

PDFs van de website 2

Lijmen & Hechting

De wondere wereld van lijmen en hechten



gecertificeerde
NLT module
voor havo

Lijmverbindingen

Belangrijke facetten van het ontwerpproces

U kent het wel: na veel werk is de lijmverbinding tot stand gebracht, maar om onverklaarbare redenen begeeft de verbinding het op een onverwacht moment. Omdat de reden van breuk meestal niet helemaal duidelijk is en de kans op een tweede breuk moet worden geminimaliseerd, leidt dit al snel tot een andere verbindingvorm waarmee meer ervaring bestaat. In feite is dit een gemiste kans. Zonde! Lijmverbindingen zijn wel degelijk zeer betrouwbaar te ontwerpen en te bouwen. In dit artikel worden een aantal belangrijke facetten van het ontwerpproces kort toegelicht.

Lijmverbindingen hebben een aantal voordelen ten opzichte van andere verbindingstechnieken. Het grootste voordeel is dat lijmverbindingen op een vloeiende wijze de krachten overdragen van het ene onderdeel op het andere. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld puntlassen, waar alle krachten slechts via de las worden overgedragen. Bij klinknagels of boutverbindingen is de situatie nog ernstiger. Daarbij wordt het product ook nog verzwakt als gevolg van de gaten die geboord moeten worden. Dit kan bij wisselende mechanische belasting - een vorm van vermoeiing - leiden tot breuk.

Ontwerp van de lijmverbinding

Een gelijmde verbinding kent andere karakteristieken en mogelijkheden dan bijvoorbeeld een gelaste verbinding. Vanaf de ontwerpfase moet hier rekening mee worden gehouden. Een voorbeeld is te vinden in het ontwerp van een doosconstructie (zie figuur 1). Bij het lassen moet de naad toegankelijk zijn, waardoor bij lassen wordt gekozen voor constructie 1a. Bij het lijmen is het zowel uit esthetische overwe-

gingen als uit het oogpunt van spanningsoverdracht wenselijk om voor constructie 1a te kiezen.

Bij het ontwerp van de lijmverbinding moet direct al rekening worden gehouden met de aanbrenghmogelijkheden van de verschillende lijmsystemen. Niet alle verbindingvormen zijn zomaar geschikt voor elk lijmsysteem. Er zijn een aantal hoofdgroepen te onderscheiden, zoals:

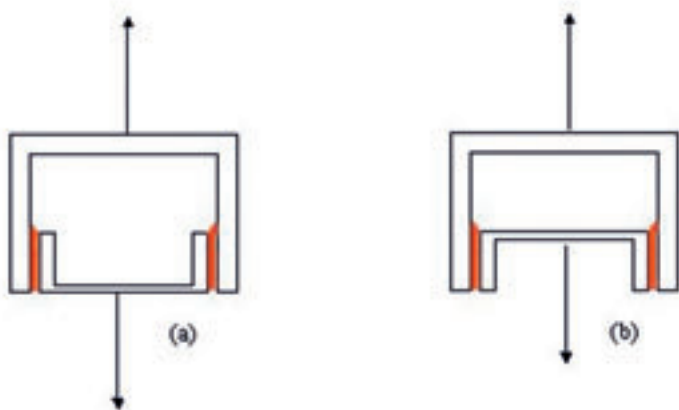
- 1-componentlijmen (anaërobe lijmsystemen);
- Vochtuihardende 1-componentlijmen;
- UV-uitdardende 1-componentlijmen;
- Smeltlijmen (hotmelts en reactieve hotmelts);
- Tapes in de vorm van vrije lijmfilm dan wel lijm op een drager;
- 2-component lijmen, waarin men weer systemen onderscheidt waarbij een harder gemengd moet worden (polyurethaan, epoxy), dan wel lijmen waarin een initiator en hars separaat worden opgebracht (no-mix acrylaatlijmen).

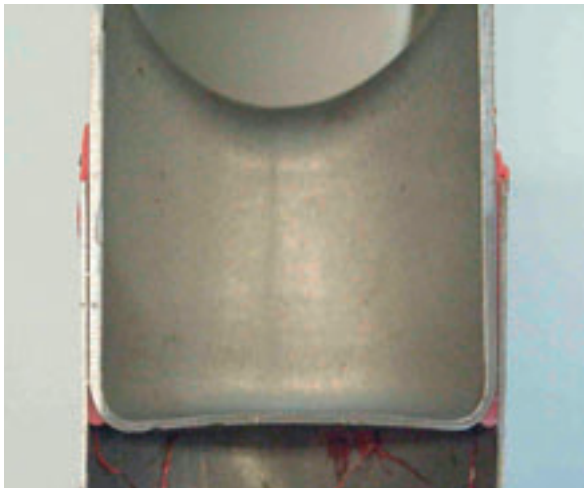
Lijmselectie

In de ontwerpfase moet ook de selectie van de lijm plaatsvinden. Deze keuze moet gebaseerd zijn op een groot aantal belangrijke factoren. Als eerste moeten de te verlijmen materialen worden gezien. Wanneer de aard van de materialen geen verwarming toelaat, zoals bij veel kunststoffen het geval is, vallen lijmen die bij hogere temperatuur uitharden al direct af. Ook zijn de omgevingscondities waarin de lijmverbinding later zal moeten functioneren van groot belang. Dit beperkt de lijmkeuze vaak aanzienlijk. Toch is er door het grote aantal verkrijgbare lijmsystemen altijd wel een geschikt lijmsysteem verkrijgbaar voor vrijwel iedere toepassing.

Wanneer er niet direct voor wordt gekozen om een expert in te schakelen, moet voorafgaand aan de defi-

Figuur 1 - Doosconstructie: meest geschikte vorm voor lijmen (a), respectievelijk lassen (b)





Figuur 2 - Een staal-staalverbinding met een constante lijmaaddikte en een zogenaamde 'fillet' of lijmkraal

nitieve lijmk keuze een lijst van eisen worden opgesteld waaraan de constructie c.q. verbinding dient te voldoen. Allereerst zijn er natuurlijk eisen aan de sterkte van de lijm. Hoeveel kracht moet er worden overgedragen? Daarna komt het materiaal waarop gelijmd moet worden aan bod. Wat zijn de noodzakelijke voorbehandelingen? Vaak staat of valt de duurzaamheid van het product met de voorbehandeling. In een aantal gevallen kan het aanbrengen van een primer een belangrijk onderdeel vormen van dit voorbehandelingproces.

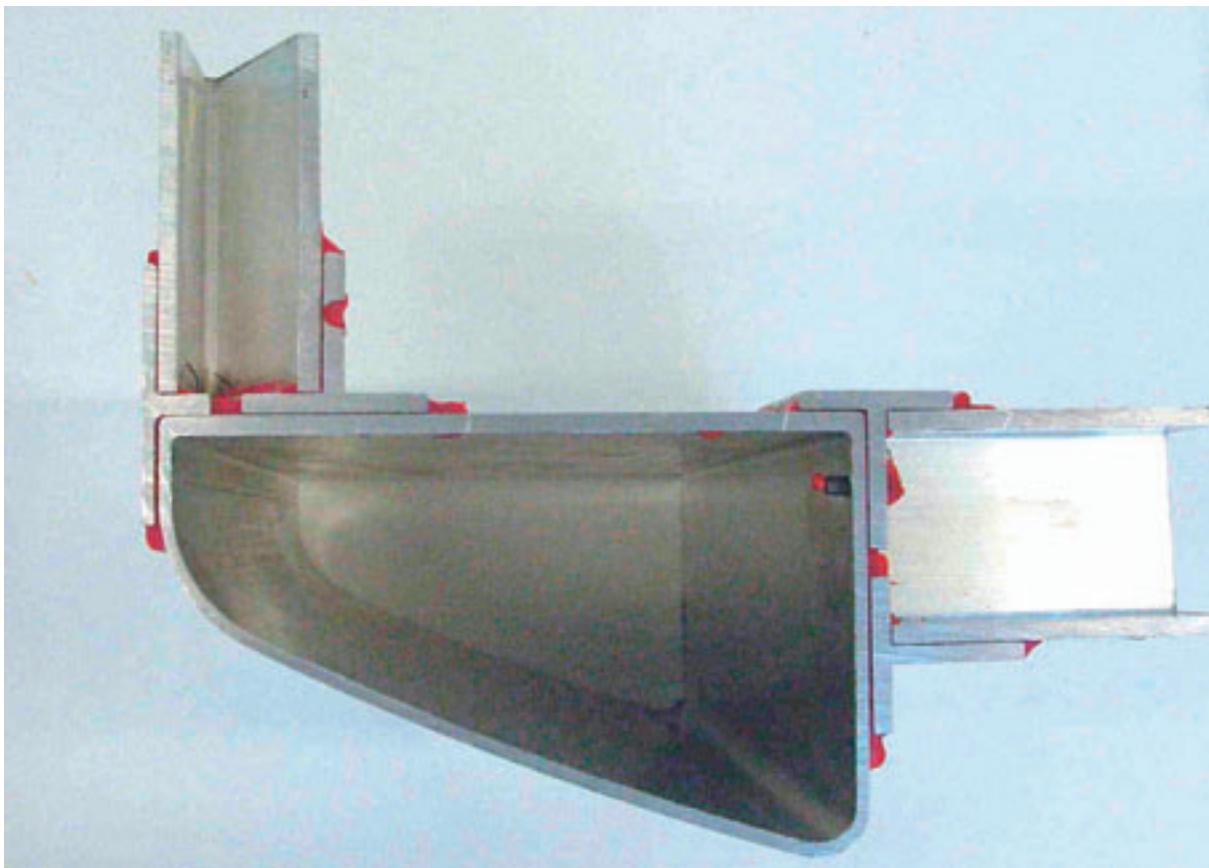
Andere eisen die aan de lijmverbinding kunnen wor-

Eerste hulpmiddel

Een eerste hulpmiddel voor het maken van een verantwoorde lijmk keuze is te vinden op de website www.dunneplaat-online.nl. Via deze site kan op basis van in te voeren productomschrijvingen worden bepaald of er technisch gezien mogelijkheden zijn om tot een lijmvverbinding te komen voor het verlijmen van dunne plaatmaterialen.

den gesteld, zijn: het spleetvullend gedrag, trillingsdemping, geleiding van de lijm (elektronica of warmte), krimpgedrag (optica) of stabiliteit (kruipgedrag/stijfheid van de verbinding). Ook de toepassing in een zeker klimaat is belangrijk. Denk aan hoge luchtvochtigheid gecombineerd met een hoge temperatuur of regelmatig terugkerende grote temperatuurswisselingen. De toepassing in een klimaat met zouten, gecombineerd met vocht (zeeklimaat) verdient grote aandacht. Dit geldt vooral in combinatie met verhoogde temperaturen.

Ook is het van belang om een product dat wordt blootgesteld aan aanzienlijke belastingswisselingen bij een kracht die - als vuistregel - vijftien tot twintig procent van de statische breukkracht overtreft, te testen op een vermoeiingsbank. Deze test is noodzakelijk om voortijdig falen te voorkomen en desnoods het design aan te passen. Wanneer lijmvverbindingen juist zijn ontworpen, functioneren ze erg goed dankzij de grote spreiding van krachten over de te verbinden producten.



Figuur 3 - Verlijming van de deurspant van de autoportier op de treeplank



Figuur 4 - Het zeepbakje is een goed voorbeeld waar een lijmverbinding kostentechnisch een duidelijk voordeel biedt ten opzichte van een soldeerverbinding. Ondanks de continue belasting van allerlei producten in een agressief - vochtig en basisch milieu - blijkt deze verbinding probleemloos te voldoen.

De volgende stap bestaat uit het nagaan van de randvoorwaarden ten aanzien van het productieproces. Te denken valt aan de productiesnelheid: wanneer is de verbinding handvast zodat het product kan worden verplaatst? Welke uithardingtemperaturen zijn toelaatbaar, of zijn er productiestappen na het lijmen die invloed kunnen hebben op de lijmverbinding

‘Slechte voorbehandelingen vallen al snel door de mand’

(denk aan puntlassen en lakprocessen)? Met wat slimheid kan bijvoorbeeld een lakstraat direct worden gebruikt om de lijm versneld uit te harden en zo zijn definitieve sterkte te geven.

De lijmnaaddikte heeft ook invloed op de sterkte van de verbinding en heeft bij veel tweecomponent-systemen als vuistregel een dikte van 0.2 mm. Een kleine lijmvlloe vanuit deze lijmnaad heeft een positieve invloed op de sterkte. Een goed voorbeeld hiervan is te vinden in figuur 2, waar een staal-staalverbinding een mooie, constante lijmnaaddikte bezit en tevens een zogenaamde ‘fillet’ of lijmkraal vertoont. Tenslotte moet natuurlijk worden nagegaan in hoeverre eventuele investeringen wel of niet terug te verdienen zijn. Denk bijvoorbeeld aan applicatieappara-

tuur, ovens, aanpassing van het productieproces en niet te vergeten eventuele winst in de kwaliteit van het product. Een objectieve kosten-batenanalyse moet aan de beslissing ten grondslag liggen. Gewaard met deze voorinformatie kan in overleg met een deskundige een goed overwogen en dus verantwoorde lijmkeuze worden gemaakt. Een voorbeeld hiervan is de verlijming van de deurspant van de autoportier op de treeplank (figuur 3).

Lijmen van metalen

Voor het verkrijgen van een goede hechting op metalen is het ontvetten en schuren of (korund) stralen meestal een vereiste. Deze bewerking levert namelijk een actief oppervlak op. Bij het schuren en stralen kan als vuistregel gelden dat een oppervlakterutheid van zes tot vijftien μm het beste lijmresultaat levert. De voorbehandeling heeft meestal invloed op de initiële sterkte, maar vooral ook op de duurzaamheid. Slechte voorbehandelingen vallen al snel door de mand wanneer de verbinding bijvoorbeeld met vocht in contact komt. Voor vrijwel ieder type metaal kunnen uit handboeken en artikelen vele (chemische) voorbehandelingen worden geselecteerd. De resultaten - vooral op duurzaamheid - zijn onderling echter moeilijk te vergelijken door de enorme diversiteit aan materialen en gehanteerde testwijzen. Zo is staal vaak goed te verlijmen, roestvast staal en aluminium (legeringen) pas na een specifieke voorbehandeling en koper- en messing (legeringen) meestal minder goed. De verlijmingmogelijkheden van gecoot staal is sterk afhankelijk van het type coating en de onderlinge hechting tussen coating en staal.

Lijmen van kunststoffen

Op het gebied van kunststoffen zijn er twee hoofdgroepen te onderscheiden. Gewone plastics zoals PE, PP, PVC, PS en PMMA en de zogenaamde technische kunststoffen of ‘engineering plastics’. Daaronder worden verschillende blends gerekend en PC, PPO, ABS, POM, PA, PET/PBT, PEEK, PEI, PPS en LCP. Vele van deze kunststoffen worden in vezelversterkte vorm toegepast. Zij worden gekenmerkt door gunstige mechanische, thermisch optische of chemisch bestendige eigenschappen, of combinaties daarvan. Veel van de kunststoffen kennen door deze karakteristieke eigenschappen speciale doeleinden. De verlijming van kunststoffen wordt, de reinheid van het oppervlak als uitgangspunt nemend, voornamelijk bepaald door zijn oppervlakte-energie. Hoe hoger de oppervlakte-energie, des te beter zal het product verlijmbaar zijn. In een enkel geval zal de oplosbaarheid een rol spelen, bijvoorbeeld in het geval van PVC. Veel kunststoffen ontberen echter zowel polariteit - ze heten dan ‘apolair’ - als oplos-

baarheid. Om deze kunststoffen toch goed te kunnen verlijmen, is dan een speciale oppervlakbehandeling nodig om juist deze polariteit te verhogen. Zo valt te denken aan een voorbehandeling met chemicaliën - zuren die het oppervlak oxideren - ofwel vlam-, corona-, laser- of UV-behandeling. Daarnaast zijn voor veelgebruikte kunststoffen als polypropyleen (PP) en polyethyleen (PE) speciale primers ontwikkeld (gechloreerde polyolefinen), die de hechting in combinatie met bepaalde lijmsystemen eveneens goed mogelijk maakt.

Combineren van verbindingsmethoden

Een belangrijk aspect van het verbinden van materialen en dus ook van technische kunststoffen, is de mogelijkheid om dezelfde of verschillende materialen met elkaar te verbinden. Dit kan op diverse manieren:

- Mechanisch: spijkeren, nieten, schroeven, klinken en klikken;
- Lassen: speciale technieken voor metalen en kunststoffen;
- Lijmen;
- Combinaties van bovenstaande technieken: bijvoorbeeld een mechanische techniek in combinatie met lijmen of (punt-)lassen in combinatie met lijmen.

Kwaliteitscontrole

De bekendste hoogwaardige toepassing van lijmen is waarschijnlijk die in de vliegtuigbouw. In deze tak worden al sinds de jaren vijftig gelijmde metaalconstructies van velerlei aard toegepast. Kenmerkend voor deze toepassingen zijn vooral de zeer zorgvuldige voorbehandeling, de productiewijze en de kwaliteitscontrole. De lijmen en voorbehandeling van de metalen zijn hier zorgvuldig op elkaar afgestemd. Voor andere takken van industrie blijkt vaak door een gebrek aan kennis de toepassing van lijmverbindingen gering. Te lange productietijden en voorbehandeling van de oppervlakken hoeven echter geen reden meer te zijn om een lijmverbinding in een product te vermijden.

Controle op de kwaliteit van het te verlijmen oppervlak kan onder meer plaatsvinden door zogenaamde contacthoekmetingen. In de meest simpele vorm wordt deze bepaald aan de hand van de hoek die een druppel water maakt met een te verlijmen oppervlak. Hoe kleiner deze hoek, en dus hoe beter de vloeit, des te groter is de kans dat het oppervlak goed te verlijmen valt. Blijft de druppel als een parel op het oppervlak staan, dan is het oppervlak (te) vet. Er zijn vele, ook eenvoudige, middelen in de handel verkrijgbaar waarmee is na te gaan of het te lijmen oppervlak geschikt is voor verlijming.

Controle op het totale product hoeft slechts steekproefsgewijs plaats te vinden. In sommige gevallen kan dit mogelijk zelfs achterwege blijven, wanneer al de gebezigde processtappen nauwkeurig in procedures zijn vastgelegd en tussenstappen in de productie binnen vooraf bepaalde grenzen vallen. Deze grenzen dienen echter vooraf te worden gebaseerd op theorie- en praktijktesten.

Milieuaspecten

In toenemende mate krijgen ook de milieuaspecten van lijmen de aandacht. In de publiciteit is nogal wat

'Het toepassen van lijmverbindingen blijkt vaak gering door gebrek aan kennis'

aandacht besteed aan bijvoorbeeld de tapijtleggers in verband met oplosmiddeldampen uit contactlijmen. Ook de plaatverwerkende industrie, de meubelindustrie en de verpakkingsindustrie hebben vaak met deze lijmen te maken. Toch zijn er inmiddels vele 'veilige' watergedragen lijmen op de markt.

De meeste lijmen zijn tegenwoordig met 'normale' voorzorgsmaatregelen te hanteren. Voor alle lijmproducten worden bovendien 'Veiligheids Informatie Bladen' door de lijmleveranciers verstrekt, waarin de samenstelling, toxiciteit, brandbaarheid, beschermingsmaatregelen, opslag, transport en restafvalverwerking zijn beschreven.

De constructeur die overweegt om lijmverbindingen in zijn ontwerp te plaatsen, doet er goed aan om zich vooraf ofwel in de literatuur te verdiepen, ofwel in een vroeg stadium contact op te nemen met een specialist op dit gebied. ■

Hans Poulis is sinds 1995 werkzaam bij het Hechtingsinstituut TU Delft. Dit instituut is een onderdeel van de universiteit en levert adviezen aan bedrijven op het gebied van voorbehandelingen, lijmen en het mechanisch gedrag van lijmverbindingen. Hans Poulis heeft in Leiden experimentele natuurkunde gestudeerd en is in 1993 aan de afdeling werktuigbouwkunde van de TU Delft gepromoveerd op het verlijmen van kleine, roestvast stalen onderdelen. Zijn specialiteiten zijn het voorbehandelen van roestvast staal en moeilijk te verlijmen kunststoffen zoals polypropyleen (PP) en polyethyleen (PE).

Stork Fokker ontwerpt casco voor lichtgewicht bus

Lijmverbindingen in een autobus

Luit Zwaneveld, Stork Fokker

Stork Fokker te Hoogeveen heeft het casco voor een lichtgewicht bus ontworpen. Hierin zijn veel sandwichconstructies en lijmverbindingen verwerkt. Een artikel over de bijzondere problemen die moeten worden opgelost voordat een dergelijke bus de weg op kan.

1. Theorie en praktijk

Door de opdrachtgever en projectcoördinator APTS is de eerste autobus van een serie van dertien samengebouwd in begin 2002. Tijdens de testritten blijkt de bus aan tal van criteria voor gebruik te voldoen. In onbeladen toestand heeft de autobus alle testronden doorlopen, in vol beladen toestand is men nog bezig het vereiste testtraject af te leggen. Een vrijgave voor de inzet in het openbaar vervoer wordt nog dit jaar verwacht. In dit artikel staan lijmverbindingen in een lichtgewicht constructie centraal.

Na een toelichting op de keuze voor sandwichconstructies en lijmverbindingen (paragraaf 2) wordt per onderdeel van de samen te bouwen constructie-elementen ingegaan op: producteisen, eventuele problematiek rond toleranties en uitzettingsverschillen alsmede de gekozen oplossingen (paragraaf 3 tot en met 8). Bij het beschrijven van de verschillende technische aandachtspunten is tevens gebruik gemaakt van de ervaringen die in 1998 zijn opgedaan met de ontwikkeling van een lichtgewicht casco voor het 'Project Innovatiebevordering Rotterdam'.



APTS-voertuig.

2. Keuze voor sandwichconstructie en lijmverbindingen

In het voor het stadsverkeer zo kenmerkende *stop and go* verkeer is het totaalgewicht van de autobus van belang. Mede door het feit dat bij deze specifieke autobus alle wielen bestuurbaar zijn en er slechts twee banden per as gemonteerd konden worden, werd de wens om hiervoor

een lichtgewicht casco te bouwen steeds duidelijker. Stork Fokker werd gevraagd om een voorstel te doen. Een lichtgewicht constructie is te ontwerpen indien alle delen van de constructie krachten doorleiden en tevens maximaal worden belast. Er dient ook te worden voorkomen dat constructies plaatselijk moeten worden verzwaaard op plaatsen waar via bevestigingsmiddelen belastingen worden doorgeleid. Bij buigende belastingen is de sandwichconstructie een goede keuze. Immers bij een buigbelasting worden de krachten in hoofdzaak langs de buitenste vezels geleid en de kern, die niet zo hoog wordt belast, kan dan worden uitgevoerd met een zwakker materiaal dat bij voorkeur licht van gewicht is. Voor alle vlakke delen is een aluminium plaat als huid voor de sandwich gekozen omdat in het casco deze constructiedelen de meeste buigende belastingen opnemen. Daarnaast is binnen Fokker Hoogeveen de expertise voor de vervaardiging van deze elementen inmiddels ruim dertig jaar aanwezig. Vanwege de vormvrijheid zijn alle enkelvoudig gekromde elementen en drie dimensionale vormdelen vervaardigd met een glasvezel gevulde hars laminaat (GVK) als huid van de sandwich.

De verbindingsmiddelen tussen de constructiedelen dienen de belasting, vanwege de gewenste licht gewicht constructie, zo egaal mogelijk te verdelen. Lijmen blijkt voor de licht gewicht autobussen een goede oplossing te zijn. Het samenbouwen van alle constructie elementen kent een verscheidenheid aan eisen die elk apart dienen te worden beschouwd. Bij het bespreken van de lijmverbindingen zijn de volgende deelgebieden te onderscheiden:

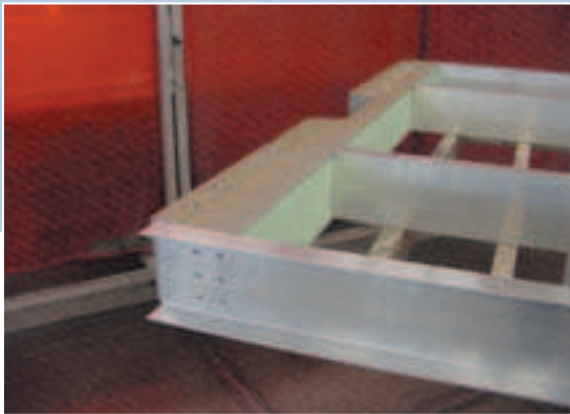
- vlakke onderdelen: vloer en dak (paragraaf 3);
- zijwandmodule (paragraaf 4)
- zijwandmodule aan vloer (paragraaf 5);
- zijwandmodulen onderling (paragraaf 6);
- zijwandmodule en stoelrails (paragraaf 7);
- kop van het voertuig en materiaalkeuze (paragraaf 8).

3. Vlakke onderdelen: dak en vloer

Producteisen Vlakke delen zoals de vloer en het dak zijn uitgevoerd als een raamwerk van aluminium extrusies, waarbij de tussenruimten zijn gevuld met schuim en aan de boven- en onderzijde afgesloten met aluminium platen als huidplaat.

Het dak leidt op zich weinig belasting door en kan zeer licht worden uitgevoerd. Het grote oppervlak wordt gevormd door de huidplaten en de gewichtswinst moet hier worden gezocht. Dunne huidplaten neigen tot ploovorming onder belasting en ook hierbij speelt de sandwichconstructie met zijn ondersteunende schuimkern een belangrijke rol om te voorkomen dat dit bezwijkgedrag kan optreden. Aan de lijm in het dak worden op product niveau geen specifieke eisen gesteld anders dan een gebruikstemperatuur van 90°C boven de motorruimte. Vooral de vloer moet veel buigbelasting opnemen. Tegelijkertijd mag de vloer daarbij, vanwege de bodemvrijheid

Voorrand vloer.



van de bus, niet teveel doorbuigen. Ook de vereiste minimale eigenfrequentie was mede reden om de constructie zo stijf mogelijk uit te voeren. De keuze van de lijmlaagdikte is van invloed op dit gedrag. De huidplaten moeten via de extrusies zo stijf mogelijk worden gekoppeld.

Oplossing Er is een epoxy lijm gebruikt met een hoge glijdingsmodulus die tot een dunne lijmlaag kan worden verwerkt. Om dit te bereiken wordt een verwarmde pers gebruikt die de 1-component lijm en laag visceus maakt en tevens tot volledige vernetting laat uitharden. De krachten die door deze lijmmaad worden opgenomen zijn in deze toepassing relatief laag, in de orde van grootte van 8 N/mm². Hiervoor is het voldoende om het aluminiumoppervlak te behandelen met een chemisch chromateerproces. Deze behandeling zorgt ervoor dat vocht en zout in de loop van de tijd niet de gelegenheid krijgen het oppervlak van het aluminium te corroderen en daarmee de verbinding te verzwakken.

Aangezien het casco deel uitmaakt van een gelede bus is er op de overgang tussen de rijtuigen een gebied te onderscheiden waar via de draaikrans op slechts één locatie alle krachten worden overgedragen. Tevens geldt in dit geval dat bij bezwijken de krachten niet via een andere route opgevangen kunnen worden. Daarmee kan een levensbedreigende situatie ontstaan. Hiervoor geldt dat een ruime marge op de veiligheidsfactor moet worden gezet. De gekozen lijm kan op afschuif tot 30 N/mm² worden belast en tot dit niveau zal ook de kracht naar het aluminium oppervlak doorgeleid moeten worden. Binnen de vliegtuigbouw wordt hiervoor het chroomzuur anodiseerproces toegepast, afgewerkt met een extreem dunne epoxy primerlaag. Het anodiseerproces wordt uitgevoerd in een bad met een geschikt elektrolyet onder invloed van een elektrisch potentiaalverschil. Hierbij vormt zich vanuit het basismateriaal aluminiumoxide dat zeer hecht is verbonden met de ondergrond.

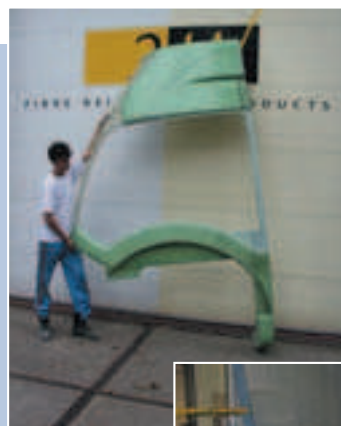
Er is in de sandwichconstructies van het dak dezelfde lijm gebruikt als bij de vloer om logistieke redenen.

4. Zijwandmodule

Producteisen De zijwandmodule dient zoveel mogelijk functies in zich te dragen. De optredende belastingen zijn in hoofdzaak schuifbelastingen tijdens torsie van de autobus, en compressie tijdens het doorbuigen van de vloer. Weerstand tegen aanrijdingen en het vormen van een voldoende stijf montagevlak voor de stoelrail is een volgende eis. Tevens moest de binnenzijde inclusief raampan en de buitenzijde geheel glad en spuitklaar worden geleverd.

Oplossing De zijwandmodule is een bouwelement gefabriceerd met een schuimkern omgeven door glasvezel gevulde polyester hars. Met behulp van sterkteberekeningen is de minimale dikte van het glaslaminaat

vastgesteld en zijn de eigenschappen voor de schuimkern geverifieerd. Er werd met opzet niet gestreefd naar een hoge vezel-volume verhouding hoewel dit voor het gewicht gunstiger zou zijn. De kosten voor hoge vezel-volume verhoudingen liggen hoger vanwege de vereiste productie methoden en er lag nog een eis voor bescherming tegen impact op de buitenzijde van de autobus. Deze laatste eis is vertaald naar dikte van de huid waardoor het glasvezel laminaat nu een dikte heeft van circa 3 mm. De wijze van produceren komt voort uit de eis dat zowel de buitenkant als de binnenkant, inclusief de raamomgeving van de bus, glad afgewerkt en spuitklaar moest zijn en dat bij de productie nauwelijks styreen mocht ontwijken. Het laatste geeft aan dat de gesloten maltechniek van toepassing is en uiteindelijk is gekozen voor RTM als productie techniek. Hierdoor is het mogelijk gebleken een netto product te fabriceren waarbij slechts een dun randje hars langs de omtrek moest worden verwijderd. De gekozen vezel-volume verhouding van 25% (=40% gewicht) bleek op meer aspecten invloed te hebben. Het kernmateriaal van PUR-schuim laat slechts een compressie toe van 2 bar zodat men de druk van de hars toevoer lager dan deze waarde moet instellen. De RTM hars is met zijn bijbehorende viscositeit ook bij deze lage druk in staat om het glasvezel pakket te benatten en volledig te doorstromen binnen de getijd. Deze druk zet tevens de mal minder onder spanning waardoor de uitwijkingen gering blijven en de mal een lange standtijd kent. De mal heeft daarom ook niet extreem stijf uitgevoerd te worden, hetgeen het gewicht en de kosten gunstig beïnvloed. De zijwandmodulen worden voor het schuren van de lijmlakken onderworpen aan een *post cure cycle* om het reststyreengehalte binnen het product te verlagen tot zo'n 0,5%. Deze waarde wordt aangehouden om zeker te stellen dat in de tijd gezien de lijmhchting op de lijmlakken niet door het later uittreden van styreen wordt verzwakt. Volgens harsleveranciers is er een voorkeur om het glasvezellaminaat direct aan een temperatuur van 90 °C bloot te stellen maar tot nu toe is dit niet aangedurfd. Wegens veronderstelde vormverandering van het met schuim gevulde product hebben we het proces uitgevoerd op 40°C gedurende 24 uren. Door deze *post cure* behandeling ver-



← Kop-zijwandmodule.

RTM-mal met product. ↓





Zijwand monteren.

krijgt de polyester hars direct de uiteindelijk gewenste mechanische eigenschappen en is dan ook beter schuurbaar.

5. Zijwandmodule aan vloer

Producteisen De onderste helft van de module vormt samen met de vloer een U-vorm. Deze vorm kent een goede stijfheid mits de onderdelen onderling ook weer stijf zijn gekoppeld. De verbinding tussen de GVK modules en de vloer mag niet door een hoog flexibele lijm worden gevormd.

Oplossing Vanwege de grootte van de afschuifkrachten en het gevaar van pelkrachten tijdens bepaalde belasting gevallen werd op deze plaats een gemodificeerde 2-componenten epoxylijm gebruikt met een uitstekende hechting aan de GVK module. De aluminium randextrusie was reeds gechromateerd voor een optimale hechting en de modules behoeften slechts ontvet en geschuurd te worden.

Toleranties De zijwandmodule wordt in de randextrusie van de vloer geschoven zodanig dat de aangebrachte lijm niet wordt opgestroopt of weggedrukt. De gekozen lijm is mede door zijn tixotrope eigenschap in staat een spleet van 1 mm te overbruggen. Ofschoon het blijft gelden dat een lijmnaad bij voorkeur zo dun mogelijk dient te zijn, zeker als stijfheid in het geding is, laat de stijfheid van de zijwandmodule deze spleet toe. De zijwandmodule wordt aan de voet zowel aan de boven- als aan de onderzijde geschuurd en dit geeft voldoende mogelijkheid om de tolerantie op de spleet te garanderen.

Rijtuig drie modules.



6. Zijwandmodulen onderling

Producteisen De productie van de modules verlangt een lossingshoek langs de randen. De spleet tussen de modules wordt daardoor taps van vorm. Indien een stijve lijm in deze spleet zou worden toegepast dan worden de krachten eerst opgenomen in het dunste en meest stijve gedeelte. Dit gedeelte is zeer beperkt van oppervlak zodat er een niet te grote belasting mag optreden.

Oplossing Gezien de hiervoor beschreven situatie is de voorkeur gegeven aan een hoog flexibele lijm die in staat is de krachten nog meer te spreiden. De lage sterkte van dit soort lijmen (3 N/mm^2) is in dit geval geen probleem omdat het totale lijmpoppervlak tussen de modules groot is. Daardoor blijft de verbinding in stand ook bij grote belasting. Door de breedte van de lijmnaad van ongeveer 60 mm treedt tijdens compressie tussen de zijwandmodules een alzijdige druk op in de lijm die de lijmverbinding stijver maakt.

Toleranties De kopse wanden worden op de uiteinden van de vloer geplaatst en zijn daarmee direct gekoppeld aan de tolerantie op de vloer. De zijwanden vullen de ruimte op tussen de kopse wanden. Door het aantal spleten tussen de modules en tussen modules en kopse wand kunnen aanzienlijke tolerantie verschillen worden opgevangen zonder dat de krachtoverdracht en stijfheid hieronder heeft te leiden.

7. Zijwandmodule en stoelrails

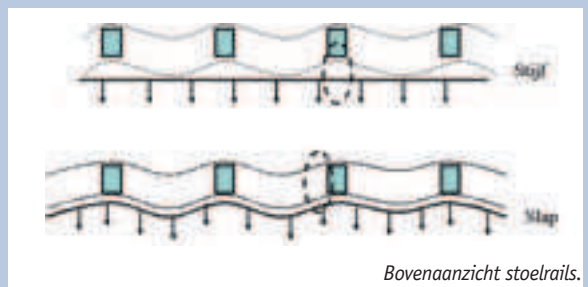
Producteisen De stoelen in het casco worden zonder afsteuning op de vloer aan de wand gehangen. Dit geeft een geheel vrij vloeroppervlak dat gemakkelijk te reinigen is. Wat de koppeling van de stoelrails aan de wand betreft heeft deze methode een aantal overwegingen tot gevolg.

De zijwandmodules die reeds gedefinieerd waren als een sandwichconstructie met GVK huiden, hebben een lagere stijfheid dan aluminium en de richting van de hoofdbelasting staat ook nog eens loodrecht op de wand. De constructie van de stoelrails zelf leidde in de richting van een aluminium extrusie vanwege de puntbelasting die vanuit de stoelen zou worden doorgeleid. De aandacht lag bij dit onderdeel vooral in de verbinding van deze twee constructies aan elkaar.

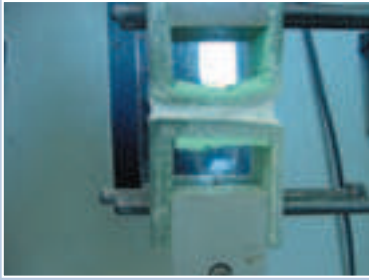
Oplossing Eerst werd de hoofdbelasting in dwarsdoor-



Stoelrails.



Bovenaanzicht stoelrails.



Koptrek-proef.

sneede aangegeven waardoor meteen duidelijk werd dat een aluminium extrusie op een relatief slappe ondergrond met een pel-ongevoelige lijm moest worden bevestigd. Daarna werd de verbinding voorgesteld in extreme stijfheidsverschillen tussen de bouwelementen onderling in lengterichting. Als de stoelrail oneindig stijf is dan zal

onder belasting de onderlinge verplaatsing en daarmee de krachtdoorleiding zich concentreren op het omcirkelde gebied. Zodoende wordt een spreiding van krachten die we nastreven niet bereikt. Als we daarentegen de stoelrails oneindig slap veronderstellen dan zal de stoelrail onder belasting precies het opgedrongen contour volgen van de zijwandmodule. Hierdoor wordt weliswaar een zeer goede spreiding van de krachten bereikt, alleen wordt dan geen recht gedaan aan de stelling van een lichtgewicht constructie en bij deze configuratie bereiken de verplaatsingen een onacceptabel niveau. De uiteindelijke ontstane stoelrails heeft een stijfheid gekregen die een doorbuiging aan de zijwandmodule opdringt die de huden en het schuim kernmateriaal ook tijdens vermoeingscondities intact laat en waardoor de lijmnaad tussen de onderdelen niet hoger belast wordt dan duurttest data aangeven.

Toleranties De stoelrail wordt loodrecht op de zijwand gemonteerd waarbij de elastische lijm wordt uitgeperst tot de voorgeschreven lijmlaagdikte is bereikt. Een variatie in vlakheid van de zijwand is als enige van invloed op de lijmlaagdikte. De vlakheid is te bereiken binnen 0,6 mm en daarmee varieert de lijmlaagdikte tussen de 3 en 3,6 mm hetgeen voor deze toepassing, waarbij hoofdzakelijk koptrek voorkomt, niet voor problemen zal zorgen.

Uitzettingsverschillen Het gekozen glasvezelmateriaal en de vezel-volume verhouding zorgen ervoor dat de uitzettingscoëfficiënt van het GVK nagenoeg overeenkomt met die van aluminium (24 E-6). Hierdoor is het mogelijk de lange lengten stoelrails met een alleszins acceptabele dikte van de lijmlaag aan de zijwand te bevestigen. Toch dient men te beseffen dat juist tijdens het opwarmen of afkoelen er tijdelijk lengteverschillen kunnen blijven optreden die worden opgevangen binnen de dikte van de lijmlaag. Dit is mede een reden om geen 'harde' verbindingsmiddelen zoals bouten of trekknagels toe te staan. Tijdens lengteveranderingen van de stoelrails worden deze trekknagels gedwongen mee te gaan en dit heeft tot gevolg dat de nagel door de dunne GVK huid wordt geslept.

8. Kop van het voertuig en materiaalkeuze

In de kop van het voertuig bevinden zich twee zogenaamde A-stijlen op de overgang van de voorruit naar de zijruiten. Vlak hierachter bevindt zich de chauffeur die zich ook tijdens een ongeval veilig wil voelen. Het toepassen van alleen een glas- of ook koolstofvezelversterkte kunststof is hier niet toegestaan. Bij een botsing zoekt men naar een kreukelzone waarbij de constructie in staat is om over een zekere weglengte veel energie op te nemen. Indien een glasvezelconstructie aan een dwarsbelasting wordt onderworpen zal deze in eerste instantie veel energie kunnen opnemen; dit echter bij een zeer geringe weglengte. Daarna zijn alle vezels verbroken en schiet de belasting door. Om deze reden is besloten de chauffeur te beschermen met een RVS stalen buisconstructie die veel vervorming toestaat, en is omkleed met een glasvezel vormdeel. Een koolstofstalen buis had ook deze functie

kunnen vervullen, maar dan had deze buis additioneel een corrosie bescherming moeten krijgen en omdat aan deze buis wordt gelijmd had ook de hechting van de beschermende laag bewezen moeten worden. Dit gegeven gevoegd bij het feit dat koolstofstaal een uitzettingscoëfficiënt heeft van 12E-6 maakte dit staal niet favoriet. Het gekozen RVS staal heeft een coëfficiënt van 17E-6 en ligt veel dichter tegen dat van het GVK. Om de stijlen zo dun mogelijk te maken moest ook de GVK bekleding zo dicht mogelijk tegen de stalen buis aanliggen, waarmee de lijmlaag gedwongen was minimaal van dikte te zijn. Om deze



reden werd besloten de uitzetting van het GVK deel plaatselijk te beïnvloeden door het toepassen van extra uni-directionele glasvezels in de lengterichting van de buis. Glas heeft een coëfficiënt van 8E-6 en met een correcte bezetting van UD-glasvezels is het mogelijk de coëfficiënt van RVS voldoende te benaderen.

9. Tot slot

Door een zorgvuldige omschrijving van de producteisen en kennis van verschillende productiemethoden is het mogelijk een goede afweging en keuze te maken. Het blijft echter noodzakelijk om op deel niveau te testen voordat de productie start. Het is met name belangrijk om inzicht te verkrijgen in het bezwijkgedrag van de onderzochte verbindingen.

Met de opdracht van het casco voor Rotterdam is de verbindingmethode tussen de modulen onderling onderzocht. Ook de applicatie methode door middel van injecteren werd bewezen. De lijm mocht tijdens het uitharden absoluut geen volumekrimp vertonen, anders zal ze niet hechten aan het te verlijmen oppervlak of kan de lijm zelf gaan scheuren. Diverse proefstukken met een tweecomponenten PUR-lijm en MS-polymer zijn onder verschillende condities blootgesteld en getest. In de productie hebben de personen die de verlijming uitvoeren een proeve van bekwaamheid moeten afleggen.

Bij de testen op volle schaal komt pas ten volle naar vor-



ren dat elke stap in het ontwikkelings- en productieproces zijn nut heeft. Zoals in de inleiding is aangegeven heeft het casco de nodige testronden

afgelegd en tot op heden verlopen de testen zonder problemen.

Stork Fokker, Edisonstraat 1, 7903 AN Hoogeveen.

Telefoon 0528 – 285 323

Fax 0528 – 285 007

luit.zwaneveld@stork.com

www.storkwise/dut/fokkerspecialproducts.nsf

A-stijl. →

Injectie lijm. →

Materialen

- acrylonitrilbutadienstyreen - ABS
- acrylonitrilstyreenacrylaat - ASA
- epoxyhars - EP
- polyamide - PA
- polycarbonaat - PC
- polyetheen - PE
- polyetheentereftalaat - PET
- fenolformaldehyde - PF
- polymetholmethacrylaat - PMMA
- polyoxymethyleen - POM
- polypropeen - PP
- polystyreen - PS
- polyurethaan - PUR
- polyvinylchloride - PVC
- styreenacrylonitril - SAN
- styreenbutadien - SB
- styreenbutadien rubber - SBR
- siliconen - SI
- onverzadigd polyester - UP

acrylonitrilbutadienstyreen - ABS (thermoplast)

Door de butadieentoevoeging is deze kunststof niet meer doorzichtig, maar geel-wit doorschijnend. ABS is in alle kleuren te leveren en heeft een hoogglanzend oppervlak. Het is stijf en bij lagere temperaturen (-40 °C) blijft het taai. Door toevoeging van glasvezels is verhoging van de sterkte mogelijk, waardoor de taaiheid echter afneemt. ABS wordt ook geleverd in structuurschuim.

Eigenschappen

- uitstekend constructiemateriaal
- taai en vormstabiel
- hoge trekvastheid en stijfheid
- hoge hardheid en krasvastheid
- zeer hoge oppervlakteglans
- goede temperatuurbestendigheid
- zeer lage elektrostatische oplading

Toepassingen

Fijnmechanische en elektrische apparaten (o.a. behuizingen en bedieningsdelen), meubelen, huishoudelijke artikelen, gebruiksartikelen, auto-onderdelen.

acrylonitrilstyreenacrylaat - ASA (thermoplast)

ASA overtreft ABS in weerstand tegen veroudering vanwege de afwezigheid van butadieen. Het is niet doorzichtig, maar geelachtig ondoorzichtig en in alle kleuren verkrijgbaar.

Eigenschappen

- goede verouderings- en weerbestendigheid
- goede taaigheid
- hoge slagvastheid
- goede krasvastheid
- goede temperatuurbestendigheid
- hoogglanzend

Toepassingen

Fijn mechanische en elektrische apparaten, tuinmeubelen, bekledingen, behuizingen (o.a. ventilatoren, huishoudelijke apparaten), reclameborden en wegwijzers.

epoxyhars - EP (thermoharder)

EP wordt verwerkt als giethars, vormmassa of prepeg. Het materiaal moet met een tweede component - de hardener - gemengd worden om de uithardingsreactie te ondergaan. Dit kan zich voor sommige systemen ook bij lage temperaturen afspelen. Door zijn goede hechting op diverse materialen wordt EP ook veel als lijm gebruikt.

Eigenschappen

- uitstekend toepasbaar als giethars
- goede elektrische isolatie-eigenschappen
- groot hechtvermogen
- hoge sterkte en hardheid
- lage krimp
- goed warmte- en temperatuurbestendig
- goede chemische, weer- en UV-bestendigheid
- lange uithardtijd

Toepassingen

Vliegtuigen, tennisrackets, lijmen, lakken.

polyamide - PA (thermoplast)

PA - beter bekend als Nylon - is een verzameling polymeren die in ketenbouw verschillen en naar het aantal opeenvolgende koolstofatomen in de keten onderscheiden worden als o.a. PA 6, PA 6,6, PA 11 en PA 12. PA heeft een uitstekende slagsterkte en slijtageweerstand en een lage wrijvingscoëfficiënt. Het is wel gevoelig voor water. Polyamiden kunnen in een gietproces worden verwerkt.

Eigenschappen

- hoge stijfheid en hardheid
- hoge taaiheid en sterkte
- goede slag- en kerfslagvastheid
- stoot-, geluid- en trillingdempend
- slijtvast
- uitstekende verwerkingseigenschappen
- goede isolatie-eigenschappen (droog)
- goede weerbestendigheid

Toepassingen

Tandwielen, lagers, kleding, elektrotechniek, auto-industrie (ventilator-omkasting en dashboards), vormschuim: computerbehuizing.

polycarbonaat - PC (thermoplast)

PC is een glasachtig transparant polymeer. Het is leverbaar in alle kleuren, zowel transparant of ondoorzichtig. Het materiaal heeft zeer goede mechanische eigenschappen.

Eigenschappen

- hoge sterkte en hardheid
- zeer goede vormvastheid
- zeer hoge taaiheid, ook bij zeer lage temperaturen
- hoge slag- en kerfslagvastheid
- goede slijtvastheid
- hoge temperatuurbestendigheid
- goede elektrische isolatie-eigenschappen
- glashelder met hoge oppervlakteglans

Toepassingen

(Melk)fles, technische toepassingen.

polyetheen - PE (thermoplast)

PE is een vrij zachte en taaie polymeer. Er zijn twee hoofdtypen te onderscheiden: LDPE (lage dichtheid PE) en HDPE (hoge dichtheid PE). Ongeveer driekwart van het gefabriceerde PE is van het LDPE-type. LDPE is aanzienlijk minder stijf dan HDPE. PE verouderd door gelijktijdige inwerking van (UV-)licht, lucht en vocht, wat kan worden voorkomen door een klein deel roet bij te mengen.

Eigenschappen

- zeer taai
- waterafstotend
- goede slagvastheid
- uitermate geschikt voor contact met levensmiddelen
- elektriciteit-isolerend

Toepassingen

LDPE: verpakkingsfolie, zakken, buizen, pleister.

HDPE: emmers, kratten, flessen, vaten, speelgoed, huishoudelijke artikelen.

polyetheentereftalaat - PET (thermoplast)

PET is een polymeer die behoort tot de polyesters. PET wordt vooral toegepast waar goede maatvastheid en hoge duurstabiliteit vereist zijn.

Eigenschappen

- goede hardheid en stijfheid
- goede sterkte en taaierheid, ook bij lage temperatuur
- hoge maatvastheid en duurstabiliteit
- hoge slijtvastheid
- goede warmtebestendigheid

Toepassingen

Kleding, folies, (frisdrank)flessen.

fenolformaldehyde - PF(thermoharder)

PF was de eerste synthetische makromoleculaire stof (Bakeliet, 1907). Het materiaal wordt vrijwel altijd met vulstoffen gemengd. Het is - enigszins voorgehard als perspoeder of persmassa - beschikbaar voor vormgevingsprocessen.

Eigenschappen

- goede stijfheid
- goede elektrische eigenschappen
- ongevuld zeer bros (daarom meestal gevuld)
- beperkte kleurmogelijkheid (alleen donkere kleuren)
- verkleurt sterk in zonlicht

Toepassingen

Stopcontacten, schakelaars, lampfittings, spoelen, handvatten.

polymetholmethacrylaat - PMMA (thermoplast)

PMMA is een hard en glashelder polymeer. Het materiaal is beter bekend onder de naam 'acrylaat'. PMMA is in alle kleuren, zowel transparant als ondoorzichtig, verkrijgbaar. De optische eigenschappen van het materiaal zijn uniek en het is bovendien zeer goed te be- en verwerken.

Eigenschappen

- glashelder met hoge oppervlakteglans
- optisch zeer hoogwaardig
- hoge lichttransmissie door ruiten
- hoge stijfheid en hardheid
- goede licht-, verouderings- en weerbestendigheid
- goed lijmbaar, lakbaar of bedrukbaar

Toepassingen

Contactlenzen, veiligheidsglas, decoratiemateriaal, verkeersborden, lichtreclames.

polyoxymethyleen - POM (thermoplast)

POM behoort tot de technische kunststoffen. Door haar gunstige eigenschappen zoals een goede taaiheid en geringe vochtopname kan het in veel gevallen de plaats innemen van metaal. Van oorsprong is deze grondstof wit ondoorzichtig. Het kan in alle kleuren geleverd worden, terwijl het een hoge oppervlakteglans heeft. Door de gunstige elastische eigenschappen heeft het een goed veervermogen. Verhoging van de sterkte en de vormvastheid kan worden verkregen door toevoeging van glasvezels.

Eigenschappen

- zeer hoge stijfheid en hardheid
- hoge taaiheid en sterkte
- uitstekende elastische eigenschappen
- goede slijtvastheid
- hoge en lage temperatuurbestendigheid
- hoge oppervlakteglans
- slechte weerbestendigheid, met name voor licht en UV-stralen

Toepassingen

Huishoudelijke artikelen, automobielbouw, tennisbalclips, speelgoed met beweegbare ledematen, behuizing en onderdelen van lettertang.

polyproppeen - PP (thermoplast)

PP is vrijwel onbreekbaar en barst niet bij belasting. PP heeft bovendien een hardheid die in de buurt komt van PS en een slagvastheid als PE. Het materiaal lijkt ook enigszins op PE, maar is iets harder en stijver dan HDPE. PP kan worden versterkt door middel van glasvezels. PP bestaat ook in de vorm van hard structuurschuim.

Eigenschappen

- redelijke stijfheid en hardheid
- hoge taaigheid en sterkte
- hoge temperatuurbestendigheid
- uitstekende elektrische eigenschappen
- hoge permeabiliteit voor gassen, oplosmiddelen en aroma's

Toepassingen

PP: tuinmeubelen, verpakking, yoghurtbekers, kratten, bloempotjes, flessen, hakken (van damesschoenen),

huishoudelijke apparaten en gebruiksartikelen, wc-brillen, auto-onderdelen.

PP-schuim: slaapkamermeubelen, waterhouder van een wasmachine, mechanische techniek, auto-onderdelen, medische producten.

polystyreen - PS(thermoplast)

PS is een zeer bros, hard polymeer. Het materiaal wordt op grote schaal ingezet voor een diversiteit aan producten. PS wordt op grote schaal verwerkt tot geëxpandeerd polystyreen (EPS), zoals voor isolatiedoeleinden in de bouw en voor verpakkingen. Geëxtrudeerde schuimfolie van PS (XPS) is eveneens een verpakkingsmateriaal.

Eigenschappen

- hoge stijfheid en hardheid
- goede elektrische weerstand
- glashelder leverbaar
- hoge oppervlakteglans

Toepassingen

PS: drinkbekers, eenmalig serviesgoed, kledinghangers, huishoudelijke artikelen, video- en muziekcassettedoosjes, modeltreintjes, speelgoed.

EPS: verpakkingen, warmte- en geluidsisolatie (bouw), zwemvesten, reddingsboeivlotten en steigers in jachthavens.

XPS: verpakkingen.

polyurethaan - PUR (thermoharder/thermoplast)

PUR ontstaat uit de componenten isocyanaten en polyolen. Het hangt hierbij van de functionaliteit van de grondstof af of een thermoharder (tri-isocyanaten) of een thermoplast (di-isocyanaten) ontstaat. Thermohardende PUR wordt het meest toegepast. Thermoplastisch PUR wordt door haar specifieke eigenschappen veel gebruikt voor technische toepassingen. Door het toevoegen van een blaasmiddel ontstaat hard of zacht PUR-schuim.

Eigenschappen

- hoge elasticiteitsmodules
- hoge slijtvastheid
- weerstand tegen verder scheuren
- goede vormstabiliteit en hoge flexibiliteit
- goed dempend vermogen bij hoge frequenties
- goed hechtvermogen op metalen
- blijft ook bij zeer lage temperaturen elastisch

Toepassingen

PUR thermoplast: autobouwwerk (o.a. bussen, dichtingen, stofkappen), elektrotechniek (o.a. kabelmantels, trillingsdempende elementen), mechanische techniek (o.a. dichtingen, manchetten, aandrijfwielen).

PUR hard-schuim: warmte- en geluidsisolatie.

PUR zacht-schuim: matrassen, meubelkussens, hoofd- en armsteunen in auto's, autobumpers, sponzen.

polyvinylchloride - PVC (thermoplast)

PVC is een hard polymeer en kent twee hoofdtypen: hard en zacht PVC. Hard PVC is ook verkrijgbaar als hardschuim en structuurschuim. Dit materiaal is taai en stijf, koudebestendig en warm vervormbaar. Zacht PVC wordt verkregen door menging met weekmakers. Het materiaal is flexibel (rubberachtig) maar niet rekbaar.

Eigenschappen

Hard PVC:

- stijf en hard
- geringe wateropname
- elektrische isolatie-eigenschappen
- licht-, weer- en verouderingsbestendig in gestabiliseerde toestand

Zacht PVC:

- goede flexibiliteit en taaiheid
- trillingdempend
- slijtvast
- licht- en verouderingsbestendig

Toepassingen

Hard PVC: drinkwater- en afvoerbuizen, dakgoten, gevelpanelen, kabels, flessen, vloertegels, creditcards.

Zacht PVC: bloedzakken, (tuin)slangen, laarzen/schoeisel, opbergmappen, kunstleer, isolatie voor leidingen en kabels, dak- en bouwfolie, poppen.

PVC hardschuim: sandwichplaten, vormdelen voor vaartuig- en vliegtuigbouw, reddingsvloten.

styreenacrylonitril - SAN (thermoplast)

SAN is glashelder met een hoge oppervlakteglans en is in alle kleuren, zowel doorzichtig als ondoorzichtig, leverbaar. Het is sterker dan PS, is ook bros, maar heeft een hogere slagvastheid.

Eigenschappen

- hoge stijfheid en sterkte
- slagvastheid tussen PS en SB
- goede krasvastheid en hardheid
- hoge oppervlakteglans

Toepassingen

Technische producten, huishoudelijke artikelen en apparaten, verpakking van levensmiddelen.

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van diverse mechanische verbindingprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast de algemene publicatie (TI.03.13) tevens drie andere verbindingstechnieken behandelen, zoals lassen (TI.03.14), lijmen (TI.03.15) en solderen (TI.03.17).

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Indeling en kenmerken van mechanische verbindingen	1
3	Kiezen van het juiste verbindingproces	3
4	Construeren met het oog op mechanisch verbinden	3
5	Verbindingsvormen	4
6	Voorbehandeling en voorbewerking van onderdelen	4
7	Nabewerking en nabehandeling na het mechanisch verbinden	5
8	Apparatuur voor mechanisch verbinden	5
9	Mechanisch verbinden van dunne materialen	6
10	Toevoegmaterialen	6
11	Losneembaarheid	6
12	Automatiseren van mechanisch verbinden	7
13	Economische aspecten	7
14	Kwaliteitsaspecten bij mechanisch verbinden	8
15	ARBO en milieu	8

1 Inleiding

Veel mechanische verbindingstechnieken die nu industrieel worden toegepast voor het onderling verbinden van metalen platen, vinden hun oorsprong in de houtbewerking van de afgelopen eeuwen. Uitzonderingen zijn natuurlijk technieken als drukvoegen en felsen; de plastische vervorming die men het materiaal hierbij oplegt, is in hout niet te realiseren.

Mechanische verbindingen worden veel toegepast in bijvoorbeeld de kantoormeubelindustrie, de vliegtuigbouw en de automobiellindustrie.

De groep "mechanische verbindingen" omvat een grote diversiteit aan technieken. Bij deze technieken staat de mechanische bewerking, die nodig is om de verbinding tot stand te brengen, centraal. Bij veel verbindingstypen is het nodig om een gat in het plaatmateriaal aan te brengen. Dit kan gebeuren door middel van boren, laseren (lasersnijden) of ponsen. Het boren van gaten is een relatief goedkope techniek, die echter meer tijd per aan te brengen gat vergt dan beide andere technieken. Na het boren is het vaak van belang de gevormde spaantjes van het plaatmateriaal te verwijderen, omdat deze de kwaliteit en bijvoorbeeld de corrosiebestendigheid van de verbinding negatief beïnvloeden. Een zelfde argumentatie geldt voor het verwijderen van de braam die bij het ponsen van het gat vaak ontstaat. Ponsen geldt ook als een relatief goedkope techniek, dit in tegenstelling tot het lasersnijden van gaten.

De mechanische bewerking die moet worden uitgevoerd, kan dus het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal zijn, het aandraaien van een schroef, bout of moer, het vormen van een felsrand of lip, het plastisch omvormen van het materiaal bij het maken van een drukvoeg of het aanbrengen van een tapdraad in het plaatmateriaal.

Mechanische verbindingen zijn vaak met relatief eenvoudige middelen aan te brengen. Doordat er in de meeste gevallen geen warmte in het materiaal wordt ingebracht, ontstaan er geen thermische restspanningen. Door de krachten die men het materiaal soms oplegt, kunnen er wel blijvende spanningen in het materiaal optreden.

In het verleden lag bij productontwerp de nadruk vaak op het zogenaamde 'design for assembly'; de laatste

jaren legt men ook steeds meer nadruk op 'design for disassembly'. Het grote voordeel van mechanische verbindingen is, dat bij veel verbindingstechnieken het geheel losneembaar, en dus te 'disassembleren', is.

Hoewel de plaatdiktes die in de (Nederlandse) industrie worden gebruikt zeer uiteenlopen, concentreert deze publicatie zich op plaatmateriaal in het diktegebied van 0,3 tot 3 mm; een werkgebied waarop in de plaatverwerkende industrie grote nadruk ligt.

In het ontwerpstadium wil men kunnen beschikken over richtlijnen voor het maken van keuzen van toe te passen mechanische verbindingstechnieken in afhankelijkheid van de producteisen en toe te passen metalen of combinaties van metalen. Deze publicatie vormt hiertoe een inleiding.

2. Indeling en kenmerken van mechanische verbindingen

Verbindingstechnieken worden normaliter in drie hoofdgroepen ingedeeld, deze zijn het zogenaamde materiaalverbinden, vormverbinden en objectverbinden.

De mechanische verbindingwijzen behoren tot deze laatste twee hoofdgroepen. Vormverbinden is het verbinden van twee of meer elementen, waarbij de verbinding middels de vorm tot stand komt. Voorbeelden hiervan zijn klik- of snapverbindingen, lipverbindingen en felsverbindingen.

Objectverbinden is het verbinden van twee of meer elementen of het aanbrengen van een verbindingsof bevestigingsmogelijkheid met behulp van een object, waarmee met het object wordt bedoeld "het middel waarmee". Hiertoe behoren bijvoorbeeld schroefverbindingen, bout-moerverbindingen en blindklinknagels.

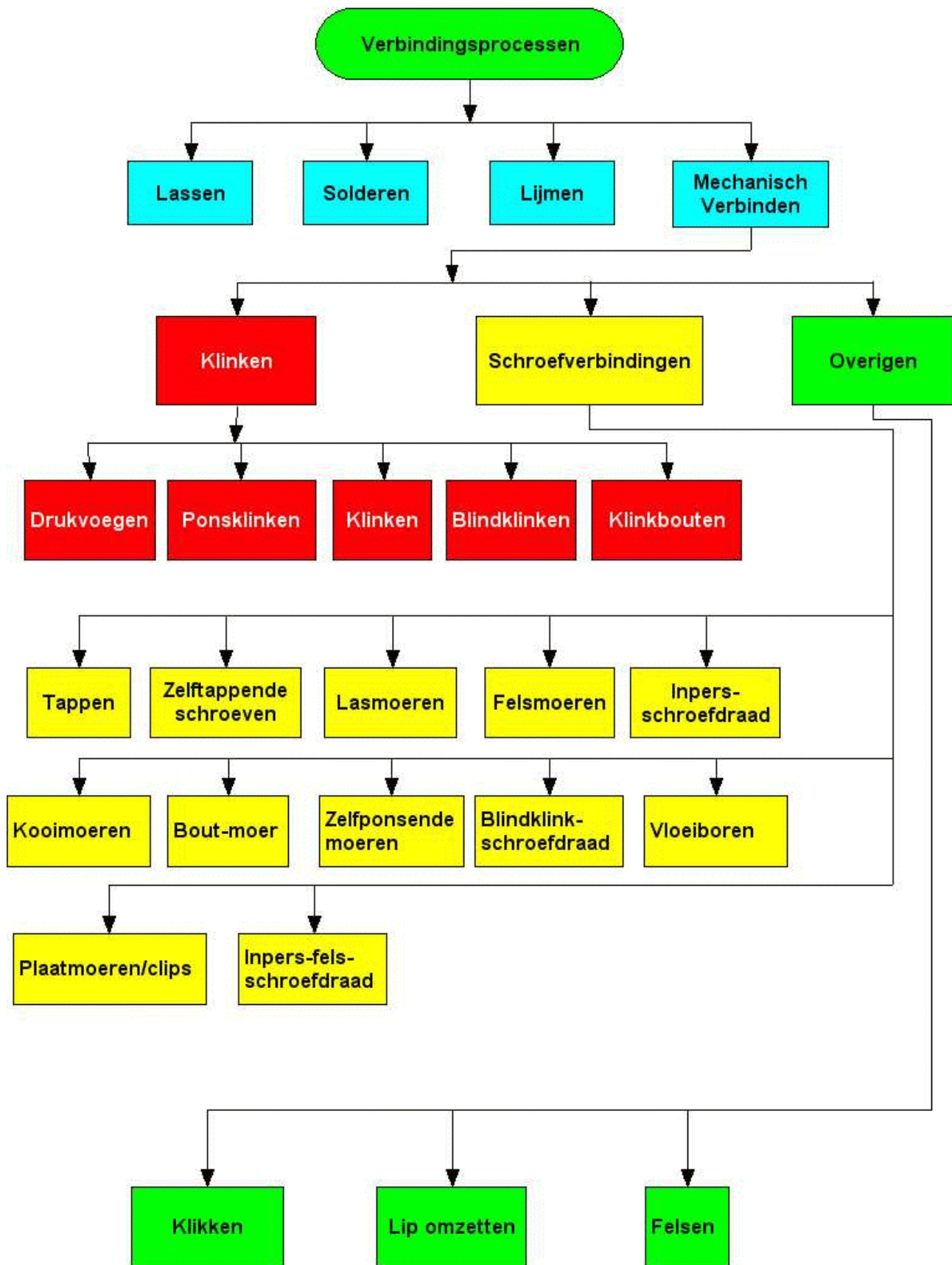
Bij de meeste typen mechanische verbindingen is bij het aanbrengen geen sprake van warmte-inbreng in het materiaal. Zeker bij organisch bekleed materiaal is dit een groot voordeel; hoge temperaturen kunnen de kwaliteit en functionaliteit van de beschermende laag ernstig aantasten. Uitzonderingen zijn de lasmoeren en het vloeiboren.

Bij verschillende mechanische verbindingwijzen is de verbinding blind tot stand te brengen; dit betekent dat het gereedschap het plaatmateriaal slechts aan één zijde hoeft te naderen.

Een nadeel van mechanische verbindingen is hun uiterlijk; de verbinding is altijd zichtbaar. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de bout-moerverbinding.

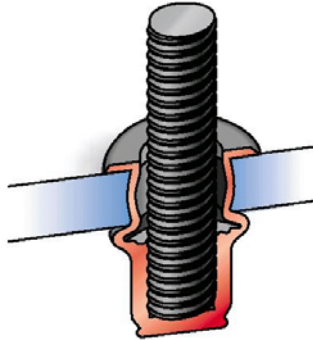
Mechanische verbindingwijzen worden onderverdeeld in drie categorieën: klinken, schroefverbindingen en overigen. De indeling voor deze verbindingprocessen is weergegeven in figuur 1. Een beschrijving van de genoemde processen is te vinden op de website "www.dunneplaat-online.nl" bij "Procesomschrijvingen".

Bij klinken wordt altijd een plastische vervorming aan een deel van de constructie opgelegd. Dit is meestal de nagel die de delen verbindt, soms ook echter het plaatmateriaal. Klinkverbindingen zijn in principe niet losneembaar.



figuur 1 Indeling mechanische verbindingen

Bij schroefverbindingen staat het deel “schroefdraad” (zie figuur 2) centraal. In een aantal gevallen wordt er schroefdraad getapt of gerold in het plaatmateriaal zelf, waardoor het verbindende element (bout) in het materiaal gezekerd zit. In andere gevallen wordt er geen schroefdraad in het materiaal aangebracht. Hierbij is het verbindende element ook de schroefdraad (bout-moer combinatie); duidelijk is echter dat de verbindingen van de eerste groep meestal sterker zijn. Verbindingen gebaseerd op het schroefdraadprincipe zijn in veel gevallen losneembaar; er zijn echter uitzonderingen.



figuur 2 Schroefdraadelement

Onder de categorie “overigen” vallen klikken, lip omzetten en felsen. Er zijn nog meer technieken die hier kunnen worden genoemd, maar deze worden industrieel te weinig toegepast om ze in deze publicatie op te nemen.

Zoals ook andere verbindingstechnieken hebben de mechanische verbindingen zowel verschillende voordelen, als enkele nadelen.

Belangrijke voordelen van mechanisch verbinden zijn onder andere:

- ▶ in veel gevallen is de verbinding eenvoudig tot stand te brengen;
- ▶ met mechanische verbindingen kunnen alle metalen worden verbonden; vaak kunnen andere materialen, zoals kunststoffen, aan metalen worden bevestigd;
- ▶ het gereedschap dat nodig is voor het tot stand brengen van de verbinding is vaak eenvoudig en vergeleken met de benodigheden voor andere technieken relatief goedkoop;
- ▶ de diversiteit aan mechanische verbindingen is groot, zodat er voor veel situaties een juiste techniek beschikbaar is;
- ▶ de kwaliteit van de verbinding is in veel gevallen visueel te beoordelen;
- ▶ de reproduceerbaarheid van de meeste verbindingstechnieken is zowel handmatig als gemechaniseerd hoog;
- ▶ de meeste mechanische verbindingstechnieken zijn ARBO- en milieuvriendelijk.
- ▶ bij het aanbrengen van mechanische verbindingen is vaak geen sprake van warmte-inbreng in het materiaal;
- ▶ veel verbindingen die behoren tot de groep mechanische verbindingen zijn losneembaar;
- ▶ veel verbindingstechnieken zijn gemechaniseerd toe te passen.

Als nadelen van mechanische verbindingen kan worden genoemd:

- ▶ de verbinding is altijd zichtbaar;
- ▶ de meeste mechanische verbindingstechnieken zijn niet geschikt voor het maken van stompe verbindingen, of voor het onderling verbinden van buismateriaal of van buismateriaal aan plaatmateriaal;
- ▶ niet alle verbindingstypen zijn losneembaar;
- ▶ niet alle verbindingstechnieken zijn automatiseerbaar;
- ▶ de kwaliteit van de verbinding is niet altijd visueel te beoordelen;

- ▶ in veel gevallen is een voorbereiding noodzakelijk. Deze voorbereiding bestaat normaliter uit het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal.

Bij mechanische verbindingen is er in veel gevallen sprake van spanningsconcentraties rondom de verbindingen. Bij het ontwerp van een product en de verbindingen in het product moet men hiermee rekening houden. Op deze punten zal een constructie snellen bezwijken dan op veel andere punten. Men moet ervoor zorgen, dat er niet te veel van deze spanningsconcentraties dicht bij elkaar zitten.

Mechanische verbindingen kunnen op allerlei wijzen worden belast. Dit kan zijn trek of druk, maar een afschuivende belasting komt ook erg veel voor. Mechanische verbindingen worden vaak ook met lijmverbindingen gecombineerd; zo ontstaan de zogenaamde hybride verbindingen. Hierbij is de functie van de mechanische verbinding vaak tijdelijke fixatie en het opvangen van optredende pelbelastingen.

Sommige mechanische verbindingen staan onder verschillende namen bekend. Zo noemt men het blindklinken ook wel poppen, en het drukvoegen wordt ook clinchen of toxen genoemd. Ponsklinken staat ook onder de naam stansnieten bekend.

3. Kiezen van het juiste verbindingproces

Geen enkel verbindingproces is geschikt voor alle toepassingen. In veel gevallen kunnen er verschillende verbindingstechnieken worden toegepast, waarbij er steeds technieken zijn, die op verschillende criteria het beste scoren. Dit kan zijn op eenvoud van aanbrengen, losneembaarheid, uiterlijk, trillingsbestendigheid, kostprijs, enz.

Deze en andere criteria worden selectiecriteria genoemd. Bij de keus van een verbindingproces - al dan niet mechanisch - spelen deze selectiecriteria een belangrijke rol. Men is zich hiervan niet altijd bewust. Werkvoorbereiders kiezen een verbindingstechniek vaak op basis van hun ervaringen en van de mogelijkheden binnen het bedrijf.

Dit brengt het gevaar met zich mee, dat goede mogelijkheden onbewust worden uitgesloten. Het is daarom van belang om goed op de hoogte te blijven van nieuwe ontwikkelingen. Ook de vraag of uitbesteden een goede optie is, moet eigenlijk steeds bewust worden beantwoord.

Deze publicatie is geschreven in het kader van het FME-CWM project “Verbindingstechnieken van 0,3 - 3 mm dun plaatmateriaal”. Dit project reikt als eindresultaat constructeurs, werkvoorbereiders en anderen een keuzemethodiek aan voor het komen tot een goed gefundeerde keuze voor een verbindingstechniek. Deze keuze is gebaseerd op selectiecriteria die de gebruiker op moet geven.

4. Construeren met het oog op mechanisch verbinden

Bij het verbinden van productdelen door middel van mechanisch verbinden, kan er uit verschillende technieken worden gekozen. De keus voor een bepaald type verbinding wordt vaak gebaseerd op kosten, tijd, sterkte en uiterlijk. Als men kiest voor een mechanische verbinding, is het van belang het productontwerp hierop af te stemmen. Er is in dit verband een aantal aspecten te noemen, waarmee men rekening dient te houden. Deze worden hieronder kort besproken.

Productopbouw

Een van de eerste vragen die men zich bij het ontwerpen van een nieuw product of bij het kritisch bekijken van een bestaand product moet stellen, is of het aantal onderdelen niet te groot is. Vaak kunnen verschillende

plaatdelen eenvoudig in één plaatdeel worden ondergebracht. Ook is het vaak mogelijk om, anders dan gepland, plaatdelen niet uit verschillende materialen, maar uit een en hetzelfde materiaal te vervaardigen. Dan wordt het ook eenvoudig om verschillende delen weer in één plaatdeel te integreren. Hoe minder onderdelen er zijn, hoe minder verbindingen men nog moet maken.

Men dient ook rekening te houden met het aantal verschillende typen verbindingen dat in een product wordt toegepast. In het algemeen geldt dat des te kleiner dit aantal is, des te korter de doorlooptijd kan zijn. Steeds meer ziet men dan ook dat hele constructies door klinkverbindingen of alleen door bout-moer combinaties worden verbonden. Om het aantal verbindingen en het aantal verbindingstypen te beperken is slim construeren dus geboden.

Vanuit de functionele eisen die aan het product worden gesteld, en die de basis vormen voor het ontwerp, worden altijd afgeleide eisen gedefinieerd, die verder moeten worden ingevuld. Dit kunnen onder andere eisen zijn ten aanzien van het materiaal, de geometrie van de materialen (toleranties), de productvoorbewerking en de plaats van de verbinding. Hieronder wordt een aantal van deze aspecten kort toegelicht.

Eisen aan de materiaaleigenschappen

Eisen die vanuit de functionele eisen van het product aan de materialen worden gesteld, hebben in het algemeen betrekking op:

- ▶ de fysische en mechanische eigenschappen;
- ▶ de oppervlakteconditie.

Bij de eerste categorie kan men ten behoeve van mechanische verbindingen denken aan vervormbaarheid, mogelijkheid tot draadvormen en draadsnijden en corrosiebestendigheid.

Eisen aan de geometrische eigenschappen van het basismateriaal

Naast eisen aan de materiaaleigenschappen worden er vaak eisen gesteld aan de geometrische eigenschappen van het basismateriaal. De geometrische eigenschappen van het uitgangsmateriaal moeten aan vormtoleranties voldoen. Deze vormtoleranties hebben betrekking op variaties in de plaatdikte en de vlakheid. Ook de profielzuiverheid en lokale vervormingen van profielen zijn van groot belang.

De verschillende toleranties worden door leveranciers van plaatdelen en profielen vaak in certificaten vastgelegd. De interne kwaliteitscontrole van zo'n toeleverancier garandeert dan, dat de variaties binnen gestelde toleranties vallen.

Onnauwkeurigheden in de vlakheid van een plaat beïnvloeden de kwaliteit van een mechanische verbinding. Bij een te grote variatie in vlakheid kan bijvoorbeeld een drukvoeg niet meer goed worden aangebracht.

Eisen aan de productdelen

Voor assemblage dient men er zeker van te zijn dat de verschillende onderdelen inderdaad gereed zijn voor samenvoeging. Zo dient men onderdelen te controleren op vlakheid, verloop van de contour, afwezigheid van bramen, vorm, nauwkeurigheid en locatie van gaten, afrondingen en uitsparingen en overige maatvoeringen. Vaak worden productdelen bij aanvang van een nieuw productieproces uitvoerig gecontroleerd. Als de productie eenmaal goed loopt, is steekproefsgewijze controle voldoende.

Eisen aan de plaats van de verbinding

Naast functionele eisen die men aan een verbinding kan stellen (sterkte, losneembaarheid), spelen ook esthetische aspecten een rol. Mechanische verbindingen zijn vaak goed zichtbaar, dus men moet bewust overwegen om deze te 'verstoppert'. Dit betekent dat de mechanische verbindingen zo veel mogelijk daar aangebracht

worden, waar ze niet in het oog lopen. Hierbij moet er wel rekening worden gehouden met de bereikbaarheid, om de productie niet onnodig te hinderen.

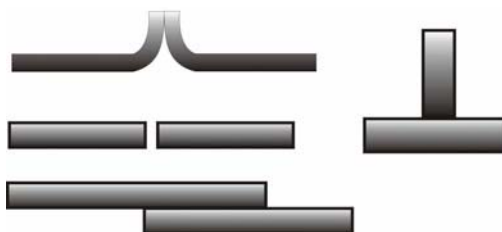
Eisen aan de sterkte

Uit de functionele eisen vloeien eisen aan de sterkte van een constructie voort. Mechanische verbindingen kunnen worden gebruikt om deze sterkte positief te beïnvloeden. Verkeerd toepassen van deze verbindingen kan echter ook de sterkte van een groot deel van de constructie teniet doen. Men moet hier dus altijd bewust aandacht aan besteden.

Speciale aandacht verdient het ontstaan van spanningsconcentraties in het materiaal.

5. Verbindingsvormen

Verbindingen kunnen in verschillende vormen worden aangebracht (zie voor een aantal basisvormen figuur 3). De overlapverbinding en de stompe verbinding zijn hierbij de bekendste. Ook de T-verbinding wordt veel toegepast. Een andere mogelijkheid is het verbinden van een buis die door een plaat wordt gestoken; in dit geval moet men aan andere verbindingstechnieken dan mechanisch verbinden denken.

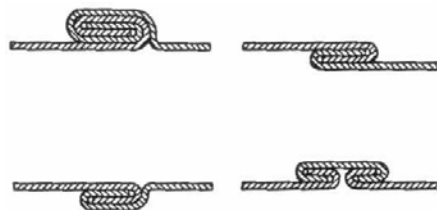


figuur 3 Verbindingsvormen

Voor mechanisch verbinden is eigenlijk alleen de overlapverbinding van belang. De beide andere vormen van bevestigen kunnen voornamelijk in uitzonderingsgevallen en met kunst en vliegwerk met mechanische verbindingstechnieken worden gerealiseerd. Dit is echter niet gebruikelijk.

Met enkele hulpplaatjes kan van een stompe verbinding een dubbele overlapverbinding worden gemaakt, zodat de keuze van mogelijke verbindingstypen uitgebreid wordt met de mechanische verbindingen. Binnen deze publicatie wordt deze constructie echter niet langer als een stompe verbinding gezien.

Het tot stand brengen van een stompe verbinding kan vaak wel met enkele bijzondere mechanische verbindingstechnieken: klikken, lip omzetten en felsen (zie figuur 4).



figuur 4 Stompe verbinding door felsen

6. Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen

Onder een voorbehandeling worden handelingen als ontvetten en licht opschuren verstaan. Voor de meeste typen mechanische verbindingen is het uitvoeren van deze acties niet nodig. Uitzonderingen hierop zijn de lasmoeren en het vloeiboren. In beide gevallen is het ontvetten van het plaatmateriaal noodzakelijk om een goede verbinding tot stand te kunnen brengen.

Onder een voorbereiding valt voor de meeste mechanische verbindingen het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal. Dit kan gebeuren door middel van ponsen, boren of lasersnijden. Bij de eerste twee technieken is het van belang de ontstane bramen of spaantjes te verwijderen; deze beïnvloeden de kwaliteit van de verbinding - bijvoorbeeld de corrosiebestendigheid - negatief.

Voor verbindingen van de typen klikken, lip omzetten en felsen zijn aparte voorbereidingen nodig. Bij klikken is het noodzakelijk om een nok en een verende snaphaak in de te verbinden delen te integreren, bij lip omzetten is het vormen van een lip vereist. Als voorbereiding voor felsen is het aanbrengen van een felsrand nodig.

Er zijn mechanische verbindingstypen die geheel geen voorbereiding vereisen, zoals de zelfborende en tappende schroeven. Deze boren tijdens het aanbrengen het benodigde gat en vormen ook de tapdraad in het plaatmateriaal.

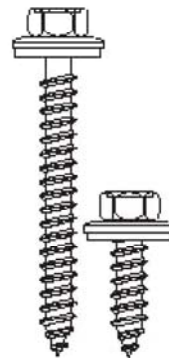
Als er een gat in beide te verbinden delen is aangebracht, is nauwkeurig positioneren van de delen ten opzichte van elkaar van invloed op het correct tot stand komen van de verbinding. Ook de afmetingen van het gat ten opzichte van de afmetingen van het bevestigingsmiddel dient men goed onder controle te houden.

7. Nabewerking en nabehandeling na het mechanisch verbinden

Na het aanbrengen van mechanische verbindingen is het normaliter niet nodig om een nabewerking of een nabehandeling uit te voeren. Onder een nabewerking wordt hier een eenvoudige handeling als het verwijderen van gevormde spaantjes verstaan, onder een nabehandeling wordt bijvoorbeeld een warmtebehandeling om de ontstane spanningen te verminderen verstaan.

Bij zelfborende en tappende schroeven en zelftappende schroeven (deze laatste zijn weergegeven in figuur 5) kan lichte braamvorming optreden. Meestal zal men proberen te werken volgens het draadvormende principe, en niet volgens het draadsnijdende principe. Het aanbrengen van draad wordt ook wel (draad)tappen genoemd.

Bij de draadsnijdende schroef wordt de draad uit het passieve werkstuk gesneden, waardoor er braamvorming optreedt. Deze wijze van tappen wordt toegepast bij broos materiaal (zoals glasvezel en gietijzer), maar wordt weinig toegepast in het verbinden van dunne platen. Bij de draadvormende schroef wordt het materiaal



figuur 5 Zelftappende schroeven voor dik en dun plaatmateriaal

rond de buitendiameter van de draad weggerold naar de binnendiameter van de draad. Dit voorkomt braamvorming. Deze wijze van tappen wordt voornamelijk toegepast in (taai) plaatmateriaal. Draadvormend tappen heeft naast de geringe braamvorming het voordeel dat de verbindingen, die hiermee worden gemaakt, vaak sterker zijn, dan wanneer men de draad gesneden getapt had. Dit wordt veroorzaakt doordat bij het draadvormend tappen koudversterking optreedt.

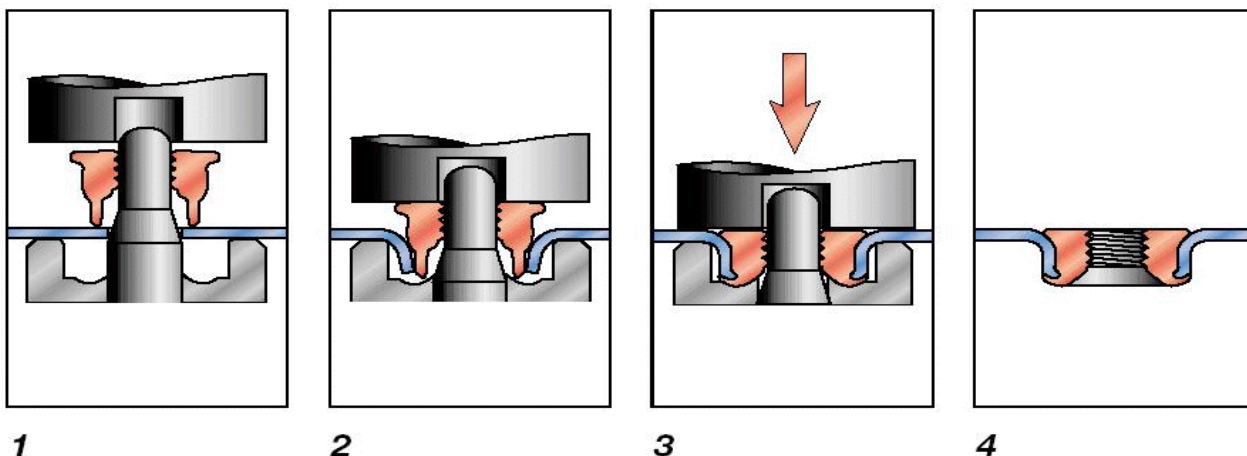
Bij het aanbrengen van lasmoeren en het toepassen van vloeiboren wordt lokaal warmte in het materiaal ingebracht. Uit esthetisch oogpunt kan het in deze gevallen nodig zijn om een nabewerking uit te voeren, om verkleuringen in het materiaal weg te werken.

Het coaten of lakken van een product nadat mechanische verbindingen zijn aangebracht, wordt niet gezien als typisch of noodzakelijk voor de verbindingstechnieken.

8. Apparatuur voor mechanisch verbinden

De apparatuur die wordt gebruikt om mechanische verbindingen tot stand te brengen is zeer divers, zowel qua complexiteit als qua benodigde investeringen.

Bij bijvoorbeeld drukvoegen zijn een stempel en een ondermatrijs, vastgezet in een handpers, reeds voldoende. Voor ponsklinken heeft men een ponsklinkmachine nodig, hoewel er af en toe ook systemen opduiken, waarbij men met een eenvoudige pers de verbinding tot stand kan brengen. Ook voor het aanbrengen van inpers-schroefdraad en inpers-felsschroefdraad (zie figuur 6) gebruikt men een persje. De investeringen voor deze technieken ligt tussen € 5.000,- en € 25.000,-.



figuur 6 aanbrengen van inpersfelsschroefdraad; de kracht wordt geleverd door een persje

Voor het aanbrengen van lasmoeren is lasapparatuur nodig, dit kan eenvoudige lasapparatuur betreffen. Soms wordt het echter ook noodzakelijk om afzuiging aan te leggen om schadelijke rook af te voeren. Dit zorgt natuurlijk voor een toename in de investeringskosten.

Bij het vloeiboren is een boormachine met een instelbaar toerental noodzakelijk. Deze zijn in vele soorten en maten verkrijgbaar.

Voor andere technieken, zoals het aanbrengen van felsemoeren en klinken, kan men volstaan met een hamer en eventueel wat eenvoudig handgereedschap zoals een ophaler en een snapper. De snapper en de ophaler die worden gebruikt, zijn bepalend voor de uiteindelijke geometrie van de verbinding. Bij de genoemde gevallen zijn de investeringen in apparatuur nihil.

9. Mechanisch verbinden van dunne materialen

Voor het mechanisch verbinden van dunne materialen staan verschillende technieken ter beschikking, zoals al getoond in figuur 1. De meeste technieken die hier zijn genoemd, beslaan het hele werkgebied van plaatdiktes van 0,3 tot 3 mm.

Bij schroefverbindingen waarbij de verbinding een deel van zijn sterkte ontleent aan de gevormde tapdraad in het plaatmateriaal en bij drukvoegen heeft het de voorkeur om niet te dicht bij de ondergrens te gaan zitten. De verbinding is anders te zwak om zelfs maar kleine krachten te geleiden.

Met de meeste mechanische verbindingstechnieken is het mogelijk om, naast metaal-metaal verbindingen, metaal-kunststof en metaal-keramiek verbindingen tot stand te brengen. In enkele gevallen is het verbinden van hout aan metaal ook mogelijk.

Bij dunwandige constructies, dus tegen de ondergrens van het werkgebied aan, moet men voorzichtig zijn met het inbrengen van warmte. Dit kan namelijk eenvoudig vormveranderingen tot gevolg hebben. Bij mechanisch verbinden zijn het het vloeiboren en het aanbrengen van lasmoeren, waarbij er rekening moet worden gehouden met warmte-inbreng.

Verbindingstechnieken uit de hoofdgroep 'klinken' hebben geen beperkingen ten aanzien van de te verbinden metalen. Zo kan men er ongelegeerd staal, bekleed metaal, laaggelegeerd staal, austenitisch roestvast staal, aluminium en koper mee verbinden.

Ook verbindingstechnieken uit de hoofdgroep 'schroefverbindingen' leggen de gebruiker weinig beperkingen op ten aanzien van het te verbinden materiaal. Er zijn drie technieken die wat dit betreft uitzonderingen zijn. De belangrijkste is het aanbrengen van lasmoeren. Dit is niet mogelijk bij bekleed metaal, blik, laaggelegeerd staal, aluminium 2xxx en koper. Het tot stand brengen van verbindingen door middel van vloeiboren is niet mogelijk voor organisch bekleed metaal en austenitisch rvs. Ook het gebruik van zelfborende en tappende schroeven is bij austenitisch rvs niet mogelijk.

De verbindingstechnieken uit de hoofdgroep 'overigen' leggen de constructeur geen beperkingen op ten aanzien van het te gebruiken metaal.

10. Toevoegmaterialen

Anders dan bij bijvoorbeeld lassen spreekt men bij mechanisch verbinden niet echt van toevoegmaterialen. Bij veel verbindingstechnieken wordt de verbinding echter wel tot stand gebracht door een extra toe te voeren element. Bij het klinken is dit bijvoorbeeld de nagel, bij de schroefverbindingen een draadelement. Deze verbindingselementen kan men het toevoegmateriaal noemen, hoewel deze benaming niet veel wordt toegepast.

11. Losneembaarheid

'Design for assembly' is een ontwerpregel die in het verleden steeds meer werd toegepast. Door producten slim te ontwerpen, kan veel assemblagetijd bespaard worden. Dit bespaart kosten en houdt de doorlooptijd van producten zo kort mogelijk.

Naar aanleiding van milieuwetgevingen is het 'design for disassembly' langzaam maar zeker steeds meer in opkomst. Dit geldt zeker in die gevallen, waarin de te verbinden delen van verschillende materialen zijn gemaakt. Na afloop van de levensduur van een product moeten de productdelen te recyclen zijn, om zo grondstoffen te besparen. Hiervoor is het noodzakelijk de verschillende delen te scheiden, zonder dat reststukken van het ene materiaal aan het andere materiaal vast blijven zitten. Ook dient het verbindingselement, als dit van een ander materiaal is, verwijderbaar te zijn.

Mechanische verbindingen zijn in veel gevallen losneembaar. Dit maakt ze uitstekend geschikt voor toepassing binnen de filosofie van 'design for disassembly'. Tabel 1 geeft van de verschillende mechanische verbindingstechnieken aan of er losneembare verbindingen mee kunnen worden gemaakt, of dat dit niet het geval is.

Veel mechanische verbindingen kan men herhaaldelijk vast- en losmaken, zonder dat dit de kwaliteit van de verbinding nadelig beïnvloedt. Ook dit wordt in tabel 1 aangegeven.

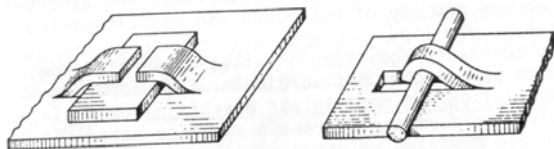
tabel 1 Losneembaarheid van verschillende verbindingen

Verbindingstechniek	Losneembaar	
	(1x)	(herhaaldelijk)
Drukvoegen	Nee	Nee
Ponsklinken	Nee	Nee
Klinken	Nee	Nee
Blindklinken	Nee	Nee
Klinkbouten	Nee	Nee
Tappen	Ja	Ja
Zelftappende schroeven	Ja	Ja
Zelfborende en tappende schroeven	Ja	Ja
Lasmoeren	Ja	Ja
Felsemoeren	Ja	Ja
Inpersschroefdraad	Ja	Ja
Inpers-felsschroefdraad	Ja	Ja
Zelfponsende moeren	Ja	Ja
Blindklingschroefdraad	Ja	Ja
Plaatmoeren / clips	Ja	Ja
Kooimoeren	Ja	Ja
Vloeiboren	Ja	Nee
Bout-moer	Ja	Ja
Klikken	Ja	Ja
Lip omzetten	Ja	Nee
Felsen	Nee	Nee

Als een verbinding een tijdelijk karakter heeft, of door functionele eisen aan het product herhaaldelijk los te nemen moet zijn, bieden verschillende mechanische verbindingstechnieken uitkomst.

Bij technieken als klikken en lip omzetten spelen aspecten als vermoeiing een belangrijke rol. Bij lip omzetten is de vervorming die men het materiaal oplegt relatief groot (zie figuur 7), vermoeiing zal in de meeste gevallen binnen enkele keren van bevestigen en losmaken optreden. Bij klikken is de opgelegde vervorming alleen elastisch en de vervorming is veel kleiner dan bij lip omzetten het geval is. Bij correct ontwerpen van de klik-

verbinding is het mogelijk deze te gebruiken voor het herhaaldelijk monteren en demonteren van producten.



figuur 7 Grote vervorming bij lip omzetten

12. Automatiseren van mechanisch verbinden

Veel mechanische verbindingen kunnen geautomatiseerd worden aangebracht. Dit kan in verschillende gradaties van automatisering gebeuren. Zo kan het ponsklinken volledig automatisch worden uitgevoerd. Hierbij wordt de nagel die de delen verbindt in de apparatuur uit draad gestanst. Het is ook mogelijk om voorgevormde nagels toe te voeren in het proces. Het ponsklinken kan niet handmatig worden uitgevoerd, de benodigde krachten en snelheden zijn hiervoor veel te groot.

Ook technieken als klinken, tappen, klikken en lip omzetten kunnen geautomatiseerd worden toegepast. Hiervoor is in veel gevallen standaardapparatuur verkrijgbaar.

Verschillende typen mechanische verbindingen kunnen niet anders dan geautomatiseerd worden aangebracht. Dit is meestal een gevolg van de hoge benodigde krachten en snelheden. Zo is handmatig toepassen van lasmoeren en zelfponsende moeren niet mogelijk. Bij andere typen verbindingen is juist automatisering niet mogelijk. Dit geldt bijvoorbeeld voor het aanbrengen van plaatmoeren en kooimoeren. Tabel 2 geeft van de verschillende mechanische verbindingstechnieken weer of ze handmatig en/of geautomatiseerd zijn toe te passen.

tabel 2 Handmatige en gemechaniseerde toepasbaarheid van mechanische verbindingstechnieken

Verbindingstechniek	Handmatig	Gemechaniseerd
Drukvoegen	Ja	Ja
Ponsklinken	Nee	Ja
Klinken	Ja	Ja
Blindklinken	Ja	Ja
Klinkbouten	Ja	Nee
Tappen	Ja	Ja
Zelftappende schroeven	Ja	Ja
Zelfborende en tappende schroeven	Ja	Ja
Lasmoeren	Ja	Ja
Felsmoeren	Nee	Ja
Inperschroefdraad	Nee	Ja
Inpers-felsschroefdraad	Nee	Ja
Zelfponsende moeren	Nee	Ja
Blindklingschroefdraad	Ja	Ja
Plaatmoeren/clips	Ja	Nee
Kooimoeren	Ja	Nee
Vloeiboren	Nee	Ja
Bout-moer	Ja	Nee
Klikken	Ja	Ja
Lip omzetten	Ja	Ja
Felsen	Ja	Ja

Bij hoge productiesnelheden of grote productvolumes is het vaak raadzaam om na te gaan wat de mogelijkheden van automatisering van het verbindingproces zijn.

In deze gevallen is het vaak zinvol om tot automatisering over te gaan. Dit werkt dan doorlooptijdverkortend, bovendien vermindert dit de belasting van het personeel.

Als men inderdaad tot automatisering over gaat, is het van extra groot belang om het productontwerp kritisch tegen het licht te houden. Hoe meer de verschillende verbindingstypen binnen een product omgezet kunnen worden naar één (of slechts enkele) verbindingstypen, hoe beter de investering benut kan worden.

Bij veel verbindingstechnieken is de reproduceerbaarheid van het tot stand brengen van de verbinding groter als dit gemechaniseerd plaatsvindt, dan wanneer dit handmatig gebeurt.

13. Economische aspecten

Bij de keuze voor een bepaalde verbindingstechniek spelen verschillende aspecten een belangrijke rol. Zo zijn sterkte en uiterlijk van belang, net als beschikbaarheid en praktische inzetbaarheid. Een ander heel belangrijk aspect wordt gevormd door de kosten die een keuze met zich mee brengt. De kosten zijn opgebouwd uit verschillende delen, deze worden hieronder kort besproken.

► Apparatuur

Bij verschillende mechanische verbindingstechnieken kan het proces zowel handmatig als gemechaniseerd worden uitgevoerd. Bij andere processen is slechts een van beide werkwijzen mogelijk. Als een proces alleen handmatig kan worden uitgevoerd (zie hiervoor tabel 1), dan hoeft er in apparatuur weinig tot niets te worden geïnvesteerd.

Bij veel technieken is een investering van minder dan € 5.000,- of tussen € 5.000,- en € 15.000,- reeds voldoende, in een enkel geval kan dit oplopen tot zo'n € 25.000,-. Uitzondering hierop is het aanbrengen van lasmoeren, de hiervoor benodigde lasapparatuur kost minstens € 5.000,-, maar kan ook meer dan € 50.000,- kosten. Dit is natuurlijk wel afhankelijk van eisen die men stelt aan het uiterlijk en de sterkte. Verder hangt dit ook af van de materialen die men wil gaan verbinden. Een prijsindicatie per proces wordt gegeven in 'Procesomschrijvingen' (zie www.dunneplaat-online.nl).

De terugverdientijd en de afschrijving worden bepaald door de besparing in arbeidstijd en de intensiteit van het machinegebruik. Ook de onderhoudskosten worden direct beïnvloed door de productieaantallen per tijdseenheid, maar ook door het al dan niet correct gebruik van de apparatuur. Deze kostenpost maakt normaliter slechts een klein deel uit van de totale kosten.

Ook het verbruik van energie is bij de meeste mechanische verbindingprocessen gering, zeker in vergelijking met processen als solderen en lassen. Uitzondering is het aanbrengen van lasmoeren.

Voor veel mechanische verbindingprocessen is het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal noodzakelijk. Men moet de hiervoor benodigde apparatuur bij de bepaling van de investeringskosten niet vergeten. De kosten hiervan lopen sterk uiteen, een boormachine kan men veel goedkoper aanschaffen dan een ponsmachine of lasersnij-apparatuur.

► Gereedschappen

Bij het aanbrengen van mechanische verbindingen is het gebruik van gereedschap steeds noodzakelijk. De kosten hiervoor kunnen sterk variëren. Zo kan er bij klinken worde volstaann met een hamer, terwijl voor bijvoorbeeld drukvoegen vormspecifiek gereedschap nodig is. De gereedschapskosten zijn hierbij afhankelijk van de belasting die men het gereedschap oplegt en de hieruit volgende slijtage.

Voor het fixeren van onderdelen kunnen hulpmiddelen

worden gebruikt. De prijs hiervan is vaak afhankelijk van de complexiteit en daarmee de positioneerbaarheid van de te verbinden productdelen.

► **Spaanvrij maken oppervlak**

Na het boren of ponsen van een gat, vóór het tot stand brengen van de verbinding, is het in veel gevallen van belang gevormde spanen of bramen te verwijderen. Bij dun plaatmateriaal is de spaan- of braamvorming gering. De spaan of braam is vaak met een keer licht wrijven eenvoudig te verwijderen. Bij dikker plaatmateriaal kan schuren noodzakelijk zijn, dit kan handmatig of met een bandschuurmachine gebeuren. In beide gevallen brengt dit kosten met zich mee. Dit geldt nauwelijks voor dunne plaat (met diktes rond de 0,3 mm).

► **Verbindingselementen**

Bij mechanische verbindingen is het vaak een apart verbindingselement dat de verschillende delen aan elkaar bevestigt. Uitzonderingen hierop zijn het drukvoegen, klikken, lip omzetten en felsen.

Toevoegelementen als nagels en schroeven zijn in vele uitvoeringsvormen en kwaliteits- en prijsklassen verkrijgbaar. Dit kan variëren van enkele eurocenten tot enkele euro's. De keuze voor een bepaald verbindingselement wordt vaak bepaald door de technische eigenschappen en de kostprijs.

► **Inspectiekosten**

Mechanische verbindingen zijn normaliter visueel of met eenvoudige hulpmiddelen te controleren. De meeste kosten die op dit gebied in rekening moeten worden gebracht, zijn de loonkosten van de controleur.

► **Loonkosten**

Een vaak verwaarloosde kostenpost wordt gevormd door de loonkosten. Mechanisatie van het verbindingproces reduceert deze kosten. Ook het slim ontwerpen van producten kan, door een reductie in assemblage-verbindingstijd, een aanzienlijke besparing in loonkosten mogelijk maken.

14. Kwaliteitsaspecten bij mechanisch verbinden

Met mechanisch verbinden kunnen in veel gevallen hoogwaardige verbindingen worden aangebracht. Kwaliteits-eisen die men aan deze verbindingen stelt, hebben betrekking op bijvoorbeeld de krachten die een verbinding kan ondergaan, functionaliteit, corrosiebestendigheid en duurzaamheid.

Bij handmatig aanbrengen van een verbinding wordt de kwaliteit in veel gevallen bepaald door degene die de verbinding aanbrengt. Deze onzekerheid proberen gereedschapsleveranciers steeds meer weg te nemen door het ontwikkelen van 'intelligent gereedschap'. Dit verhoogt de reproduceerbaarheid van het aanbrengen, en garandeert een meer continu en hoger kwaliteitsniveau.

De kwaliteit van de verbinding kan in sterke mate worden beïnvloed door de kwaliteit van het gekozen verbindingselement. Deze keuze moet steeds bewust worden gemaakt. Enerzijds dient het verbindingselement aan gestelde eisen te voldoen, anderzijds is er het kostenaspect, dat men steeds in de gaten moet houden. De kwaliteit van het verbindingselement dient niet groter te zijn dan functioneel noodzakelijk, aangezien die in een onnodige opdrijving van de kosten resulteert.

De corrosiegevoeligheid bepaalt in belangrijke mate de kwaliteit van een verbinding. Het materiaal van verbindingselementen als schroeven, nagels en bouten moet afgestemd zijn op de specifieke situatie, waarin een product moet gaan functioneren. Dit kan bijvoorbeeld een natte, zoutrijke omgeving zijn. Het basismateriaal van het product en het materiaal van het verbindende element mogen dan geen onderlinge reacties aangaan; deze galvanische corrosie moet steeds worden voorkomen.

Om deze corrosie te voorkomen, is het van belang dat het verbindingselement van een edeler materiaal is dan het plaatmateriaal. Is dit niet het geval, dan zal het verbindingselement zich 'opofferen' in een chemische reactie. Het plaatoppervlak is in verhouding tot het verbindingselement zo groot, dat het plaatmateriaal zich normaal niet op zal offeren.

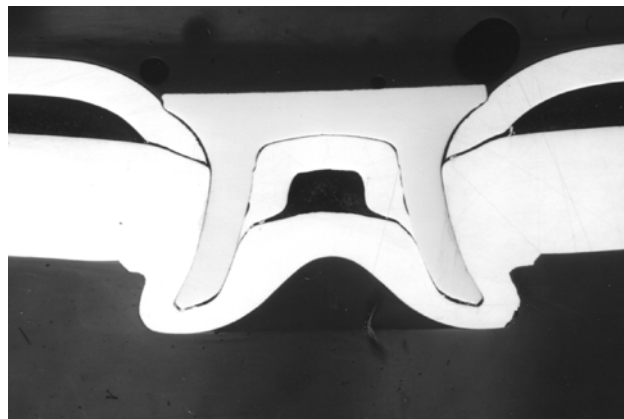
Naast dat corrosie vaak als lelijk wordt ervaren, verzwakt het een constructie ook.

Het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal, om hier later bijvoorbeeld een bout of schroef doorheen te steken, dient netjes te gebeuren. De diameter van het gat moet niet onnodig groot zijn, en de snijranden dienen goed te zijn afgewerkt om het ontstaan van corrosie tegen te gaan. Bovendien moet men bij beklede metalen proberen de buitenlaag, die vaak als bescherming dient, zo veel mogelijk intact te laten.

De kwaliteitscontrole van verbindingen kan op verschillende wijzen plaatsvinden. Zo is er in de eerste plaats natuurlijk de visuele controle. Bij een goed lopend productieproces is dit vaak voldoende. Het niet-destructieve karakter van deze wijze van controleren garandeert dat het controleproces niet onnodig goede producten definitief uit de roulatie neemt.

Met speciaal gereedschap kan bijvoorbeeld het aandraaimoment van een schroef of moer worden bepaald. Ook kunnen hiermee eventuele correcties worden uitgevoerd. Deze techniek is ook niet-destructief. Voor aanvang van de productie van een nieuw product kunnen er enkele destructieve testen worden uitgevoerd, om na te gaan of verbindingen voldoen aan onder andere bepaalde sterkte-eisen.

Bij technieken als drukvoegen en ponsklinken kunnen doorsneden en microscopische foto's worden gemaakt ter controle van de kwaliteit van de verbinding. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 8.



figuur 8 Microscopische foto van een ponsklinkverbinding

15. ARBO en milieu

Op het gebied van ARBO- en milieuaspecten is voor de groep mechanische verbindingen weinig te melden. Er komen geen gassen of schadelijke straling vrij en er blijft geen schadelijk afval over. Een uitzondering is het aanbrengen van lasmoeren; hierbij kunnen er zowel gas als schadelijke straling vrijkomen, afhankelijk van het gebruikte lasproces en de te verbinden materialen.

Het geluidsniveau dat het gevolg is van het aanbrengen van mechanische verbindingen is in het verleden bij verschillende technieken boven de huidige, wettelijke grens van 80 dB(A) geweest. In die gevallen is dit opgelost door aanpassing van het gereedschap, de pers of de geometrie van de verbindingselementen. In de scheepsbouw wordt veel gebruikgemaakt van

klinkverbindingen. Het aanbrengen hiervan gaat vaak met een hoog geluidsnivo gepaard. Dit is een gevolg van de grote gebruikte plaatdiktes. Bij plaatdiktes tussen 0,3 en 3 mm is geen sprake van een schadelijk geluidsniveau.

Het is van belang de productie zodanig in te richten, dat het assembleren van producten op ergonomisch verantwoorde wijze kan plaatsvinden. Vooral bij klinken besteedde men hieraan in het verleden bijna geen aandacht.

Auteur

Deze voorlichtingsbrochure is tot stand gekomen, middels een samenwerkingsverband van de Federatie Dunne Plaat FDP), het Hechtingsinstituut, het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL), het Netherlands Institute for Metals Research (NIMR), Syntens, TNO Industrie en de Vereniging FME-CWM.

De auteur, M. de Nooij (TNO Industrie) werd ondersteund door een werkgroep bestaande uit: H.J.M. Bodt LPI (NIL), P. Boers (FME-CWM), A. Gales (TNO Industrie), H. de Kruijk (TNO Industrie), H. Poulis (Hechtingsinstituut), J. van de Put (Syntens, H.H. van der Sluis (adviseur TNO Industrie) en met medewerking van S. van der Beek en A. van Weezep (Onkenhout & Onkenhout).

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur M. de Nooij (tel.: 040-2650129, e-mail: M.deNooij@ind.tno.nl)

Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen:

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX ZOETERMEER
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD ZOETERMEER
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41
Fax: (079) 353 13 65
E-mail: pbo@fme.nl
Internet: <http://www.fme-cwm.nl>

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

Adres: Krimkade 20,
2251 KA VOORSCHOTEN
Telefoon: (071) 560 10 70
Fax: (071) 561 14 26
E-mail: info@nil.nl
Internet: <http://www.nil.nl>

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
afdeling Technische Bedrijfskunde
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: pbo@fme.nl
internet: <http://www.fme-cwm.nl>



Netherlands Institute
for Metals Research



Medische trends en toepassingen

Als het gaat om kunststoffen voor medische toepassingen, dan hebben we het over een markt met gunstige vooruitzichten. Oorzaken zijn de vergrijzing in de westerse wereld en het toenemende gebruik van medische middelen in landen met een opkomende economie.

Enkele cijfers

In 2003 verscheen bij Business Communications Company een rapport over kunststoffen voor medische hulpmiddelen exclusief verpakkingen. Het bureau schatte de markt voor medische middelen in de Verenigde Staten in 2002 op iets meer dan 1 miljoen ton; verwacht werd een jaarlijkse groei van circa 4,3% per jaar tot 2008. Eenmalige artikelen maken circa 60% van de totale hoeveelheid uit. De standaard kunststoffen nemen ongeveer 50% van de vraag voor hun rekening. Er doet zich een verschuiving voor van standaard thermoplasten naar technische kunststoffen, styrenen, thermoharders en TPE's.

De belangrijkste meermalige producten zijn test- en diagnoseapparatuur, chirurgische instrumenten en toebehoren, protheses en implantaten, en gebitsproducten. Eenmalige producten zijn vooral injectienaalden, laboratoriumhulpmiddelen, slangen, bloedzakken, vloeistofsystemen, handschoenen, schalen, katheters, thermometers en dergelijke.

Als belangrijke trends in de westerse wereld noemt BCC:

- veranderingen in sterilisatietechnieken
- toename van infectieziekten, die leiden tot een toename van het gebruik van eenmalige middelen
- veroudering van de bevolking
- nieuwe technieken, zoals kijkoperaties en laserchirurgie
- nieuwe polymeren met betere biocompatibiliteit
- het streven de kosten voor gezondheidszorg binnen de perken te houden
- het vervangen van PVC door alternatieven

BCC, V.S.

www.bccresearch.com

Onderstaand een kort overzicht met uiteenlopende kunststof toepassingen voor de medische wereld.

PC beter bestand tegen vetten en gamma-sterilisatie

Het programma kunststoffen voor de medische sector van GE Advanced Materials is uitgebreid met drie typen Lexan polycarbonaat.

1. *Lexan HPS7* is een PC dat bestand is tegen lipiden (vetten) en tegen gammastraling. De betere bestandheid tegen vetten uit zich in behoud van het rekvermogen na drie tot vier en wellicht zelfs tot zes dagen blootstelling. Het PC is bestand tegen hydrolyse en behoudt zijn slagvastheid na meermalen autoclaveren. Het materiaal is gebaseerd op een niet-gebromeerde formulering om bestandheid tegen gammastraling te verkrijgen en heeft een

smeltindex van 5 gram/10 minuten bij 300°C/1,2 kg.

Het wordt aanbevolen voor infuus- en dialyseapparatuur, afsluitkranen en Y-vormige verbindingstukken.

2. *Lexan HPS4* is een gammasteriliseerbaar PC met een smeltindex van 10. Ook dit type bevat geen broom. Het is bestemd voor toepassingen zoals bloedfilters, onderdelen van injectienaalden, behuizingen en chirurgische instrumenten.

3. *Lexan 4404* is een helder PC dat bestand is tegen herhaald (meer dan tienmaal) autoclaveren bij een temperatuur van 135°C. Het wordt aanbevolen voor chirurgische instrumenten en andere artikelen, en voor bio-farmaceutische toepassingen die in toenemende mate worden gesteriliseerd door autoclaveren.

Twee nieuwe Lexan-typen zijn in ontwikkeling: een PC dat beter zijn kleur behoudt na gammasterilisatie en een PC met een combinatie van betere vloeï, verwerkbaarheid en buigzaamheid dan conventionele PC-typen.

GE Advanced Materials

www.ge.com

Antimicrobieel additief

PolyOne introduceerde een serie antimicrobiële additiefconcentraten die beschermen tegen een groot aantal micro-organismen. De concentraten zijn bestemd voor de levensmiddel-, medische, farmaceutische en elektronicasector. Ze voorkomen de groei en verspreiding van bacteriën, schimmels en algen, die het uiterlijk en de eigenschappen van polymeren kunnen aantasten. De additieven van PolyOne gaan de volgende verschijnselen tegen:

1. Degradatie van de esthetische en/of fysische eigenschappen van een voorwerp, dat kan worden aangetast door verschijnselen zoals zwarte vlekken of verkleuring, een nare geur en degradatie van het polymeer.
2. De groei van bacteriën op alledaagse voorwerpen zoals pennen, telefoons of deurgrepen; er is minder kans op kruisbesmetting en overdracht van infecties.
3. Het ontstaan van geurtjes door microben in bijvoorbeeld kleding en afvalbakken.

De additieven bieden - samen met geregeld schoonmaken - bescherming doordat ze de metabolische processen van microben verstoren, waardoor deze niet meer kunnen functioneren, groeien en reproducen. PolyOne levert zowel organische systemen waarin het actieve ingrediënt (een organisch molecuul) naar het oppervlak van het polymeer diffundeert, als anorganische systemen waarin het werkzame bestanddeel (een metaalion) geleidelijk vrijkomt op het oppervlak van het polymeer. In beide gevallen is de bescherming continu en langdurig. De additieven zijn bruikbaar in een groot aantal toepassingen en markten, zoals synthetische vezels voor kleding, sanitaire en huishoudelijke artikelen, industriële onderdelen, persoonlijke verzorging en medische toepassingen zoals katheters, buizen en verpakkingen. Afhankelijk van product en materiaal kan PolyOne een geschikt additief leveren. Er zijn al speciale producten ont-



Reactie- en analysehulpmiddelen voor de farmaceutische en diagnostische industrie. Materiaal: Purell PP van Basell.



Polyurethaan maakt operatiemicroscopen lichter en veiliger. (foto: Leica Microsystems)



De onderdelen van de handgreep van deze micropincet zijn gespuits uit Zytel nylon van DuPont.

wikkeld voor PE en PP vezels, en voor spuitgietsystemen PE, PP en PS.

PolyOne

www.polyone.com

Polypropyeen

Basell introduceerde *Purell*, een PP-serie voor de medische sector. Er zijn negen typen en ze beslaan het complete pakket polypropyeen van Basell: homopolymeren, heterofase copolymeren, random copolymeren (+ LDPE/HDPE) en metallocene polymeren. De smeltindex (230°C, 2,16 kg) gaat van 1,8 g/10 min bij het extrusie-type *Purell RP 270G* tot 75 g/10 min bij het type *HP 570U*. *Purell EP 274P* is slagvast bij lage temperaturen. *Purell HM 671T* combineert een goede vloeï (60 g/10 min) met een grote stijfheid (1700 Mpa), vormvastheid, hoge transparantie en gammasteriliseerbaarheid. Nieuw is *Purell SM1130* met een grote slagvastheid (50 kJ/m²) voor halfzachte transparante toepassingen. *Purell* wordt in Nederland en België verkocht door Ultrapolymers.

www.basell.com

www.ultrapolymers.com

Dyneema Purity

DSM Dyneema, producent van de zeer sterke Dyneema-vezel, is begonnen met de bouw van een productielijn voor *Dyneema Purity* een hoogwaardige vezel voor medische toepassingen zoals orthopedisch hecht draad en andere chirurgische implantaten. De productielijn wordt gebouwd op het terrein van DSM Dyneema in Heerlen, van waaruit de wereldwijde markt voor medische hulpmiddelen zal worden bediend. De nieuwe lijn komt begin 2005 in bedrijf.

Onmiddellijk nadat eerder dit jaar Dyneema Purity op de markt kwam, is de vraag vanuit de markt voor medische hulpmiddelen in de gehele wereld, maar met name in de Verenigde Staten, sterk gestegen. In de komende periode wordt Dyneema Purity ook op andere markten geïntroduceerd. Bovendien zal het materiaal in veel andere biomedische toepassingen, die nu nog in ontwikkeling zijn, zijn opwachting maken.

Omdat Dyneema Purity in medische toepassingen wordt gebruikt, moet er bij de productie aan speciale eisen worden voldaan. DSM Dyneema heeft daarvoor een speciale versie van het eigen spinproces ontwikkeld.

DSM, www.dsm.nl

Polyester coatings

Het Amerikaanse bedrijf **Precision Custom Coating (PCC)** introduceerde voor de gezondheidszorg twee producten waarin *Riteflex* thermoplastisch polyesterelastomeer (TPE-E) van Ticona is verwerkt. Het gaat om herbruikbare incontinentie-onderleggers en niet-glijdende bekledingen, die worden gebruikt in ziekenhuizen en verpleeghuizen. De copolyester anti-slip materialen worden vaak gewassen. Door de goede bestandheid tegen chemicaliën en hoge temperaturen blijven ze ook na vele malen wassen en drogen elastisch en stroef. In de incontinentie-onderleggers zit het *Riteflex* TPE-E in een barrièrelaag. Doordat de kunststof taai is en slijtvast, kon de dikte van de laag worden teruggebracht tot slechts 2 mm. In vergelijkbare barrièrefolies uit PVC is de laag 5 tot 6 mm dik. De onderleggers zijn daardoor 25% lichter en 20% dunner dan voorgaande modellen. Bovendien kon met één laag worden volstaan - er was geen aparte absorberende laag nodig.

Ticona

www.ticona.com

Operatiemicroscop

De *M520 F40* operatiemicroscop van **Leica Microsystems** (Heerbrugg, Zwitserland) geeft de chirurg een drie-dimensionaal beeld van het operatiegebied en verlicht dit tegelijkertijd. De microscoop moet altijd toegankelijk zijn, maar mag niet in de weg zitten tijdens gedetailleerd werk. Als gevolg daarvan is het instrument uitgerust met een balancering die precieze beweging van het optische systemen mogelijk maakt zonder handmatige bediening door de chirurg.

Grote delen van de microscoop zijn gemaakt van PUR om deze zo licht mogelijk te houden. Leica koos *Baydur 100* PUR van Bayer voor de zes onderdelen van de behuizing. Het grootste onderdeel van de behuizing is 905 x 370 x 160 mm groot. De PUR-onderdelen hebben dunne wanden, waardoor ze licht van gewicht en toch stijf zijn. Door de goede vloeieigenschappen van het PUR stroomt het mengsel in alle uithoeken van de matrijs. Dit houdt in dat ook complexe delen, zoals ribben, openingen of onder-snijdingen eenvoudig te realiseren zijn.

Bayer MaterialScience
www.bayer.com

Micropincet

Het Duitse bedrijf **ERBE Elektromedizin** ontwikkelde een micro-pincet voor kijkoperaties, waarbij instrumenten in het lichaam worden gebracht via een kleine opening in de huid. De handgreep en de hefboom van het apparaatje zijn gespuitsgiet uit glasvezelversterkt nylon (Zytel van DuPont). De bipolaire micro-pincet is een veelzijdig instrument dat lichaamsweefsel kan uittrekken en elektrische stroom kan toedienen om genezing van de wond te versnellen en bloedingen te stoppen.

De handgreep van het instrument bestaat uit een behuizing, een kabelkanaal aan de achterzijde en een houder aan de voorzijde voor een metalen buisje met een diameter van 1,5 mm. Hierdoor loopt de bedrading voor de grijpers van de pincet. De hefboom om de pincet te openen is bevestigd op de handgreep.

Het nylon (66) is bestand tegen hoge temperaturen en tegen hydrolyse. Het bevat een masterbatch die lasermarkering mogelijk maakt. Ook na veelvuldig steriliseren in een autoclaaf, bij temperaturen tot 134°C, behoudt het materiaal zijn eigenschappen.

DuPont
www.dupont.com

Veilige injectienaald

Safety Syringes (V.S.) levert injectienaalden die werkers in de gezondheidszorg beter beschermen tegen per ongeluk prikken. De veiligheidsnaalden zijn vooral bestemd voor het toedienen van medicijnen die worden geleverd in voorgevulde injectienaalden en niet in ampullen. Het *Ultra Safe Passive Delivery System* bestaat uit twee gespuitsgiete delen, een binnencilinder en een beschermende huls met een greep die automatisch wordt geactiveerd direct na het injecteren. De huls ziet er hetzelfde uit als de cilinder en voelt ook zo aan. Om wrijving te voorkomen en het tijdig vrijkomen van de buitenhuls te verzekeren, moesten de twee onderdelen uit verschillende materialen worden gespuitsgiet. De huls is gespuitsgiet uit polycarbonaat. Het binnendeel moest net zo sterk en helder zijn als PC, maar minder wrijving vertonen. Hiervoor viel de keus op *Eastar DNO03* copolyester. Het copolyester heeft ongeveer dezelfde verwerkingseigenschappen als het PC.

Eastman Chemical Company
www.clearlymedical.com

Grootschalige opslag van medische monsters

Farmaceutische bedrijven en laboratoria slaan grote aantallen monsters op, waarbij het van belang is dat ze veilig worden bewaard en snel kunnen worden getraceerd en geschikt gemaakt voor proeven. Het Britse bedrijf **TTP Labtech** heeft hiervoor een speciaal systeem bedacht: op een oppervlak van minder dan twee vierkante meter kan een complete monsterkamer worden gebouwd, inclusief klimaatregeling. De kern van het systeem, *comPOUND* genoemd, bestaat uit 26 lichte en complexe carrousels die elk ongeveer 4000 verschillende monsters kunnen bevatten. Elk van de ongeveer 100.000 monsters in de 'kluis' kan uit zijn opslagplaats worden gehaald met behulp van perslucht.

De carrousels zijn gemaakt van *Baydur 61 FR* polyurethaan met een gesloten huid. Metalen zouden te zwaar zijn geweest en thermoplasten niet in de gewenste vorm te spuitgieten, aldus Bayer. Elke carousel heeft een diameter van 95 cm, een hoogte van 52 mm, en weegt 15 kg.

Bayer MaterialScience
www.bayermaterialscience.com

Fixeren huidmonsters

Een arts vindt een onregelmatigheid in de huid, neemt een monster en zendt dit naar een laboratorium, dat er een groot aantal proeven mee doet. De resultaten worden beoordeeld onder een microscoop en hierbij speelt het correct kleuren van het monster een essentiële rol. Het automatisch inkleuren van het huidmonster kan gebeuren met speciale machines, zoals de *Shandon Varristain Gemini* van het Engelse bedrijf **Thermo Electron**. De huidmonsters worden gefixeerd in een formaldehyde-

Ziekenhuistrolley

Om patiënten snel en eenvoudig te voorzien van verband en medicijnen gebruikt het verplegend personeel trolleys met medicijnen, verbandmiddelen en een computer met gegevens over de patiënt. De compacte Aurion Mini 600 en Mini 400 van de Italiaanse fabrikant GMP heeft veel bergruimte en is licht van gewicht.

De trolleys wegen 17 kg en zijn grotendeels gemaakt van Baydur 60 polyurethaan. Ze worden geproduceerd volgens het FPT en FFT proces, afkortingen die staan voor Foiled Polyurethane Technology en Foiled-Fiber polyurethane Technology. FPT en FFT combineren de voordelen van PUR-verwerking met een oppervlak van thermoplastische folie. De zij- en bovenpanelen van het karretje worden geproduceerd met het FPT-proces, waarbij twee gethermovormde PVC-folies in een goedkope aluminium matrijs bij lage druk worden achtergeschuimd met Baydur 60 PUR-integraalschuim. De ruimte tussen de twee zeer stijve schalen wordt vervolgens gevuld met Baydur 20. Deze lichtgewicht vulling, met een soortelijk gewicht van 200 kg/m³, geeft extra stevigheid en vormt een permanente verbinding tussen de twee Baydur foliecomposieten. De basis van de trolley is gemaakt van FFT, glasvezelversterkt Baydur en folie, zodat het

sterk genoeg is om de vier zwenkwielen er onder te bevestigen.

Bayer MaterialScience
www.bayermaterialscience.com



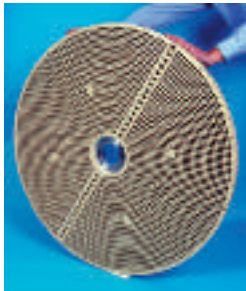
De Aurion Mini 600 trolley is sterk en toch licht, dankzij PUR-onderdelen van Bayer MaterialScience. (foto GMP S.p.A.)



Veilige injectienaalden. Het binnendeel is gespuitsgiet uit copolyester, het buitendeel uit polycarbonaat.



In deze 'kluis' kunnen ongeveer 100.000 biologische monsters worden opgeslagen in 26 carrouzels uit polyurethaan. Elke carrousel kan 4000 monsters bevatten. (foto TTP Labtech Ltd.)



Laboratoriumrobot van Thermo Electron Corporation. Grote delen van het apparaat zijn gemaakt van PUR. (foto Thermo Electron Corporation)



Schijf ter grootte van een CD waarmee 48 bepalingen tegelijk kunnen worden gedaan. Materiaal: Topas COC van Ticona.

oplossing, gedroogd, uitgehard in parafinnewas, in zeer dunne plakjes gesneden en gekleurd. De patholoog kan bepaalde cellen uitlichten, zoals collageen en nucleï, of bacteriën, schimmels of carcinomen zichtbaar maken. De machine is voor een groot deel gemaakt van PUR. De deuren en bovenkant van de machine, die 700 x 700 x 80 mm groot is, zijn gemaakt van *Baydur 110* van Bayer. *Baydur 60* is gebruikt voor het bovenstuk.

Bayer MaterialScience
www.bayermaterialscience.com

Analyse-schijf

De Engelse **Tecan Group**, leverancier van hulpmiddelen voor de medische industrie, levert een schijf die zo groot is als een CD en waarmee 48 tests tegelijk kunnen worden uitgevoerd. Het 'microvloeistofplatform', *LabCD* genaamd, werkt door de schijf bij een bepaalde snelheid te laten ronddraaien. Voor de schijf zelf had Tecan een kunststof nodig die zeer transparant was voor nabij UV-licht en die weinig auto-fluorescentie vertoonde. Het materiaal moest ook vormvast zijn en bestand tegen aromatische koolwaterstoffen en andere organische stoffen. *Topas* cyclo-olefinecopolymer (COC) van Ticona voldeed aan deze eisen. Voor de LabCD bouwde spuitgietbedrijf **Weidmann** (Zwitserland) een matrijs met precisie-inserts die micro-structuren bevatte die soms 50 micron klein waren.

Door de schijf bij een bepaalde snelheid rond te laten draaien, bewegen test- en reactievloeistoffen naar buiten via microscopisch kleine kanaaltjes, waarin ze met elkaar vermengd raken en chemisch reageren. De kanalen eindigen in holtes waar de reactieproducten samenkomen en worden gemeten door lichtdetectietechnieken. Door de vloeï onder invloed van centrifugale krachten te laten plaatsvinden, zijn pompjes, ventielen en andere bewegende delen niet nodig.

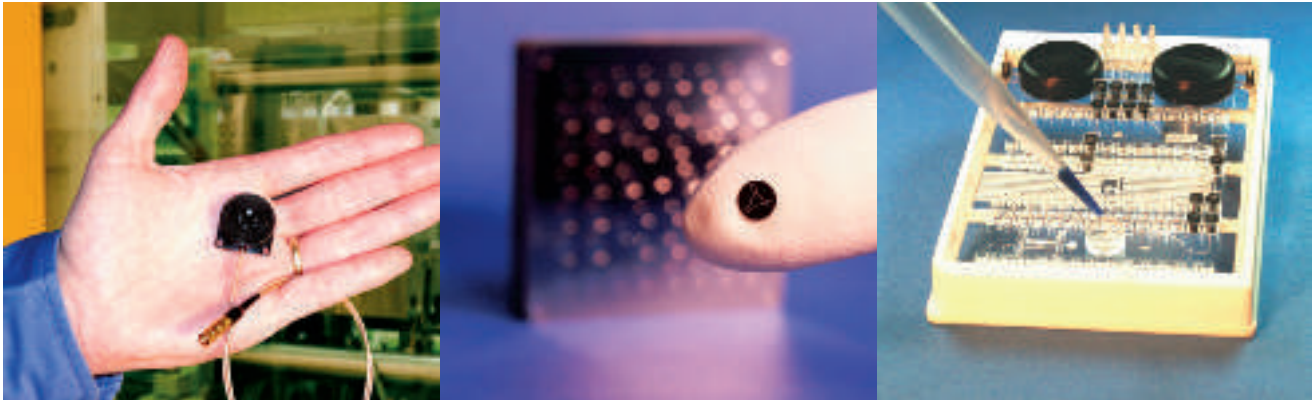
De LabCD schijf is 5 mm dik en 124 mm in doorsnede en bestaat uit een onder- en een bovenhelft. De ene helft heeft micro-kanalen die 50 micrometer hoog en breed zijn; de andere helft bevat de opslag- en meetholtes. De testvloeistoffen worden bij 48 ingangspoortjes ingebracht die leiden naar 48 van de dubbel uitgevoerde tussenholtes. De LabCD hoort bij het *Ultra* systeem van Tecan, waarmee medicijnen worden getest op hun interactie met lichaamsseigen stoffen en met andere medicijnen.

Ticona
www.ticona.com

Micro-onderdelen voor micro-apparatuur

Micro-vloeistofcomponenten zijn essentiële elementen in uiteenlopende medische systemen. Ze worden onder andere gebruikt voor het ontwikkelen van medicijnen, voor diagnose en analyse, en voor biosensoren. *Topas* cyclo-olefine-copolymeer (COC) van Ticona is door **thinXXS** (Duitsland) gebruikt voor micro-vloeistof-toepassingen. Een recent product van thinXXS is een micro-vloeistof 'bouwpakket' dat een aantal kleine *Topas*-onderdelen bevat met kanalen, mixers, reactiekamers en kolommen. Hiermee kunnen - dankzij het flexibele ontwerp - verschillende systemen worden gebouwd voor biotechnische of medische doeleinden.

thinXXS koos *Topas* COC ook voor zijn *XXS2000* micro-pomp. Dit is een piezo-aangedreven membraanpomp die niet groter dan een euromunt (circa 22 mm in doorsnede). Hij wordt gebruikt voor het transport van zeer kleine hoeveelheden vloeistof of gas. Alle kunststof onderdelen van de pomp, die maar drie gram weegt, zijn gemaakt van *Topas* COC van Ticona.



Links: Deze kleine membraanpomp, geproduceerd door thinXXS in Duitsland, kan zeer kleine hoeveelheden vloeistof of gas transporteren. Midden: Een veertje uit Topas COC, kan de klep van de pomp meer dan een miljoen maal openen en sluiten. Rechts: Micro-vloeistof 'bouwpakket' waarin plaatjes uit Topas COC passen. Er kunnen uiteenlopende laboratoriumprocessen mee worden uitgevoerd.

Ftalaatvrije slangen

Bij het uitbreiden van zijn serie *SurePatch* medische slangen is de Natvar Divisie van Tekni-Plex overgeschakeld van PVC op een ftalaatvrij alternatief, namelijk *Ecdel TPE 9966* van Eastman Chemical Company. Het TPE voldoet aan dezelfde eisen ten aanzien van verwerkbaarheid, kwaliteit en esthetiek als PVC. Natvar hoefde maar weinig aanpassingen aan de verwerkingsmachines aan te brengen.

De slangen zijn opgebouwd uit een PE binnenlaag (voorkomen van absorptie), een hechtlaag in het midden en een Ecdel buitenlaag als bindmiddel. Ecdel is compatibel met de middelste laag en bestand tegen oplosmiddelen en lijmen. Veel fabrikanten van medische apparatuur gebruiken namelijk oplosmiddelen om polycarbonaat verbindingstukken en andere koppelingen aan de slangen te lijmen. Ecdel lijkt sterk op PVC, en doordat het zijn buitendiameter behoudt, stelt het assemblagebedrijven in staat om bestaande apparatuur en processen te gebruiken. Ecdel blijft ook na het lijmen kristalhelder, bij sterilisatie vergeelt het niet.

Eastman Chemical Company
www.clearlymedical.com

Stereolithografietechnieken in de medische wereld

Vantico (Bazel), een dochteronderneming van Huntsman, noemt een aantal stereolithografie-toepassingen in de medische sector.

Oor In het Morriston Hospital in Swansea (VK) is een combinatie van virtuele en vaste modelbouw toegepast om een nauwkeurige boormal te maken voor het implanteren van een oorprothese bij een patiënt. Hierdoor werden de tijd en kosten voor het maken van anatomische modellen aanzienlijk verminderd. Na het opstellen van een operatieplan is met behulp van stereolithografie en *RenShape SL H-C 9100R* fotopolymeer een boormal geproduceerd die de chirurg naar de exacte boorplaatsen voor de oorimplantatie leidde. Uitgangspunt voor het prothetische oorimplantaat was een drie-dimensionale CT-scan. De gegevens die hierbij werden verzameld zijn gebruikt voor het creëren van virtuele modellen van het zachte hoofdweefsel, het gezonde oor en de botstructuur op de plaats van implantatie. Aan de hand van deze virtuele modellen is de operatie uitgevoerd.

Kaak Twee selectief kleurbare *RenShape SL* materialen maken de snelle productie van driedimensionale anatomische modellen direct uit CAD-data mogelijk. Modellen kunnen in een paar uur worden geproduceerd, waardoor de ontwikkelingstijd met maximaal 80% wordt bekort. *RenShape SL H-C 9100R* is bestemd voor HeCd laserstereolithografie (SL) systemen en *RenShape SL Y-C 9300R* voor vaste-stof SL-systemen. Beide materialen zijn gemakkelijk te hanteren en te reinigen. De modellen kunnen gesteriliseerd worden zonder verlies van mechanische eigenschappen.

Type H-C 9100R is gebruikt voor het gebitsmodel van een onderkaak, waarbij de tanden en zenuwstructuren werden gemarkeerd als rode secties. Het model is benut om te bepalen waar in het bot gesneden kon worden om tandwortels en zenuwen te ontwijken. Gegevens voor het maken van het SL-model werden verkregen met CT-scanning.

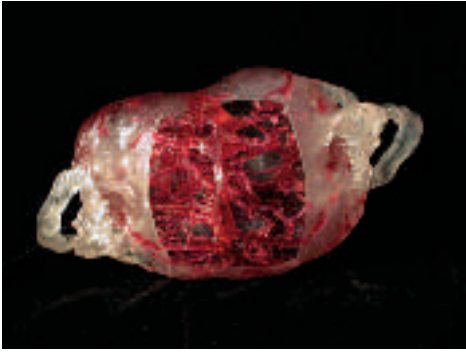
Oog Voor het ontwikkelen van apparatuur voor het vroegtijdig vaststellen en beheersen van glaucoom, zijn



Drielaagslangen, bestaande uit een binnenlaag van PE, een hechtlaag en een Ecdel TPE 9966 buitenlaag.



Kaak. Uit inkleurbare SL-hars is een kaakmodel gebouwd.



Aaneengegroeide tweeling. Informatie verkregen met MRI en CT scans is gebruikt om een SL-model te bouwen van de schedels van een aaneengegroeide tweeling.



Matrijs voor doppen

Voor de productie van spuitbusdoppen voor de medische en farmaceutische industrie ontwikkelde Axxicon Mould Technology een matrijs met meer vormholtes. Deze precisiematrijs voldoet aan de zeer strenge eisen die deze sectoren stellen. De vormholtes zijn stuk voor stuk uitwisselbaar.

ontwerperiteraties van de behuizing gebouwd uit RenShape SL stereolithografiemateriaal. Het fotopolymeer *RenShape SL 7560* leverde nauwkeurige en complexe prototypen op met een levensduur die te vergelijken is met die van ABS; het simuleerde onderdelen die uiteindelijk uit ABS worden gespuitsgiet. De prototypen zijn door **FineLine Prototyping** in de V.S. gebouwd voor **Welch Allyn**, leverancier van het apparaat. Voor de productie van de ontwerperiteraties zijn CAD-gegevens gebruikt. Het duurde ongeveer één dag om een set van zes prototypen te voltooien. De behuizing van de glaucoomdetector bevat niet alleen lenzen, maar ook de basis voor de lichtmeter, de besturingsprintplaten van de camera en de infrarood-LED's. Bovendien zitten er kleine driehoekige rasters in, waarmee de patiënt in de juiste positie kan worden geplaatst voordat de test wordt uitgevoerd.

Aaneengegroeide tweeling Medische modelleermaterialen en stereolithografie speelden een sleutelrol bij het operatief scheiden van een aaneengegroeide tweeling in

het Children's Medical Centre te Dallas. Tijdens de planning liet het chirurgisch team een serie driedimensionale SL-modellen maken van de anatomie van de tweeling. Deze modellen werden gebruikt tijdens het voorbereiden van de 34 uur durende ingreep. Veel modellen waren vervaardigd uit een kleurbaar materiaal, namelijk RenShape SL Y-C 9300.

Het fotopolymeer is gebruikt om aan de hand van MRI- en CT-scans van de twee kinderen ingewikkelde modellen te bouwen. Er zijn onder meer doorzichtige delen van de schedels geproduceerd met rood getinte vlakken die de plaats aangaven van de door de tweeling gedeelde bloedvaten. Verder zijn er tientallen modellen gemaakt van bot, huid, hersenen en vaatstructuur. De tweeling is op 12 oktober 2003 geopereerd; de scheiding verliep succesvol.

The Product Support Help Desk
Vantico
www.tooling.vantico.com



Oog. Voor het ontwerpen van de behuizing van een apparaat waarmee vroegtijdig staar kan worden opgespoord is gebruik gemaakt van stereolithografie.



Oor. 3D-software is gebruikt om het nieuwe oor op de juiste plaats op de schedel van de patiënt te zetten.

Ik zou iedereen die wel eens bouwt van tekening of eigen ontwerp, of zelfs kant en klare kits, aanraden om eens te experimenteren met het lamineren van verschillende materialen. Het heeft een aantal zeer mooie voordelen, en het kan de manier waarop je bouwt veranderen.

Eigenschappen

Voordelen van zelfgemaakt laminaat:

- 1 - het heeft meestal een gunstige sterkte / gewicht-verhouding ten opzichte van de gebruikelijke kant-en-klare materialen.
- 2 - je kan de eigenschappen van het materiaal optimaal aan de toepassing aanpassen.
- 3 - in tegenstelling tot triplex uit de winkel is het net zo recht als je zelf wilt.

Nadelen?

- Het voornaamste nadeel is dat het meer werk is om zelf triplex te maken dan om een plaat lite-ply uit het schap te trekken.
- Een ander nadeel is dat verschillende materialen verschillend uitzetten, waardoor je laminaat kan vervormen. Maar met wat verstand is dat meestal wel te voorkomen.

Zelf triplex maken is met name nuttig wanneer je gewicht wilt besparen, wanneer je twijfelt over de sterkte van een onderdeelje in een kit of op een tekening, of als je een onderdeel nodig hebt dat absoluut recht of stijf is. Zoals iemand eens zei: als je een stuk lite-ply in een kit tegenkomt, gooi het dan weg en vervang het door een custom laminaat dat zowel lichter als sterker is.

Zowat alles is te lamineren. Het is goed om wat te experimenteren en de eigenschappen van verschillende materialen te kennen:

- balsa: licht, buigt gemakkelijk door, vrij sterk in de richting van de nerf maar erg slap dwars op de nerf, en scheurt gemakkelijk.
- kant-en-klaar triplex: sterk en stijf onder zowel trek- als buigkracht, maar zwaar.
- koolstof: buigzaam of zelfs broos onder buigkrachten, maar zeer stijf onder trekkracht.

Wanneer is het zinvol om triplex te maken? De echte vraag is: wanneer niet? Als de extra sterkte of gewichtsbesparing niet tegen de moeite opweegt, of op plaatsen waar echte sterkte nodig is: motorschotten en bevestigingsplaten voor een landingsgestel bijvoorbeeld. In die gevallen moet je gewoon de geëigende dikte balsa of fabriekstriplex pakken.

Ik zelf gebruik de volgende combinaties van materialen in zelfgemaakt triplex:

- **Balsa op balsa** (met de nerf van de laagjes haaks op elkaar): dit resulteert in een materiaal dat nog steeds behoorlijk buigzaam is, maar een goede treksterkte in twee richtingen heeft, in tegenstelling tot een enkele balsaplaat. Ideaal voor onderdelen die niet aan buigkrachten onderhevig zijn maar wel over twee assen treksterkte moeten leveren, zoals formers in een romp. Zeker als die een beetje iel uitvallen is het beter om bijvoorbeeld een 3mm balsa former te vervangen door een laminaat van 2x 1,5mm balsa of 3x 1mm.



- Triplex op balsa:

Dit levert een materiaal op dat zowel een goede buig- als treksterkte levert. Het gevaar hier is dat het materiaal scheeftrekt vanwege de verschillende eigenschappen van de grondstoffen, dus lamineer altijd symmetrisch dwz. balsa-triplex-balsa of triplex-balsa-triplex. De enige uitzondering die ik hierop maak is de triplex "doubler" die vaak aan de binnenkant van een balsa romp wordt gelijmd.

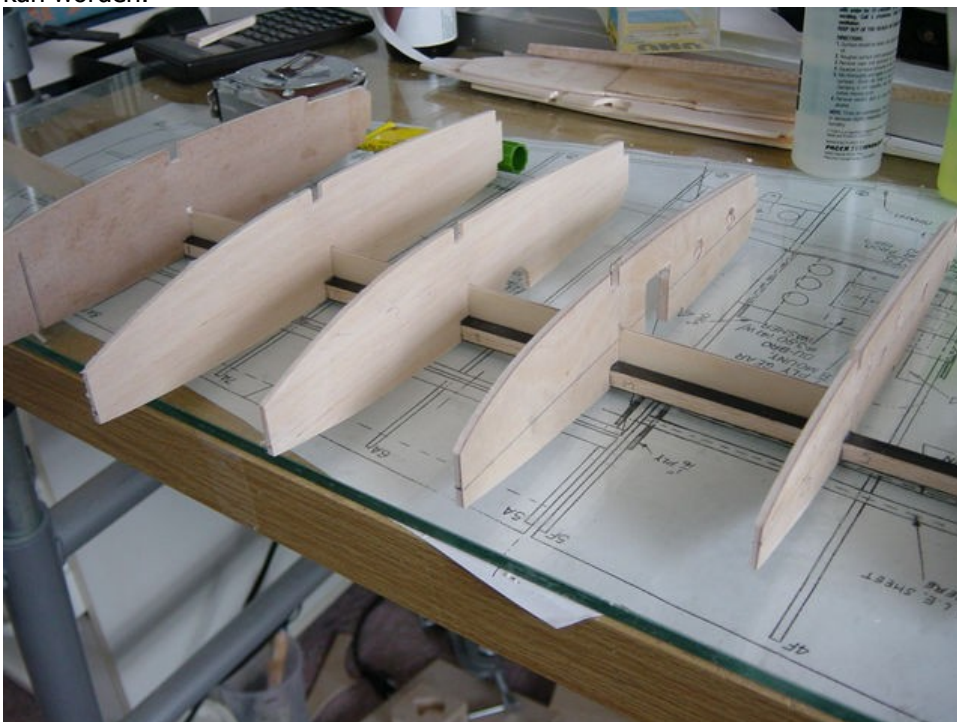
De meest voorkomende vorm van deze mix is triplex-balsa-triplex. Neem het triplex vooral niet te dik! Voor de meeste toepassingen, zoals het maken van stijven planken, ribben, of formers, is 0.4mm of 0.6mm triplex voldoende. Alleen als je serieuze krachten op het onderdeel verwacht, is het zinvol om dikker triplex te nemen.

Een goede toepassing van deze combinatie is het maken van onderdelen die recht en stijf moeten zijn. Hieronder is een flap van slechts 1,8mm dik, die toch in staat is de krachten die er op komen te staan te verwerken. Deze flap is kaarsrecht en buigt niet gemakkelijk door.



- koolstof op balsa

Een laminaat met koolstof geeft een zeer stijf resultaat. Hieronder is te zien hoe ik het gebruikt heb om de ligger in een vleugel te verstevigen; niet zozeer om het eindresultaat (de vleugel) te verstevigen, als wel om een volkomen rechte basis te vormen waarop de rest van de vleugel gebouwd kan worden.



Een indicatie van de gewichten, uitgaande van een plaat van telkens dezelfde dikte en grootte.

Balsa: 1

Gelamineerd balsa (3 plaatjes): 1,25x het gewicht van balsa

Balsa en triplex 50/50 (bijv. 1mm triplex/2mm balsa/1mm triplex ten opzichte van 4mm balsa): 3,25x het gewicht van balsa

Triplex: 6,1x het gewicht van balsa.

Laminaat maken:

Benodigheden:

- basismateriaal (balsa, triplex, koolstopstrips, duh)
- Epoxy (30 minuten; ik zelf gebruik Zap dat niet al te kritisch qua mengverhouding is)
- een vlakke ondergrond
- een vlakke plaat + gewichten.

Om te beginnen: het eindresultaat zal net zo recht zijn als je ondergrond. Ik gebruik een glasplaat hiervoor; deze is zeer recht, en is gemakkelijk schoon te maken: even met een schaaftje er overheen en alle gemorste epoxy en vastgelijmde meuk is er zo af.

Het kan echter zijn dat je iets bewust met een kromming wil maken: bijvoorbeeld een flap die de washout van een vleugel volgt. In dat geval kan je triplex ribben op een vlakke ondergrond lijmen om de kromming te vormen, en vervolgens een stuk dun triplex op de ribben lijmen. Vershoudfolie er over en je hebt een ondergrond om een voorgekromd werkstuk te maken.

Maak eerst het basismateriaal min of meer op maat. Het beste is om alle te verlijmen platen te groot te maken, en later het gehele laminaat verder op maat te zagen/schuren.

Maak een goede hoeveelheid epoxy aan. Breng de epoxy op beide te verlijmen oppervlakken aan. Vervolgens schraap je het grootste gedeelte van de lijm er weer af: hoe meer lijm er achterblijft, hoe zwaarder het onderdeel wordt. Epoxy is relatief zwaar!

Met een dun stukje afvalbalsa kan je prima het teveel aan epoxy wegvegen:



Als alle stukjes op elkaar zitten, is het zaak om de zaak goed recht aan te drukken. Leg het laminaat op de glasplaat nadat het met huishoudfolie omwikkeld is. Hierdoor kleeft het niet aan de glasplaat of het gewicht.



Tenslotte: leg iets rechts op het laminaat, bijvoorbeeld een plaat van 15mm triplex. leg daarop gewichten (het verzameld werk van Robert Jordan doet hier goede diensten).



Laat de zaak een nachtje drogen... het heet wel 30 minuten epoxy, maar in dit geval heeft het wat langer nodig om echt goed te drogen.

Ik weet zeker dat een paar experimentjes genoeg zijn om je te overtuigen van de voordelen van zelfgemaakt laminaat! 😊

Zoals altijd: aanvullende voorbeelden en opmerkingen welkom!

Ronald In 't Velt



EUROPESE
COMMISSIE

Communautair onderzoek

Nanotechnologie

Innovatie voor de wereld van morgen



NANOTECHNOLOGIEËN EN NANOWETENSCHAPPEN,
KENNISGEBASEERDE MULTIFUNCTIONELE MATERIALEN EN
NIEUWE PRODUCTIEPROCÉDÉS EN -APPARATUUR

Belangstelling voor Europees onderzoek?

RDT info is ons kwartaalblad dat u op de hoogte houdt van de belangrijkste ontwikkelingen (resultaten, programma's, evenementen, enz.). Het verschijnt in het Engels, Frans en Duits. Een gratis proefexemplaar of gratis abonnement kan worden aangevraagd bij:

Europese Commissie
Directoraat-generaal Onderzoek
Eenheid Informatie en communicatie
B-1049 Brussel
Fax (32-2) 29-58220
E-mail: research@cec.eu.int
Internet: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html

Uitgever: EUROPESE COMMISSIE

Directoraat-generaal Onderzoek
Directoraat G — Industriële technologieën
Eenheid G.4 — Nanowetenschappen en nanotechnologieën

Contactpersonen: Dr. Renzo Tomellini, Dr. Angela Hullmann

E-mails: renzo.tomellini@cec.eu.int, angela.hullmann@cec.eu.int

Url: www.cordis.lu/nanotechnology

Nanotechnologie

Innovatie voor de wereld van morgen

Deze brochure is de neerslag van een door het Duitse bondsministerie voor onderwijs en wetenschappen (BMBF) gefinancierd project van het technologiecentrum van de Duitse ingenieursvereniging (VDI-TZ). De Europese Commissie is het BMBF erkentelijk voor zijn instemming met de vertaling van deze publicatie en met de verspreiding ervan onder een Europees publiek. Bijzondere dank gaat uit naar Dr. Rosita Cottone (BMBF) en Dr. Wolfgang Luther (VDI-TZ) voor de hulp die zij hebben verleend bij de coördinatie.



Zie voor de oorspronkelijke, Duitse versie <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>.

Uitgegeven door: Europese Commissie, DG Onderzoek

Productie: Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlijn

Coördinatie: Afdeling Zukunftige Technologien, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Auteur: Dr. Mathias Schulenburg, Keulen

Lay-out: Suzy Coppens, BergerhofStudios, Keulen

*Europe Direct is een dienst die u helpt antwoorden te vinden
op al uw vragen over de Europese Unie*

Gratis nummer:
00800 6 7 8 9 10 11

JURIDISCHE KENNISGEVING

De Europese Commissie en namens haar optredende personen zijn niet aansprakelijk voor het eventuele gebruik van de informatie in deze brochure.

De in deze publicatie naar voren gebrachte opvattingen komen geheel voor rekening van de auteur en komen niet noodzakelijk overeen met het standpunt van de Europese Commissie.

Nadere informatie over de Europese Unie is te vinden op de Europa-server op internet (<http://europa.eu.int>).

Catalogusgegevens zijn te vinden aan het einde van deze publicatie.

Luxemburg: Bureau voor officiële publicaties der Europese Gemeenschappen, 2004

ISBN 92-894-8889-1

© Europese Gemeenschappen, 2004
Overneming met bronvermelding is toegestaan.

Printed in ?????

GEDRUKT OP WIT CHLOORVRIJ PAPIER

Voorwoord

Nanotechnologie is een nieuwe benadering voor het begrijpen en beheersen van de eigenschappen van materie op nanoschaal: één nanometer (een miljardste meter) is de grootte van een klein molecuul. Op dit niveau vertoont materie andere, soms verbazingwekkende eigenschappen en vervagen de scheidslijnen tussen de gevestigde wetenschappelijke en technische disciplines. Vandaar het duidelijk interdisciplinaire karakter van nanotechnologie.

Van nanotechnologie wordt vaak gezegd dat zij een «ontwrichtend» of «revolutionair» potentieel heeft in termen van de mogelijke gevolgen voor de industriële productieprocessen. Nanotechnologie kan oplossingen bieden voor een groot deel van de problemen van vandaag de dag, omdat zij materialen, onderdelen en systemen kleiner, lichter, sneller en krachtiger kan maken. Dit opent nieuwe mogelijkheden voor het scheppen van welvaart en werkgelegenheid. Verwacht wordt dat nanotechnologie bovendien een onmisbare bijdrage zal leveren aan de oplossing van wereldwijde milieuproblemen doordat zij specifiekere inzetbare producten en procédés mogelijk maakt, waardoor minder grondstoffen nodig zijn en minder afval en uitstoot wordt geproduceerd.

Op dit moment ligt het tempo in de mondiale nanotechnologie wedloop hoog. Europa heeft al vroeg geïnvesteerd in talrijke nanotechnologieprogramma's, die in de tweede helft van de jaren negentig van start zijn gegaan. Daardoor heeft het een solide kennisbasis kunnen ontwikkelen. Het is nu zaak ervoor te zorgen dat de Europese industrie en samenleving de vruchten kunnen plukken van deze kennis door nieuwe producten en procédés te ontwikkelen.

De Commissie heeft recentelijk een mededeling aan nanotechnologie gewijd («Naar een Europese strategie voor nanotechnologie»). In die mededeling wordt niet alleen voorgesteld meer te doen aan onderzoek op het gebied van nanowetenschappen en nanotechnologieën, maar ook om rekening te houden met een aantal andere, onderling afhankelijke factoren:

- Een betere coördinatie van de nationale onderzoekprogramma's en meer investeringen om ervoor te zorgen dat de onderzoeksteams en -infrastructuren («expertisecentra») in Europa internationaal meetellen. Tegelijkertijd is meer samenwerking tussen onderzoekorganisaties in de openbare en de particuliere sector in Europa essentieel voor het bereiken van een kritische massa.
- Andere concurrentiebepalende factoren mogen niet worden vergeten, zoals een gedegen metrologie, regelgeving en intellectuele-eigendomsrechten, zodat de weg kan worden vrijgemaakt voor industriële innovatie die weer tot concurrentievoordelen moet leiden, zowel voor grote bedrijven als voor het MKB.
- Activiteiten op het gebied van opleiding en onderwijs zijn van groot belang. Waar het in Europa vooral aan schort is ondernemingsgeest van onderzoekers en vernieuwingszin van productie-ingenieurs. Voor onderzoek met een waarlijk interdisciplinair karakter is het wellicht ook noodzakelijk nieuwe benaderingen te ontwikkelen voor onderwijs en opleiding die afgestemd zijn op het onderzoek en de industrie.
- Maatschappelijke aspecten (zoals publieksvoorlichting, gezondheids- en milieu-aspecten, en risicoanalyse) zijn andere sleutelfactoren voor een verantwoorde ontwikkeling van nanotechnologie die aansluit bij de verwachtingen van de bevolking. Het vertrouwen van het publiek en van investeerders in nanotechnologie is van cruciaal belang voor de langetermijntoewijding en vruchtbare toepassing ervan.

Het doel van deze brochure is te illustreren wat nanotechnologie eigenlijk is en wat deze de Europese burger te bieden heeft.



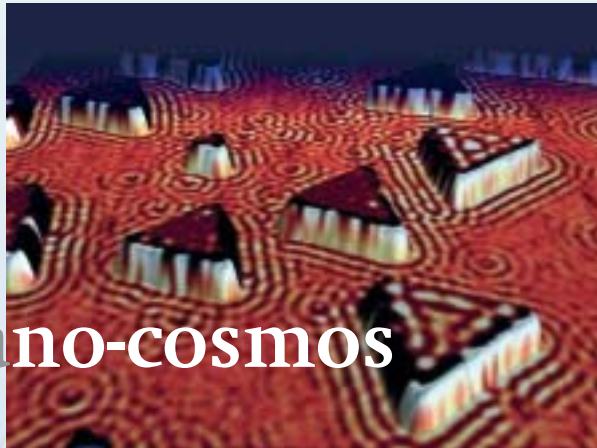
Ezio Andreta
Directeur "Industriële technologieën"
Directoraat generaal Onderzoek
Europese Commissie

Inhoud

3 Voorwoord

4-5 Inhoud

Een reis door de **nanocosmos**



6-7 **Het atoom: Een oud idee, een nieuwe werkelijkheid**

8-13 **Nanotechnologie in de natuur**

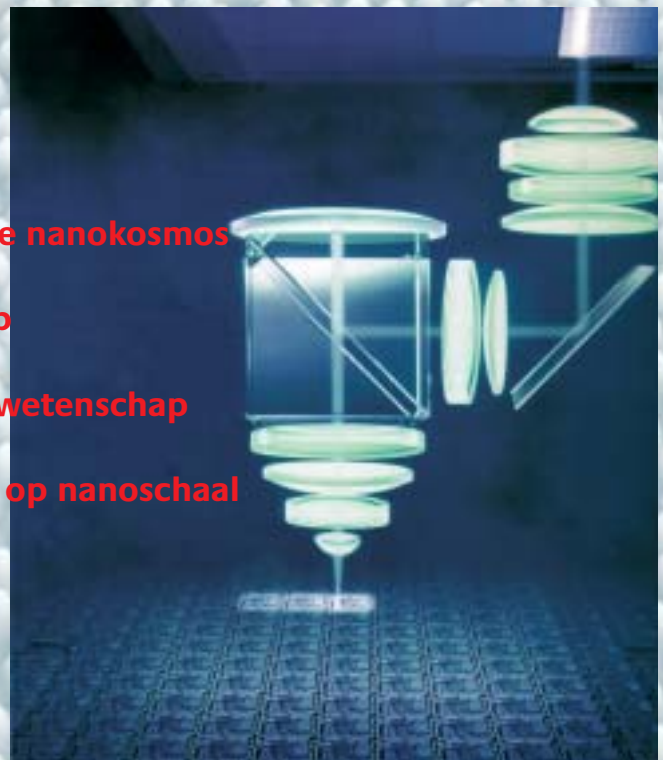
Instrumenten
en procédés

14-15 **Ogen gericht op de nanokosmos**

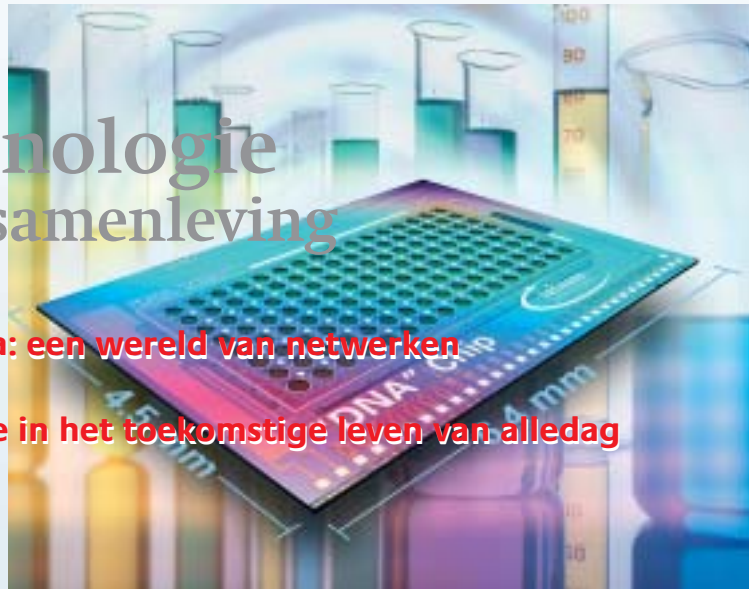
16-17 **Schrijfgereedschap**

18-19 **Impulsen voor de wetenschap**

20-21 **Materiaalontwerp op nanoschaal**



Nanotechnologie voor de samenleving



22-27

Nano-elektronica: een wereld van netwerken

28-29

Nanotechnologie in het toekomstige leven van alledag

30-33

Mobiliteit

34-37

Gezondheid

38-41

Energie en milieu

42-43

Nanotechnologie voor sport en vrije tijd

44-45

Visies

46-47

Kansen en risico's

Nadere informatie



48

Hoe word ik nano-ingenieur?

49

Contactpersonen, links, literatuurverwijzingen

50-51

Lijst van begrippen

52

Register van afbeeldingen

Reis door de nanokosmos

Het atoom: Een oud idee, een nieuwe werkelijkheid



Amedeo Avogadro (1776-1856), natuurkunde-professor in Turijn, die regendruppels "berekenbaar" gemaakt heeft.



De stoffelijke wereld om ons heen bestaat uit atomen. De Griekse wijsgeer Democritus beweerde dit al ongeveer 2400 jaar geleden. De moderne Grieken waren hem hiervoor zo dankbaar dat ze zijn beeltenis op een munt van 10 drachme zetten. Deze kende, net als het atoom, een gigantische verspreiding. Een regendruppel bevat maar liefst 1.000.000.000.000.000.000.000 atomen, want atomen zijn uiterst klein, ongeveer een tiende nanometer. Eén nanometer is één miljoenste millimeter.

De verhouding tussen de diameter van een magnesiumatoom en die van een tennisbal is gelijk aan de verhouding tussen de diameter van een tennisbal en die van de aarde. Denk daaraan bij het innemen van uw volgende magnesiumtabletje!



De Romeinse schrijver Lucretius zei een paar honderd jaar later in een van zijn gedichten het volgende over atomen:

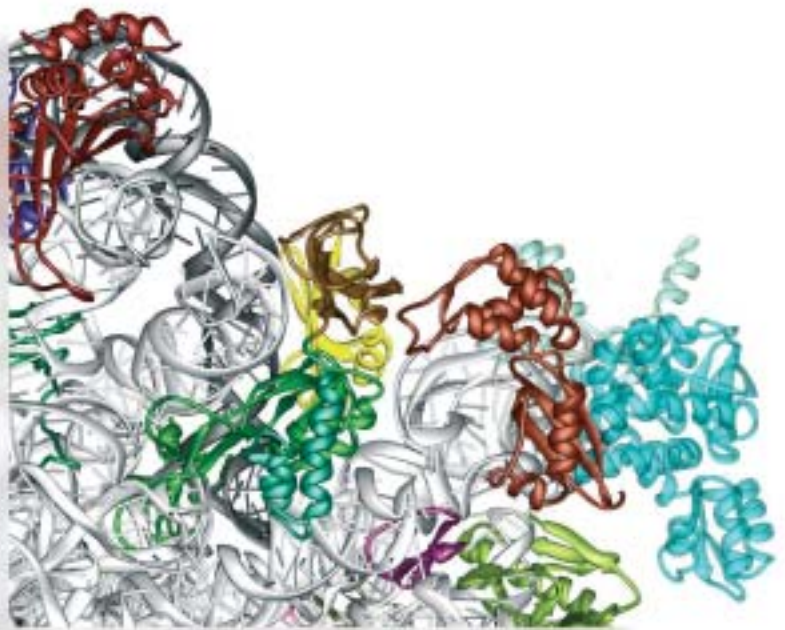
Het universum is een oneindige ruimte met een oneindig aantal ondeelbare partikels, atomen, van een daarentegen eindig aantal verschillende soorten. Atomen onderscheiden zich enkel door hun vorm, grootte en gewicht; ze zijn ondoordringbaar hard, onveranderlijk, de grens van de fysieke deelbaarheid ...

Lang niet slecht, maar wel pure speculatie. Daarna werd lange tijd niet meer over zulke dingen nagedacht.

In de zeventiende eeuw wijdde Johannes Kepler, de beroemde sterrenkundige, een beschouwing aan sneeuwvlokken, die hij in 1611 publiceerde: De regelmatige vorm kon volgens hem eigenlijk alleen door eenvoudige, gelijkvormige bouwstenen ontstaan. Het concept atoom kreeg nieuwe glans.



De geest van Democritus zweeft boven de nanowereld, een zee van eindeloze mogelijkheden.

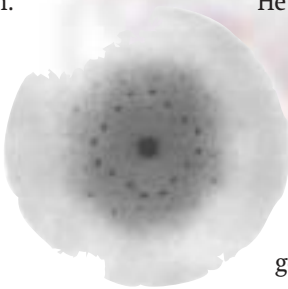


Nanomachines zoals het ribosoom kunnen door prof. Ada Yonath van het DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) kristallografisch ontcijferd worden.

Geleerden die zich in mineralen en kristallen verdiepten, raakten steeds meer overtuigd van het bestaan van atomen. Maar pas in 1912 kon aan de Universiteit van München een direct bewijs worden geleverd.

Een kopersulfaatkristal bleek röntgenstraling net zo te verstrooien als een paraplu het licht van een straatlantaarn.

moest dus atomen net zo gerang-waren als van of als op-sinaasappels in een



Het kristal wel uit bestaan die regelmatig schikt het weefsel paraplu doek gestapelde uitstalkraampje.

Met moderne analyseapparatuur is men erin geslaagd zulke complexe bestanddelen van de levende materie tot op nanoschaal zichtbaar te maken.

In de jaren tachtig van de vorige eeuw werd uiteindelijk de rastertunnelmicroscop ontwikkeld, waarmee afzonderlijke atomen van een kristal niet alleen afgebeeld – in het begin werden de afbeeldingen vaak voor bedrog gehouden – maar ook gemanipuleerd konden worden.

De tijd was rijp voor een zeer energieke vernieuwing: de nanotechnologie.

Waarom de kristal zich matig rang-eenvoudig verklaren: maakt het

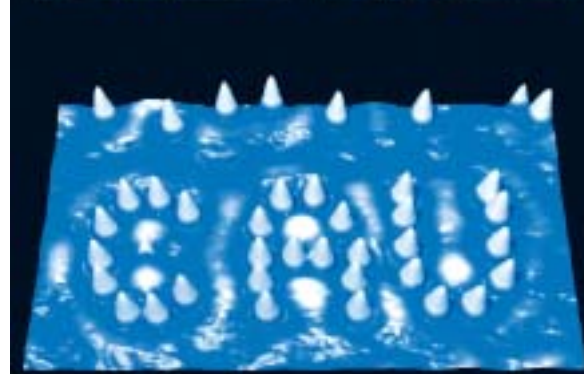


mogelijk, regelmaat is

aangenaamst. Al wanneer noten op een schaal worden geschud, ontstaan er regelmatige patronen; bij atomen gebeurt dit nog veel sneller.

atomen in een zo regel-schikken is te De materie zichzelf zo comfortabel en orde en

nu eenmaal het



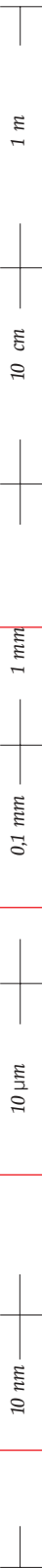
Bij prof. Berndt in Kiel worden mangaanatomen gebruikt om het logo voor de Christian-Albrechts-Universität af te beelden.

Maar eenvoudige patronen hebben zich niet altijd ook het meest verspreid. De materie op aarde heeft zich, gedreven door zelfordenende krachten, in miljarden jaren ontwikkeld tot schitterende, ingewikkelde, levende structuren.

Nanotechnologie in de natuur

Reis door de nanokosmos

Nanotechnologen hebben veel respect voor de levende natuur. Want in de vier miljard jaar van haar bestaan heeft deze soms verbluffende oplossingen voor haar problemen gevonden. Typierend daarbij is dat de levende natuur haar materie tot in de kleinste details structureert, tot op het niveau van de atomen. Nanotechnologen willen dat ook.



Atomen zijn niet erg populair. Ze worden vaak geassocieerd met bommen of gevaarlijke straling. Maar dit is alleen aan de orde bij technieken die de atoomkern manipuleren. De nanotechnologie houdt zich alleen bezig met de atoomschil. Die atoomschil is het speelterrein van de nanotechnologie.

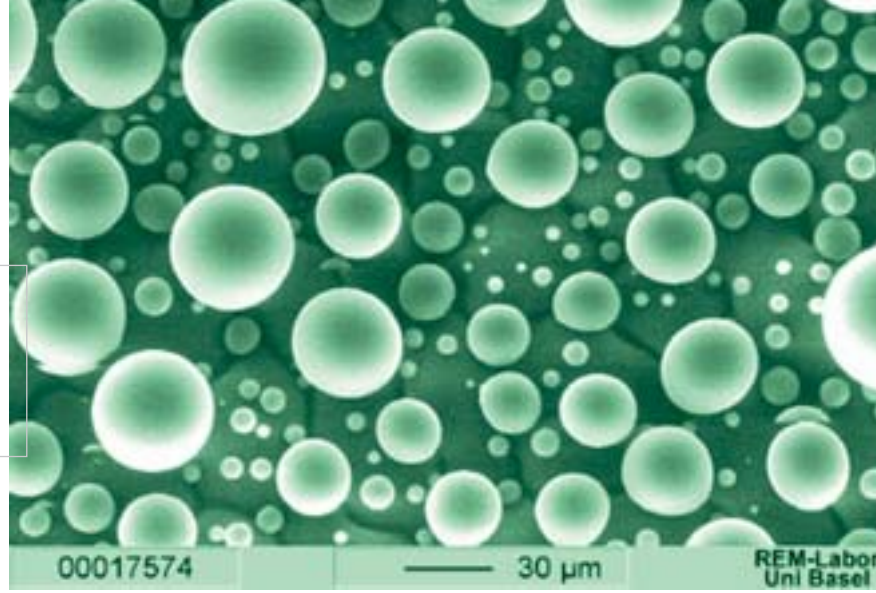
Maar om elke twijfel uit de weg te ruimen en duidelijk te maken dat atomen echt heel gewone, in verbindingen soms zelfs heel smakelijke structuren zijn, kiezen we als vertrekpunt voor onze reis door de nanokosmos een stuk kaas.

Mimolette is een kaassoort die in Vlaanderen is uitgevonden. Het aanzicht van het met talloze gaatjes bespikkelde oppervlak doet al vermoeden dat deze kaas «bewoond» is. Met toestemming van de eigenaar overigens, want de activiteiten van de mijten komen het aroma van Mimolette ten goede. De mijten zijn één tiende millimeter groot. Met de ESEM, een speciale rasterelektronenmicroscop, kunnen zelfs levende mijten worden geobserveerd. Net als alle andere levensvormen zijn ook mijten uit cellen opgebouwd. De afmetingen van zo'n cel liggen in het micrometerbereik. Het mechanisme ervan is uitermate gecompliceerd. Een belangrijke rol spelen de ribosomen, die naar de specificaties van het erfelijke materiaal, het DNA, allerlei eiwitmoleculen vervaardigen. De grootte van de ribosomen ligt in de orde van 20 nanometer. Inmiddels zijn onderdelen van de ribosoomstructuur tot op afzonderlijke atomen bepaald. Deze vorm van nanobiotechnologie heeft al haar eerste vruchten afgeworpen, namelijk nieuwe medicijnen die bacteriële ribosomen blokkeren.



De lotusbloem reinigt haar bladeren met het naar deze plant genoemde lotuseffect.

Waterdruppels op een blad van de Oost-Indische kers, afgebeeld met een speciale elektronenmicroscop (ESEM) van de Universiteit van Basel.

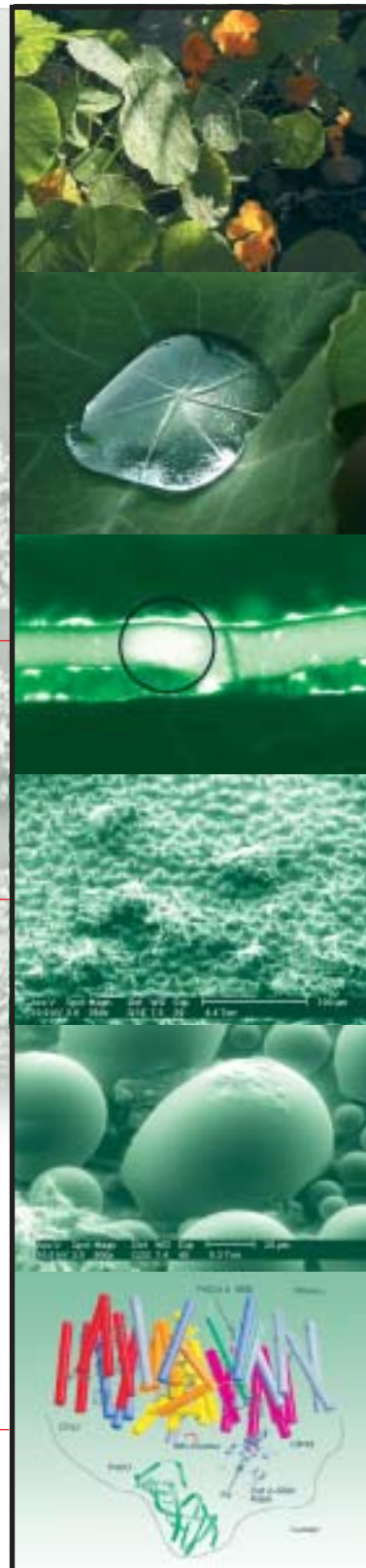


Lotuseffect & Co.

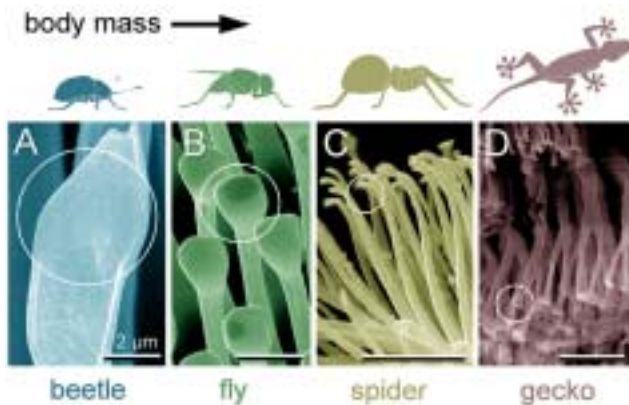
De Oost-Indische kers houdt zijn bladeren dankzij het lotuseffect schoon. De ESEM-rasterelektronenmicroscop toont hoe waterdruppels afstand houden tot het bladoppervlak. Dit komt door de noppenstructuur van de bladeren. Die laat het water met hoge snelheid van het blad afglijden, waardoor het vuil wordt meegesleurd. Het door prof. Barthlott en zijn medewerkers aan de Universiteit van Bonn bijzonder uitvoerig onderzochte lotuseffect wordt al in een hele reeks producten gebruikt, zoals gevelverf waarbij de waterdruppels het vuil oplossen. Keramisch sanitair met een lotusstructuur is gemakkelijk schoon te houden.

In de bladeren van planten zit nog meer nanotechnologie verstopt. De waterhuishouding van het blad wordt vaak door forisomen geregeld. Dat zijn microscopisch kleine spieren die in het capillairsysteem van planten bepaalde doorgangen openen of - wanneer de plant gewond is - sluiten. Maar liefst drie Fraunhofer-instituten en de Universiteit van Gießen proberen nu deze plantenspieren in de techniek te gebruiken, zoals voor microscopisch kleine lineaire motortjes voor bijvoorbeeld het laboratorium-op-een-chip.

Een ander voorbeeld van een uiterst geraffineerde techniek op atomaire schaal: het fotosynthese-complex, dat voor de energie zorgt voor het leven op aarde. Hier komt het op elk afzonderlijk atoom aan. Wie daar met nanotechnologie een kopie van kan maken, heeft genoeg energie voor de eeuwigheid.



1 m
1 cm
50 µm
10 µm
1 µm
10 nm



Met nano op het plafond: de gekko

Gekko's kunnen elke muur beklimmen, ondersteboven over het plafond rennen en daar met één voet aan blijven hangen, dankzij nanotechnologie natuurlijk. De voet van de gekko is van uiterst fijne haren voorzien, die zich zo dicht tegen de ondergrond aanvlijen dat zij deze tot op enkele nanometers kunnen naderen. Op dergelijke afstanden begint de vanderwaalskracht een rol te spelen. Die is weliswaar zeer zwak maar levert dankzij de miljoenen aangrijpingspunten toch voldoende hechtvermogen. Een dergelijke hechting laat zich weer gemakkelijk lossen door «afwikkelen», zoals bij een rolletje plakband. Zo kan de gekko over het plafond lopen. Materiaalwetenschappers verheugen zich nu al op een synthetisch «gekkoline».

Wanneer de lokstofconcentratie op haar hoogtepunt is, blijven de leukocyten vastzitten en trekken andere kleefmoleculen de bloedlichaampjes door de wand van het bloedvat heen naar de plaats van de beet om daar de indringers te lijf gaan: kleeftechiek tot in de perfectie. Onder het motto «bonding on command» (klevan op commando) wordt onderzoek gedaan naar nanotechnologische imitaties hiervan.

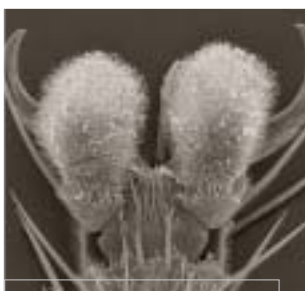


Kevers, vliegen, spinnen en gekko's hebben in het Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart de geheimen van hun hechtvermogen prijsgegeven. Zij hechten zich aan de ondergrond door middel van haartjes die daarmee een vanderwaalsbinding aangaan. Hoe zwaarder het dier, des te fijner en talrijker de haartjes.

Lijm voor het leven

Er zou geen leven mogelijk zijn als de bouwstenen ervan niet met verfijnde nanotechnologische hechtmechanismen aaneengeschaakeld zouden worden. Dit klefeffect speelt ook een rol bij de wondgenezing, zoals bij muggenbeten: de plaats van de beet wordt rood omdat de haarvaten wijder worden, zodat leukocyten, witte bloedlichaampjes, in grote hoeveelheden kunnen worden aangevoerd. De cellen rond de beet scheiden een lokstof af. Afhankelijk van de concentratie

daarvan sturen de wand van het bloedvat en de leukocyten op elkaar afgestemde kleefmoleculen naar elkaar toe, waardoor de leukocyten steeds meer worden afgeremd.



Vliegenpoten in close-up

Mosselen als verlijmingskunstenaars

De gewone mossel – die in restaurants wordt gegeten – is een nanotechnologische goochelaar als het op lijmen aankomt. Als zij zich wil vasthechten, opent zij de kleppen van haar schelp en schuift zij haar voet op een rots, waarna zij deze welft tot een zuignap. Door dunne buisjes stromen vervolgens kleverige bolletjes, micellen, in de ruimte onder de zuignap. Deze bolletjes knappen door de onderdruk, waardoor een krachtige watervaste kleefstof vrijkomt die tot een kussentje opzwelt. Aan deze trillingsdemper gaat de mossel voor anker met behulp van elastische byssusdraden, zodat zij zonder gevolgen door de branding heen en weer kan worden geschud.



Mossel met byssusdraden en voet



Het Fraunhofer-Institut IFAM in Bremen doet onderzoek naar gemodificeerde mosselkleefstoffen waarmee zelfs gebroken serviesgoed weer vaatwasserbestendig kan worden verlijmd. Ook het expertisenetwerk «Nieuwe werkzame stoffen en biomaterialen» in Rostock en Greifswald neemt de mossel onder de loep.

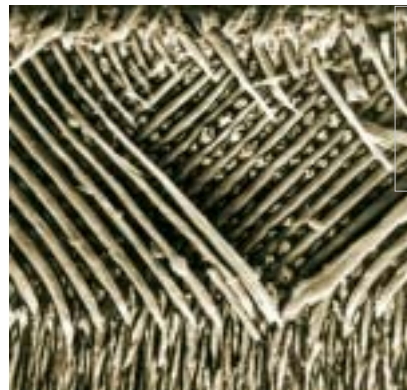
Biominalisatie

Maar mosselen kunnen nog meer. Hun paarlemoer bestaat uit ontelbare minuscule kalkkristallen van aragoniet, een mineraal dat op zichzelf zeer bros is. In de mossel zijn zij echter door schroefvormige, uiterst elastische eiwitten met elkaar verlijmd. Drie gewichtsprocent eiwit is voldoende om de breuksterkte van het huis van een zeeoor drieduizend keer zo groot te maken als dat van zuiver calciëtkristal. Zee-egels versterken op deze manier hun soms wel dertig centimeter lange stekels, waardoor zij de branding kunnen weerstaan.

ontstaan. Deze vormen weer de basis voor het vlechtwerk dat zo goed bestand is tegen drukveranderingen.

Door biominalisatie kunnen ook filigraanstructuren ontstaan. In een klein gebied in de buurt van de Filippijnen leeft op de zeebodem een spons met de naam «venuskorfje». Deze spons is gebogen als de schede van een Turks kromzwaard, maar dan met een ronde dwarsdoorsnede. Zijn naam heeft deze spons te danken aan de vorm van het inwendige skelet van de huls. Het is een weefsel van fijne kiezelnaalden, geperforeerd zoals het rieten vlechtwerk van de achterkant van een houten stoel.

Dit weefsel is zowel rechthoekig als diagonaal gevlochten. Het venuskorfje geldt als meesterwerk van de biominalisatie: Eerst voegen kleine elementaire bouwstenen van kiezelarde (siliciumdioxide) de cellen van de spons samen tot ragfijne lagen. Vervolgens worden deze zo opgerold dat er kiezelnaalden



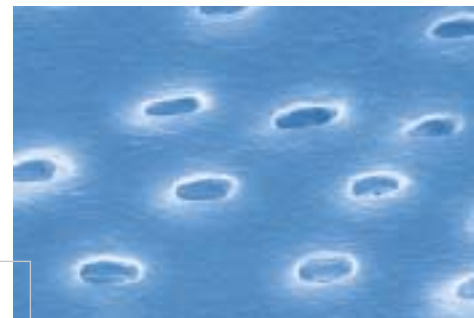
Venuskorfje – deze diepzeespons wordt beschouwd als biologisch voorbeeld voor geleiders van lichtgolven.



Het driedimensionale biominaalweefsel in het tandglazuur van de kies van een woelmuis beschermt het kauwvlak tegen breuk.

Technische biominalisatie: Nanodeeltjes herstellen tanden.

Wanneer tanden erg gevoelig voor koude worden of onder inwerking van zuur pijn doen, is dit meestal te wijten aan kleine kanalen in het tandglazuur, open dentinekanaaltjes. Deze kunnen met nanodeeltjes van kaliumfosfaat (apatiet) en eiwit van de firma SusTech tien keer zo snel worden hersteld als met de gebruikelijke apatietpreparaten. De nieuw geminaliseerde materiaallaag gedraagt zich in de mond net zoals het lichaamseigen tandmateriaal.



Nanotechnologie in de natuur

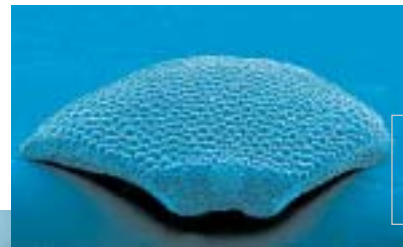
Vroeger had de biomineralisatie bij diatomeeën, kiezelwieren, een strategische betekenis. Deze microscopisch kleine organismen beschermen zich met schalen van kiezelzuur, waarvan SiO_2 , siliciumdioxide, het voornaamste bestanddeel is. Net als kwartsglas, dat ook uit siliciumdioxide bestaat, zijn de kiezelzuurschalen tamelijk goed bestand tegen bijtende zuren en logen, zodat zij door nanotechnologen geschikt worden geacht als reactievat voor kristalletjes op nanometerschaal. Want om met een chemische reactie deeltjes op nanoschaal te krijgen, moet het reactievolume beperkt worden gehouden. Zodra de reactiestoffen in het reactievat op zijn, stopt namelijk de groei van de door de reactie ontstane kristallen. In de schalen van diatomeeën bevinden zich talloze microscopisch kleine poriën die als nanoreactoren dienst kunnen doen.

Hoe ontstaan nu eigenlijk die zo kunstige kiezelwierschalen? Langzaam beginnen er antwoorden te komen op deze vraag. Onderzoekers van de Universiteit van Regensburg hebben ontdekt dat varianten van een bekende eiwitgroep, polyamine, in een kiezelzuuroplossing met de juiste concentratie nanobolletjes met een diameter van 50 tot 900 nanometer kunnen produceren. Dit gebeurt geheel spontaan, onder invloed van de zelfordenende krachten. Op grond van eenvoudige groeimodellen kan worden verondersteld dat kiezelzuurschalen op soortgelijke wijze spontaan ontstaan.

Waarom waren kiezelwierschalen vroeger eigenlijk van strategische betekenis? In 1867 ontdekte Alfred Nobel dat kiezelgoer, kiezelaarde uit fossiele afzettingen van diatomeeën, nitroglycerine opzuigt, waardoor de neiging van deze springstof om spontaan tot explosie te komen sterk vermindert. Hij noemde het mengsel dynamiet. Met het vele geld dat hij daarmee verdiende, werd later de grondslag gelegd voor de stichting die vandaag de dag de Nobelprijzen financiert.



De zeester *Ophiocoma wendtii* is met haar perfecte microlenzensysteem goed uitgerust voor optische waarneming. Boven: aanblik bij dag, onder: bij nacht.



Pantser en microlens tegelijk

Nanotechnologie in de natuur: *Ophiocoma wendtii*, een haarster ter grootte van een handpalm heeft lange tijd haar geheimen niet willen prijsgeven. Het dier, met schijfvormig lichaam en vijf armen, verstopt zich bij nadering van mogelijke vijanden ofschoon het geen ogen lijkt te hebben. Uiteindelijk werden die toch gevonden in de kalkschaal van het dier. Die is namelijk bedekt met talloze perfecte microlenzen die het hele lichaam van de haarster eigenlijk tot één groot oogcomplex maken. Welke rol speelt de nanotechnologie nu hierin? De kristallisatie van de afzonderlijke lenzen vindt zo plaats dat een van de eigenschappen van kalkspaat – het veroorzaken van dubbele beelden – niet tot uitdrukking kan komen door sturing van het kristallisatieproces op nanotechnologische schaal. Bovendien zijn de lenzen door subtiele magnesiumtoevoegingen ook nog eens gecorrigeerd voor sferische aberratie, zodat ongewenste kleurranden worden voorkomen. *Ophiocoma* heeft dus dezelfde nanotechnologische finesses in de vingers die Carl Zeiss ooit zo beroemd hebben gemaakt.

Kiezelwierschalen – boven het analogon van de spons van Menger“ (zie ook blz. 21) – hebben dankzij hun optimale vorm de grootste sterke bij het kleinste gewicht. Waarschijnlijk fungeren zij ook als lichtgeleiders voor hun fotosynthese-apparaat, de chloroplasten.



Het Institut für Neue Materialien (INM) in Saarbrücken heeft een nanodeeltesprocédé ontwikkeld om metalen delen te voorzien van slijtvaste hologrammen om vervalsing tegen te gaan.



Ook dit kan de natuur niet: met nanoroet gedoteerd keramiek voor corrosievaste ontstekers, bijvoorbeeld voor gasketels. Dankzij het regelbare geleidingsvermogen kan een transformator worden uitgespaard.

Grenzen van de natuur, voordelen van de techniek

Nanotechnologie is dus puur natuur. Toch zijn de mogelijkheden van de levende natuur begrensd. Zo werkt zij niet met hoge temperaturen, zoals bijvoorbeeld keramisten dat kunnen, en al evenmin met metalen geleiders. De moderne technologie kan daarentegen gebruik maken van allerlei kunstmatige omstandigheden – extreme materiaalzuiverheid, koude, vacuüm – waarbij de materie verrassende kenmerken vertoont. We noemen met name kwantumeffecten, die deels sterk in tegenspraak met de wetten van de alledaagse werkelijkheid lijken te zijn. Zo gedragen deeltjes zich in de nanokosmos tevens als elektromagnetische golven. En een atoom, dat eigenlijk één geheel is, kan

als een golf twee spleten tegelijk passeren om zich daarna weer als een eenheid te gedragen.

Deeltjes vertonen geheel nieuwe eigenschappen als hun grootte in de buurt van de nanometer komt: Metalen gaan zich bijvoorbeeld als halfgeleiders of als isolatoren gedragen. Onopvallende stoffen zoals cadmiumtelluride (CdTe) lichten in de nanokosmos op in alle kleuren van de regenboog en andere stoffen zetten licht om in stroom.

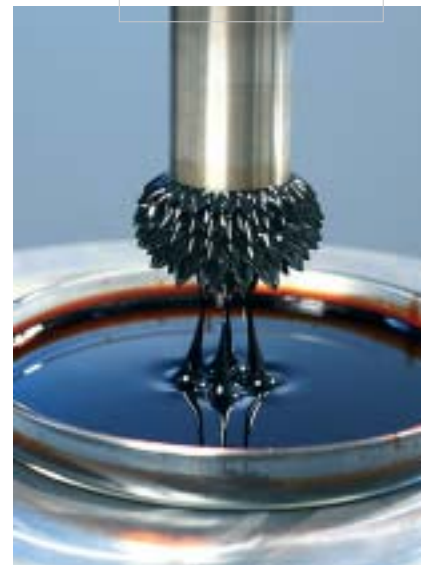
Wanneer deeltjes nanoscopisch klein worden, neemt het aandeel atomen aan de oppervlakte sterk toe. Oppervlakteatomen hebben vaak andere eigenschappen dan

atomen midden in de deeltjes, zij gaan gemakkelijker chemische reacties aan. Goud wordt op nanoschaal een goede katalysator voor gebruik in brandstofcellen (zie ook Mobiliteit). Nanodeeltjes kunnen ook gemakkelijk worden voorzien van laagjes van andere stoffen, waardoor in een zo samengesteld materiaal meerdere eigenschappen kunnen worden gecombineerd. Voorbeeld: nanodeeltjes van keramiek met een organische omhulling die de oppervlaktespanning van water verlagen, worden gebruikt voor de bekleding van badkamerspiegels die niet kunnen beslaan.

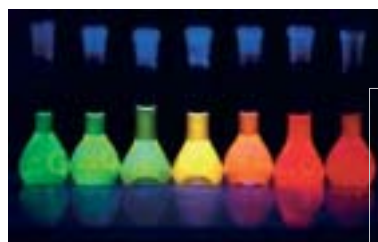
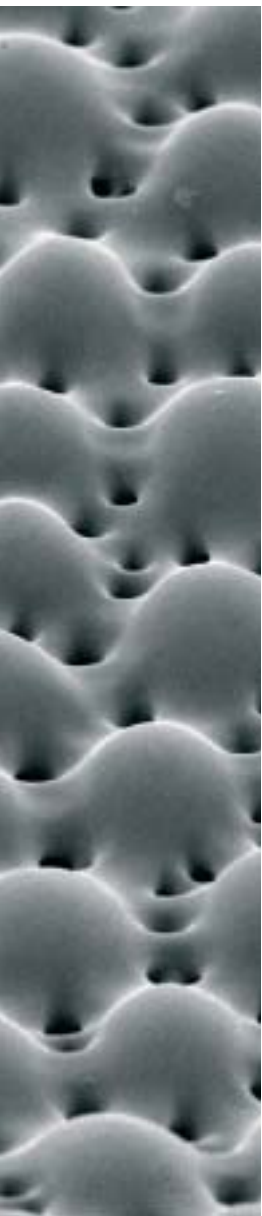
Speciaal gecoate nanodeeltjes van magnetiet, een ijzeroxide, vormen met olie een magnetisch vervormbare vloeistof, een ferrofluïde. Ferrofluïdes worden voor steeds meer toepassingen gebruikt, waaronder als dichtingsmiddel voor draaidoorvoeren voor vacuümvat en harddiskbehuizingen, of in regelbare schokdempers voor machines of auto's.

Niemand hoeft zich door de complexiteit van nanotechnologie te laten afschrikken. Ook een appel is ingewikkeld – cellen, ribosomen, DNA – en toch is deze vrucht er niet minder geliefd om. Appels zijn immers, net als goede nanotechnologie, eenvoudig te hanteren.

Nanodeeltjes van magnetiet in olie. De vloeistof laat zich magnetisch vervormen.



«Magnetotacticum bavaricum». Magneetbacteriën kunnen ketens van nanomagneetjes vormen en als kompasnaald gebruiken.



Cadmiumtelluridedeeltjes fluoresceren. De kleuren zijn uitsluitend afhankelijk van de deeltjesgrootte.

Instrumenten en procédés

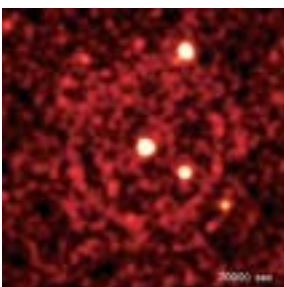
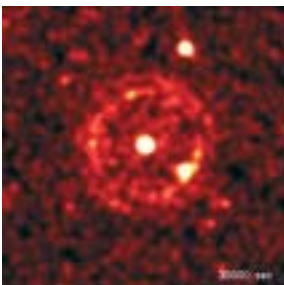
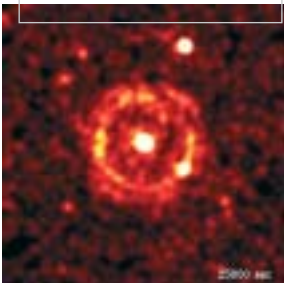
Ogen gericht op de nanokosmos



Nanotechnologie in het heelal: De spiegels van de Europese röntgentelescoop «Newton» zijn in het midden tot op 0,4 nanometer nauwkeurig glad gepolijst en kijken hier naar röntgenstralers in de Andromeda-niveau.



Een wetenschappelijke sensatie: Een flits gammastralen brandt ringen in een galactische stofwolk.



Wat heeft de Europese röntgentelescoop «Newton» met nanotechnologie te maken? Hij vangt röntgenstraling van verre objecten op met behulp van 58, als de schillen van een ui in elkaar geschoven schotelspiegels ter grootte van een papiermand. De spiegels zijn voorzien van een opgedampte goudlaag met een gemiddelde oppervlakteruwheid van slechts 0,4 nanometer – een meesterstukje waaraan Carl Zeiss AG een belangrijke bijdrage heeft geleverd.

Precisieröntgenspiegels voor röntgenspectroscopie en -microscopie bestaan uit enkele honderden lagen die uit verschillende zware elementen zijn opgebouwd. Maar er worden nog zwaardere eisen gesteld aan dergelijke spiegels, want de lagen mogen in het midden slechts enkele fracties van de atoomdiameter van de ideale waarde afwijken. Het Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik in Dresden heeft de techniek hiervoor in huis.

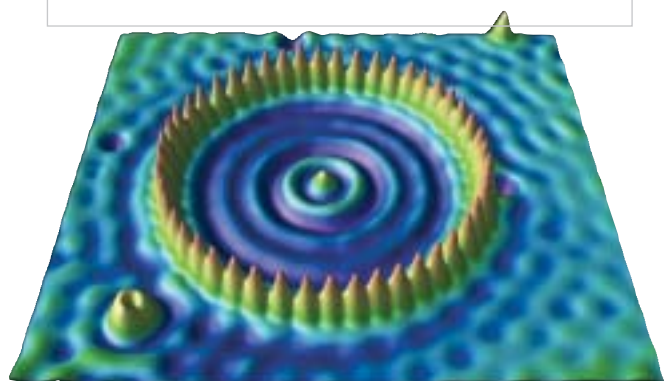
Deze truc met gelaagde reflectoren is voor zichtbaar licht ook door de natuur uitgevonden. De 's nachts levende inktvis *Euprymna scolopes* weerkaatst met spiegelglas van reflectine-eiwitten het licht van lichtgevende bacteriën naar beneden en tovert de

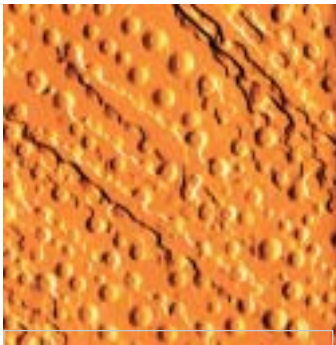
onder hem zwevende vijanden een stuk sterrenhemel voor. Dit voorbeeld van biologische nanotechnologie is onlangs ontdekt door de Universiteit van Hawaï.

Scanning probes

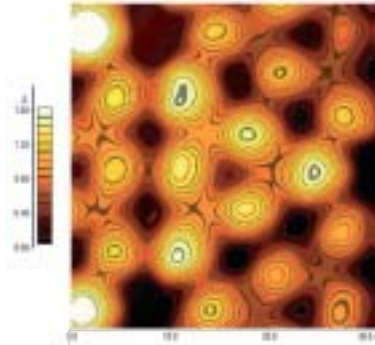
Scanning probes als ogen voor de nanokosmos lijken niet erg spectaculair maar zijn dit wel, want de ontwikkeling van de oervader van alle scanning probe-instrumenten, de rastertunnel-microscopie, heeft een Nobelprijs opgeleverd. In scanning probe-instrumenten voeren piezokristallen keer op keer een peilsonde lichtjes verschoven over het bestudeerde object, bijvoorbeeld een veld van atomen. De bewegingen zijn zo fijn dat de afstand

«Quantum Corral», door Don Eigler, IBM. De golven in het midden weerspiegelen de waarschijnlijkheid om een elektron aan te treffen.

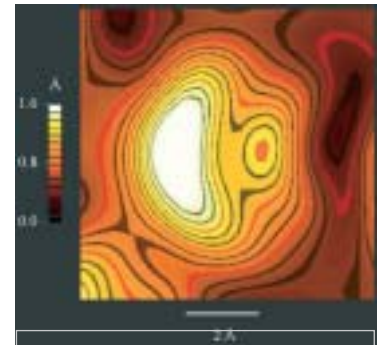




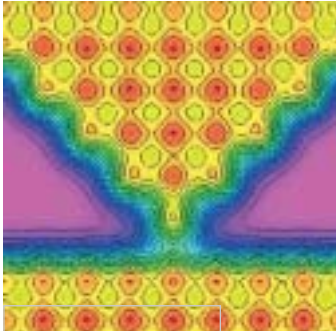
Kaliumbromidekristal met atoomterrassen. Het zout op een ontbijtei ziet er bijna net zo uit.



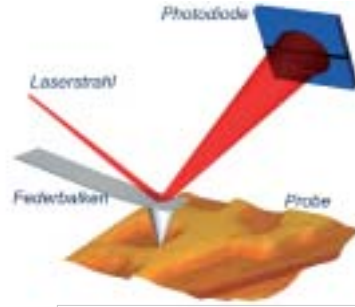
Silicium van heel dichtbij, contouren van de elektronendichtheid onder de ATM-microscop.



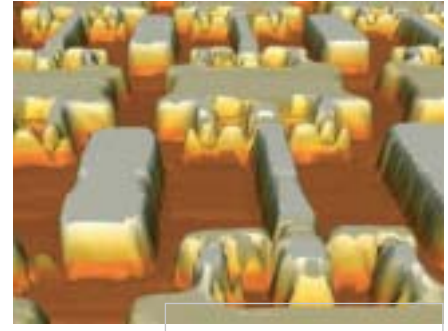
Het voorste atoom van een scanning probe maakt twee elektronenwolken - orbitalen - zichtbaar, precies zoals dat in de leerboeken staat.



Klassieke probe van een rastertunnelmicroscop (schematisch).



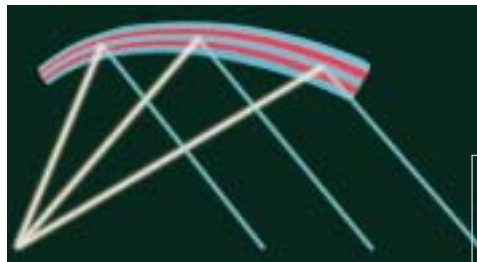
Atomic Force Microscope: De positie van de peilsonde wordt door een laserstraal aan een fotocel doorgegeven.



Met «capacitieve» probes kunnen de schakelprocessen op een chip zichtbaar worden gemaakt.

tussen de tip en het atoomveld meestal kleiner is dan de diameter van de atomen. Daarbij doen zich verschillende verschijnselen voor. Soms gaat er stroom lopen, soms ook worden er nietige magneetveldjes gedetecteerd. Met computers worden de meetwaarden grafisch in het platte vlak uitgezet waardoor een beeld ontstaat, dat, afhankelijk van het meetprincipe, nauwkeurig is tot op de diameter van een atoom of minder. Een uitermate slim apparaat is de Atomic Force Microscope (AFM). Deze detecteert de minieme krachten die de atomen in het atoomveld of het voorste atoom van de scanning probe uitoefenen. Met deze methode kan zelfs tot in de elektronenschillen van de atomen worden gekeken,

waardoor de geheimen tot op het laagste niveau kunnen worden ontsluit. Het wereldrecord oplossend vermogen is op dit moment in handen van de Universiteit van Augsburg.

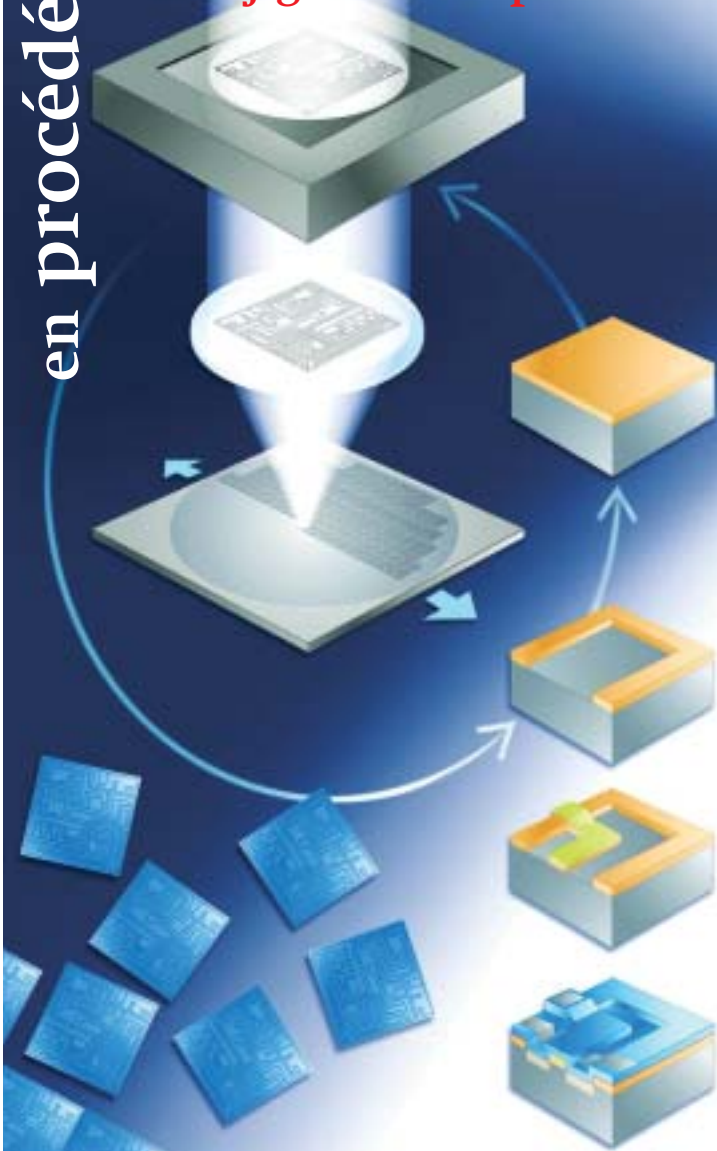


Gebogen meerlaagsspiegels voor geavanceerde röntgenanalyse.

«Euprymna scolopes» misleidt zijn vijanden met meerlaagsspiegels van reflecterende eiwitten. Het licht is afkomstig van lichtgevende bacteriën.



Schrijfgereedschap



Lithografieproces:

Een chip is een driedimensionale structuur waarbij de schakelementen in verschillende lagen zijn geordend. Voor de moderne chip zijn 25 tot 30 van dergelijke lagen nodig, waarvoor steeds weer een ander lithografiemasker nodig is. Het maskerpatroon wordt met behulp van licht en het lenzensysteem van de waferstepper, een soort diaprojector, op de wafer afgebeeld. Met elk nieuw masker van de maskerset worden nieuwe functies op de chip aangebracht waardoor de complexiteit toeneemt.

Lithografie

In de computerwereld wordt de term lithografie gebruikt voor de techniek waarbij met behulp van licht structuren worden aangebracht op elektronische chips. Daarbij wordt een uiterst fijn gepolijste schijf halfgeleidermateriaal, de siliciumwafer, met een lichtgevoelige deklaag bedekt waarop met behulp van een masker een patroon wordt afgebeeld. Bij het ontwikkelen van de fotogevoelige laag komen de belichte (of onbelichte) delen van de wafer bloot te liggen. Daarna worden deze gebieden met allerlei behandelingstechnieken, zoals etsen, doteren met vreemde atomen en depositie, bewerkt om deze de gewenste elektrische eigenschappen te geven. Door dit proces te herhalen met steeds weer nieuwe maskers kunnen de meest complexe structuren worden gemaakt die de mens ooit heeft voortgebracht: hooggeïntegreerde schakelingen of chips. Inmiddels is de dichtheid van de transistors zo hoog dat onder de punt van een potlood meer dan een half miljoen transistors passen.

Moderne chips hebben structuren die kleiner zijn dan de golflengte van het licht dat bij de lithografie wordt gebruikt. Daarom worden kryptonfluoridelasers gebruikt met een golflengte van 193 nanometer om een minimum afmeting van 130 en binnenkort 90 nanometer te realiseren, wat met een reeks optische trucs zoals «Optical Proximity Correction» en «Phase Shifting» mogelijk is. Op dit moment wordt de grondslag gelegd voor lithografie met extreem ultraviolet licht, EUV-lithografie, waarbij licht met een golflengte van 13 nanometer wordt gebruikt om structuren met een «feature size» van 35 nanometer in silicium te produceren. De aan het maskermateriaal gestelde eisen zijn dermate extreem, dat een tien centimeter lange plaat bij een temperatuurstijging van één graad Celsius niet meer dan enkele tientallen nanometers, d.w.z. enkele malen de diameter van een atoom, mag uitzetten. Ook de vereiste gladheid van enkele malen de diameter van een atoom benadert de grenzen van het theoretisch haalbare.

De ontstaansgeschiedenis van de elektronicapool Dresden is een succesverhaal van de Duitse onderzoeksbevordering. Er zijn in deze regio ongeveer 16.000 arbeidsplaatsen geschapen met een hoog innovatiepotentieel voor de Duitse economie als geheel. In door het BMBF gestimuleerde projecten hebben 44 industriële partners en onderzoekinstellingen van de overheid de basis gelegd voor de toepassing van 300 mm-wafers, siliciumschijven, bij de vervaardiging van complexe geïntegreerde schakelingen. Het centrum voor maskertechnologie in Dresden, waar de bewerkingstechnieken voor toekomstige nanochips worden ontwikkeld, heeft daarin een hoofdrol gespeeld.



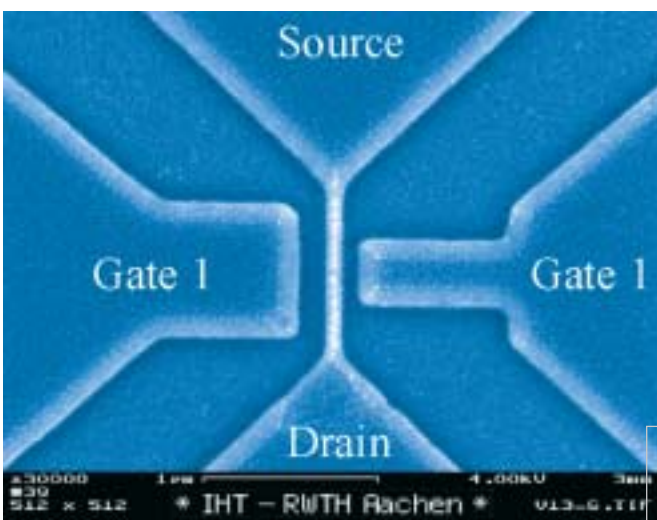
Prototype van een EUV-waferstepper-installatie voor de productie van toekomstige chipgeneraties

Nanostempels voor de middenstand

Wie de term nano-elektronica hoort, denkt meestal aan miljardenverslindende inrichtingen waarmee dankzij grote productievolumes toch nog betaalbare producten worden geleverd. Desondanks zijn er ook voor de middenstand nog mogelijkheden voor een reisje door de nanokosmos. Deze doen op het eerste gezicht nogal ouderwets aan: zo worden nanostructuren bij het UV-Nano Imprint-proces geheel mechanisch in een laklaag gedrukt die het elektronische dragermateriaal, silicium bijvoorbeeld, afdekt. De stempel, waarin filigraan nanostructuren zijn aangebracht, is gemaakt van kwartsglas, dat UV-licht doorlaat. Zodra de stempel in de lichtgevoelige lak is doorgedrongen, wordt deze met een UV-lichtpuls gepolymeriseerd, waardoor hij uithardt. Daarna wordt de stempel verwijderd en het lakreliëf eronder opgelost. Het blootgelegde silicium kan daarna naar wens worden gemanipuleerd. Door dit proces te herhalen met steeds weer andere stempels ontstaat

uiteindelijk de complexe structuur van een chip met transistors, geleiders, enz. In het laboratorium zijn zo structuren met een minimum afmeting van 10 nanometer bereikt. Deze methode is niet alleen voor elektronische bouwstenen geschikt. Er kunnen ook uiterst fijne structuren mee in metaal of plastic worden gemaakt. Zij zou ook tot het laboratorium-op-een-chip kunnen leiden. De kosten van een UV-Nano-Imprint-machine worden op dit moment op minder dan een miljoen euro geschat, een fractie van wat de apparatuur voor een moderne conventionele chipfabriek kost. Toch kunnen met de UV-Nano-Imprint-techniek geen goedkopere producten worden gemaakt, omdat de productievolumes veel kleiner zijn. Voor speciale mini-oplages – vergeleken met de massaproductie van de processorfabrikanten – zou UV-Nano-Imprint desondanks de meest gebruikelijke methode kunnen worden.

Zerodur voor lithografiemaskers, dit speciale keramische product is zelfs op nanoschaal vormstabiel.



Al stempelend de nanokosmos in: Aan het Institut für Halbleitertechnik (IHT) van de RWTH Aachen zijn met mechanische/optische methodes al chips met structuren van 80 nanometer mogelijk. Toepassing: kleine series van zeer complexe schakelingen.

Impulsen voor de wetenschap

Gangbare spectrometers voor röntgenstructuuranalyse. Aan dergelijke instrumenten heeft de wetenschap een groot deel van haar kennis over de nanokosmos te danken.

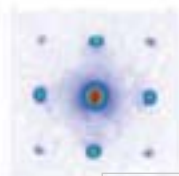
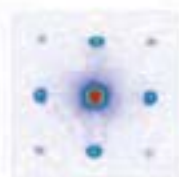
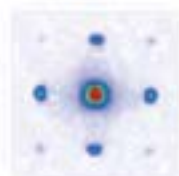
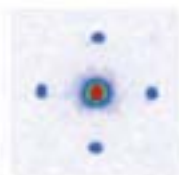
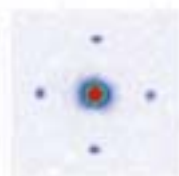
Onderaardse renbaan voor snelle elektronen.



Kwantumeffecten

An de Ludwig-Maximilians-Universiteit in München wordt materie inmiddels routinematig onder extreme nanotechnologische omstandigheden gebracht, waarbij deze bizarre eigenschappen begint te vertonen. Wanneer bijvoorbeeld een damp bestaande uit honderdduizenden rubidiumatomen tot één miljoenste graad boven het absolute nulpunt ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) wordt afgekoeld en door een magneetveld wordt samengedreven, ontstaat er een «Bose-Einstein-condensaat». Daarin verenigen de atomen zich tot een eenheid, zoals een troep marcherende soldaten.

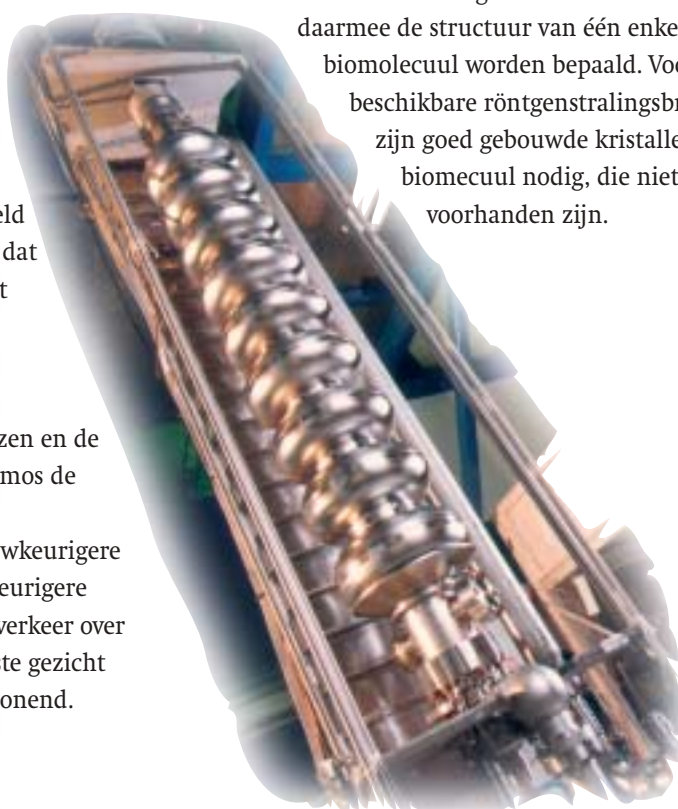
De kwantumoptici uit München zijn erin geslaagd een dergelijk condensaat in een driedimensionaal raster van staande lasergolven te brengen en te manipuleren, bijvoorbeeld door de lichtbundel zo sterk te maken dat het condensaat in een Mott-condensaat uiteenvalt. Zij hebben daarvoor een belangrijke prijs ontvangen. Waarom? Door dit soort onderzoek wordt de kwantumtheorie nieuw leven in geblazen en de kwantumtheorie maakt in de nanokosmos de dienst uit. Wie vertrouwd is met de kwantumtheorie kan bijvoorbeeld nauwkeurigere tijdreferenties ontwikkelen. En nauwkeurigere klokken kunnen weer helpen het dataverkeer over internet te versnellen – het op het eerste gezicht esoterische onderzoek blijkt dus toch lonend.



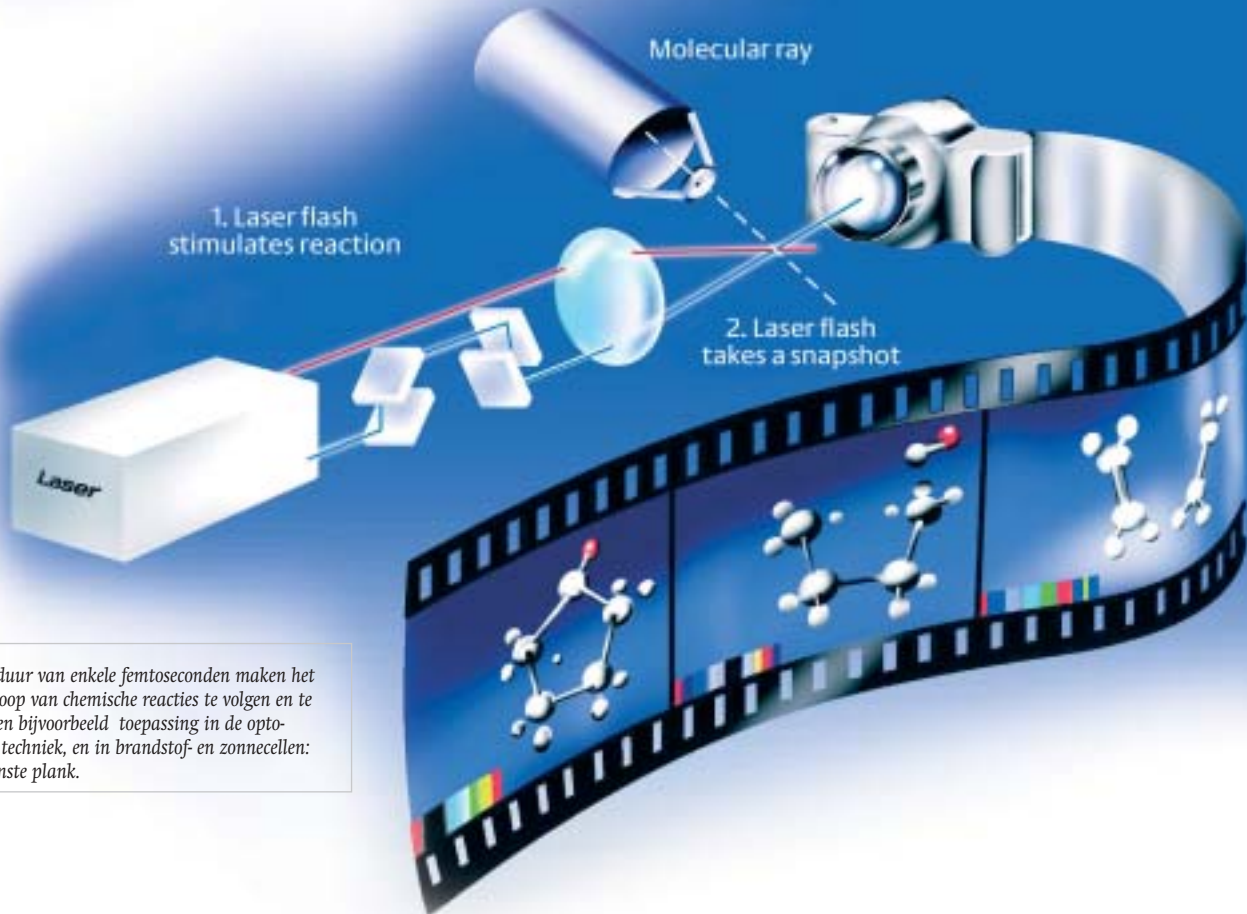
«Mott-condensaat» - exotische materie voor ultranauwkeurige tijdsbepaling

De XFEL-röntgenlaser – krachtig licht voor de nanotechnologie

Wanneer alles volgens plan verloopt zullen een paar miljard elektronen in het jaar 2012 iets heel spannends beleven. Vanaf het DESY-terrein in Hamburg-Bahrenfeld zullen ze door een supergeleidende elektronenversneller tot een zeer hoog energieniveau worden versneld en 3,3 kilometer verder door magneten systematisch zigzagsgewijs uit hun baan worden gebracht. Daarbij ontstaat een heel bijzonder soort kortgolvlige röntgenstraling: laserstralen. Nooit eerder hebben wetenschappers de beschikking gehad over zo'n waardevolle straling. Met een enkele impuls kan daarmee de structuur van één enkel (!) biomolecuul worden bepaald. Voor de nu beschikbare röntgenstralingsbronnen zijn goed gebouwde kristallen van een biomecuul nodig, die niet altijd voorhanden zijn.



Supergeleidende elementen voor een elektronenversneller



Röntgenlaserflitsen met een duur van enkele femtoseconden maken het mogelijk om het precieze verloop van chemische reacties te volgen en te begrijpen. Deze reacties vinden bijvoorbeeld toepassing in de optoelektronica, de fotovoltaïsche techniek, en in brandstof- en zonnecellen: nanotechnologie van de bovenste plank.

De röntgenflitsen zijn zo kort dat verschillende bewegingsstadia van een molecuul rechtstreeks gefilmd kunnen worden. Wat met andere technieken een wazige wervelwind lijkt, neemt onder de röntgenlaser herkenbare vormen aan.

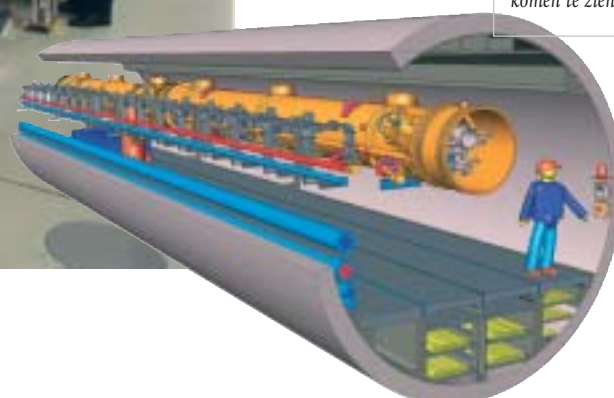
De geheimen van de wrijving kunnen worden ontrafeld. Wat nu precies tegen elkaar aanwrijft, wordt bepaald door nano-eilandjes van slechts enkele honderden atomen.

De eigenaardigheden van afzonderlijke clusters, hoopjes van enkele honderden atomen, zijn met de XFEL eveneens beter te onderzoeken dan met welk ander instrument ook. Kortom: wetenschap en techniek krijgen met dit kunststukje van Europa een krachtige impuls. De in totaal daarvoor uitgetrokken 684 miljoen euro (stand 2003) zullen naar het zich laat aanzien ruimschoots worden terugverdiend. En niet alleen in termen van pure kennis, maar ook in klinkende munt.



De vrije-elektronenlaser in opbouw.

Zo zal de onderaardse elektronenversneller eruit komen te zien.



Materiaalontwerp op nanoschaal

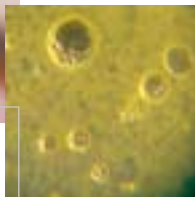
Sol/gel-technieken leggen de grondslag voor nieuwe materialen

Bearnaisesaus werd zo genoemd ter ere van de Franse koning Hendrik IV, die uit de streek Béarn kwam. Het recept van deze saus is op de webpagina <http://www.weltderphysik.de/themen/stoffe/magazin/materie/index.html> gezet, omdat het een fraai (en smakelijk) voorbeeld is van een colloïdaal systeem. Men spreekt van een colloïde wanneer een groot aantal druppeltjes van een stof stabiel in een andere stof zweeft. Bij bearnaisesaus

Er zijn honderden verschillende sol/gel-technieken voor allerlei stoffen. Gegeleerde solen laten zich ook tot draden vormen, die door bakken in keramiekvezels veranderen. Van solen kunnen nanopoeiers worden gemaakt die veel lichter zijn en bij lagere temperaturen tot keramische voorwerpen kunnen worden gebakken dan de gebruikelijk poeders, en die tegen zeer hoge druk en temperatuur bestand zijn.

Sol/gel-technieken zijn zelfs geschikt voor de vervaardiging van hoogwaardige optische componenten zoals lichtgeleiders, frequentieverdubbelers, microlensvelden, enz. Dit soort nanotechnologie brengt een ware revolutie in de materiaaltechniek te weeg.

Het oplosmiddel van het gel laat zich onder bepaalde voorwaarden ook zo verwijderen dat het gellichaam zijn externe volume behoudt. Er ontstaat dan een uiterst poreus materiaal met een geringe dichtheid, een aërogel.

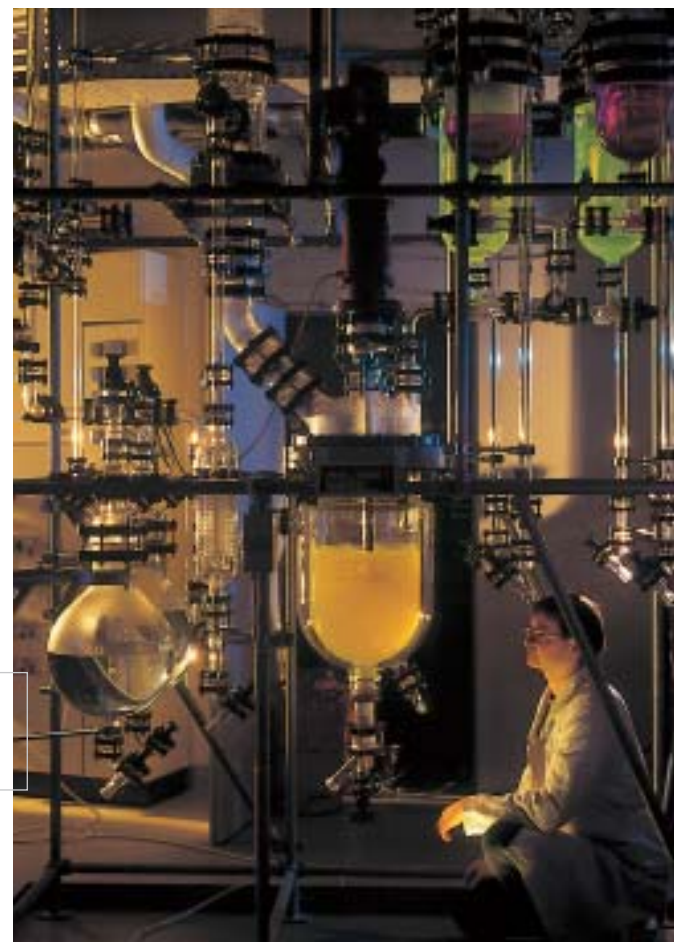


Een koninklijk sol/gel: bearnaisesaus ter ere van de Franse koning Hendrik IV.

zijn het azijndruppeltjes die in botervet zweven. Ook crèmes en verven zijn colloïden. Met sol/gel-technieken kunnen colloïden rechtstreeks worden ingezet in de geavanceerde technologie.

Bij sol/gel-technieken wordt uit oplosbare verbindingen van bijvoorbeeld silicium een (meestal colloïdaal) sol vervaardigd, waarbij de siliciumhoudende druppeltjes in een dragervloeistof zweven. Wanneer deze bijvoorbeeld op blik worden gespreid en worden verhit, verdampt de dragervloeistof en vormen de siliciumdruppeltjes een netwerk waardoor zij in een gel overgaan. Uiteindelijk verandert het gegeleerde netwerk in een harde keramische laag. Het blik is nu tegen corrosie en krassen beschermd.

Klaar voor de kleinste deeltjes: een reactievat voor sol/gel-deeltjes





Met aërogeel gevuld dubbel glas stopt warmteverliezen.



Aërogeel als wetenschappelijke stofzuiger. Ingevangen deeltjes worden veilig ingesloten in een gesmolten aërogeelmasse.

De komeet «Wild 2» kreeg bezoek van een aërogeel.



Aërogels

Aërogels zijn dagelijkse kost. Sinds jaar en dag kunnen ze al bij de bakker worden gekocht onder de naam «schuimpje», een zoetigheid van gebakken, opgeklopt eiwit. Wie het schuimpje in zijn handen neemt, merkt dat zijn vingers warm worden. Dat komt doordat de lucht in het schuimpje in miljoenen microscopisch fijne blaasjes is ingesloten. Deze kan daarom niet circuleren en dus geen warmte uitwisselen, zodat een schuimpje zich net als piepschuim als een warmte-isolator gedraagt. Andere aërogels van opgeschuimd glas met een soortgelijke structuur zijn eveneens uitstekende warmte-isolatoren.

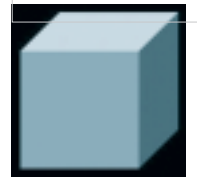
Eiwit is kleurloos, terwijl schuimpjes wit zijn. Dat ligt aan de verdeling van het eiwitschuim in microscopische blaasjes. Aan *micro*structuren valt het licht echter in alle kleuren uiteen en de optelsom daarvan is wit. Nanoporiën verstrooien het licht niet meer. Schuim uit glasachtig materiaal met nanoporiën is daarom net zo helder als gewoon vensterglas. Dubbel glas dat met zulk schuim is gevuld, is geschikt voor ramen en beschikt over uitstekende warmte-isolerende eigenschappen.

Omdat dit soort schuim bijna uitsluitend uit lucht bestaat, wordt het een aërogeel genoemd. De term «gel» is te danken aan het productieproces. Aan een waterige oplossing van een geschikt materiaal wordt een katalysator toegevoegd waardoor uiterst kleine, dunwandige belletjes ontstaan die zich in ketens aaneenrijgen en tenslotte tot ketenhopen samenklonteren: een gel. Het gel wordt door droging veranderd in een vederlicht aërogeel.

Het meest bereide aërogeel bevindt zich in het stofanalyse instrument CIDA van de firma Hoerner & Sulger GmbH, dat in januari 2004, na een reis van vijf jaar en een afstand van 3,22 miljard kilometer, stof van de komeet «Wild 2» heeft verzameld.

Een materiaal met vele blaasjes heeft een grote binnenoppervlakte. De grootst mogelijke oppervlakte, namelijk oneindig, heeft de «spons van Menger» en daarbij is zijn volume nul. De spons bestaat evenwel alleen in de hoofden van wiskundigen. Maar ook de werkelijke binnenoppervlakte van aërogels is groot genoeg om opmerkelijke effecten mogelijk te maken. Zo is de binnenoppervlakte van een stuk aërogeel ter grootte van een suikerklontje 2.000 vierkante meter. Deze en andere eigenschappen hebben bepaalde aërogels van koolstof een plaats verzekerd in de energietechniek van de toekomst. Zij maken het mogelijk condensatoren met een capaciteit tot 2500 Farad te bouwen, die als energieopslag voor het opvangen van de pieklast van bijvoorbeeld elektrische auto's kunnen dienen. Met het geniale schuim kunnen ook betere lithiumaccu's, nieuwe brandstofcellen e.d. worden ontwikkeld. Zelden heeft zo iets kleins, zo'n groot potentieel gehad. Maar dit is nu typisch nanotechnologie.

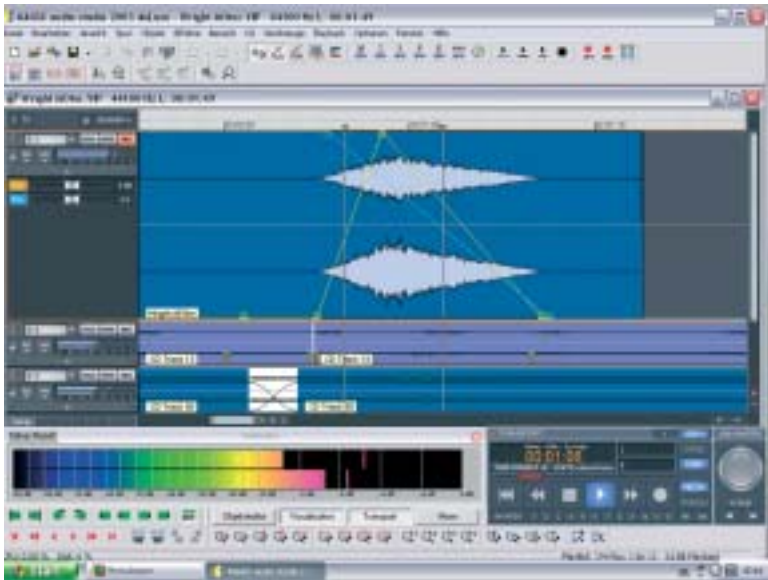
De spons van Menger wordt door wiskundigen als «universele kromme» gezien. Hij ontstaat wanneer de hieronder getoonde werkwijze tot in het oneindige wordt herhaald.



Nanotechnologie voor de samenleving

Nano-elektronica – een wereld van netwerken

Van een notebook in een studio naar een studio in een notebook – stand van de techniek



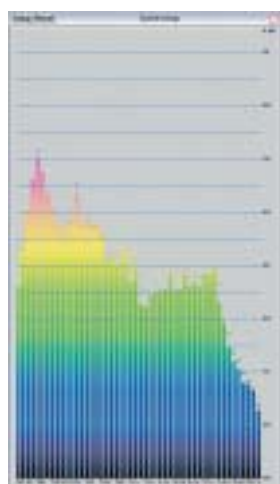
De opdracht : een sfeervol radioverslag van vier minuten over de eerste gemotoriseerde vlucht van de gebroeders Wright maken. Wat doet een radioverslaggever met een beetje hart voor de zaak? Hij neemt eerst eens een kijkje op de «plek des onheils». Op de virtuele aardbol vindt hij Kitty Hawk op een enkele kilometers brede landstrook aan de kust van de Noord-Atlantische Oceaan met de *Kill Devil Hill* aan de rand. De gebroeders Wright zullen dus het gerommel van de branding hebben gehoord. Dat vindt hij in het

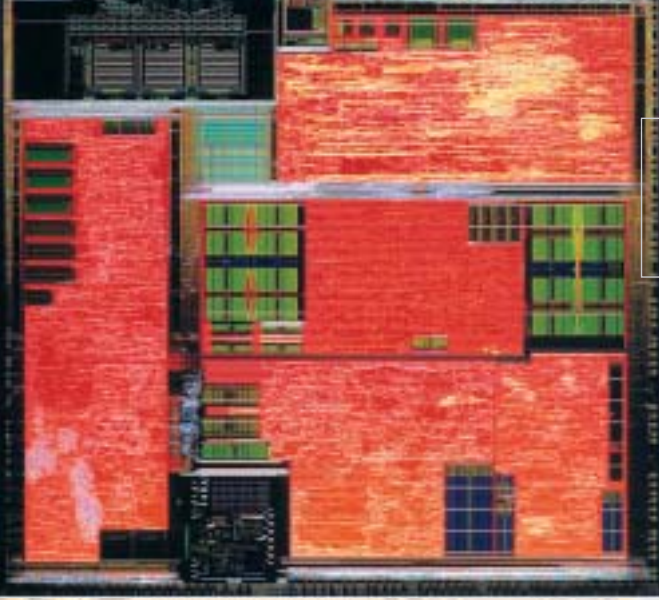
geluidsarchief, net als het geluid van de – volgens de Encyclopaedia Britannica – stijve bries tijdens de eerste vlucht, samen met het geritsel van het helmgras. De motor draaide met 1200 toeren per minuut en in het geluidsarchief vindt hij een Chrysler-oldtimer, met een mooi, diep brommend geluid. Dankzij de spectrum analyser van het geluidbewerkingsprogramma ziet hij dat de frequenties inderdaad aannemelijk zijn, daarom bevestigt hij zijn keuze. Twaalf seconden heeft de eerste vlucht geduurd, dus kiest hij een passage waarbij de toonhoogte op het einde omlaag gaat: het dopplereffect bij het voorbijvliegen. Alles wordt in

het geluidbewerkingsprogramma op verschillende sporen parallel opgenomen. Het vliegtuig vliegt van links naar rechts, daarvoor zorgt hij met de panoramaregeling. Het motorgeronk zwelt aan om daarna weer zwakker te worden, dat doet hij met de geluidsterkeregeling. En dan is het zover: Orville Wright vliegt opnieuw met de *Flyer One* over de *Kill Devil Hill*, net zoals op 17 december 1903, met branding en helmgrasgeritsel op de achtergrond – maar nu in een notebook. (Andere luchtvaartpioniers zoals de Duitser Gustav Weißkopf knetterden al in 1901 door de lucht, maar konden hun ontwikkelingen niet echt geschikt maken voor de praktijk.)

Twintig jaar geleden zou dit voor een radioverslaggever een onbetaalbare onderneming zijn geworden waarvoor tonnensware apparatuur nodig zou zijn geweest. Vandaag zijn een notebook, een bureautje en een paar uur tijd genoeg. De encyclopedie staat nu op een dvd, die 30 zware boekdelen vervangt en die voor snelle opzoeken oneindig veel comfortabeler is dan haar papieren tegenhanger. Het geluidbewerkingsprogramma staat in volledig immateriële vorm op de harde schijf en biedt in talloze virtuele racks eindeloze geluidseffecten. De ontwikkeling van de computer heeft een dematerialisatiegolf op gang gebracht die ook tot een vermindering van de energiestromen zal leiden. Door de dalende prijzen van hard- en software hebben tegelijk ook minder gefortuneerde creatievelingen productiemiddelen in handen gekregen waarvan zij vroeger alleen maar konden dromen.

In de toekomst zal de «polsbibliotheek» net zo gewoon worden als interactieve mobiele communicatie.





Een televisiestudio ter grootte van een vingernagel: een multimediachip met controller voor de aansturing van hoge-resolutie-schermen, met het energieverbruik van een zaklamp.

Go Nano! De jaren voor ons

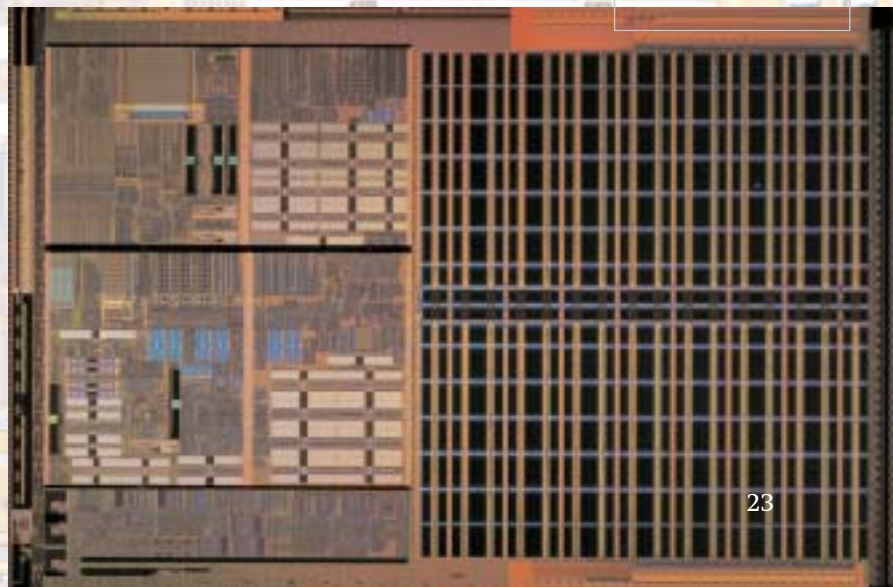
De transistortechniek die vandaag de dag in processors voor computers wordt gebruikt, heet CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Zij is onder meer ontwikkeld voor de eerste elektronische polshorloges, omdat zij veel minder stroom gebruikte dan oudere technieken. Sinds de jaren zeventig voorspellen de deskundigen dat elke techniek na tien tot vijftien jaar haar grenzen bereikt. Dat is ook nu weer het geval. Ditmaal heeft de elektronica-industrie een dwingende reden om een breuk te maken met de traditie van voortdurende verkleining van de structuurgroottes. Op weg naar de microkosmos begint de korreligheid van de materie – de atoomstructuur – een rol te spelen. De elektronenschillen van de atomen zijn de kleinste bouwstenen die zich onder normale omstandigheden tot duurzame technische structuren laten samenvoegen. Er is dus een principiële grens in zicht. Een geleider kan namelijk niet dunner zijn dan een atoom.

De CMOS-technologie stuit echter al veel eerder op grenzen, die soms merkwaardig overkomen. Zo zijn de geleiderbanen waarmee de transistors op een chip met elkaar verbonden zijn, nu al zo klein dat aluminiumatomen instabiel zouden zijn. Ze zouden net als kiezelstenen in een beekje door de elektronenstroom worden weggespoeld, wat in het jargon elektromigratie wordt genoemd. Een oplossing hiervoor is het gebruik van koper, dat bovendien nog beter geleidt, waardoor de signalen op de chip sneller worden doorgegeven. De geleiders liggen intussen zo dicht bij elkaar, dat daardoor duidelijk een capaciteitseffect optreedt, zoals bij condensators. Als daar bij het chipontwerp geen rekening zou worden gehouden, zou de chip «uit de maat» kunnen raken.

Sommige structuren van chiptransistors worden langzamerhand kleiner dan twintig nanometer. Daarmee komen zij op het terrein van de kwantumtheorie, het tunneleffect begint een rol te spelen. Er beginnen stromen te lopen waar bij grotere transistors eigenlijk geen stromen zouden horen te lopen – het elektronische sluisstelsel raakt lek. Weliswaar zijn deze stromen uiterst klein, maar bij miljoenen transistors zorgt de optelsom ervan voor aanmerkelijke verliezen: de processor wordt heet. Bovendien veroorzaken zwerfvende ladingen logische fouten die fataal kunnen zijn.

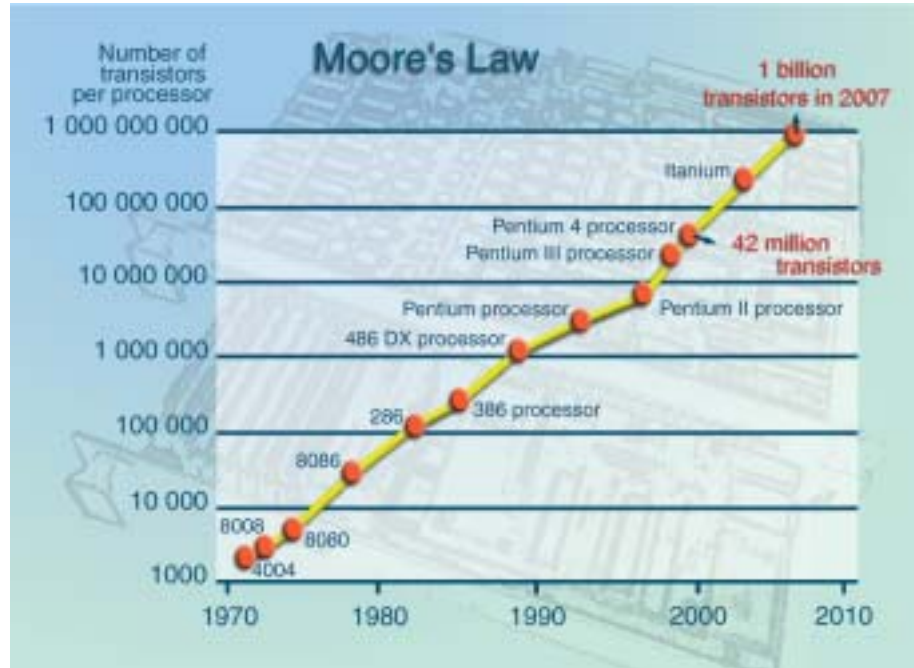
Bij zeer fijne structuren begint uiteindelijk – zoals de kwantumtheorie beschrijft – het golfkarakter van het elektron mee te spelen. Maar dit wordt door vele wetenschappers ook beschouwd als een nieuwe kans om tot een geheel ander soort elektronica te komen die kwantumcomputers mogelijk maakt. Zij leveren de sleutel tot een geheel nieuw wiskundig universum.

64bit-processor van AMD voor pc-toepassingen met 106 miljoen transistors in 130 nm-technologie.



De grenzen aan de wet van Moore

Al in 1965 ontdekte Gordon Moore, medeoprichter van de firma Intel, dat de capaciteit van microchips ongeveer om de 18 maanden verdubbelt. Deze «wet» wordt nu ook in verband met een menselijk aspect in twijfel getrokken. Terwijl het aantal transistors op een chip elk jaar met ongeveer 50% groeit, klagen deskundigen dat de productiviteit bij het chip-design met niet meer dan 20% per jaar stijgt. Deze is onder druk komen te staan door de gestage groei van de design-teams in de industrie, die nu met hun 250 tot 300 leden niet meer te managen blijken.

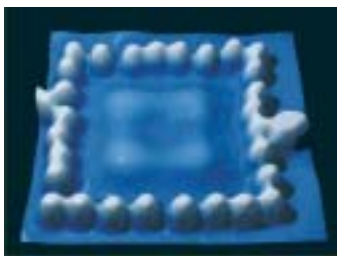


Eeuwige groei stuit ook op de tweede wet van Moore, die zegt dat bij kleinere structuurgroottes de productie-installaties duurder worden. Voor het zover is dat al deze beperkingen de ontwikkeling duurzaam in de weg staan, zal de nanotechnologie steeds meer ruimte in de nano-elektronica voor zich opeisen. Nu al hebben de moderne processoren structuren die kleiner dan 100 nanometer zijn en bevatten zij meer

dan 100 miljoen transistors. Als we uitgaan van de roadmap van de halfgeleiderindustrie – wier voorspellingen meestal nog worden overtroffen door de werkelijke technische ontwikkeling – dan staan ons over enkele jaren 45 nm-structuren te wachten (2010) en chips met meer dan een miljard transistors. Daarmee komen toepassingsmogelijkheden binnen bereik waarvan we nu alleen nog maar



Een siliciemeilandje op een siliciumkristal lost bij 450 °C langzaam op. Inzicht in dergelijke verschijnselen is belangrijk voor de kwaliteit van dunne films.

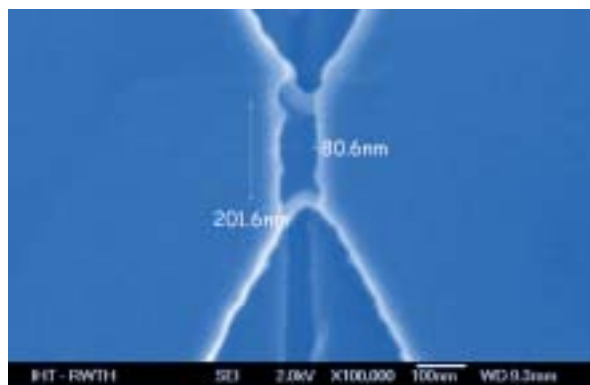


Mangaanatomen op zilver, aan de Christian-Albrechts-Universiteit van Kiel. Het distributiepatroon van de door het hek van mangaanatomen ingesloten elektronen is afhankelijk van de aangelegde elektrische spanning. Dergelijke effecten zijn van belang voor de elektronica van morgen.

Phase Change RAM (faseveranderingsgeheugen)

De huidige opslagmedia zijn gebaseerd op uiteenlopende technologieën, die alle hun voor- en nadelen hebben.

Magnetomechanische harde schijven hebben een zeer hoge gegevensdichtheid en bewaren de gegevens ook zonder permanente voedingsbron, maar zijn zeer traag. DRAM's zijn snel, maar verliezen hun gegevens zonder voortdurende «refreshes» met stroompulsen. Flash-geheugens, die bijvoorbeeld in mp3-spelers, mobiele telefoons en camera's worden gebruikt, bewaren hun data ook zonder voeding, maar zijn minder snel dan DRAM's en kunnen maar ongeveer 1 miljoen maal beschreven worden. Toekomstige nanotechnologische opslagconcepten, die praktisch alleen de genoemde voordelen – hoge dichtheid, snel, geen dataverlies zonder voeding en lange levensduur – combineren, zijn volgens de huidige opvattingen de MRAM (Magnetic Random Access Memory) en het hieronder beschreven Phase Change RAM. Vaste stoffen kunnen zich in twee extreme toestanden, fasen, bevinden: in kristallijne vorm, waarin de atomen netjes geordend zijn zoals sparren in een productiebos, of als amorf materiaal, waarbij de atomen niet geordend zijn. Een bekende amorfe vaste stof is glas, bijvoorbeeld kwartsglas. Maar dezelfde stof, siliciumdioxide, is in de mineraalhandel ook verkrijgbaar in kristallijne vorm en heet dan bergkristal. Van die twee materiaaltoestanden, kristallijn en amorf, zullen we in de toekomst nog vaker horen, want ze zijn waarschijnlijk essentieel voor de massageheugens van de toekomst. Vele vaste stoffen laten zich op gemakkelijke of minder gemakkelijke wijze van amorf in kristallijne toestand brengen en omgekeerd. Deze, meestal door toevoer van warmte bereikte faseveranderingen hebben bij optische media ruime toepassing gevonden.

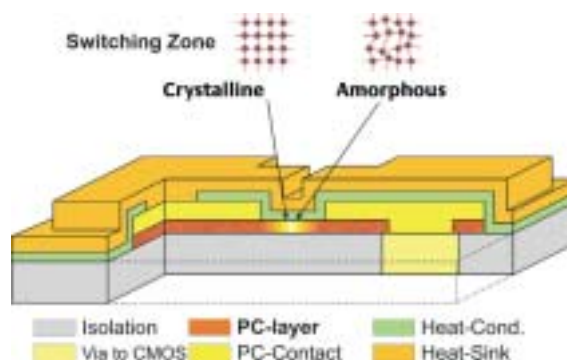


Wanneer bijvoorbeeld een opnieuw beschrijfbaar DVD wordt gebrand, verandert een speciale laag onder invloed van een door een laserpuls veroorzaakte warmteschok lokaal van kristallijne in amorfe toestand. Hierdoor veranderen de reflectie-eigenschappen zodat een leesbaar bitpatroon ontstaat. Door een langere en krachtigere inwerking van de laser worden de amorfe plekken weer kristallijn, zodat de DVD opnieuw kan worden beschreven.

De faseveranderingsmaterialen staat zeer waarschijnlijk nog een tweede carrière te wachten, namelijk in *elektronische* opslagmedia in de vorm van faseveranderingsgeheugens: Phase Change RAM. De faseverandering wordt daarbij niet langs optische, maar langs elektronische weg bereikt. Korte stroomstoten maken het materiaal amorf met een hoge elektronische weerstand, langere impulsen maken het materiaal weer kristallijn met een lage elektrische weerstand. Voor het uitlezen van de informatie wordt de weerstand van de geheugencellen bepaald. Bij Phase Change RAM's kan de opslagdichtheid zo hoog worden dat 1 Terabit informatie – bijvoorbeeld tien uur ongecomprimeerde video van de beste kwaliteit – op een postzegel past. Notebooks met dit soort geheugens kunnen meteen doorgaan waar de gebruiker eerder is opgehouden – booten is niet meer nodig.

Rechts: Met stroomstoten en de daarmee gepaard gaande warmtepulsen van uiteenlopende duur kunnen de bits van een faseveranderingslaag (Phase Change layer) van amorf in kristallijne toestand en omgekeerd worden gebracht. Het geotrooieerde ontwerp van de RWTH Aachen maakt snelle geheugens met een laag energieverbruik mogelijk.

Links: Concrete uitvoering van een faseveranderingsgeheugen

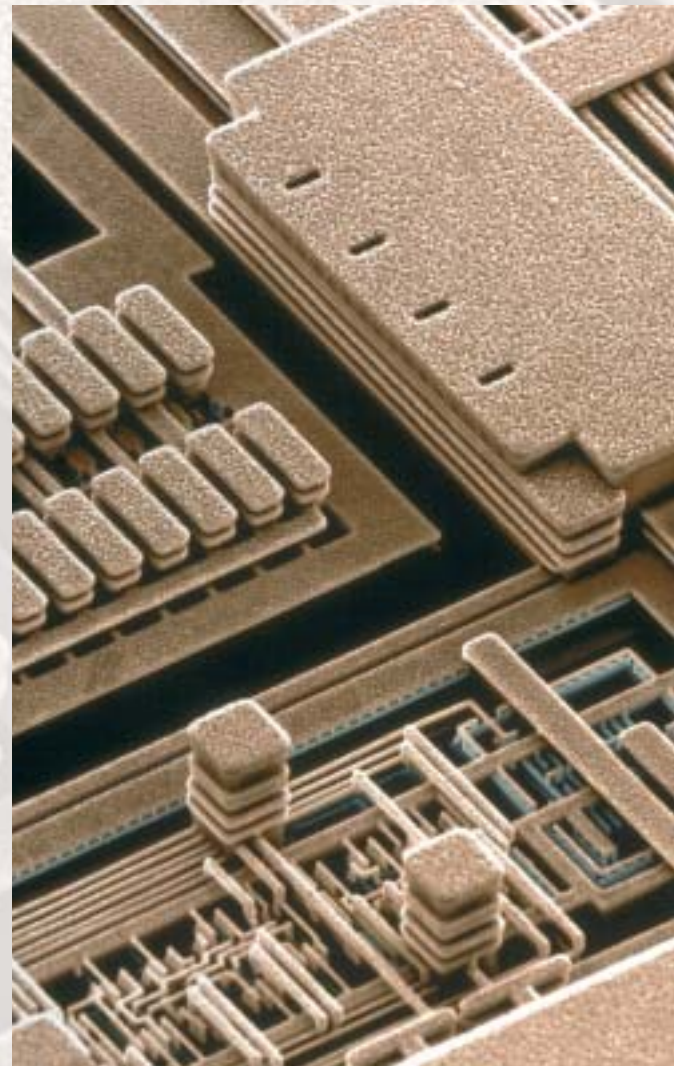


Nano-elektronica - een wereld van netwerken

Chips op weg naar de derde dimensie

Op de schaarse grond van Manhattan waren wolkenkrabbers economisch gezien de beste keuze wanneer het erom ging nieuwe kantoor- en woonruimte te scheppen. Natuurlijke hebben ook chipontwerpers al in een vroeg stadium aan de derde dimensie gedacht, maar door allerlei tegenslagen bleven successen uit.

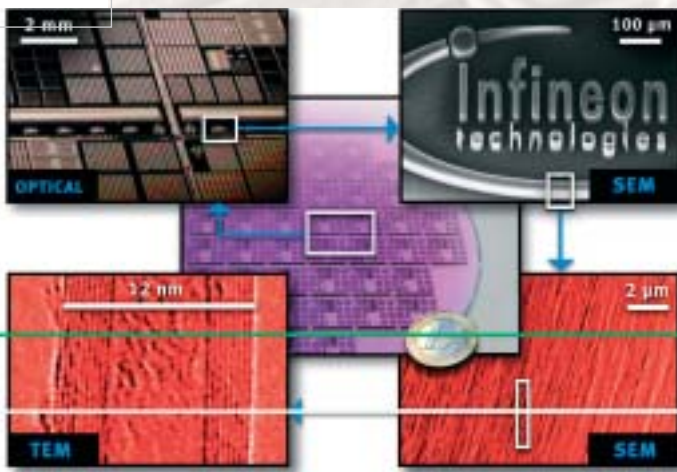
Toch zou het bedrijf Infineon AG uit München wel eens de weg naar de derde dimensie gevonden kunnen hebben. Dit bedrijf is er namelijk in geslaagd op reproduceerbare wijze koolstofnanobuisjes (CNT's) te laten aangroeien op siliciumwafers, de gepolijste schijven waarop chips worden aangebracht. De fullereenbuisjes zijn uitstekende elektrische geleiders waardoor zij weinig warmte verliezen produceren. Ze kunnen ook als mechanisch belastbare verbindingen, via's, tussen de verschillende bedradingslagen van een chip worden gebruikt. De onderzoekers van Infineon achten het op lange termijn mogelijk met CNT's een echte 3D-chiptechnologie te ontwikkelen, vooral omdat CNT's ook uitstekende warmtegeleiders zijn die de warmte uit het hart van de 3D-chip kunnen afvoeren.



10 μm

Gerichte aangroei van nanobuisjes op vooraf gedefinieerde plaatsen op een siliciumwafer door een met micro-elektronica compatibel procédé

Hedendaagse kunst: experimentele structuren voor spintronica-geheugens.

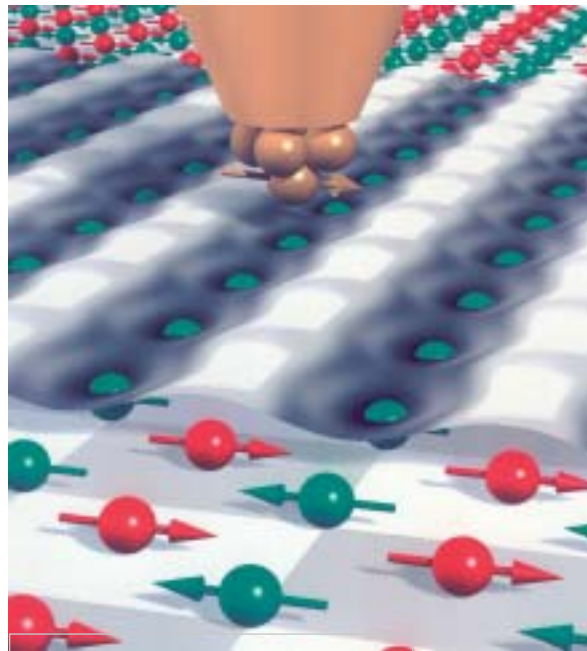




Zo ingewikkeld als een stad – door etsing blootgelegde koperverbindingen op een chip (IBM), afgebeeld met behulp van een rasterelektronenmicroscopie. Moderne chips hebben tot negen bedradingslagen.

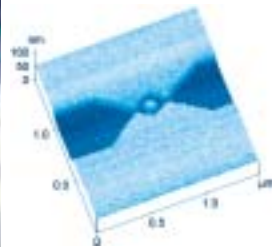


Afzonderlijke organische moleculen op een siliciumsubstraat. Opname van een rastertunnelmicroscopie, Ruhruniversität Bochum.

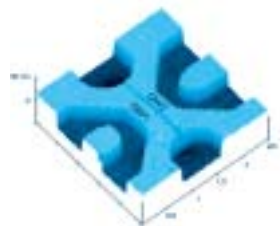


De magnetische probe van een spingepolariseerde rastertunnelmicroscopie tast de magnetische eigenschappen van afzonderlijke atomen af.

Vingeroefeningen voor de kwantumcomputer: Aharonov-Bohm-interferometer aan de Ruhruniversität Bochum, gestructureerd met een ATM-microscopie.



Tunnelgekoppelde kwantumdraden – Elektronen doorkruisen passages die in de klassieke theorie gesloten zouden zijn. Nanotechnologische experimenten beginnen de theorie in te halen.



In MRAM's, magnetische geheugenchips, wordt de informatie in de spin van de magnetische lagen opgeslagen. Deze ontwikkeling is interessant voor niet-vluchtig werkgeheugen waardoor zij op lange termijn de mechanisch aangedreven harde schijven kunnen gaan vervangen.

Aan de spintronica wordt ten slotte ook nog gedacht als technologie voor kwantumcomputers. Hiernaar wordt bijvoorbeeld aan de Universiteit van Würzburg onderzoek gedaan.

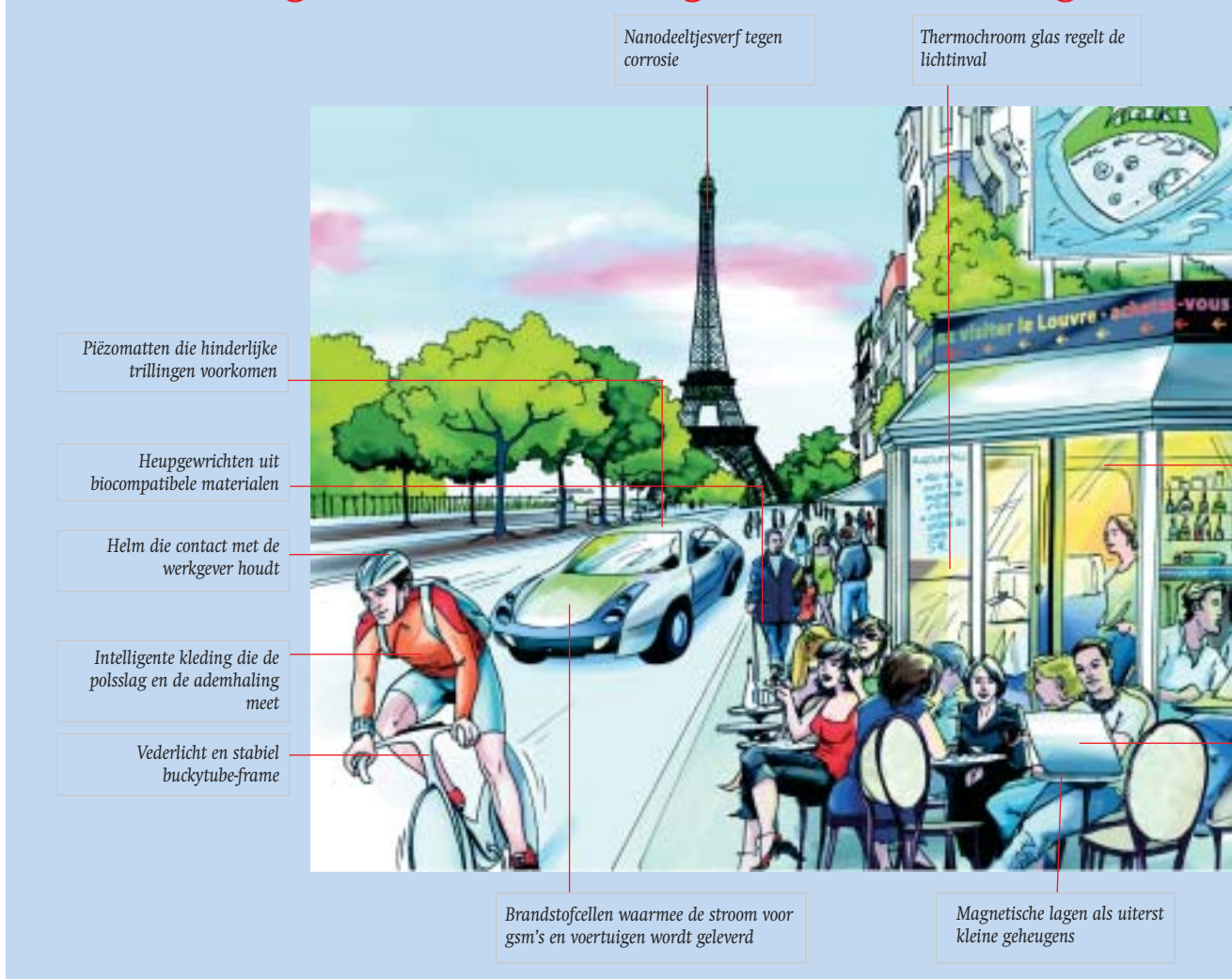
Nieuwe effecten voor grote harde schijven: De leeskop maakt met behulp van een uit meer dan 20 nanoschaallagen opgebouwd halfgeleiderelement gebruik van GMR (Giant Magnetic Resistance).



Spintronica – Rekenen met rondtollende elektronen

Een ware revolutie, waardoor de wet van Moore tot ver in de toekomst geldig blijft, zou wel een door de zogenaamde spintronica-bouwstenen kunnen worden ontketend. Deze maken niet alleen gebruik van de elektrische eigenschappen van elektronen, maar ook van een magnetische: de elektronspin. De elektronspin manifesteert zich door een minuscuul magnetisch moment dat op ingewikkelde wijze reageert op andere magnetische omstandigheden. Hiervan kan in elektronische schakelingen gebruik worden gemaakt. Een toepassing van deze spintronica of magneto-elektronica heeft nu al ingang gevonden: nieuwe harde schijven beschikken over «spin valve»-leeskoppen in dunnefilmtechnologie, die dankzij hun gigantische magnetische weerstand (GMR) zeer kleine magnetische domeinen kunnen waarnemen zodat een zeer hoge opslagdichtheid mogelijk is.

Nanotechnologie in het toekomstige leven van alledag



Wanneer de nanotechnologie haar intrede in het dagelijks leven doet, brengt dit aan de buitenkant niet noodzakelijk dramatische veranderingen mee. De mensen zullen nog steeds graag hun buurtcafé bezoeken, misschien nog wel met meer plezier dan nu. Want het gedreun van de verbrandingsmotor is afgelost door een beschaafd zoemen en sissen, zoals we dat kunnen horen bij het sluiten van de tussenschotten in het ruimteschip *Enterprise*. De stank van uitlaatgassen heeft plaatsgemaakt voor een incidentele, nauwelijks waarneembare methanolgeur waarmee de brandstofcellen worden gevoed. De bediening zal vlot zijn: Door de gewenste gerechten op de elektronische menukaart aan te kruisen wordt de keuken al in paraatheid gebracht. Betalen gebeurt door het eurosymbool in de hoek van de menukaart met een betaalkaart aan te tikken. Muntgeld is er nog steeds als fooi, maar alleen omdat het zo prettig rinkelt. Wel is het van een laag antibacteriële nanodeeltjes

voorzien. De ruiten van het café zijn best duur geworden omdat ze zoveel functies hebben. Maar uiteindelijk blijken ze daardoor toch weer goedkoop te zijn: ze zijn namelijk vuilafstotend en krasbestendig, ze worden donkerder als het buiten lichter wordt, ze zetten licht om in elektriciteit en kunnen als reusachtig beeldscherm dienen. Het is gezellig om in het café of op het terras met andere mensen naar het wereldkampioenschap te kijken.

Met volwassen nano-elektronica worden aantrekkelijke toepassingen mogelijk zoals een echte PDA (Personal Digital Assistant) op kredietkaartformaat (niet dat het niet kleiner zou kunnen, maar het moet «handig» blijven).

Het zou een matzwart ding uit één stuk kunnen zijn, zonder herkenbare structuren. De zwarte kleur neemt zonlicht op dat in elektriciteit wordt omgezet. Het ding is ook met een vliedunne diamantlaag



OLED's als displays

Fotovoltaïsche film die licht in elektriciteit omzet

Lichtdioden die met gloeilampen kunnen concurreren. De terugverdientijd is slechts een jaar.

Gelaagd krasbestendig glas met lotuseffect

Menukaart van elektronisch karton

Nanobuisjes voor notebook displays

Vlekbestendige stof



Nanodeeltjes van het bedrijf Nanosolutions fluoresceren in UV-licht, maar zijn voor de rest geheel onzichtbaar. Omdat zij in vloeistoffen fijn verdeeld worden, kunnen zij met inkjettechnologie worden aangebracht zonder het ontwerp of de functie van het gemerkte voorwerp te beïnvloeden. Nanopigmenten zijn dan ook heel geschikt als bescherming tegen vervalsing.



«Fotochrom glas»: De lichtdoorlaatbaarheid van dergelijk glas is afhankelijk van de spanning – voor de klimaatregeling in het kantoor van morgen.

krasbestendig gemaakt. Daaronder zit nog een dunne piëzokeramische laag die geluid in spanning omzet en omgekeerd, zodat spraakcommunicatie mogelijk is. Optische en draadloze dataoverdracht ontbreken natuurlijk evenmin.

Deze PDA met een vlak objectief en een beeldconversiechip met zeer hoge resolutie zal kunnen «zien» en daarnaast ook als display kunnen fungeren. Daarmee zou het audiorecorder, camera, videorecorder, tv, gsm en, met GPS, navigatiehulpmiddel tegelijk zijn. Desgewenst zou hij in een Parijs' café de menukaart kunnen lezen, vertalen en verklaren, om daarna de keuze in vriendelijk Frans door te geven en de rekening te betalen.

Natuurlijk zou hij de stem en de vingerafdruk herkennen van degenen die de PDA mogen gebruiken om zich zo tegen misbruik te beschermen.



Virtueel toetsenbord: De aanraking van een geprojecteerd toetsenbord wordt door het systeem herkend en als toetsaanslag geïnterpreteerd.

Net als in andere sectoren van de industrie vervangt de nanotechnologie in de autotechniek kwantiteit door kwaliteit. Meer technologie en minder grondstoffen dus. De techniek verzoent zich met de natuur.

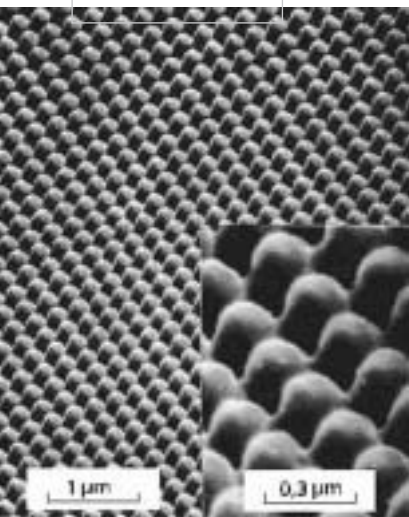
Nanotechnologie in de auto

Kleine noppen voor een grote transparantie. Met behulp van regelmatige microscopisch kleine noppenstructuren worden storende lichtreflecties van displays en ruiten in de auto voorkomen. Als voorbeeld dient het oog van de mot. Die wil 's nachts zoveel mogelijk zien zonder zelf gezien te worden.

Voorruit kunnen dankzij coatings die met sol/gel-technieken zijn vervaardigd en harde nanodeeltjes bevatten, krasbestendig worden gemaakt. Ze blijven volledig transparant omdat de nanodeeltjes zo klein zijn dat ze het licht niet verstrooien. Het principe wordt al gebruikt voor brillenglazen, al werkt het nog niet geheel volmaakt. Autolakken kunnen van een lotusbladstructuur worden voorzien waardoor vuil gemakkelijk kan worden afgespoeld.

Bij de klimaatregeling in auto's kan geprofiteerd worden van voorruit met nanoschaalcomponenten waarvan de licht- en warmtereflectie elektrisch geregeld kunnen worden. Een dergelijk techniek zou bij toepassing in kantoorruimte veel energie kunnen besparen. De autoverlichting ten slotte, is

nu al voor een goed deel op nanotechnologie gebaseerd: de lichtdioden van hoogwaardige remlichten hebben – zoals alle LED's – ingenieuze nanometerdikke lagen waarin een elektrische stroom zeer efficiënt in licht wordt omgezet. Nog een pluspunt is dat LED's de stroom onmiddellijk omzetten in licht dat voor het menselijk oog waarneembaar is. Remlichten met gloeilampen doen daar iets langer over. Dit kan een verschil in remweg betekenen van enkele meters. Inmiddels is de lichtsterkte van LED's zo hoog dat groepjes LED's samen voldoende licht voor het dimlicht van de koplampen kunnen leveren.



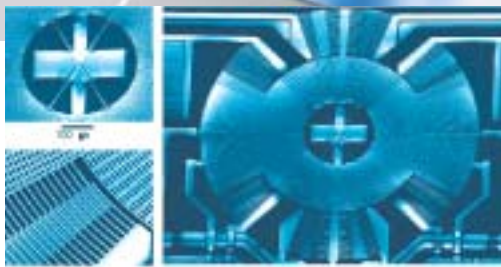
LED's in verkeerslichten zijn zuinig in onderhoud en gebruik. De investeringen kunnen in één jaar worden terugverdiend.



De huidige elektronische veiligheidssystemen zoals ABS en ESP grijpen in gevaarlijke situaties in terwijl toekomstige systemen het gevaar zelfs kunnen vermijden.



Injector van een dieselmotor: Toekomstige systemen zullen van een enkele tientallen nanometers dikke diamantachtige slijtbeschermingslaag worden voorzien.



Evenwichtsorganen van silicium: toerentalsensor voor voertuigstabilisatie



Witte LED's zijn zo krachtig geworden dat zij in de toekomst als lichtbron van het dimlicht kunnen worden gebruikt.

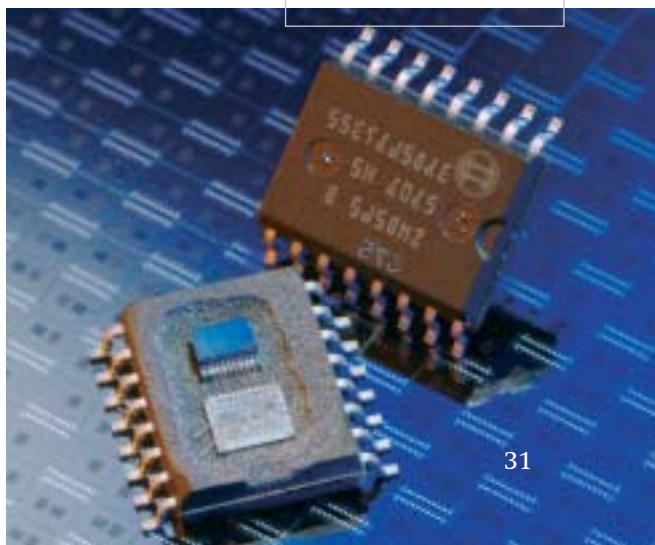
De laklaag van de auto kan dankzij nanotechnologie als zonnecel worden gebruikt (een nog niet bestaande optie). De energie daarvan zou op de parkeerplaats de accu kunnen opladen – met conventionele zonnecellen is deze optie al verkrijgbaar – of het interieur met een warmtepomp koel kunnen houden. De warmtepomp zou weer als een nanotechnologisch

systeem van halfgeleiderlagen zonder bewegende delen kunnen zijn uitgevoerd. Wanneer omgekeerd de aanzienlijke warmteverliezen van een verbrandingsmotor aan een dergelijk halfgeleidersysteem wordt toegevoerd, ontstaat weer stroom – zie ook «Thermo-elektriciteit systemen» onder «Energie en milieu».



Dankzij brandstofcellen (zie blz. 33) wordt de auto schoner in gebruik. Wanneer de waterstofhoudende brandstof nu ook nog uit duurzame energiebronnen komt, is deze vorm van aandrijving uitgesproken milieuvriendelijk.

Rechts: Elektronica voor de reddende knal: een vertragingssensor voor een front airbag



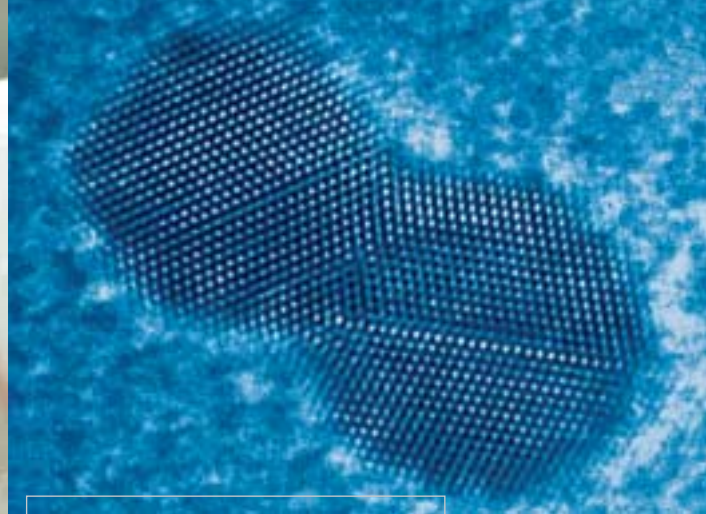
Nanoschalige geur capsules moeten leer aantrekkelijk maken.

Goudkatalysators

Nanotechnologie kan ook goud aan een nieuwe carrière helpen. Terwijl «grof» goud het als katalysator veel minder goed doet dan platina, leveren gouddeeltjes op nanoschaal die op een poreus dragermateriaal zijn aangebracht een bruikbare katalysator op die al vanaf de koude start stikstofoxide en koolmonoxide in onschadelijke stoffen ontleedt. Van gouden nanodeeltjes wordt ook veel verwacht als katalysator voor brandstofcellen.

Natuurlijk zou al deze vooruitgang ook ten goede komen aan vervoersmiddelen die niets met auto's van doen hebben. Zo zou bij de fiets heel goed geprofiteerd kunnen worden van nanotechnologie, vooral bij brandstof- en zonnecellen. Daardoor zou een «perpetuum mobile» kunnen worden gemaakt, dat alleen gedragen door licht, lucht en water vederlicht door het landschap zoekt, dat alles dankzij een koolstofnanovezelframe, LED-verlichting, enz.

Urinoir met vandalismebestendige microsysteemtechniek voor wegrestanten. De nanoschaal lotuseffectcoating is erg onderhoudsvriendelijk.



Gouden nanodeeltjes voor nieuwe katalysators

Goud tegen luchtjes

Katalysatoren met gouden nanodeeltjes worden intussen ook getest als geurbestrijders. In kleine airco-installaties voor auto's bijvoorbeeld, kunnen ze worden gebruikt om hinderlijke geuren te bestrijden die veroorzaakt worden door bacteriën die zich in zulke apparaten nestelen. In Japan doen zij zelfs al dienst in toiletten.

Nanotechnologie in wegrestanten

Automobilisten kunnen in wegrestanten in ieder geval al kennismaken met microsysteemtechniek. In de urinoirs van moderne toiletten zijn sensoren aangebracht die temperatuurstijgingen doorgeven aan de elektronica daarachter die de spoeling van de urinoirs aanstuurt. De elektrische energie hiervoor wordt geleverd door een miniwaterturbine. Het systeem kan niet – zoals bij systemen met infraroodogen – met kauwgom buiten gevecht worden gesteld.

Nanotechnologische urinoirs gaan eenvoudiger én slimmer te werk. Dankzij het lotuseffect van de bassinwand parelen vloeistoffen langs de wand naar beneden, waarna zij via een geurslot worden afgevoerd zonder sporen achter te laten – of dat ook voldoet moet de praktijk uitwijzen. Particuliere huishoudens kunnen natuurlijk ook van dergelijke technieken profiteren.



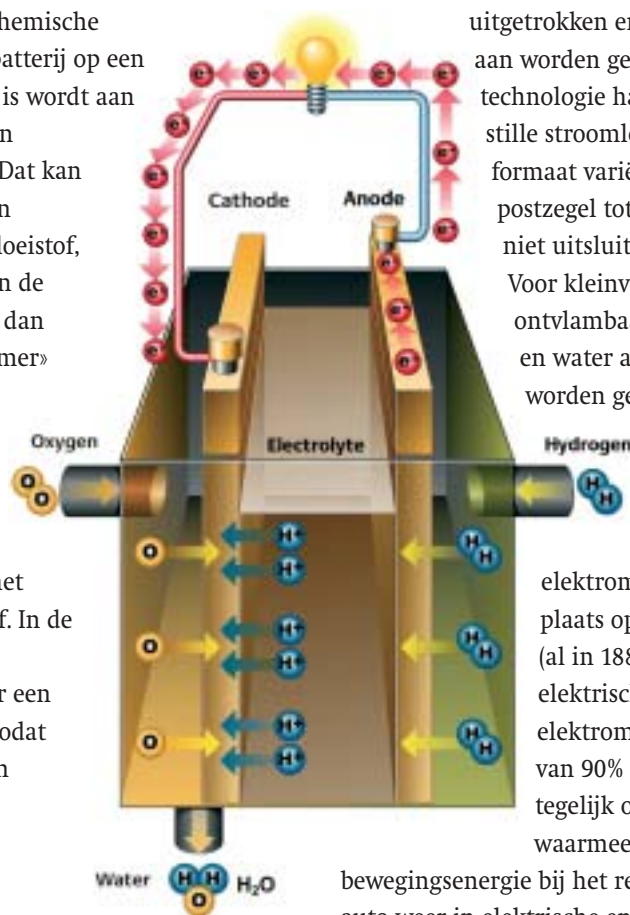
Metalen «nanoblokjes» van BASF kunnen met hun nanoporositeit grote hoeveelheden water opslaan.

De brandstofcel – een aggregaat voor duizend-en-één toepassingen

Brandstofcellen lijken op batterijen: ze leveren stroom. Terwijl de chemische inventaris van een batterij op een gegeven moment uitgeput is wordt aan de brandstofcel continu een energiedrager toegevoerd. Dat kan zuiver waterstof zijn, of een waterstofhoudend gas of vloeistof, zoals aardgas of raapolie. In de twee laatste gevallen moet dan het waterstof in een «reformer» afgesplitst worden voordat het in de brandstofcel kan worden gebruikt. Bij de reactie tussen waterstof en zuurstof migreren elektronen van het waterstof naar het zuurstof. In de brandstofcel worden deze elektronen doorgeleid naar een uitwendige stroomkring, zodat bijvoorbeeld een motor kan worden aangedreven. Als reactieproduct ontstaat uiteindelijk zuiver water.

Brandstofcellen hebben een hoog rendement, dat – afhankelijk van het type – vrijwel onafhankelijk van de grootte is. Er bestaan talloze varianten. De nanotechnologie kan deze techniek perfectioneren met behulp van keramische folies, nano-gestructureerde oppervlakken en katalytisch actieve nanodeeltjes. In de laatste paar jaar is wereldwijd 6-

8 miljard dollar voor brandstofceltechnologie uitgetrokken en er kan redelijkerwijs niet aan worden getwijfeld dat deze technologie haar nut zal bewijzen. Deze stille stroomleveranciers met een formaat variërend van dat van een postzegel tot dat van een container zijn niet uitsluitend voor auto's geschikt. Voor kleinverbruikers zou een niet ontvlambaar mengsel van methanol en water als waterstofbron kunnen worden gebruikt; getankt zou dan kunnen worden in de supermarkt.



bewegingsenergie bij het remmen van een auto weer in elektrische energie kan worden omgezet. De in nieuwe elektromotoren en generatoren gebruikte magnetische materialen met hun uitstekende prestaties zijn natuurlijk ook nanokristallijn.

De brandstofcel kan de elektromotor opnieuw de hoogste plaats op het erepodium bezorgen (al in 1881 reed in Parijs de eerste elektrische auto). Alleen een elektromotor kan een rendement van 90% halen en alleen hij kan tegelijk ook als generator dienen waarmee bijvoorbeeld de

Brandstofcellen zullen ook in particuliere huishoudens hun intrede doen en tegelijkertijd warmte en stroom leveren.





Een ontbijt met gevolgen in het jaar 2020:

Bestaat er nog koffie? Jazeker! En sinaasappelsap? Ook, natuurlijk! Maar de verpakking ervan zou wel eens heel bijzonder kunnen zijn, omdat zij als een soort «elektronische tong» het sap in de verpakking voorproeft om te kijken of het niet bedorven is.

Ook zou met een sensor aan de buitenkant een analyse van het transpiratievocht van de vinger kunnen worden gemaakt om een eventueel tekort aan calcium of andere mineralen op te sporen, dat weer met «functional food» zou kunnen worden opgeheven. Of met traditionele geitenkaas, het OLED-etiket op de verpakking weet wat het beste is.

apatiet en eiwit, het natuurlijke tandmateriaal, die moeten helpen de tand weer in de oorspronkelijke staat terug te brengen (zie ook biomineralisatie). In dagcrème die nu al in de winkel ligt, zitten nanobolletjes van zinkoxide tegen schadelijke UV-straling. De bolletjes zijn vanwege hun nanoafmetingen onzichtbaar, zodat de crème niet wit is maar volkomen doorzichtig.

Spionnen aan de vingertop

Nanotechnologie, nano-elektronica, microsysteemtechniek en consorten maken complexe analyseapparaten mogelijk die ook voor particuliere huishoudens geschikt zijn. Een kleine prik in de vinger is in de toekomst al genoeg om een bloedanalyse te maken. Zijn de cholesterolwaarden niet te hoog? Ligt de suikerspiegel wel binnen de normale grenzen? De resultaten zouden via internet naar het dichtstbijzijnde nanomedisch centrum kunnen worden gemaild, waar opdracht kan worden gegeven voor een nauwkeurigere analyse of waar in microreactoren een op de persoon in kwestie afgestemd medicijn kan worden samengesteld. Dit medicijn kan door het lichaam worden getransporteerd door nanodeeltjes met een zodanige bekleding dat zij zich alleen aan de ziektehaard kunnen hechten. Kortom: een haarfijne toediening van medicijnen. Een arts waarop je kan vertrouwen!

Afbeelding linksboven: Dankzij versfolies met nanodeeltjes kunnen levensmiddelen langer worden bewaard.

Afbeelding rechtsboven: een intelligente verpakking met transponderchip op polymeerbasis

Intelligente omgeving: Een - dankzij nano-elektronica - slimme spiegel geeft les in tanden poetsen.



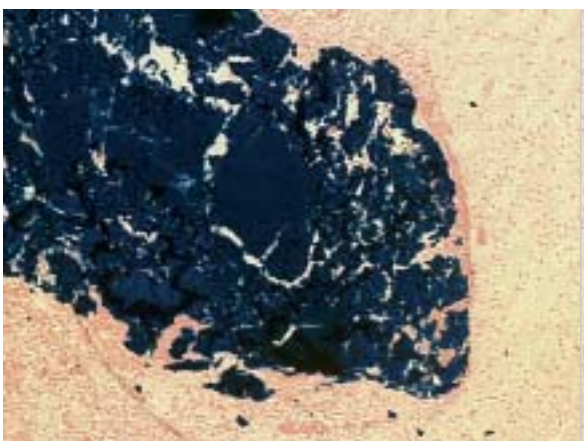


Diagnostiek van morgen. Dankzij nanotechnologie blijven steeds ingewikkeldere onderzoeken toch betaalbaar.

Supramoleculaire medicijnencapsules

De voorgeschreven geneesmiddelen zouden op uiterst geraffineerde wijze kunnen worden toegediend. Zij zouden in supramoleculaire holle moleculen (wordt aan gewerkt) kunnen worden ingebracht, een soort transportcontainers op nanoschaal met antennes waarop op antistoffen gelijkende eiwitten zitten. Wanneer die in contact komen met voor de ziekteverwekker karakteristieke structuren – zoals de omhulling van kankercellen of bacteriën – klampen ze zich hieraan vast, waarna ze een signaal naar het holle molecuul sturen dat daarop openklapt en zijn inhoud vrijgeeft. Met dergelijke nanotechnologische methoden kunnen geneesmiddelen in hoge doses tot bij de ziektehaard worden gebracht zonder de rest van het organisme te belasten.

Deze zogenaamde magneetvloeiostofhyperthermie werd door een werkgroep rondom de bioloog Andreas Jordan ontwikkeld. Inmiddels is een begin gemaakt met de klinische beproeving ervan.



Kankercellen van een glioblastoomhersentumor hebben op het raakvlak met gezond weefsel magnetische nanodeeltjes met een speciale omhulling opgeslorpt. Wanneer deze deeltjes met behulp van een elektromagnetisch veld worden verhit wordt de tumor vatbaar voor andere, aanvullende behandelingen. In 2005 zou deze techniek al klaar moeten zijn voor toepassing in de praktijk.

Magnetische deeltjes in de strijd tegen kanker

Met soortgelijke trucs kunnen ook magnetische nanodeeltjes aan een tumor worden gehecht zodat ze daarna door een wisselend magnetisch veld kunnen worden verhit om de tumor te vernietigen. Nanodeeltjes kunnen ook de als filtersysteem dienende «bloed-hersenbarrière» passeren, zodat zij tot bij een hersentumor kunnen worden gebracht.

Sortermachines op chipformaat

Microsysteemtechniek en nanotechnologie – de scheidslijn hiertussen is dun – verdienen zich in de medische sector alleen al terug doordat zij de bestaande technieken kleiner en ook goedkoper maken, soms wel meer dan honderdduizend maal. Dat geldt bijvoorbeeld voor de uitgekende machines die miljoenen cellen, bijvoorbeeld bloedcellen, op bepaalde kenmerken controleren en levend eruit kunnen pikken. Dat zou als volgt in zijn werk kunnen gaan:

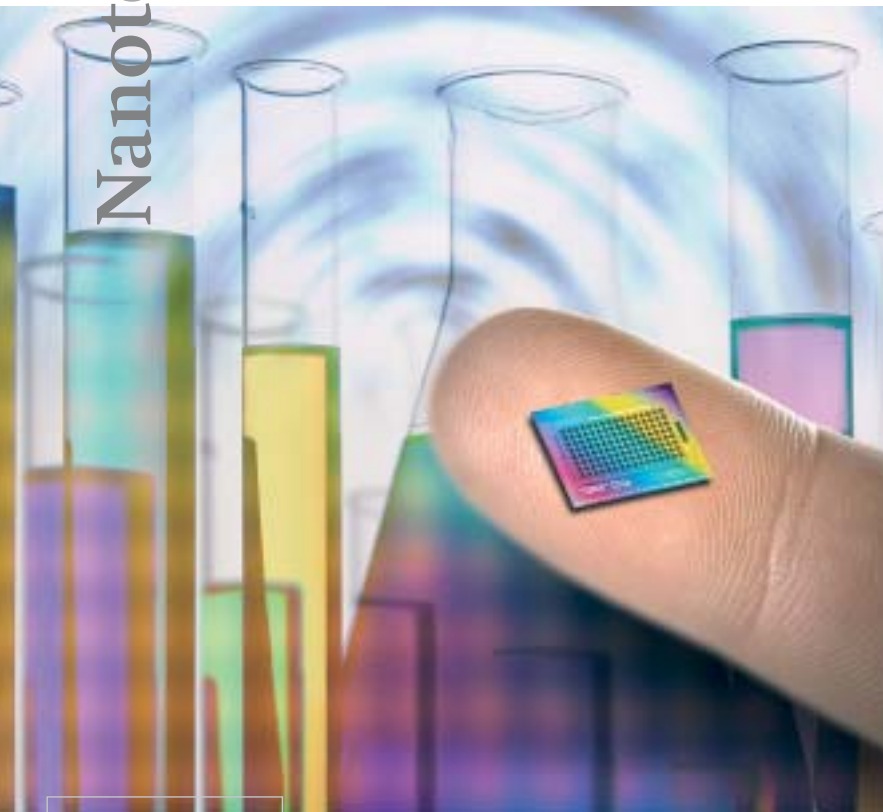
Gezondheid

Met nanodeeltjes als grondstof kunnen foutarme, betrouwbare keramische lichamen voor bijvoorbeeld implantaten worden vervaardigd (gesinterd).

Aan het bloed worden antilichamen toegevoegd die zich alleen vastklampen aan een bepaald soort cellen en niet aan andere. Ze bevatten tevens een fluorescerende stof die in laserlicht oplicht. In de celsorteerder passeren de cellen, gevat in druppeltjes, een laser. Wanneer er fluorescentie optreedt wordt het druppeltje en daarmee ook de cel met elektrische velden afgebogen naar een verzamelreservoir, een techniek die voor een deel van de inkjetprinter is afgekeken. Celsorteerders maken gebruik van geavanceerde micromechanica, optica en elektronica



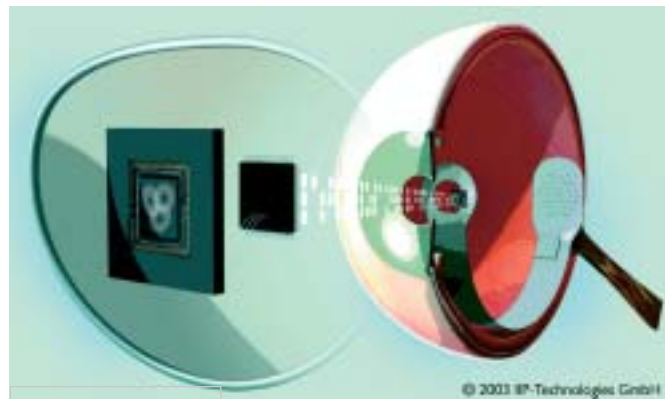
enkele vierkante centimeters groot worden, enorm dus vergeleken bij de erop aangebrachte nano-instrumenten, omdat hierin vloeistoffen zouden moeten circuleren die in de nanokosmos zo stroperig als honing zijn en daarom veel plaats nodig hebben. Het laboratorium-op-een-chip zal een revolutie in de biologie te weeg brengen, omdat het in de toekomst met zo'n nanolab mogelijk wordt stap voor stap te volgen wat zich in afzonderlijke cellen afspeelt. Uiteindelijk zou hiermee een soort video kunnen worden gereconstrueerd, een video van het leven. En de cel kan niet alleen geobserveerd, maar ook geprikkeld worden om te zien hoe ze daarop reageert teneinde zo het raadsel van het leven te ontsluiten.



Klein maar fijn, het «lab-on-a-chip», een laboratorium in vingertopformaat

en zijn daarom erg duur. Met nanotechnologie kan de omvang van de nu noch kastgrote celsorteerders worden teruggebracht tot postzegelformaat. Deels ook zullen het wegwerpdeeltjes worden. De vooruitgang op medisch gebied kan zo in een stroomversnelling worden gebracht.

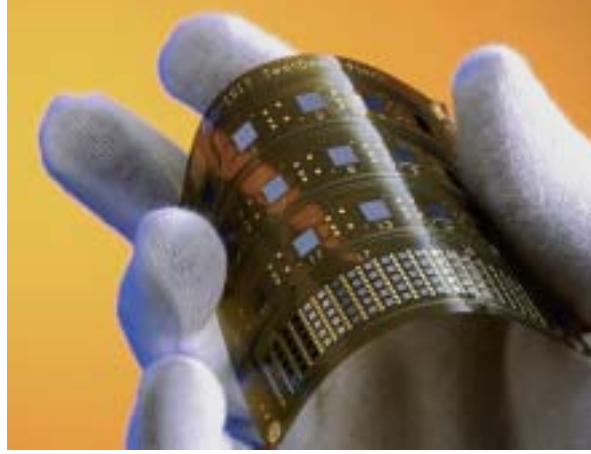
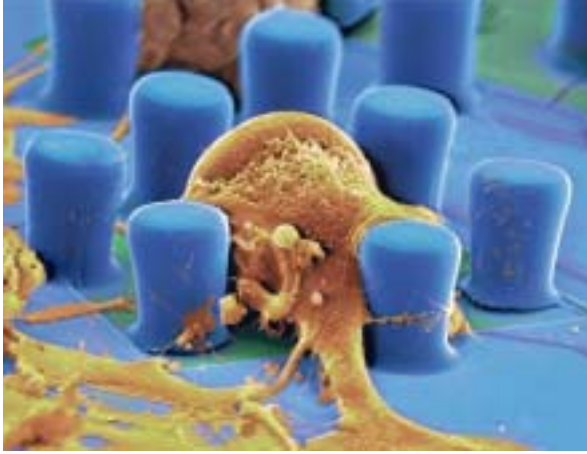
Nog hoogwaardigere nanotechnologie is nodig voor het «lab-on-a-chip». Daarop moeten volgens toonaangevende ontwikkelaars miljoenen nano-instrumenten komen die op gecoördineerde wijze een bepaalde taak moeten uitvoeren. De chips zouden



Netvliesimplantaat

Neuroprothetiek

Een uiterst geavanceerde toepassing van de microsysteem- en nanotechnologie gaat momenteel de experimentele fase in: een zelflerend netvliesimplant. Het moet retinitis pigmentosa-patiënten die blind zijn geworden een deel van hun gezichtsvermogen teruggeven.



Afbeelding rechts: Dunne siliciumchips op buigzame dragers die bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden als intelligente etiketten die op de verpakking van levensmiddelen of in kledingstukken kunnen worden aangebracht.

Afbeelding links: Aansluiting van elektrische contacten op zenuwcellen

Het systeem bestaat uit een kleine camera in het brilmontuur die beelden uit de omgeving aan een speciale zelflerende signaalprocessor toevoert. Deze processor stuurt de beeldgegevens draadloos door naar het oog van de patiënt. Daar bevindt zich een flexibele folie met miniatuurelektroden die op de huid van het netvlies zijn aangebracht en daaraan de overeenkomstige prikkels toevoeren. Als dit lukt is de eerste «mens-machine-interface» voor het gezichtsvermogen een feit. Ook talloze doven kunnen, met een cochleaire implant, geholpen worden. Dankzij nanotechnologie worden zulke protheses steeds beter.

Thuiszorg

Door een betere voeding en gezondheidszorg bereiken steeds meer mensen een steeds hogere leeftijd. Aan deze op zichzelf wenselijke ontwikkeling kleeft ook een natuurlijk nadeel, namelijk dat ook steeds meer mensen op hulp zijn aangewezen. Deze hulp kan gedeeltelijk door nano-elektronica worden geboden. Te denken valt bijvoorbeeld aan in de kleding ingeweven sensoren en

signaalverwerkingscapaciteit waarmee de gezondheidstoestand van ouderen – polsslslag, ademhaling en stofwisseling – continu in de gaten kan worden gehouden. Bij storingen waarschuwt dit medisch jasje zelf de huisarts of naasten. De locatie wordt doorgegeven door een eveneens ingenaaide GPS- of Galileo-module (Galileo is de toekomstige Europese variant van GPS).

Automatische verpleegster

Het «oude Europa» haalt voorlopig nog zijn neus op voor geautomatiseerde hulpmiddelen, maar in Japan staat de massaproductie van mobiele robots al voor de deur. Het is best mogelijk dat dit uiteindelijk in geautomatiseerde ziekenverzorgers uitmondt, er wordt in ieder geval aan gewerkt. De robotica zal de steeds groeiende rekencapaciteit van de nano-elektronica zonder problemen in grote hoeveelheden kunnen absorberen.



Robots met inlevingsvermogen van de universiteit van Oxford. Als eendenhoeders zijn zij al geschikt, maar van automatische verpleegsters wordt meer verwacht.



Intelligente kleding: Geïntegreerde elektronica speelt mp3-muziek af, leidt ons door de stad en houdt de vinger aan de pols: lijfelijk ondervonden meerwaarde dus.



Een spectaculaire rendementsverbetering dankzij LED's

Anders dan bij technologische ontwikkelingen in het verleden maakt nanotechnologie economische groei bij een lager grondstoffenverbruik mogelijk.

Economische ontwikkeling «à la nano»: meer comfort bij minder materiaalverbruik

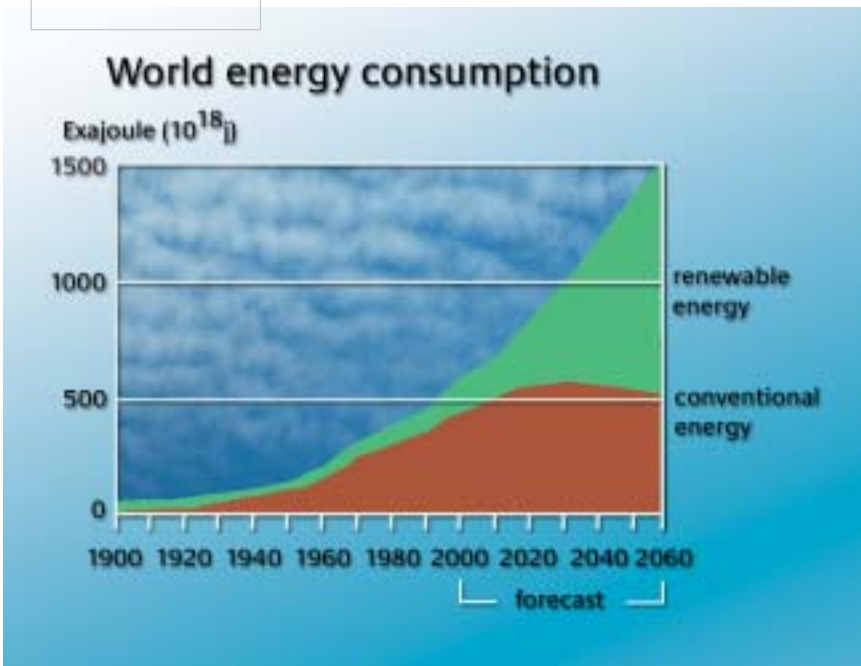
In Duitsland wordt ongeveer 10% van de opgewekte elektriciteit voor verlichting gebruikt. Met LED's, licht emitterende diodes, kan inmiddels ook wit licht worden gemaakt zodat zij de gangbare verlichting kunnen gaan vervangen. Zo worden grote besparingen mogelijk want LED's gebruiken voor dezelfde hoeveelheid licht maar ongeveer de helft van

het vermogen van een gewone gloeilamp. Het Duitse bondsministerie voor milieu heeft het besparingspotentieel in de verlichtingssector op 77% becijferd.

In de Europese huishoudens staan miljoenen tv's met beeldbuizen die binnenkort zullen worden vervangen door apparaten met LCD- of op langere termijn OLED-schermen. Met beide technieken zou het energieverbruik met 90% kunnen dalen. LED's en OLED's worden met nanotechnologie vervaardigd. Wanneer miljoenen huishoudens één kilowatt besparen, zijn dat samen gigawatts, de capaciteit van enkele grote elektriciteitscentrales.

Het door brandstofcellen geleverde vermogen kan snel worden aangepast. Inmiddels doen de eerste verwarmingssystemen met brandstofcellen hun intrede in de huishoudens. Daarmee wordt – instelbaar – zowel warmte als stroom opgewekt. Wanneer miljoenen huishoudens over een dergelijk apparaat beschikken kunnen deze via het elektriciteitsnet en internet met de grote centrales worden verbonden waardoor een theoretische maximumcapaciteit van 100 gigawatt wordt bereikt.

Een prognose van Shell. Voor duurzame energie is nanotechnologie de beste keuze.





Op lange termijn zou het aardgas kunnen worden vervangen door waterstof uit hernieuwbare bronnen. De nanotechnologie speelt hierin, met haar nieuwe materialen en katalysatoren, een rol.

Keramische membranen met nanofilters worden van steeds grotere betekenis voor de zuivering van vloeistoffen en ook voor de vervaardiging van schoon drinkwater.

Nanotechnologie maakt zonne-energie lucratief. Op grond van de eigenschappen van halfgeleiderverbindingen van indium, gallium en stikstof worden zonnecellen met een rendement van 50% voor mogelijk gehouden. Maar rendement is niet het enige criterium, de nanotechnologie zorgt er ook voor dat de kosten van zonnecellen drastisch worden verlaagd dankzij dunnefilm- of deeltjestechneken. Prototypes van zonnecelfilms die met soortgelijke coating-technieken zijn gemaakt als voor LED's en OLED's worden gebruikt, zijn in staat om met 30 gram materiaal een vermogen te leveren van 100 Watt, een radicale stap naar materiaalbesparing bij de opwekking van energie uit de koker van Solarion in Leipzig.

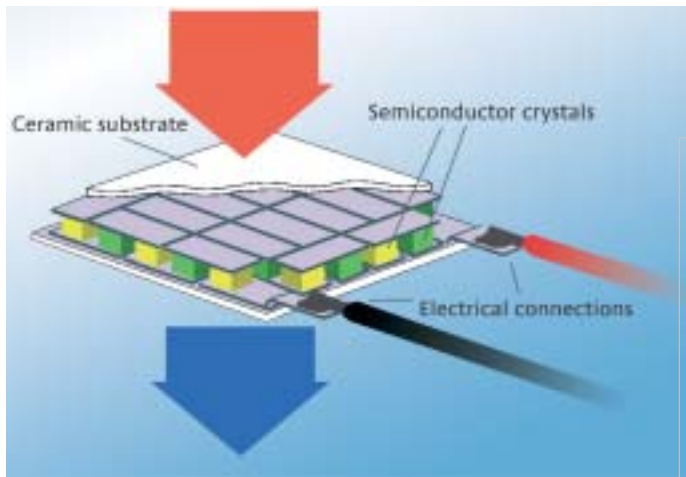
Een rendement van 5% claimen onderzoekers van Siemens voor de nieuwe organische zonnecellen die op plastic film kunnen worden gedrukt en uitermate goedkoop moeten worden. De fotolaag is nog maar 100 nanometer dik en de levensduur ligt inmiddels op enkele duizenden uren zonlicht. De eerste producten met deze technologie worden in 2005 verwacht.

Breed spectrum: De glazen gevel van een hal van het Park Hotel Weggis aan het Vierwoudstedenmeer wordt met 84 000 LED's van Osram verlicht in alle kleuren van de regenboog.

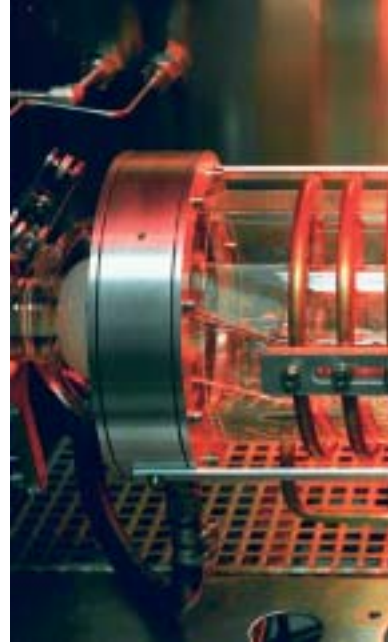
OLED's, organische LED's, zullen in de toekomst steeds vaker in beeldschermen worden toegepast.



Energie en milieu



Conventionele thermo-elektrische module : Een warmtestroom wordt door halfgeleiderblokken in elektrische stroom omgezet. Nanostructuren verhogen het rendement van deze techniek waardoor nieuwe markten ontstaan.



De nanotechnologie blaast allerlei oude ideeën, die door inefficiënt gebruik van de beschikbare materialen gesneuveld waren, weer nieuw leven in. Neem bijvoorbeeld thermo-elektrische elektriciteitsopwekking.

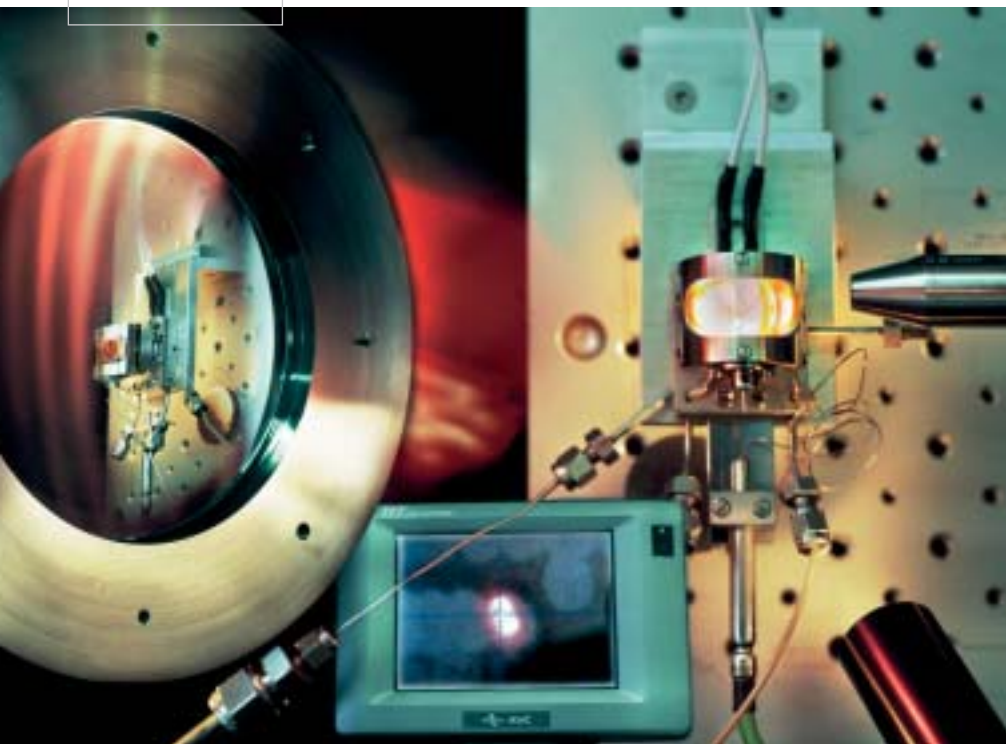
Stroom uit warme en warmte uit stroom: thermo-elektriciteit

Er bestaat een lange reeks van bekende, eerbiedwaardige natuurkundige verschijnselen die, ver van de openbaarheid, in uithoeken van de markt een eerder bescheiden rol spelen. Zo is er de koelbox die aan de sigarettenaansteker van de auto wordt aangesloten en dan werkelijk koelt. In het binnenste van deze koelbox is onzichtbaar een erfenis

aan het werk van Jean-Charles Athanase Peltier, een Franse geleerde die in 1834 het naar hem genoemde effect ontdekte: Wanneer stroom door het contactvlak van twee verschillende metalen loopt, wordt aan de ene zijde hiervan warmte en aan de andere zijde koude geproduceerd. Dertien jaar eerder had de Duitser Thomas Johann Seebeck het omgekeerde

effect ontdekt, namelijk dat wanneer het contactvlak van twee verschillende materialen wordt verwarmd hierover een elektrische spanning ontstaat. Beide heren zouden dankzij de nanotechnologie nieuwe roem oogsten omdat dankzij de nanotechnologie nieuwe materialen kunnen worden gemaakt waarin deze twee effecten – eindelijk – een hoog rendement hebben. Voor de vervaardiging van dergelijke materialen worden al weer dezelfde soort machines gebruikt als waarmee LED's worden gemaakt.

Chemische microreactietechnologie voor een efficiënte vervaardiging van exotische materialen





Aixtron-reactoren voor onderzoekdoeleinden (links) en voor de tot op het atoom nauwkeurige vervaardiging van dunne films van verbindingshalfgeleiders (rechts)

Deze machines kunnen op een ongeveer één nanometer dikke laag bismuth telluride een vijf nanometer dikke laag antimoontelluride opbrengen en dit proces herhalen totdat een halfgeleiderfilm is ontstaan waar Peltier en Seebeck verrukt van zouden zijn. Wanneer er stroom door loopt, wordt de ene zijde van de film heet en de andere koud. De film laat zich zeer nauwkeurig structureren waardoor hij kan worden gebruikt voor de precisiekoeling van chips of voor de besturing van minuscule reactievaten in een lab-on-a-chip waarin DNA wordt vermeerderd met behulp van snelle temperatuurwisselingen. Het is goed denkbaar dat Peltier-elementen dankzij hun snel toenemende rendement in de gehele koude-industrie het middel bij uitstek zullen worden. Omgekeerd, wie over goedkope warmtebronnen zoals aardwarmte beschikt, kan met dergelijke thermo-elektrische lagen goedkoop elektriciteit maken. IJsland zou wel eens een energiegi-gigant kunnen worden dankzij langs elektrolytische weg gemaakte waterstof.

In de chemische industrie zullen technieken zoals deze worden toegepast om de gigantische hoeveelheden afvalwarmte – op geluidloze, bijna onzichtbare en efficiënte wijze – in elektriciteit om te zetten. Alweer dankzij nanotechnologie.

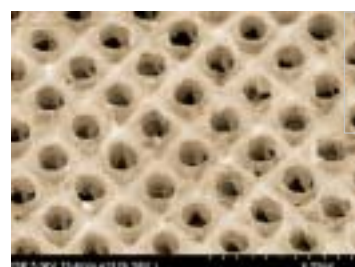
Thermofotovoltaïsche systemen

Thermo-elektriciteit is niet de enige manier om afvalwarmte elegant in stroom om te zetten. Bij thermofotovoltaïsche opwekking (TPV) wordt gebruik gemaakt van de (onzichtbare) warmtestraling van hete voorwerpen: infraroodstraling.

De nanotechnologie is verantwoordelijk voor de emitterstructuren, die het spectrum van de warmtebronnen aan de spectrale gevoeligheid van de TPV-cellen moeten aanpassen.



Bij thermofotovoltaïsche cellen is kaarslicht al voldoende om een radio te laten spelen.



Wolfraamemitter met nanostructuur voor de aanpassing van het infraroodspectrum.

Nanotechnologie voor sport en vrije tijd

Door de voortdurende miniaturisering in de technologie, nu ook tot op nanoschaalniveau, keren oude ideeën die het vroeger niet gehaald hebben weer terug, zoals het idee van vliegen op zonlicht.

De Icaré II, een zonnevliegtuig dat even zwaar als een gewoon zweefvliegtuig kan worden belast maar op eigen kracht kan opstijgen.

Boven: Na een officieuze recordvlucht van Stuttgart naar Jena.

In juni 1979 vloog Bryan Allen in zijn *Gossamer Albatros* uitsluitend op eigen pedaalkracht over het Kanaal. Hij won daarmee de Cremerprijs van 100 000 Britse pond. Door nieuwe materialen te gebruiken was Paul MacCready erin geslaagd de *Gossamer Albatros* vederlicht te maken. In 1981 lukte nog een andere langeafstandsvlucht, nu enkel op zonne-energie, al was de *Solar Challenger* wel erg kwetsbaar.

In het begin van de jaren negentig van de vorige eeuw schreef de stad Ulm ter nagedachtenis aan de minder succesvolle luchtvaartpionier Albrecht Ludwig Berblinger («de kleermaker van Ulm») een wedstrijd uit voor de ontwikkeling van een in de praktijk bruikbaar zonnevliegtuig. In juli 1996 kwam het motorzweefvliegtuig Icaré 2 van de universiteit van Stuttgart als duidelijke overwinnaar uit de strijd.

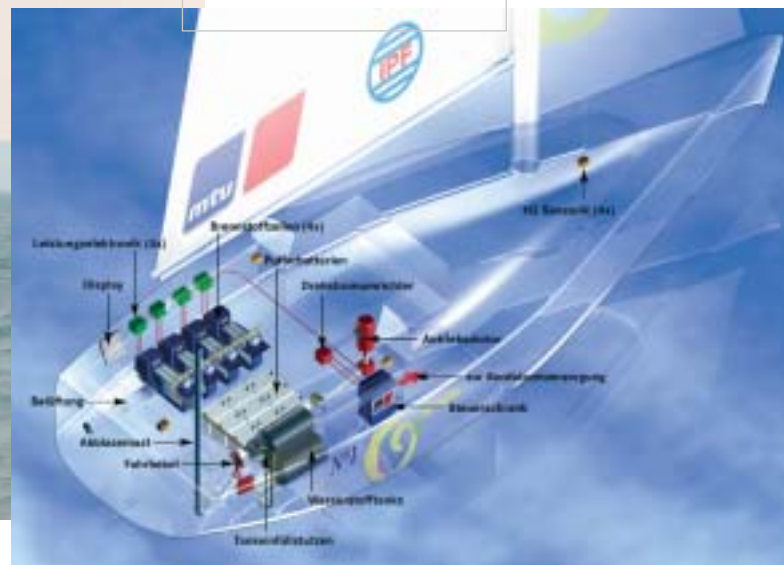
Als alternatief voor satellieten heeft de NASA het experimentele zonnevliegtuig HELIOS ontworpen, dat overdag door zonlicht wordt aangedreven en 's nachts door een «oplaadbaar» brandstofcelaggregaat in de lucht wordt gehouden. HELIOS is erin geslaagd een hoogte van bijna dertig kilometer te bereiken.

In het jaar 2003 zijn in Zwitserland experts in thermodynamica, aërodynamica, elektrische systemen, composietmaterialen, fotovoltaïsche energieopwekking, energieconversie en computersimulatie – nanotechnologie speelt overigens in bijna al deze disciplines een rol – bijeengekomen om te praten over een project dat de ontwikkeling van nieuwe technologieën voor een milieuvriendelijke toekomst vleugels moet geven. En dat moet letterlijk worden genomen. Het ambitieuze project moet Bertrand Piccard en Brian Jones, die 1999 in een ballon non-stop om de wereld zijn gevlogen, nogmaals om de aarde voeren, maar dit keer non-stop in een vliegtuig dat alleen door zonne-energie wordt aangedreven!





Door brandstofcellen aangedreven zeiljacht van MTU, Friedrichshafen, op de Bodensee. Dankzij nanotechnologie hoeven dergelijke vaartuigen zeker niet minder elegant te zijn. Gedacht kan worden aan zeilen van flexibel zonneceltextiel, die echter wel donker van kleur moeten zijn.



De «luchtworm» van de universiteit van Stuttgart. Het is de bedoeling dat deze als relaisstation voor draadloze telefonie wordt gebruikt.

Ontwerpstudie van de firma Fuseproject, een door een brandstofcel aangedreven elektrische step die je geruisloos door de stad vervoert.

Door dit project zouden de nieuwe technologieën eindelijk het respect krijgen dat zij verdienen. Dit zou het begin kunnen zijn van een lange reeks nieuwe vervoersmiddelen zoals door computers, sensoren en het Galileo-systeem gestuurde zonnevliegtuigen waarmee ook ongevoelenden – geruisloos en zonder luchtverontreiniging – het luchtruim kunnen kiezen. Onder het motto «boven de wolken moet de vrijheid wel eindeloos zijn». Op de Mecklenburgse meren varen dan misschien zelfs catamarans op zonne-energie. Aan de wal helpen pedelecs, elektrische

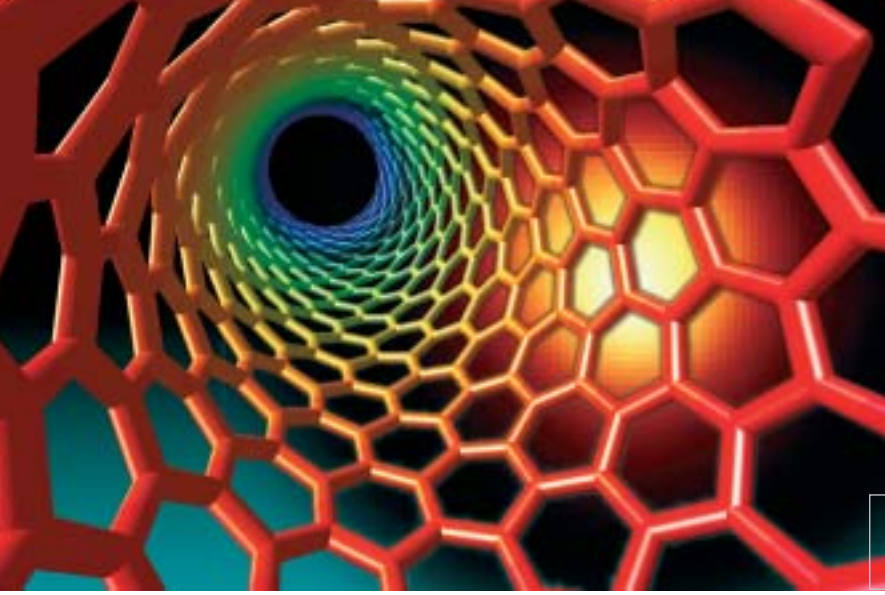
fietsen, oudere mensen weer in het zadel, die zonder hulp nog maar moeilijk kunnen fietsen. Kleine elektrische voertuigen zullen op veel plaatsen hun opmars maken, alleen al om de dynamische industriegebieden met hun luchtverontreiniging van de verstikkingsdood te redden.



Catamaran op zonne-energie van Kopf Solar design GmbH, die trips in en om Hamburg maakt.



Visies



Een nanobuisje met op de achtergrond Beteigeuze, een rode reus, in de atmosfeer waarvan fullerenen voorkomen.

Trilstraat

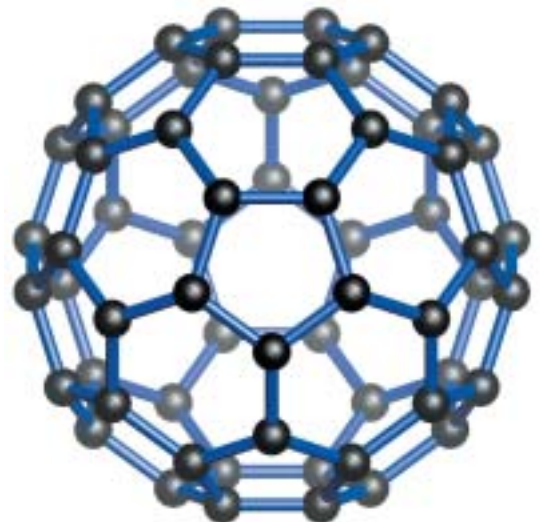
Met nanotechnologie zijn ook echt utopisch aandoende vervoersystemen denkbaar, zoals de «trilstraat». Als ooit in de praktijk bruikbare kunstspieren hun intrede doen – en daar wordt nu al aan gewerkt –, kan men zich een met een soort «vingers» uitgeruste straat indenken die voorwerpen daarop door trilbewegingen vervoert. Net zoals de trilharen van cellen, de cilia, die door heen en weer gaande bewegingen vuil uit de longen verdrijven of waarmee pantoffeldiertjes zich voortbewegen. Dit principe kan op allerlei manieren worden gerealiseerd. Zo wordt er serieus gedacht aan minuscule, op dit principe gebaseerde lineaire motoren die met plantenspieren, «forisomen», werken. Eigenlijk is dit idee lang niet zo fantastisch als de ruimtelift, waarnaar NASA serieus onderzoek doet en die eigenlijk aan het brein van een Russische ruimtevaartpionier, Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski, is ontsproten.

Constantin Edouardovitch Ziolkovsky.



Koolstofnanobuisjes voor de ruimtelift

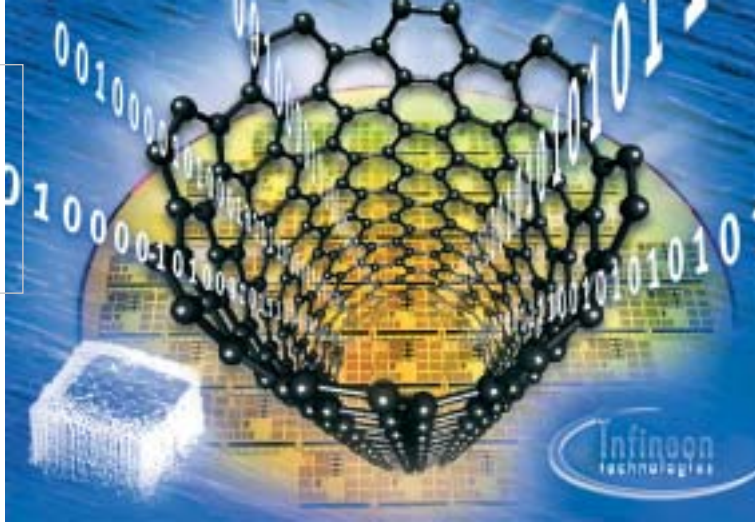
Het recept komt uit het heelal: In de schil van oude sterren, zoals Beteigeuze, een rode reus, wervelen allerlei elementen kras door elkaar heen. Bij chemische reacties tussen deze elementen ontstaan onder meer nanokristallen uit siliciumcarbide, siliciumoxide, korund en zelfs diamant. Dit is ontdekt door onderzoek aan meteorieten die uit dergelijk stof zijn ontstaan. Om meer te weten te komen hebben wetenschappers de omstandigheden in deze schillen in het laboratorium nagebootst en in 1985 hebben zij sporen ontdekt van een totaal onbekende stof. Het bleek om een nieuwe koolstofverbinding te gaan: een hol molecuul met een sterk op een voetbal gelijkende vorm. Een nieuwe blik in de ruimte wees uit dat dit molecuul ook in de schillen van sterren ontstaat.



Fullerenen, holle ruimtes uit koolstofnetwerken, geven reden tot hoop bij het onderzoek naar exotische materialen.



Reuzenmoleculen als rekenmeesters: Nanobuisjes zouden zich kunnen ontpoppen als de basis voor de krachtige chips van de toekomst.



Droombeeld van een ruimtelift

Robert Curl, met aan zijn vingers de fullerenen die hem de Nobelprijs hebben opgeleverd.

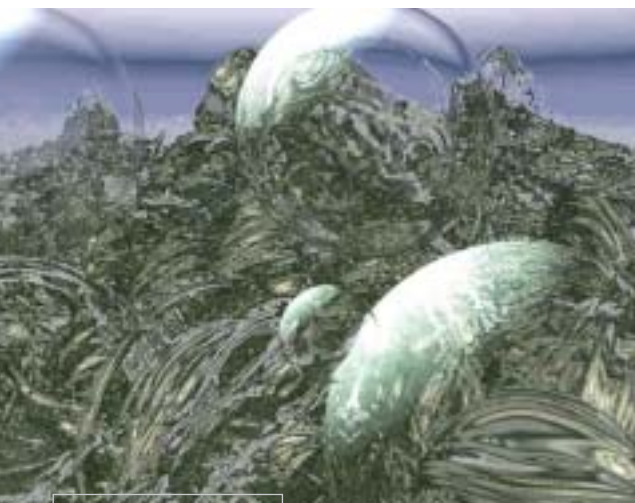
Er zijn al diverse varianten van netwerkvormige koolstofstructuren bekend, zoals koolstofnanobuisjes, de uiterst kleine buisjes van koolstof die zich tot oersterke materialen laten combineren. De problematiek van de massaproductie ervan is technisch gezien eigenlijk al opgelost.

Aan geavanceerde verbindingsdraden van nanobuisjes worden inmiddels enorme trek- en breeksterktes toegedicht. In volle ernst laat de NASA momenteel een studie maken van een project dat uiteindelijk – op basis van een soort Indiase touwtruc – tot een «lift naar de sterren» moet leiden. In een van de scenario's wordt een band van verbindingmateriaal van nanobuisjes van één meter breed, maar dunner dan papier, met conventionele raket- en satelliettechnologie in de ruimte opgespannen. Het ene uiteinde zou zich op 100.000 kilometer hoogte in de ruimte bevinden, het andere zou op een punt in de Stille Oceaan nabij de evenaar worden verankerd. De zwaartekracht in de richting van de aarde en de tegenovergestelde middelpuntvliedende kracht moeten deze band strak houden. Via deze band kunnen dan tonzware payloads in een omloopbaan om de aarde worden gebracht of zelfs naar Venus en de asteroidengordel. Nuttige nevenproducten van dergelijke droombeelden zijn oersterke bouwmaterialen voor torenflats, bruggen, en dergelijke, en natuurlijk liften.



Kansen en risico's

Het pEn niet alleen omdat een welbepaald atoom moet worden gepakt, want bij het assembleren moeten alle atomen in een kubieke nanometer worden gecontroleerd zodat de vingers elkaar onvermijdelijk in de weg zouden zitten. Tot zover het «dikke-vinger-probleem». Daarnaast is er ook nog het «plakvinger-probleem»: de uitgezochte atomen zouden, soortafhankelijk, niet naar believen vastgepakt en weer losgelaten kunnen worden, zij zouden namelijk onvermijdelijk bindingen aangaan – een uit de praktijk bekend verschijnsel. Het is niet zo eenvoudig een plakkerig kogeltje van je vinger te verwijderen. Dit zijn principiële bezwaren die niet te omzeilen zijn. Met mechanische nanorobots is dit gedoemd te mislukken. Richard Smalley zal gelijk krijgen: de angst dat legers van mislukte nanomachines de wereld in hun greep kunnen krijgen en er een grauwe smeer van maken, is ongegrond.



Beter gefundeerd is de angst dat nanodeeltjes ook ongewenste effecten op mens en milieu kunnen hebben. Zij kunnen bijvoorbeeld dankzij hun geringe formaat in lichaamscellen binnendringen en biologische barrières (zoals de bloed-hersen-barrière)

Het Gray-Goo-scenario van Eric Drexler is even onwaarschijnlijk als de kans dat de wereld door nanotechnologie in gombeertjes verandert. Het «dikke-vingerprobleem» verhindert dit.

doorbreken, wat schadelijk voor de gezondheid kan zijn. Omdat nanodeeltjes – net als andere ultrafijne stoffen, zoals dieselroet in uitlaatgassen – stoffen zijn die onbekende neveneffecten kunnen hebben, moet eerst door wetenschappelijk onderzoek worden nagegaan of zij veilig zijn. Tot nu toe is er niet veel bekend over de veiligheid van nanodeeltjes en daarom moeten nanowetenschappers en toxicologen aan de hand van experimenten zo snel mogelijk een antwoord zien te vinden op alle vragen. Maar de risico's lijken beheersbaar, aangezien nanodeeltjes in de vrije natuur uiterst «kleverig» blijken. Ze klonteren al snel samen tot grotere klompen waarmee het



lichaam probleemloos afreken. Van sommige nanodeeltjes is al bekend dat zij de gezondheid niet schaden. Ze worden daarom in zonnebrandcrème gebruikt als beschermende factor tegen zonlicht. Ook worden ze wel in gebonden vorm aan een ander materiaal toegevoegd zodat de consument helemaal niet met afzonderlijke nanodeeltjes in contact komt. Bovendien probeert de industrie met de nodige veiligheidsmaatregelen elk risico voor de gezondheid van de klant en personeel zoveel mogelijk uit te sluiten.



Richard Smalley, Nobelprijswinnaar voor scheikunde, houdt – net als de meeste andere wetenschappers – de risico's van nanotechnologie voor beheersbaar.

En niet alleen omdat een welbepaald atoom moet worden gepakt, want bij het assembleren moeten alle atomen in een kubieke nanometer worden gecontroleerd zodat de vingers elkaar onvermijdelijk in de weg zouden zitten. Tot zover het «dikke-vinger-probleem». Daarnaast is er ook nog het «plakvinger-probleem»: de uitgezochte atomen zouden, soortafhankelijk, niet naar believen vastgepakt en weer losgelaten kunnen worden, zij zouden namelijk onvermijdelijk bindingen aangaan – een uit de praktijk bekend verschijnsel. Het is niet zo eenvoudig een plakkerig kogeltje van je vinger te verwijderen. Dit zijn principiële bezwaren die niet te omzeilen zijn. Met mechanische nanorobots is dit gedoemd te mislukken. Richard Smalley zal gelijk krijgen: de angst dat legers van mislukte nanomachines de wereld in hun greep kunnen krijgen en er een grauwe smeer van maken, is ongegrond.

Beter gefundeerd is de angst dat nanodeeltjes ook ongewenste effecten op mens en milieu kunnen hebben. Zij kunnen bijvoorbeeld dankzij hun geringe formaat in lichaamscellen binnendringen en biologische barrières (zoals de bloed-hersen-barrière) doorbreken, wat schadelijk voor de gezondheid kan zijn. Omdat nanodeeltjes – net als andere ultrafijne stoffen, zoals dieselroet in uitlaatgassen – stoffen zijn die onbekende neveneffecten kunnen hebben, moet eerst door wetenschappelijk onderzoek worden

nagegaan of zij veilig zijn. Tot nu toe is er niet veel bekend over de veiligheid van nanodeeltjes en daarom moeten nanowetenschappers en toxicologen aan de hand van experimenten zo snel mogelijk een antwoord zien te vinden op alle vragen. Maar de risico's lijken beheersbaar, aangezien nanodeeltjes in de vrije natuur uiterst «kleverig» blijken. Ze klonteren al snel samen tot grotere klompen waarmee het lichaam probleemloos afrekent. Van sommige nanodeeltjes is al bekend dat zij de gezondheid niet schaden. Ze worden daarom in zonnebrandcrème gebruikt als beschermende factor tegen zonlicht. Ook worden ze wel in gebonden vorm aan een ander materiaal toegevoegd zodat de consument helemaal niet met afzonderlijke nanodeeltjes in contact komt. Bovendien probeert de industrie met de nodige veiligheidsmaatregelen elk risico voor de gezondheid van de klant en personeel zoveel mogelijk uit te sluiten.

Terwijl de schrikbeelden van nanorobots een hypothetisch karakter hebben, ogen de beloftes van materiaalwetenschappers die in de nanodimensie werken erg realistisch. De eerste producten bestaan immers al, zoals zeer gevoelige leeskoppen met een dikte van twintig nanometer of minder voor harde schijven. In elke notebookcomputer treffen we al nanotechnologie aan. Net als andere krachtige technologieën zal ook de nanotechnologie neveneffecten hebben. Zo zal zij vele eenvoudige werkzaamheden overbodig maken, waardoor er ruimte komt voor nieuwe activiteiten. Permanente educatie wordt steeds belangrijker, maar kan ook leuk zijn – met nanotechnologie.

Nadere informatie

Hoe word ik nano-ingenieur?

Wie een onderzoeksinstituut bezoekt waar intensief nanotechnologisch onderzoek plaatsvindt, treft daar deskundigen uit eigenlijk alle richtingen van de natuurwetenschappen aan: biologen, scheikundigen, ingenieurs op uiteenlopende vakgebieden, kristallografen, mineralogen, natuurkundigen - de gemeenschappelijke noemer is het niveau van het atoom en een belangrijk element van de gemeenschappelijke taal is de wiskunde. De traditionele natuurwetenschappelijke opleidingen kunnen dus allemaal tot een carrière in de nanotechnologie leiden. Toch begint zich langzamerhand ook een aparte studie nanotechnologie af te tekenen, zoals aan de Universiteit van Würzburg. Wie kiest voor nanotechnologie als vak, aldus Alfred Forchel, hoogleraar natuurkunde aan de universiteit van Würzburg, hoeft niet bang te zijn achter een «hype» aan te hollen (uittreksel uit «abi» 10/2003 van de universiteit van Würzburg), ...

.. want de miniaturiseringstrend is geen eendagsvlieg, maar heeft al een lange weg afgelegd. Verwacht mag worden dat de schaal van de toepassingen op allerlei gebieden steeds kleiner wordt, zich als het ware van microschaal naar nanoschaal ontwikkelt, ongeacht of het nu gaat om informatietechnologie of scheikunde. Je hoeft niet helderziend te zijn om te stellen dat alles nog kleiner zal worden – en componenten zijn hiervan een voorbeeld – tot het gewoon niet meer kleiner kan.

Natuurkundigen, scheikundigen en andere natuurwetenschappers kunnen met recht stellen dat zij altijd al nanotechnologie hebben bedreven. De studieobjecten van de klassieke atoomfysica en de moleculen van de scheikundigen hebben hun wortels immers in de nanokosmos. Dankzij de experimentele mogelijkheden van vandaag de dag – zoals de tot op het atoom precieze structurering van clusters, lagen en chips, de beschikbaarheid van uiterst zuivere stoffen en de nieuwe inzichten in de fijnste biologische structuren zijn er talloze nieuwe mogelijkheden geopend waarvan de praktijkgerichte

nano-ingenieur dankbaar gebruik kan maken. De carrièrevooruitzichten voor nano-ingenieurs worden door Alfred Forchels als tamelijk gunstig ingeschat:

Natuurlijk zijn de kansen om een baan te vinden ook in onze branche afhankelijk van de conjunctuur. Maar dikwijls maken relatief kleine zaken toch een verschil: wanneer een bedrijf stapels sollicitaties ontvangt, is het moeilijk zich van anderen te onderscheiden. Maar door onze praktijkstage in de industrie is er op zijn minst één bedrijf dat de student al beter kent. Bovendien kunnen onze studenten hun afstudeerscriptie in de industrie schrijven en ook dat is weer een stap in de richting van een baan. Bovendien hebben zij minstens één niet-technisch keuzevak in hun pakket, zoals bedrijfseconomie, zodat zij eveneens op dit terrein over de voor het beroepsleven belangrijke basiskennis beschikken.

Maar een degelijke natuurwetenschappelijke opleiding met wiskunde, daar kunnen nano-ingenieurs niet omheen, niet in Würzburg en ook niet elders:

Je kunt niet alleen maar dromen van de ontwikkeling van een onderzeeër die door de aderen kan varen. Voor het zover is, moet je een hoop tijd en energie in je opleiding steken. Je moet leren wiskundige beschrijvingen op te stellen en de natuur- en scheikunde te beheersen, kortom je moet je de moeilijke en onaangename basisvaardigheden verwerven. Maar er is geen reden je hierdoor te laten afschrikken. Misschien helpen je nanofantasiën je er doorheen.

Die onderzeeër die door de aderen vaart, was natuurlijk maar een film. De echte nanotechnologie ziet er anders uit, maar daar is dan ook echt geld mee te verdienen.

Contactpersonen, links en literatuurverwijzingen

Deze brochure is oorspronkelijk afkomstig van het BMBF, het Duitse bondsministerie voor onderzoek. Zij was daarom in eerste instantie voor een Duits publiek bestemd. Gelieve voor links naar Europese, in plaats van Duitse cursussen, literatuur en websites het internetportaal voor nanotechnologie van de Europese Commissie te raadplegen (www.cordis.lu/nanotechnology).

Studiemogelijkheden op het gebied van nanotechnologie:

Opleiding nanostructuurtechniek in Würzburg
Universiteit van Würzburg
Website: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/>
E-mail: ossau@physik.uni-wuerzburg.de

Bio- en nanotechnologie in Iserlohn
Technische hogeschool Zuid-Westfalen
Website: <http://www2.fh-swf.de/fb-in/studium.bnt/bnt.htm>
E-mail: Werner@fh-swf.de

Moleculaire wetenschap in Erlangen
Universiteit van Erlangen-Nürnberg
Website: <http://www.chemie.uni-erlangen.de/>
Molecular-Science
E-mail: hirsch@chemie.uni-erlangen.de

Master-opleiding micro- en nanotechniek in München
Technische hogeschool München
Website: http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro_nano/home.htm
E-mail: sotier@physik.fh-muenchen.de

Nanomoleculaire wetenschap in Bremen
Internationale Universiteit Bremen
Website: <http://www.faculty.iu-bremen.de/plathe/nanomol>
E-mail: f.mueller-plathe@iu-bremen.de

Nanostructuurwetenschap - Nanostructuren en moleculaire wetenschappen in Kassel
Universiteit van Kassel
Website: <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>
E-mail: masseli@physik.uni-kassel.de

Experimentele bachelor-opleiding, afgesloten door het diploma Bachelor of Science in de biofysica of nanowetenschappen in Bielefeld
Universiteit van Bielefeld
Website: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/nano.html>
E-mail: dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de

Doctoraalopleiding «micro- en nanostructuren» in Saarbrücken
Universiteit van Saarland
Website: <http://www.uni-saarland.de/fak7/physik/NanoMikro/InfoMikroNano.htm>

Literatuurverwijzingen:

BMBF-Programm IT-Forschung 2006 - Förderkonzept Nanoelektronik
Pub.: Federal Ministry of Education and Research; Bonn, March, 2002.

Vom Transistor zum Maskenzentrum Dresden, Nanoelektronik für den Menschen
Pub.: Federal Ministry of Education and Research; Bonn, October, 2002.

Nanotechnologie erobert Märkte- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie
Pub.: Federal Ministry of Education and Research; Bonn, March 2004.

Bachmann, G.
Innovationsschub aus dem Nanokosmos: Analyse & Bewertung Zukünftiger Technologien (Band 28)
Pub.: VDI Technology Center for the BMBF; 1998.

Luther, W.:
Anwendungen der Nanotechnologie in Raumfahrtentwicklungen und -systemen
Technology analysis (Vol. 43)
Pub.: VDI Technology Center, for the DLR; 2003

Wagner, V; Wechsler, D.:
Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie
Technology definition (Vol. 38)
Pub.: VDI Technology Center, for the BMBF; 2004.

Hartmann, U.:
Nanobiotechnologie – Eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts
ZPT, Saarbrücken, 2001.

Rubahn, H.-G.:
Nanophysik und Nanotechnologie
Teubner Verlag 2002

Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft-WING
Pub.: Federal Ministry of Education and Research; Bonn, October 2003.

Internetlinks:

Bevordering van het nanotechnologisch onderzoek door de EU
<http://www.cordis.lu/nanotechnology>

Europees nanotechnologieportaal
<http://www.nanoforum.org>

Nanotruck - Reise in den Nanokosmos
<http://www.nanotruck.net>

Internetreise-Abenteuer hinterm Komma
<http://www.nanoreisen.de>

News- en discussieforums voor nanotechnologie
<http://www.nano-invests.de>

Bevordering van nanotechnologie door het BMBF
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

Nanotechnologieportaal van VDI-TZ
<http://www.nanonet.de>

Lijst van begrippen

Brandstofcel: Een apparaat waarin waterstof en zuurstof (meestal luchtzuurstof) zonder vlam tot water reageren, waarbij met een hoog rendement elektrische energie wordt opgewekt.

Bysusdraad (in de volksmond mosselbaard): Een materiaaltechnisch uiterst verfijnde draad waarmee mosselen zich aan de ondergrond hechten. Aan het ene uiteinde zijn ze zo elastisch als rubber, aan het andere zo stijf als nylon.

Cluster: Kleine groepen deeltjes, in dit geval atomen. Clusters vertonen meestal andere eigenschappen dan grote vaste lichamen van hetzelfde materiaal, onder meer omdat clusters veel oppervlakteatomen bevatten.

CNT's (Carbon Nano-Tubes): Koolstofnanobuisjes

Diatomeeën of kiezelwieren: Kleine, in zoet en zout water levende eencellige organismen met een indrukwekkend pantser van kiezelzuur: siliciumdioxide in water. Kiezelwieren zijn in staat tot fotosynthese en bezitten derhalve ook lichtgeleidende structuren.

DNA (desoxyribonucleïnezuur): Reuzenmolecuul in de vorm van een dubbele helix dat de informatie voor de bouw van het organisme en de recepten voor talloze eiwitten bevat.

Eiwitten: Grote, door ribosomen uit aminozuren samengestelde moleculen die in een cel worden gebruikt als nanoscopische gereedschappen, maar ook als bouwmaterialen, zoals in ooglenzen en vingernagels. De ontcijfering van het proteoom, de som van alle eiwitten in een cel en de wisselwerkingen daartussen staat nog in de kinderschoenen.

ESEM (Environmental Scanning Electron Microscope): Een speciale rasterelektronenmicroscopie waarbij aan de scanning probe nog restlucht en vocht zijn toegestaan. De bestudeerde voorwerpen hoeven daarom niet meer te worden geprepareerd, bijvoorbeeld door het opdampen van goud.

Fase: Hier: toestand, zoals: geordend/ongeordend, kristallijn/amorf

Forisomen: Van het Latijnse woord voor deurvleugel afgeleide benaming voor planteneiwitten die onderzocht worden op hun geschiktheid als nanoscopische kunstspieren.

Fotosynthese: Groene planten, algen en cyanobacteriën (blauwwieren) halen hun energie uit fotosynthese. Met behulp van zonlicht wordt kooldioxide en water in suiker en zuurstof omgezet. Het rendement van fotosynthese ligt op het indrukken niveau van 80%.

Frequentieverdubbelaar: Hier: materiaal dat de frequentie van licht verdubbelt. Daarmee kan bijvoorbeeld infrarood licht in groen licht worden omgezet.

Halfgeleider: Materiaal waarvan de elektrische eigenschappen tussen die van een isolator en een geleider liggen. Halfgeleiders zijn de belangrijkste componenten van moderne elektronische schakelingen die in computers, gsm's enz. worden gebruikt.

Kwantumcomputer: Maakt gebruik van de karakteristieke regels van de kwantummechanica om problemen op te lossen die met traditionele computers praktisch niet op te lossen zijn, zoals encryptie van informatie.

Lab-on-a-chip: In het eindstadium van de ontwikkeling uiterst complexe chips met micromechanische, microfluidische, nanosensorische en nano-elektronische componenten waarmee geavanceerde onderzoeken naar cellen kunnen worden gedaan waarvoor momenteel nog een heel instituut nodig is. De benaming wordt evenwel ook al voor relatief eenvoudige microscopisch bedrukte microscoopglasjes gebruikt.

Leukocyten: Witte bloedlichaampjes die het lichaam beschermen door indringers in het bloed, zoals virussen en bacteriën, maar ook celafval en kankercellen, op te slokken of door als lymfocyten antilichamen te produceren. Antilichamen zijn uiterst specifieke kleefmoleculen.

Lichtgeleider: Een draad van uiterst doorzichtig materiaal die licht over grote afstanden kan overbrengen, meestal voor gegevensoverdracht maar ook wel voor energietransport.

Lithografie: Hier: de kunst om structuren in de microkosmos te produceren. Meestal gebeurt dit door fotolak met licht- of elektronenbundels te bestralen en daarna te ontwikkelen. Bepaalde structuren onder de fotolak kunnen zo worden beschermd tegen of desgewenst juist toegankelijk worden gemaakt voor de daarop volgende ets- en andere processen.

Masker: Een soort dia waarop de structuren van een computerchip zijn afgebeeld, die vervolgens langs fotolithografische weg op de wafer worden overgebracht.

Micellen: Kleine, kogelvormige structuren die door de natuur – hier: mosselen – ook als transportcontainers worden ingezet.

Micro-lensvelden: Micro-optische elementen die onder meer van belang zijn voor de overdracht van gegevens met behulp van licht.

Piezokristallen: Piezo-elementen wekken elektriciteit op als zij uitgerekt of samengedrukt worden. Dit gebeurt bijvoorbeeld in «elektronische» aanstekers. Omgekeerd kan een piezokristal onder invloed van een elektrische spanning haarfijn, op fracties van de atoomdiameter nauwkeurig, worden vervormd.

Reflectine: Speciaal eiwit dat door organismen worden gebruikt voor de vervaardiging van lichtreflecterende structuren.

Ribosomen: Nanomachines die – gestuurd door een moleculaire band met informatie van het geërfde DNA – talloze eiwitten kunnen aanmaken.

Röntgenstraling: Kortgolvlige elektromagnetische straling die onder andere bij de analyse van kristalstructuren wordt gebruikt voor de bepaling van de nanoscopische vorm van moleculen.

Tunnelstroom: Een stroom die er normaal gesproken niet zou zijn omdat zij een isolatiemateriaal passeert, maar die in de nanokosmos toch loopt, zij het dat zij wel uiterst afhankelijk is van de dikte van het isolatiemateriaal. Dit effect heeft de rastertunnelmicroscopie mogelijk gemaakt.

UV-straling: Kortgolvlige straling die de vervaardiging van zeer fijne chipstructuren mogelijk maakt.

Vanderwaalsbinding: Zwakke chemische binding tussen moleculen waarvan de diepere oorzaken in de eigenschappen van de lege ruimte schuilen. Vanderwaalsbindingen zijn ook bepalend voor de eigenschappen van water en dus ook alle levensprocessen.

Vrije-elektronenlaser: Apparaat waarmee licht wordt opgewekt met behulp van een versnelde elektronenbundel in een vacuümbuis.

Register van afbeeldingen

- Blz. 4, boven: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universiteit van Hamburg
Blz. 4, onder: Lambda Physik AG, Göttingen
Blz. 5, boven: Infineon Technologies AG, München
Blz. 5, onder: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 6, linksboven: Chemical Heritage Foundation
Blz. 6, boven + rechtsonder, linksonder: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 7, linksboven: NASA/ESA
Blz. 7, rechtsboven: DESY, Hamburg
Blz. 7, linksboven: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 7, rechtsonder: Instituut voor experimentele en toegepaste natuurkunde, Universiteit van Kiel
Blz. 8, linksboven: REM-Labor, Universiteit van Basel
Blz. 8, filmstrook, van boven naar beneden: BergerhofStudios, Keulen; id.; id.; REM-Labor, Universiteit van Basel; Nobelcomité Stockholm (bewerkt); DESY, Hamburg
Blz. 9, linksboven: Botanisch instituut, Universiteit van Bonn
Blz. 9, rechtsboven: REM-Labor, Universiteit van Basel
Blz. 9, filmstrook, van boven naar beneden: BergerhofStudios, Keulen; id.; Fraunhofer Gesellschaft; Botanisch Instituut, Universiteit van Bonn; id.; TU Berlijn, FU Berlijn
Blz. 9, achtergrondbeeld: BASF AG
Blz. 10, linksboven + rechts: MPI voor metallurgisch onderzoek, Stuttgart
Blz. 10, midden rechts: ESA
Blz. 10, linksonder: MPI voor metallurgisch onderzoek, Stuttgart
Blz. 11, linksboven: Ostseelabor Flensburg; daarnaast: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 11, rechtsboven: Universiteit van Florence, Italië
Blz. 11, midden rechts: Paleontologisch Instituut, Universiteit van Bonn
Blz. 11, linksonder: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 11, rechtsonder: SusTech, Darmstadt
Blz. 12, boven, midden en rechtsonder: Bell Laboratories, USA
Blz. 12, links: Faculteit der biochemie, Universiteit van Regensburg
Blz. 13, boven: Instituut voor nieuwe materialen, Saarbrücken
Blz. 13, midden rechts: Degussa AG Advanced Nanomaterials
Blz. 13, rechtsonder: Instituut voor geofysica, Universiteit van München
Blz. 13, onder: Instituut voor fysische chemie, Universiteit van Hamburg
Blz. 14, boven + linksonder: ESA
Blz. 14, rechtsonder: IBM Corporation
Blz. 15, boven + midden links: Fysica IV, Universiteit van Augsburg
Blz. 15, rechtsboven + midden: Expertisecentrum voor nanoanalyse, Universiteit van Hamburg
Blz. 15, rechtsonder: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 15, onder: Universiteit van Hawaï, Honolulu
Blz. 16, links: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
Blz. 17, rechtsboven: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
Blz. 17, linksonder: IHT RWTH Aken
Blz. 17, rechtsonder: Schott AG, Mainz
Blz. 18, linksboven: Bayer AG, Leverkusen
Blz. 18, linksonder: MPI für Quantenoptik, Garching
Blz. 19, alle afbeeldingen: DESY, Hamburg
Blz. 20, linksboven: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 20, rechtsonder: Instituut voor nieuwe materialen, Saarbrücken
Blz. 21, linksboven: HILIT, Joule III-programma van de EU
Blz. 21, rechtsboven: NASA/ESA
Blz. 21, rechtsonder: Universiteit van Stuttgart
Blz. 22, alle afbeeldingen: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 23, linksboven: National Semiconductor, Feldafing
Blz. 23, rechtsonder: Advanced Micro Devices, Dresden
Blz. 24, rechtsboven: Grafik: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 24, midden links: Experimentalphysik IV RUB, Bochum
Blz. 24, onder: Instituut voor experimentele en toegepaste natuurkunde, Universiteit van Kiel
Blz. 25, rechtsboven: Grafik: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 25, onder: IHT RWTH Aken
Blz. 26, rechtsboven: IBM Corporation
Blz. 26, linksonder: Infineon Technologies AG, München
Blz. 26, rechtsonder: IBM/Infineon, MRAM Development Alliance
Blz. 27, boven: Experimentele fysica IV, RUB Bochum
Blz. 27, midden: Expertisecentrum voor nanoanalyse, Universiteit van Hamburg
Blz. 27, rechts: Faculteit der nano-elektronica, RUB Bochum
Blz. 27, onder: IBM Speichersysteme Deutschland GmbH, Mainz
Blz. 28, Siemens AG, München
Blz. 29, rechtsboven: Nanosolutions GmbH, Hamburg
Blz. 29, midden: Instituut voor nieuwe materialen, Saarbrücken
Blz. 30, onder: Siemens AG, München
Blz. 30, boven: DaimlerChrysler AG
Blz. 30, linksonder: Fraunhofer Allianz Optisch-funktionale Oberflächen
Blz. 30, rechtsonder: Universiteit van Wisconsin, Madison
Blz. 31, boven: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
Blz. 31, midden: Audi/Volkswagen AG
Blz. 31, linksonder: VW-persarchieff
Blz. 31, rechtsonder: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
Blz. 32, linksboven: Bayer AG, Leverkusen
Blz. 32, rechtsboven: Instituut voor nieuwe materialen, Saarbrücken
Blz. 32, linksonder: Keramag AG, Ratingen
Blz. 33, boven: BASF AG, Ludwigshafen
Blz. 33, midden: MTU Friedrichshafen
Blz. 33, rechtsonder: Siemens AG, München
Blz. 34, linksboven: Bayer AG, Leverkusen
Blz. 34, rechtsboven: Siemens AG, München
Blz. 34, onder: Infineon Technologies AG, München
Blz. 35, linksboven: Siemens AG, München
Blz. 35, rechtsboven: Siemens AG, München
Blz. 35, midden: Charité Berlin/Instituut voor nieuwe materialen, Saarbrücken
Blz. 36, rechtsboven: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 36, links: Infineon Technologies AG, München
Blz. 36, rechts: IIP Technologies, Bonn
Blz. 37, linksboven: Siemens AG, München
Blz. 37, rechtsboven: Fraunhofer ISIT
Blz. 37, midden rechts: Universiteit van Oxford
Blz. 37, linksonder, rechts: Infineon Technologies AG, München
Blz. 38, linksboven: OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Regensburg
Blz. 38, onder: Grafik: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 39, boven: Park Hotel Weggis, Zwitserland
Blz. 39, onder: Siemens AG, München
Blz. 40, linksboven: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 40, linksonder: Bayer AG, Leverkusen
Blz. 41, boven: AIXTRON GmbH, Aken
Blz. 41, rechts: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
Blz. 42: Instituut voor vliegtuigbouw, Universiteit van Stuttgart
Blz. 43, linksboven, rechts: MTU Friedrichshafen
Blz. 43, midden links: Instituut voor lucht- en ruimtevaartconstructie, Universiteit van Stuttgart
Blz. 43, midden rechts: Fuse-project
Blz. 43, onder: Kopf Solardesign GmbH, Hamburg
Blz. 44, linksboven: Kollage: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 44, rechtsonder: RWTH Aken
Blz. 45, linksboven: Siemens AG, München
Blz. 45, rechtsboven: Infineon Technologies AG, München
Blz. 45, onder: NASA
Blz. 46, midden: BergerhofStudios, Keulen
Blz. 47, IBM Corporation, Insert: Siemens AG, München



EUROPEAN
COMMISSION

Community research

European Industrial Research

Uncovering the secrets of nanotechnology



Films available from: <http://www.cordis.lu/nanotechnology>

Contact:

Renzo Tomellini, European Commission - email: renzo.tomellini@cec.eu.int

Industrial technologies websites:

http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/index_en.html

<http://www.cordis.lu/fp6/nmp.htm>

<http://www.cordis.lu/nanotechnology>



NANOTECHNOLOGIES, KNOWLEDGE-BASED MATERIALS, NEW PRODUCTION

Europese Commissie

EUR 21151 — Nanotechnologie – Innovatie voor de wereld van morgen

Luxemburg: Bureau voor Officiële Publicaties der Europese Gemeenschappen

2004 — 56 blz. — 21,0 x 29,7 cm

ISBN 92-894-8889-1

Nanotechnologie wordt beschouwd als de kerntechnologie van de 21^e eeuw. Zij biedt dankzij kleinere, lichtere en sneller en beter presterende materialen, onderdelen en systemen een oplossing voor allerlei problemen. Nanotechnologie schept nieuwe marktkansen en kan ook een essentiële bijdrage leveren tot de bescherming van mens en milieu.

Met deze brochure wordt getracht duidelijk te maken wat nanotechnologie nu eigenlijk inhoudt en tegelijkertijd een discussie op gang te brengen. Door een beschrijving te geven van wetenschappelijke achtergronden, technologische ontwikkelingen, toepassingsgebieden en mogelijke ontwikkelingen in de toekomst wordt in deze brochure een complex en volledig beeld geschetst van de nanotechnologie zoals die vandaag de dag wordt ervaren.

MATERIALEN II: KUNSTSTOFFEN, HOUT, PAPIER ETC.

HOUT

Hout is een materiaal dat al vele jaren met veel succes wordt gelijmd. Toch komen er nog veel fouten bij het lijmen voor. Veel van die gemaakte fouten zijn terug te herleiden tot onvoldoende kennis het materiaal hout zelf. Daarbij zijn er vele soorten hout, met zeer veel variatie in dichtheid, inhoudsstoffen, poriestructuur, zwel- en krimpgedrag etc.

Belangrijke kenmerken van hout met betrekking tot het lijmen zijn:

- Vele houtsoorten bevatten vet. Dit vet zit in het hout en kan dus ook op het oppervlak aanwezig zijn. Teak is hiervan een bekend voorbeeld. “Gewoon” ontvetten van hout levert niet altijd het gewenste resultaat op. Het reinigingsmiddel kan eerst in het hout trekken, daarna door verdampen het oppervlak weer passeren en daarbij vet uit het hout mee naar het oppervlak brengen.
- Hout kan verweren onder invloed van UV-licht en inwerking door micro-organismen. Daardoor ontstaat een zwakke buitenlaag, die eerst moet worden verwijderd. Hout laat zich het best lijmen als het net geschaafd of geschuurd is.
- Hout heeft een variabel vochtgehalte. Hout wordt vóór gebruik gedroogd en wordt ‘droog’ verkocht. De hoeveelheid vocht in het hout hangt dan niet alleen af van de mate van voordroging, maar ook van de wijze waarop het hout is opgeslagen. Opslag in vochtige omgeving leidt tot opname van vocht door het hout. Opslag in droge omgeving leidt tot droger worden van hout. Vooral in de wintermaanden komt het voor dat hout lange tijd bij zeer lage RV opgeslagen is en daardoor sterk droogt. Voor de lijmverbinding heeft dit meerdere consequenties: 1. Droog hout neemt veel vocht op; hierdoor kan een watergebaseerde lijm te snel drogen (wegslaan), waardoor de verbinding ernstig kan verzwakken. 2. Droog hout bevat voor lijmen die vocht nodig hebben bij de uitharding (m.n. eencomponent polyurethanen) (te) weinig water. Hierdoor kan de uitharding sterk vertragen of zelfs niet plaatsvinden. Bij te veel vocht kan de lijm overmatig gaan schuimen en daardoor aan sterkte verliezen. 3. Hout werkt bij wisselende vochtgehaltes. Bij lijmen in zeer droge toestand zal dus later in gebruik het hout sterk kunnen uitzetten, waardoor de verbinding voortdurend onder hoge spanning komt te staan.
- Hout werkt onder invloed van wisselende vochtbelasting. Bij blootstelling aan wisselende RV's (binnen- en buitenlucht) en blootstelling aan weer en wind (nat worden door regen) vindt telkens zwel en krimp plaats, waardoor de verbinding sterk op vermoeiing wordt belast. Meestal zal dan een elastisch lijmtypen voor een houtverbinding nodig zijn.
- Hout kan vele inhoudsstoffen bevatten, die soms nadelig inwerken op de uitharding en/of uiteindelijke sterkte van de lijmverbinding. Voorbeeld daarvan is het zure eiken, dat vaak een nadelige invloed heeft op de sterkte van vele dispersielijmen.

- Hout heeft porieën; dit is een gunstige eigenschap. De lijm kan zich hierin goed verankeren. Mede hierdoor zijn vele houtsoorten relatief probleemloos te lijmen.
- Hout kan een vezelig oppervlak krijgen. Als deze vezels onvoldoende vast op het oppervlak liggen zal de lijmverbinding zwak zijn.
- Hout zelf wordt aangetast door schimmels en bacteriën in vochtige toestand. Zowel het vocht zelf als de aantasting van het hout kunnen de verbinding kapot doen gaan. Bekend verschijnsel is het loslaten van de onderste verbindingen in raamkozijnen, omdat zich daar vaak vocht ophoopt.

Meer informatie over het lijmen van hout is o.a. te vinden in :

- Lijmsorten voor houtverbindingen, algemene en praktische wenken. Centrum Hout, Almere, 1983.
- Lijmen in de Bouw: Houtlijmen; Stichting Bouwresearch, Rotterdam, 1994.

PAPIER

Ook papier kenmerkt zich door een meestal vrij open structuur. De lijm kan goed in het oppervlak dringen, omhult vezels en wordt goed verankerd. Net als bij hout moet worden gelet op het wegslaan van de lijm met daarbij een te snelle droging. Een enkele keer komt het voor dat vulstoffen in papier een nadelige invloed hebben op de lijm kwaliteit. Verder is bekend dat lijmen op nat papier, of op papier dat nat zal worden, af te raden is.

In de papiersector is meestal niet zozeer het probleem om een sterke lijmverbinding te krijgen, maar wordt vooral gezocht naar mogelijkheden om zo snel mogelijk lijm aan te kunnen brengen met daarbij een zo snel mogelijke droging. In de herverwerking kunnen lijmresten een probleem zijn. Sommige oplosbare lijmen storen toch in het herverwerkingsproces, sommige niet-oplosbare lijmen storen in de vorm van kleverige klontjes (stickies).

TEXTIEL

Ook textiel heeft vaak een poreuse structuur. Nadelig t.o.v. hout en papier is dat textiel soms sterk apolair kan zijn, waardoor de lijm het textiel niet goed bevochtigt. Hierdoor kan ook geen goede mechanische verankering plaatsvinden. Tenslotte kunnen allerlei hulpstoffen die het textiel gewenste eigenschappen, bijv. waterwerendheid, geven, de hechting van de lijm storen.

KUNSTSTOFFEN

Veel materiaal over het lijmen van kunststoffen is te vinden in

- VM-blad 88, "Lijmen van Kunststoffen", NIL/FME, uitg. FME Zoetermeer, 1991.

- Rapport "Verbinden van engineering plastics; deelrapport "Lijmen van technische Kunststoffen / experimenteel onderzoek", NIL-Apeldoorn, 1994.

De eerste publicatie bevat veel algemene informatie over het lijmen van 'gewone' kunststoffen. Het tweede bevat veel informatie over het lijmen van gewone en speciale technische kunststoffen, al dan niet met glasvezelvulling.

Wat zijn de kenmerkende eigenschappen van kunststoffen t.o.v. andere materialen?

- Kunststoffen kunnen oplosbaar zijn; hierdoor is hechting met behulp van een oplosmiddel, waarbij diffusiehechting kan optreden, mogelijk. Dit kan leiden tot zeer sterke lijmverbindingen.
- Kunststoffen hebben een lage polariteit; hierdoor zijn die kunststoffen dan inherent moeilijk te lijmen (zie ook 'Hechtingstheorie'). Een voorbeeld van een indeling van de lijmbaarheid van kunststoffen op basis van polariteit en oplosbaarheid is gegeven in figuur 2.
- Kunststoffen kunnen een bepaalde kristalliniteit hebben. Dit heeft niet alleen invloed op de mechanische eigenschappen van de kunststof, maar ook op de lijmbaarheid. Zie hiervoor m.n. 'Oppervlaktebehandelingen voor kunststoffen'.
- Kunststoffen zijn meestal glad en niet poreus. Mechanische hechting kan dan ook alleen worden bewerkstelligd door het opruwen van het oppervlak (zie verder en zie 'Oppervlaktebehandeling van kunststoffen').
- Kunststoffen zijn niet gevoelig voor vochtinwerking zoals hout en papier; er is niet of nauwelijks sprake van zwel en krimp door vochtinwerking (wel door chemicaliën!). Corrosie van het oppervlak door zuurstof en vocht komt vrijwel niet voor.
- Kunststoffen zijn vaak vrij elastisch. Hierdoor kunnen aan de uiteinden van verbindingen grote piekspanningen optreden (zie verder).
- Kunststoffen hebben een vrij grote temperatuur-uitzettingscoëfficiënt. Bij verbinden met andere materialen moet hiermee goed rekening worden gehouden. Als de verbinding zelf 'flexibel belast' wordt zal, meer nog dan bij het lijmen van metalen, gebruik gemaakt worden van flexibele lijmsystemen.
- Kunststoffen bevatten vaak vele toeslagstoffen, die alle hun invloed op de verlijmbaarheid kunnen hebben (zie verder).
- Kunststoffen kunnen gevoelig zijn voor spanningscorrosie, het aantasten van het oppervlak door oplosmiddelen en door componenten uit delijm. Hierdoor kunnen de mechanische eigenschappen van de kunststof zelf sterk nadelig worden beïnvloed (zie 'Oppervlaktebehandeling van kunststoffen'). Zo kunnen bijvoorbeeld laagmoleculaire amines uit epoxie-harders aanleiding geven tot spanningscorrosie, evenals harders uit polyurethanen. Omdat deze harders vaak snel met de lijmmoleculen reageren en daardoor onschadelijk worden gemaakt komt schade door spanningscorrosie vanuit epoxies en polyurethanen weinig voor.

Vooral diverse typen acrylaat-achtige lijmen (zoals cyanoacrylaten, anaeroben, no-mix acrylaten) zijn, vanwege hun laagmoleculaire bestanddelen, berucht om hun mogelijkheid spanningscorrosie te veroorzaken. Ook het wit uitslaan van een kunststof kan hieraan ten grondslag liggen.

- Het onderscheid tussen thermoharders en thermoplasten zal besproken worden bij 'Oppervlakbehandelingen voor kunststoffen'.

Kristalliniteit

Men kan onderscheid maken tussen de amorfe en de kristallijne toestand van kunststoffen. In de amorfe toestand zijn de moleculen van de kunststof willekeurig gerangschikt; in de kristallijne toestand liggen de moleculen zij aan zij. Willekeurig gerichte kunststof-moleculen hebben weinig contactpunten of interactie tussen de molecuuldelen. Kristallijne kunststoffen hebben een zeer nauw contact. Het opbouwen van dergelijke polymeerstructuren wordt geïllustreerd in figuur 3. Het gevolg voor lijmen is dat kristallijne kunststoffen niet zo gemakkelijk kunnen worden opgelost als amorfe kunststoffen, en het contactgebied tussen een lijmmolecuul en een amorfe kunststof veel groter kan zijn vanwege de veel betere mobiliteit van het amorfe molecuul vergeleken met dat van een molecuul in een kristallijne fase.

De kristalliniteit van kunststoffen hangt niet alleen van de chemie en ketenlengte van het kunststofmolecuul af, maar ook van de verwerkingseigenschappen, in het bijzonder de mate van afkoeling gedurende het verwerken van de smeltlijm. De invloed van de snelheid van afkoelen op de structuur van de kunststof wordt weergegeven in figuur 4. Moleculen die zeer snel worden afgekoeld hebben geen tijd zich te richten en hergroeperen zich in een kristallijne vorm. Wanneer men uitgaat van hetzelfde basismateriaal kan een kunststof dus een verschillende mate van kristalliniteit aan het oppervlak hebben, afhankelijk van het verwerkingsproces. Dit kan betekenen dat produkten die van dezelfde soort kunststof gemaakt zijn een verschillend gedrag vertonen in geval van lijmen en daarom in verschillende mate voorbehandeling nodig hebben.

Een voorbeeld van een hoogkristallijne, inerte, apolaire kunststof is PEEK (polyetheretherketon). Zonder gedegen voorbehandeling is dit materiaal niet te lijmen.

Invloed van de kunststof-samenstelling

Een kunststof bestaat vaak uit verschillende componenten en wordt gewoonlijk genoemd naar het basispolymeer. Samen met dit basispolymeer zullen verschillende andere bestanddelen worden gemengd, welke alle een eigen functie hebben. De voor het lijmen meest relevante bestanddelen kunnen zijn:

- **vulmiddelen**; om de kunststof goedkoper te maken en/of de thermische uitzettingscoëfficiënt te verminderen. Deze vulmiddelen kunnen aanwezig zijn op het oppervlak of tevoorschijn komen nadat het oppervlak is afgeschuurd (figuur 5). Dan speelt de interactie tussen vulmiddel en lijm mee bij de bindingssterkte.

Vulmiddelen kunnen ook hechtingsbevorderende of hechtingsremmende middelen aan hun oppervlak adsorberen. Hierdoor zal meer middel moeten worden toegevoegd om de gewenste effectiviteit te bereiken of zal een minder effect worden verkregen dan was verwacht (zie ook verder, *wijze van processing*).

- **weekmakers**; om de kunststof flexibeler te maken. Wanneer deze op het oppervlak aanwezig zijn, werken ze gewoonlijk zeer nadelig op de lijmverbinding omdat ze zich als olie gedragen tussen kunststof en lijm. Ze kunnen ook van het binnenste van de kunststof naar buiten doordringen en/of in de lijm en zo leiden tot breuk van een in beginsel sterke verbinding. Soms wordt ook waargenomen dat een (gelijmde) kunststof zelf verbrost, omdat veel weekmaker uit de kunststof in de lijm migreert! (*Dit is eenvoudig zelf te proberen op een stuk week PVC met een dikke laag contactlijm*).

- **lossingsmiddelen**; in zeer kleine hoeveelheden aan de kunststof toegevoegd, hopen ze zich vaak op aan de oppervlakte van de kunststof in de mal. Ze doen dienst als middel om de hechting tussen vorm en kunststof te verminderen, om daarmee gemakkelijker de mal los te kunnen krijgen (figuur). Deze middelen zullen ongetwijfeld een zeer nadelig effect hebben op de sterkte van de lijmverbinding!

- **vezels**; lange (of zelfs continue) vezels of korte vezels. Die worden gebruikt om de kunststof te versterken. Na het afschuren van het composietoppervlak kunnen ze ook bijdragen aan de sterkte van de lijmverbinding; bijvoorbeeld wanneer glasvezels worden gebruikt die een hoge affiniteit met de lijm hebben. Echter, vezels die niet geheel bedekt zijn met kunststof of lijm kunnen water transporteren en daarmee de duurzaamheid van de verbinding verminderen. Glasvezels in glasvezelversterkte kunststoffen, die zijn geschuurd maar wel aan het oppervlak liggen, zijn meestal volledig bedekt met kunststof (figuur 7). Hun bijdrage aan een verbeterde hechting wordt dan ook vooral gezocht in het verbeteren van de mechanische hechting. Glasvezels hebben meestal ook een positieve invloed op de hechting:

- door de hogere treksterkte van de kunststof zal er minder snel materiaalbreuk optreden.

- door de verhoging van de oppervlakteruwheid zal een betere aanhechting plaats kunnen hebben.

- door een verhoging van de stijfheid van het materiaal, waardoor minder vervormingen en piekspanningen zullen optreden.

- Een bijzonder *invloed van orientatie* van polymeren op de lijmbaarheid is te vinden bij de LCP's, de vloeibaar kristallijne polymeren. Dit zijn kunststoffen met een hoge sterkte maar in 't bijzonder een hoge vormvastheid en bijzonder precies vorm te geven eigenschappen. Het zijn veelal polyester/polyamide copolymeren met een lage smeltviscositeit en een sterke moleculaire orientatie. De moleculen liggen zo sterk georiënteerd dat de sterkte in de verschillende richtingen van de kunststof sterk kan verschillen. Door de sterke onderlinge orientatie is de neiging tot hechten met andere moleculen gering. LCP's zijn dan ook moeilijk lijmbaar. Als goede hechting is bewerkstelligd kan de verbinding toch zwak zijn, doordat het LCP 'delamineert' in de orientatierichting.

Wijze van processing

De manier waarop een kunststof gemaakt wordt kan grote invloed hebben op de hechtingseigenschappen.

Als eerste voorbeeld nemen we een kunststof die gemaakt wordt uit drie componenten: een basishars, een vulstof en een lossingsmiddel. Als alle drie de componenten gelijktijdig gemengd worden zullen de componenten min of meer gelijkelijk verdeeld worden in de kunststof. Een deel van het lossingsmiddel kan aan de vulstof adsorberen, maar het grootste deel zal beschikbaar blijven voor het vervullen van de beoogde functie: het verminderen van de hechting tussen mal en kunststof (*figuur te vinden in 'Hechtingstheorie'*).

Als we eerst het lossingsmiddel mengen met de vulstof en deze componenten daarna toevoegen aan de basishars kan een groot deel van het lossingsmiddel geadsorbeerd zijn aan de vulstof. Er zal dan beduidend minder lossingsmiddel beschikbaar zijn voor het oppervlak.

Een tweede voorbeeld is de kunststof ABS. Die is samengesteld uit meerdere componenten en kan via meerdere polymerisatieroutes worden gemaakt. Afhankelijk van de processing kunnen de verschillende kunststofdomeinen op een andere wijze in elkaar zijn verdeeld, zowel 'rubber'delen als vulstofdelen (figuur 8). Bij het lijmen wordt ABS op twee wijzen gebruikt:

- voorschuren en lijmen: hierbij kunnen domeinen in de bulk van de kunststof bloot komen te liggen;
- via oplosmiddellijmen; het oplosmiddel lost de buitenlaag van het ABS op en stelt bijv. slecht oplosbare binnendoemeinen bloot; hierop kan slecht hechting plaatsvinden.

Bij 'Voorbehandelingen voor kunststoffen' zal nog worden besproken dat de afkoelsnelheid van grote invloed is op met name de oppervlakte-kristalliniteit van kunststoffen, en daarmee ook op de hechting.

Tenslotte zal bekend zijn dat bij het vervaardigen van thermoplastische kunststofprodukten bij snel afkoelen (spuitgieten) er *spanningen* in het produkt '*ingevroren*' kunnen worden. Er wordt als het ware inwendig aan het materiaal getrokken. In combinatie met goed met de kunststof mengbare moleculen kan dit tot de voornoemde spanningscorrosie leiden. Bij afwezigheid van die spanningen is de kans op spanningscorrosie uiteraard veel geringer (of afwezig). Als opbouw van spanningen via de procesvoering vermeden kan worden, bijvoorbeeld door langzamer afkoelen, verdient dit aanbeveling. Als afnemer van kunststofprodukten kan men dit met de toeleverancier bespreken. Een andere manier is om het kunststofprodukt te 'ontlaten', dat wil zeggen door het produkt op een hogere temperatuur te brengen krijgen de moleculen de gelegenheid een spanningsloze toestand aan te nemen. De temperatuur voor dit ontlaten en tijdsduur verschilt per kunststof.

Mechanische eigenschappen kunststoffen

Dat de mechanische eigenschappen van de kunststof van invloed zijn op de verbindingsterkte behoeft geen betoog. De elasticiteit heeft invloed op de piekspanningen, de flexibiliteit kan oorzaak zijn van pel- en breukgedrag. Eén en ander komt ter sprake bij 'Construeren in lijmverbindingen' Voor kunststoffen wordt hier nog een figuur gegeven (figuur 9), waarin de elasticiteit van een kunststof op de x-as is weergegeven, en de piekspanningen in het produkt op de y-as. Weergegeven zijn berekeningen voor verschillende lijmtypen, van boven naar beneden van bros naar elastisch (van cyanoacrylaat via epoxies en polyurethanen naar siliconen). Conclusies: de effecten zijn het grootst bij de elastische materialen, waarop gelijmd wordt. Bij de brossere lijmen is hier een duidelijke piekspanning te vinden, bij het zeer elastische siliconen is geen piekspanning meer waarneembaar.

Diversen

Uit diverse onderzoeken naar de lijmbaarheid van kunststoffen is naar voren gekomen dat nog veel niet begrepen is. Voorbeelden:

- Bij een onderzoek naar het lijmen van technische kunststoffen bleek dat de ene cyanoacrylaatljm heel goede resultaten geeft, ook zonder primer, en dat een andere andere, al dan niet met primer, heel slechte resultaten laat zien. Beide cyanoacrylaten waren van dezelfde leverancier. Noch vanuit de (oppervlakte)-chemie, noch vanuit de mechanica werden deze verschillen begrepen.
- De invloed van vocht in kunststof niet duidelijk. Vooral bij polyamiden wordt er vaak op gewezen dat het vochtgehalte van invloed kan zijn op met name de hechting van polyurethaanlijmen. Er zou dan schuimvorming en verlies van mechanische sterkte kunnen optreden. Uit proeven met zorgvuldige voordroging van deze materialen bleek dat ook na voordrogen er schuimvorming bleef optreden.
- Uit onderzoek naar het lijmen van thermoplastische polymeren (A) en andere kunststoffen (B) blijkt dat er maar een uiterst beperkte correlatie is tussen 'oplosbaarheid', 'polariteit' en 'hechting'. Deze correlaties lijken alleen op te gaan daar waar binnen één type kunststof modificaties worden aangebracht. Kunststoffen onderling, laat staan kunststof/lijm combinaties onderling, zijn voor wat betreft lijmbaarheid niet exact te voorspellen.

Aanvullingen op “Voorbehandelingen”:

- Ruwheid; effect van puur oppervlaktevergroting lijkt geen afdoende verklaring. radicaalvorming, wellicht gevolgd door oxidatie, betere verklaring.
- Bij PP en POM (en mogelijk sommige andere kunststoffen) kan geoxideerd materiaal direct van het oppervlak verdwijnen als CO₂ en H₂O, waardoor het polariteit verhogende effect van plasma's en corona geringer is dan bij andere kunststoffen.
- Plasma: ca. 0.01 - 1 mBar, 13.5 Mhz, 27 MHz, 2.5 Ghz, ca. 220 Watt vermogen
- Corona: 6 - 110 kHz, 5 - 60 kV spanning , vermogen ca. 60 Watt. Vrijstraalcorona: 'luchtsput' die corona-geïnduceerde lichte vrijmaakt.
- UV-ozon: 185 (geeft ozonvorming) en 254 nm (vormt uit ozon O₂ en O. radicaal).
- Plasmabehandeling met name op acrylaten onvoorspelbaar voor wat betreft verhouding van verlijmbaarheid.



PRODUCTOMSCHRIJVING

Universeel toepasbare hoogwaardige montagelijm en afdichtingskit basis van MS-POLYMER voor het lijmen, monteren en afdichten van vrijwel alle (bouw)materialen op vrijwel alle ondergronden (zowel gladde, poreuze als niet-poreuze ondergronden). Binnen en buiten toepasbaar. Blijvend elastisch. Supersterk. Geschikt voor vochtige ruimtes.

TOEPASSINGSGEBIED

Lijmen: glas, spiegels, vele kunststoffen, steen, natuursteen, beton, hout en vele metalen.

Monteren: plinten, schroten, lattenwerk, vensterbanken, drempels, gevelplaten, isolatieplaten, gipsornamenten, sierlijsten.

Afdichten: voegen, naden en kieren in, reparaties bij daken, goten en schoorstenen, topafdichting bij beglazing.

Niet geschikt voor PE, PP, acrylglas en bitumen.

EIGENSCHAPPEN

Blijvend elastisch

UV- en weerbestendig

Supersterk

Snelle uitharding

Oplosmiddelvrij

Temperatuurbestendig van -40°C tot +100°C

Waterbestendig

Overschilderbaar (vooraf testen)

Ongevoelig voor schimmel

Binnen en buiten toepasbaar

Uitstekende hechting zonder primer

Omschrijving	Artikelnr.	BE	EAN (stuks)	EAN (BE)
420 gram wit	1490901	12	8710439 000541	8710439 002804
290 ml. transparant	1490923	12	8710439 046709	8710439 046693
420 gram grijs	1490902	12	8710439 000664	8710439 002811
420 gram bruin	1490903	12	8710439 000671	8710439 002828
420 gram zwart	1490904	12	8710439 000091	8710439 000084
50 ml. wit	1490882	12	8710439 056883	8710439 056890

VERWERKING

Bewerking ondergrond: De ondergrond moet goed droog, schoon en stof- en vetvrij zijn.

Gebruik van primer niet nodig.

Gereedschap: Koker met kitpistool verwerken. Gereedschap reinigen met terpentijn.

Droogtijd: Vormt na ca. 15 minuten een oppervlaktehuid. Kleefvrij in 4 uur. Uithardingsnelheid 3 mm per dag bij 20°C en 65% relatieve luchtvochtigheid.

Verwerkingstemperatuur: Tussen +5°C en +40°C.

Overig: Bij het overschilderen van Poly Max[®] met alkydverf kan het zo zijn dat de verf langzamer droogt (droogvertraging).

GEBRUIKSAANWIJZING

Plastic nippel tot bij de schroefdraad afsnijden. De plastic tuit erop draaien en schuin afsnijden.

Koker met spuitpistool verwerken. Diepere voegen met schuimsnoer of iets dergelijks opvullen.

Gebruik van primer niet nodig.

Lijmen en monteren: aanbrengen in strepen of dotted. Aandrukken en laten uitharden. Indien nodig klemmen.

Afdichten: Kit gelijkmatig in de voeg spuiten en gladstrijken met vochtig plamuurmes. Bij het gladstrijken van verticale voegen van onder naar boven werken.

Door het aanbrengen van afplakband langs de voegranden worden volledig gladde naden verkregen. Afplakband na het aanbrengen en gladstrijken van de kit direct verwijderen.

PRODUCTOMSCHRIJVING

Lijm, montage- en afdichtingskit op ms-polymer basis.

EIGENSCHAPPEN

Verdunbaarheid: n.v.t.

Temperatuurbestendigheid: van -40°C tot +100°C.

Vochtbestendigheid: goed.

Chemicaliënbestendigheid: bestand tegen alle weersinvloeden, UV-licht, agressieve industriële lucht, huishoud-, was- en poetsmiddelen, korte inwerking van verdunde zuren, basen en zouten.

Elasticiteit: blijvend elastisch.

TECHNISCHE GEGEVENS

Basisgrondstof : MS-polymeer.

Kleur : wit, transparant, bruin, grijs en zwart.

Vaste stofgehalte : 100%.

Dichtheid : wit, grijs 1480 kg/m³, bruin, zwart 1460 kg/m³, transparant 1100 kg/m³

Viscositeit : 400 Pa.s. bij 25°C.

Velvormingstijd : ca. 20 minuten bij 20°C.

Kleefvrijheid : na ca. 4 uur.

Hardheid in shore A : kleur ca 48., transparent ca. 38

Modulus bij 100% : kleur ca. 1,00 N/mm².

Vlampunt : n.v.t.

pH : n.v.t.

Krimp : geen.

Doorharding : kleur ca. 3 mm/24 uur, transparant 1,5 mm/24 uur

Rek bij breuk : kleur ca. 400%, transparant ca. 250%

Treksterkte : kleur ca. 1,7 N/mm², transparant 2,2

HOUDBAARHEID

Bison Poly Max[®] is in goed gesloten verpakking, op een koele vorstvrije plaats, minimaal 12 maanden houdbaar. Bij het opslaan van gebruikte kokers als volgt te werk gaan: Plastic tuit losdraaien, met een stukje plastic folie de nippel van de koker afdekken en dan de plastic tuit weer vastdraaien. Vorstbestendigheid: goed.

VEILIGHEIDSAANBEVELINGEN

Bevat: N-(3-(trimethoxysilyl)propyl)ethyleendiamine.
Kan een allergische reactie veroorzaken.

VERVOERSCLASSIFICATIE

N.v.t.

VLEKKEN

Vlekken verwijderen met terpentine. Uitgeharde kitresten zijn alleen mechanisch te verwijderen.

Onze adviezen zijn gebaseerd op uitgebreide onderzoeken en praktijkervaringen. In verband met de grote verscheidenheid van materialen en/of omstandigheden waaronder onze producten worden gebruikt, kunnen wij geen aansprakelijkheid aanvaarden voor de verkregen resultaten en/of enige schade die het gevolg zou zijn van het gebruik van het product. Wij staan echter graag voor u klaar met advies.

12 Polymeren zijn over het algemeen vrij complexe moleculen. Het is daarom niet verwonderlijk dat computersimulaties gebruikt worden om meer inzicht te krijgen in het gedrag van polymeren in bepaalde systemen. Alexey Lyulin vertelt over zijn simulatie voor het onderzoek van amorfe polymeren.

28 Paul van der Schoot laat ons een kijkje nemen in de keuken van de “sludge science”. Dit klinkt misschien een beetje smerig, maar toch wordt er in deze keuken zuiverdere wetenschap bedreven dan je zou denken, vandaar ook dat de meeste mensen uit het vakgebied het liever de wetenschap van complexe vloeistoffen noemen.

42 Woensdag 1 oktober heeft er een wisselings-ALV plaatsgevonden. Van der Waals heeft nu dus een nieuw bestuur. Ben je benieuwd wie die mensen zijn die komend jaar de vereniging gaan besturen? Dan heb je geluk want in deze Koerier stellen de nieuwe bestuursleden zich aan iedereen voor.

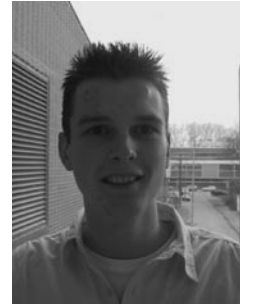
2....	Redactioneel
3....	Doorgelicht
4....	Mogen wij even STOOReN
6....	Polymeren en natuurkunde
12..	Computer simulation of polymers
16..	Optica en elektronica van polymeren
20..	Polymeren in flexibele beeldschermen en geïntegreerde circuits
24..	Polymeren manipuleren met licht
28..	Statistische Fysica van Zelforganisatie in Zachte Materie
34..	In den beginne
36..	Brasil, lá lá lá lá lá lá lááá!!
40..	Subject: Intro
42..	Over mij, Bas
44..	Schrijven, maar wat...?
46..	Ik word groot
48..	Zijn geschiedenis
49..	Hééél even voorstellen
50..	Secretaris?
52..	Activiteitenagenda
52..	Adverteerdersindex



De laatste alweer. Mijmerend kijk ik terug op een turbulent jaar. Voor mijzelf en voor de Koerier, want ook zijn heeft afgelopen jaar vele veranderingen mogen doormaken en ik hoop ten goede, naar de mening van de kritische lezer. Ikzelf ben best tevreden over het nieuwe formaat, de introductie van de Themakoerier en de daarmee nieuw ontwikkelde stijl om artikelen op te maken. Ik heb zo geprobeerd de Koerier iets van mijn visie mee te geven. Maar streven naar perfectie houdt nooit op, simpelweg omdat je het toch nooit bereikt. Daarom is er inmiddels een nieuw bestuur aangetreden met een enthousiaste Commissaris Koerier. Zij, Inge van Donkelaar, zal komend jaar net als ik afgelopen jaar proberen de Koerier te stimuleren om verder te evolueren en zo een niet wenselijk equilibrium te voorkomen. Natuurlijk moeten we alles wel een beetje in perspectief zien en ons realiseren dat alles draait om het streven naar een verlichte Koerier en onze verbeelding gebruiken om de Koerier een goede impuls te geven op het juiste moment.

En zo gaat het ook. Op het moment van dit schrijven zit naast mij een hardwerkende Commissaris Koerier de laatste hand te leggen aan de tweede Themakoerier met als thema 'Polymeren'. Ikzelf blijf vooralsnog in de Koeriercommissie om te helpen een actievere commissie op te zetten en hierbinnen meer structuur aan te brengen. We zoeken daarom nog nieuwe enthousiastelingen die het leuk vinden om zich bezig te houden met de lay-out van de Koerier. Het opmaken van de Koerier neemt het grootste deel van de tijd in beslag en daarom willen we naar een commissie die ook meehelpt om de Koerier te assembleren. Mocht je hier wel in geïnteresseerd zijn, vraag meer informatie in de Van-der-Waalskamer!

Het punt van afscheid nemen is gekomen. Ik verlaat u nu, kritische lezer, en wens u veel plezier met het lezen van mijn laatste creatie als Commissaris Koerier.



Op voorwerpsafstand van je oog lens ligt de laatste Koerier van het 44ste bestuur 'Anno Luce: richting de verbeelding'. En dus is dit de laatste kans voor mij om deze bladzijde te vullen. Iedereen die een afscheidsrede of twee heeft meegemaakt verwacht nu een pagina vol met gemijmer over het afgelopen bestuursjaar.

Als voorzitter van het meest vernieuwende bestuur in de geschiedenis van Van der Waals zou ik echter beter moeten kunnen ... Niet dus! Ik kan niet anders! Ik móet mijmeren. Pagina's vullen met gemekker over het verleden. Ik begrijp zeverende oude mannen op een bankje in het park. Nog even en ik betrap mezelf op zinnen die beginnen met vroeger.... Vroeger, toen wij nog bestuur waren ...

Maar waarom dan? Waarom voel ik mij alsof ik zojuist terugkom van een drie weken lange zovakantie? Het hoofd vol met indrukken en herinneringen uit een prachtig recent verleden. Er waren hoogtepunten, voor ons als bestuur in de vele geslaagde activiteiten die zijn georganiseerd. De nieuwe activiteiten zoals de Uitwisseling en het 24-uursproject maar ook de geslaagde introductie van de Themakoerier. Er waren ook problemen, soms voor iedereen zichtbaar, maar daar zijn we goed doorheen gekomen. Zoals het hoort in een bestuursjaar. De mooie herinneringen overheersen, met als meest recente apotheose de BuEx Brazilië. Ik moet mij inhouden om er geen bladzijden over vol te schrijven, maar met recht kan hierover gezegd worden dat vierentwintig studenten en twee begeleiders één van de mooiste perioden van hun leven hebben beleefd. De excursies verliepen bovendien erg goed, zodat ook de organisatie tevreden kan terugkijken. Een goede indruk van de sociale, culturele en natuurkundige aspecten van het indrukwekkende land waren het resultaat van deze geslaagde studiereis.

Ontbreekt aan dit stukje nog slechts een blik in de nabije toekomst. De meeste gevolgen voor Van der Waals heeft natuurlijk de aanstelling van het nieuwe bestuur op 1 oktober, al voor het uitkomen van deze Koerier. Met vertrouwen zie ik het komende bestuursjaar tegemoet. In ieder geval begint het jaar goed met een groot aantal activiteiten in het eerste trimester. Het nieuwe bestuur zal echter haar best moeten doen te leren van onze fouten en te tippen aan ons lichtjaar van oneindig gave uitstraling. Voorlopig blijft het bij verbeelding.

Beste Van-der-Waalsleden, allemaal bedankt voor een schitterend jaar! Arrivederci!

De vakantie is al weer een tijdje voorbij en de colleges zijn in volle gang. Ik hoop voor jullie dat jullie allemaal hard aan het studeren zijn om dit jaar weer zoveel mogelijk ECTS binnen te slepen.

In de vakantie is er natuurlijk niet zo heel veel gebeurd op N-laag. De tentamenbundels liggen op het moment dat deze Koerier uitkomt al weer bij de Repro en kunnen binnenkort bij STOOR gekocht worden. Het betreft hier alleen de eerste- en tweedejaarsbundel. We hebben wel alle tentamens uit het derde jaar beschikbaar, zodat je die, als je dat wilt, zelf kunt kopiëren. Er worden echter te weinig bundels van het derde jaar verkocht om ze nog samen te stellen en te drukken.

De eerste P- en PP-raadvergaderingen zijn al weer achter de rug. Hier zijn de laatste tentamens van het vorige collegejaar besproken en is het lopende trimester geëvalueerd. Bij de P-raadvergadering was weinig te melden. Alleen 'Thermische Verschijnselen' was te laat nagekeken. Tijdens de PP-raadvergadering is afgesproken dat het vak 'Fysica van de Gecondenseerde Materie' grondig geëvalueerd gaat worden zodat het dit jaar goed te volgen is voor de studenten. Verder weigert de heer Kopinga om oude tentamens aan STOOR te geven, omdat er tijdens het tentamen DVV2 letterlijk antwoorden worden overgeschreven van oude tentamens. Het betreft hier een openboektentamen met notebook. Het is natuurlijk niet de bedoeling dat studenten letterlijk antwoorden gaan kopiëren met alle bijbehorende leestekens erbij, maar het is ook jammer dat wij nu niet de laatste tentamens op internet kunnen zetten en in de tentamenbundel kunnen opnemen. Wij zijn nu bezig om samen met de heer Kopinga tot een compromis te komen en ik heb er het volste vertrouwen in dat dit gaat lukken.

Vanuit STOOR zijn wij nog op zoek naar enthousiaste eerste-, tweede- en derdejaars studenten die plaats willen nemen in de P- en PP-raad. Mochten er mensen zijn die op deze manier actiever met het onderwijs bezig willen zijn, dan kunnen ze ten alle tijden een e-mail sturen naar stoor@tue.nl of binnenlopen bij STOOR, Ng0.04.

Zoals elk jaar wordt ook dit jaar een nieuwe OpleidingsCommissie Natuurkunde (OCN) samengesteld. Per 1 november zullen de leden van de OCN zich gaan bezighouden met alle problemen rond de opleiding, die de faculteit Technische Natuurkunde aanbiedt. De sollicitatieperiode is begonnen en hopelijk zal de nieuwe OCN zich in de volgende Koerier aan jullie voorstellen.

Naast nieuwe leden voor de OCN worden er ook nieuwe leden voor de Faculteitsraad (FR) gezocht. De lijst moet tussen 14 en 16 oktober ingediend worden en de verkiezingen van zowel de FR als de UR (Universiteitsraad) zullen op 4 december plaatsvinden.

Rond de verschijningsdatum van deze Koerier zal ook de jaarlijkse onderwijsprijs worden uitgereikt aan de beste docenten en instructeurs uit het eerste jaar en de PP-fase. We zullen hier nog niet vertellen wie er gewonnen heeft, maar bij deze zijn jullie allemaal uitgenodigd om op donderdag 16 oktober bij de uitreiking aanwezig te zijn in de 'Salon', Ng 0.13.

Mocht je nog vragen of opmerkingen hebben over wat dan ook dan ben je van harte welkom om eens binnen te lopen bij STOOR. Zijn we gesloten dan kun je de Van-der-Waalskamer binnenlopen en naar Ineke Wijnheijmer vragen. Zij zal de onderwijszaken vanuit het bestuur van Van der Waals coördineren.

Rest mij nog om jullie veel leesplezier te wensen met deze Koerier!



Polymere en natuurkunde

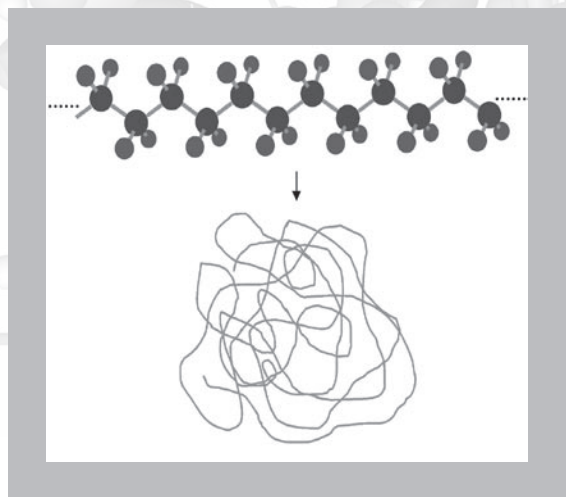
Een inleiding door prof. dr. Thijs Michels

Polymeren vormen slechts een van de vele klassen van materialen waarmee de moderne mens zich graag omringt. Waarom is juist deze klasse zo interessant dat er de laatste jaren een verheugde aandacht voor is in de wetenschap? Zo interessant zelfs dat onze regering er een Technologisch Top Instituut DPI voor opricht, onze universiteit er zojuist van de Koninklijke Academie een Onderzoeksschool EPL voor erkend heeft gekregen, onze faculteit er een onderzoeksgroep PFY voor instelt, en onze studievereniging er dit themanummer aan wil wijden!

Ketenmoleculen

Polymeren zijn moleculen met een ketenstructuur die zijn opgebouwd uit veel, in feite heel veel, afzonderlijke deeltjes: uit atomen, of uit steeds weer terugkerende combinaties van atomen. In het Grieks betekent polus 'veel' en meros

'deeltje', vandaar de naam 'poly-meren'. De vaak gebruikte naam 'plastics' houdt verband met de blijvende, dat wil zeggen de niet-elastische, vervormbaarheid van veel kunststofmaterialen die uit dit soort ketens zijn opgebouwd, en gaat terug op het Griekse woord plassein, dat 'knedem' betekent. Het woord 'plastic' heeft aanvankelijk – en dan spreek ik over vele tientallen jaren geleden – de ongunstige bijbetekenis gekregen van



'goedkoop', en 'niet echt'. Uit de aanhef van dit artikel blijkt wel dat er tegenwoordig iets geheel anders aan de hand is!

Een van de eenvoudigste en bekendste polymeren is poly-etheen: een lineair of vertakt ketenskelet van koolstofatomen met zijwaarts gemiddeld twee waterstofatomen. Polyetheen werd in 1933 min of meer bij toeval ontdekt in een onverwachte polymerisatiereactie van etheen onder hoge druk.

Dat hier een materiaal van een wezenlijk andere klasse dan etheen zelf ontstaat, wordt duidelijk als je bedenkt dat zo een reactie zeer veel koolstofatomen aan elkaar kan rijgen, tot één miljoen toe. Een koolstofatoom heeft ongeveer de afmeting van 10^{-10} meter, een tienmiljardste van een meter. Als ik me dit atoom voorstel als een kleine knikker van 1 cm, dan kan ik met één enkele gestrekte keten een afstand overbruggen van het centrum van Eindhoven tot in Veldhoven. In

werkelijkheid zullen de eenheden onderling wanordelijk willen bewegen, wat voor die keten van vele kilometers resulteert in een veel meer bolvormige, spaghetti-achtige en bijna niet te ontwarren kluwen die gemakkelijk in de aula van de Technische Universiteit Eindhoven blijkt te passen. Je kunt je voorstellen wat voor een hoogvisceuze en blijvend vervormbare materie kan ontstaan wanneer een groot aantal van dit soort ketenmoleculen met elkaar verknoot raakt.

Geschiedenis van polymeren

De eerste kunststoffen, zoals celluloid en bakeliet, werden al in de 19^e of in het begin van de 20^e eeuw ontdekt. De ontdekking van polyetheen in 1933, en rond dezelfde tijd van nog enkele andere polymeren, markeert het begin van een spectaculaire ontwikkeling waarin polymeren als erkende materiaalklasse ontstaan, en tot geheel nieuwe materiaaltoepassingen



gaan leiden. Maar materialen opgebouwd uit ketenmoleculen zijn eigenlijk bijna zo oud als de wereld. De natuur gebruikt ketenmoleculen als bouwsteen voor het leven, zowel in het menselijk en dierlijk lichaam als in alle plantaardige gewassen. De natuur rijgt daarbij zelf de ketens, vooral met koolstofatomen die in kooldioxide, het bekende CO_2 , één voor één aan de aardse atmosfeer onttrokken worden. Onze voorouders hebben duizenden jaren natuurlijke polymeren producten, van plantaardige gewassen en van dieren, gebruikt in

het dagelijks leven: als houten wapens en constructiematerialen, als kleding van vlas, zijde of wol, als afdichtende lijm in handels- en oorlogsschepen, of als onderdeel van papier om onze kennis op vast te leggen.

Vanaf de industriële revolutie, rond het jaar 1800, krijgen metalen 'even' zwaar de overhand, maar een paar decennia na de introductie rond 1930 van synthetische polymeren, keert de trend alweer om. De grondstof is dan dezelfde natuurlijke bron; alleen is deze bron miljoenen jaren geleden ontstaan, en nu pas voor ons beschikbaar gekomen via de winning van aardolie en via petrochemische processen. In aantallen kubieke meters per jaar is het aandeel van synthetische polymeren wereldwijd inmiddels al even groot als dat van staal, en de toename blijkt nog steeds exponentieel. Daarnaast nemen de laatste jaren de mogelijkheden van polymeren voor andere dan structurele toepassingen spectaculair toe, bv. voor slimme optica, nieuwe displays, en energieconversie. Wat is hierin de rol van de wetenschap?

Synthetische polymeren waren in 1933 nog een vrij onbekende materiaalklasse. Dit gebrek aan kennis gold ook in wetenschappelijke zin. Om maar iets ter vergelijking te noemen: in 1933 hadden natuurkundigen het neutron in de kern van atomen al ontdekt. Maar toen slechts elf jaar eerder de Duitse hoogleraar Staudinger postuleerde dat de kunststoffen en natuurlijke materialen zijn opgebouwd uit lange macromoleculaire

ketens (miljoenen malen groter dan een kern!), werd hij publiekelijk uitgelachen. De fundamentele fysica en chemie hebben hier echter een inhaalslag gemaakt, en belangrijk bijgedragen aan de ontwikkeling van de moderne polymeerwetenschap en -technologie.

Moderne ontwikkelingen

Van polymeren naar hoogwaardige kunststoffen. Het eenvoudige polyetheen is in bijna dezelfde atoomsamenstelling verkrijgbaar als dunne folie, maar ook als de supersterke vezel Dyneema, een Nederlandse vinding: bij gelijk gewicht vele malen stijver en sterker dan een stalen vezel. Belangrijk voor deze spreiding in eigenschappen blijkt vooral de variatie aan mogelijkheden te zijn waarop de ketens in het materiaal geordend kunnen worden: van een wanordelijke kluwen tot een bundel hoog-verstreckte of regelmatig gevouwen ketens. En intussen zijn naast polyetheen talloze andere, veel complexere polymeren gerealiseerd, met nog oneindig veel meer mogelijkheden aan microstructuren en materiaaleigenschappen. Deze materialen zijn dankzij hun hoogwaardige eigenschappen, hun lichte gewicht (koolstof heeft nu eenmaal een veel lichtere kern dan ijzer!), en de mogelijkheden van snelle fabricage vanuit een vloeistoffase, niet meer weg te denken in onze technologische maatschappij. De natuurkunde probeert hier te begrijpen wat de relatie is tussen de fundamentele verschijnselen op de kleine lengteschalen, de resulterende structuur, en de uitzonderlijke mechanische, maar bijvoorbeeld ook nieuwe optische eigenschappen. Verderop in dit themanummer geven Alexey Lyulin en Leo van IJzendoorn hiervan voorbeelden uit onze faculteit.

Electronische en electro-optische polymeren

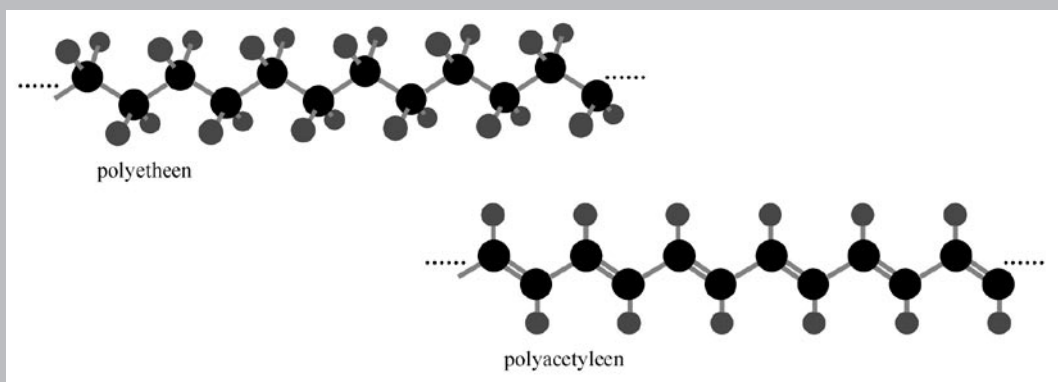
Sinds een ontdekking in 1977 weten we dat

polymeren met een bepaalde elektronische structuur - zogeheten geconjugeerde polymeren - elektrisch geleidend kunnen zijn. Het prototype van een geconjugerd polymeer is poly-acetyleen. Het lijkt erg op het al genoemde polyetheen; maar dat laatste dankte nu juist, na zijn toevallige ontdekking in 1933, zijn snelle doorbraak aan het goede isolerend vermogen in radartoepassingen tijdens de Tweede Wereldoorlog.

Het essentiële verschil in de geleidende structuur is de afwisseling van de enkele en dubbele paren bindingselektronen tussen opvolgende koolstofatomen - hier afgebeeld met enkele en dubbele streepjes. Die geleiding maakt spectaculaire nieuwe toepassingen mogelijk. Nog opwindender werd het, toen rond 1990 werd ontdekt dat zulke polymeren onder een lage spanning ook licht kunnen uitzenden. Veel onderzoekers van universiteiten en bedrijven werken op dit moment aan een toekomst - volgens sommige goeroe's zelfs een technologische revolutie - van plastic elektronica en flexibele elektro-optica. Peter Bobbert en Reinder Coehoorn gaan dieper in op zowel de fundamentele als de industriële interesses.

Bio-inspiratie en nanotechnologie

Naast de chemische structuur is zoals gezegd de organisatie van de ingewikkelde, grote moleculen op nanometer- tot

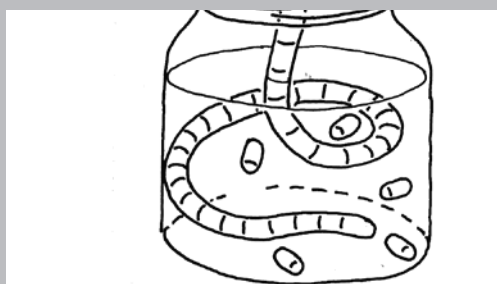


micrometerschaal de sleutel tot de grote mogelijkheden in eigenschappen. In een 'top-down'-benadering proberen we die organisatie op te leggen door uitwendige krachten. De laatste jaren is er veel belangstelling gekomen voor wat de natuurkunde spontaan al mogelijk maakt: zelforganisatie onder invloed van moleculaire of colloïdale wisselwerking en thermische energie. Bij verknoopte polymeren blijkt de ketenlengte een praktisch probleem om evenwicht te bereiken, maar bij kortere

op de TU/e met vier faculteiten (BMT, N, ST en W) en inmiddels al tien leerstoelen nauw samenwerken binnen de zogeheten Eindhoven Polymer Laboratories (EPL), in een 'chain of knowledge' of kennisketen van monomeer tot eindproduct. Toen de overheid in de negentiger jaren een nationaal technologisch topinstituut wilde oprichten op dit voor de BV Nederland belangrijke gebied, was Eindhoven als vestigingsplaats dan ook logisch. In het 'virtuele' Dutch Polymer Institute wordt door zo'n 150 academische onderzoekers (waarvan bijna de helft binnen de TU/e) in nauwe samenwerking met ongeveer 20 internationale industrieën en instituten (waaronder Philips, Shell, DSM en Ocê, maar bijvoorbeeld ook ECN en TNO) fundamenteel onderzoek gedaan, op strategisch gekozen gebieden van nieuwe technologie. Inmiddels wordt de stap gemaakt naar Europees topinstituut.

patronen te ontdekken. Dit heeft de faculteit geïnspireerd om vijf jaar geleden een onderzoeksgroep Polymeerfysica (PFY) op te richten. Recent is daar voor moleculaire materialen en nanostructuren de groep M2N bijgekomen. Ook in andere groepen heeft de faculteit bijzondere expertise in huis om aan polymeren te kunnen werken. De groep Polymeerfysica concentreert zich op de genoemde driehoeksrelatie, en kijkt daar naar toepassingen in de electro-optische wereld en in de wereld van

zelforganisatie en biopolymeren. Daarbij wordt de noodzakelijke aandacht voor mechanische eigenschappen niet vergeten. Veel onderzoeksprojecten, ook met stagiairs en afstudeerders, worden uitgevoerd als onderdeel van de beschreven 'chain of knowledge' met andere groepen van fysici, chemici en materiaalkundigen, inclusief de industriële partners van DPI. Artikelen elders in dit nummer geven daar een meer gedetailleerde indruk van.



ketens van organische moleculen en bij andere zachte materie ontstaat er een rijk scala aan evenwichtsstructuren. De Natuur beheerst dit, en hier ligt een rijke bron van inspiratie. De trend is nu om met relatief korte moleculen de natuur na te bootsen en hierarchieën van structuren te maken met bijzondere eigenschappen. Als we dit begrijpen hebben we een belangrijke sleutel tot nieuwe nano- en biogerelateerde technologie, zoals verderop geïllustreerd wordt door Paul van der Schoot.

EPL en DPI

Alle opwindende mogelijkheden van nieuwe wetenschap en nieuwe technologie in dit vakgebied hebben er toe geleid dat we

Technische Natuurkunde en Polymeer-fysica

Terug nu naar het begin. Het is duidelijk dat onze faculteit in dit spectaculaire onderzoeksgebied niet wil en mag ontbreken. De belangrijke rol van technische natuurkunde is zowel het 'begrijpen', als het 'maken' vanuit dat begrip. Daarbij gaat het allereerst om een driehoeksrelatie tussen de microstructuur (elektronisch en moleculair) op de kleine lengteschalen, de dynamica van de ordening in zulke structuren, en de fysische eigenschappen. Daarnaast om het gebruik van het 'functionele' materiaal in nieuwe toepassingen, zoals flexibele displays, organische zonnecellen en slimme optica. Door de opbouw van deze bijzondere klasse van materialen is dit een verhaal van vele gekoppelde lengte- en tijdschalen, en juist de natuurkunde is er de laatste jaren in geslaagd hier generieke mechanismen en



Prototype van een polymeren zonnecel, ontwikkeld door de TU/e in samenwerking met de RuG en ECN. De potjes om de zonnecel heen bevatten de polymeren die in de actieve laag van de zonnecel worden gebruikt.

Computer simulation of polymers

by Dr. Alexey Lyulin

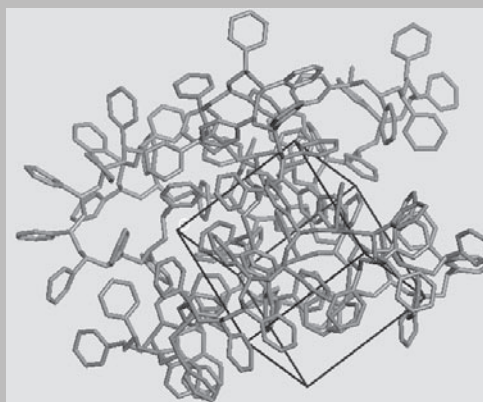
So, what is a polymer and why do we need to simulate it at all? A polymer is a large molecule, often containing many thousands of small monomers joined together chemically to form one giant macromolecule. Polymers have their own characteristic phenomena such as very complex structure, slow relaxation, many length and time scales. Our work involves large scale computer simulations of polymers using molecular dynamics (MD) simulation technique to study their structure and segmental mobility from the first principles in order to give an insight to other, "higher-level" approaches to the polymer research. In MD, successive configurations of the system are generated by integrating Newton's classical laws of motion. The result is a phase trajectory that specifies how the positions and velocities of the particles in the system (different atoms or segments of a polymer chain) vary with time.

Our simulation is mainly concentrated on the study of the amorphous polymers in the glassy state. Why is it important? It is mainly because the glassy state of matter and the glass transition itself are still great, unsolved problems in condensed matter physics. The glass transition in amorphous polymers is pretty much what it sounds like.

There is a certain temperature (different for each polymer) called the glass transition temperature, or T_g for short. When the polymer is cooled below this temperature, it becomes hard and brittle, like glass. Some polymers are used above their glass transition temperatures, and some are used below. Hard plastics like polystyrene and poly(methyl methacrylate), are used below their glass transition temperatures; that is in their glassy state. Their T_g 's are well above room temperature, both at around 100°C. Glassy amorphous polymers are practically relevant due to their unique properties. Polystyrene and polycarbonate are by far the most important examples. Polystyrene is an inexpensive and hard plastic. The outside housing of your personal computer, model cars and airplanes are made from polystyrene, and it is also made in the form of foam packaging and insulation. Polycarbonate is a clear plastic used to make compact discs, shatterproof windows, lightweight eyeglass lenses, and other items. Plastic deformation of amorphous polymers in the glassy state controls such important properties as ductility, toughness and impact resistance.

The spectrum of the relaxation times, involved in the dynamics of a polymer chain is quite broad – from the fast local

rearrangements of only few femtoseconds to very slow collective motions of seconds or even hours. It is important to stress that the global motion of a polymer chain in the condensed state can hardly be investigated by detailed atomistic simulation, but the intention of our research is the opposite limit – we are interested in the local segmental mobility (the scale of only few chain monomers). This kind of local dynamics is very important both from the experimental point of view (interpretation of the dielectric and NMR spectroscopy

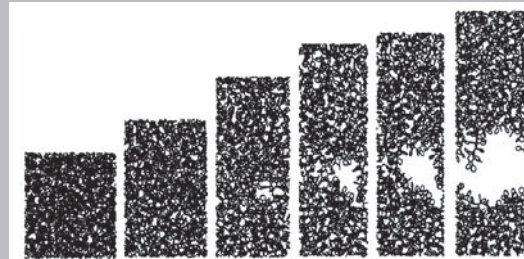


Conformation of a single polystyrene chain in a simulation box with periodic boundary conditions

results) and the theoretical point of view (checking, for example, the validity of the modern theories of the glass transition), and is clearly within reach of current MD.

The glass transition involves a dramatic slow down in the motion of chain segments, whereas one can hardly see any accompanying change in the static structure. No general, unified analytical theory of this phenomenon is available yet. In our group we are trying to connect the collective dynamical processes in polymers with the slowing down of mobility in polymer glasses, to the changes in the distribution of polymer free volume and to

the changes in ductility upon changing the chemical structure, using a more detailed level of description compared to previous studies. Detailed and realistic atomistic

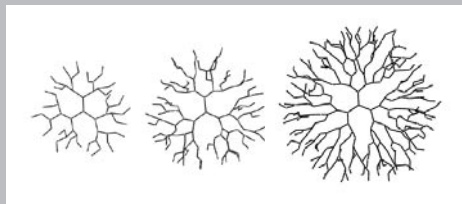


Simulation of the crack formation in an initially isotropic sample of a polystyrene glass under the influence of the uniaxial mechanical deformation

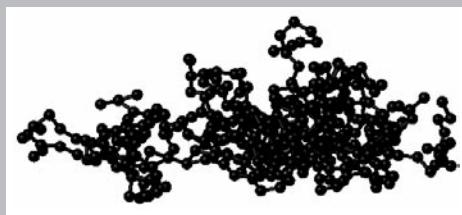
molecular dynamics computer simulation is the only possible theoretical instrument that can handle the problem of linking the dynamical properties of polymers with their chemical structure.

Molecular structural control has provided a wealth of new polymer properties in recent decades. In our group a computer simulation of hyperbranched polymers in a dilute solution is in progress. Since the 1980's, highly branched dendrimer and hyperbranched polymers (HP's) have generated increasing interest as the search for new polymer properties intensifies. In general, these molecules possess a recursively branched, tree-like structure. In a dendrimer, repeat units are concentrically layered around a focal core to create a unique structure for a given degree of polymerisation, N . A layer within a dendrimer is also called a generation. The degree of branching (DB) is defined such that for a dendrimer DB is 1 (completely branched) and for a linear polymer DB is 0. The DB of HP's lies between 0 and 1, higher values of DB indicating a more compact structure.

Dendrimers' compact structure leads to remarkable properties. For a given N, low solution viscosities are measured for dendrimers relative to their linear counterparts and dendrimer intrinsic viscosities are observed to reach a maximum and decrease with increasing generation number which earmarks them as viscosity modifiers. They can be also used as molecular cages for the direct transport



The structures of three hyperbranched molecules with different degree of branching and number of generations



Deformation of a dendritic molecule in a hydrodynamic shear flow

of different compounds such as drugs and DNA.

Not surprisingly, dendrimers are expensive to synthesize due to the requisite number of protection/deprotection steps required within their fabrication. Relaxing these controlled chemistry protocols allows the creation of HPs from a one-pot synthesis. These reactions are more cost-effective than dendrimer synthesis and adapt well to large-scale production but offer a final product that is doubly polydisperse in N and DB. A key question surrounding the use of HPs is the extent to which they are able to mimic desired dendrimer properties. Both the structural and dynamical properties of such molecules in a dilute solution are simulated in our group. The main goal of our research is to investigate the structure of a hyperbranched molecule under the influence of different kinds of intramolecular interactions – excluded volume, solvent quality and Coulombic interactions.

We hope that this short note helps you to understand the relevance of polymer physics and chemistry in everyday life. The graduate students in our group are involved in different scientific projects and benefit a lot from the collaboration with other polymer research groups (at San Diego University in USA and Moscow State University in Russia).

DUTCH POLYMER INSTITUTE DPI

Wie

Nederlands Technologisch Top Instituut op het gebied van polymeren

Met wie

Nationale en internationale kennisinstellingen:

Technische Universiteiten van Eindhoven, Delft, Twente; Universiteiten van Amsterdam, Groningen, Leiden, Nijmegen, Utrecht, Landbouwwuniversiteit Wageningen; ATO, ECN, TNO, Dubble/NWO; Athene (GR), Universiteiten van Hamburg (D), Leeds (UK), Milaan (I), Queen Mary Londen (UK), Stellenbosch (SA).

Nationale en internationale bedrijven

Akzo - Analytik Jena - Avantium - Avery Dennison - Basell - Chemspeed - Dow - DSM - ECN - GE Plastics - Kraton - Microdrop - NTI - Océ - Philips - Sabic - SEP - Shell - Teijin - TNO.

Wat

Unieke formules waarbij bedrijven en universiteiten en overheid gezamenlijk investeren in lange termijn research.

DPI doet exploratieve research op het gebied van
bulkplastics (polyolefins)
coatings
engineering plastics
functionele polymeren
high-throughput experimentation
rubber

Hoe

Integratie van multidisciplinaire knowhow aanwezig bij kennisinstellingen, met lange termijndoelstellingen van bedrijven gericht op innovatie op het gebied van polymeren.

Met wat

Deelnemende bedrijven (25%), participerende kennisinstellingen (25%), Ministerie van Economische Zaken (50%).

Voor wie

Voor de participerende bedrijven en kennisinstellingen. Spin-off voor industriële bedrijven die actief zijn op het gebied van polymeren.

Werken bij DPI

DPI is voortdurend op zoek naar *toponderzoekers* die kunnen werken aan DPI programma's.

Contact

Dutch Polymer Institute
Gebouw Kennispoort (TU/e terrein)
Eindhoven
www.polymers.nl

Optica en elektronica van polymeren

door prof. dr. P.A. Bobbert

Zowel vanuit een fundamenteel als vanuit een toegepast oogpunt is het onderzoek aan de optica en elektronica van polymeren fascinerend. In het kader van een sabbatical heeft ondergetekende met veel plezier een aantal maanden in het walhalla van dit onderzoeksgebied doorgebracht: het Cavendish laboratorium in Cambridge. In de opto-elektronica groep van Sir (sinds dit jaar, dankzij zijn verdiensten voor de Engelse wetenschap) Prof. Richard Friend werd daar in 1990 bij toeval ontdekt dat een bepaald polymeer (PPV) tussen twee geschikte elektroden onder invloed van een elektrische stroom licht kan uitzenden, een nieuw en totaal onverwacht effect. Men was zich snel bewust van de verregaande technologische mogelijkheden van dit fenomeen en binnen enkele jaren werd het bedrijf Cambridge Display Technologies opgericht, met als doel verdere kennis te verwerven en het polymeer commercieel te maken. Nog steeds wordt er in Cambridge toonaangevend fundamenteel onderzoek op dit gebied gedaan. De uitdaging is nu om zo efficiënt mogelijke licht-emitterende diodes (LEDs) te maken, bij voorkeur met een aanpasbare kleur, en met een stabiliteit die praktisch gebruik mogelijk maakt. Wat betreft de efficiëntie gaat het daarbij om het optimaliseren van vier processen: (1) het

inbrengen in het polymeer van ladingen van tegengesteld teken (elektronen en gaten) via de elektroden, (2) het transport van de ladingen naar de emissiezone in het polymeer, (3) het onderling invangen van de tegengestelde ladingen onder vorming van een zogenaamd exciton (een elektron-gat paar), en (4) het verval van een exciton ("elektron springt in het gat") onder uitzending van een lichtdeeltje (foton), zie figuur 1.

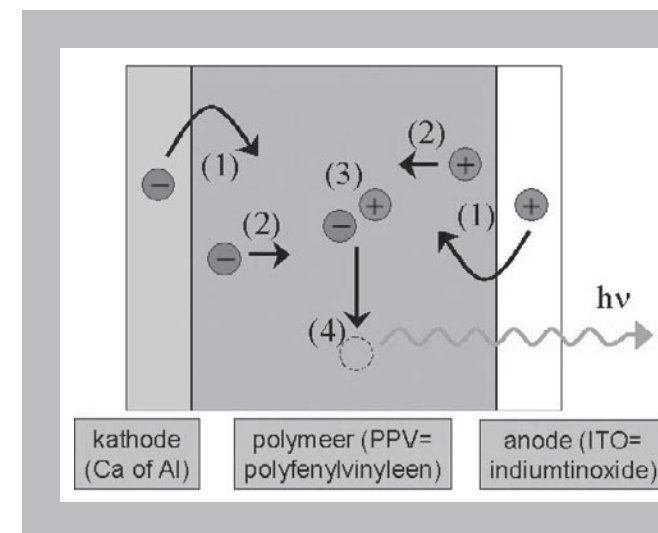
Samen met een medewerker van de opto-elektronica groep, Neil Greenham, heb ik mij tijdens mijn sabbatical bezig gehouden met een nieuw idee, namelijk het gebruik van een blend (mengsel) van twee polymeren, waarbij het ene polymeer, zeg A, een voorkeur heeft voor elektronen en het andere, zeg B, een voorkeur voor gaten. Het blijkt dat zo'n blend bij een relatief lage drempelspanning (~ 2 V, dus aan te drijven met twee standaard batterijen) zeer efficiënt licht produceert. Het geheim is dat het exciton in dit geval aan de grenslaag tussen A en B wordt gevormd (dit heet een exciplex), waarbij het elektron zich voornamelijk in A bevindt en het gat in B. Samen met een medewerker van het Cavendish heb ik tijdens mijn sabbatical een theorie ontwikkeld die de onderlinge invang van elektronen en gaten aan de grenslaag

beschrijft (proces 3). Het probleem is dat de gaten en elektronen aan de grenslaag onder invloed van elkaars Coulomb wisselwerking bewegen (drift), maar ook een wanordelijke beweging (diffusie) uitvoeren. Dit probleem kon worden opgelost via het uitvoeren van Monte Carlo computersimulaties, maar het bleek ook mogelijk te zijn een benaderde analytische oplossing te construeren, gebruik makend van een nogal exotische wiskundige functie. De oplossing kon inderdaad de lage drempelspanning verklaren. Ziedaar in een notendop het gehele traject van fundamentele natuurkunde, via wiskundige modellering naar de toepassing.

Naast Cambridge Display Technologies is er enkele jaren geleden een ander spin-off bedrijfje voortgekomen uit de opto-elektronica groep dat zich richt op de commerciële mogelijkheden van logische schakelingen gebaseerd op de halfgeleidende eigenschappen van sommige polymeren: Plastic Logic. Dit geeft eens te meer aan hoe soepel de overgang van fundamenteel onderzoek naar commerciële toepassing aan de overkant van de Noordzee verloopt. De manier van werken van de opto-elektronica groep aan het Cavendish vind

ik overigens goed onder woorden gebracht door de hedendaagse Engelse filosoof Roger Scruton: "In science the English character shows itself clearly: sceptical, practical, resourceful, more interested in concrete details than in airy speculation, and reaching for theories only when these are required by the facts" (in zijn boek "England, an elegy"). Hier kunnen we aan deze kant van de Noordzee nog van leren.

Typerend voor de Engelse wetenschap is verder het historische besef en de aandacht voor decorum en traditie. In het Cavendish bevindt zich een tentoonstelling van historische apparatuur en paraferalia, gebruikt door beroemde wetenschappers van het Cavendish zoals Maxwell, Rutherford, Thomson (de ontdekker van het elektron), vader en zoon Bragg (analyse van kristallen met X-rays), Cockroft & Walton (versnellers), Kapitza (superfluiditeit), Watson & Crick (ontdekkers van de structuur van DNA), Ryle (astrofysica), Josephson (de nog steeds levende ontdekker van het naar hem genoemde effect optredend bij het contact tussen twee supergeleiders) en vele anderen. Verder bevinden zich in het Cavendish schilderijen, een buste en foto's



Figuur 1: Werking van een polymeer-LED.

in verschillende levensfasen van Sir Nevill Mott (enkele jaren geleden overleden). Dit is overduidelijk de local hero, ook gezien het feit dat het gebouw waarin ik werkte naar hem vernoemd is. Grappig is het dan te beseffen dat we in de groep Polymeerfysica nog dagelijks bezig zijn met een door Mott ontwikkelde theorie voor geleiding in wanordelijke systemen. En natuurlijk moet ik de Colleges met hun prachtige gebouwen en eeuwen oude tradities noemen. Ik heb het genoeg gehad om deel te nemen aan het diner met de fellows van St. John's College in de statige dining-room, in- en uitgeleid met gebed in het Latijns. Op zo'n moment realiseer je je hoe slordig wij Nederlanders omgaan met het verleden.

Geheel in contrast met deze formele ambiance lijkt de informele sfeer in de opto-elektronica groep, waarin keihard gewerkt wordt, maar waarin ook veel ruimte is voor de sociale dimensie, via de vaste wekelijkse pub-avond, de jaarlijkse ski-trip en spontaan georganiseerde punting-trips op de rivier de Cam, met veel waterpret (zie figuur 2). Verrassend is ook het grote aantal vrouwelijke promovendi in de groep (>50%). Hoe doen ze dat daar?

Na deze lof voor het werk in Cambridge past het om met enige trots te wijzen op het feit dat het eerste commerciële product gebaseerd op lichtgevende polymeren

op de markt is gebracht door ons eigen Nederlandse Philips. Het gaat om een display op de top-of-the-line Philips, de succesvolle "Bond shaver", prominent in beeld gebracht in de laatste James Bond film "Die Another Day". Hiermee heeft Philips de eerste teen in het commerciële water gestoken. Duidelijk is dat meer producten zullen volgen. We kunnen zeggen dat inmiddels is aangetoond dat licht uit polymeren kan concurreren met andere methoden van lichtopwekking. De vraag is nu of de klant overtuigd kan worden van de voordelen. Ook de opstelling van Aziatische elektronica-giganten zoals Sony en Samsung is van groot belang. In een wat vroeger stadium bevindt zich het werk bij Philips aan polymeer-transistoren. De afgelopen jaren zijn hierbij belangrijke doorbraken bereikt. Meer over het werk bij Philips kun je lezen in het stukje van Reinder Coehoorn.

Ook kunnen we trots zijn op het vooraanstaande onderzoek dat in Nederland door verschillende groepen wordt gedaan op het gebied van zonnecellen waarin polymeren een grote rol spelen (in blends met bucky balls). De werking van een zonnecel is ruwweg omgekeerd aan die van een polymeer-LED, dus $4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$, maar andere optimalisatie-problemen spelen nu een rol.

Maar wat doen we nu eigenlijk precies in de groep Polymeerfysica aan deze elektronische polymeren? Op de eerste plaats is onze groep vooral een theoretische groep, dus het meeste werk is theoretisch van aard, met een grote rol voor computerberekeningen. Een gedeelte van het werk wordt in nauwe samenwerking met de industrie gedaan, via het Dutch Polymer Institute (DPI), en in een meer directe samenwerking met andere universitaire groepen en Philips binnen het Prioriteiten Programma Materialen (PPM). Hierbij kijken we naar problemen die een direct technologische belang hebben, zoals een beter begrip van de geleiding van polymeren (hierbij komt de bovengenoemde Mott-theorie om de hoek kijken), de werking van blends van polymeren en kleurstoffen, en de effecten van de vervorming van een polymeermolecuul onder invloed van de aanwezigheid van een elektronische excitatie, zoals een extra lading of een exciton. Deze combinatie van een elektronische excitatie en een vervorming van een medium noemt men wel een polaron. Op het gebied van polaronen blijken er fundamentele vragen te zijn die al sinds tientallen jaren spelen, maar die nog steeds niet naar tevredenheid zijn opgelost. In onderzoek van fundamentele aard proberen we in onze groep antwoorden op deze vragen te geven. Een bijzondere uitdaging is het om bepaalde verschijnselen zonder verdere aannames geheel vanuit de quantummechanica te verklaren. In het geval van de geleiding van organische kristallen (zie figuur 3, het gaat hier om goed gedefinieerde systemen van korte stukjes polymeer, in tegenstelling tot de spaghetti-achtige wanordelijke systemen gevormd door de gebruikelijke lange polymeermoleculen) lijken we hierin behoorlijk te slagen. Zware computerberekeningen zijn hierbij noodzakelijk. Een afstudeerder, nu werkzaam bij Philips Research, heeft baanbrekend werk op dit gebied verricht. Dit is een goed voorbeeld van hoe studenten

in onze groep een grote rol spelen bij het opzetten van nieuwe onderzoeklijnen. Een nieuwe onderzoeklijn die we graag zouden willen ontwikkelen is de theoretische modellering van de complete werking van polymeer-devices, met alle processen die daarbij van belang zijn. In het geval van een polymeer-LED gaat het dan om een combinatie van de processen weergegeven in figuur 1. Hiermee proberen we dan een volledig beeld, van de microscopie tot de macroscopie, te krijgen van de werking van deze devices.

Figuur 2: Punten op de rivier de Cam. Ondergetekende is rechtsonder te zien, naast de wetenschappelijk directeur van Plastic Logic, Henning Sirringhaus.



Figuur 3: Groei van het organische kristal a-sexithiofeen. Verschillende één-kristallen (sommige overlappend) zijn duidelijk te zien. Opname gemaakt met gepolariseerd licht.

Polymere in flexibele beeldschermen en geïntegreerde circuits

door prof. dr. Reinder Coehoorn

Flexibel, dun, licht, goedkoop, en last but not least: een briljante kleurweergave, een mooi beeld onder iedere kijkhoek en een hoge videobeeldfrequentie. Intensief onderzoek in het Philips Natuurkundig Laboratorium aan beeldschermen die zijn gebaseerd op polymeren licht-emitterende diodes (poly-LEDs) is er op gericht om deze combinatie van eigenschappen, de 'Heilige Graal' in het onderzoek aan beeldschermen, te verwezenlijken. Sinds de uitvinding van poly-LEDs in 1990 in Cambridge (zie de bijdrage van Peter Bobbert) werkt een groot aantal bedrijven en academische groepen hieraan. Philips heeft, in juni 2002, als eerste een commercieel product op de markt gebracht, namelijk een topmodel scheerapparaat met een monochroom gesegmenteerd poly-LED beeldscherm (zie figuur 1). Over het onderzoek naar het maken en functioneren van poly-LEDs later meer.

Een tweede belangrijk toepassingveld van polymeren halfgeleiders is dat van de polymeren elektronica. In een polymeren veldeffecttransistor kan de stroom tussen twee geleidende contacten ('source', geard, en 'drain'), waartussen een halfgeleidend polymeer is aangebracht, worden gemoduleerd door het aanbrengen van een

spanning op een derde contact ('gate') dat zich onder de polymeerlaag bevindt. Zonder spanning op het gate-contact is de dichtheid van ladingsdragers in het polymeer klein, en is de source-drain stroom klein ('uit'-toestand). Een voldoende hoge spanning op het gate-contact zorgt voor aantrekking van ladingsdragers uit de source en/of drain contacten. Daardoor treedt 'accumulatie' op: de ladingsdragersdichtheid in het polymeer



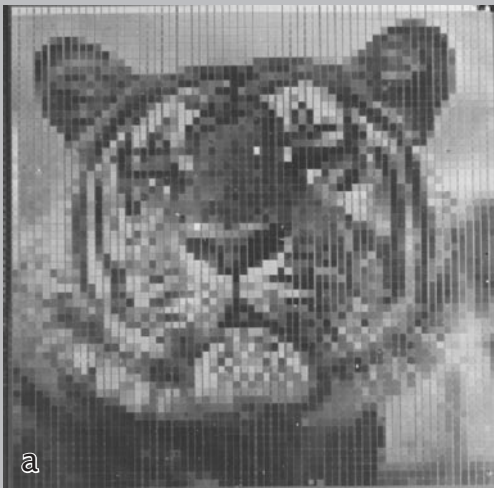
Figuur 1: Een monochroom gesegmenteerd poly-LED beeldscherm, dat op een Philips scheerapparaat wordt gebruikt als indicator voor de status van de batterij. Dit is het eerste commerciële poly-LED product voor de consumentenmarkt (juni 2002).

is nu hoog, zodat ook de geleidbaarheid hoog is ('aan'-toestand). Polymeren elektronica, waarbij een groot aantal transistoren is gecombineerd tot geïntegreerde circuits, kan worden gebruikt om de beeldpunten (pixels) in beeldschermen aan te sturen (zie figuur 2a, *zoz.*). De huidige polymeren transistoren zijn weliswaar veel langzamer dan op conventionele siliciumtechnologie gebaseerde transistoren, maar een interessant voordeel is de flexibiliteit (zie figuur 2b, *zoz.*). Ook in dit gebied loopt Philips Research voorop.

De polymeren halfgeleiders die in bovengenoemde toepassingen worden gebruikt zijn oplosbaar in organische oplosmiddelen. Dat maakt het mogelijk om relatief goedkope fabricageprocessen te gebruiken, zoals spin-coating: het aanbrengen van een dunne laag door de oplossing te verspuiten op een draaiend substraat, waarna vervolgens het oplosmiddel verdampt. Zowel in een poly-LED als in een polymeren transistor is de dikte van de polymeerlaag typisch 100 nm. Voor het maken van kleurenbeeldschermen, met rode, groene en blauwe beeldpunten, kan met een inkjet printer een oplossing in de vorm van micrometerschaal druppeltjes zeer lokaal worden gedeponeerd. Zo kunnen snel en precies grote oppervlakken worden

bedekt. Ook dunne lagen die bestaan uit bepaalde kleine organische moleculen zijn interessant voor (opto)elektronische toepassingen. Het fabriceren van lagen van deze kleine moleculen met het spin-coatproces leidt echter niet in alle gevallen tot goed werkende LEDs of transistoren. In dat geval worden vaak relatief dure vacuümdepositiemethoden gebruikt, zoals opdampen.

Het onderzoek in het Philips Natuurkundig Laboratorium aan poly-LEDs en polymeren transistoren vindt plaats in nauwe samenwerking met de TU/e en vele andere universiteiten. Het is zeer interdisciplinair. Chemici dragen bij door hun expertise op het gebied van het synthetiseren en karakteriseren van nieuwe materialen met interessante optische en elektrische eigenschappen. Fysici onderzoeken met fascinatie het ladingstransport en het soms complexe samenspel van elektronen- en gatenstromen met het fotogeneratieproces. Door de wanordelijke structuur van de polymeerketens is de fysica van het ladingstransport in vele opzichten totaal anders dan dat door conventionele, anorganische kristallijne halfgeleiders zoals Silicium of Gallium-Arsenide.



Figuur 2: (a) Een vloeibaar-kristal beeldscherm, opgebouwd uit 64×64 pixels die worden aangedreven door 4096 dunne-film polymere transistoren. Het aantal grijschalen is 256. Het beeld wordt ververs met een frequentie van 50 Hz. (b) Een 150-mm substraatfolie met daarop geheel uit polymeren opgebouwde transistoren en geïntegreerde circuits.



Als onderzoeker in het Philips Natuurkundig Laboratorium en als deeltijdhoogleraar 'Fysica en Applicatie van Nanostructuren' aan de TU/e ben ik nauw betrokken bij verschillende samenwerkingen. Promovendi in de groep Polymeerfysica (prof. dr. Thijs Michels en dr. Peter Bobbert) en groepen in Nijmegen en Twente, werken, in samenwerking met Philips Research, aan het theoretisch begrip van het ladingstransport in halfgeleidende polymeren, en aan het grensvlak tussen de metallische elektrodelagen en het polymeer. Het 'gereedschap' in dit onderzoek wordt gevormd door een pakket van state-of-the-art programma's voor het berekenen van de energie van elektronen of gaten, of van elektron-gatparen (excitonen). In het kader van het Dutch Polymer Institute (DPI) werken diverse TU/e groepen en groepen van andere Nederlandse universiteiten zowel experimenteel als theoretisch aan voor toepassingen belangrijke aspecten van polymere elektronische devices. Philips is, als industriële partner, 'afnemer' van de in het kader van het DPI opgebouwde kennis.

Vele uitdagende fundamentele vragen zijn tot nu toe niet of onvoldoende beantwoord en zijn het onderwerp van onderzoek aan universiteiten. Voor een poly-LED is het bijvoorbeeld van groot belang te begrijpen wat de precieze structuur en chemische samenstelling is bij de elektrodes en in hoeverre die bepalend zijn voor het gemak waarmee elektronen en gaten kunnen worden geïnjecteerd. Voorts speelt in een poly-LED de spin van de excitonen een belangrijke rol. Alleen excitonen met spin 0 ('singlet excitonen') vervallen efficiënt tot een foton. Excitonen met spin 1 ('triplet excitonen') kunnen niet stralend vervallen, omdat de spin daarbij niet behouden zou zijn. Statistisch gesproken zou slechts 25 % van de excitonen een singlet exciton zijn, waardoor de lichtefficiëntie alleen al

om deze reden nooit meer dan 25 % zou kunnen zijn. Er zijn echter experimentele aanwijzingen dat in polymeren de kans op een singlet vaak veel groter is dan 25 %. Een grotere singletkans leidt tot een hogere efficiëntie en daarmee ook een tot langere levensduur. Dit experimentele onderzoek en de daardoor geïnspireerde theoretische beschouwingen zijn echter nog controversieel. Meer uitgebreide experimenten aan voor toepassingen relevante systemen en nieuw fundamenteel begrip zijn nodig.

Het onderzoeksgebied 'organische elektronica', (opto)elektronica gebaseerd op organische moleculen, is eigenlijk nog maar circa 15 jaar oud. Het begint nu de eerste producten op te leveren. Ik verwacht dat het vakgebied pas aan het begin staat van een stormachtige ontwikkeling. Voorbeelden van andere (mogelijke) toepassingen zijn:

- Organische LEDs voor verlichtingstoepassingen.
- Polymere zonnecellen. Hierin vindt het omgekeerde proces plaats: licht wordt omgezet in elektrisch vermogen.
- Organische transistoren met een geheugenfunctie.
- Organische transistoren als chemische sensoren. Het gebruik van verschillende organische halfgeleiders op een chip, ieder met een verschillende gevoeligheid van de transistorkarakteristiek voor de aanwezigheid van bepaalde gassen, kan dan leiden tot een sensor die complexe geuren kan onderscheiden, een 'elektronische neus'.

In de huidige polymeren LEDs en transistoren bedekt een halfgeleidende laag van organische moleculen een gebied op de chip met een oppervlakte van de orde van minstens een 100 mm^2 , en soms veel meer. In de toekomst zal het gebruik van nieuwe depositiemethoden, lithografische methoden op een nanometerschaal, nano-

manipulatietechnieken en het toepassen van zelforganisatieprocessen wellicht leiden tot organische elektronica waarin nanometerschaal elementen (tot een enkele polymeerketen of zelfs een enkel klein molecuul), een schakel-of geheugenfunctie vervullen. In de nieuwe groep 'Molecular Materials and Nanosystems' (zie Koerier 4, 2003, p. 18-22), die zich richt op deze fascinerende uitdagingen, zal ik bijdragen aan het opbouwen van een programma dat, indien succesvol, Philips wellicht weer nieuwe mogelijkheden biedt voor toepassingen.

Reinder Coehoorn, Philips Research Laboratories en TU/e, tel. 2742693.

Polymere manipuleren met licht

door dr. Leo van IJendoorn

Het gebruik van polymeren in optische componenten speelt een steeds grotere rol in ons dagelijks leven.

Toepassingen variëren van polarisatiefilters in zonnebrillen en in vloeibaar kristallijne beeldschermen tot aan actieve optisch emitterende polymeren in beeldschermen. De ontwikkelingen in het onderzoek zijn enerzijds gericht op het functionaliseren van polymeren maar anderzijds ook gericht op het maken van materialen met modulaties in de brekingsindex. Deze kunnen dan weer dienst doen als bouwstenen voor actieve of passieve optische componenten. Je kunt daarbij denken aan tralies, reflectiefilters, diffusors of zelfs fotonische kristallen.

Het is buitengewoon aantrekkelijk als een variatie in de brekingsindex (of in de optische weglengte) in polymeren kan worden gecreëerd direct tijdens het polymerisatieproces. Dit is te realiseren wanneer gebruik gemaakt wordt van een uitgekende combinatie van acrylaat monomeren die zelf een verschil in brekingsindex hebben. Een modulatie van de concentratie van de monomeren in de uiteindelijk gepolymeriseerde film, zorgt dan rechtstreeks voor een modulatie in de brekingsindex. Tijdens de polymerisatiereactie die wordt geïnduceerd

met licht vindt dus een (zelf)organisatie plaats waarbij de monomeren migreren in de reagerende film.

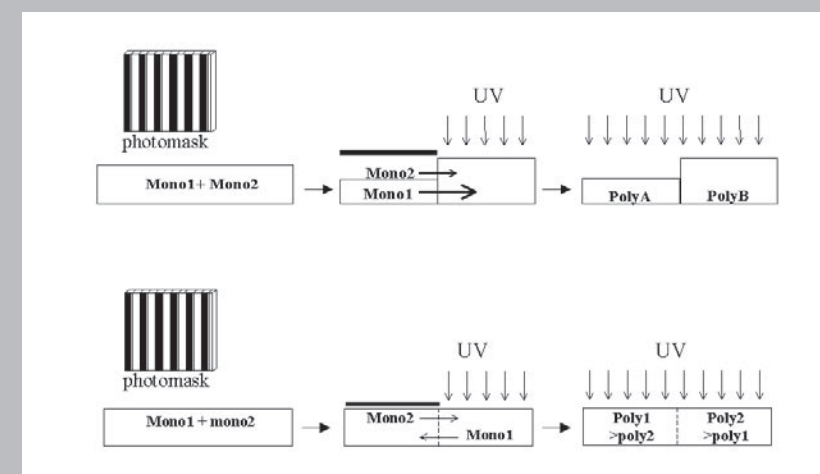
In de groep TIB (toepassingen van ionenbundels) sinds kort vallend onder FTV (Fysica en Toepassingen van Versnellers, zie Koerier 6, p6-13, juli 2003) wordt al enige jaren in samenwerking met Philips en de groep Polymeer Technologie van de faculteit Scheikundige Technologie onderzoek gedaan naar de fysische mechanismen achter de migratieprocessen die optreden tijdens fotopolymerisatie. Christian Lewis is er tijdens zijn promotie-onderzoek in geslaagd om een model te ontwikkelen dat de migratieprocessen beschrijft. Op basis van dit model kunnen we nu fysische parameters van de gebruikte monomeren gebruiken om de variatie in brekingsindex te voorspellen. Momenteel loopt er onder de vlag van het DPI (Dutch Polymer Institute) een vervolgonderzoek waarin fasescheiding tussen reagerende monomeren en vloeibaar kristallijne moleculen wordt onderzocht.

Het onderzoek naar de migratieprocessen wordt zowel d.m.v. experimenteren als d.m.v. het ontwikkelen van modellen uitgevoerd. In de experimenten worden direct optische componenten gemaakt. Een heel illustratief voorbeeld is het maken

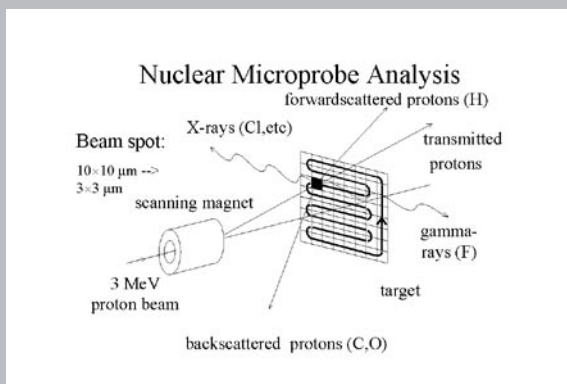
van een tralie (figuur 1). In dit experiment wordt een mengsel van twee verschillende acrylaat monomeren met UV belicht door een masker. Dit heeft tot gevolg dat de polymerisatiereactie start in de belichte gebieden. Er zijn nu twee situaties te onderscheiden. Wanneer lineaire (niet vertakte) polymeerketens worden gevormd zwelt de polymeer op en gaat fungeren als een soort spons, monomeren worden aangezogen en er ontstaan dikteverschillen in de film tussen de belichte en onbelichte gebieden. Indien een vertakte ("cross-linked") polymeer wordt gevormd treedt er geen zwelling op en is het vooral het verschil in reactiviteit tussen de monomeren die lokaal een deletie van één van de twee componenten veroorzaakt waardoor concentratiegradiënten ontstaan en diffusie gaat optreden. In alle gevallen wordt de belichting door een masker gevolgd door een uniforme belichting over de film om (nagenoeg) alle monomeren om te zetten in polymeerketens waarmee een rigide film wordt verkregen.

De acrylaat monomeren kunnen verschillen in reactiviteit (methacrylaten vs. acrylaten en/of monoacrylaten met één reagerende groep vs di-acrylaten met twee reagerende groepen), in polariseerbaarheid en dipoolmoment (leidend tot verschillende intermoleculaire interacties) en ook in fysieke grootte. De mobiliteit in het reagerende mengsel wordt vervolgens bepaald door de concentratieafhankelijke diffusiecoëfficiënt en de vertakking en rigiditeit van de polymeer die ontstaat tijdens de reactie. Door nu experimenten te doen met verschillende combinaties van acrylaten en te variëren met de tralieconstante (diffusielengte), de temperatuur, de belichtingstijd en de UV intensiteit wordt geprobeerd om dit complexe proces te ontrafelen.

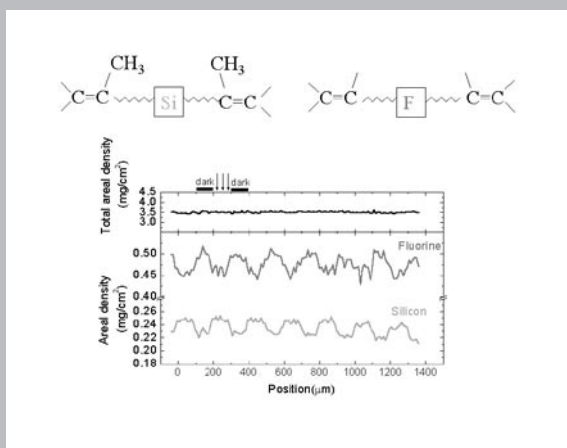
Een elegante manier om de uiteindelijke concentratiegradiënten in de polymeerfilms te meten is het gebruik van nucleaire analyse technieken. Hiertoe worden de reagerende acrylaat-monomeren gemerkt met een fluor, silicium, chloor, of broom



Figuur 1: Migratie van monomeren na belichten door een masker. Bovenste helft: opzwellen tijdens polymerisatie. Onderste helft: cross-linking voorkomt opzwellen met als gevolg migratie in twee tegenovergestelde richtingen.



Figuur 2: Schematische weergave van een ionenbundel-analyse experiment.



Figuur 3: Ionenbundelanalyse van een tralie. De bovenste lijn geeft de totale oppervlaktedichtheid (direct evenredig met laagdikte) gemeten uit de flux aan voorwaarts verstrooide ionen. Het silicium en het fluor zijn respectievelijk gemeten met proton geïnduceerde Röntgen emissie en proton geïnduceerde gamma emissie.

atoom. De aanwezigheid van deze atomen kan worden gemeten met technieken als nucleaire reactie analyse, PIXE (particle induced X-ray emission) of ionenverstrooiing. Met behulp van een gefocuseerde bundel kan op deze manier als functie van de positie zowel de concentratie van de monomeren als oppervlaktedichtheid (bij constante dichtheid direct gerelateerd aan de laagdikte van de film) worden gemeten (figuur 2). Deze kwantitatieve informatie is heel moeilijk op andere wijze te verkrijgen en geeft ons dus een uniek stuk gereedschap in handen om de migratie processen te ontrafelen en te modelleren. Een voorbeeld van zo'n meting is te zien in figuur 3. In deze figuur is een tralie gemaakt uitgaande van een met silicium gemerkt di-methacrylaat en een met fluor gemerkt di-acrylaat. Het reactievere methacrylaat heeft een hogere concentratie in de belichte gebieden terwijl de totale oppervlakte dichtheid (total areal density) en laagdikte constant is over de hele film. Dit laat zien dat bij het gebruik van twee di-acrylaten een fijn vertakt netwerk ontstaat dat niet in staat is om op te zwellen.

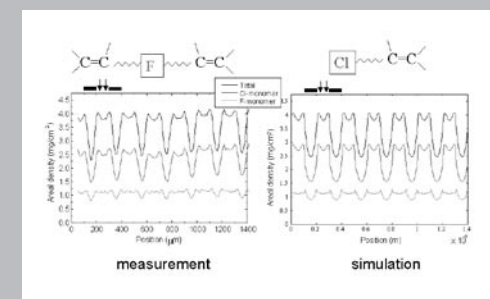
Bij het modelleren van de migratieprocessen is als uitgangspunt de zogenaamde Flory-Huggins theorie gebruikt, die de thermodynamica van polymeer-oplossingen beschrijft. Afhankelijk van de belichtingstijd en de reactiviteit van de oplossing wordt een conversiegraad berekend en deze leidt tot lokale verschillen in de chemische potentiaal. Deze verschillen in chemische potentiaal zijn de drijvende kracht achter de diffusie van de monomeren. Het gebruik

van de chemische potentiaal maakt het mogelijk om naast concentratieverschillen ook de lokale veranderingen van entropie tijdens de vorming van het polymere netwerk mee te nemen als drijvende kracht achter de diffusie. Daarnaast zijn als parameters in het model opgenomen o.a. de reactiviteit van de individuele monomeren, de fysieke grootte van de monomeren, de diffusiecoëfficiënt als functie van de concentratie, de vertakkingsgraad van het netwerk en de oppervlaktetensioning. Deze parameters zijn zoveel mogelijk in aparte experimenten gemeten.

Een model is pas een goed model als het ook een voorspellende waarde heeft. Een mooi voorbeeld van deze voorspellende waarde wordt gegeven in figuur 4. In het geschetste experiment is een met chloor gemerkt mono-acrylaat gemengd met een met fluor gemerkt di-acrylaat. Allereerst valt op dat de totale laagdikte niet constant blijft. Dit is omdat het monoacrylaat geen vertakt polymeernetwerk vormt. In de vloeibare oplossing van monomeren zwelt het gevormde polymeer op in de belichte gebieden en zuigt als een spons monomeren aan waardoor de laag lokaal dikker wordt. Dit wordt op correcte wijze door het model voorspeld. Afgezien van deze dikteverschillen is er ook een fijnstructuur te zien in de laagdikte, de chloor- en fluorconcentratie evenals de totale laagdikte bereikt een maximum telkens aan de randen van de belichte gebieden. Met andere woorden, er wordt geen constante waarde van de concentratie bereikt in de belichte gebieden. Deze fijnstructuur werd door het model voorspeld en bleek in experimenten ook daadwerkelijk aanwezig te zijn. De verklaring is eenvoudig te begrijpen: bij een relatief grote tralieconstante en hoge reactiesnelheid is de migratiesnelheid van de monomeren door de polymeerfilm niet snel genoeg om helemaal door te dringen tot het

midden van de belichte gebieden.

De verbluffende overeenstemming tussen onze metingen en de modelbeschrijving stelt ons nu in staat om steeds meer verschillende polymeerfilms te ontwerpen met een modulatie in brekingsindex of een modulatie in de filmdikte en dat in ieder gewenst patroon. Naast tralies kunnen ook o.a. ook reflectiefilters en diffusors worden gemaakt. We kunnen dus niet alleen maar polymeren manipuleren met licht maar ook licht manipuleren met polymeren!



Figuur 4: Vergelijking van een ionenbundel-analysemeting en een simulatie met het model. Het chloor is gemeten met proton geïnduceerde Röntgen emissie.

Statistische Fysica van Zelforganisatie in Zachte Materie

door Paul van der Schoot

Binnen de internationale natuurkundegemeenschap is de laatste jaren een enorme belangstelling ontstaan voor onderzoek aan wat men wel zachte materie of 'soft matter' noemt, een vakgebied dat heel lang voorbehouden was aan fysisch chemici, polymeerkundigen, chemisch ingenieurs en biochemici, maar nu in rap tempo wordt gekoloniseerd door natuurkundigen. Zachte materie is een verzamelnaam voor een schijnbaar zeer uiteenlopende klasse materialen die, wat hun eigenschappen betreft, instaan tussen de gebruikelijke vaste en vloeibare stoffen. In de regel bestaat deze vorm van gecondenseerde materie uit verschillende soorten deeltjes, die spontaan complexe structuren vormen op lengteschalen van enkele nanometers tot enkele micrometers. Door de vaak slijmerige of wasachtige consistentie van zachte materie wordt het vakgebied dat er zich mee bezighoudt soms ook wel oneerbiedig aangeduid met de term 'sludge science', alhoewel veel collega's toch liever over complexe vloeistoffen praten. De term sludge science (oftewel brijkunde) is overigens afkomstig van prof. Mike Cates, als hoogleraar theoretische natuurkunde verbonden aan de Universiteit van Edinburgh en een van de jongere exponenten uit het vakgebied. Prof. Pierre-

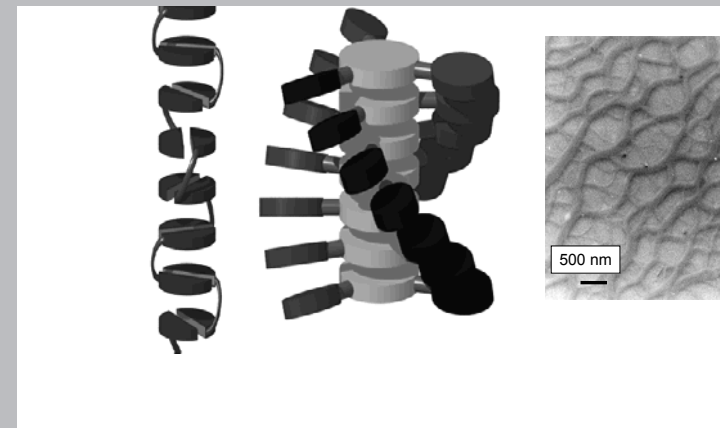
Gilles de Gennes van het Collège de France in Parijs bracht de natuurkunde van zachte materie in een stroomversnelling en ontving hiervoor in 1991 de Nobelprijs voor de natuurkunde.

Zelforganisatie.

Veel zachte materialen bestaan uit één of meer soorten deeltjes in de ordegrrootte van enkele nanometers tot enkele micrometers, verdeeld in een of ander oplosmiddel. De deeltjes kunnen synthetische of natuurlijke polymeren zijn, complexe moleculen van uiteenlopende grootte en structuur, al of niet magnetische anorganische deeltjes, eiwitten, virussen, enzovoorts. Het oplosmiddel, waarin de deeltjes zijn verdeeld, hoeft overigens geen gewone vloeistof te zijn, zoals water of alcohol, maar kan zelf ook al structuur hebben, bijvoorbeeld als het om een vloeibaar kristal gaat. Vloeibare kristallen bestaan uit heel platte of juist heel langwerpige moleculen, waarvan één of meer van de oriëntatie- en translatie-eigenschappen zijn ingevroren. Dergelijke anisotrope vloeistoffen gedragen zich heel anders dan gewone, isotrope vloeistoffen, omdat ze niet in alle richtingen dezelfde eigenschappen hebben. Zoals gezegd is een van de eigenschappen van zachte materialen het vermogen tot zelforganisatie: zonder menselijke tussenkomst vormen

de deeltjes complexe en soms heel erg ongewone structuren. Enkele voorbeelden van structuren zoals die in zachte materie worden aangetroffen zijn in de figuren 1 tot en met 4 weergegeven. Veel meer verbazingwekkende plaatjes zijn te vinden op de internetpagina's van prof. Dave Weitz in Harvard, www.deas.harvard.edu/projects/weitzlab/.

zelforganisatie toegepast om op grote schaal dingen te maken, voort te bewegen, stevigheid te verlenen, enzovoorts, en het zou een enorme vooruitgang betekenen als we dit principe zouden kunnen afkijken en toepassen in een industriële context. Vooral nog zijn toepassingen vooral te vinden in de productie en verwerking van genees- en levensmiddelen, in de biotech-



Figuur 1: Links: twee schematische voorbeelden van gefunctionaliseerde moleculen die kunnen aggregeren in lange, supramoleculaire polymeerdraden. De aggregaten verkeren in een dynamisch evenwicht, waarbij deze voortdurend uit elkaar vallen en weer spontaan gevormd worden. De helische supramoleculaire

aggregaten lijken zeer geschikte kandidaten voor nieuwe generaties geleermiddelen. Rechts: elektronenmicroscopische opname van een supramoleculair gel.

Industriële relevantie.

Eén van de redenen dat bijvoorbeeld de industrie geïnteresseerd is in zachte materie is juist het vermogen tot zelforganisatie. In de levende Natuur wordt op kleinste schaal

nologie, de biomedische technologie, de nanotechnologie en in functionele lagen. Iedereen is het erover eens dat, willen we optimaal gebruik kunnen maken van de zelforganisatie van zachte materialen,

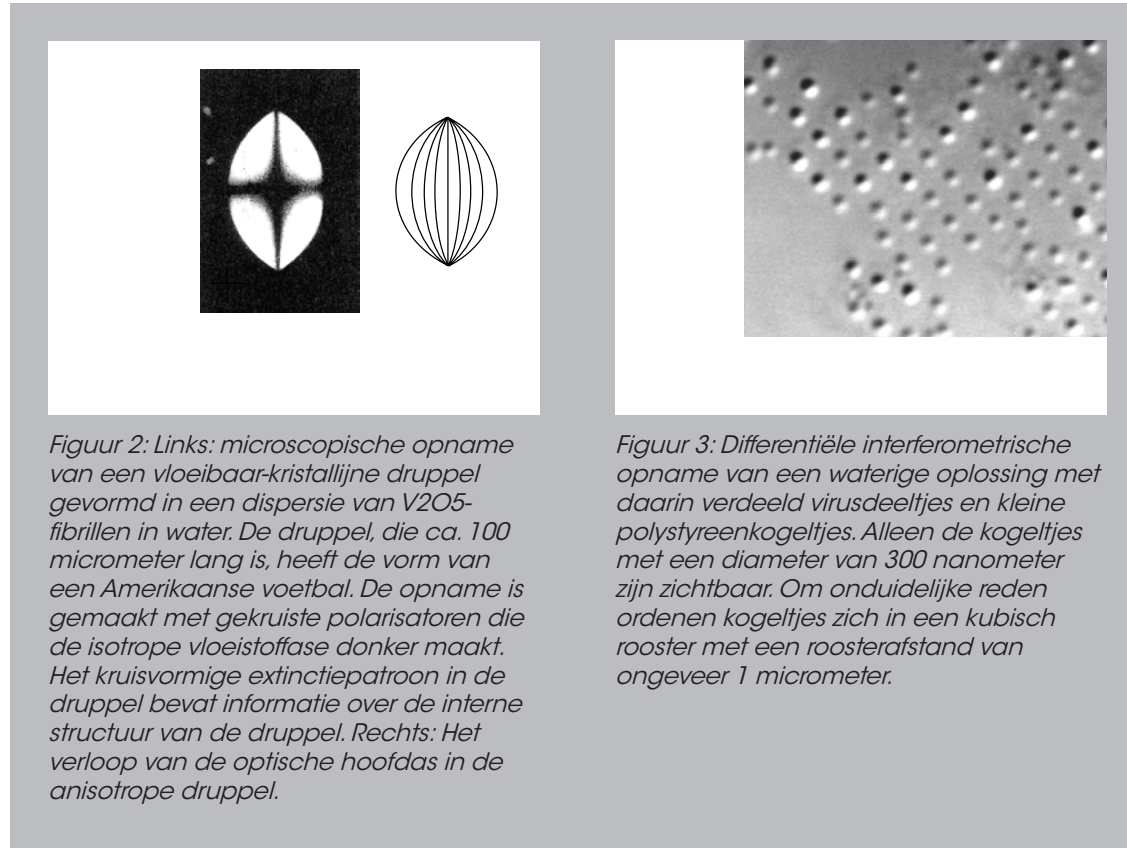
er nog heel veel onderzoek gedaan moet worden, zowel fundamenteel als toepassingsgericht. Het aardige van het vakgebied is ook dat het multidisciplinair is, juist omdat er ook chemici, biologen, ingenieurs, enzovoorts, in werken, en omdat er een stevige concurrentie is tussen Europese en Amerikaanse onderzoeksgroepen. Verder blijkt het mogelijk om veel biologische processen te begrijpen met kennis en inzichten uit de zachte materie, hetgeen veel biologisch geïnspireerd natuurkundig onderzoek heeft voortgebracht. Was het niet voormalig president Clinton van de VS die zei dat de toekomst van de exacte wetenschap in de biologie ligt?

Onderzoeksthema's.

De belangrijkste onderwerpen binnen de zachte materie waar binnen de capaciteitsgroep Polymeerfysica statistisch mechanische theorie aan wordt bedreven zijn supramoleculaire polymerisatie, en locale en globale ordening in complexe vloeistoffen. We laten beide thema's na elkaar de revue passeren.

Er is een grote groep van moleculen die in oplossing of in de gesmolten toestand een sterke neiging hebben om uitgestrekte, labiele netwerken te vormen. Deze netwerken worden gestabiliseerd bijvoorbeeld door Coulomb-interacties, waterstofbruggen, of oplosmiddelgeïnduceerde, specifieke wisselwerkingen tussen de moleculen. Het proces van het continue vormen en weer uiteenvallen van deze netwerken wordt wel supramoleculaire polymerisatie genoemd. Lineaire supramoleculaire polymeren kunnen relatief stijf en staafvormig zijn, maar ook flexibel en de vorm van een kluwen aannemen. Twee-dimensionale supramoleculaire polymeren nemen de vorm van flexibele matten (membranen) aan, of, als deze op zichzelf terugvouwen, die van een soort zakjes

(vesikels). Inzichten in supramoleculaire polymerisatie helpen bij het vinden van betere, "zelfhelende" vloeiverbeteraars in bijvoorbeeld smeermiddelen, en van slimmere geleermiddelen (zie figuur 1). Verder blijkt de zelfassemblage van veel soorten virussen een vorm van supramoleculaire polymerisatie te zijn. Een beter begrip van de processen die ten grondslag liggen aan de virusassemblage kan helpen gerichtere medicijnen te produceren die de virusassemblage direct en efficiënt onderdrukken.



Figuur 2: Links: microscopische opname van een vloeibaar-kristallijne druppel gevormd in een dispersie van V2O5-fibrillen in water. De druppel, die ca. 100 micrometer lang is, heeft de vorm van een Amerikaanse voetbal. De opname is gemaakt met gekruiste polarisatoren die de isotrope vloeistoffase donker maakt. Het kruisvormige extinctiepatroon in de druppel bevat informatie over de interne structuur van de druppel. Rechts: Het verloop van de optische hoofdas in de anisotrope druppel.

Vloeibaar-kristallijne ordening van deeltjes komt voor in systemen van moleculen met een relatief laag moleculair gewicht, maar ook in dispersies bestaande uit stijve polymeren, langgerekte virussen, eiwitfibrillen, naaldachtige kristallieten van organische en anorganische stoffen, enzovoorts. De

faseovergang van een willekeurige naar een geordende verdeling van de hoofdasen van de deeltjes is discontinu, dat wil zeggen van de eerste orde. Er vormen zich druppels van de nieuwe vloeibaar kristalfase in de isotrope moederfase. Deze druppels zijn niet rond maar langgerekt, en hebben een ingewikkelde interne structuur (zie figuur 1). Het is een grote uitdaging om de precieze vorm en interne structuur van de druppels te voorspellen, omdat deze worden bepaald door enerzijds de anisotrope eigenschappen van het grensvlak tussen de twee fasen, en

Figuur 3: Differentiële interferometrische opname van een waterige oplossing met daarin verdeeld virusdeeltjes en kleine polystyreenkogeltjes. Alleen de kogeltjes met een diameter van 300 nanometer zijn zichtbaar. Om onduidelijke reden ordenen kogeltjes zich in een kubisch rooster met een roosterafstand van ongeveer 1 micrometer.

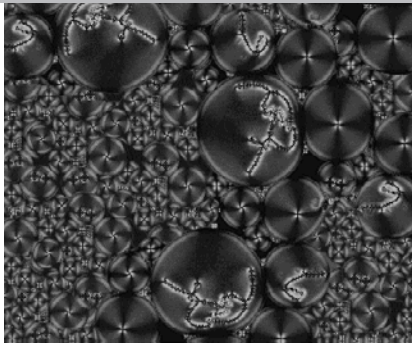
anderzijds door de complexe elastische eigenschappen van de geordende fase in de druppel. Door de precieze afmetingen van de druppels te vergelijken met de theorie moet het mogelijk zijn om de materiaaleigenschappen van het vloeibaar kristal te bepalen. Ook een grote uitdaging

is het voorspellen van hoe het proces van de druppelvorming (de zogeheten nucleatie) alsook de groei van de druppels als functie van de tijd verloopt. Dit kan bijvoorbeeld helpen om betere beeldschermen te maken van het type polymer dispersed liquid crystals.

Gastdeeltjes verdeeld in een zacht gastheermedium verstoren de structuur van het zachte medium. Als de gastdeeltjes klein zijn op de schaal van de gastheerdeeltjes is de verstoring lokaal. Zijn ze groter, dan verstoren ze deze op zeer grote schaal. In beide gevallen kan dit leiden tot mediumgeïnduceerde wisselwerkingen tussen de gastdeeltjes die zich dan als gevolg hiervan op grote schaal kunnen gaan ordenen. Zie de figuren 3 en 4. Veel van de structuren die gevonden worden kunnen niet verklaard worden in termen van gangbare inzichten. Het lijkt erop dat enerzijds fluctuaties een grotere rol spelen dan vaak wordt gedacht, en dat anderzijds de gebruikelijke aanname van additiviteit van paarwisselwerkingen niet meer opgaat. Er is onlangs ook een zogeheten zachte vaste toestand gevonden in mengsels van polymeer bolletjes en een vloeibaar kristal. Deze aggregatietoestand bestaat uit een driedimensionaal gangenstelsel van puur vloeibaar kristal dat bij elkaar gehouden wordt door een mogelijk defect gestabiliseerd schuim van bolletjes en vloeibaar kristal. De elastische stijfheid van deze wasachtige vaste stof is vele malen hoger dan men op grond van de eigenschappen van de individuele componenten zou verwachten, en het vormt een aantrekkelijke kandidaat voor slimme optische dunne lagen.

Statistisch-Mechanische Theorie.

Een belangrijk doel van theorievorming op het gebied van de zachte materie is het verklaren van de bijzondere structuur en de daaraan gerelateerde fysische eigenschappen



Figuur 4: Opname van een emulsie van water, een oppervlakteactieve stof en een vloeibaar kristal. Het ingewikkelde patroon is een gevolg van de elastische eigenschappen van het vloeibare kristal.

zoals optische, mechanische, diëlektrische eigenschappen. Entropie blijkt hierbij in bijna alle gevallen een doorslaggevende en vaak contra-intuïtieve rol te spelen in de zelforganisatie van de deeltjes in structuren op grotere schaal. Omdat door de (chemische) complexiteit “exacte” toestandssommen zelfs niet bij benadering zijn uit te rekenen, ook niet in de quasi-klassieke limiet, maken we meestal gebruik van sterk geabstraheerde modellen die toch (als het goed is) alle relevante fysica in zich dragen. Of dit laatste ook zo is testen we door theoretische voorspellingen te vergelijken met experimentele resultaten.

De statistisch-mechanische theorieën waar we in het onderzoek aan zelforganisatie in zachte materie gebruik van maken zijn of volledig of grotendeels analytisch, en vergen redelijk veel van het wiskundige inzicht van onze studenten en promovendi. Desondanks zijn de onderzoeksprojecten nooit “l’art pour l’art”, maar bestaan altijd in de context van experimenteel werk dat bijvoorbeeld in Eindhoven bij de faculteiten SKT, BMT en WB wordt gedaan. Studenten spelen een belangrijke rol binnen de groep bij het kraken van problemen waar wij ons bij de groep Polymeerfysica mee bezighouden, en niet zelden vindt afstudeerwerk de weg naar internationaal gerenommeerde natuurkundige vaktijdschriften.



In den beginne

door Mark Pijnenburg

Het begon allemaal heel onschuldig. Na drie maanden vakantie gingen we dan eindelijk naar een nieuwe school, de universiteit. De introductiedagen beginnen en er lijkt geen weg meer terug. Iedereen was nog nieuw voor ons en we moesten een hele nieuwe start maken.

In het auditorium stond iedereen al klaar om aan het studentenleven te beginnen. Iedereen was nog een beetje onwennig, omdat niemand elkaar kende, maar dit zou snel verholpen worden tijdens de kennismakingsronde van je introgroepje. Van onze intropapa en -mama kregen we leuke goodies en t-shirts, die geen kans zouden krijgen om schoon te blijven. Nog steeds zonder angst begonnen we aan de kennismakingsspelletjes.

's Avonds, na de echt heerlijke friet (niet dus), gingen we eerst een film kijken die iedereen natuurlijk al gezien had. Daarna, twee uur later, gingen we voor het eerst het uitgaansleven in de bunker verkennen, zoals we nog vele malen zouden doen deze week. Een lekker pilsje, meerdere, mocht natuurlijk niet ontbreken.

De volgende morgen moesten we weer erg vroeg opstaan. We mochten een zeer handige speurtocht gaan doen op de faculteit, maar daarna wisten we nog niet hoe het gebouw in elkaar stak. 's Avonds waren er sporttrainingen voor degenen die er zin in hadden en daarna werden de studentenverenigingen aan ons gepresenteerd. 'Je mag jezelf zijn' en 'Je hoeft je niet te schamen' waren de enige

dingen die ons zijn bijgebleven. Hierna was het natuurlijk weer feest in de bunker. We waren hier nu al een beetje bekend, dus wisten we waar we heen moesten.

Het leek wel alsof we steeds vroeger op moesten. De woensdag begon niet zonder het nodige geklaag. Maar gelukkig konden we ons groeiende slaapttekort een beetje verminderen op de sportvelden, terwijl we naar de mensen konden kijken die wel actief bezig waren. Na het sporttoernooi gingen we de Scalatocht doen. Hier leerden we een beetje het culturele leven van Eindhoven kennen. Hierna kregen we een lekkere maaltijd bij onze pappie en mammië. Wie heeft er iets anders gehad dan pasta, wij zijn eens benieuwd. Maar gelukkig smaakte het er niet minder om en konden we energie opdoen voor een avondje feesten. Voor het eerst werden we "losgelaten" in Eindhoven-city. We konden gelukkig iedereen herkennen aan het kroegentocht-shirt. Nadat we de kroegen onveilig hadden gemaakt, veroorzaakten we nog wat geluidsoverlast met onze ghettoblaster. We gingen namelijk naar de bunker en we hadden ook wat amusement nodig onderweg. De bunker zou onze laatste stop zijn die avond. Natuurlijk moesten er ook nog loempia's gegeten worden, of misschien wel twee. De volgende dag kwam al weer steeds dichterbij, dus moesten we ons op gaan maken voor een dag vol nieuwe ervaringen.

Donderdag; cultuurtocht. Verschillende mensen waren weer te laat, dus dat werd vlaai eten. Nadat we naar een cabaretier, toneel en dans hadden gekeken, kregen we



dan eindelijk ons stukje vlaai. Lekker. In de Effenaar moesten we ons meer dan twee uur zien te vermaken. We kregen een vaag filmpje te zien en er was wat muziek. De presentator was erg enthousiast en liet ons een muziekquiz doen. Maar gelukkig was er ook een bar, waar we even wat konden relaxen. Even later mochten we naar de afsluiting van de cultuurtocht waar een capoeïrademonstratie werd gegeven. 's Avonds gingen we eten in een van de vele eetcafeetjes van Eindhoven. Ons groepje mocht naar de markt waar we genoten hebben van een heerlijk soort nasi. Wat het nu precies was, is volgens mij niemand echt duidelijk geworden, maar we het smaakte in ieder geval. Na het eten was er niet echt een programma, dus hebben we de tijd gevuld met een beetje poolen en daarna nog spijker meppen in het pandje. Even daarna was het weer tijd om naar de bunker te gaan, die weer bomvol zat, omdat het de echte feestavond op de TU was. De studentenverenigingen hadden allerlei dingen geregeld om het extra gezellig te maken. Het was weer lekker gezellig en iedereen ging pas laat weer slapen, op enkele introbegeleiders na, die door gingen halen. We kwamen ze 's morgens pas weer tegen in de Van-der-Waalskamer waar ze op de bank lagen te slapen.

Gelukkig mochten we vrijdag eindelijk eens uitslapen, wel tot tien uur! Daarna kregen we een katerontbijt, iedereen was hier hartstikke blij mee. Konden we eindelijk eens een keer iets anders eten dan het dagelijkse broodzakje. Er stond voor vrijdag eigenlijk ook een spellenochtend op het programma, zodat de groepen nog de kans kregen om de radio te winnen, maar dat ging niet meer door, dus ons groepje, groep 6, mocht 'm houden. Tegen de tijd dat het twaalf uur was begon iedereen al uit



Katerontbijt: eindelijk eens iets anders dan het dagelijkse broodzakje

te kijken naar de cantus. De regels werden wel uitgelegd, maar niemand hield zich er echt aan, zodat het een gezellige chaos werd. Er ging heel veel bier doorheen en iedereen was doorweekt na de cantus. Hierna was de introweek ten einde, althans het officiële gedeelte. Iedereen was moe en wilde wel naar huis. Alleen de echte diehards gingen nog door. Veel mensen gingen nog even douchen voor dat ze naar huis gingen, maar daarna was het feestje echt afgelopen en konden we ons gaan voorbereiden op de eerste echte week als student.

Brasil, lá lá lá lá lá lá lá lááá!!



door Arjan Klessens

Toen het jaar 2002 ten einde liep werd N-Laag behangen met posters waarop een reis naar een tropische bestemming werd aangekondigd. Aangezien mijn vorige vakantie in het water was gevallen (met dank aan de geweldige Nederlandse zomer) besloot ik het zekere voor het onzekere te nemen en mijzelf in te schrijven voor de BuEx Brazilië 2003. Met de gedachte dat in Brazilië de zon altijd schijnt stap je in het vliegtuig. Zo'n 16 uur later kom je aan in Rio de Janeiro en wat zie je tot je grote schrik: het regent, waar ben ik aan begonnen? Een paar uur later krijg je te horen dat er al mensen zijn beroofd en

het enige wat ik toen nog wilde was terug naar mijn moeder in het zonnige en veilige Wintelre. Helaas nog ruim drie weken te gaan. 's Avonds in de kroeg begin je het na de nodige biertjes echter al gauw wat zonniger in te zien. Wat volgt is de beste vakantie van mijn leven. Een korte opsomming van de hoogtepunten:

Aangezien het hier een studiereis betreft werden de nodige universiteiten en bedrijven bezocht. De highlights waren wat mij betreft de bezoeken aan Petrobras (mede vanwege de smakelijke lunch en de vele goodies die we ontvingen), de excursies naar ITA (een opleidingsinstituut van de Braziliaanse

luchtmacht waar les wordt gegeven in allerlei technische opleidingen) en CTA (luchtvaart onderzoekscentrum), vooral het gedeelte waarbij we de gelegenheid kregen om te praten met Braziliaanse testpiloten. Ook de bezoeken aan de assemblagehallen van AMBRAER (vliegtuig fabrikant) en aan de Itaipu waterkrachtcentrale waren erg indrukwekkend. De bezoeken aan de universiteiten in de verschillende steden en aan het synchrotron instituut in Campinas maakten duidelijk dat er in Brazilië ook fysica wordt bedreven op een behoorlijk hoog niveau.

De toeristische hoogtepunten waren

uiteraard Rio de Janeiro, met het Christusbeeld, Copacabana en de Suikerbroodberg. De treinreis naar Morretes door een schilderachtig landschap was in één woord schitterend. De watervallen van Foz de Iguacu waren adembenemend. Het eten (vlees) was van geweldige kwaliteit. En natuurlijk mogen de prachtige Braziliaanse dames niet in dit rijtje ontbreken.

Verder werd er natuurlijk ook vakantie gevierd. Om excessen te voorkomen had de commissie enkele goedbedoelde tips opgenomen in het BuEx boekje dat elke deelnemer had ontvangen voor aanvang van de reis. Vanwege de anarchistische

Careers get hightech where you find the Thales point

Accelerate your career
www.thales-nederland.nl

THALES



Photograph courtesy ADV RNLN

Actief op zoek naar een hightech carrière? Kies je voor uitdagingen waarbij het uiterste van je gevraagd wordt? Wil je bovendien je kennis en talenten optimaal benutten in een internationale omgeving? Dan is Thales Nederland, onderdeel van de Franse multinational Thales, met haar vooraanstaande positie op het gebied van defensie-elektronica de meest voor de hand liggende optie. Meer dan 2.500 gedreven medewerkers ontwikkelen, produceren en testen zowel de hard- als software van multifunctionele radarsystemen en geavanceerde communicatie- en command & controlsystemen. Naast interessante carrièremogelijkheden biedt Thales Nederland studenten uitdagende stage- en afstudeerplaatsen. Interesse? Telefoon naar (074) 248 37 33 of mail ons op jobs@thales-nederland.nl.



MY THALES POINT

De uitdaging om als software designer real-time embedded software te schrijven. Software die het mogelijk maakt, dat een radar o.a. de afstand, de snelheid en het reflecterend oppervlak bepaalt van objecten die in de omgeving zijn waargenomen. Bijvoorbeeld voor APAR: een uiterst complex en multifunctioneel radarsysteem, waarbij in de Data Processing Unit zeker 200 verschillende processen parallel worden uitgevoerd.

instelling van de meeste deelnemers (en ook commissieleden) hadden ze deze net goed achterwege kunnen laten. Een aantal van de goedbedoelde, maar door deelnemers genegeerde tips:

-Draag tijdens excursies een lange broek en een shirt van 10 euro.

-Niet in slapen vallen tijdens excursies (commissaris BuEx op de allereerste excursie).

-Zorg dat je dit boekje altijd bij je hebt (welk boekje?)

-Zorg dat je tijdens het uitgaan dat je niet helemaal van de wereld raakt.

-Neem altijd een taxi terug naar het hotel (en verdwaal vervolgens omdat de chauffeur en jijzelf de weg niet weten en loop na uitstappen een uur, moederziel alleen door nachtelijk Rio).

-Niet wildplassen (maar dat plantje stond er zo dor bij).

-Ga niet te ver de zee als je niet kunt zwemmen Aron (anders wordt je gered door een potige lifeguard).

Dit alles was dus tegen dovemansoren gezegd, maar ondanks een paar kleinigheden die het noemen niet waard zijn was deze reis zeer goed georganiseerd. Namens alle deelnemers zou ik daarom de BuEx commissie nogmaals willen bedanken voor de geweldige reis die ze georganiseerd hebben.

Hulde aan de commissie!





-----Original Message-----

From: Nietsch, J.

Sent: Thursday, September 11, 2003 14:34

To: koerier@vdwaals.nl

Cc: Hoogeland, D.

Subject: Intro

Hé koerier lui,

hier het verslag van het magische introgroepje nummer 5, gezien door de ogen van de wijze introvaders. Actiepuntje 1 van de introweek was de befaamde ijsbreker doorvoeren. Bij het zien van onze introgroep ebte het vertrouwen in een leuke week snel weg. Dit werd bevestigd toen een van onze kids hem al peerde en onze groepsmoraal daarom juist tot euforische hoogte steeg. Met zeven helden gingen we verder en als er iets niet goed ging, dan gaven we de schuld aan onze missing link. Onder onze hartstochtelijke begeleiding heeft ons introgroepje er een fantastische week van gemaakt (hé jongens, weet je nog bij footloose??). Enkele momenten die ons nog bij zijn gebleven zijn:

-We hebben in plaats van het gebruikelijke borrels hakken toch maar gekozen voor het krantenmeppen om de kids beter te leren kennen. Een schrale ijsbreker, zo bleek achteraf, maar 's avonds hebben we alles goed gemaakt in de bunker. De eerste biertjes werden geconsumeerd en men kwam MASSAAL los:

-Laurens heeft het gepresteerd om altijd te laat te komen. Het was een keer zo erg dat hij wakker moest worden gemaakt door zijn mama, want hij had nooit zijn mobiele telefoon aan staan.

-Jolige Joost (jolic met de bal) beleefde zijn hoogtepunt op het voetbalveld, toen iedereen brak toekeek hoe hij de eer van ons groepje redde.

-Floortje. Had jij ook niet vrolijk met ons staan dansen op de bar in Thomas á la LeAnn Rimes(1)? Na een paar dropshots natuurlijk!

-Martijn, met hem was het altijd gein. Had jij ook niet vrolijk met ons staan dansen op de bar in Thomas á la LeAnn Rimes? (2) Had jij nou die schrale koeie fiets?

-Ben zette het record neer bij het skelteren en duwde vervolgens Jochem in het water bij DEMOS. Vooral zullen we Ben herinneren van die ongelofelijk schrale grap over de man zonder duim. Ben, you're the man.

-Niek. De sfeermaker tijdens het borrelen na de kroegentocht. Ben je toen nog zat met je scooter naar huis gegaan? Dirk bedankt je nog voor het lenen van je scooter om Jochem omver te kunnen rijden! Het eindigde in een mooie duikeling zoals we allemaal weten.



-Eduard. De onbetwiste praatjesmaker tijdens het borrelen na de kroegentocht. Een trage toyota en iemand die tegen de luifel van een loempiakar aansprong maakten er een fantastische avond van. Waar is je opengescheurde kroegentoch t-shirt? Niet dat het veel boeit, ik maak er nu ook mijn fiets mee schoon.

Insiders weten wel waar al deze opmerkingen op slaan. Schroom niet om ze hierover uit te horen! Je kunt onze introkids vinden bij de pinautomaat of bij de trappengangen (nogmaals een inside joke).

We hebben een gave week beleefd!!

Groeten,
Dirk(-Jan) en Jochem

P.S. Aan alle moeders: de kids hebben zich voorbeeldig gedragen ;) Hun kennis van pornosterren bleek in een SSRE-quizje zeer beperkt (alleen Kim Holland klonkt bekend in de oren). Geachte Koerier, kan hier nog een plaatje bij? Zo niet dan raden we jullie aan www.kimholland.nl te bezoeken!



Over mij, Bas.

door Bas Cloin

Het begon allemaal in de mooie stad Eindhoven waar ik voor het eerst het daglicht mocht aanschouwen. Ik kan mij van de periode die ik toen in Eindhoven heb gewoond niet veel herinneren maar ik ben ervan overtuigd dat het een mooie tijd was. Toen ik oud genoeg was om naar de basisschool te gaan waren mijn ouders al verhuisd naar Stiphout, dat ligt in de buurt van Helmond, dus ben ik daar voor het eerst naar school gegaan. De eerste dag werd mij meteen duidelijk dat school niks voor mij was. Toch heb ik doorgezet en heb tot groep zes op de basisschool in Stiphout



gezet. Toen kregen mijn ouders namelijk het geweldige idee om naar Limbabwe te gaan verhuizen. Hier was ik natuurlijk niet blij mee maar op die leeftijd had ik nog niet zoveel te zeggen dus werd er toch verhuisd. De basisschool in Sittard was nog iets

minder leuk dan die in Stiphout maar ook hier heb ik doorgezet dus mocht ik na groep acht naar het College Sittard, het Kleesj in de volksmond. De middelbare school was iets leuker omdat je daar al meer weg kon blijven zonder dat je gezeur kreeg van ouders of leraren. In de brugklas heb ik heel hard gewerkt dus mocht ik naar het gymnasium, vanaf de tweede is dat hard werken afgenomen en was ik steeds minder op school te vinden. Zo ben ik rustig aan door mijn middelbare schoolperiode gerold totdat het tijd was om een studie te gaan kiezen.

Ik had werkelijk geen flauw idee wat ik wilde gaan doen maar gelukkig kon je vanuit school aan een aantal beroepskeuzen en interessetesten meedoen. Helaas had ik na deze testen nog steeds geen idee wat ik zou willen maar we moesten toch onze voorlopige keuze al opgeven. De jongen die op dat moment naast me zat zei dat hij technische natuurkunde ging doen in Delft, toen heb ik dat ook maar ingevuld maar dan uiteraard in Eindhoven. Ik was er vrij zeker van dat ik het nog zou gaan veranderen want er zou toch iets moeten zijn wat ik leuk zou vinden.

Ik heb daarna nog hele dagen beroepskeuzetesten gedaan en gesprekken gehad met mensen die daar verstand van hebben maar daarna wist ik het nog niet. De dag dat de echte keuze ingevuld moest worden had ik dan ook geen enkel idee waarin ik mijn voorlopige keuze zou moeten veranderen dus zo ben ik natuurkunde gaan studeren.



Ik wist niet dat natuurkunde een moeilijke studie was dus het eerste trimester viel zwaar tegen. Van de eerste vijf tentamens had ik er maar één gehaald en dat was ik natuurlijk niet gewend. Gelukkig ging het daarna steeds beter en aan het eind van mijn eerste jaar had ik met twee compensaties nog maar één vak niet gehaald. In het tweede jaar ging het nog beter zodat ik alles van de eerste twee jaar gehaald heb, dus ik ben er klaar voor om het bestuur in te gaan.

Mijn keuze om het bestuur in te gaan was al vroeg gemaakt wat mede door mijn introouders, Piet en Paul, kwam. Zij gingen ook het bestuur in en ze lieten dat leuk klinken dus toen was het idee om ook in het bestuur te gaan al geboren. Samen met een aantal anderen hebben we het daar vaker over gehad en na een tijdje besloten we om in ons derde jaar ook het bestuur in te gaan. En nu is het dan eindelijk zover.

Mijn functies in het bestuur worden "Commissaris Externe Betrekkingen" en "Koeriercommissaris". Het eerste houdt in dat ik, samen met Thomas, ervoor moet zorgen dat zoveel mogelijk mensen zoveel mogelijk geld aan onze studievereniging geven. Als Koeriercommissaris moet ik ervoor zorgen dat iedereen zijn stukjes voor de koerier op tijd inlevert en daarna moet ik die stukjes nakijken op spelfouten en zwaar grammaticaal gepruts.

Zo, nou weten jullie wel genoeg over mij dus ik ga er een eind aan breien.
Eind.



Schrijven, maar wat...?

door Thomas van Gils

Een stukje voor de Koerier schrijven is over het algemeen niet zo heel erg moeilijk; je weet meestal wel waar je over moet schrijven, en dan begin je maar wat te typen. Na een tijdje heb je dan wel een mooi stukje. Maar een stukje schrijven waarin je jezelf moet voorstellen is toch wel een stukje lastiger. Ik zal in ieder geval beginnen met (hoezo standaard?) mezelf maar eens voor te stellen (want daar is volgens mij dit stukje ook voor bedoelt).



Ik ben Thomas van Gils, nog steeds pas 19 jaar oud en geboren en getogen in de mooie, oude, zeer historische, West-Brabantse (dat betekent dus dat het nog steeds in Brabant ligt en gelukkig niet in Zeeland, want ik zou er echt niet aan moeten denken dat je daar geboren wordt en je dan je hele leven Zeeuw

moet noemen) en oninneembare (voor de Fransen) vestingstad Bergen op Zoom. Hier heb ik op de grootste middelbare school het Atheneum (of gewoon het VWO) gedaan, in de nieuwe stijl (wij zijn de eerste lichte die de Tweede Fase gehad heeft, wat achteraf gezien niet echt een voordeel is geweest). Ook heb ik 11 jaar voetbal bij de plaatselijke topclub MOC '17.

Toen ik na 17 jaar in Bergen op Zoom te hebben gewoond moest gaan verhuizen naar mijn eerste kamer (in Geldrop), werd ik dus een beetje gedwongen om te stoppen met voetballen. Want op en neer reizen kost gewoon te veel tijd. Na twee trimesters bleek dat ik toch het voetballen begon te missen, en toen ben ik maar gaan zaalvoetballen in het heldenteam Van der Waals 4. Dat doe ik op dit moment nog steeds, en ik ben voorlopig ook niet van plan hier mee te stoppen.

Waarom ik eigenlijk de keuze gemaakt heb om naar Eindhoven te komen, weet ik eigenlijk niet meer (ik kon namelijk ook naar Delft), maar ik denk dat het in Brabant blijven een hele belangrijke rol heeft gespeeld. Inmiddels ben ik er wel achter dat de keuze ook een heel erg verstandige is geweest, en ik weet ook zeker dat ik in ieder geval niet meer weg wil uit Eindhoven. Zeker niet tot na mijn studie, en het duurt nog wel even voordat ik klaar ben.

Nu kom ik eigenlijk bij het stukje waarin ik ga vertellen waarom ik het bestuur van Van der Waals in ga. Het is eigenlijk allemaal begonnen bij de intro. Als nog niets wetende nuldejaars kwam ik de eerste dag



van de intro op het grote universiteitsterrein terecht. Daar werden we in groepen ingedeeld (dit weet vast iedereen want ik denk dat bijna iedereen wel eens een keer intro heeft gelopen). Aan mij werden Piet en Paul toegewezen als mijn intro papa en mama. Zij hebben ons eigenlijk zo enthousiast gemaakt voor Van der Waals en voor de Borrel, dat ik eigenlijk wel vanaf het begin af aan wist dat ik het bestuur van deze erg gezellige vereniging in wilde. Ook was het dan mogen bezoeken van constitutieborrels natuurlijk een motivatie. Het is eigenlijk dus niet toevallig dat ik ook net Borreltender ben geworden.

De taken die ik dit jaar in het bestuur ga uitvoeren zijn Commissaris Externe Betrekkingen en Commissaris Buitenlandse Excursie (om het allemaal makkelijk te maken bij het tekenen van gastenboeken tijdens constitutieborrels...). De reden hiervoor is dat de Uitwisseling organiseren (ik zat in de commissie) erg goed bevallen is, en het mij een uitdaging leek om een grotere reis te organiseren. EB heb ik gekozen omdat contacten met bedrijven mij wel interessant lijken, en het mij leuk lijkt om bedrijven te bezoeken. Ik verwacht dat de samenwerking met Bas wel gaat lukken, want wij zijn introbroertjes van elkaar, en hebben het eigenlijk altijd wel met elkaar kunnen vinden. Dus waarom zou het dan nou niet lukken?

Ik verwacht dan ook wel dat dit jaar een erg leuk en leerzaam jaar gaat worden. Ik heb er in ieder geval heel erg veel zin in om te beginnen (ten tijden van schrijven van dit stukje duurt dat nog precies een week voordat ik mag beginnen met mezelf 'bestuur' te noemen).

Ik hoop dat ik jullie allemaal zo genoeg

heb ingelicht over wie ik nu eigenlijk ben, maar mochten jullie nog vragen hebben of opmerkingen of andere dingen te zeggen hebben tegen mij, kom dan gerust eens langs in de Van-der-Waalskamer, of op een andere plaats waar je mij kunt vinden.



Ik word groot

door Inge van Donkelaar

Lieve mensen,
Ik wil jullie graag inlichten over de redenen en achtergronden van de in de titel van dit stukje geponeerde stelling, verder kunnen jullie dit verhaal beschouwen als een kennismaking met mij, Inge, en als voorbereiding op de toekomst. Veel plezier met lezen.

Lang, lang geleden op een mooie zomerse dag ben ik bevrijd uit een veel te kleine gevangenis die later mijn moeder bleek te zijn. Met een opgelucht gevoel aanschouwde ik de wereld en dacht: "ik heb honger". Dit is nu niet direct een reden om te gaan janken maar dat deed ik wel. Gelukkig werd mijn honger al snel gestild met een witte vloeistof waarvan ik later hoorde dat het



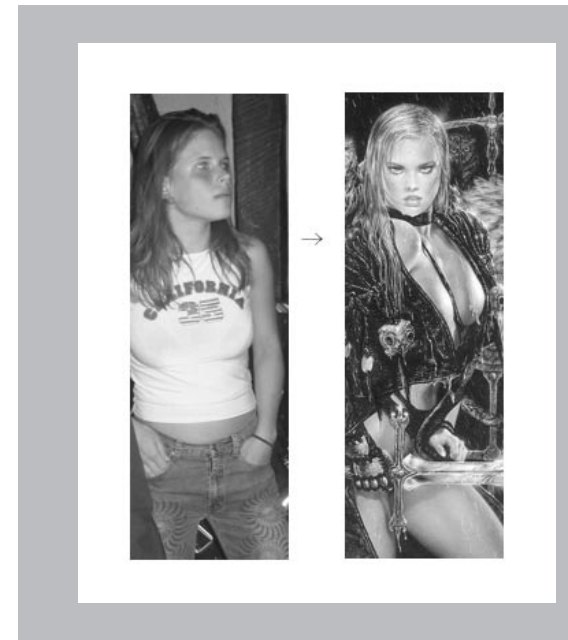
melk was en dat het ook uit koeien kwam. Deze goddelijke en verslavende vloeistof zorgde dat ik groter en groter werd, zo groot dat ik op een gegeven moment zelf bij de deurbel kon. Op dat moment voelde

ik mij natuurlijk uitermate geweldig en besloot ik dat mijn ultieme levensdoel wel groot worden moest zijn.

Aangezien groot worden vanzelf ging vermaakte ik me ondertussen met rondrennen in het bos, praten met knuffels, spelen met blokken of het bouwen van hutten. Ook het aaien van koeien en kalfjes, waarvan er in Bladel, waar ik woonde, gelukkig genoeg waren, was één van mijn favoriete bezigheden. Mijn ooms hadden stallen vol met deze producenten van de goddelijke vloeistof. Natuurlijk konden ze niet allemaal evenveel aandacht van mij krijgen, eentje was echt mijn favoriet. Hij had een geel kaartje in zijn oor waarop zijn naam stond: "7073", hij zal nu wel dood zijn maar is zeker nog niet vergeten.

Waar ooms van mij ook stallen van vol hadden zijn varkens. Ik vind persoonlijk dat varkens naast koeien ook een berg respect verdienen aangezien zij de eerbare taak hebben van het leveren van spareribs. Spareribs zijn vrij essentieel als je bezig bent met groot worden, met melk alleen kom je er natuurlijk niet. Naast essentieel zijn spareribs ook ontzettend lekker dus dat komt goed uit.

Maar goed, ik was dus bezig met allerlei vrij nutteloze doch interessante bezigheden totdat ik opeens gedwongen werd tot geestelijke verruiming op de middelbare school en te maken kreeg met verschijnselen



zoals huiswerk.

Een aantal jaar ging gestaag voorbij, maar op een dag kwam ik tot een schokkende conclusie: ik groeide niet meer!! Wat nu? Ik was nog lang niet groot genoeg. Belangrijke levensvragen spookten door mijn hoofd: "wat te doen als eten niet meer helpt?", "waarom?", "waarom ik?" Na enig rondvragen kwam ik erachter dat iedereen op een bepaald moment stopt met groeien, maar dat maakte het niet minder erg dat ik mijn levensdoel niet meer kon bereiken. Of toch, misschien wel..... groot in lengte zou niet meer lukken, maar groot in daden, dat was de oplossing! Er zaten nadelen aan, hele grote zelfs want groot in daden word je niet vanzelf. Geen tijd meer voor mij om te verspillen aan koeien, ik moest mijn daden gaan voorbereiden.

In mijn dromen zag ik mijzelf boven Einstein, Boeddha, en Bill Gates uitstijgen, de absolute waarheid en een smak geld in mijn hand, het universum aan mijn voeten. Naïef en idealistisch ben ik toen aan de studie Technische Natuurkunde begonnen

om de absolute waarheid te achterhalen, het universum en het geld zouden daarna wel volgen.

Ondertussen acht ik de kans op het vinden van de absolute waarheid een stuk kleiner dan toen, maar de kans op het bemachtigen van veel geld is denk ik nog altijd wel aanzienlijk. Als ik later rijk ben moet ik natuurlijk wel weten hoe ik met geld om moet gaan. Vandaar dat ik besloten heb komend jaar penningmeester van Van der Waals te worden. Dan kan ik al vast even oefenen.

Ik zal mij verder ook bezig houden met de opmaak van de Koerier. Dit is als voorbereiding op mijn heerschappij over het universum. Als je namelijk een grote groep mensen achter je wilt houden is informatievoorziening erg belangrijk.

Ik heb er vertrouwen in dat mijn bestuursjaar een stevig fundament zal zijn voor mijn toekomstige grootse daden. You'll remember ME.



Zijn geschiedenis

door Paul van Meel

Het begon allemaal in Eindhoven. Op een zonnige zomerdag in juli werd hij daar geboren. Hij woonde in een gezellige buurt en in die buurt genoot hij ook van zijn eerste jaartje peuterspeelzaal. Toen besloten zijn parental units dat het maar eens tijd was om naar Nijmegen te verhuizen vanwege technische redenen. Hij ging naar de basisschool NSV II en tegen de tijd dat hij halverwege groep 5 was moest er weer verhuisd worden. Dit keer naar Valkenswaard. Hij maakte zijn basisschool af en ging door naar het HJC. Tot ieders verbazing achtte men het noodzakelijk om deze school om te dopen tot het Were Di college. Hij en enkele van zijn vrienden, waaronder ook Arjan, vonden deze naam zo vervelend dat zij besloten dat duidelijk te maken door de originele naam met logo te vereeuwigen in de vorm van een schildering op een grote muur van de school. In die tijd heeft hij trouwens ook nog de nodige uren op het hockeyveld doorgebracht (en uiteraard ook in de bijbehorende kantine).

Vervolgens besloot hij om terug te keren naar zijn echte roots: Eindhoven. Hij wilde technische natuurkunde studeren en na een fantastische intro kon hij hieraan beginnen. Ook werd hij lid van een studievereniging: SVTN "J.D. van der Waals". Zijn eerste jaar verliep voorspoedig en daarom besloot hij dat het geen probleem was om bij de eerste jaarscommissie van bovengenoemde vereniging te gaan toen hem dit gevraagd werd. Vanuit daar was het een makkelijke overgang om in zijn tweede jaar in de activiteitencommissie 2002-2003 "ExiT" te gaan. Halverwege dat jaar werd hem ook



nog gevraagd of hij de beleidscommissie wilde komen versterken en hij nam dit aanbod zonder twijfelen aan. Hij heeft nu ook zijn eigen kamer in Eindhoven omdat hij het op en neer reizen iedere dag beu was.

Inmiddels begon hij zich te realiseren dat hij al 14 jaar ononderbroken, op de vakanties na uiteraard, naar school was geweest. Hij was toen 19 wat betekend dat hij al ruim 70% van zijn leven op school had gesleten. De vereniging bood hem de ideale manier aan om een jaar iets anders te doen en toch veel te leren. En zo kwam het dat Ineke, Inge, Thomas, Bas en Arjan en hijzelf op een verkiezings-ALV officieel tot kandidaatsbestuur werden gekozen. Hij is nu voorzitter, is al erg druk bezig met bestuurstaken en heeft erg veel zin in komend jaar!

(Overigens, de persoon over wie ik het steeds heb gehad...dat ben ikzelf, Paul van Meel)



Hééél even voorstellen

door Arjan Meertens

Hallo allemaal, mijn naam is Arjan Meertens en ik wilde me even voorstellen aangezien ik volgend jaar in het bestuur van Van der Waals ga. Zoals gezegd mijn naam is Arjan Meertens, ik ben 20 jaar oud, mijn schoenmaat is 42, mijn hobby is tennis. Dit doe ik in Dommelen, de plaats waar ik op 25 maart 1983 ben geboren. De stad van het Dommelsch bier. Toen

nieuwe ouders aangewezen kreeg te weten Arjan en Joost. Het waren ook zij die mij wegwijds hebben gemaakt bij van der Waals. Eerst de Borrel en vervolgens de rest van de vereniging. In mijn eerste jaar ben ik in de smoelenboek commissie gegaan. In datzelfde jaar heb ik kennis gemaakt met het fysisch dispuut Chaos. Een leuke groep mensen die me in hun midden hebben opgenomen. In mijn tweede jaar heb ik in de 24uursproject-commissie gezeten die een 24uursproject over nanotechnologie hebben georganiseerd. Toen dit was afgelopen ben ik in de P-kamp commissie gegaan. Het thema dit jaar was behind enemy lines. Volgend jaar ga ik in het bestuur van Van der Waals. Mijn taken zullen zijn: borrelpenningmeester, commissaris interne promotie, web-commissaris en activiteiten-commissaris. Een hele waslijst zo op het eerste gezicht maar ik heb er veel zin in en hoop dat het een leuk jaar zal worden.



ik achttien jaar oud was ben ik in plaats van Dommelen, Eindhoven onveilig gaan maken. Ik woon nog steeds bij mijn ouders in het pittoreske Dommelen en fiets elke dag zo'n drie kwartier om in Eindhoven te komen. Ik kreeg voor het eerst met Van der Waals te maken tijdens mijn intro. Een hele gave week waarin ik twee



Secretaris?

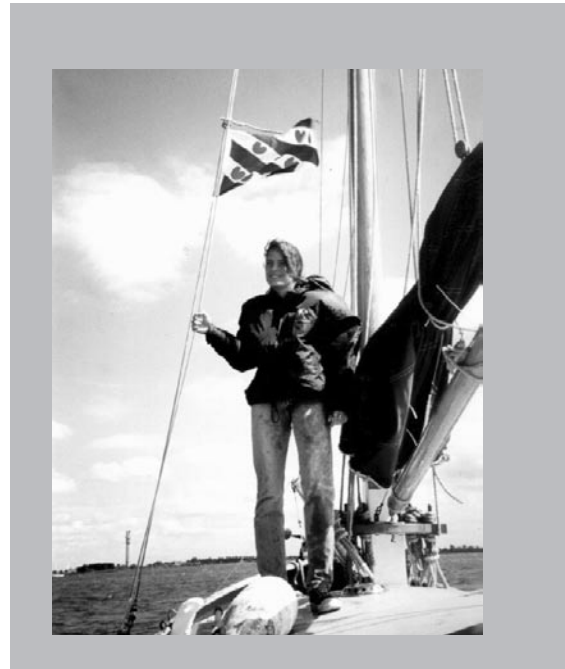
door Ineke Wijnheijmer

Waarom nu secretaris? Van alle functies die er zijn kies je toch niet die van secretaris! Dat is één van de reacties die ik het meest heb gehad van hen, die hoorden dat ik het bestuur in ga. Om iedereen van deze brandende vraag te verlossen zal ik beginnen met hierop een antwoord te geven.

Een van de dingen waar mensen bij het secretarisschap meteen aan denken is het notuleren bij vergaderingen; zowat iedereen heeft er een hekel aan. Maar je kunt toch geen vergadering bijwonen zonder wat op te schrijven? Je gaat je afvragen wat iedereen doet tijdens vergaderingen als ze notuleren een probleem vinden. Zijn ze wel aanwezig?!

Een andere reden voor mijn keuze is, dat ik graag intern dingen regel, niet op de voorgrond, maar wel een belangrijke taak op de achtergrond. Met deze omschrijving komt secretaris het beste overeen. Dat was voor mij eigenlijk de belangrijkste reden om voor het secretarisschap te gaan.

Uiteraard bezat ik deze eigenschappen en voorkeuren al langer; ze zijn niet spontaan ontstaan toen ik het Van-der-Waalsbestuur in wilde. Een bewijs hiervoor zijn mijn vorige secretarisbaantjes. Zo was ik om te beginnen in mijn eerste jaar notulist in de eerstejaarscommissie. Dat was me zo goed bevallen dat ik in mijn tweede jaar ook voor de ExiT, de activiteitencommissie 2002-2003, ben gaan notuleren. Wonderlijk genoeg hadden mijn mede-ExiT-leden daar helemaal geen probleem mee. Mijn meest recente aanstelling als secretaris is die in het huisbestuur van het ZES-huis, mijn



woonplek in Eindhoven. Daar ben ik een half jaartje geleden bestuurslid geworden. Er zijn uiteraard ook commissies die ik heb gedaan waar ik geen secretaris was. Je moet tenslotte niet te eenzijdig bezig zijn en alles ook een keer van de andere kant meemaken. Eén van die commissies was de ouderdagcommissie. Toen ik eerstejaars was, vond ik het heel leuk dat er een ouderdag georganiseerd werd. Een jaar later bleek dat het bijna nog leuker is om het zelf te organiseren. Ook heb ik in twee commissies van Concorde, de studenten paardrijvereniging, gezeten. Eén van was het organiseren van een wedstrijdweekend en de andere was de clubbladredactie.

Gelukkig bestaan er nog andere dingen in het leven dan commissies en het secretarisschap. Eén van die dingen is bijvoorbeeld paardrijden. Ik had het er al over dat ik lid ben van Concorde, maar mijn paardrijdcarrière is al veel ouder. Op mijn zevende ben ik begonnen met



paardrijden. De eerste paar jaren reed ik braaf één keer per week mijn rondjes in de manege, maar later heb ik verzorgpaarden gehad, heb ik paarden ingereden en heb ik ook lesgeven. Inmiddels heb ik het daarvoor te druk gekregen, dus rijd ik weer braaf mijn rondjes in de manege, aangevuld met buitenritten.

Een andere sport die ik ook al van jongs af aan gedaan heb is skiën. Helaas is dit altijd maar een weekje per jaar, maar dat neemt niet weg dat het een fantastische sport is. Ik vind het geweldig om tussen de bergen, door de sneeuw naar beneden te skiën. Ik heb zelfs skilerares willen worden, maar vanwege tijdgebrek is dat nooit werkelijkheid geworden. Ik hoop nog steeds dat het er eens van zal komen.

Er is nog een vakantiesport die ik beoefen, namelijk zeilen. Nu is zeilen natuurlijk niet voor iedereen slechts een vakantiesport, maar voor mij is het dat altijd wel gebleven. Ik vind het heerlijk om 's zomers een week of twee en af en toe een weekendje te zeilen, maar iets dergelijks als wedstrijdzeilen heeft me nooit getrokken.

Als laatste van mijn hobby's wil ik tekenen en knutselen noemen. Creativiteit schijnt zeldzaam te zijn onder natuurkunde studenten, maar een van mijn meest geliefde bezigheden is surprises maken. Als kind al heb ik alles vol gekliederd. Dit kliederen groeide uit tot best aardig kunnen tekenen, schilderen en knutselen. Toen ik tien was heb ik mijn eerste olieverset gekregen en inmiddels kan ik leuke schilderijtjes produceren.

Om bij het begin te eindigen zal ik afsluiten met datgene waarmee meestal begonnen wordt, namelijk mijn leven tot aan mijn studententijd. Ik ben geboren in het ziekenhuis in Geldrop om vervolgens mijn jeugd door te brengen in Stiphout, een

dorpje dat een ruime tien kilometer ten oosten van Eindhoven ligt. Daar ben ik ook naar de basisschool gegaan.

Helaas is er geen middelbare school in Stiphout, dus toen ik groep acht had afgerond, moest ik iedere dag naar het Jan van Brabant in Helmond fietsen. Vanuit school werd er ieder jaar een musical opgevoerd door leerlingen en leraren. De uitvoering was in 't Speelhuis, de schouwburg in Helmond. Ik heb voor twee musicals meegebouwd aan het decor. De musicals hadden ongeveer tien verschillende decors met veel aankleding, dus het was een behoorlijk tijdrovende, maar heel erg leuke, klus. In het vooreindexamenjaar werden er diverse reizen georganiseerd, onder andere een reis naar Rome waar ik aan deel heb genomen. Omdat me dat toen zo goed bevallen was, ben ik twee jaar later, tijdens mijn eerste jaar aan de TU/e, nog een keer meegegaan met Rome-reis. En zo ben ik bij mijn studententijd aangeland. De voorbereidingen voor mijn bestuursjaar zijn in volle gang. Ik hoop dat het volgend jaar een geweldig jaar met veel leuke activiteiten gaat worden. Ik heb hier alle vertrouwen in!



- 15 oktober
Barabas N-feest : Teletijdmachine
- 17 oktober
Chaos kolonisten van Catan toernooi
- 21 oktober
Bierproeffestein
- 29 oktober
Scooter darttoernooi
- 4 november
Eerstejaars filmavond
- 12 november
ALV

Adverteerdersindex



Kaft	Philips
15	DPI
38	Thales
Kaft	Ocê
Achterkaft	Shell