

# DE PET-FLES

## Licht, helder en onbreekbaar

**D**e kunststof PET (polyethyleentereftalaat) is vooral bekend van de lichte en onbreekbare frisdrankflessen. In korte tijd joeg de PET-fles de glazen fles de winkel uit en inmiddels drinkt gemiddeld iedere Nederlander wekelijks een PET-fles leeg. Tot 2006 waren frisdrankfabrikanten verplicht om grotere PET-flessen van meer dan een liter meermaals te gebruiken. Zo'n 'dikke' fles wordt vijftien tot twintig keer uitgespoeld en opnieuw gevuld en gaat op die manier vijf jaar mee. Tegenwoordig mogen echter ook in Nederland de eenmalige, dunnere en lichtere flessen worden verkocht – ondanks protesten van de milieubeweging. Al vóór de introductie van de PET-fles in de jaren zeventig was polyethyleentereftalaat een geliefd product van de kunststofindustrie. Er werden toen al veiligheidsgordels, fleecetruien, tapijstruggen, dakbedekkingen en slaapzak-

vullingen van gemaakt. En zo eindigen veel gebruikte PET-flessen nu ook vaak, want de polyester is honderd procent recyclebaar.

Sinds kort worden wijn, sap en bier eveneens in PET-flesjes verkocht. Dat leek lange tijd niet mogelijk, maar de techniek staat niet stil: onderzoekers bedachten ingenieuze oplossingen om ook deze dranken lang goed te houden met PET.

### In deze Chemische Feitelijkheid

- De Context: Wat is milieuvriendelijker: de eenmalige of de hervulbare PET-fles?
- De Basis: PET wordt 'geregen' uit zuur en alcohol. Vervolgens blaast een machine zo'n duizend flessen per uur.
- De Diepte: Van oude fles tot nieuw tapijt. Waarom is 'gewoon' PET ongeschikt voor sap, bier en wijn?

De lichte, onbreekbare PET-fles was direct na de introductie een groot succes. Maar na dertig jaar twisten frisdrankindustrie en milieubeweging er nog altijd over wat de milieuvriendelijkste PET-fles is en hoe deze **gerecycled** moet worden.

# Nieuwe fles heeft veel in **pet**to

**D**e Amerikaan Nathaniel Wyeth maakte eind jaren zestig de allereerste PET-fles. Kunststof flessen bestonden toen al volop, voor shampoo, olie en azijn bijvoorbeeld, maar niet voor de koolzuurhoudende frisdranken. Die flessen waren namelijk niet bestand tegen druk: ze zwollen op en ontploften. Werktuigbouwkundig ingenieur Wyeth slaagde er wél in een sterke PET-fles te maken. De eerste PET-flessen verschenen halverwege de jaren zeventig in de Nederlandse supermarkten. Binnen vijf jaar verdrongen zij de glazen fles, want de voordelen waren legio: zevenmaal lichter dan glas, slijtvast en vrijwel onbreekbaar. Bijna alle frisdranken en mineraalwaters worden sindsdien gebotteld in PET-flessen. In augustus 2001 ging zelfs de laatste 'tegenstander' om, de klassieke Franse waterbottelaar Perrier. Wereldwijd gaan inmiddels meer dan 120 miljard PET-flessen per jaar over de toonbank. Naast elkaar gezet zouden ze met gemak de provincie Limburg vullen.

Koepelorganisatie NFI (de Nederlandse Frisdrankenindustrie) schat dat er in 2005 alleen al in Nederland 650 miljoen grote PET-flessen – van 1 liter of meer – zijn verkocht en 400 miljoen kleine flesjes. Dit betekent dat elke Nederlander gemiddeld eens per week zo'n grote fles



Jaarlijks worden er wereldwijd 120.000.000.000 PET-flessen geproduceerd. Dankzij een slimme vorm met ribben wordt de druk in de fles goed verdeeld, waardoor minder materiaal nodig is.

koopt en elke twee weken een klein flesje. Daarnaast schaffen we nog de nodige shampoo, olijfolie, mosterd, stroop en mayonaise aan in flessen die gemaakt zijn van PET.

## DIK OF DUN?

**D**e bekende dikwandige anderhalve liter fles gaat ongeveer vier à vijf jaar mee en wordt in die tijd zo'n tien tot twintig keer opnieuw gevuld. Tot januari 2006 waren frisdrankfabrikanten verplicht om PET-flessen meerdere malen te gebruiken. Door Europese druk is deze verplich-

ting vervallen, want de hervulbare fles zou concurrentie in de weg staan. Nieuwkomers moeten immers eerst fors investeren in een spoelsysteem. De statiegeldverplichting op alle PET-flessen groter dan 1 liter bleef overigens wél bestaan: frisdrankfabrikanten moeten ingeleverde flessen nog steeds ophalen bij de supermarkten.

Vrijwel direct na het vervallen van de hervulverplichting schakelde Nederlands grootste frisdrankfabrikant (Coca-Cola) over op eenmalige flessen. Naar verwachting zullen anderen volgen. De eenmalige flessen zijn dunner en lichter, maar Coca-Cola maakte ze ook duurder: de prijs in de supermarkt steeg met 30 eurocent per fles. Omdat eenmalige frisdrankflessen nu identiek zijn in Nederland en België, maar onze zuiderburen geen statiegeld kennen, steken aardig wat lege flessen de grens over.

## MILIEUVERSCHILLEN

**D**e milieubeweging is helemaal geen voorstander van de eenmalige PET-fles. Recycling Netwerk, waarin acht milieuorganisaties vertegenwoordigd zijn, stelt dat zo'n fles 2,5 keer meer afval geeft, 70 procent meer energie vergt en tot 50 procent meer broeikasgas veroorzaakt dan een herbruikbare PET-fles. Die is weliswaar twee keer zo zwaar, maar gaat veel vaker mee. Deze cijfers volgen uit een TNO-studie uit 2001. Er bestaan echter ook andere cijfers. In opdracht van de NFI vergeleek het Delftse onderzoeksbureau CE in 2004 het systeem van de hervulbare PET-fles met dat van de eenmalige PET-fles met statiegeld. CE concludeert dat er weinig milieuverschillen zijn tussen beide systemen, mits er ter compensatie voldoende (kleine) PET-flessen worden opgehaald en gerecycled.

## EENMALIG VERSUS HERVULBAAR

	eenmalige fles	hervulbare fles
<b>voordelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lichter</li> <li>• fraaier en meer vormvariatie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• minder grondstofverbruik</li> <li>• minder energieverbruik</li> </ul>
<b>nadelen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• groter verbruik grondstoffen</li> <li>• duurder voor consument</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gebruik spoelmiddelen</li> <li>• meer transport/opslag</li> <li>• minder doorzichtig</li> <li>• zwaarder</li> </ul>



## EVOLUTIE VAN DE PET-FLES



1971	1978	1988	1990	1993	1996	2000
56,6 g	48,8 g	47,3 g	45,6 g	42,3 g	41,1 g	37,3 g

De PET-fles is in de loop der jaren steeds lichter geworden: zo vermagerde de fles van het Belgische Spa-water in dertig jaar van 57 gram naar 37 gram.

voorwaarde: eind 2005 moest het aantal blikjes en flesjes in het zwerfafval met 80 procent zijn afgenomen. De verpakingsindustrie zette daarom de actie 'Nederland Schoon' op. Het streefpercentage resulteerde in een welles-nietes discussie tussen verpakingsindustrie en milieuorganisaties. Volgens onderzoek van de industrie nam het zwerfvuil af, de milieuverenigingen kwamen met studies die het tegendeel lieten zien. De staatssecretaris besloot uiteindelijk geen statiegeld in te voeren, maar introduceerde een nieuw streefgetal: voortaan moet 65 procent van alle verpakkingen worden gerecycled. Hoe? Dat moeten gemeenten en de industrie gaan oplossen.

Als het aan de frisdrankfabrikanten ligt, mag het statiegeld overigens helemaal verdwijnen. Het milieuvriendelijkste systeem is volgens hen om alle kunststofverpakkingen – dus ook de PET-fles – bij het normale huisvuil te doen. Dit huisvuil gaat bij de stort door een nascheidingsinstallatie die al het kunststof en metaal er automatisch uithaalt; de rest wordt verbrand.

Vervolgens sorteert een machine de diverse kunststoffen verder uit. De recyclebare soorten, zoals PET, worden gewassen en opnieuw gebruikt. Volgens TNO-onderzoek in opdracht van Ecoverpakkingen (de verenigde verpakingsindustrie) blijkt zo'n nascheiding wat betreft CO<sub>2</sub>-reductie liefst 300 procent gunstiger dan het huidige statiegeldsysteem, vooral doordat er dan veel meer kunststof wordt gerecycled. Cruciaal is wel dat de scheidingsinstallatie zeer goed werkt. Gemengd kunststofafval is vrijwel waardeloos, terwijl ongemengd PET-afval een prima grondstof vormt voor de textiel- en tapijtindustrie.

De verpakingsindustrie wil samen met huisvuilscheiders Essent Milieu en Omrin medio 2007 de eerste geavanceerde nascheidingsinstallaties in gebruik nemen die hun gelijk moeten bewijzen. In een onafhankelijk *review* van de TNO-studie concludeert adviesbureau PWC echter dat nascheiding op korte termijn (2010) geen realistische optie is, omdat de scheidingsinstallaties nog niet goed genoeg zijn. Zowel milieuorganisaties als de Vereniging van Nederlandse Gemeenten blijven voorstander van 'scheiden aan

## RECYCLINGCAMPAGNE

## INZAMELEN

In 2005 is de Stichting Inzameling PET-flesjes onder de titel 'Lege flesjes, terug ermee' proefprojecten gestart voor het inzamelen van kleine PET-flesjes in scholen, sportclubs, winkels en tankstations. De pilots liepen tot mei 2006 in Rotterdam, Zwolle, Helmond, Emmen, Gemert-Bakel en in Hilversumse bioscopen. De opbrengst (4 euro per volle zak met 200 flesjes) gaat naar de sportclub of een goed doel.



Uit een tussenevaluatie eind 2005 blijkt dat na de opstartperiode in Rotterdam circa 15 procent van alle verkochte flesjes de weg vindt naar de inzamelbakken. In Helmond ligt dit percentage op 20 procent, in Zwolle op 25, in Gemert-Bakel op 45 en in Emmen op 55. In Hilversum kwam 45 procent van de verkochte flesjes in de bakken terecht. Sportclubs blijken uiteindelijk de beste inzamelplaatsen. Het Emmense succes lijkt gebaseerd op veel aandacht in de regionale media. Ook tijdens het WK-jeugdvoetbal in de zomer van 2005 werden bij alle stadions inzamelbakken geplaatst; de opbrengst (1900 euro) ging naar SOS-kinderdorpen. De resultaten verschilden sterk per stadion. Dankzij vrijwilligers van voetbalclub BVO Emmen werd daar 84 procent van de verkochte flesjes ingeleverd; in Tilburg vond echter maar 10 procent van de flesjes de weg naar de inzamelbak.

de bron' via statiegeld of andere inzamelingsystemen. Volgens hen levert dat niet alleen zuiver en ongemengd afval op dat eenvoudig te recycleren valt, maar houdt het bovendien de straten schoon.

## WAT IS WAT



Kunststof verpakkingsmateriaal moet wettelijk voorzien zijn van een pictogram. Het nummer geeft aan om welke kunststof het gaat. Overigens worden voor PET (polyethyleentereftalaat of polyetheentereftalaat) ook de afkortingen PETE en PETP gebruikt.

- 1 polyetheentereftalaat
- 2 hogedichtheid polyetheen
- 3 polyvinylchloride
- 4 lagedichtheid polyetheen
- 5 polypropreen
- 6 polystyreen
- 7 polycarbonaat

Kristallijn PET is sterk, maar wit. De doorzichtige PET-fles wordt gemaakt van PET dat deels gekristalliseerd is. Haar **sterkte** krijgt de fles dankzij een speciale blaastechniek.

# Van ruwe **olie** tot glanzende fles

**P**ET staat voor polyethyleentereftalaat. Het is een kunststof – of specifiek een polyester – die werd ontdekt door de Britse chemici John Rex Whinfield en James Tennant Dickson. In 1941 synthetiseerden zij de polyester in hun laboratorium van Calico Printers, een Engels bedrijf dat textiel bedrukte. Eerder maakte de Amerikaanse chemicus Wallace Carothers (de uitvinder van onder andere nylon) al een paar soorten polyesters, maar geen PET. Voordat de PET-fles begin jaren zeventig op de markt kwam, was de kunststof vooral bekend van textiel. Er werd bijvoorbeeld vloerbedekking van gemaakt, maar ook tenten en kleding. Chemieconcern DuPont produceerde als eerste PET-textielvezels onder de naam *Terylene*, ICI volgde snel met *Dacron*. Nog steeds blijft textiel het grootste toepassingsgebied van PET, maar

inmiddels wordt circa dertig procent van al het nieuw geproduceerde PET gebruikt voor flessen.

## LANGE KETENMOLECULEN

**K**arakteristiek voor alle kunststoffen ofwel polymeren is dat ze bestaan uit lange ketenmoleculen waarin een basiseenheid – het monomeer – steeds wordt herhaald. In polyesters zijn de eenheden aan elkaar geschakeld via zogeheten esterbindingen ( $-\text{COO}-$ ), die ontstaan wanneer een zuur reageert met een alcohol. In het geval van PET gaat het om tereftaalzuur (1,4-benzeendicarbonzuur) en de alcohol ethyleenglycol (1,2-ethaandiol). Beide basisstoffen zijn afkomstig van de petrochemische industrie; om 1 kilo PET te produceren hebben fabrikanten omgerekend 1,9 kilo ruwe aardolie nodig als grondstof. De productie van PET is overi-



PET in stadia: van korrel tot preform tot fles.

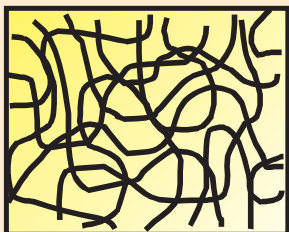
Foto: Wellman PET Resins Europe

gens niet eenvoudig. Vooral doordat het tereftaalzuur zeer zuiver moet zijn, anders zouden nevenproducten de polymerisatie van de kunststof remmen. Iedere fabrikant heeft hiervoor zijn eigen beste 'recept'.

De polymerisatie van ethyleenglycol en tereftaalzuur tot PET verloopt in twee stappen. Eerst reageert tereftaalzuur in een overmaat ethyleenglycol tot 'PET-monomeer'. Bij deze eerste reactiestap komt water vrij, dat uit het hete mengsel verdampst. Vervolgens wordt de temperatuur verder verhoogd en verloopt de reactie onder vacuüm. Nu verdampst het resterende ethyleenglycol en rijgen de PET-monomeren zich aaneen tot lange moleculen. Deze transesterificatie wordt versneld door de katalysator antimoontrioxide toe te voegen.

Het eindresultaat is gesmolten PET. Deze hoog viskeuze *melt* wordt door een soort vergiet geperst zodat smalle slierten kunststof ontstaan. Is het materiaal

## CHEMISCHE SPAGHETTI



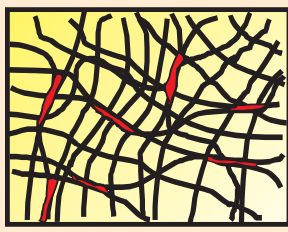
### doorzichtig

Bij snelle afkoeling na de synthese ontstaat amorf ofwel ongekristalliseerd PET, waarin de lange moleculen als spaghetti-slierten kriskras door elkaar liggen. Het materiaal is doorzichtig doordat er geen licht wordt verstrooid.



### wit

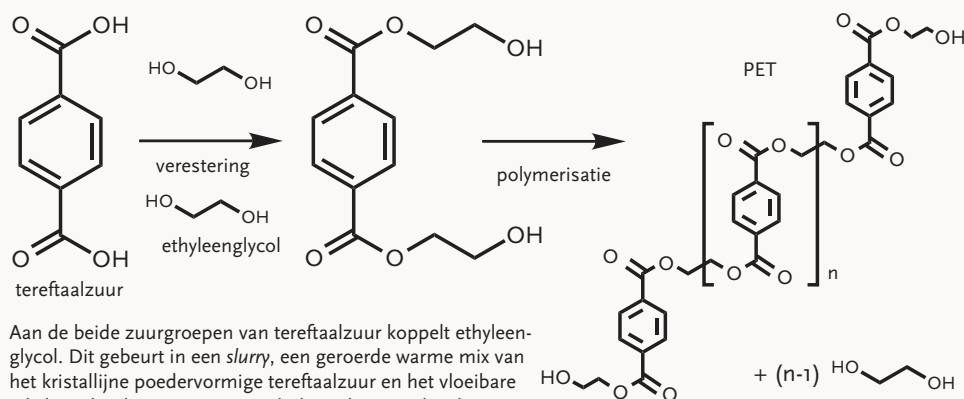
In semi-kristallijn PET zijn (delen) van de ketens geordend in zogeheten kristallijne domeinen. Die kristallen verstrooien licht, waardoor het materiaal wit is.



### transparant

Door PET te 'verstrekken' worden de ketenmoleculen in een of meer richtingen georiënteerd. Daarbij ontstaan slechts kleine kristallen (rood) die het licht verstrooien, waardoor het materiaal toch transparant is.

## SYNTHESE VAN PET



Aan de beide zuurgroepen van tereftaalzuur koppelt ethyleenglycol. Dit gebeurt in een *slurry*, een geroerde warme mix van het kristallijne poedervormige tereftaalzuur en het vloeibare ethyleenglycol (verestering). Geholpen door een katalysator vindt polymerisatie plaats waarbij ethyleenglycol wordt afgesplitst en de PET-monomeer aaneen worden geregen tot lange moleculen.

bestemd voor textielvezels, dan kan het meteen worden gesponnen. Voor andere doeleinden worden de slierten snel met water gekoeld waardoor de kunststof stolt. Een ronddraaiend mes hakt de slierten tot kleine korreltjes. Dit granulaat krijgt nog een nabehandeling: een zogeheten vaste fase nacondensatie, een polymerisatie om ketens nóg langer te maken. Daartoe worden de korrels opnieuw sterk verhit om de polymeerketens verder te verknopen. De lange ketens maken het materiaal sterker: PET voor textieldoeleinden heeft een ketenlengte van 90 tot 100 repeterende eenheden, voor PET-flessen is dat 120-140 eenheden.

## OPBLAZEN

Hoe modern de PET-fles ook is, de productie heeft nog veel weg van het ouderwetse glasblazen. Eerst wordt een *preform* gemaakt: het schroefgedeelte en de hals zijn al op ware grootte, het flesgedeelte heeft echter nog het formaat van een reageerbuis. Een preform wordt geproduceerd door het granulaat te smel-

ten in een spuitgietmachine en de hete kunststof in een mal te persen en te koelen. Dat gaat razendsnel; de machine spuugt elke 15 seconden een nieuw exemplaar uit.

Het buikgedeelte wordt vervolgens in een 'lampenstraat' opnieuw verwarmd tot 100 à 120 °C. De hete en relatief zachte preform wordt in een mal gesloten en met hete lucht onder hoge druk opgeblazen. De flesbuis zet uit en wordt tegen de wand van een mal gedrukt, waardoor de uiteindelijke flesvorm ontstaat. De lucht waarmee de fles wordt opgeblazen, stroomt uit een smalle buis die tijdens het blazen de bodem van de fles naar beneden duwt. Op deze manier wordt de kunststof in twee richtingen uitgerekt – zowel in de lengte als de breedte. Vandaar dat dit productieproces *stretch blow molding* heet, in het Nederlands ook wel aangeduid als verstrekkblazen.

In de preform liggen de lange PET-moleculen als een spaghetti-brij door elkaar heen; het materiaal is ongeordend ofwel amorf. Tijdens het blazen van de fles worden de ketens uiteen getrokken, waardoor ze deels netjes naast elkaar komen te liggen in de blaasrichtingen. Op die plekken ontstaan langgerekte kristallen die de wand een hoge stijfheid en sterkte geven. De mal waarin de fles wordt geblazen is koud, zodat de PET-moleculen in deze gerekte toestand worden 'bevroren'.

## TRANSPARENT

PET vormt van nature grote witte kristallen. De kristallen die ontstaan bij het verstrekken zijn echter erg klein, waardoor de fles volledig transparant blijft. Hoe zit dat chemisch? Wanneer

## OPHEF OVER ANTIMOON

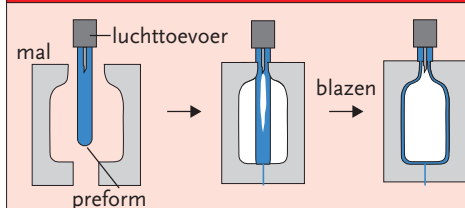
Om de productie van PET te versnellen wordt de katalysator antimoontrioxide ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) gebruikt. Het zware metaal vormt een complex met het PET-monomeer, waardoor de benodigde energie voor de polymerisatie verlaagd wordt. Onderzoeker William Shotyk van de Universiteit van Heidelberg toonde in januari 2006 antimoon aan in mineraalwater uit PET-flessen. Het metaal blijkt niet helemaal 'vastgebakken' te zitten in de fleswand. Het antimoongehalte in het gebottelde water zou daardoor stijgen van 2 tot 600 ppt (*parts per trillion*;  $1 \text{ per } 10^{12}$ ) in een half jaar. Volgens Shotyk moet de industrie daarom op zoek naar alternatieven voor antimoon. Er bestaan trouwens al commerciële katalysatoren gebaseerd op titanium, al spelen daarbij nog problemen met geelkleuring van de PET-fles.



De gevonden antimoonwaarde ligt overigens zeer ruim onder de Europese en Nederlandse norm van 5.000 ppt. De WHO hanteert zelfs 20.000 ppt als veiligheidsgrens. Water en frisdranken uit PET-flessen zijn dan ook volkomen veilig.

gesmolten PET langzaam afkoelt, zullen de polymeerketens zich ordenen in kristallen omdat dit energetisch gezien de meest gunstige situatie is: thermische kristallisatie. Dit lukt echter niet voor alle ketens – en vaak ook niet voor de gehele keten – omdat de lange moleculen kristkras door elkaar liggen en in elkaar verstrikt zijn. Bovendien begint de kristallisatie op verschillende plaatsen. Bij langzame afkoeling ontstaat uiteindelijk een materiaal dat gedeeltelijk gekristalliseerd is (semi-kristallijn) en dat bestaat uit vele kristallijne gebieden die zijn ingebed in een spaghetti-brij. Deze thermische kristallen breken het licht, waardoor semi-kristallijn PET wit is. Bij het maken van een PET-fles moet thermische kristallisatie dan ook voorkomen worden. Vandaar dat het afkoelen zo snel mogelijk gebeurt.

## FLESSEN BLAZEN



Een PET-fles wordt in een mal geblazen uit een zogeheten *preform* van een fles – een dik plastic buisje dat veel wegheeft van een reageerbuis. Alleen de flessenhals en de schroefdraad voor de dop hebben daarin al de definitieve vorm.



Een PET-fles krijgt na gebruik vaak een **tweede leven** als slaapzakvulling, fleecetrui of vloerbedekking. Of na een speciale behandeling weer als PET-fles. Het recycleren van PET is namelijk vrij eenvoudig.

# Een tapijt van PET-flessen

Gebruikte PET-flessen zijn zeer gewild: een ton PET-afval levert anno 2006 ongeveer 400 euro op. Vooral de vraag naar 'schoon' afval zoals statiegeldflessen is groot. Deze flessen zijn van goede kwaliteit en er zitten geen andere kunststoffen door het materiaal gemengd, waardoor het recycleren vereenvoudigt. Daarvoor bestaan twee principes: chemische en mechanische recycling.

Bij chemische recycling wordt het polymeer omgezet in de uitgangsstoffen ethyleenglycol en tereftaalzuur, waaruit vervolgens opnieuw PET kan worden gemaakt. Die omzetting vindt plaats door het materiaal in vochtige omstandigheden te verhitten, waarbij het water de esterverbindingen tussen de eenheden splitst. In feite gebeurt het omgekeerde als bij de productie van PET.

Technisch gezien is chemische recycling goed mogelijk, maar het proces vergt veel meer energie dan het mechanische proces – dat daardoor aantrekkelijker is voor fabrikanten. Bij mechanische recycling

komt doorgaans weinig chemie kijken, want het polymeer blijft grotendeels intact. Het procedé bestaat uit een aantal grondige 'wasbeurten', gevolgd door het omsmelten bij hoge temperaturen naar hanteerbare korrels voor de textiel- of verpakkingsindustrie. Bij het omsmelten is het van belang om droog en zoveel mogelijk zuurstofvrij te werken. De afwezigheid van water voorkomt depolymerisatie, terwijl de afwezigheid van zuurstof voorkomt dat het polymeer verbrandt.

## VERSNIPPERAAR

Ongeacht het recyclingproces zal het PET-afval eerst zo zuiver mogelijk gemaakt moeten worden. Magneten halen er blik en ijzer uit. En meestal controleert een geoefend oog de afvalstroom op stenen en andere vreemde materialen voordat het afval in de versnipperaar verdwijnt. PET-snipper ter grootte van een vierkante centimeter belanden vervolgens in een waterbad om etiketten, restanten frisdrank en andere verontreinigingen eruit te wassen. In dit bad komen ook de doppen bovendrijven die gemaakt zijn van polyethyleen, polypropyleen of andere kunststoffen. Afhankelijk van hoe vuil het materiaal is, volgen er nog meer scheidings- en wasstappen. Vooral vervuiling met andere kunststofsoorten zoals PVC is lastig, omdat die bij verhitting verbranden.

Jarenlang ging veel kunststofafval naar lagelonenlanden in bijvoorbeeld Zuidoost-Azië, waar het handmatig werd gescheiden. Afvalexport is door Europese regelgeving echter aan banden gelegd. Inmiddels hebben bedrijven dan ook geavanceerde apparatuur in huis die snipper voor snipper controleert met infra-

rood licht of Röntgenstraling. Een robot vist automatisch alle snippers eruit die niet als PET worden herkend. Ieder recyclingbedrijf heeft zijn eigen – vaak geheime – aanpak om PET-snipper te zuiveren.

Eenmaal schoon en droog gaat het PET-afval in een *extruder*, waar het wordt verhit en gemengd. Na afkoeling wordt het PET fijngehakt tot kleine korrels, het zogeheten granulaat. Door de warmte in de extruder kan het polymeer echter inboeten aan molecuullengte: de ketens 'breken' door hydrolyse. Daarom vindt onder vacuüm en verhitting soms nog een napolymerisatie plaats van het granulaat, net als in de laatste stap van de reguliere PET-productie.

Onderzoekers van DSM Allinco hebben een methode ontwikkeld waarmee deze napolymerisatie-stap overgeslagen zou kunnen worden. Dat zou niet alleen tijd besparen (napolymerisatie vergt minstens twintig uur) maar ook energie (de reactie vindt onder vacuüm plaats bij 200 °C).

## KOSTBARE SNIPPERS



Een handvol PET-snipper, afkomstig van oude PET-flessen. Hoewel PET prima te recycleren valt, is het maken van het recyclelaat doorgaans duurder dan de productie van nieuw PET.



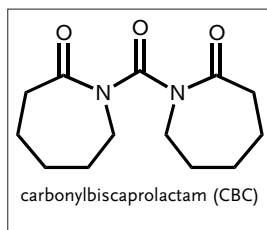
De vraag naar schoon afval is groot. Statiegeldflessen zijn geliefd bij recyclingbedrijven, omdat het een 'monomateriaal' is waar geen andere kunststoffen doorheen gemengd zijn.



Foto: Ancor Ltd.

Een 'multi-layer' PET-fles waarin vruchtensap minimaal twaalf maanden goed blijft.

Het Allinco-procedé maakt gebruik van carbonylbiscaprolactam, een zogeheten ketenverlenger die wordt toevoegd tijdens de laatste productiestap, zodat geen extra verwerkingsstap nodig is. Bijzonder aan deze niet-giftige verbinding is dat de poly-



meerketens alleen *lineair* worden gekoppeld, waardoor er onvertakt PET met een hoog molecuulgewicht ontstaat. Het verminderde molgewicht als gevolg van de

hydrolyse wordt hierdoor gecompenseerd. Dit maakt de productie van gerecyceld PET niet alleen goedkoper en sneller, maar het materiaal valt bovendien beter chemisch te *finetunen*. Alle voordelen ten spijt heeft DSM echter uit strategisch oogpunt besloten om deze ketenverlenger (nog) niet op de markt te brengen.

## BOTTLE-TO-BOTTLE

Voor textiel, verpakingsstrips en auto-gordels is gerecyceld PET uitstekend geschikt. Maar voor voedingsmiddelenverpakkingen, zoals PET-flessen, moet het PET zeer schoon zijn. Er zijn strikte limieten voor de hoeveelheden PVC, metaal, reinigingsmiddelen en lijmresten die in een recyclelaat mogen zitten wanneer het gebruikt wordt om voedingsmiddelen te verpakken. Met name lijmresten vormen in de praktijk een probleem. Niet zozeer vanwege de voedselveiligheid – de resten blijven namelijk in de fles – maar vooral omdat ze het materiaal laten vergelen.

Desondanks streeft de grootste PET-flesproducent in Nederland, Coca-Cola, er naar dat een kwart van al haar flessen bestaat uit gerecyceld materiaal: *bottle-to-bottle* recycling. Hiertoe sloot de frisdrankenfabrikant een overeenkomst met het Duitse recyclebedrijf Cleanaway. Coca-

## BESCHERMEN TEGEN LUCHT

### PET OOK GESCHIKT VOOR BIER, SAP EN WIJN

Ook bier, vruchtensap en wijn zijn tegenwoordig verkrijgbaar in PET-flesjes, vooral tijdens festivals, op het strand en andere plaatsen waar glas gevaar zou kunnen opleveren. In de supermarkt vind je die flesjes echter nog niet. De reden: PET is niet helemaal luchtdicht. Zuurstof en kooldioxide zijn klein genoeg om tussen de mazen van de polymerennetwerken door te sluipen. Laat een PET-frisdrankfles jaren in de kelder staan en de prik is eruit.

Bij een dikwandige anderhalve liter fles verdwijnt in vier maanden tijd zo'n tien procent van de prik. Op zich geen punt, want pas bij vijftien procent minder merk je het verschil. Bij eenmalige dunne flessen gaat dit uiteraard sneller; het is raadzaam die flessen binnen een half jaar leeg te drinken. Juist vanwege de luchtdoorlaatbaarheid van PET is de kleinste maat frisdrankfles een halve liter. Want hoe kleiner een fles, hoe groter het relatieve oppervlak en hoe sneller de bubbels zijn verdwenen. Door een snelle logistiek van fabriek naar festival, strand of bioscoop valt dat probleem op te lossen. Ook wordt er aan festivalbier vaak een overmaat kooldioxide toegevoegd om het weglekken te compenseren. Maar de doorlaatbaarheid blijft de belangrijkste hindernis voor verkoop in de supermarkt van bier, sap en wijn in PET. Bier verschaalt immers aan de lucht, wijn verzuurt en bij vruchtensappen versnelt de groei van bacteriën en schimmels door binnendringend zuurstof.

Er zijn daarom verschillende technologische oplossingen bedacht om de fleswand ondoordringbaarder te maken. Sommige fabrikanten produceren flessen met meerdere lagen. De binnen- en buitenzijde van de fles bestaat dan bijvoorbeeld gewoon uit PET, maar daartussen zit een dun laagje nylon dat een grotere barrière vormt tegen zuurstof. Een andere oplossing is het coaten van de binnenzijde van de fles met een nylonlaag. De houdbaarheid van bier wordt zo drie- tot viermaal vergroot.



PET-flesjes van Duitse en Scandinavische pilsfabrikanten

Het maken van een meerlagige fles is technisch gezien echter lastig. Een andere oplossing zijn zogeheten *oxygen scavengers*. Deze stoffen kunnen zuurstof binden en worden door het PET-granulaat gemengd vóórdat de fles geblazen wordt. Vervolgens vangt ze de zuurstof weg die vanuit de buitenlucht binnendringt, waardoor sap, bier of wijn langer goed blijven. Een voorbeeld is Amosorb® van BP Chemicals, met als bindende component ijzer. Een andere is Oxbar®, een nylonsoort die zuurstof wegvangt door het te gebruiken voor oxidatie. Zuurstofvangers zijn echter een tijdelijke oplossing. Zodra ze verzadigd zijn met zuurstof zal de zuurstofdoorlaatbaarheid van de fles weer afhangen van de dikte en het oppervlak van de fles.

Sinds kort bestaan er twee nieuwe methoden om de doorlaatbaarheid van PET-flessen sterk te verminderen. Beide zijn gebaseerd op *plasma enhanced chemical vapour deposition* – kortweg PECVD. De eerste zorgt voor een inwendige Diamond Like Coating (DLC) in de PET-fles, via een plasmabehandeling door introductie van sporen methaan of acetyleen-gas. Deze coating vermindert de zuurstofdoorlaatbaarheid met een factor dertig, terwijl het verlies aan kooldioxide met een factor zeven daalt. De tweede methode zorgt voor een uitwendige siliciumoxide-coating op de PET-fles, waardoor de barrière-eigenschappen met een factor vier verbeteren.

Cola stuurt alle ingeleverde lege PET-flessen naar het Duitse Rostock. Een deel keert terug in de vorm van schoon granulaat. Dit gerecycelde PET wordt in een verhouding van 1 op 3 gemengd met nieuw *virgin* ('maagdelijk') PET, waaruit vervolgens de flessen worden geblazen.

Om te voldoen aan de strenge normen verwijdert Cleanaway van het oppervlak van de PET-snipper een dun laagje, waarin de eventuele verontreinigingen zitten. Het hart van de snippers blijft intact en vormt de basis voor het schone granulaat.

De buitenlaag verdwijnt door de PET-snipper te verhitten met vast natriumcarbonaat (soda). Aan het oppervlak vindt dan verzeeping plaats van het polymeer. De esterverbindingen worden opengebroken, waarbij natriumtereftalaat (een zout) en ethyleenglycol ontstaat. Het ethyleenglycol verdampt en het zout wordt van de snippers geblazen. Er bestaan ook andere procedés om zeer schoon PET-recyclelaat te maken. Zo claimt het bedrijf Wellman een "volledig mechanisch" proces te gebruiken voor hun recyclelaat.

# Meer weten

## AANBEVOLEN LITERATUUR

- A.K. van der Vegt en L.E. Govaert: Polymeren, van keten tot kunststof. VSSD Delft 2005, ISBN 90-71301-48-6
- George Odian, Principles of polymerization. John Wiley 1991, ISBN 0-471-61020-8

## AANBEVOLEN WEBSITES

- Animatie van het verstrekblazen van PET-flessen: [www.bpf.co.uk/downloads/files/injection\\_stretch.swf](http://www.bpf.co.uk/downloads/files/injection_stretch.swf)
- Video over het recyclen van PET: [www.cleanaway-pet.com/en/urrc/auf-einen-blick.php](http://www.cleanaway-pet.com/en/urrc/auf-einen-blick.php)
- PET-recyclingorganisaties: [www.legeflesjesterugermee.nl](http://www.legeflesjesterugermee.nl); [www.recyclingnetwerk.org](http://www.recyclingnetwerk.org); [www.petcore.org](http://www.petcore.org); [www.napcor.com](http://www.napcor.com)
- Rapporten en studies over meermalig/eenmalig flessengebruik en wel/geen statiegeld: [svm-pact.nl](http://svm-pact.nl) (publicaties, rapporten); [www.ecoverpakkingen.nl](http://www.ecoverpakkingen.nl) (zoek op nascheiding); [www.ce.nl](http://www.ce.nl) (publicaties)

## VOOR OP SCHOOL

1. Eenmalig gebruik als fles, of hervulbare PET-fles? Verplaats je in de positie van een fabrieksdirecteur en geef argumenten waarom je geen hervulbare PET-fles wilt. Vraag anderen om de opvatting van de milieubeweging van argumenten te voorzien. Start het debat.
2. Maak een scenario voor het inleveren van PET-flessen tijdens een groot feest. Formuleer een doel, werkwijze en evaluatie.
3. De bereiding van PET-monomeer gaat via tereftaalzuur met een grote overmaat ethyleenglycol. Welke nevenproducten verwacht je? Is dat een probleem? En waarom wordt geen overmaat tereftaalzuur gebruikt?
4. Antimoontrioxide is een katalysator die de vorming van PET versnelt. Waardoor is er niet echt sprake van een katalysator?
5. Noem twee redenen voor verwijdering van ethyleenglycol onder verminderde druk (vacuüm) bij de productie van PET.
6. Tereftaalzuur heeft twee karakteristieke zuurgroepen. Welk

Foto: Space Expo, Noordwijk



De dikwandige, meermalige te gebruiken PET-fles doet het uitstekend als waterraket. Het wereldhoogterecord van zo'n raket bedraagt 554 (!) meter.

- effect heeft een reactie van tereftaalzuur met 1,2,3-propaantriol (glycerine) op het gevormde polymeer?
7. Maak een beeldverslag van de polymerisatie en de polymeren met behulp van spaghetti. Geef de kristallijne en amorfe gebieden aan. Gebruik zonodig olijfolie voor de 'gladde' polymeren.
  8. Antimoonoxide komt via diffusie vrij uit het polymeer. De MAC-waarde is 20.000 ppt als veiligheidsgrens. Hoe wordt de MAC-waarde bepaald? En wat is de waarde van die grens?
  9. PET-snipperen worden herkend met infrarood en/of röntgenstraling. Wat doet infrarood licht met de moleculen? Waardoor kun je hiermee PET van PVC onderscheiden?
  10. IJzer fungeert als zuurstofvanger in Amosorb. Welke zouten van ijzer zijn hiervoor geschikt?

## COLOFON

**Chemische Feitelikheden:** actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Losbladige uitgave van de KNCV, verschijnt drie maal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

### Redactie:

Alexander Duyndam (C2W)  
Marian van Opstal (Bèta Communicaties)  
Arthur van Zuylen (Bèta Communicaties)  
Gerard Stout (Noordelijke Hogeschool Leeuwarden)

**Basisontwerp:** Menno Landstra

### Redactie en realisatie:

Bèta Communicaties  
tel. 070-306 07 26  
[betacom@planet.nl](mailto:betacom@planet.nl)

### Uitgever:

Roeland Dobbelaer  
Bèta Publishers  
Postbus 249, 2260 AE Leidschendam  
tel. 070-444 06 00  
fax 070-337 87 99  
[info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

### Abonnementen opgeven:

Abonnementenland  
De Trompet 1739, 1967 DB Heemskerk  
tel. 0251-31 39 39  
fax 0251-31 04 05  
[aboservice@aboland.nl](mailto:aboservice@aboland.nl)

Abonnementen kunnen elk moment ingaan. Abonnementen worden automatisch verlengd tenzij vóór 1 november van het lopende jaar een schriftelijke opzegging is ontvangen.

### Abonnementen:

• papieren editie en toegang tot digitaal archief op internet: eerste jaar (inclusief verzamelmap): € 90,-  
KNCV- en KVCV-leden: € 80,-  
tweede jaar en verder: € 56,-  
KNCV- en KVCV-leden: € 46,-

• alleen toegang tot digitaal archief op internet:  
eerste jaar: € 70,-  
KNCV- en KVCV-leden: € 60,-  
tweede jaar en verder: € 45,-  
KNCV- en KVCV-leden: € 40,-

## DE PET-FLES

editie 50  
nummer 225  
juni 2006

### Met dank aan:

- Ing. Wim Hoenderdaal, Vordian, [hoenderdaal@vordian.com](mailto:hoenderdaal@vordian.com)
- Ir. Niels Peters, Wellman PET Resins Europe, [niels.peters@wellman-europe.com](mailto:niels.peters@wellman-europe.com)
- Dr. Luc Leemans, DSM Research, [Luc.Leemans@dsm.com](mailto:Luc.Leemans@dsm.com)
- Prof. Ton Loontjens, DSM Geleen, [ton.loontjens@dsm.com](mailto:ton.loontjens@dsm.com)