

Coating technologie : laat de toekomst uit de verf komen

Citation for published version (APA):

Bentham, van, R. A. T. M. (2004). *Coating technologie : laat de toekomst uit de verf komen*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/2004

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

TU/e

technische universiteit eindhoven

Intreerede
12 maart 2004

prof.dr. R.A.T.M. van Benthem

coating technologie

laat de toekomst uit
de verf komen

/ faculteit scheikundige technologie

Intreerede

Uitgesproken op 12 maart 2004
aan de Technische Universiteit Eindhoven

coating technologie

laat de toekomst uit de verf komen

prof.dr. R.A.T.M. van Benthem

Inleiding

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Er zijn weinig materialen die in ons dagelijks leven zo veelvuldig en tegelijkertijd haast onopvallend op de voorgrond treden, als coatings dat doen. Verven en coatings hebben door de eeuwen heen steeds ter beschikking gestaan van de mens om zijn omgeving te verfraaien, ze zijn ook heden ten dage overal aanwezig en zijn sterk bepalend voor het aanzien van onze maatschappij; binnen en buiten, van meubels tot gebouwen, van auto's tot vliegtuigen, van schilderwerk tot schilderij. We zien ze wel, maar niet opzichzelfstaand. Er zijn maar weinig mensen die, wanneer bijvoorbeeld een felrood glimmende Ferrari voorbij scheurt, bij zichzelf denken: goh, wat een mooie lak zat daar op. Het laagje verf dat ze siert is een verlengstuk van de voorwerpen uit onze dagelijkse omgeving, gewoon en vanzelfsprekend; zo lijkt het althans. In het komende drie kwartier zal ik u van het tegendeel pogen te overtuigen.

De titel die ik aan deze rede heb gegeven heeft enige uitleg: 'Coating technologie laat de toekomst uit de verf komen'. Het is jammer dat er geen goed Nederlands equivalent voor het uit het Engels afgeleide woord 'coating' is; 'deklaag' en 'verflaag' klinken zo gekunsteld. Het woord coating wordt bovendien voor uiteenlopende technische toepassingen gebruikt. De gemene deler is in ieder geval dat een coating een dun laagje is, een filmpje dat op een ander materiaal is aangebracht. Het filmpje voegt iets toe aan het onderliggende materiaal door het te bedekken: meestal in de eerste plaats een decoratie of een vorm van bescherming. Soms wordt met coating een kant en klaar filmpje bedoeld dat ergens op gelegd kan worden, soms een laagje anorganisch materiaal dat vanuit de gasfase ergens opgedampt of gesputterd wordt, maar dit laat ik in deze rede buiten beschouwing. In verreweg de meeste gevallen gaat het om een vloeibaar materiaal dat pas na aanbrengen op het onderliggende substraat tot een vaste film wordt. Verf is zo'n archetypisch materiaal dat we allemaal heel goed kennen: je doopt een kwast in de pot, smeert de dikkige vloeistof op wat er geverfd moest



worden, en voila, na enige tijd zit er een mooie glimmende harde laag op. Hoewel het werkwoord coaten, letterlijk bedekken, direct kan worden verbonden met verven of lakken, is de associatie van coating met verf echter te smal: coatingtechnologie is breder dan verf alleen. Coatingtechnologie behelst het hele proces van samenstellen van het vloeibare materiaal, het aanbrengen op het substraat, het transformatieproces van vloeistof tot vaste film én de uiteindelijke eigenschappen van de film in samenspel met het substraat.

Coatings treden zelden opvallend op de voorgrond, ze zijn een verlengstuk van de voorwerpen uit onze dagelijkse omgeving



Er zijn veel uiteenlopende toepassingen waarin uiteindelijk een dun functioneel laagje op een substraat wordt aangebracht met een aanvankelijk vloeibaar materiaal, van alledaags tot geavanceerd. Bijvoorbeeld voor het verduurzamen van metaal worden coatings aangebracht op frisdrankblikjes, gevelbekledingen, meubilair en auto's, maar ook op vliegtuig- en ruimtevaartonderdelen die aan extreme condities blootgesteld worden. De metalen en legeringen van de toekomst, zoals magnesium, zullen dit nog meer nodig hebben. Verder worden coatings ook toegepast op glasvezels voor telecommunicatie, op informatiedragers en digitale beeldschermen; mogelijk ook in de brandstofcellen en kunststof zonnecellen van de toekomst. Zo zal de

coatingtechnologie, in bredere of engere zin, het aanzien van de wereld van morgen mede bepalen, of liever gezegd: uit de verf laten komen.

In het eerste gedeelte van mijn betoog wil ik het speelveld beschrijven waar de coatingtechnologie zich in begeeft, met de beperkingen, mogelijkheden en uitdagingen die daarin besloten liggen. Het speelveld voor de coatingtechnologie kan gezien worden vanuit drie verschillende perspectieven: het industriële, het maatschappelijke, en het academische perspectief, die ik in deze volgorde achtereenvolgens wil behandelen. In het tweede gedeelte wil ik U een beeld schetsen van de maatschappelijk relevante wetenschappelijke uitdagingen die ik met onze Eindhovense onderzoeksgroep wil oppakken.

Innovatie, maar met beperkte middelen

Het industriële perspectief op verf en coatings is er een van een grote mondiale activiteit, maar met een over het algemeen sterk volgroeid karakter. Er werd in het jaar 2000 wereldwijd 26 miljoen ton verf geproduceerd, met een verkoopwaarde van circa 60 miljard euro.¹ In West-Europa werd in datzelfde jaar 6 miljoen ton grondstoffen voor verf door de toeleverende industrie geproduceerd met een waarde van 7 miljard euro. Deze cijfers klinken indrukwekkend in kwantiteit, maar een snel rekensommetje leert dat een gemiddelde verf voor minder dan 2,5 euro per kilogram wordt verkocht op industriële schaal, en de grondstoffen waaruit de verven worden samengesteld zelfs voor weinig meer dan 1 euro per kilogram. Er is in bijna alle segmenten sprake van hoge prijsdruk en daardoor lage marges. Wil de industrie in deze context overleven, dan biedt eigenlijk alleen innovatie soelaas. Voor het bewerkstelligen van die broodnodige innovatie staat de industrie echter voor een dilemma: de lage marges van dit moment laten de industriële speur en ontwikkelingsafdelingen slechts zeer beperkt ruimte tot innovatie. Gemiddeld wordt niet meer dan 3% van de omzet in onderzoek geïnvesteerd bij zowel de verfproducenten als de toeleverende grondstoffenleveranciers. Daarnaast is er sprake van sterke gewinning van de consument, en meer in het bijzonder van de professionele schilder, aan de huidige verfsystemen, vaak aangeduid als conservatisme. Deze combinatie van factoren leidt in industriële kringen vaak tot de veronderstelling dat “de markt” simpelweg geen grote vernieuwingen toelaat.² Men richt zich in de industriële laboratoria steeds minder op de lange termijn en trendbrekende doelen, onder druk

van de financiële markten. Het onderzoek richt zich meer en meer op de korte en middellange termijn, uitgaand van een zeer geleidelijke evolutie van de huidige verfsystemen, steeds in kleine stapjes vooruit.³

Gelukkig realiseert men zich ook dat langetermijnonderzoek onontbeerlijk is voor innovatie. Gegeven de beperkte eigen middelen van de industrie is met name in Nederland de laatste jaren een trend op gang gekomen naar uitbesteding aan universiteiten en technologische instituten. Het is vooral de mogelijkheid tot het delen van risico van het onderzoek met andere bedrijven, zelfs met concurrenten, die dit perspectief zo aantrekkelijk maakt. Zeker wanneer ook de overheid met het instrument van subsidies aangeeft te willen delen in dat risico om de innovatie te stimuleren. Het Dutch Polymer Institute, DPI, is hier een voorbeeld van. Coatingtechnologie heeft in dit Nederlandse publiekprivate topinstituut een nadrukkelijke plaats gekregen waarin precompetitief onderzoek wordt nagestreefd.

Uitbesteding
van langetermijn
onderzoek: komt
innovatie in coatings
'uit de kast'?



Ik ben blij dat innovatie in coatings op deze manier 'uit de kast' komt, maar ik wil ook waarschuwen voor het te ver doorslaan van de balans tussen korte- en langetermijnonderzoek in de industrie. Het uitbesteden

van onderzoek alleen betekent allerm minst een garantie voor innovatie; die vindt pas plaats op het moment dat uitbesteed en succesvol onderzoek terugkeert van de academische laboratoria naar de bedrijfslaboratoria, alvorens in de vorm van nieuw producten op de markt te worden gezet. Het academische onderzoek levert geen panklare innovaties op, wel nieuwe concepten en gezichtspunten. Het is in mijn ogen slechts aanvullend op het industriële langetermijnonderzoek; niet vervangend, hoe aantrekkelijk dit in eerste instantie ook lijkt.

Coatings, Nederland en de kenniseconomie

Innovatie is ook vanuit maatschappelijk macroperspectief een absolute voorwaarde. Er zijn moverende redenen om voor de maatschappij van de toekomst andere en betere technologieën te ontwikkelen, bijvoorbeeld in het kader van duurzaamheid, waar ik later nog op terug zal komen. Deze gelden niet alleen voor verf maar ook voor andere technologieën waar coatings een rol in kunnen gaan spelen, zoals de reeds genoemde zonnecellen en brandstofcellen. Daarnaast is er een bijzonder maatschappelijk microperspectief als het gaat om de plaats van Nederland in de vaart der volkeren op het gebied van coatingtechnologie.

Nederland neemt op het gebied van het verf- en coatinggerelateerde onderzoek een echt vooraanstaande positie in. In absolute zin neemt Nederland in Europa de vijfde plaats in waar het gaat om productie van verf, na grote landen als Duitsland, Engeland, Frankrijk en Italië⁴, in relatieve zin is dit voor een klein land als Nederland al een zeer betekenisvolle plaats. Waar het gaat om onderzoek en ontwikkeling neemt Nederland een echte topositie in. In Nederland is niet alleen 's werelds grootste internationale coatingconcern gevestigd, AKZO-Nobel, maar ook een aantal andere concerns die in bepaalde marktsegmenten Europese en wereldwijde leiderschapsposities innemen zoals onder andere SigmaKalon, DSM, Stahl en NeoResins. Al deze concerns hebben hun belangrijkste onderzoekslaboratoria in Nederland gevestigd. Ook in de presentatie naar buiten toe staat het Nederlandse coatingonderzoek vooraan, gemeten naar patenten, publicaties en deelname en presentaties op internationale congressen.

In de dit jaar in opdracht van de minister-president opgestelde Kenniseconomie Monitor⁴ worden aanbevelingen gedaan om te komen tot strategische keuzes die Nederland weer voorop moeten brengen als



kenniseconomie. Twee daarvan in het bijzonder wil ik in dit verband aangrijpen om een lans te breken voor een blijvend vooraanstaande rol van het Nederlandse onderzoek op het gebied van coatings. Ten eerste dienen we volgens deze aanbeveling te koesteren wat sterk is, te werken aan verdere versterking van de kwaliteit van het onderzoek en de opleiding van de onderzoekers. Ik wil hier nogmaals duiden op de sterke positie die het Nederlandse coatingonderzoek al heeft, en aangeven dat ik deze aanbeveling wat coatingtechnologie betreft ter harte zal nemen bij de invulling van deze leerstoel. Een keuze voor gerichte verdere versterking van deze uitstekende positie, is mijns inziens een logische. Ten tweede dienen we 'het Slochteren van de kenniseconomie' te benutten. Hiermee wordt bedoeld dat in het Nederlandse hoger onderwijs een schat aan fundamentele kennis is verzameld, van internationaal gezien zeer hoog niveau, die echter nog onvoldoende ten nutte wordt gemaakt. Ook hier voel ik mij aangesproken om de kennis die op een aantal voor coatings relevante disciplines aanwezig is, niet in de laatste plaats aan deze universiteit, te integreren in onze onderzoeksprojecten. Door een multidisciplinaire benadering van probleemstellingen die zowel maatschappelijk relevant als wetenschappelijk interessant zijn, stel ik mij ten doel om met de schat aan fundamentele kennis van veel collega's hier in Eindhoven en in Nederland uiteindelijk nutbare, toepassingsgerichte kennis te genereren.

Benut het 'Slochteren' van de Nederlandse kenniseconomie, juist voor coating-technologie



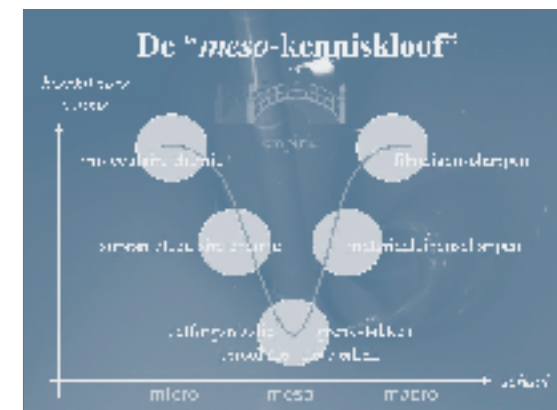
Verf: ontmoetingsplaats voor materialen

Hiermee zijn we aanbeland bij het academische perspectief op de

coatingtechnologie. De coatingtechnologie wordt gekenschetst door een hoge mate van zowel diversiteit als complexiteit. Met diversiteit doel ik op de schier oneindige variatie in samenstelling en combinaties van bestanddelen, steeds geoptimaliseerd voor een specifieke soort toepassing. Hoewel vaak daarvoor aangevoerd, denk ik niet dat dit de voornaamste reden is dat onderzoek gericht op coatings in de Nederlandse academische wereld nog weinig serieus is genomen, en een 'verfluchtje' heeft. Ik denk dat het vooral de omgang met de gapende kenniskloof op het mesoscopische niveau is die de industriële en academische geesten scheidt. De industriële onderzoeker heeft deze kloof decennialang moeten zien te overbruggen met een hoog gehalte aan ambachtelijkheid, empirie en opportunisme. De academische onderzoeker daarentegen keek aan de ene kant meewarig naar deze pragmatische aanpak, vond dat er teveel in werd overgeslagen, maar schrok zelf ook terug voor het dichtten van de kloof in een wetenschappelijke benadering vanwege de complexiteit van de materie, die weinig aansloot bij zijn veelal monodisciplinaire onderzoeksinteresse.

Figuur 1

De meso-kenniskloof



De 'meso-kenniskloof' heb in figuur 1 proberen weer te geven. Deze behoeft enige uitleg. Als functie van de schaal waarop ze zich afspelen, zijn de fenomenen die voor coatingonderzoek van belang zijn aangegeven naar hun niveau waarop kennis erover beschikbaar is. Het



microniveau is het niveau van individuele moleculen en de formulering, de keuze van de diverse grondstoffen op moleculaire basis. Divers, zoals gezegd, maar overzichtelijk en op zich goed gekend.⁵ Aan de andere kant is ook het macroniveau, het niveau van de coating als film, goed gekend. Er is in de laatste decennia een grote verscheidenheid aan testen ontwikkeld om de film op zijn eigenschappen te beoordelen, waarvan sommige gedegen en doeltreffend zijn en andere aandoenlijk pragmatisch van aard. Kwantitatief beschouwd zijn deze tests digitaal: de coating doorstaat de test of doorstaat hem niet. In de industriële benadering werd gepoogd directe, zij het louter empirische verbanden te leggen tussen de moleculen die men in de formulering bracht, en het resultaat daarvan op de kwaliteit van de film. Deze benadering is decennialang niet onsuccesvol geweest, maar wordt steeds minder efficiënt met het hoger worden van de gestelde eisen.⁶ Het niveau dat werd overgeslagen wordt wel aangeduid als het mesoniveau, tussen het microniveau en het macroniveau in. Uitzoemend vanuit de moleculaire schaal kan men de interacties tussen verschillende moleculen onderling beschouwen, supramoleculaire chemie, zelforganisatie en microreologie. Inzoomend vanuit de filmeigenschappen kan men de onderliggende materiaaleigenschappen proberen vast te stellen. Op deze gebieden vindt zeker voortgang plaats, maar er is nog duidelijk behoefte aan aanvullend inzicht. Op dit moment worden kennis en inzicht over de fenomenen die zich hiertussen afspelen het meest node gemist.⁷ Ik noem netwerkvorming en -architectuur, percolatie van heterogeniteiten, organisatie aan grensvlakken op de nanometerschaal. Een goed inzicht in structuur-eigenschap relaties vereist het kunnen doorlopen van al deze fenomenen op de verschillende lengteschalen, van micro via meso naar macro en omgekeerd.

De dichting van deze meso-kloof vereist een multidisciplinaire benadering. Hierin moeten naast de fundamentele aspecten ook toepassingsgerichte aspecten aan bod komen. Ik zal proberen een beeld te schetsen van de benodigde disciplines over de lengteschalen heen bij de bestudering van een coatingproces.

Op het microniveau is kennis van de moleculaire chemie nodig, zowel preparatief als analytisch.⁸ De bindmiddelen zijn vaak organische polymeren, hoewel ook hybride vormen met anorganische componenten mogelijk zijn.⁹ De voornaamste stap van polymeerkunde

naar formulering is het instellen van de vereiste viscositeit voor het aanbrengproces. Er wordt een oplosmiddel toegevoegd of een dispersie gemaakt van het bindmiddel, in bijvoorbeeld water met behulp van oppervlakte-actieve stoffen. Colloïdale stabiliteit komt daarbij om de hoek kijken, zeker als ook pigmenten en vulstoffen moeten worden toegevoegd¹⁰ en er dus verschillende grensvlakken tegelijk gestabiliseerd moeten worden. Bij het aanbrengproces, veelal aangeduid met de term applicatie, moet het substraatoppervlak bevochtigd worden, waarbij microreologie en dynamica van adsorptie aan oppervlakten van belang zijn.¹¹ Vervolgens dient het proces van filmvorming zich aan.¹² In fysische zin is dit het verdampen van het oplosmiddel, waarbij bijvoorbeeld gedispergeerde bindmiddeldeeltjes tot een continue fase moeten versmelten terwijl gedispergeerde pigmentdeeltjes juist vooral gedispergeerd moeten blijven. In chemische zin moeten de polymeren als gevolg van covalente reacties een macromoleculair netwerk gaan vormen. Door beide effecten kunnen spanningen ontstaan aan het grensvlak met het substraat, wat zijn weerslag heeft op de hechting van de film. De hechting wordt verder beïnvloed door covalente, elektrostatische, polaire en Van der Waalsinteracties van het bindmiddel met het substraat, bij uitstek iets dat op de mesoschaal plaatsvindt.¹³ Er is dus kennis benodigd van de chemische samenstelling aan weerszijden van het grensvlak. Op iets grotere schaal zijn de materiaaleigenschappen van het coatingmateriaal als geheel van belang.¹⁴ Deze worden enerzijds bepaald door de macromoleculaire structuur van het bindmiddel, dat als netwerk overigens zelden homogeen en zonder defecten is, en anderzijds door interacties van het bindmiddel met het pigment en vulstoffen. Deze interacties spelen tenslotte ook op het macroniveau een belangrijke rol, bijvoorbeeld in krasvastheid en bij de verwerking van de coating als gevolg van blootstelling aan zonlicht.¹⁵

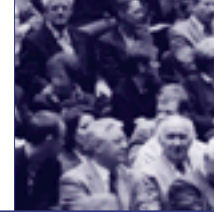
Met recht kan dus gesteld worden dat coatings een ontmoetingsplaats bij uitstek zijn voor verschillende materialen. Vooral organische, anorganische en fysische chemie zijn steeds met elkaar verweven. Deze conceptmatige weergave geldt in specifieke zin voor verven, maar ook voor de meer geavanceerde vormen van coatingtechnologie. Het coatingproces dat toegepast wordt in displays, glasvezels en zonnecellen heeft de stappen van formulering, filmvorming en hechting gemeen met de verven. En hoewel de substraten heel afwijkend en specifiek kunnen zijn, worden de materiaaleigenschappen ook hier gedomineerd door

grensvlakken en door ordening van verschillende materialen op het mesoniveau. Fundamenteel onderzoek naar verven, de toekomst *in* de verf, vormt dus ook een grondslag voor de geavanceerdere toepassingen, de toekomst *uit* de verf.

De ophanging van het coatings gerelateerde onderzoek in de capaciteitsgroep SVM van de faculteit Scheikundige technologie, voorgezeten door Professor Bert de With, moet ook in dit licht gezien worden. Coatings vormen niet alleen een ontmoetingsplaats voor materialen, maar ook voor onderzoekers die van de verschillende overeenkomstige disciplines afkomstig zijn. Raakvlakken tussen bindmiddelen en pigmenten vinden hun parallel in de samenwerking van onderzoekers die uit respectievelijk de organische en anorganische chemie afkomstig zijn. Een andere parallel, die tussen synthetische chemie aan de ene kant en fysisch chemische modellering en karakterisatie aan de andere kant, zet zich door in de nauwe samenwerking tussen de twee actieve hoogleraren die SVM momenteel telt. Daar waar Professor Bert de With gepromoveerd is op een fysisch chemische verstrooiingstechniek¹⁶ ben ikzelf gepromoveerd op een organisch synthetisch onderwerp.¹⁷ Voorwaar geen voor de hand liggende combinatie in ons huidige universitaire stelsel, waar vakgroepen veelal samengesteld zijn naar eenvormige disciplines, maar des te meer een teken dat een vruchtbare dialoog tussen verschillende disciplines erkend wordt als grondslag voor coatingonderzoek. Doordat de onderzoekers elkaars expertises voortdurend op een natuurlijke wijze aanvullen kan de ‘meso-kenniskloof’ worden gedicht. Een aantal voorbeelden van dit multidisciplinaire onderzoek is al enige tijd geleden in gang gezet door mijn voorganger professor Rob van der Linde en dr. José Brokken in samenwerking met professor de With. Zo wordt in onze capaciteitsgroep gekeken naar de materiaaleigenschappen van organische coatings waarin nanodeeltjes gedispergeerd zijn; bij geleidende nanodeeltjes bijvoorbeeld naar de ondergrens waarbij ze de geleidbaarheid van coatings die in principe isolatoren zijn, kunnen verhogen.¹⁸ Deze percolatiegrens wordt bepaald door de interacties van de deeltjes met de organische matrix tijdens de chemische netwerkvorming.

In het tweede gedeelte van mijn betoog wil ik graag uiteenzetten welke nieuwe onderzoeksrichtingen ik de komende jaren zou willen inslaan. Allereerst zou ik het perspectief van duurzame technologie als *leidmotief* in het coatingonderzoek willen toelichten. Duurzaamheid kan hier op twee manieren worden uitgelegd, die beide relevant zijn: een letterlijke waar ik later op terug kom, en een overdrachtelijke uitleg. Om met de laatste te beginnen, duurzame technologie staat voor een technologie als geheel die ons in staat stelt om aan onze eigen behoeften van dit moment te voldoen. Bovendien kunnen we dankzij duurzame technologie op een zodanige manier aan onze behoeften voldoen, dat we ons nageslacht, waar ook op deze wereld, niet beroven van zijn mogelijkheid om met dezelfde technologie aan zijn behoeften te voldoen. Deze definitie van duurzaamheid, in het Engels ‘Sustainability’, is in 1987 al gegeven door Brundtland.¹⁹ De Verenigde Naties propageerden vorig jaar nog²⁰ wereldwijd deze uitleg van duurzame technologie, als een maatschappelijke verantwoordelijkheid van huidige naar toekomstige generaties, en van de geïndustrialiseerde wereld naar de derde wereld.

Ook waar het verf en coatings betreft, zijn veel aanknopingspunten te noemen voor de noodzaak van duurzame technologie. De zorg over schadelijke effecten voor mens en milieu van uitstoot van vluchtige organische verbindingen zoals oplosmiddelen heeft in de laatste jaren geleid tot de ontwikkeling van nieuwe, oplosmiddelvrije verfsystemen. Deze technologieën zijn nog niet allemaal uitontwikkeld en dienen op belangrijke punten nog verbeterd te worden; straks meer daarover. In breder verband kunnen bij alle stappen in de verfbereiding vraagtekens worden gesteld. Is het beslag dat daarmee wordt gelegd op energie, grondstoffen en het absorberend vermogen van ons milieu wel verantwoord? Met andere woorden is de voetafdruk die de coatingtechnologie achterlaat niet veel te groot, als in aanmerking genomen moet worden dat niet alleen onze kinderen en kleinkinderen, maar ook de minder ontwikkelde gebieden op deze wereld vroeg of laat deze zelfde vorm van welvaart zullen opeisen? Het verminderen van



deze voetafdruk, waar mogelijk en relevant, is een uitdaging én een maatschappelijke verantwoordelijkheid waar de coatingtechnologie mijns inziens voor staat. En die uitdaging is niet mis. In de komende tien tot twintig jaar zal een meer evenwichtige spreiding van de welvaart over de wereld de behoefte aan energie en grondstoffen met een factor vier verhogen. Tegelijkertijd zal de wereldbevolking met ongeveer een factor twee toenemen. Het is dus aan ons om de voetafdruk van onze technologie met grofweg maar liefst een factor acht te verkleinen. De ambitie om in deze context een voortrekkersrol te willen spelen misstaat een Technische Universiteit niet.

De tweede uitleg van het woord duurzaamheid, in de letterlijke betekenis van langer meegaan, is wat coatings betreft ten zeerste aan de eerste uitleg verbonden. Naast de decoratieve functie die ze hebben, worden verven al decennialang gebruikt om het onderliggende substraat te beschermen en langer mee te laten gaan. De duurzaamheid van een blankhouten kozijn of van een stalen brug, zou factoren minder zijn zonder die verflaag. Het verven zelf is dus eigenlijk een kwestie van duurzame technologie *avant-la-lettre*. Kijkend naar de verf zelf, geldt vanzelfsprekend dat als die een factor twee langer mee zou gaan, er een factor twee gewonnen wordt in energie en grondstoffen om die verf te maken en aan te brengen. Duurzaamheid van coatings, in de zin van langdurig behoud van functie en integriteit is daarom een van de belangrijkste pijlers van ons toekomstige onderzoek.

Figuur 2

Leercyclus
duurzaamheid



De twee belangrijkste vormen van blootstelling aan externe invloeden die voor coatings relevant zijn, zijn zonlicht bij buitenverwerking en vocht en elektrolyten bij corrosievorming. In een tweetal recent gehonoreerde projecten onderzoeken we, in nauwe samenwerking met experts uit het bedrijfsleven, het faalmechanisme van coatings in versnelde buitenverwerkingstesten. Het falen van de coating wordt in dit geval bepaald door het verlies aan glans of het ontstaan van scheurtjes of grote kleurafwijkingen, en kan worden veroorzaakt door hydrolyse, fotolyse, en/of foto-oxidatie. Door een nauwgezette karakterisering van de chemische en fysische processen die in de blootgestelde films optreden, proberen we de relatie van deze processen met het uiteindelijke falen te achterhalen.

De rol van coatings op
metaal: bescherming



In samenwerking met de groep van Professor Ulrich Schubert zullen we gebruik maken van High-throughput analysemethoden²¹ om op een statistisch verantwoorde manier de chemische en fysische veranderingen op 'mesoniveau' tijdens de verwerking in kaart te brengen. Het meest dominante faalmechanisme wordt niet alleen als zodanig vastgesteld op macroniveau, maar ook zoveel mogelijk gelokaliseerd in relatie tot het microniveau, de bouwstenen van de coating. Met een gerichte aanpassing aan de chemie van het bindmiddel zal vervolgens worden geprobeerd de veronderstelde zwakke plek te elimineren, waarna de daaropvolgende zwakke plek zichtbaar zal worden. Het doel is door een herhaling van deze aanpak, al lerend van micro- via meso- naar macroniveau en weer terug, zoveel zwakke plekken te identificeren en te

eliminieren dat de buitenduurzaamheid van het onderzochte coatingtype substantieel kan worden verhoogd. In het ene project staat het bindmiddel centraal, in het andere project wordt de interactie met een foto-actief pigment of substraat, zoals titaanoxide of indium gedoteerd zinkoxide, expliciet meegenomen omdat het falen hier juist verwacht wordt op het grensvlak van de materialen.

Corrosiebescherming is bij uitstek een multi-materiaal fenomeen waarin de organische coating en het metalen substraat elkaar ontmoeten. In een samenwerking met de capaciteitsgroep Polymeerchemie, professor Cor Koning, zal worden getracht een magnesiumlegering duurzaam tegen corrosie te beschermen. Magnesiumlegeringen zijn vanwege hun grote sterkte en lage soortelijke massa wellicht hét metaal van de toekomst, mits de relatief grote gevoeligheid voor corrosie effectief kan worden verminderd. De coating dient aan een aantal verschillende en deels tegengestelde eisen te voldoen om effectief bescherming te kunnen bieden. Aan de ene kant is een uitermate hydrofoob karakter nodig om water te weren van de oppervlakken en om elektrolyten zo weinig mogelijk activiteit te bieden. Aan de andere kant is ook een zeer goede hechting middels polaire groepen vereist op de oxidelaag van de magnesium legering. Dit vereist een netwerkvormingreactie die zich anders manifesteert aan het metaaloppervlak, waarmee een chemische reactie moet plaats vinden, dan in de bulk waar een zo inert mogelijk materiaal gevormd wordt. Onze aanpak gaat uit van een combinatie van fluor modificatie en imidiseringsreacties van cyclisch anhydride bevattende polymeren.^{2,2}

Oplosmiddelvrije verven

Zoals ik al eerder aangaf, is er in de afgelopen jaren een aantal veelbelovende alternatieven voor oplosmiddelhoudende verven ontwikkeld en op de markt gebracht. Het gaat daarbij om poedercoatings, die zoals de naam al aangeeft, als poedervormige vaste stof worden aangebracht en door verwarming tot een film vervloeien. Daarnaast om watergedragen verven waarin water grotendeels de rol van solvent heeft overgenomen, en UV-hardende coatings die pas chemisch uitharden na bestraling met ultraviolet licht. Deze nagenoeg oplosmiddelvrije verven hebben hun plaats in de markt inmiddels veroverd ten koste van solventhoudende verven, mede onder de sterke druk van wetgevende overheden. De solventhoudende verven nemen

overigens op dit moment nog ongeveer de helft van de markt in en er lijkt enige stagnatie op te treden in de vervanging.²³ Deels komt dit doordat men het gehalte aan solvents in vele soorten verven succesvol heeft weten te verlagen, als compromis. Deels komt dit echter ook door de tekortkomingen van de solventvrije alternatieven. Van een verdere verdringing van solventgedragen verven zal pas sprake kunnen zijn wanneer deze tekortkomingen uit de weg worden geruimd.

UV hardende coatings
met nanodeeltjes:
transparant en
krasvast



De jongste technologie, UV-hardende coatings, is het hardst groeiende segment van dit moment, hoewel nog zeer bescheiden in omvang in vergelijking met de andere systemen.¹ De voordelen van deze nog niet uitontwikkelde systemen zijn evident: het uithardingsproces vindt plaats binnen luttele seconden en levert over het algemeen harde, krasvaste en vlekresistente coatings op. De krasvastheid kan nog worden verhoogd door er silica of kleideeltjes in te dispergeren die de transparantie van de film noch de UV-uitharding zelf verminderen, indien ze slechts nanometerdimensies hebben. Pigmentering echter zal met stralingsuitharding altijd lastig blijven omdat de pigmentdeeltjes, eerder van micrometerdimensies, UV-licht juist wel reflecteren of verstrooien en dus een slechte uitharding te zien geven in diepere lagen. De voornaamste markt voor dit soort coatings wordt daarom in de automobiellindustrie verwacht²⁴, in de buitenste transparante laklaag, dat wil zeggen, mits de nadelen van deze systemen succesvol kunnen worden geëlimineerd. Dat zijn onder andere de sterke mate van krimp bij acrylaatsystemen, en de verminderde buitenduurzaamheid doordat



zowel de fotoinitiatoren als de reactieve groepen ook na de uitharding actief blijven en ongewenste radicalen kunnen blijven genereren. In de reeds genoemde duurzaamheidsprojecten willen wij dit soort bindmiddelen dan ook meenemen om een beter begrip te krijgen van de genoemde processen, en uiteindelijk een bevredigende oplossing.

De watergedragen coatings zijn al een heel stuk verder in hun ontwikkeling. In kwalitatief opzicht kunnen zij zich, over de gehele linie, inmiddels redelijk meten met de bestaande systemen. Met name met betrekking tot hoge glansgraden²⁵ en de zogenoemde 'open tijd'²⁶ is er nog behoefte aan verbetering. Binnen deze groep is de diversiteit groot qua chemie en morfologie, van vinyllatex tot alkydemulsie en van polyurethaandispersie tot poederslurrie. Al deze systemen hebben echter één ding gemeen: hun haat-liefdeverhouding met water. Water treedt niet op als solvent maar als dispergeermedium. Om het zeer heterogeen mengsel stabiel te laten zijn in de tijd, dus als verf in de pot, moeten de bestanddelen ten dele een chemische affiniteit hebben met water. Deze tijdelijke flirt met het water moet later bekocht worden door een relatief hoge gevoeligheid voor water van de uiteindelijke film. Ook hier geldt dat de industrie inmiddels aanvaardbare compromissen gevonden heeft, maar dat er nog steeds veel behoefte bestaat aan een beter inzicht in het lot van de gebruikte oppervlakteactieve stoffen tijdens de filmvorming. Speciaal daar waar het gaat om gepigmenteerde verven en er dus sprake is van zowel gedispergeerde bindmiddel- als pigmentdeeltjes, ieder met hun eigen stabilisatoren. Wederzijdse beïnvloeding van deze twee, zowel tijdens de opslag van de verf als tijdens het droogproces en filmvorming kan leiden tot velerlei ongewenste effecten, zoals flocculatie en verminderde dekkraft. Het bestuderen van de morfologie van de drogende film, de verdeling van de pigmentdeeltjes tussen de bindmiddeldeeltjes, en de rol van de surfactanten tijdens en na de filmvorming, is het onderwerp van een tweetal projecten dat in onze groep zal worden uitgewerkt.

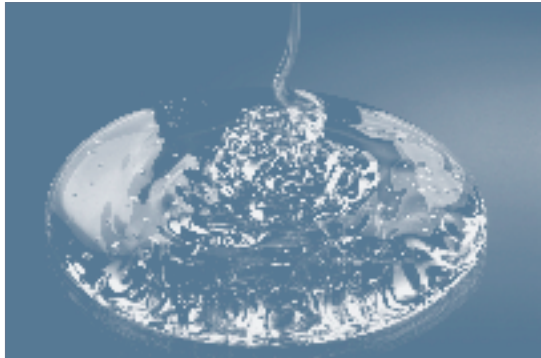
Poedercoatings tenslotte, de derde en laatste groep solventvrije coatingsystemen, hebben als belangrijkste voordeel dat ze ook bij ingewikkelde driedimensionale substraten kunnen worden aangebracht zonder verlies van 'overspray': de verf die naast het voorwerp wordt gespoten kan eenvoudig worden hergebruikt. Uit het oogpunt van efficiëntie van gebruikte grondstoffen is dit een belangrijk

duurzaamheidsvoordeel ten opzichte van alle andere coatingsystemen. Dit voordeel is onlosmakelijk verbonden met een nadeel: poedercoatings kunnen alleen in een industriële omgeving worden aangebracht en zijn vooralsnog ongeschikt voor bijvoorbeeld doe-het-zelf gebruik. Voor het doen versmelten en uitharden van het poeder tot een gladde film is een relatief hoge temperatuur nodig, tot wel 200 °C. Dit is niet alleen een nadeel uit oogpunt van energie-efficiëntie, het is ook de reden dat poedercoatings vooral op metalen worden toegepast. In combinatie met UV-uitharding is men erin geslaagd toch substraten als hout en plastics met poeder te coaten omdat de temperatuurbelasting dan beperkt kan blijven tot ca 100 °C. Toch zal er nog een behoefte blijven om ook zonder UV-uitharding en de daarmee samenhangende nadelen die lage temperaturen te kunnen bereiken. De uitdaging is hier dat een snelle uitharding gewenst is bij 100 °C terwijl de verf niet mag reageren tijdens maanden van opslag, of bij de bereiding van de poederverf tijdens extrusie bij 80 °C. Uit oogpunt van thermodynamica en kinetiek is dit onmogelijk. De oplossing ligt volgens mij in de scheiding van de reactanten tijdens de verfbereiding en de opslag, en het pas laten samenkomen, mengen en reageren van de reactanten wanneer de verf al is aangebracht en vervloeit. Dit vereist dat één van beide reactanten, bijvoorbeeld een crosslinker, van tevoren wordt geëncapsuleerd met een derde component. De gevormde capsule mag niet kapotgaan tijdens het extrusieproces, maar moet juist, door een grote gevoeligheid voor de temperatuur, op een goed gecontroleerd moment kapotgaan tijdens de filmvorming. De chemische en fysische aspecten die hiervoor nodig zijn worden uitgezocht in een project dat in onze groep recent gestart is.

Hernieuwbare grondstoffen

Als laatste, maar zeker niet het minste, voorbeeld van projecten op het gebied van duurzame technologie wil ik het nu hebben over de chemie van de hoeksteen van de verf: het bindmiddel. In bijna alle gevallen bestaat het bindmiddel uit organische polymeren van relatief laag molecuulgewicht. Het is het summum van duurzaamheid om de bouwstenen van die polymeren volledig uit hernieuwbare bron te winnen. Hernieuwbare grondstoffen zijn grondstoffen die gewonnen kunnen worden uit biomassa, eventueel met een beperkte chemische modificatie. Door van deze bronnen gebruik te maken, en niet van de fossiele bronnen met de traditionele petrochemie, wordt de netto uitstoot van koolstofdioxide tot nul gereduceerd.

Het bindmiddel is de
hoeksteen van een
coating



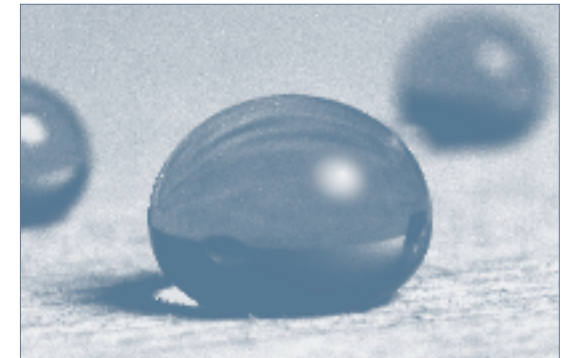
Zelfs al wordt een coating aan het einde van zijn levensduur verbrand, de koolstofdioxide die daarbij vrijkomt is eerder door planten aan de atmosfeer onttrokken. Verf maken met 100% biologische grondstoffen, Rembrandt deed het al, met bijvoorbeeld lijnzaadolie en eigeel. Ook alkyden zijn voor een groot deel uit hernieuwbare grondstoffen samengesteld: plantaardige vetzuren. Voor andere systemen is dit nog een majeure technologische uitdaging, die niet onderschat mag worden gelet op de vele en hoge eisen die wij tegenwoordig aan verf en coatings stellen. Het doel van het project dat in onze groep zal worden uitgevoerd, in samenwerking met Agro & Food Innovations en de groep Polymeerchemie van professor Koning van deze universiteit, is dan ook om de haalbaarheid voor veeleisende toepassingen als poedercoatings en toners aan te tonen van polyesterharsen, die geheel uit hernieuwbare grondstoffen zijn samengesteld en in eigenschappen niet onderdoen voor de traditionele polymeren uit petrochemische bron.

Toegevoegde functionaliteit

Als tweede leidende thema voor het coatingonderzoek in de komende jaren wil ik het nu hebben over toegevoegde functionaliteit. Er wordt dan vaak gesproken over functionele coatings, hoewel dat volgens mij een pleonasme is. Bij de huidige coatings zijn er immers al twee hoofdfuncties aan te duiden: verfraaiing, decoratie enerzijds en bescherming van het onderliggende substraat anderzijds. Als we vervolgens spreken van toegevoegde functionaliteit, is ons eigen

voorstellingsvermogen feitelijk de enige begrenzing. De verwijzing naar de functie is veelal in opposerende zin: antistatische, antireflectie of antigraffiti coatings, soms ook bevestigend: geleidende of dampdoorlatende coatings. Men spreekt zelfs al van slimme coatings, 'smart coatings', wanneer een eigenschap pas tot ontwikkeling komt na een prikkel van buitenaf: zelfreinigende of zelfherstellende coatings.

Door een combinatie
van een lage opper-
vlaktespanning en
een microstructuur
wordt een super-
waterafstotend
oppervlak verkregen



Of deze benamingen niet een veel te grote verwachting scheppen van waar een materiaal toe in staat geacht mag worden, en of deze functies eigenlijk slechts voorbehouden zijn aan levende systemen, zal de toekomst ons leren. Ik spreek in dat geval daarom liever van responsieve coatings dan van smart coatings. Bij prikkels van buitenaf kan gedacht worden aan externe invloeden als temperatuur, vochtigheid, mechanische spanning, elektrische geleiding en elektromagnetische straling. Van deze vorm zijn al sommige voorbeelden te bewonderen in elektronica en displays, zoals LCD's. Ik maak daarbij onderscheid in coatings waarbij alleen het oppervlak voor de functie van belang is, en die waarbij juist de bulk van de film bij de functie betrokken is. Een elegant voorbeeld van de laatste categorie zijn coatings van hoogspanningsleidingen die een pigment bevatten dat zijn Fermi-punt vlak boven het vriespunt heeft. Wanneer in de winter de leiding dreigt te bezwijken door het gewicht van aangevoren rijp of regendruppels, wordt het pigment ferromagnetisch en wordt het inductief opgewarmd door de hoogspanning in de leiding. Eenmaal boven het vriespunt wordt het pigment weer paramagnetisch. De coating als thermostaat, het

bestaat al.²⁷

Niet-toxische
aangroeiwerende
verven sparen
brandstof én het
aquatisch milieu

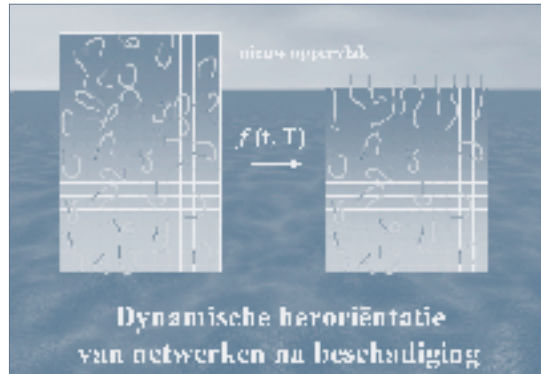


Voor functionele coatings waarin het oppervlak centraal staat, zullen wij ons vooral richten op het zogenoemde Lotus effect. De Lotusbloem heeft in veel oosterse culturen een heilige status en staat voor reinheid en zelfreinigend vermogen: de bloem is altijd maagdelijk wit omdat al het vuil door afvallende dauw- of regendruppels wordt meegenomen. Het oppervlak van de bloem is zo vochtafstotend, superhydrofoob, dat waterdruppels er letterlijk op blijven liggen en nauwelijks contact maken. Dit fenomeen kent twee oorzaken: het oppervlak is bezet met hydrofobe eiwitten en wassen, resulterend in een zeer lage oppervlaktespanning, en het oppervlak kent een zeer fijne microstructuur waardoor de contacthoek met een waterdruppel nog verder wordt verhoogd.²⁸ De contacthoek is niet alleen zeer groot in een voorwaartse, maar ook in de terugwijkende richting. Door deze schijnbaar rollende manier van voortbewegen, neemt de afvallende waterdruppel alle vuildeeltjes in zijn val mee. Wanneer deze combinatie van eigenschappen kan worden meegegeven aan een verf, wordt het

mogelijk coatings aan te brengen die nooit meer vuil zullen worden, of althans een zeer laag onderhoud nodig zullen hebben: te denken valt aan gevelbekledingen en ruiten van hoge gebouwen, bruggen, verkeersborden.



Segregatie van sterk hydrofobe fluorhoudende verbindingen naar het oppervlak tijdens de uitharding van een coating werd in onze groep al onderzocht.²⁹ We willen nu ook de coating het vermogen meegeven om het effect van naar het oppervlak georiënteerde groepen te herstellen na beschadiging. Hiervoor is het nodig dat de zich oriënterende groepen homogeen verdeeld zijn in de film en stevig verankerd zijn aan het netwerk. Tegelijkertijd moeten deze groepen voldoende mobiliteit bezitten om zich, als functie van tijd en temperatuur, uiteindelijk naar het oppervlak te oriënteren wanneer ze zich daar binnen een zekere afstand van bevinden. Deze oriëntatie geldt zowel voor hydrofobe netwerkelementen naar het grensvlak met de lucht, als voor hydrofiële elementen naar het grensvlak met water wanneer de coating daarin is ondergedompeld. Tot op welke afstand oppervlakterijking door heroriëntatie mogelijk is na beschadiging, dat is na het vormen van nieuw oppervlak, en welke tijd hiervoor benodigd is bij een bepaalde architectuur en glasovergangstemperatuur van het netwerk, zal het onderwerp zijn van ons onderzoek. (figuur 3)



Heroriëntatie van netwerken

Figuur 3

Aangroei van levende organismen zoals algen is een speciale bron van vervuiling aan een coatingoppervlak. Misschien kan ook hier met het zojuist genoemde oppervlakverrijkingseffect enige winst bereikt worden, in aanmerking nemend dat bacteriën zich niet koloniseren op polyethyleenglycolrijke oppervlakten.³⁰ Waarschijnlijk moeten echter ook andere aangroeiwerende eigenschappen in de strijd geworpen worden. Een voorbeeld uit de praktijk zijn de aangroeiwerende verven op grote zeeschepen. De verf bevat een stof die giftig is voor bacteriën, algen en zelfs schaaldieren, zodat voorkomen wordt dat een dikke laag pokken en schelpdieren de vaarweerstand van het schip verhoogt en daarmee het brandstofverbruik van het schip. De nu gebruikte giftige stoffen, met name butyltinverbindingen, mogen binnenkort niet meer gebruikt worden omdat ze accumuleren en te schadelijk zijn voor het milieu. Er zal gezocht moeten worden naar andere stoffen, of andere effecten, die de hechting en/of vermenigvuldiging van met name eencelligen, de pioniers onder de aangroeiende organismen, aan het oppervlak moeilijk of zelfs onmogelijk maken. Met een coatingtechnologie die echte bacteriedodende oppervlakten kan opleveren, zal ook besmetting van mens tot mens via het aanraken van gebruiksvoorwerpen en -oppervlaktes met ziektes als SARS en de gevreesde 'ziekenhuisbacterie' MRSA, veel beter kunnen worden voorkomen. Stel je voor, bacteriedodende coatings, overal om ons heen, in onze dagelijkse omgeving van morgen. Want coatings, ze zijn zo alom tegenwoordig, gewoon en vanzelfsprekend...

Ik ben met deze technische uiteenzetting van toekomstplannen bijna bij het einde van mijn rede gekomen. Ik hoop voldoende duidelijk te hebben gemaakt dat coatingtechnologie een nuttig instrument is voor toekomstmuziek in de materialen. Ik wil echter niet afsluiten zonder een aantal mensen hartelijk te danken voor hun bijdrage aan het totstandkomen van deze invulling van de leerstoel Coating technologie. Waarde Van der Linde, beste Rob, de fundamenten van de coatingsgroep zijn enige jaren geleden door jou gelegd. Ik weet dat het je plezier deed dat ik als je opvolger werd aangewezen en ik zal mijn best doen de reputatie van deze leerstoel verder uit te bouwen.

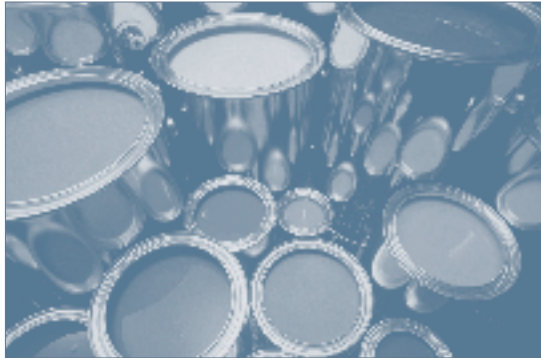
Waarde Lemstra, beste Piet, ik denk dat gezegd mag worden dat jij de geestelijke vader bent van de oplossing die uiteindelijk gevonden is om deze leerstoel in de lucht te houden. Ik wil je bedanken voor je actieve rol achter de schermen. Tevens wil ik met jou ook DPI en Ferry Thys bedanken voor hun voorwaardenscheppende rol voor de instandhouding van deze leerstoel en het daarin uitgevoerde onderzoek.

Waarde De With, beste Bert, het is in jouw capaciteitsgroep SVM dat Coatings Technologie een plaats gekregen heeft. Niet alleen de voormalige coatingsgroep heeft een stimulerende omgeving gevonden om mee te versmelten, een plaats waar materialen en verschillende disciplines elkaar ontmoeten. Ook wij hebben elkaar ontmoet, op een even plezierige, inspirerende als constructieve manier. Daar wil ik heel SVM, en jou in het bijzonder, voor bedanken. We slaan een gemeenschappelijke weg in om onze visie op de wetenschap van materialen gestalte te geven. Ik prijs mij daarbij gelukkig dat jij de mogelijkheden en de beperkingen van een deeltijdhoogleraar uit de eerste hand kent.

Zoals reeds een aantal malen is vermeld, aanvaard ik deze leerstoel in deeltijd. Mijn werkgever DSM ben ik veel dank verschuldigd voor de bereidheid om mij één dag per week beschikbaar te laten zijn voor deze leeropdracht. Waarde Put, beste Jos, deze bereidheid komt ongetwijfeld voort uit jouw sterke verbondenheid met de academische wereld, waarvan je zelf ook actief deel uitmaakt, en je overtuiging dat

Literatuur

een intensieve samenwerking tussen bedrijfsleven en academie een meerwaarde schept. Ik dank je daarvoor, zoals ik ook Ad de Koning wil bedanken voor het gebaar van vertrouwen dat DSM hiermee maakt. Ik zal mij inspannen in de komende jaren om de meerwaarde van een dergelijke verving voor beide partijen aantoonbaar te maken.



Tenslotte wil ik Gabriëlle, mijn lieve vrouw, bedanken voor de niet aflatende steun die ze mij geboden heeft. Zowel in de aanloop naar deze benoeming toe, als daarna, bij het vinden van mijn weg aan de Universiteit die jij al veel langer van binnenuit kent, heb jij steeds achter me gestaan en met raad en daad geholpen. Als geen ander heb jij aan mij kunnen zien dat het niet meevalt om twee banen tegelijk te hebben, twee opdrachten, twee verwachtingen, twee prioriteiten. Het principe $1+1=3$ lijkt dan ook zeker van toepassing te zijn op de energie en tijd die ik hierin steek. Gelukkig voor jou gaat dit principe ook wat bazen betreft op: met twee bazen buitenshuis kom ik ook op 3.

Ik heb gezegd.

- 1 E. Link, A. Kishi, "Paint and Coatings Overview" Chemical Economics Handbook 2002, SRI-International
- 2 A. de Vos "Verfmengers" in Management Team 2003, 29-8-03, 68.
- 3 A. Thullo "Gradual Evolution" in Chemical & Engineering News 2002, 21-10, 32.
- 4 F. Nauta, J. van den Steenhoven, "Tijd om te kiezen, Kenniseconomie Monitor 2003", down te loaden via <http://www.kennisland.nl/km2003>.
- 5 a) T. Brock, M. Groteklaes, P. Mischke European Coatings Handbook 2000, Vincentz Verlag.
b) D. Stoye, W. Freitag, Resins for Coatings, Hanser Publishers, Munich, 1996.
c) Z.W. Wicks jr, F.N. Jones, S.P. Pappas, "Organic Coatings Science & Technology", Wiley-Interscience New York, 1992, Volumes I, II.
- 6 E. Staring, A.A. Dias, R.A.T.M. van Benthem, "New challenges for R&D in coating resins" Progress in Organic Coatings 2002 45 101-117.
- 7 Committee on challenges for chemistry and chemical engineering of the national research council of the national academies, "Beyond the molecular frontier for chemistry and molecular engineering" 2003, The National Academy Press, Washington USA.
- 8 Voorbeeld uit mijn eigen werk bij DSM Research op het gebied van synthese en moleculaire karakterisering van dendritische polymeren: a) R.A.T.M. van Benthem, N. Meijerink, E. Gelade, C.G. de Koster, D. Muscat, P.E. Froehling, P.H.M. Hendriks, J.A.A. Vermeulen, T.J. Zwartkruis, "Synthesis and characterization of bis(2-hydroxypropyl)amide based hyperbranched polyesteramides"

- Macromolecules 2001 34(11) 3559-3566. b) E. Gelade, B. Goderis, C.G. de Koster, N. Meijerink, R.A.T.M. van Benthem, R. Fokkens, N.M.M. Nibbering, K. Mortensen Macromolecules 2001 34(11) 3552-3558.
- 9 a) H.S. Nalwa "Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and devices" Academic Press 2001, San Diego.
b) S. Frings "Organic-Inorganic Hybrid Coatings" Proefschrift 1999 Technische Universiteit Eindhoven.
- 10 F.L. Duivenvoorde "Pigment Dispersing in Powder Coatings" Proefschrift 2000, Technische Universiteit Eindhoven.
- 11 a) G.J. Fleer, M.A. Cohen-Stuart, J.M.H.M. Scheutjens, T. Cosgrove, B. Vincent in "Polymers at Interfaces" 1993, Chapman & Hall, Cambridge.
b) L.J.M. Schlangen "Adsorption and wetting, experiments, thermodynamics and molecular aspects" Proefschrift 1995 Landbouwniversiteit Wageningen.
- 12 a) M.A. Winnik "Latex film formation" Current Opinion in Colloid & Interface Science 1997 2(2) 192-199.
b) M. Visschers, J. Laven, R. van der Linde "Film formation from latex dispersions" Journal of Coatings Technology 2001, 49(55), 49-55.
c) S. Zohrevand "Film formation from water-borne latex dispersions" Proefschrift 2001 Technische Universiteit Delft.
- 13 a) D.A. Dillard, A.V. Pocius "The Mechanics of adhesion" 2002, Elsevier Science, Amsterdam.
b) M. Chaudhury, A.V. Pocius "Surfaces, Chemistry and Applications" 2002, Elsevier Science, Amsterdam.
- 14 J. Malzbender, J.M.J. den Toonder, A.R. Balkenende, G. de With "Measuring mechanical properties of coatings: a methodology applied to nano-filled sol-gel coatings on glass" Materials Science and Engineering R 2002, 36, 47-103.
- 15 "Photophysics of surface-treated titanium dioxides" Michael Schiller, FW Muller, C Damm, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 2002 149 227-236.
- 16 G. de With "Structure and charge distribution of molecular crystals" Proefschrift 1977, Technische Hogeschool Twente.
- 17 R.A.T.M. van Benthem "Palladium (II) catalyzed oxidative cyclizations in the synthesis of vicinal aminoalcohols and diamines" Proefschrift 1995, Universiteit van Amsterdam.
- 18 V.A. Soloukhin "Nanocomposite hybrid coatings on polycarbonate" Proefschrift 2003, Technische Universiteit Eindhoven. J. Brokken-Zijp, V.A. Soloukhin, W. Posthumus, G. de With, Proceedings 2003 Athens Conference on Coatings Science and Technology, Vouliagmeni, Greece, 2003 49 -69.
- 19 The Brundtland Report "Our common Future", UN Tokyo summit 1987. Zie ook www.doc.mmu.ac.uk/aric/esd/Action/Brundtland_Report.html.
- 20 Johannesburg VN wereldtop "Sustainable Development", 2002.
- 21 S. Schmatloch, H. Bach, R.A.T.M. van Benthem, U.S. Schubert "High-Throughput Experimentation in Coating and Thin Film Research: State-of-the-art and Future Perspectives" Macromolecular Rapid Communications 2004, 25, 95 - 107.
- 22 Ringopeningsreactie van primaire amines met cyclische anhydriden leidt tot amido-zuren, die een sterk hydrofiel karakter hebben. Deze zuren kunnen een covalente of ionische binding aangaan met de metaaloxidelaa. Indien de zuren geen andere reacties aangaan kunnen de amido-zuren een verdere reactie ondergaan onder afsplitsing van water, imidiserend genoemd, waardoor een chemisch stabiele ringstructuur ontstaat die juist een hydrofoob karakter heeft.
- 23 M.C. Reish, "Paint and Coatings" Chemical and Engineering news 2003, 3-11, 23.
- 24 a) A. Thullo "Automotive Coatings" Chemical & Engineering News 2002, 21-10, 27.



b) F. Mezger “New themes for automotive coatings for the next five to ten years” Proceedings 2003 Athens Conference on Coatings Science and Technology, Vouliagmeni, Greece, 2003 251 – 260.

25 Het verkrijgen van hoogglans, dus een zeer strak oppervlak, vereist het vermogen van de verf om te vloeien (lage viscositeit) na aanbrengen en tijdens filmvorming, gedreven door de oppervlaktespanning. Waterige dispersie en latex coatings, met uitzondering van alkydemulsies en sommige polyurethaandispersies, hebben juist een relatief hoge viscositeit van het bindmiddel, terwijl de gebruikte oppervlakte-actieve stoffen de oppervlaktespanning verlagen. Met mengels van dispersies van verschillende deeltjesgroottes zou men dit nadeel enigszins kunnen verzachten (A.C.I.A. Peters, G.C. Overbeek, T. Annable “Bimodal particle size distribution polymer/ oligomer combinations for printing ink applications” Progress in Organic Coatings 2000, 38, 137-150). Bijkomende complicatie voor het verkrijgen van een zeer glad oppervlak is dat in waterige systemen het pigment niet reeds homogeen in het bindmiddel verdeeld is, maar apart in water gedispergeerd.

26 Een typisch nadeel van water gedragen verven, en de voornaamste reden voor het eerder genoemde “conservatisme” (zie 2), is hun beperkte zogenoemde “open tijd”. Dit betreft vooral de verwerking van de verf in de doe-het-zelf of professionele schilders omgeving: degene die de verf aanbrengt heeft minder tijd om met de kwast correcties aan te brengen dan met een traditionele solvent gedragen verf omdat zich tijdens de droging een plotselinge forse stijging van de viscositeit voordoet wanneer het water verdampt en de gedispergeerde deeltjes elkaar beginnen te raken. Het gebruik van laag visceuze oligomeren lijkt een oplossing, A. Overbeek, F. Bückmann, E. Martin, P. Steenwinkel, T. Annable “New generation decorative paint technology” Progress in Organic Coatings, 2003, 48, 125-139.

27 V.F. Petrenko US-Patent 6,563,053 2003. Op internet: “Getting a grip on ice and snow” <http://engineering.dartmouth.edu/thayer/research/ice-engg.html>.

28 W. Barthlott, C. Neinhuis Planta 1997, 202, 586. Verder zijn aardige

voorbeelden van de “Lotus” technologie te vinden op internet: http://www.sunyx.de/sunyx_engl/htm/tech/tech_frame.html en http://www.lotusan.de/lotusan/_o2_wissen/index.jsp.

29 a) W. Ming, M. Tian, R.D. van de Grampel, F.Melis, X. Jia, J. Loos, R. van der Linde, “Low Surface Energy Polymeric Films from Solventless Liquid Oligoesters and Partially Fluorinated Isocyanates” Macromolecules 2002 35, 6920-6929.

b) R.D. van de Grampel, “Surface of Fluorinated Polymer Systems” Proefschrift 2002, Technische Universiteit Eindhoven.

30 a) P. Kingshott, H.J. Griesser “Surfaces that resist bioadhesion” Current Opinion in Solid State and Materials Science 1999, 4(4), 403-412.

b) E. Ostuni, R.G. Chapman, M.N. Liang, G. Meluleni, G. Pier, D.E. Ingber, G.M. Whitesides “Self-assembled monolayers that resist the adsorption of proteins and the adhesion of bacterial and mammalian cells” Langmuir 2001, 17, 6336-6343.

Het in dit boekje en tijdens de presentatie gebruikte fotomateriaal werd voor dit doel ter beschikking gesteld door DSM Coatings Resins, AKZO-Nobel Coatings Resins, AKZO-Nobel Coatings, NeoResins, BASF Coatings, Bayer AG, Troy Corporation en Management Team, waarvoor mijn dank.

Curriculum Vitae

Prof.dr. R.A.T.M. van Benthem is per 1 oktober 2002 benoemd tot deeltijd hoogleraar Coating technologie aan de faculteit Scheikundige technologie van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e).

Rolf van Benthem (1968) studeerde Scheikunde aan de Rijksuniversiteit Leiden met als afstudeerrichting Organische Chemie en Biokatalyse (1990). In 1995 promoveerde hij aan de Universiteit van Amsterdam met een proefschrift over homogene oxidatie katalyse in de organische synthese van vicinale aminoalkoholen en diamines (professoren Speckamp en Hiemstra). Dit proefschrift werd bekroond met de H.J. Backer prijs voor het beste proefschrift in de organische chemie (1995). Na zijn promotie startte hij zijn onderzoek naar hoogvertakte polymeren en andere coatinggerelateerde onderwerpen in dienst van DSM Research in Geleen. Dit onderzoek werd o.a. beloond met de DSM Publication Award (2002). Van Benthem blijft ook na zijn benoeming tot hoogleraar aan de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) werkzaam bij DSM Research als Competence Manager Network Chemistry en Program Manager Coating Resins.

Colofon

Productie:

Communicatie Service
Centrum TU/e

Fotografie cover:

Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp:

Plaza ontwerpers,
Eindhoven

Druk:

Drukkerij Lecturis,
Eindhoven

ISBN: 90-386-1233-8

Digitale versie:

www.tue.nl/bib/