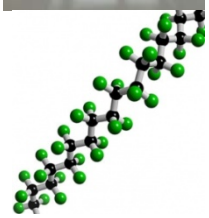
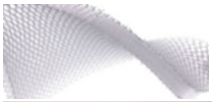
Materialen onderzoek in de Verenigde Staten

Focus op nano-en biotechnologie in polymeren, vezels, textielen, coatings, membranen en composieten















Door Dr. Michiel Scheffer

Saxion Hogescholen Enschede
Kenniscentrum Design en Technologie
December 2009

Colofon

Auteur:
Dr. Michiel Scheffer
Saxion Hogescholen Enschede
Kennis centrum Design en Technologie

Eindredactie:
Marlous Vennegoor op Nijhuis

Deze publicatie is tot stand gekomen in samenwerking met de Technische Wetenschappelijke Attaché TWA, dr. Paul op den Brouw, aan de Nederlandse ambassade te Washington DC.

Enschede, december 2009

Voorwoord

In de zomer van 2005 drongen Amerikaanse wetenschappers aan op de ontwikkeling van een nationale strategie op het terrein van materials science & engineering (MSE). De National Research Council (NRC) van de National Academy of Sciences (NAS) had kort daarvoor het rapport 'Globalization of Materials R&D: Time for a National Strategy' uitgebracht. In dit rapport ging het om een antwoord op de vraag 'Waar staan de VS in vergelijking met de rest van wereld?', ofwel 'Zijn de VS nog steeds leidend op de verschillende materiaalgebieden of nemen andere landen deze positie over?' De snelle opkomst van het materialenonderzoek in landen, zoals China en het groeiend onderzoek in Europa vormen immers voor de VS een geduchtere concurrentie dan ooit. Volgens dit rapport is de positie in composieten en superlegeringen dan ook zodanig afgenomen dat Amerika nog nauwelijks de vruchten kan plukken van de veelbelovende ontwikkelingen op dit terrein. Ook de positie op het gebied van katalysatoren is vrijwel geheel verdwenen. Vaak is de kennis nog wel aanwezig maar de kracht om die kennis commercieel te benutten ontbreekt. Bedrijven kunnen dan de academische kennis niet meer omzetten in een winstgevende toepassing.

Hoewel het vakgebied materials science & engineering in de VS niet meer over de hele linie aan de top van de wereld staat, is de Amerikaanse positie op de meeste terreinen van de materiaal-wetenschappen onbetwist. Recente hoogtepunten zijn ruimschoots voorhanden, zoals het maken van grafeen, de verschillende toepassingen van nanokoolstofbuisjes, de ontdekking van metamaterialen en het nabootsen van verschijnselen uit de natuur zoals de hechting van de poten van de gekko aan de ondergrond. De National Science Foundation speelt een belangrijke bij de financiering en valorisatie van onderzoek. Verschillende programma's, waaronder het Materials Science Research and Engineering Centers programma, spelen een grote rol in kennisoverdracht naar bedrijfsleven en maatschappij.

Michiel Scheffer is, tijdens zijn vijf maanden verblijf, in de Verenigde Staten zelf op zoek gegaan naar de Amerikaanse positie en heeft met veel onderzoekers gesproken. Ook hij heeft ontdekt dat er nog vele hoogtepunten en sterkten in het Amerikaanse materialenonderzoek te vinden zijn, waarvan hij in deze bundel enthousiast en gedetailleerd verslag doet.

Dr Paul op den Brouw,

Hoofd Technisch Wetenschappelijke Attachés
Ambassade van het Koninkrijk der Nederlanden
Verenigde Staten, Washington DC

Inhoud

Voorwoord 3
Introductie 7
Kijken 7
Begrijpen 7
Veranderen 8
Toepassen 8
Maatschappelijke inkadering 8
Hoofdstuk 1 Samenwerken met USA 10
1.1 Beleid en Financiering 10
1.1.1 Federale Financiering 10
1.1.2 State Financiering 11
1.1.3 Particuliere Fondsen 11
1.2 Kennisinfrastructuur 12
1.2.1 Universiteiten 12
1.2.2 Nationale Laboratoria 13
Hoofdstuk 2 Polymeren en Kunststoffen 14
2.1 Domeinafbakening 14
2.2 Trends in Onderzoek 14
2.2.1 Beheersen 14
2.2.2 Construeren 17
2.2.3 Industrialiseren 18
2.3 Dynamiek van het Kennissysteem 20
2.3.1 Samenwerking met Bedrijven 20
2.3.2 Spin-Offs and Clustering 20
2.4 Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven 21
Hoofdstuk 3 Functionele vezels en textielmaterialen 22
3.1 Domeinafbakening 22
3.2 Trends in Onderzoek 22
3.2.1 Karakterisering en Structurering 22
3.2.2 Toegevoegde Functionaliteiten 25
3.2.3 Customisering en Toepassing 26
3.3 Dynamiek van het Kennissysteem 26
3.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven 27
3.3.2 Spin-Offs 27

3.3.3 Clusters 27
3.4 Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven 27

Hoofdstuk 4 Zachte materialen en processen 29
4.1 Domeinafbakening 29
4.2 Trends in Onderzoek 29
4.2.1 Druppels en Oppervlaktes 29
4.2.2 Functionele Coatings en Reactoren 30
4.2.3 Processen en applicaties 31
4.3 Dynamiek van het Kennissysteem 32
4.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven 32
4.3.2 Spin-Offs 32
4.3.3 Outreach en Clustervorming 32
4.4 Kansen voor het Nederlandse Bedrijfsleven 32
Hoofdstuk 5 Membranen en Filtratiematerialen 34
5.1 Domeinafbakening 34
5.2 Trends in Onderzoek 34
5.2.1 Waterfiltratie 34
5.2.2 Industriële Scheiding 35
5.2.3 Gasfiltratie 35
5.2.4 Brandstofcellen 36
5.3 Dynamiek van het Kennissysteem 37
5.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven 37
5.3.2 Spin-Offs 37
5.4 Kansen voor het Nederlandse Bedrijven 37
Hoofdstuk 6 Composieten 39
6.1 Domeinafbakening 39
6.2 Trends in Onderzoek 39
6.2.1 Versterken en Verlichten 39
6.2.2 Verslimmen en verzekeren 40
6.2.3 Versnellen en vergroten 40
6.2.4 Vergroenen en Verbreden 41
6.3. Dynamiek van het Kennissysteem 41
6.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven 42
6.3.2 Spin Offs en Start Ups 42
6.3.3 Clustering en Betrokkenheid van Eindgebruikers 42
6.4 Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven 43
Woordenlijst 44

Introductie

Onderzoek naar het domein materialen in de Verenigde Staten geeft, gelet op de breedte en diepte van het onderzoek, een inzicht in het gehele kennissysteem betreffende materialen van fundamenteel inzicht tot toepassing. Daarmee komt het ordenen van het materialenonderzoek neer op een technology road-map omdat het inzicht geeft in toekomstige mogelijkheden van ontwikkeling en toepassing. Een blik op het materialenonderzoek geeft aan dat recente materiaalontwikkelingen sterk gebaseerd zijn op twee ontwikkelingen;

- nanotechnologie (het begrijpen en ingrijpen van materialen op moleculair niveau);
- biotechnologie (het begrijpen en ingrijpen van/in de genese en functie van natuurlijke materialen).

Alle ontwikkelingen zijn daarbij feitelijk gericht op het ontwikkelen van materialen die een verschil maken. Daarbij maakt het fundamenteel niet uit of de gewenste functie het opwekken/geleiden van stroom of het blokkeren van bacteriën is. Materialen zijn opgebouwd uit moleculen die een reactie oproepen, daarvoor is een tegenstelling tussen kanten nodig, tegenstelling tussen blokken in een web of tegenstelling tussen lagen in een matrix. Dit betekent dat dezelfde fundamentele kennis van materialen (b.v. het organiseren van een dispersie van nanoketens in een combinatie van hydrofiel en hydrofoob materialen) zowel van betekenis kan zijn voor het versterken van rubber, de gewichtsreductie in banden, het creëren/geleiden van stroom, het controleren van bubbels in champagne of het tegengaan van fouling in een membraan.

Materiaalontwikkelingen zijn gebaseerd op de volgende vierslag: *kijken, begrijpen, veranderen* en *toepassen*.

Kijken

Nanotechnologie en biotechnologische doorbraken zijn mogelijk geworden door het kijken naar materialen op moleculaire schaal. Dit kijken is mogelijk geworden door de invoering van SEM (scanning electron microscope), AFM (atomic force microscope), NMR (nuclear magnetic resonance) en Synchrotron. De Verenigde Staten beschikken over een breed arsenaal instrumenten om dit kijken mogelijk te maken. Het kijken is het noodzakelijk begin voor begrijpen, maar is op zichzelf een domein van onderzoek, zowel ten aanzien van ontwikkeling van methodologie als het valideren van onderzoek. Het kijken en de ontwikkeling van het kijken wordt niet nader onderzocht. Op de website van het NNIN kan een overzicht worden gevonden van onderzoeksfaciliteiten en instrumenten[1].

Begrijpen

Nanotechnologie en biotechnologie maken het mogelijk om een beter inzicht te krijgen in het functioneren van materialen. Dit gaat van basics zoals de genese van de meest voorkomende materialen als collageen en cellulose, de werking van enzymen op een proteïne, de geleiding van stroom door één enkele molecuul, de polymerisatie van polyethyleen, de oriëntatie van polymeren, en de elektrische energie die bij fotosynthese wordt opgeroepen. Het begrijpen van materiaalprocessen genereert niet alleen een nieuwe familie van processen en producten maar maakt het ook mogelijk nieuwe wegen te vinden voor het oplossen van oude problemen zoals de afstoting van protheses, de versterking van vezels, en de extractie van houtresten uit plantmateriaal.

[1] http://www.nnin.org en http://www.nnin.org/nnin_tool.taf

Daarmee hebben nano-en biotechnologie ook de potentie om bestaande producten en processen in bestaande industrieën zoals voeding, farmaceutica, chemie, textiel, kunststoffen te veranderen.

Veranderen

Veranderen betekent feitelijk het bouwen van bestaande en nieuwe materialen, op basis van inzicht op moleculaire schaal. Nanotechnologie wordt vaak in enge zin gedefinieerd als het engineeren van materialen op nanoschaal, dat wil zeggen op moleculaire of macro-moleculaire schaal, terwijl biotechnologie gedefinieerd kan worden als het beheersen van processen op celniveau. Engineeren betekent het organiseren van moleculen in gewenste structuren of het organiseren van een veranderingsproces (catalyse of synthese) op moleculair niveau dan wel het opwekken van effecten (b.v. geleiding) op moleculair niveau. Het engineeren kan bestaan uit de totstandkoming van macro-moleculaire elementen die daarna met conventionele middelen worden aangebracht, of het bouwen van constructies op moleculaire schaal.

Toepassen

Het toepassen bestaat uit een technologische en een commerciële uitdaging. De technologische uitdaging bestaat enerzijds uit precisie en anderzijds uit opschalen. Nanotechnologische bouwstenen vereisen om een precieze methode van verwerking en aanbrengen, zoals het aanbrengen van functionele coatings en films. Het creëren van functionele netwerken vereist nog meer precisie. Precisie veronderstelt ook sturing, dat wil zeggen het gericht aanbrengen ten aanzien van locatie en hoeveelheid. Dit is weer gerelateerd is aan borging en reproduceerbaarheid van het proces op industriële schaal. Nanolithographie en digitaal spuiten zijn enkele van veel manieren om gericht te produceren. De uitdaging is vaak om deze methodes op grote schaal te realiseren. Toepassen betekent ook het vinden van een commerciële toepassing; dat wil zeggen een concrete termijn.

Maatschappelijke inkadering

De technologische ontwikkeling van materialen in de Verenigde Staten kan niet anders worden gezien dan tegen de achtergrond van een politiek en maatschappelijke agenda. Deze agenda bepaald niet zozeer de wetenschappelijke agenda, want materialen kunnen immers een groot aantal verschillen mogelijk maken, maar wel de oriëntatie van toepasbare resultaten en de rechtvaardiging van onderzoek. De Verenigde Staten is de grootste financierder van onderzoek en innovatie. Daarbij geldt dat de Verenigde Staten voor vrijwel elke toepassing een leading customer is. Dat geldt zowel voor speerpunt toepassingen als in het plegen van groot onderhoud. De Verenigde Staten hebben nog steeds het meest ambitieuze ruimtevaartprogramma en het meest moderne leger. De Verenigde Staten zijn ook het OECD (organisation for economic co-operation and development) land met het meeste achterstallig onderhoud in bruggen en waterzuivering.

Materialen onderzoek heeft een impuls gekregen door het veiligheidsbeleid van de VS na 9/11. Het document *'Globalization of Materials R&D: Time for a National Strategy'*[2] stelt nadrukkelijk het belang van materialenonderzoek in het kader van nationale veiligheid. Met zorg wordt vastgesteld dat de VS niet meer op alle terreinen toonaangevend zijn, en afhankelijk raken van het buitenland. Enerzijds roept het rapport op tot een investeringsimpuls, die er in 2006 inderdaad is gekomen met de opzet van de MRSEC. Anderzijds roept het op tot een actiever internationale alliantiebeleid. Die aanbeveling is echter pas onder de Obama regering ter hand genomen.

Met de regeringswisseling van Bush naar Obama is het budget voor onderzoek fors toegenomen, met circa. 30 Miljard USD (vergelijkbaar met de gehele Nederlandse OCW begroting). Ook de oriëntatie van het onderzoek is veranderd. De nadruk op defensie en binnenlandse veiligheid is

[2] Verkrijgbaar bij: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11395

veranderd naar energie/milieu en gezondheid. Daarmee wordt een verschuiving gerealiseerd van niche-toepassingen naar massa toepassingen. Dit is het meest nadrukkelijk het geval bij de toepassing van materialen voor auto's.

Hoofdstuk 1 Samenwerken met USA

Samenwerking tussen bedrijven en kennisinstellingen is sterk ontwikkeld in de Verenigde Staten. Sinds 1948 is, met name door MIT (Massachusetts Insitute of Technology), breed geëxperimenteerd en zijn een aantal basismodellen ontwikkeld. Hieronder wordt beschreven hoe bedrijven op verschillende manieren kunnen deel nemen aan onderzoeksactiviteiten in de Verenigde Staten.

Ten eerste, kunnen bedrijven onderzoeksgroepen **sponsoren** in de vorm van een vast bedrag per jaar. De kosten zijn voor gevestigde bedrijven in de orde van $10k tot 60k per jaar. Voor start-ups gelden lagere bedragen. Een sponsoring geeft inzicht in de kennis, doorgaans in de vorm van seminars. Daarnaast kunnen bedrijven betrokken worden in de onderzoeksagenda van de bedrijven of kunnen ze betrokken worden in een gezamenlijke roadmapping van R&D groepen met een sterke onderzoeksfocus.

Ten tweede, kunnen bedrijven toegang krijgen tot de **exploitatie van kennis** van onderzoeksgroepen. Vrijwel alle onderzoeksgroepen patenteren hun kennis en verlenen toegang in de vorm van licenties met betaling van royalty's. Daarnaast kan er gebruik worden gemaakt van faciliteiten. Sponsoren hebben hier vaak voorrang of exclusiviteit.

Ten derde, kennen vrijwel alle groepen de mogelijkheid voor **contractonderzoek** (ook wel derde geld stroom) doorgaans in de vorm van de financiering van een promotieonderzoek of project, tot aan het sponsoren van een groep of een programma. Financiering is soms gekoppeld aan lidmaatschap van een formele structuur.

Ten vierde, kunnen bedrijven in aanmerking komen voor **financiering** of ze kunnen, gezamenlijk met een kennisinstelling, een subsidie aanvragen. De mogelijkheden hiervoor zijn in de Verenigde Staten echter beperkter dan in Europa. Aan de andere kant zijn er juist ruime mogelijkheden voor kleine onderneming binnen de SBIR (Small Business Innovation Research program) regeling. Subsidies zijn alleen beschikbaar voor bedrijven die hun R&D in de Verenigde Staten gevestigd hebben.

1.1 Beleid en Financiering

De financieringstructuur van onderzoek en innovatie zijn complex omdat de Verenigde Staten twee relevante bestuurslagen heeft: *federaal* en *staat*. Op federaal niveau zijn er verschillende instanties belast met financiering van onderzoek. Daarnaast zijn ook *particuliere fondsen* en *venture capital* actief.

1.1.1 Federale Financiering

Binnen federaal onderzoek dient een onderscheid gemaakt te worden tussen fundamenteel onderzoek en toegepast onderzoek. De website grants.gov[3] geeft een overzicht van instrumenten.

Fundamenteel onderzoek loopt hoofdzakelijk via de NSF (National Science Foundation), die te vergelijken is met NWO (Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek) in Nederland. NSF kent thematische programma's (onder andere Directorate for Materials Research voor Materialen) en open programma's b.v. voor jonge kansrijke onderzoekers. Daarnaast financiert NSF infrastructuur (apparaten) en netwerken zoals de IUCRC (Industry University Collaborative Research Centres). Daarnaast kan NSF deelnemen aan grotere clusters en afstemming van onderzoek zoals het NNI (National Nanotechnologies Initiatives). NSF heeft een overzicht van gefinancierde projecten[4].

[3] http://www.grants.gov/
[4] http://www.nsf.gov/awardsearch/

Toegepast onderzoek in de Verenigde Staten loopt via de Ministeries. Feitelijk positioneert de overheid zich hier als probleemeigenaar, daarbij zijn zij ook vaak daadwerkelijk de opdracht gever. De grootste onderzoeken worden verricht in opdracht van defensie (DARPA) zowel op centraal niveau als op het niveau van legeronderdelen. Defensie kan optreden als partner, co-financierder of opdrachtgever. Daarbij kan er een ontwikkeling en ontwerpaanbesteding plaatsvinden alvorens een aanbesteding voor aankoop wordt verricht.

Daarnaast zijn voor materialen de Department of Energy, Department of Health, Department of Agriculture ook relevante instellingen voor financiering van onderzoek en innovatie. Daarbij kan budget via calls for proposals beschikbaar worden gesteld. Vaker lopen onderzoeksbudgetten via de zo genoemde National Research Laboratories zoals Oak Ridge, Lawrence Berkeley, PNNL. Gezondheidsonderzoek loopt veelal via het NIH (National Institute of Health).

1.1.2 State Financiering

Staten kunnen belangrijke spelers zijn op het gebied van onderzoek. In de eerste plaats financieren de staten het openbaar universitair onderwijs. Dit betreft alle universiteiten met de naam van de staat in de naam en alle “State Universities”. De mate van financiering verschilt, sommige staten financieren een breed en hoogwaardig stelsel (b.v. California, North Carolina) en andere staten financieren een veel beperktere infrastructuur (b.v. South Carolina, Kentucky).

In de tweede plaats beschikken staten over additionele middelen om onderzoek en innovatie te ondersteunen. Hier geldt dat staten vaak de keuze maken tussen hogere belastingen en actieve ondersteuning (b.v. New York)[5] of juist lagere belastingen en kortingen (b.v. South Carolina, Alabama). Industriebeleid of ruimtelijk innovatiebeleid is in de Verenigde Staten minder ontwikkeld dan in Europa. Toch zijn er staten met beleid (b.v. Massachussets), programma’s (NYSTAR in New York), instrumenten vooral voor ondernemingen (b.v. Pennsylvania) of investeringen in toegepaste innovatiecentra (o.a. Ohio). Over het algemeen zijn de staten in het Noord Oosten en aan de Pacific het actiefst. De staten in het Zuiden en centrum voeren eerder een fiscaal beleid, gericht op aantrekken van investeringen en hebben daarnaast lagere loonkosten en grondkosten.

1.1.3 Particuliere Fondsen

Particuliere financiering is buitengewoon belangrijk voor de privé universiteiten zoals Columbia, Yale of Harvard. Deze financiering bestaan uit schenkingen, legaten en geoormerkte fondsen. Deze financieren doorgaans leerstoelen, gebouwen en beurzen. Deze fondsen zijn niet direct relevant voor buitenlandse contacten zoals onderzoekpartijen, maar bepalen wel direct de omvang van particuliere financiering als de kritische massa voor fundamenteel onderzoek. De top 50 privé universiteiten beschikken over een sterkere financiële basis dan de publieke universiteiten. Deze universiteiten ontvangen ook middelen voor programmatische samenwerking, zoals MIT met een $20 Miljoen fonds van DuPont.

Particuliere fondsen zijn er nauwelijks voor het financieren van bedrijfsonderzoek. De fondsen die er wel zijn, financieren vooral medisch onderzoek. Veel fondsen zijn gekoppeld aan een maatschappelijk doel en geldstromen gaan bij voorkeur naar universiteiten. Bedrijven kunnen zich wel aansluiten bij een door fondsen gefinancierd onderzoek, vooral in de exploitatie van resultaten. Daarbij zijn vaak beperkende voorwaarden opgenomen.

Branche fondsen, zoals in Europa, bestaan er nauwelijks. Over het algemeen hebben brancheorganisaties een bescheiden rol in het organiseren, financieren of verspreiden van resultaten van onderzoek. Sociale fondsen zijn ook nauwelijks actief. Wel zijn de “societies”, vakverenigingen

[5] http://www.nystar.state.ny.us/

relevant waarin personen actief in een sector op eigen titel lid zijn. Deze verenigingen dienen echter eerder als netwerk of als platform voor kennisuitwisseling.

Venture capital is een belangrijk element in de innovatiestructuur van de Verenigde Staten. Het gaat doorgaans om particuliere middelen vergaard door individuen maar ook om fondsen gefinancierd door institutionele beleggers, overheden of grotere ondernemingen. Universiteiten hebben ook zelf een venture beleid waarbij ze starters financieren dan wel starters helpen in contact te komen met venture capital. In sommige sectoren is een exit strategie voor venture capital, de verkoop aan een grote onderneming. Venture capital is voor gevestigde bedrijven geen optie. Voor Nederlandse technologische start-ups kan een vestiging in de Verenigde Staten aandacht van deze fondsen krijgen.

1.2 Kennisinfrastructuur

De Verenigde Staten kent feitelijk twee types kennisinstellingen: *Universiteiten* en *National Research Labs (NRS)*. De NRS doen het meeste denken aan TNOs en de universiteiten kennen een grotere veelzijdigheid in vergelijking met Europa.

1.2.1 Universiteiten

De Verenigde Staten kennen ruim 5000 universiteiten waarvan ongeveer 800 research universities, vergelijkbaar met onze universiteiten. Bijna 200 universiteiten krijgen echter 90% van de financiering en behoren tot de wereldtop. Deze research universities beschikken over een onderzoeksinfrastructuur en bieden “advanced degrees”zoals Masters (MSc) en Doctoraat (PhD) binnen zo genoemde graduate schools. De overige universiteiten (ook wel colleges genoemd) bieden alleen bachelors degrees aan en beschikken over beperkte onderzoeksfaciliteiten. Sommige colleges bieden wel toegepaste opleidingen (b.v. Ball State University in plastics engineering), maar komen voor fundamenteel onderzoek niet in aanmerking.

Universiteiten kunnen grotendeels privaat of grotendeels publiek gefinancierd worden. Dit onderscheid laat onverlet dat beide de andere financieringsbron kunnen aan boren. Private universiteiten ontvangen middelen van NSF en Ministeries terwijl ook publieke universiteiten een derde geldstroom en legaten krijgen. Over het algemeen vormen de private universiteiten de top in materialenonderzoek en beschikken ze over de ruimste financiering. Er zijn echter ook veel publieke universiteiten actief op het gebied van materialenonderzoek met uitstekende prestaties.

Universiteiten zijn doorgaans generalistisch. Materialen onderzoek vindt plaats binnen faculteiten (genoemd schools) of binnen de vakgroepen (departments) Chemistry of Engineering. Er zijn een beperkt aantal technische universiteiten (b.v. MIT of GeorgieTech) met een fijnmazigere indeling. Onderzoek kan plaatsvinden binnen schools of departments en de eenheid daarbinnen is doorgaans een groep. De groep verhoudt zich tot een hoogleraar en zijn deskundigheid, niet zozeer tot een discipline. Veel universiteiten kennen groepen die op hetzelfde terrein actief zijn en elkaar beconcurreren. Groepen bestaan vaak uit een beperkt aantal hoogleraren, enkele docenten (associate of assistent professor) en veel graduate students die een masters of PhD programma volgen.

De leiding van veel universiteiten heeft getracht bepaald onderzoek te bundelen, om de zichtbaarheid en samenhang te verhogen. In sommige gevallen is financiering gekoppeld aan structurering zoals bij de MRS (Materials Research Science) en Engineering Centers. In andere gevallen is interne bundeling noodzakelijk om ondernemingen te betrekken (IUCRC). Dat laat onverlet dat achter deze mooie titels en websites, het particularisme hoogtij viert. Hoogleraren worden beoordeeld op publicaties en op omvang van extern gefinancierd onderzoek. Als samenwerking daartoe bijdraagt is dat prima, maar meer ook niet.

Anders dan in Europa voeren de meeste kennisinstellingen een actief intellectueel eigendomsbeleid. Dat wil zeggen dat universiteiten hun kennis vastleggen in patenten. Aangezien de

kosten van patenten hoog zijn en de universiteit ook rendement op onderzoek wil halen wordt de IPR (intellectual property) portfolio actief beheerd. Dat houdt in dat patenten worden verkocht of in licentie worden gegeven. De arrangementen rond IPR verschillen naar het type samenwerking en financiering. Dat vraagt adequate juridische begeleiding.

1.2.2 Nationale Laboratoria

De Verenigde Staten kennen een brede infrastructuur van zo genoemde National Research Laboratories. Veel laboratoria zijn erfgenamen van het Manhattan project (de kernbom), met Los Alamos als bekendste exponent. De Labs zijn vergelijkbaar met TNO of Frauenhofer in Europa. De bekendste zijn Oak Ridge, Lawrence Berkeley, Pacific Northwest en Sandia. In totaal zijn er ruim 50 laboratoria die afhangen van een of meerdere ministeries. Daarbij zijn defensie, energie, landbouw en gezondheid de belangrijkste ministeries.

De research labs werken op enige afstand van de centrale overheid. Deels werken ze met raamovereenkomsten voor de overheid (i.h.b. bij defensie) maar ze doen ook mee aan thematische programma's zoals het National Nanotechnology Initiative. Ze kunnen ook meedingen naar nationale subsidies. Daarbij mogen ze samenwerken met bedrijven en kennisinstellingen.

Hoofdstuk 2 Polymeren en Kunststoffen

2.1 Domeinafbakening

In dit hoofdstuk wordt er naar polymeren en polymerisatie gekeken. Maar zonder in het bijzonder te kijken naar de structurering van polymeren in de vorm van vezels, folies of anderszins. Structurering en toepassing van polymeren zal worden behandeld in de vervolg hoofdstukken[6]. Toepassing van polymeren in kunststoffen zal hieronder wel worden behandeld.

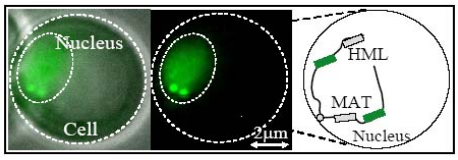
Daarmee is dit hoofdstuk ook meer fundamenteel van karakter aangezien de nadruk ligt op *beheersen*, *construeren* en *industrialiseren* van polymeren. Polymeren zijn gedefinieerd als gestructureerde chemische koppelingen van monomeren, in de vorm van ketens of ander vormige structuren (b.v. dendrimeren). Polymeerchemie is een onderdeel van de organische chemie, maar steeds meer worden organische en niet-organische chemie gecombineerd waarbij metaaloxydes in polymeerstructuren worden opgenomen.

2.2 Trends in Onderzoek

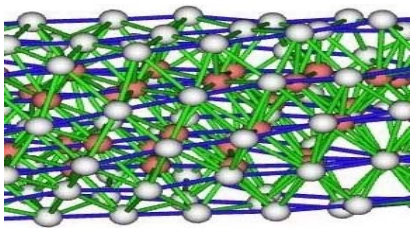
2.2.1 Beheersen

Veel onderzoek gaat uit naar begrijpen en beheersen van polymerisatieprocessen. Daarbij is het beter begrijpen van natuurlijke synthese van polymeren op basis van kennis en methodes van de biotechnologie en het waarnemen van reacties of nanotechnologische schaal van belang. Het onderzoek kent een aantal aandachtspunten. In de eerste plaats wordt er gekeken naar structurering van polymeren onder andere op basis van de mechanismes van polymerisatie maar ook naar zelfassemblerende materialen en naar materialen die via een “natuurlijke weg”, bijvoorbeeld enzymatische katalyse en synthese, ontstaan. In de tweede plaats wordt gekeken naar het gedrag van deze materialen, en dan vooral naar mimetisch gedrag of de mogelijkheid mimetisch gedrag te realiseren, dan wel naar biocompatibileit. Bijzondere aandacht gaat naar nabootsen van natuurlijke polymerisatie en naar productie van biopolymeren.

Fundamenteel onderzoek betreft het basisgedrag van materialen. Opmerkelijk is het onderzoek van Brandeis[7] dat vooral uitgaat naar de basisvoorwaarden voor gedrag van natuurlijke organismes, zowel in een bottom-up benadering waarbij macro-moleculen centraal staan (zoals proteïnes, enzymes en DNA) en een top-down benadering waarbij cellen centraal staan. Daarbij wordt gekeken naar gedrag van polymeren in kleine ruimtes (b.v. DNA in een chromosoom, afbeelding 1), de relatie tussen zeer kleine en grote gehelen o.a. naar coagulatie, of naar de verklaring van de dynamiek van cellen of celdelen, zoals de beweging van cilia en flagella. In de bottom-up benadering wordt ook comparatief onderzoek gedaan met gesynthetiseerde macro-moleculen. Meer gericht op materialen formatie is het onderzoek van Brandeis naar chiraliteit in de totstandkoming (self-assembly, afbeelding 2) van cellulose en collagen (de meest voorkomende natuurlijke materialen in plant en dier).



Afbeelding 1: Polymeren in kleine ruimtes; Brandeis.



Afbeelding 2: self-assembly; Brandeis.

[6] Respectievelijk Folies en films, Coatings, Membranen, Textielen en Composieten

[7] http://www.brandeis.edu/mrsec/

Caltech[8] wil inzicht verkrijgen in de verschillen tussen natuurlijke en synthetische polymerisatie. Observatie op nanoschaal leert dat de bij synthese van een gebruikelijk polymeer zoals polyethyleen elke molecuul een eigen structuur heeft en een grote veelzijdigheid aan mechanische eigenschappen. Natuurlijke polymeren zoals proteïnes kennen een grote regelmatigheid in structuur en eigenschappen, maar hebben problematische mechanische en thermische eigenschappen. Op basis van dit onderzoek heeft de groep van Tirrell kunstmatige proteïnestructuren ontwikkeld die synthetische en natuurlijke eigenschappen combineren. Soortgelijk onderzoek wordt ook gedaan door de groep van Fréchet aan de University of Berkeley en het Lawrence laboratorium[9], met als doel tot meer driedimensionale stabiliteit van synthetische polymeren te komen. Ten slotte wordt gekeken naar fenomenen van omzetting van energie in bijvoorbeeld beweging. Northwestern University onderzoekt in twee groepen de geschiktheid van bacteriën voor de productie van materialen; al dan niet met behulp van genetische modificatie (overexpressie of onderexpressie van bepaalde genen. Gewerkt wordt met de E. Coli bacterie en getest wordt de productie van arabinose.

Genetically Engineered Materials Science and Engineering Center GEMSEC (MRSEC verbonden aan de University of Washington)

Imitatie van de natuur is voor GEMSEC (U.Wash) geen optie. Het centrum wil nadrukkelijk natuurlijke mechanismes gebruiken om materialen te produceren of te modificeren. Hun onderzoek gaat vooral uit naar karakterisering van natuurlijke macromoleculen en de toepassing van DNA, peptides en eiwitten om niet-organische delen te binden. Daarnaast vindt onderzoek plaats naar de zelfassemblage van enzymen in de vorm van nano-ringen die als biomarker kunnen fungeren. Opmerkelijk is de ontwikkeling van peptides en eiwitten, die oxiden zoals bijvoorbeeld zilver- of titaniumoxiden, kunnen binden in fijne coatingen.

Biopolymeren zijn een breed onderzoeksterrein dat zowel als een opzichzelfstaand domein is als in relatie tot bepaalde materiaalvormen (o.a. textiel, composieten). Daarnaast wordt veel onderzoek gedaan naar de inzetbaarheid van biopolymeren als prothetisch materiaal en wordt er gekeken naar methodes om biocompatibiliteit te verhogen. Het uitgangspunt was lange tijd dat biopolymeren verkregen werden uit fermentatie van zetmelen. PLA (polymelkzuur) is echter grotendeels in de fase van industrialisatie waarbij de combinatie Cargill en Teijin leidend is. In Blair (Nebraska) wordt de productiecapaciteit van Cargill verdubbeld. Ook de verwerking van PLA in de vorm van kunststoffen en vezels (o.a. bij FIT in Johnson City, Tennessee) is in een consolidatiefase getreden. Ook DuPont heeft zwaar ingezet op biopolymeren in de vorm van propaandiol verkregen uit maïs, butaandiol en polyol (vermarkt onder de merknamen Sorona en Hytrel). Vergisting is nu opgezet samen met Tate&Lyle, vezelproductie in Kinston (North Carolina) en granulaat productie in Parkersburg (West Virginia). De productie van biopolymeren in de Verenigde Staten is thans de 100.000 ton overschreden. Alternatieve biopolymeren worden verder onderzocht, daarbij aangemoedigd door de matige thermische en mechanische eigenschappen van bestaande biopolymeren. University of Massachussets in Lowell[10] heeft een breed onderzoeksdomein en heeft bio-polyesters, biopolyamides en biopolysaccharides ontwikkelt waarvan het ook de structurele en functionele eigenschappen karakteriseert. In Lowell is ook uitgebreide apparatuur aanwezig voor industrialisering van biopolymeren. Center on Polymer Interfaces and Macromolecular Assemblies (CPIMA, stanford[11]) onderzoekt ring-opening polymerisatie van PLA waardoor langere ketens polymeren kunnen ontstaan.

[8] http://www.csem.caltech.edu/Nuggets/polymers.html
[9] Dit thema is verder uitgewerkt in een TWA Publicatie van Marc Neelen.
[10] http://bprc.caeds.eng.uml.edu/index.html
[11] http://cpima.stanford.edu/

Daarnaast wordt, naar analogie van tweede generatie bio-brandstoffen, onderzoek gedaan naar het verkrijgen van biopolymeren uit afval. Zo heeft Moore[12] aan Renselaer Polytechnic biopolymeren, feitelijk DPA (difenolzuur) verkregen uit afgedankt pulp van papierproductie. De verkregen polymeren kunnen als basismateriaal worden gebruikt voor onder andere polyesters en polycarbonaat. Geleidelijk verschuift het onderzoek van Moore en het Centre for Polymer Synthesis, naar de inzet van DPA als onderdeel van co-block polymeer. Moore werkt samen met Biofine dat een industrieel proces voor productie van DPA heeft opgezet. Onderzoek naar alternatieve biopolymeren behelst ook een come-back van zeïne (prolamine een proteine verkregen uit maïs) dat tussen 1938 en 1955 als ingrediënt voor lakken en vezels werd geproduceerd. University of Nebraska-Lincoln heeft begin 2009 een patent gedeponeerd om zeïne te extraheren uit bijproducten van bio-ethanol. Zeïne is waterbestendig, heeft anti-bacteriële eigenschappen en goed in te zetten in verpakkingsmateriaal van voeding[13]. Cornell doet onderzoek naar de kortste weg: de synthese van biopolymeren uit CO2.

2.2.2 Construeren

Veel onderzoek betreft het construeren van hybride materialen op basis van copolymeren, oftewel ketens van alternerende polymeren. Het gaat hierbij om een superieure vorm van 'lego spelen' met polymeren. Copolymeren zijn al dertig jaar bekend maar kunnen pas sinds één decennium op nanoschaal (beheerst) worden gecontroleerd. Copolymeren worden zowel in alternerende sequenties van monomeren (ABAB of AABB) als in block coplymeren waarbij een keten andersoortige monomeren aan een primaire keten worden gehecht. Ook nieuw is de ontwikkeling van gradiente copolymeren waarbij de sequentie verschuift (AB-AABB-AAABBB of AAAB-AABB-ABBB). Daarnaast kan met polymeren gespeeld worden als het ware het DNA. Copolymeren maken vaak een verschil in afwisselende eigenschappen en zijn een belangrijke methode om materialen met hybride of dynamische eigenschappen te realiseren. In de sfeer van de complexe Lego passen ook dendrimeren oftewel boomvormig gestructureerde onderling verbonden monomeren of polymeren. Ook kunnen aan polymeerketens andere materialen worden toegevoegd die chemisch verbonden zijn en een additionele eigenschap toevoegen. Ten slotte wordt getracht blind met Lego te spelen door het ontwikkelen van self-assembly: zelf assemblerende complexe polymerische structuren.

MIT is en blijft de bakermat van polymeren onderzoek. Het is een belangrijke ontvanger van NSF financiering en van overheidsopdrachten. De samenwerking met het bedrijfsleven op het gebied van polymerenproductie heeft model gestaan voor de opzet van de IUCRC's. De samenwerking met Dupont blijft van grote omvang en continuïteit. Mede door de opzet van het Institute for Soldier Nanotechnologies is het onderzoek sterker gericht op gewenste functionalitieten. De nadruk van onderzoek ligt op conductieve, hydrofobe en anti-bacteriële eigenschappen. De groep van Fink is er in geslaagd een halfgeleidende kern in een, uit twee componenten bestaande, vezel te verkrijgen. De groep van Rubner heeft polymeren rugzakjes met functionele eigenschappen weten te hechten aan bacteriën. De groep van Edelman heeft chirurgische lijm ontwikkeld op basis van hydrogels van polyethyleen glycol en dextraan aldehyde, die wondweefsel-specifiek kunnen werken. Klassieker is het werk van de MIT Polymer Processing groep die zich blijft richten op problemen van integriteit van morfologieën van polymeren tijdens polymerisatie, compounderen en extrusie.

Northwestern University[14] heeft een van de meest succesvolle centra in het onderzoeken van de constructie van hybride materialen. Doel is het ontwerpen van hybride supramoleculaire structuren op nanoschaal en hun gedrag onder verschillende omstandigheden en in verschillende fases te beheersen. In de eerste plaats wordt gewerkt met combinaties van polymeren die in verschillende vormen worden geassembleerd of zichzelf assembleren. In de tweede plaats worden nanofillers

[12] http://www.rpi.edu/
[13] http://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI9967416/
[14] http://www.mrsec.northwestern.edu/

toegevoegd, al dan niet chemisch of covalent gebonden. Daarbij worden ook combinaties van organische en niet-organische materialen gerealiseerd. Opmerkelijk is het herschrijfbaar papier waarop inkt verdwijnt als het onder het licht wordt gehouden (een nanocomposiet met gecontroleerde poriën). Amfifiele (chemische verbinding die zowel hydrofiele als lipofiele eigenschappen vertoont) peptides worden gebruikt om hoog moleculair gewicht polymeren te assembleren voor gebruik in medische membranen. Fasegevoelige gels worden geladen met keramische fillers. Gradiënte copolymeren, combinaties van styreen en methylmethacrylaat, zijn onderzocht met het oog op hun functie als protetisch materiaal.

Hybride materialen hebben ook de interesse van polymeeronderzoekers aan de University of Pennsylvania[15]. De Winey research group is tot een beheersing van polymerisatie gekomen zodat functionele zure groepen op een regelmatig interval met covalente bindingen in een polymeerketen geplaatst kunnen worden. Met dezelfde kennis van modellering en beheersing van polymerisatie zijn block-copolymeren met covalent gebonden koolstofnanobuisjes ontwikkeld. De Winey research group heeft onder andere een in situ polymerisatie van nylon weten te realiseren met nanotubes als katalysator en binder.

De University of Massachussetts in Amherst[16] is een andere hub op het gebied van polymerisatie. Het CUMIRP (centre for Umass/industry research on polymers) is van oorsprong een IUCRC met een sterke betrokkenheid van het bedrijfsleven. Daarnaast is er in Amherst een MRSEC (materials research science engineering centre). Hun werk naar polymeren behelst onder andere de ontwikkeling van anti-bacteriële polymeren en combinaties van polymeren en oligomeren. Anti bacteriële materialen worden ook ontwikkeld met de inzet van peptides en de ontwikkeling van synthetische peptides. Daarnaast wordt er gewerkt aan materialen met slow-release eigenschappen in de vorm van tri-block copolymeren. Ook worden co-polymeer structuren ontwikkeld met vuurbestendige eigenschappen. Amherst is ook een centrum voor onderzoek naar dunne films.

Dendrimeren zijn meertakkige polymeerstructuren die uitgevonden zijn door Donald Tomalia bij Dow Chemical. Zijn werk ging vooral uit naar de ontwikkeling van polyamideamine dendrimeren (PAMAM). Dow is er nooit in geslaagd de productie van dendrimeren te industrialiseren en te vermarkten. Dow heeft in 2000 zijn dendrimeren activiteit overgedragen aan Dendritech, om het vijftien maanden later weer in te lijven. In 2004 is de gehele portfolio met intellectuele eigendom overgedragen aan Dendritic Nanotechnologies[17] in Mount Pleasant (Michigan). PAMAM dendrimeren worden vooral voor onderzoeksdoeleinden gecommercialiseerd. Dendritech verkoopt priostar dendrimeren als additief voor emulsies, coatings en inktjetten om bijvoorbeeld hechting op hydrofobe oppervlaktes te verbeteren. Sigma-Aldrich[18] produceert dendrimeren met een PAMAM kern en uiteindes met verschillende groepen voor farmaceutische toepassingen en voor coatings. Tomalia gaat door aan de Central Michigan University met onderzoek naar dendrimeren, onder andere op basis van polyesteracrylaat/amines. Verder wordt onderzoek naar dendrimeren gedaan door de groep van Fréchet[19] in het bijzonder naar de toepassing van dendrimeren in katalyse en controlled release. Fréchet onderzoekt ook breder vertakte polymeren en methodes om in één enkele stap complexe moleculen te construeren. Bij het Center for Molecular Design and Recognition in Akron[20] wordt ook breder onderzoek gedaan naar complexe moleculen. De groep van Newkome ontwikkelt dendrimeren op basis van esters en ontwikkeld ook arborols (vorm van hondenbot).

2.2.3 Industrialiseren

Polymeren worden hoofdzakelijk toegepast in plastics, en in kleinere volumes in coatings, vezels en textielen, membranen en composieten. De toepassing in conductieve folies en films wordt in

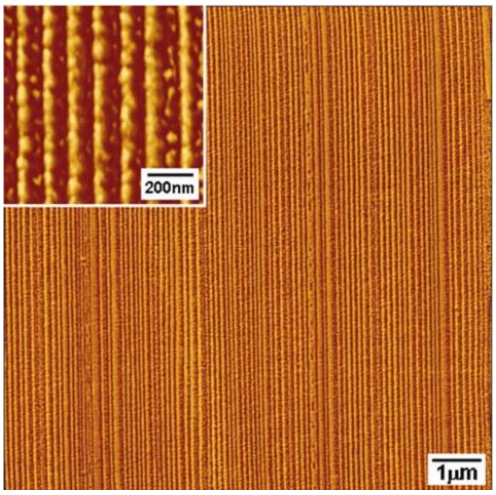
[15] http://www.seas.upenn.edu/~winey/
[16] http://www.pse.umass.edu/cumirp/
[17] www.dnanotech.com
[18] www.sigmaaldrich.com
[19] http://frechet.cchem.berkeley.edu/
[20] www.dendrimers.com

hoofdstuk 3 behandeld. Kleinere toepassingsgebieden betreffen orthetische en prothetische materialen waarvoor via de NIH en farmaceutische bedrijven (o.a. Covidian, Biomet en Zimmer met een opmerkelijke concentratie in Warsaw, Indiana), grote onderzoeksbudgetten bestaan. IPRIME (industrial partnership for science in interfacial materials engineering) aan de University of Minnesota (met de nabijheid van Medtronic)[21] is een belangrijk centrum voor ontwikkeling van nieuwe prothetische materialen met interesse voor biocompatibiliteit en biomineralisatie.

Plastic voor verpakkingen en voor licht constructieve materialen is een belangrijk toepassingsterrein. Recycleerbaarheid en gewichtsbesparing zijn belangrijke thema's. Biopolymeren vormen een belangrijk element binnen het thema van hernieuwbare grondstoffen en recycling. Biopolymeren zijn dan ook in een fase van grootschalige industrialisering en toepassing beland. Voor gewichtsbesparing wordt vooral gekeken naar de toepassing van kunststoffen met nanofillers of met zeer kortvezelige versterking. Ook hybride materialen zijn aan de orde om multi-functionele kunststoffen te realiseren.

Met de opkomst van hybride materialen is het industrialiseren complexer geworden. Het gedrag bij productie (extrusie en spuitgieten) en gebruik, bij vervorming door temperatuur, chemische agenten of zonlicht is moeilijk te voorspellen. Proceskunde van polymerenverwerking blijft aan de orde bij MIT waar het gaat om klassieke kunststoffen en aan Georgia Tech als het gaat om vezels. Ook VirginiaTech is een erkend expertisecentrum op het gebied van structuur en eigenschappen van polymeren en kunststoffen. Daarnaast zijn Ball State University (Indiana), Ferris State University (Michigan) en Penn State University in Erie (Pennsylvania) centra voor toegepast onderzoek, onderwijs en testen van kunststoffen.

De sterkste concentratie rond plastics is geclusterd in PolymerOhio[22] . Naast bedrijven werken binnen dit centrum een aantal universiteiten samen. University of Toledo animeert een consortium voor polyester onderzoek samen met een dertigtal bedrijven[23]. Onderzoek betreft vooral kristallisatieprocessen, mechanische eigenschappen, copolymeren in combinatie met polyester. Daarnaast is er een consortium over barrière eigenschappen van plastics (o.a. Polyetheen en Polyamide)[24]. University of Akron heeft met het APRC (Applied Polymer Research Centre)[25] een toepassingsgericht onderzoekcentrum op het gebied van productie en verwerking van kunststoffen. Akron doet verder onderzoek naar modellering van eigenschappen van kunststoffen, toepassing van nanofillers in plastics. CAPRI (Centre for Applied Polymer Research)[26] aan de Case Western Reserve University is eveneens gericht op toegepast onderzoek vanuit de samenhang tussen structuur en eigenschappen van kunststoffen. Onderzoek richt zich vooral op breukgedrag en de versterking van kunststoffen door toevoeging van copolymeren en nanofillers. Daarbij heeft CAPRI elastomeren ontwikkeld op basis van ethyleen.



Afbeelding 4; Multiplayer technology. Microscopische afbeelding van meer dan 4000 lagen van polyester (donkere strepen) door CAPRI

[21] http://www.iprime.umn.edu/
[22] www.polymerohio.com
[23] http://www.eng.utoledo.edu/polymer/info/Research/PET_Consortium.htm
[24] http://www.eng.utoledo.edu/polymer/info/Research/Active_Consortium.htm
[25] http://www2.uakron.edu/cpspe/applied/
[26] http://capricenter.case.edu/

2.3 Dynamiek van het Kennissysteem

Polymerenonderzoek is buitengewoon breed ingebed in de Amerikaanse onderzoeksinfrastructuur met meer dan 100 universiteiten met projectmatige activiteiten. In vergelijking met andere hoofdstukken hebben we hier slechts enkele highlights kunnen noemen. De nadruk in het onderzoek is in de afgelopen tien jaar verschoven van de macromoleculaire schaal naar de supra-atomaire schaal en is daarmee verder af komen te staan van de industriële praktijk. Het onderzoek is daarmee eerder fundamenteel van aard, gericht op het ontwikkelen van nieuwe materialen, daar waar twintig jaar geleden de nadruk lag op beheersen van polymerisatieprocessen en mechanische eigenschappen van polymeren. Buitengewoon inspirerend is de interactie tussen biotechnologie en polymeerchemie.

Het belang van fundamenteel onderzoek blijkt uit de financiering van 14 MRSEC's, het hoogste aantal in polymeren en hun toepassing. Geïnstitutionaliseerde samenwerking met het bedrijfsleven is wat afgenomen. Er zijn op dit moment geen IUCRC's meer op het gebied van polymeren. MIT was het leidend voorbeeld dat heeft geleid tot de opzet van de IUCRC. De IUCRC aan University Massachussetts leeft voort maar heeft geen overheidssteun meer als zodanig.

2.3.1 Samenwerking met Bedrijven

In vormen van programmatische samenwerking, sponsoring en contractonderzoek, blijft de samenwerking van bedrijven met kennisinstellingen van groot belang. Elk onderzoekscentrum (zie Cumirp of IPrime voor een representatief overzicht) werkt vooral met grote bedrijven en in bescheiden mate met kleinere bedrijven of start-ups. Dupont, Dow en 3M zijn daarbij belangrijke spelers met grootschalige financiële ondersteuning van MIT, de Universiteiten in Michigan en University of Minnesota. Verder zijn ook Goodrich, en Sigma-Aldrich betrokken bij het onderzoek aan Northwestern University. Daarnaast zijn de petrochemische bedrijven belangrijke partners (Exxonmobil, BP, Shell) evenals middelgrote producenten van kunststoffen en compounds zoals Americhem. Verder is er een sterke betrokkenheid van de medisch technologische sector zoals producenten van prothetische materialen, zoals de bedrijven Medtronic (Minnesota) enBiomet (Chicago). Ten slotte is de sector biopolymeren in opkomst (Dupont, Cargill-Teijin, Biofine) als partner in onderzoek. Dit is ook een sector waar sprake is van grootschalige industrialisering. Rond PolymerOhio en gelieerde kenniscentra zijn bedrijven als Wellman, Invista, Eastman, Americhem. Daarnaast zijn ook bedrijven uit Europa (o.a. Rhodia, BASF, DSM) en Azië (o.a. Teijin, Toray, SK Chemicals) actief in polymerenonderzoek.

2.3.2 Spin-Offs and Clustering

De dynamiek rond start-ups en spin-offs is hoog in de polymerensector. De nadruk ligt echter wel vooral bij bedrijven die zich richten op modellering en karakteriseren van eigenschappen en op additieven. De situatie rond dendrimeren, waar een veelbelovende technologie al twintig jaar zoekt naar een industriële en commerciële doorbraak, geeft aan dat de doorbraak op zich laat wachten. Dow heeft de dendrimeer technologie eerst op afstand gezet, vervolgens aangehaald en vervolgens weer buiten geplaatst. Rond biopolymeren zijn wel de nodige spin-offs ontstaan zoals Biofine (in samenwerking met RPI) of Novomer (green plastics vanuit Cornell), Segetis (gelieerd aan University of Minnesota). Rond materialen voor protheses is sprake van een spin-out en spin-in logica waarbij start-ups van universiteiten opgenomen worden in de grotere medische technologie concerns.

Clustering komt vooral voor in Ohio en in mindere mate in Michigan. PolymerOhio is een uiting van de samenwerking tussen bedrijven in de gehele waardeketen en kennisinstellingen. Betrokkenheid van eindgebruikers is in dit veld minder aan de orde, omdat veel onderzoek niet toepassingsgericht is. Uitzondering is te vinden bij programma's ten behoeve van defensie of

materialen voor gezondheid waar respectievelijk de DOD of NIH betrokken zijn. DOE is betrokken bij onderzoek met impact voor biobrandstoffen en daardoor zijdelings bij biopolymeren.

2.4 Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven

Zowel in de inhoud als in de organisatie van onderzoek op het gebied van polymeren bieden de Verenigde Staten veel aanknopingspunten voor Nederlandse bedrijven. De grotere ondernemingen (Shell, Akzo, DSM) hebben de weg naar de Verenigde Staten al gevonden. Op het gebied van biopolymeren is er ook aansluiting tussen Nederland en de Verenigde Staten, onder andere door de vestiging van Cargill (Natureworks) in Naarden en sterke persoonlijke verwevenheden.

Op het gebied van polymerenonderzoek bestaan alle vormen van samenwerking. Lidmaatschap van een “industrial outreach” groep is vrijwel bij alle centra mogelijk. Daarnaast bestaat de mogelijkheid een onderzoeksthema specifiek te ondersteunen dan wel contractonderzoek te financieren. Ook hebben de meeste universiteiten een patentenportfolio die in licentie kan worden uitgegeven. Een goed voorbeeld van de mogelijkheden wordt gegeven op de website van CUMIRP.

Op het gebied van geavanceerd polymeren onderzoek is Caltech het meest breed georiënteerd op het snijvlak van biotechnologie en polymeerchemie. Voor eerder genoemde biomedische toepassingen biedt University of Minnesota een goede ingang. Voor biopolymeren is CUMIRP de beste ingang en voor dendrimeren is de beste ingang CMU. Meer klassiek onderzoek naar eigenschappen en gedrag van kunststoffen vindt de beste aansluiting bij University of Akron.

Hoofdstuk 3 Functionele vezels en textielmaterialen

3.1 Domeinafbakening

Onder vezels en textielen worden functionele materialen verstaan, verkregen uit structurering van vezels door middel van webbing, breien of weven. Vezels (ook wel genoemd matrixen) worden verkregen uit natuurlijke of synthetische polymeren. Indien van natuurlijke oorsprong hebben vezels doorgaans een lengte die verdere vervaardiging mogelijk maakt. Indien van synthetische oorsprong worden polymeren doorgaans geextrudeerd en gesponnen in vezelvorm alvorens verdere verwerking mogelijk te maken. Polymeren, indien niet specifiek voor textiel bedoeld, worden in een aparte paragraaf behandeld. Textiele materialen (ook wel genoemd substraten) zijn doorgaans relatief open van structuur (en daarom ademend) flexibel van aard en hoofdzakelijk twee dimensionaal. Textiele substraten kunnen veredeld of gecoat worden en daarmee additionele eigenschappen verkrijgen. Textiel wordt hoofdzakelijk ingezet in kleding (persoonlijke bescherming en performance), interieur en technische toepassingen. Uitgesloten van dit hoofdstuk zijn composieten en membranen evenals natte processen die niet specifiek textiel zijn of folies die niet specifiek voor textiel ontwikkeld worden. Deze thema's worden in andere hoofdstukken behandeld.

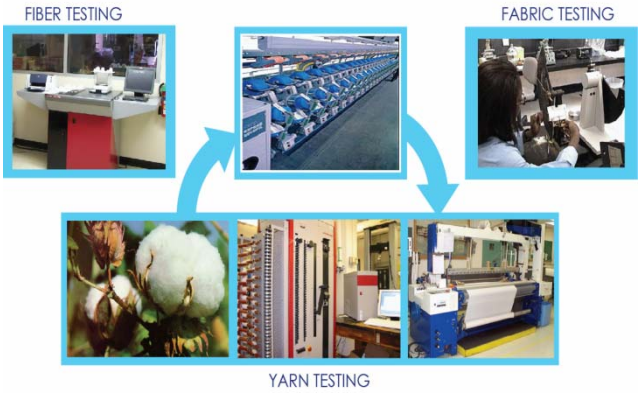
3.2 Trends in Onderzoek

Onderzoek vindt plaats in drie verschillende thema's: (1) karakterisering, structurering en ontwikkeling van structurerende materialen; (2) oppervlaktebehandelingen van vezels en substraten met als doel additionele eigenschappen te verkrijgen; (3) applicatiegericht onderzoek met als doel om textielen in te zetten ter substitutie van andere materialen of om de mate van customisatie naar de klant te verhogen. Deze thema's worden hieronder behandeld.

3.2.1 Karakterisering en Structurering

Karakterisering en structurering van materialen is sterk gerelateerd aan de ontwikkeling van nieuwe polymeren (zie hoofdstuk 2). In het huidige hoofdstuk wordt er alleen ingegaan op specifieke toepassingen in vezels.

De interesse van onderzoek gaat uit naar natuurlijke vezels in het bijzonder katoen en vlas, ontwikkeling van biovezels en structurering van synthetische vezels. Het onderzoek naar katoen en vlas komt voort uit de mogelijkheid om beide planten genetisch in kaart te brengen. De Verenigde Staten zijn nog steeds de belangrijkste producent van hoogwaardig katoen. Het Ministerie van Landbouw (USDA) heeft een belangrijke rol in coördinatie en financiering van onderzoek naar katoen, daarbij ondersteund door een krachtige zuidelijke lobby. In het geval van katoen heeft de Verenigde Staten het initiatief genomen voor een complete genetische karakterisering van katoen[27] inclusief het beheersen van de natuurlijke variatie en over-of onderexpressie van genen onder invloed van teeltwijze. De coördinatie van dit onderzoek ligt bij Texas Technical University[28]. In het verlengde van dit onderzoek doet USDA samen met Mississippi State University onderzoek naar



Afbeelding 5; katoen structuur en kwaliteitsonderzoek binnen USDA

[27] http://cottondb.org/
[28] http://www.fbri.ttu.edu/fbri/fbri_index.php

de consequentie van natuurlijke variatie van katoen voor verdere verwerking van katoen[29].

[29] http://www.ars.usda.gov/main/site_main.htm?modecode=64-35-21-00

Onderzoek naar vlas is veel kleinschaliger en kent geen genetische component[30]. Er is recent veel interesse naar de herintroductie van vlas als wintergewas in de zuidelijke staten. De interesse is ingegeven door de milieuefficiency van vlas en het gunstige klimaat in de Zuid-Atlantische staten. Daarbij wordt ook onderzoek gedaan naar biochemische ontsluiting en biomedische eigenschappen van vlas.

Toonaangevend zijn de Verenigde Staten op het gebied van biovezels, dat zijn vezels verkregen uit vergisting van natuurlijke suikers verkregen uit graan. Het initiatief is zowel publiek als privaat, waarbij Cargill en Dupont belangrijke spelers zijn. Na een meer fundamentele fase van onderzoek tot en met de jaren negentig, richt het onderzoek zich nu vooral op verbeteren van verwerking en toepassing. Clemson doet onderzoek naar methodes om thermische en mechanische eigenschappen van Polymelkzuur (PLA) te verbeteren zonder de afbreekbaarheid te beperken. Biovezels zijn een belangrijk thema van onderzoek aan Cornell en sluit aan bij hun onderzoek naar biopolymeren. Origineel is het onderzoek van Frey bij Cornell naar electrospinning van cellulosevezels verkregen uit afvalmateriaal[31]. Daarnaast is Frey er in geslaagd om PLA te electrospinnen, met daarbij een encapsulering van controlled release eigenschappen. NC State doet onderzoek naar vezels uit proteïnes zoals chitine[32].

Op het gebied van ontwikkeling van synthetische vezels, hebben de Verenigde Staten hun vooraanstaande positie verloren met de herstructurering van de vezelindustrie en het afstoten van vezelproductie door de R&D georiënteerde concerns (Dupont, Monsanto, Celanese, Honeywell). De meest interessante ontwikkeling is de ontwikkeling van de M5 vezel, ontstaan uit R&D van AKZO en nu onder de hoede van Dupont. Daarnaast is er het nodige onderzoek en ontwikkeling naar carbo-nano vezels onder andere aan GeorgiaTech[33] en Cornell. Daarnaast zijn er eerste commerciële vezels verkrijgbaar [34]. Er wordt breed onderzoek gedaan naar vezeloriëntatie en optimalisatie van processen van extrusie en veredeling van synthetische vezels.

Louis Vuitton krijgt zijn zin
Hinestroza (Cornell) is er in geslaagd een nanovezel van polyethyleen te extruderen met daarin gecontroleerde sequenties van magnetische nanodelen. De vezel is electrogesponnen op een manier waarop de richting van de stroom en de plaatsing van de magnetische delen beheerst wordt. Mogelijke toepassing zijn tracers voor het opsporen van namaak of het traceren van producten in de productieketen.

Meer fundamenteel onderzoek, naar gedrag van polymeren in vezelmatrixen, wordt gedaan aan GeorgiaTech. Zo wordt onder ander onderzoek gedaan naar electrospinnen van polyamide en polyester en wordt er gekeken naar eigenschappen van deze vezels die uit enkelvoudige polymeerketens worden gesponnen. Een belangrijke trend is onderzoek naar dynamische vezels. GeorgiaTech ontwikkeld flexibele polymeren die kunnen veranderen in harde keramische materialen onder invloed van een schok. Zowel GeorgiaTech als University of Massachussets/Dartmouth[35] doen onderzoek naar auxetische vezels: dat zijn vezels die uitzetten bij strekking. Clemson kijkt naar vezels die uitzetten en kracht winnen als ze nat worden (o.a.voor geotextielen). Ook wordt onderzoek gedaan naar bicomponent vezels (NC State) en biodegradeerbare vezels die inzetbaar zijn in protheses of implantaten. Shape memory polymeren zijn al langer een thema en worden onderzocht aan GeorgiaTech. Ten slotte wordt er nog steeds onderzoek gedaan naar vezels met lotuseigenschappen (Clemson). Ook binnen het Institute for Soldier nanotechnologies[36] wordt onderzoek gedaan naar dynamische en beschermende vezels en textielmaterialen. Belangrijk is daarbij het onderzoek naar elastomerische materialen.

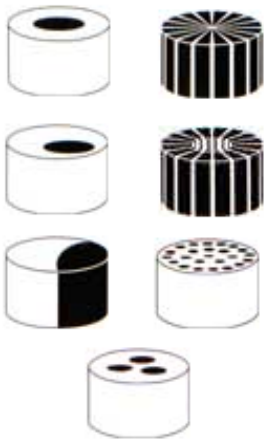
[30] Het franse GENOLIN project is hier toonaangevend.
[31] http://www.people.cornell.edu/pages/mfw24/
[32] http://www.tx.ncsu.edu/faculty_center/directory/detail.cfm?id=54#experience
[33] http://www.ptfe.gatech.edu/
[34] http://www.apsci.com/asi-research.html
[35] http://www.umassd.edu/engineering/mtx/
[36] http://web.mit.edu/isn/research/sra01/index.html

3.2.2 Toegevoegde Functionaliteiten

Toegevoegde functionaliteiten worden doorgaans verkregen door veredeling van een constructief materiaal. Dit kan zijn door het coaten of encapsuleren van vezels, dan wel door het veredelen van substraten. Doorgaans is onderzoek en toepassing van veredelingstechnieken minder arbeidsintensief. Het veredelen van textiel is sterk gerelateerd aan natte processen zoals beschreven in het hoofdstuk 4 “natte nano”. Het onderzoek naar toegevoegde functionaliteiten heeft in de eerste plaats baat bij beter inzicht in relaties tussen vloeistof en materialen, met onder andere aandacht voor adhesie, wetting, en massa transport in vezelstructuren. Dit is mogelijk door betere waarnemingapparatuur die vooral te vinden is bij goed gefinancierde instellingen (o.a. Cornell en Georgia). Zo heeft Georgia Tech een onderzoek lopen naar vloeistofstromingen in textiele substraten om de aanverving en veredeling beter te beheersen[37]. Clemson[38] en NCSU[39] doen vrij klassiek onderzoek naar aanverving van katoen en hechting van functionele eigenschappen met een vergelijkbare benadering. UC Davis past vergelijkbare modellen toe om te begrijpen hoe vloeistoffen zich bewegen en hechten in poreuze nanovezels[40].

In de tweede plaats wordt gekeken naar de toevoeging van nanodelen aan vezels en weefsels. De groep van Hinestroza aan Cornell is de meest ambitieuze als het gaat om toevoegen van eigenschappen aan textiel[41]. Zijn groep is er in geslaagd cationische katoenvezels te coaten met 20 opeenvolgende nanolagen van polystyreen sulfonaat en polyallylamine hydrochloride. De dikte en samenstelling van elke laag controleert het transport door het gemodificeerde textiel zonder de basiseigenschappen van katoen te veranderen. Mogelijke toepassing is in beschermende kleding en als vochtregulering. Dezelfde techniek is toegepast met goud (catalytische en sensorische werking) en aluminiumoxyde (catalytische en UV-reflecterende werking).

Controlled release eigenschappen is een ander belangrijk thema van onderzoek. Uitgangspunt bij veel controlled release eigenschappen is de toepassing van cyclodextrines (GeorgiaTech), PLA en Proteines zoals Chitine of alginaat (Clemson). Het kan hier gaan om medische eigenschappen of geur. De University of Philadelphia[42] heeft in samenwerking met FIT Fibres[43] (afbeelding 6) een polypropyleen vezel voorzien van een geurdragende laag, ingesloten in en PLA coating. Deze coating heeft een slow-release werking. Philadelphia doet veel onderzoek naar de receptie van nieuwe technologie en heeft ook een perceptieonderzoek onder consumenten naar geur toegevoegd. Verder wordt ook onderzoek gedaan naar textielen met anti-bacteriele eigenschappen of zelf reinigende eigenschappen (Cornell en Auburn[44]). Clemson doet onderzoek naar aanhechting van functionele polymeren die bepaalde toxische moleculen kunnen herkennen, isoleren en afbreken. Spontak (NC State) streeft een vergelijkbaar doel met het aanhechten van synthetische bio-organische hybride co-polymeren.



Afbeelding 6: bio-component vezels, om eigenschappen van vezels aan te passen (door FIT fibres)

Het toevoegen van elektronische functionaliteiten aan textiel, spreekt tot de verbeelding, maar is een klein veld van onderzoek voor zover het gaat om integratie van elektronica in vezelmatrixen of substraten. Binnen het Soldier Modernisation Programme met onderzoek aan MIT ligt de nadruk op de integratie van electronica in het gehele beschermende systeem. Het zwaartepunt van textielonderzoek ligt bij de opwekking, transport en opslag van energie in textiele

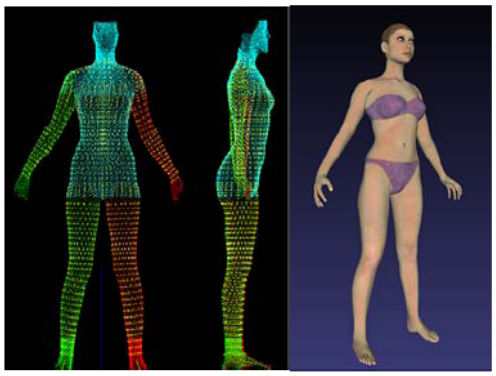
[37] http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/Bref0607/F04-GT05-07.pdf
[38] http://www.clemson.edu/mse/CD/Index.html
[39] http://www.tx.ncsu.edu/
[40] http://textiles.ucdavis.edu/
[41] http://nanotextiles.human.cornell.edu/news.htm
[42] http://www.philau.edu/engineeringandtextiles/
[43] http://www.fitfibers.com/index.htm
[44] http://www.eng.auburn.edu/txen/

materialen, omdat dit de bottleneck is bij smart textiles (GeorgiaTech, Auburn en Clemson). Andere groepen onderzoeken vooral sensoren en actuatoren, onder meer op basis van carbonanotubes (UMass en Clemson) of zeer specifieke functionaliteiten als een ingebouwde antenne of lichtgevende polymeren (UMass; University of Massachusetts Amherst).

3.2.3 Customisering en Toepassing

Mass customization is een zekere trend geworden en kent doorgaans twee onderzoeksthema's. Enerzijds wordt onderzoek gedaan naar de relatie tussen persoonlijke eigenschappen en noodzakelijke functionaliteiten. Anderzijds wordt onderzoek gedaan naar manieren om functionaliteiten gepersonaliseerd aan te brengen.

In het eerste thema lag de nadruk in de jaren negentig op anthropometrisch onderzoek, onder andere door de inzet van bodyscanning. Die technologie is thans rijp maar is eerder een onderzoeksinstrument dan een voorziening op de winkelvloer. TC2[45] heeft een werkbare bodyscanning configuratie. Recenter is onderzoek naar interacties tussen huid en textiel in het bijzonder ten aanzien van schok, contact en frictie (University of California-Davis). University of Philadelphia bouwt daarentegen aan een kennissysteem van eigenschappen van vezels en algoritmes om formuleringen voor polymeren met bepaalde eigenschappen te verkrijgen.



Afbeelding 7; 3D body scanning at TC2

In het tweede thema ligt de nadruk op digitaal verven, drukken en veredelen. University of Philadelphia doet onderzoek naar universele kleurstoffen voor digitaal drukken van diverse textielmaterialen. Dit onderzoek heeft vastgesteld dat universele receptuur niet mogelijk is en afhankelijk is van printkop en substraat. GeorgiaTech heeft een klein onderzoek gedaan naar aanbrengen van complexe functionele vloeistoffen. UMass en NC State doen onderzoek naar het printen van conductief materiaal op textiel. In vergelijking met het Europese KP6 project "Digitex" dat gelijktijdig loopt, is het onderzoek echter versnipperd; niet systematisch en niet gericht op industriële toepassing.

3.3 Dynamiek van het Kennissysteem

Onderzoek naar textiel in de breedste zin is een klein domein geworden. Er is in textiel geen enkele MRSEC of IUCRC. Een van de eerste IUCRC was op het terrein van non-woven en is in 2006 ontbonden en vervangen door het Non-Woven Institute aan NCSU[46]. Totale financiering ligt sterk onder het niveau van Europa (ca. 200 Mln per jaar). De programma's van USDA lopen wel door en zijn relatief fors. Alleen al het Institute for Soldier Nanotechnologies heeft een jaarlijks budget van ca. $18 Mln en heeft twee thema's rond vezels en textiel. Federale financiering voor het NTC is sterk afgenomen tot $7 Mln in 2008 met een onzeker perspectief voor 2009 en 2010. In vergelijking met Europa is textielonderzoek sterker ingebed in breder materialenonderzoek. Op het niveau van instellingen zijn vooral Georgia Tech en Cornell daarin geslaagd. In het geval van GeorgiaTech is textiel opgegaan in - en ondergeschikt - aan polymerenonderzoek. Bij Cornell lijkt een sterke koppeling aan het Center for Material Research garant te staan voor innovatief onderzoek. University of Massachussets heeft veel verbindingen met Rensselaer Polytechnic Institute.

[45] http://www.tc2.com/
[46] http://www.thenonwovensinstitute.com

3.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven

Met de herstructurering van de onderzoeksgeoriënteerde vezelindustrie en de dramatische inkrimping van de textielindustrie is ook contractonderzoek sterk teruggelopen. De textielsector is er niet in geslaagd, zoals in Europa, om een R&D Road Map te ontwikkelen. Het onderzoek is versnipperd en kleinschalig in de vorm van promoties en masters-onderzoek. Traditioneel zijn er veel relaties tussen bedrijven en kennisinstellingen maar deze richten zich eerder op onderwijs. Contractactiviteiten betreffen vooral evaluatieonderzoek testen en certificeren (o.a. bij Princeton[47], NC State en Clemson). ITT (vroeger Charlottesville) is nu ondergebracht bij NCSU[48]. In katoen onderzoek is zeker sprake van een nauwe verbinding tussen kennisinstellingen in Texas, Missisippi en South Carolina en de katoenboeren, onder andere door de combinatie van graderen en certificeren van katoen en agrarische adviesdiensten aan ondernemingen.

3.3.2 Spin-Offs

De toetredingsdynamiek in de textielsector is buitengewoon hoog. Dit is deels door de lage drempels en anderzijds door de herstructurering van de grote vezel en textielconcerns waaruit bedrijven ontstaan zijn. Beleid ten aanzien van spin-offs bestaat alleen bij de groepen waar textiel een onderdeel is van een grotere materialenfaculteit. Daarbuiten is samenwerking met spin-offs onder het radarscherm. Redelijk veel bedrijven richten zich op de productie of toepassing van nanofinishes. Ifybre is een spin-off van Cornell op het gebied van nanofinishes. Start-ups op het gebied van nanovezels komen vaak uit defensieonderzoek (zoals ASI[49]). Nanotex is een afsplitsing van Burlington. FIT Fibre is ook een afsplitsing van een van de grotere chemieconcerns. Het eerder genoemde M5 is een spin-off van Akzo en nu onderdeel van Dupont.

3.3.3 Clusters

Gelet op de geografische concentratie van de textiel en vezelindustrie in het Zuid-Oosten van Amerika is een clustergewijze benadering te verwachten. In South & North Carolina bestaan er hechte relaties tussen vezel en textielindustrie en kennisinstellingen (Clemson en NCSU) die in de periode 1991-2006 heeft geleid tot een IUCRC op het gebied van non-wovens. In Georgia is evenzeer sprake van concentratie van ondernemingen, maar meer een beperkte cluster gewijze samenwerking (o.a. met de tapijtsector in Dalton GA).

3.4 Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven

Bedrijven kunnen op verschillende manieren deelnemen aan onderzoeksactiviteiten in de Verenigde Staten. In de eerste plaats kunnen bedrijven onderzoeksgroepen sponsoren in de vorm van een vast bedrag per jaar. De kosten zijn voor gevestigde bedrijven in de orde van $ 10k tot 60k per jaar. Voor start-ups gelden lagere bedragen. Een sponsoring geeft inzicht in de kennis, doorgaans in de vorm van seminars. Daarnaast kunnen bedrijven betrokken worden in de onderzoeksagenda van de bedrijven of ze kunnen betrokken zijn in een gezamenlijke roadmapping van R&D groepen met een sterke onderzoeksfocus. In de tweede plaats kunnen bedrijven toegang krijgen tot de exploitatie van kennis van onderzoeksgroepen. Vrijwel alle onderzoeksgroepen patenteren hun kennis en verlenen toegang in de vorm van licenties met betaling van royalties. Daarnaast kan er gebruik worden gemaakt van faciliteiten. Sponsoren hebben hier vaak voorrang of exclusiviteit. In de derde plaats kennen vrijwel alle groepen de mogelijkheid voor derde geld stroom, doorgaans in de vorm van de financiering van een promotieonderzoek of project, tot aan het sponsoren van een groep of een programma.

[47] http://www.triprinceton.org/research/default.htm
[48] http://www.itt.edu/
[49] http://www.apsci.com

De meeste centra (behalve Cornell) kennen geen gestructureerde vorm van samenwerking zoals Industry Advisory Boards of Consortia. Cornell heeft een gestructureerd outreach programma voor kleine ondernemingen. Voor grote onderneming ligt de nadruk op exclusief contractonderzoek. Het INS aan MIT heeft een zeer gestructureerd programma voor geïnteresseerden ($ 25.000), volledige partners (vanaf $ 200.000) en voor start-ups. Bij een volledig partnership is er ook sprake van gezamenlijk onderzoek. Alle Universiteiten zijn open voor contractonderzoek. Vooral Georgia Tech en University of Massachussets-Dartmouth zijn relevant voor vezelonderzoek. NC State, Clemson en Auburn doen klassieker onderzoek naar textielveredeling en zijn redelijk laagdrempelig. Bij bedrijven met een zetel in de Verenigde Staten is het mogelijk een NTC Grant aan te vragen. Het voortbestaan van NTC staat echter ter discussie. Lidmaatschap van een brancheorganisatie is niet mogelijk, wel geeft de IFAI[50] (Industrial Fabrics Association International) een goede ingang in de Verenigde Staten.

Het textielonderzoek kent een grote breedte en diepgang binnen aan aantal projecten. De projecten zelf hebben vaak en beperkte omvang en hun toeleiding naar industriële toepassing is minder sterk geregeld. In omvang is het Amerikaanse veld kleiner dan het Europese, zowel qua budget als aantal instellingen. De financiering lijkt terug te lopen, afgezien van de sterke dotatie aan het ISN. De koppeling aan meer fundamenteel onderzoek is doorgaans voldoende tot sterk.

Inhoudelijk kent het onderzoek een aantal interessante en onderscheidende elementen van globale betekenis. Dat geldt allereerst voor het vastleggen van het genoom van katoen. Het geldt ook voor het onderzoek naar biovezels aan Cornell en het onderzoek naar functionaliseren van vezels met nanocoatings (ook Cornell). Het onderzoek van ISN is naar aard en omvang trendsettend op het gebied van persoonlijke bescherming.

De mogelijkheden op het gebied van textielveredeling met geavanceerde functionaliteiten sluiten het best aan bij de structuur van de Nederlandse textielindustrie. Daarnaast is het programma van Cornell op het gebied van biovezels interessant voor bedrijven die zoeken naar duurzame materialen. Het onderzoek naar karakterisering van katoen en de consequenties voor veredeling zijn relevant voor TenCate, Gamma en het onderzoek aan Saxion. Het onderzoek naar vlas is relevant voor de Nederlandse vlassector. Ten slotte is het onderzoek aan MIT interessant voor integratie van functies in textiel, bijvoorbeeld in bedrijfskleding.

[50] www.afai.com

Hoofdstuk 4 Zachte materialen en processen

4.1 Domeinafbakening

Onder zachte materialen worden verstaan; vloeistoffen, colloïden, gels en polymeren met een laag moleculair gewicht; meestal geheel opgebouwd uit organische moleculen, maar ook in combinaties met metalen. Onderzoek en innovatie richten zich op nano-fluidics, zoals de ontwikkeling van methodes om vloeistoffen op nano-schaal te analyseren. Daarnaast is er veel onderzoek naar katalyse of synthese van vloeistoffen op nano-schaal; het zo genoemde *lab on a chip proces*. Zachte materialen worden doorgaans niet voor constructieve doeleinden gebruikt. Zij kunnen worden toegepast in de vorm van vulmaterialen, coatings, als oppervlaktebehandelingen van films of membranen of als surfactanten. Veel materialen in dit domein zijn nagebootst of afgeleid van materialen die in de natuur voorkomen. Veel Amerikaanse R&D-activiteiten zijn dan ook gericht op deze biomimetische materialen. Het doel is overwegend om ze toe te passen als (delen van) implantaten.

4.2 Trends in Onderzoek

Bij natte processen en zachte materialen is de aandacht van onderzoek drieledig. In de eerste plaats wordt gekeken naar de dynamiek van natte systemen, het ontstaan van natte materialen en het gedrag van natte materialen. Daarbij is vaak biomimetic een leidend beginsel. In het bijzonder gaat aandacht uit naar het gedrag van *druppels op oppervlaktes*. In de tweede plaats wordt gekeken naar *functionele coatings* die zowel statische als responsieve eigenschappen hebben. In de derde plaats wordt onderzoek gedaan naar *productieprocessen en aanbrengprocessen* voor zachte materialen.

4.2.1 Druppels en Oppervlaktes

Harvard[51] heeft in het kader van haar MRSEC een breed programma op het gebied van zachte materialen. Binnen dit programma zijn er twee aandachtspunten: enerzijds de vorming van nano- en micro emulsies op basis van kennis van druppelvorming en druppels binnen een druppel. Anderzijds de ontwikkeling van responsieve vloeistoffen die beheerste faseveranderingen kunnen ondergaan. Onderzoek is ingebed in fundamentele kennis van emulsievorming, interactie van druppels met oppervlaktes en faseverandering.

De groep van Shu Yang aan de University of Pennsylvania[52] doet fundamenteel onderzoek naar druppel depositie en absorptie op verschillende typen oppervlaktes en de daardoor verkregen eigenschappen. Caltech[53] en NYU[54] doen veel onderzoek naar enzymatische processen ten behoeve van o.a. hechting. NYU (de groep van Ward) is onlangs tot MRSEC opgewaardeerd en heeft veel kennis ten aanzien van colloiden die ook ingezet worden in bijvoorbeeld coatings. Caltech doet veel onderzoek naar chiraliteit van zachte materialen, de oriëntatie van een molecuul is vaak het verschil tussen toxiciteit en bescherming daartegen. Ook doet Caltech veel onderzoek naar enzymen in relatie tot productie en hechting van zachte materialen. Dit onderzoek wordt ook in samenwerking met University of California Santa Barbara[55] uitgevoerd.

De Collaborative Industry Research van de University of Florida[56] en de Columbia University in New York (CPASS) [57] is gericht op surfactanten, en meer gericht op hun gedrag in relatie tot kleine

[51] http://www.mrsec.harvard.edu/index.html
[52] http://www.seas.upenn.edu/~shuyang/
[53] http://www.caltech.edu/
[54] http://www.nyu.edu/
[55] http://www.ucsb.edu/
[56] http://www.ufl.edu/

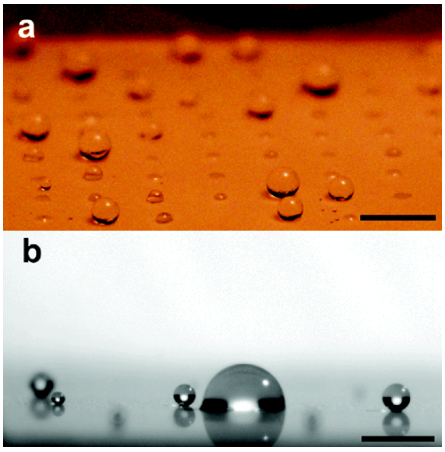
deeltjes (b.v. toxiciteit) en met oppervlaktes van materialen (dispersie). Door verbeterde karakterisering en productieprocessen wordt er nu op nanoschaal gewerkt, waarbij bijvoorbeeld met monomoleculaire polymeren wordt gewerkt bij het analyseren van dynamica of het produceren van dunne films. Het onderzoek is relevant voor het begrip van interacties tussen surfactanten en bacteria, bijvoorbeeld voor microfiltratie van water. Het onderzoek is ook relevant voor het begrip van fysisch-chemische reacties zoals polymerisatie, fasetransities waaronder kristallisatie, corrosie, wetting en hechting, maar ook voor gecontroleerde (medicijn)afgifte. Toepassingsvelden gaan van farmacie, voedingssupplementen tot functionele coatings en de glasindustrie. De grens tussen onderzoek naar nanopoeders en nanodruppels vervaagt. Zo houdt het Particulate Materiels Centre bij PennState[58] zich ook bezig met de depositie van druppels op oppervlakte, onder andere naar fluorescentie en dispersie van nano-oxides in oplossingen.

4.2.2 Functionele Coatings en Reactoren

Veel oppervlakte behandelingen beogen veranderingen van fysische eigenschappen van materialen, onder andere door het verhogen van actieve oppervlaktes met een minimaal gewicht. Daardoor veranderen de eigenschappen van doorlaatbaarheid en bescherming. Reeds klassiek, maar nog steeds in ontwikkeling, is het onderzoek naar modificatie van de fysieke eigenschappen van oppervlaktes. Dupont heeft in 2005 in haar gift van $25 mln. aan MIT[59] een thema nano-oppervlaktes opgevoerd. Hierin wordt onderzoek gedaan naar Lotus effecten; zelfreinigende oppervlaktes en katalytische oppervlaktes.

Hydrophiel/hydrophobe oppervlaktes als een namibische kever

Cohen en Rubner hebben in 2006 aan de MIT de oppervlakte van een kever kunnen nabootsen. Deze kever kan douwdruppels van 15 microns kanaliseren en transporteren van zijn rug naar zijn nek en zo in de woestijn aan noodzakelijk drinkwater komen. Zijn oppervlakte bestaat uit hydrophiele bergen die druppels opvangen, als de druppels groot genoeg zijn dan rollen ze door hydrophobe kanalen van 30-50 micron breed naar een opvangpunt. Cohen en Rubner zijn er in geslaagd een vergelijkbare structuur te maken met silica nanodelen die textuur en porositeit creeren en PTFe op nanoschaal die hydrophiele zones creeren. Met deze technologie kan water worden opgevangen maar kunnen ook scheiding en synthese instrumenten ontwikkeld worden (zie afbeelding 8).



Afbeelding 8; boven; a)druppels op een superhydrofobe oppervlakte, b)de druppels accumuleren op het hydrofobe gebied in a.

Origineler is het onderzoek van RPI (Rensselaer Polytechnic Institute)[60] naar nano-lijmstructuren, waarbij pilaren van moleculen worden ontworpen die temperaturen van 700 graden kunnen weerstaan. Dezelfde kennis wordt nu ook ingezet voor de ontwikkeling van hittebestendige oppervlaktebehandelingen. RPI doet ook onderzoek naar fouling gedrag op materialen en druppelstructuren die fouling tegengaan (vooral relevant bij membranen).

Veel groepen houden zich bezig met responsieve oppervlakte behandelingen. Gezochte eigenschappen zijn chemische, bacteriële bescherming en biocompatibiteit. Veel van dit onderzoek wordt besproken bij de onderliggende materiaalschetsen (textiel, membranen, composieten). Aan de University of Southern Mississippi[61] werkt de groep van Urban aan responsieve polymeren en coatings. Deze groep was eerst een IUCRC en nu erkend als een MRSEC door de Public health and

[57] http://www.columbia.edu/
[58] http://www.mri.psu.edu/centers/pmc/
[59] http://web.mit.edu/
[60] http://www.rpi.edu/
[61] http://www.usm.edu/mrsec/

safety program. Aandachtspunt is zelfhelende coatings op basis van combinaties van natuurlijke (e.g. chitosan) en synthetische polymeren (e.g. polyurethaan). Zelfhelendheid en responsive coatings zijn ook een belangrijk thema bij het ISN.

Een belangrijk onderzoeksthema betreft hydrogels, hoofdzakelijk uitgevoerd bij Northwestern University. Hydrogels zijn hydrofiele polymeer netwerken die water kunnen absorberen maar niet in water oplossen. Hydrogels die worden bestudeerd zijn vaak opgebouwd uit eiwitten of koolhydraten, zoals polysaccharides. Hydrogels zijn interessant als biocompatibel materiaal en als gastmolecuul voor andere verbindingen die nieuwe eigenschappen aan de gel toevoegen. Er wordt onderzoek gedaan naar processen waarin zelfassemblage van moleculen tot grotere structuren plaatsvindt en naar de relatie tussen gastheer-gast tussen hydrogels en toegevoegde stoffen. Onderzoek naar hydrogels is vooral relevant voor inkapselen van eigenschappen die voor medische toepassingen belangrijk zijn of voor oppervlaktebehandelingen van materialen. Zo onderzoekt het Garcia MRSEC Centre[62] at SUNY Stony Brook opname van eiwitten in hydrogels, biomineralisatie en toxiciteit. Dit onderzoek is vooral relevant voor de ontwikkeling van biocompatibele materialen.

Een overtreffende trap in zachte materialen is de ontwikkeling van microsystemen die vloeistoffen kunnen veranderen waardoor toxische materialen kunnen worden afgebroken of beschermende vloeistoffen kunnen worden gegenereerd na externe stimuli. Microfluidics en nanofluidics (o.a. bij Sandia National Laboratory, Cornell University en Georgia Tech) vormen een opkomend gebied van onderzoek. Het onderzoek gaat in twee richtingen: bestudering van het gedrag van vloeistoffen binnen nanodevices met het doel om te komen tot katalyse of synthese (micro-reactoren) en de ontwikkeling van analysemethodes voor bijvoorbeeld de meting van toxiciteit. In deze sfeer is het onderzoek van het ECBC (European Covered Bond Council) van het US Army Research, Development and Engineering Command meer toegepast op het inzetten van micro-fluidics in het detecteren van chemische of biologische verontreiniging. Dit onderzoek sluit sterk aan bij concepten als lab-on-the-chip en bij micro/nanoreactoren zoals ook onderzocht door PennState University.

4.2.3 Processen en applicaties

Een aantal centra houdt zich bezig met industriële processen en behandelingsprocessen. ERSP (Environmentally Responsable Solvents and Processes) aan University of North Carolina in Chapel Hill hield zich bezig met oplosmiddelen waaronder alternatieve processen als oplossen in superkritische CO2. Het ging zowel om het begrijpen van gedrag van oplosmiddelen op macromoleculaire schaal, als om onderzoek naar transportmechanismes van moleculen. Industrieel toepasbaar onderzoek betreft vooral de inzet van CO2 als alternatief proces. Dit centrum is nu gestopt, maar de kennis blijft aanwezig. De IUCRC bij Iowa Universiteit kijkt naar processen van fotopolymerisatie ten behoeve van oppervlaktebehandelingen. Het gaat hier om de toepassing van UV bij de uitharding van polymeren en het begrijpen en beheersen van de achterliggende polymerisatieprocessen.

Northwestern University en Washington University hebben eerder de route gekozen van de gelocaliseerde microdepositie door middel van dip-pen nanolithography waarmee zowel oplossingen van biomoleculen als nanometalen op harde oppervlaktes kunnen worden aangebracht. Inktjettechnologie voor het gericht aanbrengen van vloeistoffen wordt onderzocht aan Virginia Tech, Georgia Tech en Carnegie Mellon University.

Het onderzoek van de nationale overheidslaboratoria (energie, homeland security en defensie) en de laboratoria van de National Institutes of Health op dit gebied richten zich meer op de concrete toepassingen. Meest relevant zijn Pacific Northwest Laboratory (katalyse), Brookhaven National Laboratory (biomaterialen), en Sandia en Oak Ridge. Het DOE zet vooral in op natte nanotechnologie en katalysetechnologie om brandstoffen en nieuwe materialen voor energieproductie en -opslag te ontwikkelen. Het DHS (Department of Homeland Security) en het DOD richten zich sterk op de opsporing van chemische en biologische agentia. Medisch onderzoek gaat vooral uit naar ontwikkeling van medicijnen en materialen voor protheses.

[62] http://polymer.matscieng.sunysb.edu/

4.3 Dynamiek van het Kennissysteem

Financiering van dit onderzoek is van overheidswege vindt plaats via de gesubsidieerde MRSECs (ca. $ 8-12 mln per thema) en via de IUCRC. In beide geval is er sprake van samenwerkingsverbanden van universiteiten en de betrokkenheid van bedrijven. Er zijn vijf relevante IRG (integrated research groups) gefinancierd binnen het MRSEC en een achttal IUCRCs. Daarnaast zijn er nog financieringen vanuit de staten. Binnen de nationale laboratoria zijn er drie in sterke mate gericht op natte processen (PNL, Sandia en Brookhaven) en een ECBC specifiek gericht op detectie van chemische en biologische agenten. De uitbreiding van financiering, voorzien door het stimulus package, zal vooral energie en gezondheid betreffen.

4.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven

Grote bedrijven zijn dominant in het thema van natte processen en zachte materialen. Dat zijn hoofdzakelijk de grote Amerikaanse chemieconcerns zoals Dow, DuPont, 3M, Cytec maar ook (para) farmabedrijven als Pfizer, GSK, Johnson&Johnson en cosmeticaproducenten, zoals Estee Lauder of systeemproducenten zoals Millipore (filtratie). Opmerkelijk is hier echter de opkomst van Europese bedrijven deels via de overname van Amerikaanse bedrijven. Sandoz, CIBA, Henkel, Evonik, BASF, Bayer zijn alle betrokken bij meerdere IUCRCs. Van de Nederlandse bedrijven zijn Akzo, DSM en Unilever het meest actief binnen de IUCRCs.

4.3.2 Spin-Offs

Er zijn een twintigtal spin-off bedrijven in kaart gebracht in dit thema. De meeste bedrijven richten zich op de ontwikkeling van chemische bouwstenen of op productieprocessen. Liquidia (CO2) en Nano-Ink zijn de interessantste spin-offs waar het gaat om gecontroleerde productie van nano-oppervlaktes. Daarnaast zijn er spinn-offs vanuit University of Washington die functionele eiwitten en peptides leveren die oxiden kunnen binden of die biomaterialen aan inerte oppervlaktes kunnen binden (Synthetech en Biohesion).

4.3.3 Outreach en Clustervorming

Er is op het terrein van natte nanotechnologie sprake van gestructureerde samenwerking tussen centra en bedrijven, doorgaans in de vorm van Industry Advisory Boards. Daarbij gaat het om verschillende activiteiten, van toegang tot activiteiten (sponsoring van doorgaans 10-25k per jaar waarbij toegang tot seminars mogelijk is) tot bilateraal contractonderzoek. De nadruk ligt op bilateraal onderzoek en niet op clustervorming. Ook is het aantal spin-offs beperkt. In een aantal staten (o.a. Maryland, Pennsylvania, Massachussets en Washington) wordt geprobeerd clustergewijs kennisdisseminatie te bevorderen. Daarnaast kennen de meeste universiteiten technoparks. In enkele gevallen (b.v. PennState samen met Honeywell en Dupont) wordt gezamenlijke infrastructuur gefinancierd en gebouwd.

4.4 Kansen voor het Nederlandse Bedrijfsleven

Natte nanotechnologie en materialentechnologie vormen een kleiner thema binnen de onderzoeksprogrammering van het NSF en bij de nationale overheidslaboratoria. Toch is de breedte van het domein, de diepgang en volume van het onderzoek substantieel. Er is op veel domeinen ook sprake van concurrentie en emulatie. Er is enige overlap en concurrentie tussen instituten. De koppeling aan traditionele sectoren waarin natte processen relevant zijn (b.v. textiel), lijkt zwak. Er zijn goede verbindingen met de grotere bedrijven. Er zijn echter geen innovatieclusters rond deze technologieën. Het aantal spin-offs is beperkt. De meeste grote Europese chemiebedrijven, en enkele Nederlandse bedrijven, zijn goed betrokken bij onderzoek van o.a. Unilever en Akzo.

Domeinen die in het bijzonder interessant zijn, betreffende fundamentele kennis van het gedrag van vloeibare materialen in relatie tot oppervlaktes en in het bijzonder gedrag van surfactants.

Inkjetting als applicatietechnologie is ook interessant om te volgen of erbij aan te sluiten. Hydrogels zijn een veelbelovende manier om materialen te functionaliseren. Nadeel is echter dat veel onderzoek tamelijk fundamenteel is, en weinig praktijkgericht. Bedrijven die willen samenwerken met kennisinstellingen zullen over een goede toegepaste onderzoeksinfrastructuur moeten beschikken.

Alle vormen van samenwerking bestaan, van deelname in een Industry Advisory Board of Outreach groep binnen een MRSEC lidmaatschap van IUCRC aan bijvoorbeeld CPASS, dan wel uitbreiding in de vorm van contractonderzoek. Mogelijkheden van licenties zijn ook breed ontwikkeld in dit thema. Er is geen branche/organisatie die natte/zachte materialen dekt. Wel zijn veel relevante bedrijven en instellingen verbonden tot de American Chemistry Council of de American Chemistry Society.

Hoofdstuk 5 Membranen en Filtratiematerialen

5.1 Domeinafbakening

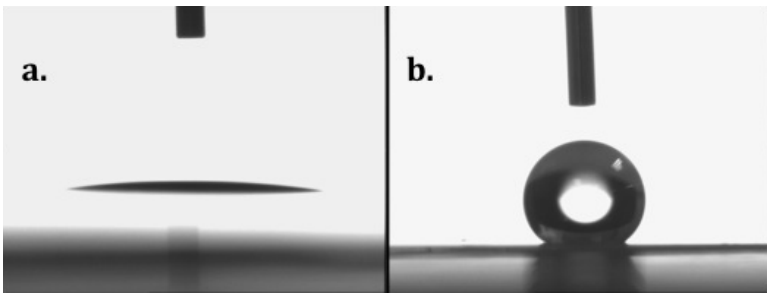
Onder membranen worden materialen verstaan met een filtrerende functie. Daarbij kan filtratie een barrière (negatieve filtratie) betekenen of een selectie van te gebruiken elementen (positieve filtratie). Membranen kunnen vliesachtige materialen zijn of geextrudeerde tubes. Membranen kunnen toegepast worden in de zuivering van water, lucht en gassen of voor het scheiden van chemische elementen in een productieproces. Membranen zijn doorgaans onderdeel van een complex systeem, zoals uitlaatsystemen van auto's, energiecentrales en waterzuiveringsinstallaties. Filtratietechnologie is een groeisector vanwege de nadruk op beperking van vervuiling van lucht en oppervlaktewater en op de toenemende schaarste van drinkwater.

5.2 Trends in Onderzoek

Onderzoek en innovatie richten zich vooral op vier toepassingen: (1) waterzuivering, (2) scheidingstechnologie voor chemie, voeding en farmaceutica, (3) gas en dampseparatie in het bijzonder CO2, en (4) toepassing van membranen in brandstofcellen. Onderzoek richt zich in de eerste plaats op het beter begrijpen van scheiding/filtratie op nanoschaal, in de tweede plaats op het ontwikkelen van nanomembranen en nanocoatingen op membranen, in de derde plaats op levenscyclus aspecten van membranen en in de vierde plaats wordt onderzoek geïntegreerd benaderd vanuit toepassingsvelden, in het bijzonder water management.

5.2.1 Waterfiltratie

Het belangrijkste netwerk op het gebied van waterzuivering en membranen is Permeant[63] dat een samenwerking is van Duke University en twee vakgroepen aan Michigan State en drie centra in Frankrijk en een in Oekraine. Het werk van Permeant integreert alle aspecten van waterfiltratie en de toepassing van nanotechnologie. Sterker dan bij andere onderzoekscentra zijn life-cycle aspecten en milieueffecten van nanotechnologie geïntegreerd in het onderzoek.



Afbeelding 9; a) water contacthoek vóór modificatie en b) en na behandeling van perfluorosilane/membraam.

Bij Duke ligt de nadruk op het bestuderen van fenomenen hoofdzakelijk op fouling. Bij de groep van Bruening[64] aan de Michigan State University ligt de nadruk op het ontwikkelen van materialen. Er wordt onder andere gewerkt aan membranen vervaardigd uit holle vezels, oppervlakte behandelingen met rasters van hydrophobe materialen of ionen om fouling tegen te gaan. Deze groep werkt ook aan coatings (o.a. titanium- en zilveroxydes) en onderzoek naar hun effect op antibacteriële filtratie.

Aan de University van Yale volgt de groep van Elimelech[65] dezelfde geïntegreerde benadering. Deze groep doet onderzoek naar het gedrag van nanodelen in een wateromgeving en in het

[63] http://permeant.cee.duke.edu/
[64] http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/bruening/
[65] http://www.yale.edu/env/elimelech/Research_Page/Research_page.html

bijzonder naar interacties tussen nanodelen en chemische en bacteriële verontreiniging. Het beperken van fouling is ook bij Yale een belangrijk thema. Elimelech verkent de mogelijkheid om membranen te construeren uit carbonanotubes en fullerenes. Ten slotte wordt onderzoek gedaan naar reductie van energiegebruik bij desalinisatie of zuivering van brak water of afvalwater. In het bijzonder is daarbij onderzoek gedaan naar voorwaartse osmose. Door de toepassing van een voorwaartse druk door de inzet van gassen kan met meer energie water gezuiverd worden.

De groep van Freeman aan University of Texas[66] werkt zowel aan gaszuivering als aan waterzuivering. Een recent succes op het gebied van waterzuivering, samen ontwikkelt met Virginia Tech, bestaat uit het chloor resistent maken van een polyamide filter door middel van een sulfone coblockpolymeren in een polyamide schuim. De groep van Coleman aan de University of Toledo heeft onderzoek gedaan naar de toepassing van hydrogels als coatingmateriaal voor membranen.

5.2.2 Industriële Scheiding

Bij industriële scheiding is de uitdaging het vergroten van actieve oppervlaktes in objecten met een klein volume. Nanotechnologie kan daarbij een uitkomst bieden. De groep van Bruening aan MSU is één van de meest creatieve als het gaat om het ontwikkelen van materialen met filtrerende eigenschappen. Naast concepten voor waterzuivering wordt breed gewerkt aan concepten voor industriële en medische zuivering op basis van nanocoatings. Ook de groep van Tarabara aan MSU (Michigan State University) heeft een brede ervaring met nanocoatingen. Zij hebben het voornemen om samen te werken met George Chase aan de Universiteit van Akron[67] in een IUCRC die in 2008 is toegekend. Ook Chase is zeer creatief met onder andere membranen vervaardigd uit nylon 6.6,. gecoat met zeoliten uit nylon 6.6, gecoat met titanium of electro-gesponnen polystyreen verkregen uit afgedankt schuim. De laatste realiseren een hogere efficiency in scheiding. Membranen met titanium kennen een hogere bestendigheid tegen zuren en hitte dan bestaande membranen en hebben een catalytische werking. Zeolieten (alumino-silicaten) kennen een uniforme porositiet en werken als moleculaire zeef.

Borstelmembranen voor proteïneopvang.
De groep van Bruening aan MSU heeft een tubulaire membraan voorzien van een borstelstructuur van polymeren op nanoschaal. Hierdoor neemt de oppervlakte in een membraan aanzienlijk toe. De groep van Bruening heeft ook een catalytische coating ontwikkeld op basis van een eerste polyanionische laag, vervolgens een polycationische laag en tenslotte een laag zilvercolloïden. De catalytische werking is sterk verhoogd in vergelijking met traditionele catalytische coatingen.

De nieuwe IUCRC lijkt veelbelovend en kan een geduchte concurrent worden voor het membrane applied science and technology centre aan University of Colorado in Boulder[68]. Een belangrijk onderzoekscentrum voor industriële membraan en scheidingstechnologie is de eerder genoemde University of Texas met haar technische faciliteiten[69].

Binnen de MRSEC's kijken University of Southern Mississippi en University of Pennsylvania vooral naar biomimetische membranen op basis van proteïnen of geïnspireerd uit celwal structuren. Deze membranen lijken geschikt te zijn voor zuivering van farmaceutica en andere precisie zuivering.

5.2.3 Gasfiltratie

Georgiatech, University of Toledo en University of Texas onderzoeken vooral membranen voor gas scheiding en kijken naar het toevoegen van functionaliteiten aan klassieke polyimide en polysulfone membranen door o.a. nano-oxydes, eventueel in een keramische matrix. Scheiding van

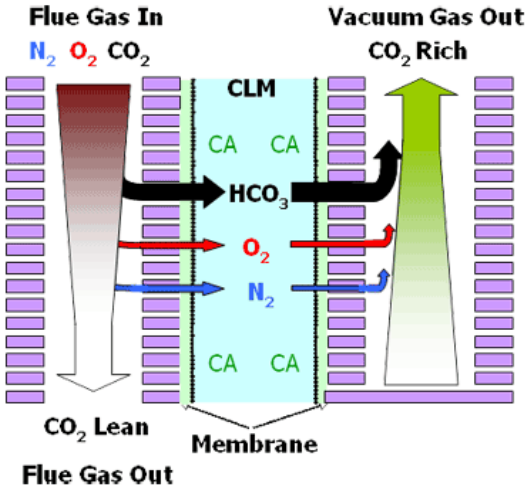
[66] http://membrane.ces.utexas.edu/
[67] http://www.engineering.uakron.edu/~chem/fclty/chase/chase.html
[68] http://www.mastcenter.org/
[69] http://uts.cc.utexas.edu/~utsrp/

CO2 wordt breed onderzocht, bijvoorbeeld door het ontwikkelen van amines met holle cellulose-acetaate vezel sorbenten met aanhechten van alkyleneimines.

De groep van Koros aan GeorgiaTech[70] neemt materialen als uitgangspunt en kijkt breed naar de interactie tussen verschillende materialen en gaszuivering. Hier wordt gekeken naar polymerische membranen (o.a. polyamides en polyphenyl sulfides) maar ook naar keramische membranen. Daarbij doet de groep van Koros onderzoek naar de toepassing van een breed scala aan coatings op membranen en naar composiet membranen waarbij actieve delen in conventionele matrixen worden gebracht.

De groep van W.Ho aan Ohio State ontwikkeld kennis en systemen voor het zuiveren van waterstof[71] en koolstofdioxide op basis van amines in polymeernetwerken. De groep van Coleman[72] (Toledo) onderzoekt enerzijds modificaties van polyimide membranen door het toevoegen van nanofillers die de selectiviteit verhogen bij gasfiltratie onder extreme omstandigheden. Anderzijds doet de groep onderzoek naar nanofillers uit hernieuwbare grondstoffen. De groep van Chase doet met de eerder genoemde nanocoatings ook onderzoek naar de toepassing in gaszuivering. Buiten de kennisinstellingen heeft Carbozyme[73] een membraan ontwikkeld met enzymen die koolstofdioxyde uit rook kunnen opvangen en opslaan. Los Alamos heeft in 2005 een meniscusvormig membraan ontwikkeld met een hogere efficiency in CO2 opvang.

De MRSEC aan Cornell University en een Consortium onder leiding van Stanford University onderzoeken de werking van membranen met de dikte van een atoom en systemen die daaruit opgebouwd zijn. Ook deze membranen lijken inzetbaar voor filtratie van elementen met een laag moleculair gewicht zoals gassen.



Afbeelding 10; membraan die koolstofdioxyde opvangt uit rook (Carbozyme).

5.2.4 Brandstofcellen

Een groot aantal centra doet onderzoek naar ontwikkeling en toepassing van membranen in brandstofcellen. De basis van het onderzoek ligt bij de PEM (Proton Exchange Membranes). Doelstelling is om tot goedkopere en meer efficiënte oplossingen te komen voor het opwekken van stroom uit brandstoffen als ook het bereiken van een grotere weerstand tegen hitte en zuren en daarmee de levensduur te verlengen. De huidige benchmark is Nafion van Dupont dat in veel onderzoek als uitgangspunt wordt genomen. Membranen uit UHMWPE zoals van Lydall (voorheen Solupor van DSM) lijken veelbelovend gelet op een beter kosten/rendement verhouding.

Het nationaal laboratorium van Los Alamos[74] heeft de basis gelegd voor membranen voor brandstofcellen circa 20 jaar geleden en geeft leiding aan een nationaal consortium voor onderzoek naar brandstofcellen op basis van waterstof. Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar manieren om de levensduur van alkalyne membranen (waarbij goedkopere metalen voor electrode catalyse worden ingezet) te verlengen. Daarnaast is ook een membraan ontwikkeld uit een cobalt-polypyrrole-carbon composiet die eveneens veel lagere kosten kent dan de platina gebruikende PEMFC.

[70] http://www.chbe.gatech.edu/koros/
[71] http://www.chbmeng.ohio-state.edu/people/ho.html
[72] http://www.eng.utoledo.edu/~cheedept/coleman.htm
[73] http://www.carbozyme.us/index.html
[74] http://www.lanl.gov/orgs/tt/license/technologies/index.php?fuseaction=home.viewTechnology&id=148

Een ander competentiecentrum op het gebied van brandstofcellen is aan de University of South Carolina[75]. Brian Benicewicz doet onderzoek naar membranen op basis van PBI (polybenzimidazoles) geïmpregneerd met hoge concentraties phosphorzuur op een manier die de membraan niet aantast en tot temperaturen van 200 graden functioneel zijn. Eerder had hij binnen Rensselaer Polytechnic Institute leiding gegeven aan onderzoek waarbij de nadruk ligt op PBI een materiaal dat door Celanese was ontwikkeld ten behoeve van brandweerkleding.

De groep van Pintauro aan Vanderbilt University[76] ontwikkeld netwerken van electrogesponnen nanomembranen uit block co- polymerische structuren die gebruikt kunnen worden als alternatief voor PEMCF. Vanuit een textiel perspectief doet University of Auburn onderzoek naar toepassing van gecoate en gelamineerde textielen in brandstofcellen[77].

5.3 Dynamiek van het Kennissysteem

Membranen onderzoek in de Verenigde Staten heeft zowel breedte als diepgang en is ook sterk verbonden met fundamenten van nanotechnologie en biotechnologie. Het kennisdomein is sterk gestructureerd rond de North American Membrane Society (onderzoek) en de AMTA (industrie en eindgebruikers). Er is een sterke koppeling aan toepassingsterreinen o.a. in waterzuivering en brandstofcellen. Los Alamos en University of Southern Carolina geven elk leiding aan consortia rond materialen voor brandstofcellen waarbij bedrijven als Dow, 3M, Gore betrokken zijn.

Er zijn relatief weinig MRSECs en fundamenteel onderzoek actief op het gebied van membranen. Het domein kent wel drie IUCRC. De perspectieven van het IUCRC in Akron zijn interessant en verdienen aandacht van Nederlandse ondernemingen en kennisinstellingen. Daarnaast zijn de ministeries belangrijke financiers zoals USAID (United States Agency for International Development) op het gebied van waterzuivering, USDA (United States Department of Agriculture) op het gebied van gaszuivering en DOE (Department of Energy) op het gebied van brandstofcellen en CO2 separatie (ruim $60 Mln in het kader van de Hydrogen Initiative).

5.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven

Deelname van bedrijven in membranen onderzoek is zeer actief met spelers als DuPont, Millipore, 3M, W.L.Gore & Associates, Donaldson. Deze bedrijven zijn betrokken bij de IUCRC en bij contractonderzoek. 3M en Gore zijn ook actief in de consortia op het gebied van brandstofcellen. Daarnaast zijn automobielbedrijven sterk betrokken bij brandstofcellen, vooral nu ze aan het infuus van de federale overheid liggen. De olie en gas industrie is actief bij financiering van gasseparatie en filtratie vooral aan de University of Texas. Waterbedrijven (ook Europese bedrijven zoals Suez en Veolia) zijn sterk betrokken bij onderzoeksgroepen rond waterfiltratie.

5.3.2 Spin-Offs

Er zijn relatief veel spin-offs op het gebied van membranen, zowel op het gebied van materialen als op het gebied van systemen. Carbozyme is eerder genoemd. H2Pump is een spin-off van Rensselaer op het gebied van electrochemische waterstofpompmembranen. Oasys is een spin-off ontstaan uit de groep van Elimelech in Yale op het gebied van voorwaartse osmose. Mempro is een spin-off van Akron op het gebied van keramische membranen en electro-gesponnen membranen.

5.4 Kansen voor het Nederlandse Bedrijven

Bedrijven kunnen op verschillende manieren deelnemen aan onderzoeksactiviteiten in de Verenigde Staten. In de eerste plaats kunnen bedrijven onderzoeksgroepen sponsoren in de vorm van een vast bedrag per jaar. De kosten zijn voor gevestigde bedrijven in de orde van $10k tot $60k per jaar. Voor start-ups gelden lagere bedragen. Een sponsoring geeft inzicht in de kennis, doorgaans in de vorm van seminars. Daarnaast kunnen bedrijven betrokken worden in de onderzoeksagenda

[75] http://www.che.sc.edu/centers/PEMFC/index.html
[76] http://www.che.vanderbilt.edu/index.php/faculty/144-peter-pintauro
[77] http://www.eng.auburn.edu/txen/

van de bedrijven of in een gezamenlijke roadmapping van R&D groepen met een sterke onderzoeksfocus. In de tweede plaats kunnen bedrijven toegang krijgen tot de exploitatie van kennis van onderzoeksgroepen. Vrijwel alle onderzoeksgroepen patenteren hun kennis en verlenen toegang in de vorm van licenties met betaling van royalties. Daarnaast kan er gebruik worden gemaakt van faciliteiten. Sponsoren hebben hier vaak voorrang of exclusiviteit. In de derde plaats kennen vrijwel alle groepen de mogelijkheid voor een derde geld stroom, doorgaans in de vorm van de financiering van een promotieonderzoek of project, tot aan het sponsoren van een groep of een programma.

De formules voor samenwerking zijn wat beperkter in de membranensector. Over het algemeen is lidmaatschap van de brancheorganisaties aan te bevelen, daarvoor is wel een rechtspersoon in de Verenigde Staten noodzakelijk. Daarnaast kennen bepaalde groepen sponsoren of leden, dat geldt in het bijzonder voor de drie IUCRC´s. Daarnaast is samenwerking vooral licenties of contractonderzoek.

Onderzoek naar membranen en filtratie is van een hoog niveau en hoewel het geconcentreerd is rond een aantal centra, is het onderzoek zowel diep als breed. Betrokkenheid van bedrijven is sterk, het aantal spin-offs aanzienlijk en eindgebruikers zijn sterk verbonden tot onderzoek. De schakeling van nanotechnologie en biotechnologie naar concrete toepassing heeft veel potentie.

Er zijn directe en indirecte redenen om bij het Amerikaanse onderzoek betrokken te zijn. In de eerste plaats kan het relevant zijn voor de primaire resultaten die ten aanzien van nanoformatie van membranen en nano-coatingen zonder meer interessant zijn. Vooral de groep van Chase in Akron ,met de te vormen IUCRC, is de moeite waard om bij aan te sluiten. De indirecte reden is dat de Verenigde Staten de grootste markt voor filtratie vormen. Betrokkenheid bij onderzoek geeft ook toegang tot eindgebruikers en financiers van onderzoek. De Permeant Group op het gebied van waterzuivering vormt een goede ingang, net als de USC voor brandstofcellen.

Hoofdstuk 6 Composieten

6.1 Domeinafbakening

Composieten zijn feitelijk combinaties van twee materialen, die gezamenlijk een vorm van structurering ondergaan. Klassieke composieten gaan van versterkte kunststoffen tot aan continue vezelstructuren in een matrix van hars. Composieten worden vaak verkregen door een combinatie van een web of weefsel en een persproces waarin de harsmatrix aan de vezel hecht. Composieten kunnen thermohardend zijn (hard worden bij temperatuur en vormhoudend) of thermoplastisch zijn (vervormbaar bij temperatuur). Composieten worden beschouwd als constructieve elementen (anders dan films en folies) in 2-D of 3-D. Gangbare toepassingen zijn o.a. lucht- en ruimtevaart, automobiel, apparatenbouw en sport en bescherming. Militair gebruik is vaak van grote betekenis en van oudsher een leading customer.

6.2 Trends in Onderzoek

Gebruik van composieten in lucht en ruimtevaart is van groot belang in de Verenigde Staten en vormt het fundament voor onderzoek naar composieten. De Verenigde Staten is de belangrijkste gebruiker van composieten in ruimtevaart en luchtvaart. De volumes zijn in deze markten relatief gering. Het meeste onderzoek gaat uit naar gewichtsreductie, functieoptimalisatie en additionele functies. In de periode 2001-2006 is veel aandacht uitgegaan naar ballistische toepassing voor persoonsbescherming. Onderzoek ten behoeve van toepassing van composieten in volumemarkten, zoals automobiel en apparatenbouw is veel recenter van aard en richt zich vooral op goedkope en snelle productie van composieten alsmede ook in toenemende mate biocomposieten. Met het stimulus package van Obama krijgt de toepassing van composieten in auto's en energiesystemen veel meer aandacht. Van oudsher zijn Californie en Florida de vooroplopers in composiet onderzoek. Recentelijk lijkt het zwaartepunt te verschuiven naar de industrial heartlands van Ohio en Michigan.

Het onderzoek naar composieten profiteert van beter begrip van de fundamenten van polymerisatieprocessen als ook het gedrag van hybride materialen. De ontwikkeling van nanotechnologie geeft ook toegang tot nieuwe additieven. Biotechnologische kennis maakt het mogelijk regelmatigheid te beheersen in natuurlijke grondstoffen. Daarnaast integreert composiet onderzoek ook de vooruitgang in materialenkarakterisering en simulatie van gedrag door middel van computer modelling. Veel onderzoek integreert prototyping en productieprocessen.

6.2.1 Versterken en Verlichten

Een sterke trend is het realiseren van sterkere en lichtere composieten. Daarvoor worden een aantal strategieën gevolgd die betrekking hebben op de vezelstructuur, de harsmatrix of het basisconcept. Binnen de eerste strategie wordt op het gebied van vezelstructuren onderzoek gedaan naar nano-composieten waarbij de klassieke vezelstructuur van koolstof, aramide of andere hoogmoleculairgewicht polymeer wordt vervangen door een web van geextrudeerde of nanogesponnen carbo-nano-tubes (o.a. FSU[78], Texas A&M[79]). University of Michigan (Kotov groep[80]) is er in geslaagd een gelaagde nanocomposiet te bouwen op basis van een enkele laag moleculen. Hiermee wordt een materiaal bereikt dat met een lager gewicht een hogere sterkte verkrijgt. De tweede strategie bestaat uit het versterken van de harslaag met nano-fillers (tubes of klei) waardoor de hars een betere hechting krijgt (b.v. onderzoek bij CPASS aan Columbia[81]). Ten slotte wordt

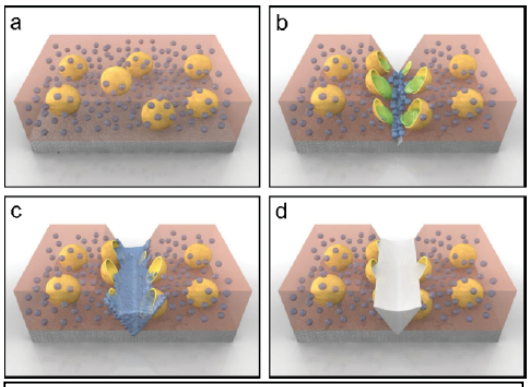
[78] http://www.hpmi.net/
[79] http://nanocomposites.tamu.edu/index.php
[80] http://www.engin.umich.edu/dept/che/research/kotov/
[81] http://www.columbia.edu/

onderzoek gedaan naar direct spuitbare of gietbare composieten op basis van nanovezels en fillers (o.a. Uni.Wisconsin[82]). De nadruk bij lichtere composieten ligt vooral bij hoogwaardige toepassingen zoals in de lucht en ruimtevaart maar steeds meer binnen onderdelen van apparaten (drukvaten en leidingen). De toepassing van fillers maakt ook een grotere ontwerpvrijheid mogelijk bij 3-D structuren. Deze nanocomposieten zijn te duur voor automobiel toepassingen behalve voor onderdelen van energie transformatie en opslag.

6.2.2 Verslimmen en verzekeren

Nanofillers en nanotubes veranderen ook de eigenschappen van composietmaterialen. Ze realiseren een hogere conductiviteit van het materiaal en kunnen een hogere weerstand tegen hitte of chemische agenten realiseren. Daarnaast kunnen nano-elementen als structuur een communicatief web realiseren en sensorische eigenschappen bevatten (o.a. onderzoek van Stanford University[83]). Sensorische eigenschappen kunnen zelfreflecterend zijn (het detecteren van deformatie of haarscheuren) of op de omgeving zijn gericht (een sensing shell als bijvoorbeeld een radarscherm). Toepassing van dynamische composieten ten behoeve van ballistieke bescherming is een van de thema´s binnen het Institute for Soldier Nanotechnologies[84].

Bijzonder onderzoek wordt gedaan naar autonome composieten (onder andere bij University of Illinois[85]), dit zijn "slimme" composieten die zich aanpassen aan de omgeving en die zelfhelende eigenschappen hebben. Dit kan bereikt worden door radioactieve tags, shape memory polymers of geencapsuleerde polymeren. UCLA[86] heeft met succes mendomeren toegepast die zelfherstellende werking hebben na een Diels-Adler reactie. Ook hier zijn militaire en aeronautische toepassingen leidend, zij het dat deze eigenschappen ook gezocht worden voor afgesloten onderdelen zoals pompen en drukvaten.



Afbeelding 11; zelfhelend proces (University of illinois). a) zelf helend coating bevat micro geencapsuleerde catalyst (geel) en fase-gescheiden 'healingagents' (blauw) in aan matrix (licht oranje) en een metallic substraat (grijs). B) door schade aan de coating lagen komen de catalysator en 'healing agent' vrij. C) mix van vatalysator en 'healing agent'. D) schade hersteld door cross-linked PDMS.

6.2.3 Versnellen en vergroten

De productie van composieten is vaak een driestaps discontinu proces. Bij 'continuous fibre reinforced plastics' wordt eerst een vezelsubstraat gemaakt en dan wordt er een hars aangebracht die in autoclaaf of drukpers wordt gehecht. Dit discontinue en stapsgewijze proces leidt tot volumebeperkingen, lange doorlooptijden en hoge kosten. De druk uit de markt is groot aangezien de marktvraag naar composieten fors toeneemt (15-30% per jaar) en de marktvraag zal nog sterker groeien als lagere kostprijzen kunnen worden gerealiseerd. Verschillende strategieën worden onderzocht om tot een versnelling te komen en het marktbereik te vergroten. Enerzijds wordt inspiratie opgedaan uit laagwaardige processen (spuiten en gieten bij University Wisconsin[87]) om door een betere beheersing van processen tot betere eigenschappen te komen. Anderzijds wordt gewerkt aan procesintegratie of aan het overslaan van processen. University of Missisippi[88] heeft

[82] http://pec.engr.wisc.edu/

[83] http://structure.stanford.edu/
[84] http://web.mit.edu/isn/research/sra01/index.html
[85] http://www.ae.illinois.edu/research/areas/materials.html
[86] http://www.mcl.seas.ucla.edu/
[87] http://pec.engr.wisc.edu/
[88] http://cypress.mcsr.olemiss.edu/~melackey/

methodes ontwikkeld om tot enkelstaps composietvorming te komen door middel van “pultrusie”. Daarnaast wordt gekeken naar alternatieve substraatformatie (onder andere via electrospinning of opbouw van folies), of naar substraten die minder bewerkingen nodig hebben om in vorm te komen (3-D weven of braiding). Er wordt onderzoek gedaan (Rutgers[89]) naar toepassing van plasma of de hechting van harsen te verhogen. Het NSF centrum bij MSU[90] is het breedst georiënteerd en onderzoekt fotopolymerisatie, microgolf en vloeibaar molden. Met de twee onderzoekscentra in Ohio is hier de meeste kennis en applicatieonderzoek ten behoeve van “klassieke”composieten voor toekomstige toepassing in automobiel.

Ten slotte wordt er gekeken of vezel en hars uit dezelfde polymeer kan worden verkregen. Iets verder onderzoek, en aansluitend aan nanotechologisch onderzoek wordt gekeken naar zelf-assemblage, waarbij spontane reacties tot bundeling worden aangemoedigd. De MSREC gaan fundamenteler te werk. Northwestern University[91], Caltech[92] maar ook Texas A&M University[93] kijken naar de moleculaire interactie tussen geketende polymeren (vezels) en vulmateriaal op moleculair niveau en proberen op nanoschaal composieten assemblages te realiseren die vervolgens via een enkele stap tot een gestructureerd materiaal kunnen worden gevormd.

6.2.4 Vergroenen en Verbreden

Bij vergroenen en verbreden wordt gekeken naar gebruik van biomassa voor de productie van biocomposieten. Daarbij wordt een spectrum van onderzoek gedaan naar de verwerking van natuurlijk materiaal zoals hout (WBC aan Virginia Tech[94]), afval (kippenveren bij University Delaware[95]), biovezels, de verwerking van biopolymeren in hars of vezelvorm op basis van soja olie (University Delaware) of fermentatie van polysaccharides (bv. UniMass in Lowell[96]). Vooralsnog staat het gebruik van natuurlijke grondstoffen en de afbreekbaarheid centraal in het onderzoek. Uitdrukkelijk is ook het doel (University of Delaware) om goedkope composieten te realiseren. Dat vereist een betere beheersing van onregelmatigheden in het primaire materiaal (zoals vochtopname bij hout) en het verwijderen van onregelmatigheden (lignines in linnen en hennep composieten). In het laatste geval wordt ook via genetische modificatie gestreefd naar voorspelbare eigenschappen. Ook wordt er gewerkt aan het verbeteren van eigenschappen zowel mechanisch, chemisch en thermisch. Dat vereist niet alleen onderzoek naar de variatie in eigenschappen maar ook onderzoek naar additieven, zoals onder andere nanodelen.

6.3. Dynamiek van het Kennissysteem

Composiet materialen worden breed onderzocht op tenminste 40 universiteiten. Het is een onderzoeksveld met verschuivingen waarin enerzijds gestreefd wordt naar een sterkere koppeling van composieten aan nanotechnologie en anderzijds de nadruk komt te liggen op goedkopere composieten voor een bredere toepassing. Daarmee dalen de composieten af van de jarenlange koppeling aan lucht en ruimtevaart. Het is opmerkelijk dat de sterke onderzoeksgroepen binnen de centra voor luchtvaart en ruimtevaart aan betekenis moeten inboeten ten opzichte van andere groepen.

De koppeling van composieten aan nanotechnologie komt nu enkel tot uiting in twee IRG’s binnen het MRSEC Programma (Northwestern en Caltech) en drie lopende IUCRC’s[97], een afgeronde

[89] http://ccmc.rutgers.edu/index.php
[90] http://www.egr.msu.edu/cmsc/
[91] http://www.chem.northwestern.edu/
[92] http://www.wag.caltech.edu/
[93] http://nanocomposites.tamu.edu/index.php
[94] http://www.wbc.vt.edu/center/about.php
[95] http://www.che.udel.edu/research_groups/wool/index.html
[96] http://m-5.eng.uml.edu/acmtrl/index.htm
[97] http://www.unm.edu/~cmem/ en http://www.ce.ncsu.edu/centers/rb2c/index.html en http://www.mri.psu.edu/centers/pmc/

IUCRC en één in aanvraag. Financiering van contractonderzoek door NASA[98], het Ministerie van Defensie en de legeronderdelen blijft belangrijk. De groei zit echter in toepassing van composieten in automobiel (derhalve een forse groei in Michigan en Ohio) en toepassingen in energiegebruik (PNNL in Washington State[99]). In de komende jaren, mede onder invloed van het beleid van de nieuwe regering, zal de DoE een belangrijke financierder voor onderzoek zijn.

6.3.1 Betrokkenheid van Bedrijven

Samenwerking met bedrijven is sterk geïntegreerd in de kennisinfrastructuur. Vrijwel alle kennis-instellingen kennen de Industry Advisory Board en verschillende vormen van sponsoring. Contractonderzoek is belangrijk voor de meeste centra, waarbij modellering van materialengedrag en certificering een belangrijke activiteit is. Purdue University[100] en NIAR-Wichita State University zijn goede ingangen voor de luchtvaart. In de alle IUCRC´s zitten bedrijven, CAPCE[101] is het meest relevant. De DoE heeft een apart programma voor automobiel composieten met de Detroit 3 (onder het USCAR Programma[102] en ondergebracht bij ORNL). De indruk, op basis van de website, is dat er sinds 2007 weinig ontwikkeling is geweest. Dat zal hoogstwaarschijnlijk veranderen door impulsen van de nieuwe regering. PNNL richt zich op materialen in energiesystemen.

De sterkste koppeling ligt er bij de ruimte en luchtvaartbedrijven (o.a. Boeing, Lockheed, Raytheon, Honeywell). De eindgebruikers zijn het sterkst, met een opkomst van onderdelenfabrikanten voor automobiel en energie. Daarna zijn de producenten van basismaterialen (Hexion, Ashland, Dow) belangrijke spelers. De intermediaire bedrijven, fabrikanten van pre-pregs en verwerkers van composieten in panelen zijn minder sterk vertegenwoordigd. Opmerkelijk is de terugval van Hexcel en CYTEC, twee belangrijke spelers op het gebied van composiet materialen.

6.3.2 Spin Offs en Start Ups

Nieuwe bedrijven in composieten richten zich vooral op modelleren en simuleren (onder andere eindige elementenanalyse) en op nano-additieven voor composieten. Daarnaast kent de sector van composietverwerkers een grote dynamiek, maar hierbij is geen sprake van kennis gestuurd ondernemerschap. Over het algemeen blijven de spin-offs en start-ups op zichzelf staan en worden ze niet overgenomen door grotere concerns (uitgezonderd de overname van Phoenixx door TenCate).

Clustering is vooral aan de orde in Ohio, waar een Composite Valley is opgezet. Ohio kent een concentratie van kennisinstellingen en bedrijven en heeft rond het National Composites Center[103] het CAPCE (center for advanced polymer and composite engineering) clustering bevorderd. Daarnaast is er een cluster rond Los Angeles (lucht en ruimtevaart). Toch is de regionale orientatie niet dominant. Zo heeft Michigan geen dominante positie in automotive materials en werken de meeste IUCRC landelijk. In mei 2009 heeft een cluster van bedrijven en kennisinstellingen rond het NIAR Wichita[104] een grant van $ 20 Mln van de staat Kansas gekregen voor onderzoek en ontwikkeling van composieten voor biomedische toepassingen op basis van kennis ontwikkeld voor lucht en ruimtevaart.

6.3.3 Clustering en Betrokkenheid van Eindgebruikers

[98] http://www.aeronautics.nasa.gov/fap/research.html

[99] http://energymaterials.pnl.gov/research_areas/research_area_description.asp?id=215
[100] https://engineering.purdue.edu/AAE/Research/ResearchFacilities/LabFacilities#struc
[101] http://www.capce.ohio-state.edu/
[102] http://www.ms.ornl.gov/researchgroups/composites/pmc.htm
[103] http://compositecenter.org/index.php/about
[104] http://www.niar.wichita.edu/

De betrokkenheid van eindgebruikers is zonder meer dominant in dit thema. Dit geldt vooral voor composietenonderzoek en productie ten behoeve van lucht en ruimtevaart en ballistieke bescherming waarin de defensieonderdelen sterk betrokken zijn. De overheid hanteert een breed spectrum aan financieringsinstrumenten van onderzoekscontracten, coöperatieve onderzoeks-contracten, consortia en verkennend onderzoek. De overheid is een actieve speler waar het gaat om overheidsaanbesteding. In de afgelopen jaren was dit vooral defensie. In de komende jaren zal de infrastructuur een belangrijke markt vormen.

De continuïteit van betrokkenheid in de automobiel sector is moeilijker te doorgronden. Enerzijds stuit het enthousiasme van de automobielsector op de onbekendheid met composieten in relatie tot hun relatief hoge prijs. Men verwacht dat deze interesse pas ontstaat als de prijs voor koolstofvezel in een bereik van $5,- per kilo komt. Anderzijds zijn de politieke verhoudingen dusdanig veranderd dat radicale verlagingen van brandstofverbruik tot een paradigma verandering doen leiden. Het is in elk geval een sector om goed te volgen.

6.4 Kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven

Bedrijven kunnen op verschillende manieren deel nemen aan onderzoeksactiviteiten in de Verenigde Staten. In de eerste plaats kunnen bedrijven onderzoeksgroepen sponsoren in de vorm van een vast bedrag per jaar. De kosten zijn voor gevestigde bedrijven in de orde van $ 10k tot 60k per jaar. Voor start-ups gelden lagere bedragen. Een sponsoring geeft inzicht in de kennis doorgaans in de vorm van seminars. Daarnaast kunnen bedrijven betrokken worden in de onderzoeksagenda van de bedrijven of kunnen ze betrokken zijn in een gezamenlijke roadmapping van R&D groepen met een sterke onderzoeksfocus. In de tweede plaats kunnen bedrijven toegang krijgen tot de exploitatie van kennis van onderzoeksgroepen. Vrijwel alle onderzoeksgroepen patenteren hun kennis en verlenen toegang in de vorm van licenties met betaling van royalty's. Daarnaast kan er gebruik worden gemaakt van faciliteiten. Sponsoren hebben hier vaak voorrang of exclusiviteit. In de derde plaats kennen vrijwel alle groepen de mogelijkheid voor derde geld stroom doorgaans in de vorm van de financiering van een promotieonderzoek of project, tot aan het sponsoren van een groep of een programma.

In composieten zijn alle formules van samenwerking mogelijk, met accenten tussen de instellingen. De sponsoring mogelijkheden zijn breed ontwikkeld, door onder meer lidmaatschap van de meerdere IUCRC. CAPCE is relevant voor `goedkope` composieten. Het NIAR in Wichita verenigd alle bedrijven rond lucht en ruimtevaart en is ook het meest relevante testcentrum. De MRSEC kennen industry Advisory Boards en Outreach programma´s. Licentiemogelijkheden zijn eveneens ontwikkeld, ook bij de nationale laboratoria. Uitbesteding van onderzoek en ontwikkeling door ministeries en agentschappen zijn sterk ontwikkeld in dit domein. Daarnaast is lidmaatschap van de brancheorganisaties aan te bevelen, daarvoor is wel een rechtspersoon in de Verenigde Staten noodzakelijk.

Nederland kent weinig composietproducenten, de nadruk in de aanbevelingen ligt op gebruikers van composietmateriaal**.** Daarnaast is het volgen van de Amerikaanse markt relevant aangezien in de meeste segmenten de Verenigde Staten de grootste markt vormen (persoonlijke bescherming en defensie, lucht en ruimtevaart). In gebruiksartikelen (sport) en automobiel loopt Europa echter voorop. Bijzonder interessant zijn de grote budgetten en ambities voor responsieve composieten, onder andere voor lucht en ruimtevaart. Daarnaast kan er een comeback van de Verenigde Staten verwacht worden in de goedkope composieten voor transportmiddelen, het CAPCE in Ohio is een goed ingangspunt. De beste aanhaakpunt voor lucht en ruimtevaart composieten blijft NIAR in Wichita.

Woordenlijst

AFM	Atomic Force Microscope
APRC	Applied Polymer Reserach Centre
CAPCE	Centre for Advanced Polymer and Composite Engineering
CAPRI	Centre for Applied Polymer Research
CPIMA	Center on Polymer Interfaces and Macromolecular Assemblies
CUMIRP	Center for UMass/industry research on polymers
DARPA	Defense Advanced Research Project Agency
DHS	Department of Homeland Security
DoD	Department of Defense
DoE	Department of Energy
DoH	Department of Health
DPA	Difenolzuur
ECBC	European Covered Bond Council
ERSP	Environmentally Responsable Solvents and Processes
IFAI	Industrial Fabrics Association International
IPR	Intellectual Property Right
IPRIME	Industrial Partnership for science in Interfacial Materials Engineering
IRG	Integrated Research Group
ISN	Institute for Soldier Nanotechnologies
IUCRC	Industry University Collaborative Research Center
MIT	Massachusetts Insitute of Technology
MRS	Materials Research Centre
MRSEC	Materials research science engineering center
NCC	National Composites Center
NIH	National Institute of Health
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
NNI	National Nanotechnologies Initiative
NRS	National Research laboratories
NSF	National Science Foundation
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PAMAM	Polyamideamine Dendrimeren
PBI	Polybenzimidazoles
PEM	Proton Exchange Membranes
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PLA	Polymelkzuur
PNNL	Pacific Northwest National Laboratory
RDECOM	US Army Research, Development and Engineering Command
RPI	Rensselaer Polytechnic Institute
SBIR	Small Business Innovation Research program
SEM	Scanning Electron Microscope
UMass	University of Massachusetts Amherst

USAID	United States Agency for International Development
USDA	Department of Agriculture
USDA	United States Department of Agriculture