

**Supramoleculaire polymeren noemen wetenschappers ze, maar in de wandelgangen heten ze levende polymeren. Het zijn de nieuwe speeltjes van één van de meest succesvolle leerstoelgroepen van Wageningen Universiteit. Hoe Fysische chemie en kolloïdkunde de grondslagen legt voor kunststoffen die zichzelf kunnen repareren, en tegelijkertijd het geheim van water ontrafelt.**

door WILLEM KOERT, foto's BART DE GOUW



## Met de nieuwe polymeren kunnen productontwikkelaars autolak maken die krassen zelf repareert

**V**erscholen in het scheikundegebouw op de Dreijen in Wageningen zetelt een leerstoelgroep waar buitenstaanders weinig over horen, maar die internationaal hoog gewaardeerde wetenschappers herbergt. Dit jaar publiceerde de leerstoelgroep Fysische chemie en kolloïdkunde – *Fysko* in universitair jargon – veertig artikelen in *peer reviewed* tijdschriften. Vier daarvan stonden in *Physical Review Letters* (PRL), hét natuurkundige tijdschrift. Bijna al die stukken gingen over Fysko's onderzoek naar een nieuwe klasse van polymeren: de supramoleculaire polymeren. Boven alle stukken prijkt de naam van dr. Klaas Besseling, de drijvende kracht achter het onderzoek naar deze 'levende' polymeren.

De geschiedenis van supramoleculaire polymeren begint met een valse start, vertelt Besseling. 'In het begin van de twintigste eeuw duiken de eerste beschrijvingen van suprapolymeren op in de literatuur. In die periode ontdekten chemici dat stoffen als natuurrubber en zetmeel abnormaal grote moleculen hebben, vele malen groter dan alle tot dan toe bekende moleculen. Wetenschappers konden niet geloven dat er sprake was van reuzenmoleculen, en dachten dat rubber en zetmeel bestonden uit een groot aantal moleculen van een min of meer normaal formaat, die als legosteentjes aan elkaar vastzaten.'

### PLAKKERS EN STOPPERS

Een fout idee, bleek tientallen jaren later. Toen ontdekten chemici dat zetmeel weliswaar bestond uit een beperkt aantal suikers die zichzelf talloze malen herhaalden, maar die eenheden zaten wel degelijk chemisch

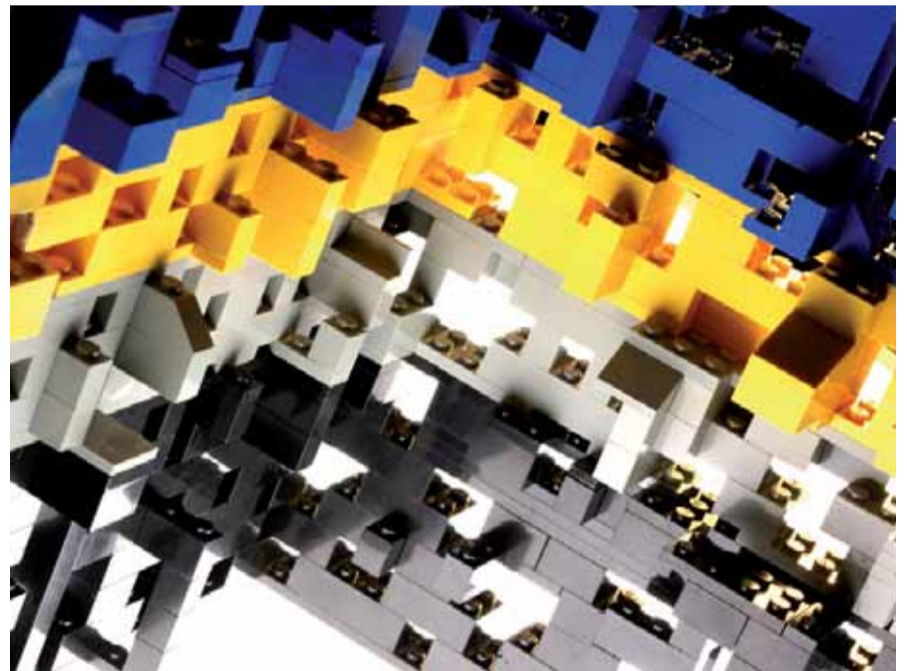
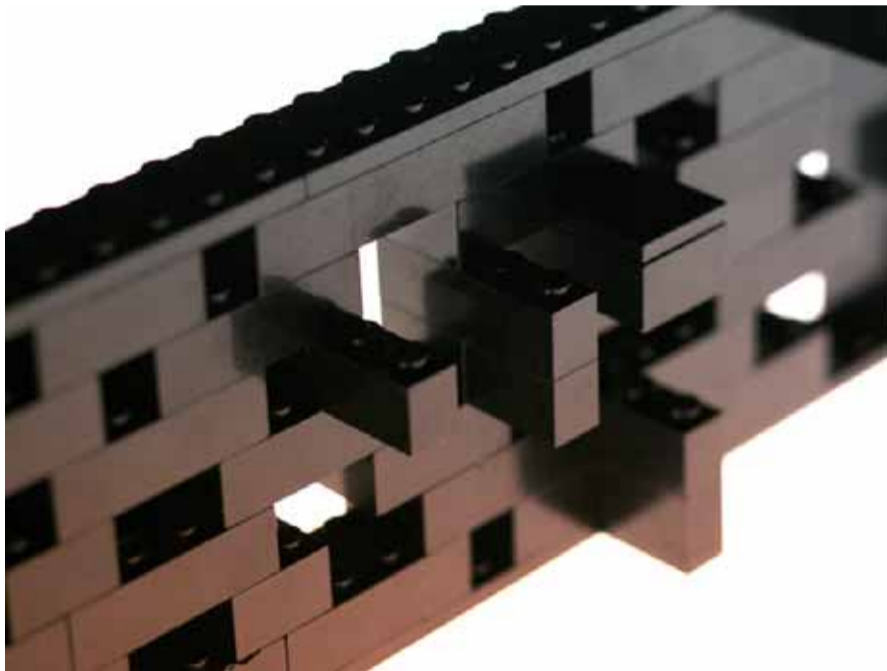
aan elkaar vast. Chemici noemden de ketens polymeren, en toen ze erin slaagden zelf polymeren te synthetiseren waren de kunststoffen geboren.

De theorie van de legosteentjes raakte in de vergetelheid – en kwam daar pas weer uit toen synthetisch-chemici in de vroege jaren negentig moleculen ontwikkelden die verrassend veel weg hadden van de speculaties die een kleine eeuw eerder door de literatuur hadden gespoekt. De chemici maakten moleculen met speciale groepen die zich aan elkaar konden binden op een niet-chemische, omkeerbare manier. 'Je kunt die groepen plakkers noemen', zegt Besseling. 'Als een molecuul twee van die plakkers heeft, dan kunnen de moleculen spontaan lange ketens vormen door zich aan elkaar vast te maken.'

Twee artikelen in PRL gaan over suprapolymeren die zich aan elkaar binden door een groepje H-bruggen. 'In één artikel beschrijven we hoe de moleculen zich gedragen als we ze door een oplossing laten stromen', zegt Besseling. 'Hoe harder de stroming, des te minder stroperig is de vloeistof. We vermoeden dat de moleculen door de stroming parallel gaan liggen en een langgerekte vorm aannemen. Daardoor neemt de stroperigheid van de vloeistof af. Zulk gedrag is nog nooit eerder gevonden.'

In een andere publicatie beschrijven de Wageningers hoe ze de lengte van de ketens kunnen regelen door aan een mengsel van de supramoleculaire polymeren een ander type moleculen toe te voegen, dat in de wandelgangen 'ketenstoppers' heet. 'Ketenstoppers maken zich vast aan de polymeren op de plaats waar zich normaliter andere moleculen zouden vastmaken', legt Besseling uit. 'Daardoor kan de keten niet meer verder groeien.'

# LEVEND PLASTIC/ DE THEORIE VAN DE LEGOSTENEN



Het lijkt abstract, maar de economie hangt een prijskaartje aan dit onderzoek van Fysko. De industrie is al jarenlang geïnteresseerd in methoden waarmee je het ontstaan van moleculaire aggregaten kunt regelen. 'Veel levensmiddelen lijken op de systemen waarmee wij experimenteren', zegt Besseling. 'Melk, margarine of boter bestaan uit kleine deeltjes die zweven in een vloeistof. Als die kleine deeltjes gaan klonteren, zakken ze naar beneden of komen ze boven drijven. Dat gebeurt bijvoorbeeld met mayonaise die gaat schiften. Hoe langer je dat klonterproces tegen kunt houden, des te groter is de houdbaarheid.' Dat geldt ook *non-food* producten als verf, latex en inkt.

Besseling en zijn collega's zijn alweer een paar stappen verder, en gaan binnenkort experimenteren met complexere supramoleculaire polymeren dan de verbindingen die zich aaneenrijgen als kralen aan een snoer. Ze willen proeven doen met moleculen die wel wat weg hebben van drie- en vierwegstekkers. Quatro-functioneel, noemen de Wageningse fysici die laatste categorie.

## WATER

Toen Besseling in de jaren tachtig bij prof. Hans Lyklema van Fysko aan zijn proefschrift werkte, jaren voordat de supramoleculen uit de laboratoria van de synthetisch-chemici kwamen, onderzocht hij een alledaags molecuul dat je eigenlijk als een quatro-functioneel molecuul kunt beschouwen: het watermolecuul. De manier waarop watermoleculen elkaar in water aantrekken lijkt op die van de vierwegstekkers, vertelt Besseling. Net als de moleculaire vierwegstekkers kan één watermolecuul vier andere moleculen aantrekken. De twee waterstofatomen in water hebben een positieve

lading, het zuurstofatoom heeft een tweevoudige negatieve lading. Elk waterstofatoom kan een waterstofbrug vormen met een zuurstofatoom in een ander watermolecuul, en het zuurstofatoom kan een binding vormen met twee andere waterstofatomen in watermoleculen. Die interactiemogelijkheden geven water zijn unieke eigenschappen. Water is bijvoorbeeld uitstekend geschikt om warmte op te slaan. Daardoor heeft Nederland, dat aan zee ligt, een betrekkelijk mild klimaat. En bevroren water is lichter dan vloeibaar water. Daardoor kunnen organismen in water overleven als boven het wateroppervlak de temperatuur tot beneden het vriespunt zakt. Water stoot bovendien vetten en eiwitten af, die elkaar daardoor opzoeken en complexen vormen. Als vetten en eiwitten wel in water konden oplossen hadden er nooit cellen kunnen bestaan, en was er op onze planeet waarschijnlijk nooit leven ontstaan.

'Wetenschappers die water bestuderen zien water meestal als een aparte categorie', zegt Besseling, 'als een rariteit. Ik denk echter dat je water juist moet zien als een lid van een grote familie van systemen waarbij de moleculen dankzij niet-chemische verbindingen aan elkaar klitten. Ik denk dat we door het onderzoek naar supramoleculaire polymeren de bijzondere eigenschappen van water beter zullen gaan begrijpen. Hoe zou water zich gedragen, heb ik me afgevraagd, als het watermolecuul geen vierwegstekker was, maar een vijfwegstekker? Of een driewegstekker?'

Aan het beantwoorden van die vragen is Besseling nooit toegekomen. In de jaren tachtig waren zijn vragen absurd. Maar in de 21ste eeuw, waarin de supramoleculaire polymeren uit de laboratoria zijn gekomen, zijn ze dat niet meer. Besseling denkt dat hij het onderzoek naar supramoleculaire polymeren uiteindelijk weer kan

laten aansluiten bij zijn onderzoek naar de bijzondere eigenschappen van water.

Terwijl het onderzoek naar supramoleculaire polymeren aan de ene kant wetenschappelijke doorbraken belooft, lonken aan de andere kant lucratieve toepassingen. Hoewel er nog geen producten met de nieuwe polymeren op de markt zijn, ruiken bedrijven kansen. Geen wonder. 'Supramoleculaire polymeren assembleren zichzelf', zegt Besseling. 'Ze vormen zelf structuren. Dan ga je denken aan producten die zichzelf kunnen repareren.'

## WASKNIJPERS

Klassieke kunststoffen degraderen. Een goedkope plastic wasknijper die buiten aan de lijn hangt vertoont al binnen een half jaar barstjes. Het zonlicht en de temperatuur laten de polymeren uit elkaar vallen. De ketenlengte verandert, de eigenschappen dus ook. De verandering is onherroepelijk. Maar bij een nieuwe generatie kunststoffen op basis van supramoleculen hoeft dat niet zo te zijn. Anders dan klassieke polymeren zouden die moleculen zichzelf weer kunnen terugbrengen in hun oude staat. Wie weet kunnen productontwerpers met levende polymeren autolak maken die krassen zelf repareert, of vloerbedekking waarop je nooit brandgaatjes of sporen van naaldhakken zult vinden. De mogelijke innovaties zijn echter niet de drijfveer van Besseling en zijn collega's, zegt de onderzoeker. Net zo min als het verlangen om precies te weten hoe dingen werken. 'Gedrag van moleculen dat je makkelijk kunt begrijpen vinden mijn collega's en ik niet interessant', zegt de onderzoeker. 'Juist als we iets zien dat aan ons begrip dreigt te ontsnappen, wordt onze interesse gewekt.' <