. dendrimeren (als een boom vertakte lange moleculen) en in de holten hiervan borgen zij een ander molecuul op, dat hierin juist paste ²¹⁾. De nieuwe Amsterdamse hoogleraar De Cola kon door belichting, waarbij de

Fig. 8 Vloeibaar kristallijne phtalo cyanine moleculen, die door zelfassemblage een wenteltrap vormen. Twee wenteltrappen kunnen in elkaar draaien en vormen korte vezels (gereproduceerd van Science 284, 785 (1999) met permissie van de American Association for the Advancement of Science, copyright 1999)

takken van zo'n dendrimeer wat uitwijken, de doos openen (fig.9)²²⁾.

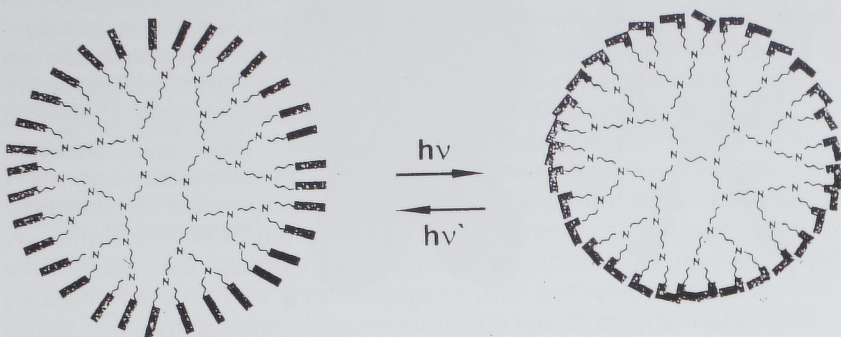


Fig. 9 Photo isomerisatie van dendrimeren met azobenzeen eindgroepen (met dank aan Prof. L. de Cola, Amsterdam en met permissie van de American Chemical Society (copyright 1998) voor de reproductie, ref. 22)

Aan de universiteit Twente is Prof. Reinhoudt's groep actief in de supramoleculaire chemie en bij ons in Delft zou Te Nijenhuis genoemd moeten worden, specialist in de karakterisering van fysische netwerken (dat zijn supramoleculaire structuren, breiwerken van klittenband). Hij heeft hierover onlangs een toonaangevend overzichtsartikel gepubliceerd²³⁾.

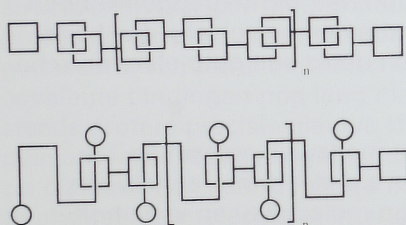


Fig.10 Catenane en rotaxane bindingen in nieuwe polymeerstructuren (met permissie gereproduceerd van *Macromol.Symp.*, copyright Wiley Verlag Weinheim, 1995, ref. 24)

draden. Dit principe zou kunnen worden toegepast in coatings en lijmen.

Is dit alles nu kinderspel, irrelevant hobbyisme, dat voorbij gaat aan de grote problemen van vandaag en morgen? Geen sprake van!

De natuur werkt bijvoorbeeld met supramoleculaire interacties: een enzym (bio-katalysator, reactieversneller), dat zijn substraat (het tot reactie te brengen molecuul) herkent of het DNA molecuul, dat zich zelf spontaan kan repliceren door zijn eigen structuur als mal te gebruiken, een sleutelstap in de evolutie. De Amerikaanse chemicus J. Rebek is er al in geslaagd zo'n zelfreplicerend proces in het laboratorium te herhalen²⁶⁾.

Ik ben er van overtuigd, dat niet alleen de levenswetenschappen maar ook de materiaalwetenschappen van zulk werk zullen profiteren. Terecht heeft Bert Meijer op het groeiend synergisme tussen deze gebieden gewezen²⁷⁾. Met de natuur als voorbeeld kan men tot ontwerpregels voor moleculaire materialen met interessante, optische of mechanische eigenschappen komen. Denkt u enerzijds aan een spier, een hart of het geheugen, anderzijds aan optische schakelingen, lichtgewicht batterijen en slimme materialen, die op hun omgeving reageren door hun eigenschappen te veranderen, b.v. kunstmatige spieren in robotarmen.

Zonder een combinatie van verfijnde analytische en fysische technieken die reacties en producten op moleculaire schaal kunnen karakteriseren, komt de moleculaire bouwmeester niet verder. Op dit terrein zijn reeds verbluffende resultaten geboekt, maar er valt nog veel te verwachten. Als spectaculaire voorbeelden noem ik combinaties van scanning tunneling microscopie en atomic force microscopie, waarmee men moleculaire details van bijvoorbeeld polymeer oppervlakken kan analyseren. Of femtoseconde (10^{-15} sec) infrarood spectroscopie, om bindingvormende en bindingbrekende processen en energieoverdrachten te bestuderen. Of tenslotte kernmagnetische resonantie (NMR zeggen de chemici, MRI zeggen de medici) waarvan de analytische en diagnostische mogelijkheden nog steeds groeien²⁸⁾.

Interdisciplinair werken, d.w.z. het vermogen en de belangstelling nabij liggende disciplines aan te boren en te helpen hanteren in een teamverband, met behoud van vakmanschap op het eigen terrein, wordt steeds belangrijker. De Delftse polymeergroep is wat dat betreft een uitstekende kweekvijver.

Dames en heren, geachte toehoorders, de perspectieven van de chemische wetenschap op lange termijn geven aldus een fascinerend beeld, maar zal die wetenschap een effectieve bijdrage leveren tot oplossing van de grote problemen, waarvoor de mensheid komt te staan?

De maatschappelijke aanvaardbaarheid van toepassingen van wetenschap hangt af van tijd en plaats, van sociologische factoren,

zedelijke beginselen. Echter tijdig opgebouwde wetenschappelijke kennis, niet alleen van β -wetenschap, maar ook van mens en maatschappij wetenschappen verschaft ons de nodige opties voor toepassing op het juiste moment. Dat vereist staatsmanschap. Het is de tijd, die een belangrijke rol speelt: hebben we tijdig een goede basis opgebouwd, dan kunnen we toekomstige ontwikkelingen sturen en in goede banen leiden. Komen we in de toekomst in de knel, dan is dat meestal te wijten aan fouten en nalatigheden in het verleden. Het is de tijd, die ons ter verantwoording roept.

V Dankwoord

Aan het einde van mijn rede gekomen, wil ik graag diegenen bedanken, die er toe hebben bijgedragen, dat ik met zoveel genoegen in Delft gewerkt heb.

In de eerste plaats professor Posthuma de Boer, lange tijd vakgroepvoorzitter van TMS. Beste Abe, jij hebt gezorgd voor de opzet van ons multidisciplinaire polymeeronderzoek in een stimulerende collegiale atmosfeer. Hieraan en aan de zo serieus genomen onderwijsstaak heb je veel energie gewijd. Aan de weg timmeren ligt je niet, anders hadden ook je onderzoekresultaten in het in Nederland zeldzame gebied tussen technologie, chemie en fysica meer (en verdiende) aandacht gekregen. Maar bedenk wel: het is de tijd die bescheiden mensen gelijk geeft.

Verder collega-organicus dr. Ruud Addink met wie ik zoveel jaren intensief heb samengewerkt. Hem dank ik voor zijn charmante sparring partnership, wanneer mijn fantasie aan een al te vrije loop bezig was en voor zijn deskundige hulp in de begeleiding van studenten en promovendi.

Mijn collega's Klaas te Nijenhuis en Jan van Turnhout dank ik voor de samenwerking in de vele multidisciplinaire projecten, waaraan we zoveel wetenschappelijk en persoonlijk genoegen beleefd hebben. Graag wil ik hierbij ook de begaafde fysicus dr. Michael Wübbenhorst noemen, docent aan deze universiteit.

Ook de andere leden van de polymeergroep TMS, met wie de contacten misschien iets minder frequent waren, ben ik erkentelijk voor hun veelsoortige bijdragen.

Mevrouw Tonny Verheul-Mentink, de altijd behulpzame en deskundige secretaresse dank ik in het bijzonder voor de verzorging van het manuscript van deze rede.

Zeer geachte toehoorders, de polymeergroep in de faculteit Technische Natuurwetenschappen gaat weer een goede toekomst tegemoet: twee nieuwe hoogleraren werden onlangs benoemd. Het organisch-chemisch polymeeronderzoek en onderwijs zal worden voortgezet door dr. Wolter Jager, die bovendien zijn foto-chemische specialisatie meebrengt. Zo blijft de unieke multidisciplinaire opzet van de polymeren in Delft behouden. Dat stemt mij en naar ik aanneem vele anderen tot grote voldoening.

Ik ga mij nu terugtrekken in een tempo, dat mijn laatste promovendus niet zal hinderen zijn veelbelovende werk af te ronden.

Bij mijn afscheid denk ik wel eens aan de woorden die Godfried Bomans heeft neergeschreven, nadat hij het lustrum van het Delfts studentencorps op het landgoed Duivenvoirde had mogen meemaken: ²⁹⁾ "Mijn hemel, wat een heerlijke tijd heb ik in Delft doorgebracht: Hoe lang heeft mijn verblijf daar geduurd? Zeven maanden? Drie weken? Ik heb het besef van tijd totaal verloren. Ik voel een traan mijn oog ontwellen, als ik denk: het is voorbij..."

Maar, zeer gewaardeerde toehoorders, beste vrienden,.....het is tijd. Ik dank u voor uw aandacht.

Literatuur

1. D.W. van Krevelen, *Properties of polymers*, Elsevier, Amsterdam (1990)
2. W.J. Mijs, *Macromoleculaire architectuur, intreerede*, Technische universiteit Delft (1986)
3. H. Finkelmann en G. Rehage, *Adv. Polym. Sci.* 60/61, 99 (1984)
4. G.W. Gray en J.W. Goodby, *Smectic liquid crystals* vol 22, L.Hill London (1984)
5. W. Percec en C. Pugh in "Side chain liquid crystal polymers", C.Mc Ardle ed. Blackie & Sons Glasgow (1989)
6. M. Engel, B. Hisgen, R. Keller, W. Kreuder, B. Reck en H. Ringsdorf, *Pure Appl. Chem.* 57, 1009 (1985)
7. S. Jin, proefschrift Delft (1995); S. Jin, M. Wübbenhorst, J. van Turnhout en W.J. Mijs, *Macromol. Chem. Phys.* 197, 4135 (1996)
8. J.C. Jansen, proefschrift Delft (1996)
9. J.C. Jansen, R. Addink, K. te Nijenhuis en W.J. Mijs, *Macromol. Chem. Phys.* 200, 1407 (1999)
J.C. Jansen, P. den Ridder, R. Addink en W.J. Mijs, *Macromol. Chem. Phys.* 2517 (1995)
10. S. Jahromi, proefschrift Delft (1994)
11. S. Jahromi, W.A.G. Kuipers, B. Norder en W.J. Mijs, *Macromolecules* 28, 2201 (1995)
12. J. van Turnhout, *Thermally stimulated discharge of polymer electrets*, Elsevier, Amsterdam (1975)
13. A. Schotman, proefschrift Delft (1993)
14. A. Schotman, A.J.M. Weber en W.J. Mijs, *Macromol. Chem. Phys.* 200, 635 (1999)
15. P. Buysen, proefschrift Delft (1996)
P. Buysen, B. de Ruiter en W.J. Mijs, 7th Conference on Radiation Curing, Maastricht, The Netherlands (1995)
16. C. Herkströter, *Chemisch Weekblad* 38, 19 sept. (1999)
17. Fridus Valkema, *Chemisch Weekblad* 12, 26 juni (1999)
18. K.F. Wakker, *Onderscheid moet er zijn, rede t.g.v. de 157e dies natalis van de Technische Universiteit Delft* (1999)
19. J.N.H. Reek, A.H. Priem, H. Engelkamp, A.E. Rowan, J.A.A.W. Elemans en R.J.M. Nolte, *J. Am. Chem. Soc.* 119, 9956 (1997)
20. H. Engelkamp, S. Middelbeek en R.J.M. Nolte, *Science* 284, 785 (1999)
21. J.F.G.A. Jansen, E.M.M. de Brabander-van der Berg en E.W. Meijer, *Science* 266, 1226 (1994)
22. A. Archut, G.C. Azzellini, V. Balzani, L. de Cola en F. Voigt, *J. Am. Chem. Soc.* 120, 12187 (1998)
23. K. te Nijenhuis, *Adv. Polym. Sci.* 130 (1997)
24. J.A. Preece en J.F. Stoddart, *Macromol. Symp.* 98, 527 (1995)
25. R.P. Sybesma, F.H. Beijer, L. Brunsveld, B.J.B. Folmer, J.H.K. Hirschberg, R.F.M. Lange, J.K.L. Lowe en E.W. Meijer, *Science* 278, 1601 (1997)
26. J. Rebek, *Chem. Soc. Rev.* 255 (1996)
27. E.W. Meijer, *Chemisch Weekblad* mei (1994), pg 202
28. A.F. Mehlkopf, *Afscheidscollege TU Delft* (1999)
29. Godfried Bomans, *Buitelingen*, Elsevier, Amsterdam (1958)

De dia's werden gemaakt door F. Hammers, faculteit Technische Natuurwetenschappen