

**KUNSTSTOFFEN**

1 Inleiding

Kunststoffen spelen tegenwoordig een belangrijke rol. Daarbij zul je niet direct denken aan een biljartbal. Toch was de biljartbal de aanleiding tot het ontstaan van de allereerste kunststof. Een Amerikaanse biljartspeler loofde 10.000 dollar uit voor wie hem een al­ternatief kon leveren voor de oneffen en kostbare ivoren bal. In 1870 lukte dat de gebroeders Hyatt. Door katoen te bewerken met salpeterzuur maak­ten zij een materiaal dat doorzichtig was als glas en nog taaier dan leer. Het bleek bij verwarmen een plas­tisch vloeiende taaie massa te vormen die eenvoudig in een gewenste vorm was te brengen. De kunststof kreeg de naam ‘celluloid’. Jarenlang is cellu­loid de enige kunststof geweest. Er werden niet alleen biljartballen, maar ook kunstgebitten en filmmateriaal uit vervaardigd. Pas na de eeuwwis­seling kwamen er ook andere kunst­stoffen. Sindsdien is het aantal kunst­stoffen, die ook wel ‘plastics’ worden genoemd, enorm toegenomen. Niet alleen als vervangende stof voor veel natuurlijke materialen, maar ook voor toepassingen die zonder kunst­stof niet eens mogelijk zouden zijn.



Kunststoffen (de naam zegt het ei­genlijk al) zijn stoffen die kunstmatig gemaakt zijn. Ze bestaan uit zeer gro­te moleculen. Soms zijn die grote mo­leculen afkomstig uit de natuur, in andere gevallen worden ze door de mens zelf gemaakt. De wijze waarop die grote moleculen onderling sa­menhang vertonen, bepaalt de ver­schillen in fysische kenmerken en chemische eigenschappen. Zelfs de vormgeving, de bewerking en het hergebruik van de kunststof hangen daar nauw mee samen.

**ONTHOUD:**

Kunststoffen bestaan uit zeer grote moleculen. Deze zijn

langs chemische weg gevormd of van natuurlijke herkomst. Kunststoffen worden in de volksmond ook wel plastics genoemd.

Maak nu: O: 11/1 en O: 11/12

1. **Kenmerken en**

**eigenschappen**

**van kunststoffen**

De laatste tientallen jaren zijn veel na­tuurlijke materialen gaandeweg ver­vangen door materialen uit kunst­stof. Kunststoffen hebben namelijk eigenschappen die veel natuurlijke materialen missen. Door die eigen­schappen kunnen er zelfs producten worden gemaakt die zonder kunst­stoffen niet eens zouden bestaan. Bal­lonnen en kauwgom zijn daar maar twee voorbeelden van.

*Kunststoffen* zijn eenvoudig te produ­ceren en zonder veel moeite vorm te geven. Kunststofproducten zijn daar­om zeer geschikt voor massaproduc­tie. Het merendeel van de kunststof­fen wordt gemaakt uit aardolie. Deze grondstof is voorlopig nog in grote hoeveelheden beschikbaar. Anders dan bij natuurlijke materialen kan er bij kunststoffen op aanvraag geprodu­ceerd worden. Van tekorten of over­schotten hoeft geen sprake te zijn. Dat zijn voordelen ten opzichte van veel natuurlijke materialen.

Er wordt heel veel gebruikgemaakt van kunststoffen. We noemen hierna nog enkele gunstige kenmerken en ei­genschappen.

Kunststoffen zijn meestal **licht van ge­wicht.** Door gewichtsbesparing is kunststof een geschikt materiaal voor verpakkingen of voor onderdelen van transportmiddelen (auto's, scooters, helicopters, enzovoort).

Gebruik van elektriciteit is alleen mo­gelijk als elektrische bedrading af­doende geïsoleerd kan worden. Kunst­stoffen **geleiden geen elektriciteit** en zijn daarom ideale materialen voor ge­bruik als draadmantel in elektriciteits­draden. Maar ook voor stopcontacten of behuizingen van elektrische onder­delen van gereedschappen. Een nade­­­­­­ lig gevolg van deze slechte geleidbaar­heid voor elektriciteit is dat kunststof­­­­­fen snel statisch geladen kunnen zijn. Dat kan vaak hinderlijk zijn.

Omdat kunststoffen ook **geen warm­te geleiden** zijn ze uitermate geschikt voor gebruik als warmte­­­­­-isolerend materiaal. Isolatiedekens en handgre­pen van pannen zijn om die reden vaak van kunststof gemaakt.



Afbeelding 11-1 Kunststof vermindert het vlieggewicht zoals in deze Sikorsky S-76



Kunststoff en vormen **sterke materia­len.** Sterk wil zeggen: bestand tegen buigen (buigsterk), trekken (trek­sterk), slijtage (slijtsterk) en druk (druksterk). Materialen als hout en metaal zijn ook wel sterk, maar zijn dat zelden in alle opzichten.

**ONTHOUD :**

Kunststoffen zijn goedkop; de productie ervan vraagt weinig energie. Ze zijn op diverse ge‑ bieden toepasbaar door hun gunstig kenmerken en eigen­­schappen:

* Ze zijn meestal licht in ge‑ wicht
* Ze geleiden geen elektriciteit

en warmte.

* Ze zijn sterk.
* Ze lossen niet op in water.
* Ze roesten niet en reageren

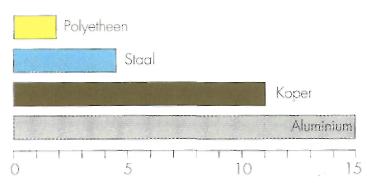
niet met zuren en basen.

Kunststoffen **lossen niet op in water.** Daarom wordt er afdekzeil, tentdoek

en regenkleding van gemaakt. Kunst­stoffen roesten niet en reageren niet met zuren en basen. Dat maakt ze nuttig voor buitengebruik en zelfs voor verpakkingsmateriaal van tal van chemicaliën.

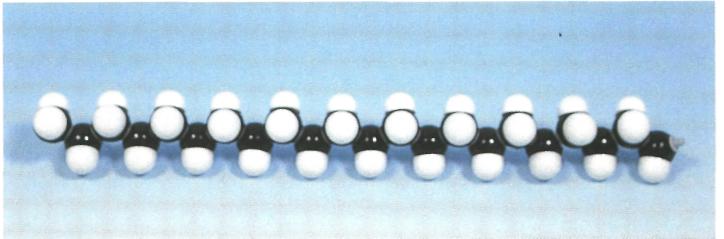
Ten slotte zijn kunststoffen relatief **goedkoop.** De energiekosten voor de bereiding van kunststoffen bedragen maar een klein deel van die voor an­dere materialen als staal en (vooral) aluminium.

Maak nu: O: 11/3tm O: 11

Afbeelding 1 1-2 Vergelijking energieverbruik bij bereiding materialen

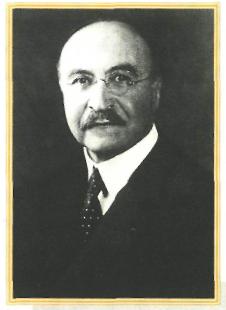
**3 Monomeren en polymeren**

Alle kunststoffen zijn opgebouwd uit zeer grote moleculen. Deze zijn vaak langgerekt van vorm. Die zeer grote moleculen noemen we ook wel *macro­moleculen* of *polymeren.*



Afbeelding 1 1-3 Polymeer of macromolecuul

Polymeren komen in de natuur ook voor. Cellulose en eiwitten zijn voor­beelden van dergelijke natuurlijke polymeren. Cellulose is ontstaan door koppeling van vele (vaak duizenden) glucosemoleculen; eiwit door koppe­ling van vele aminozuurmoleculen. Een ketenlengte van 1500 meter is voor zijde (een eiwit) niet uitzonder­lijk.

Ook synthetische polymeren worden gemaakt door veel (vaak duizenden) kleine moleculen aan elkaar te rijgen. Een dergelijk klein molecuul noemen we *monomeer* (mono = één; meer = deeltje). Monomeren zijn moleculen die gekoppeld kunnen worden om zo een polymeer (poly = veel) te vormen.

Veel monomeren → polymeer

Niet elk klein molecuul is meteen ook een monomeer. Zo is water niet te po­lymeriseren en koolstofdioxide even­min. Water en koolstofdioxide zijn dus geen monomeren. Glucose en amino­zuren zijn dat wel, want zij kunnen worden gekoppeld.

De eerste kunststof, celluloid, was nog niet echt een synthetisch polymeer. Celluloid is cellulosenitraat, dat wil zeggen cellulose (een bestaand na­tuurlijk polymeer) in een iets gewij­zigde vorm. Kunststoffen als celluloid

zijn er meer. Deze kunststoffen (waar­bij me gebruikmaakt van natuurlijke polymeren) noemen we *halfsyntheti­sche* kunststoffen. Naast celluloid ken­nen we bijvoorbeeld viscose (een veel­gebruikte textielvezel), cellofaan (in­­-pakfolie voor bloemen) en cellulose­acetaat (bekend als kunstzijde).

De eerste echte synthetische poly­meer is pas in 1909 vervaardigd door een Belg, Leo Baekeland. Hij gaf het zijn eigen naam: bakeliet. De mono­meren vond hij in steenkoolteer. In de jaren 1920-1930 was bakeliet de be­langrijkste kunststof. Men maakte er radio- en tv-kasten van, telefoontoe­stellen, grammofoonplaten en veel andere artikelen.

Afbeelding 1 1‑4 Leo Baekeland

Voorwerpvan bakeliet

Afdeelding 11-5 Voorwep van bakeliet

Pas na 1930 worden aardgas en, voor­al, aardolie belangrijk als grondstof­leverancier van monomeren van aardolie. Met name de naftafractie.

**4 Polymerisatie**

**ONTHOUD:**

Polymeren of macromoleculen

zijn zeer grote, vaak langge‑

rekte, moleculen die bestaan uit aan elkaar gekoppelde mono‑ meren. Monomeren zijn kleine moleculen. Kunststoffen be‑ staan uit polymeren.

Halfsythetische kunststoffen

zijn vervaardigd door bewer‑

king van natuurlijke polymeren. Bijvoorbeeld: celluloid, cello‑

faan en viscose.

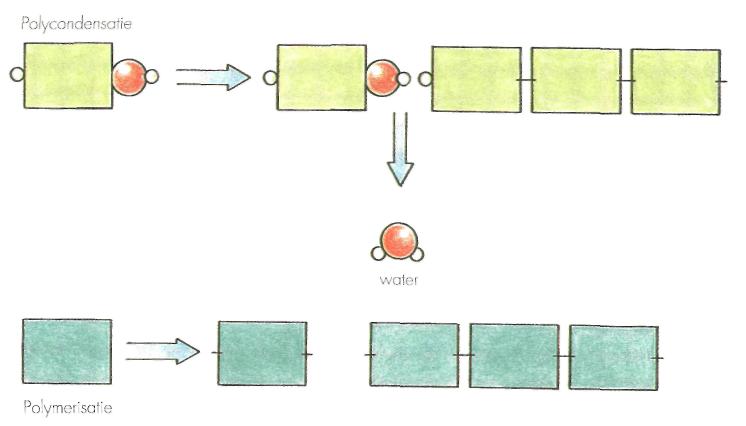
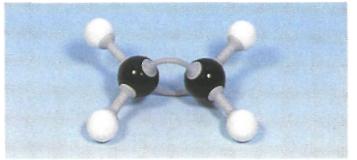
Monomeren van syntheticsche kunststoffen zijn met name af‑ komstig uit aardgas en de naftafractie van aardolie.

Polymeren kunnen op verschillende manieren uit monomeren worden ge­vormd. Natuurlijke polymeren (eiwit, cellulose) worden gevormd via *poly­condensatie.* Naast het polymeer ont­staat dan ook een bijproduct, meestal water.

De belangrijkste synthetische kunst­stoffen ontstaan langs de weg van de polymerisatie. Bij *polymerisatie* kop­pelen monomeren zich aaneen zon­der dat er een bijproduct ontstaat.

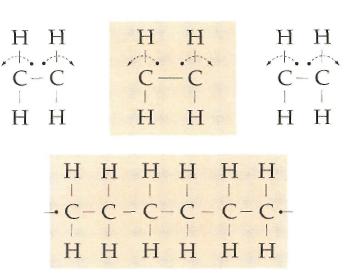
De belangrijkste kunststof is poly­etheen. Het wordt wereldwijd het meest geproduceerd. Uitgangsstof voor vervaardiging van polyetheen is etheen.

Maak nu : O:11/7 t /m O:11/10

Afbeelding 11‑6 Polycondensatie en polymerisatie

Afbeelding 11‑7 Etheen



Etheen is een alkeen dat ontstaat bij het kraken van de naftafractie van aardolie. Uit 18,7 ton aardolie weet men gemiddeld 1 ton etheen te berei­den, voldoende voor de productie

van (ook) 1 ton polyetheen.

Een etheenmolecuul heeft een dubbe­le atoombinding tussen de beide kool­stofatomen. Als je bedenkt dat atom­bindingen (de getekende streepjes in afbeelding 11 -8) in feite ele ktronen zijn zul je begrijpen dat de dubbele bin­ding niet erg ‘stabiel’ is. De gelijk gela­den elektronen stoten elkaar namelijk af. Bij een juist gekozen druk en tem­peratuur en met een geschikte kataly­sator wordt één van beide atoombin­dingen dan ook verbroken. De dubbe­le­ binding verandert in een enkelvou­dige binding.

Het vrije elektron dat zo bij beide kool­stofatomen ontstaat zal een nieuwe ‘partner’ zoeken. Die wordt gevonden in het vrije elektron van een koolstof­atoom in een naastgelegen molecuul. Aan beide zijden van het etheenmole­cuul vormt zich zo een nieuwe atoom­binding. Resultaat is dat vele voorma­lige etheenmoleculen onderling ver­bonden worden tot één lange keten (zie afbeelding 11-8).

Het polymeer dat zo gevormd wordt, kan uit vele duizenden monomeren

zijn opgebouwd. We noemen het po­lymeer **p**oly**e**theen of PE (naar het monomeer). Andere namen voor het­zelfde polymeer zijn polyethyleen en polvtheen.

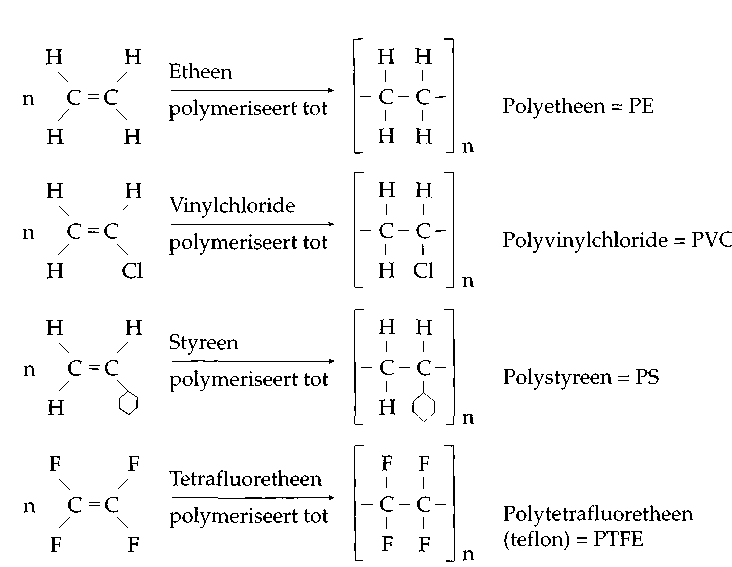
Afbeelding 1 1-8 Polymerisatie etheen

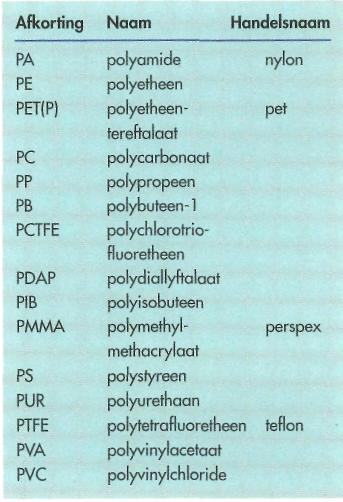
Door etheen voor de polymerisatie chemisch te bewerken, ontstaan an­dersoortige monomeren die op soort­gelijke wijze als etheen tot een (ander) polymeer kunnen worden gepoly­meriseerd.

Bij chemische bewerking worden een of meer waterstofatomen vervangen door andere atoomsoorten of atoom­groepen. De polymerisatie die plaats­vindt, is identiek aan die van etheen. Het gevormde polymeer is alleen een ander.

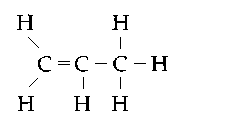
Vervang je een waterstofatoom door een chlooratoom dan ontstaat het monomeer (mono)chlooretheen of ‘vinylchloride’. Polymerisatie levert polyvinylchloride of, kortweg, *PVC.* Zijn alle waterstofatomen vervangen door fluoratomen dan ontstaat na po­lymerisatie een kunststof die we alle­maal kennen als ‘antiaanbaklaag’ in pannen: teflon. De scheikundige naam is **p**oly**t**etra**f**luor**e**theen (PTFE). Op deze wijze kunnen tal van kunst­stoffen worden vervaardigd.



Afbeelding 1 1-9 Voorbeelden van polymerisatie

De naam van polymeren wordt meestal afgekort omdat de naam van het monomeer vaak nogal ingewik­keld is. Polymeren die gevormd zijn door polymerisatie hebben een naam die altijd begint met poly, gevolgd door de naam van het monomeer (zie de tabel van afbeelding 11-10).

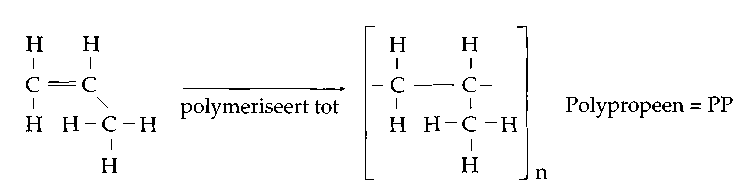
Propeen vormt bij polymerisatie po­lypropeen (PP). Als je naar afbeelding 11-11 kijkt, lijkt polymerisatie zoals die van etheen niet mogelijk.



Afbeelding 11‑11 Molecuul propeen

Afbeelding 11-10





Afbeelding 11-12 Polymerisatie propeen

Maar dat is maar schijn. Twee van de drie koolstofatomen van propeen zijn betrokken bij de polymerisatie. Die twee teken je naast elkaar in het hori-zontale vlak. De derde beschouw je

als zijtak en teken je naar boven of naar beneden. Nu vindt polymerisa­­-tie plaats op soortgelijke wijze als bij etheen (zie afbeelding 11-12).

Polypropeen verschilt van poly etheen doordat de polymeerketens (methyl)-zijtakken hebben gekregen. Poly- etheen heeft die zijtakken niet. De aan-wezigheid van die zijtakken geeft po­-lypropeen andere eigenschappen dan polyetheen (zie paragraaf 5).

**ONTHOUD**:

Natuurlijke polymeren ontstaan

door polycondensatie. Behalve

het polymeer vormt zich nog

een bijproduct, meestal water.

De belangrijkste synthetische

polymeren ontstan door poly-

merisatie. Daarbij ontstaat

geen bijproduct.

Geschikte monomeren voor

polymerisatie zijn alkenen.

Alkenen ontstaan bij het kraken

vervolg ONTHOUD:

van aardoliebestanddelen, met

name uit de naftafractie.

Uit het monomeer etheen ont­-

staat bij polymerisatie poly­-

etheen (PE),uit propeenpoly-

propeen(PP),uitchlooretheen

polychlooretheen.Polychloor-

etheen is meer bekend onder

de naam polyvinylchloride

(PVC).

Polyetheen (PE) ontstaat na op-

heffing van de dubbele binding

tussen de koolstofatomen. De

dubbele binding verandert

daarbij in een enkelvoudige

binding.Met de opengebroken binding koppelen de kootsof-

atomen zich beide aan het koolstofatoom van naastgele-

gen moleculen.

De naam van polymerisatie-

polymeren begint met poly,

gevolgd door de naam van het monomeer. Veel polymeren

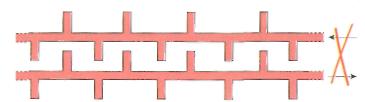
hebben ook andere (handles)-

namen.

Maak nu: O: 11/11 t/m O: 11/17

**5 Polymeren te kust en te keur**

Het aantal beschikbare soorten poly­meren is enorm groot. Bijna iedere maand wordt er wel weer een nieuw polymeer toegevoegd aan het enor-me aantal dat al bestaat. Dit hoeft niet te betekenen dat nieuwe polymeren altijd nuttig zijn. Veel hangt af van de eigenschappen die vaak weer net iets anders zijn dan die van een al be-staande polymeersoort.

Het verschil in eigenschappen wordt natuurlijk in de eerste plaats bepaald door het monomeer zelf. Als je de ei­genschappen van polyetheen verge-lijkt met die van polypropeen valt bij-voorbeeld op dat polypropeen als materiaal treksterker is. Als je naar de moleculen kijkt, kun je zien waarom: bij polyetheen schuiven de molecu­-len langs elkaar, bij polypropeen blij-ven ze haken dankzij de aanwezige zijketens. Dat maakt polypropeen bij-voorbeeld geschikt voor sleepkabels en polyetheen niet.

polypropen: tresterkte door in elkoar gripende

zijketens

Polyetheen: treksterkte ontbreekt

Afbeelding 11-13

kun je dan HDPE maken. LDPE is taai-zacht, HDPE is taai-hard. Pedaalem-merzakken zijn van LDPE, vleeswa-renzakjes van HDPE. Er bestaat zelfs een zogenaamde ‘hightech’ PE, die ve-le malen sterker is dan staal!



Afbeelding 1 1-14 LDPE (low density polyethylene)

Nieuwe kunststoffen maken of eigen­schappen van bestaande kunststoffen veranderen, kan ook door het combi-neren van verschillende soorten mo-nomeren tot een enkel polymeer. Dit noemen we een *co-polymeer.* Voor­beeld van zo’n co-polymeer is ABS, een harde, slagvaste kunststof met een blijvende glans. Stofzuigerhuizen en telefoons worden ervan gemaakt.

Afbeelding 11-15 Het stofzuigerhuis is gemaakt van ABS.

Al is polyetheen niet treksterk, je kunt het treksterker maken door de reactie-omstandigheden (druk,temperatuur, katalysator) te veranderen. Naast de ‘normale’ PE die we ook wel LDPE noemen (Lage Dichtheid Poly Etheen)

Het is ook mogelijk meerdere poly­meren tot één materiaal te vermengen

of hulpstoffen toe te voegen aan een polymeer.

Stoffen die in grotere hoeveelheden in kunststof worden verwerkt, zijn hout-



meel, gips, roet en weekmakers. Hout-meel maakt kunststoffen als bakeliet minder bros, gips kleurt kunststoffen als polyetheen mooi wit, roet maakt autobanden sterk en zwart en *week-makers* geven het harde PVC de nodi-ge flexibiliteit om er dunne folies van te kunnen maken. Zacht PVC bestaat voor 20 tot 60% uit weekmakers.

Van hard PVC worden waterafvoerbuizen gemaakt

 Van zacht PVC worden tuinslangen gemaakt

Af beelding 11-16

Aan bijna alle polymeren worden stof-

fen toegevoegd die moeten voorko-

men dat het polymeer tijdens verwer-king of gebruik ontleedt of oxideert. Om oxidatie te voorkomen worden antioxidanten toegevoegd. Ontleding wordt voorkomen door toegevoegde stoffen die we *stabilisatoren* noemen.

ONTHOUD:

Variatie in soorten polymeren ontstaat door:

* .de keuze van het monomeer;

.reactieomstandigheden te

veranderen;

.verschillende soorten mono-

meren tot één polymeer combinneren;

.verschillende polymeren te mengen;

toevoeging van hulpstoffen.

Maak nu: O: 11/18 t/m O: 11/24

1. **Thermoplasten**

**en thermo-**

**harders**

Bij het toepassen van een kunststof wordt vaak gelet op het gedrag (de kenmerken) van de kunststof bij in- werking van krachten of verandering

van temperatuur. Dat gedrag blijkt

nauw samen te hangen met de vorm

of structuur van het polymeer. We kunnen kunststoffen daarbij verde-

len in twee groepen: kunststoffen

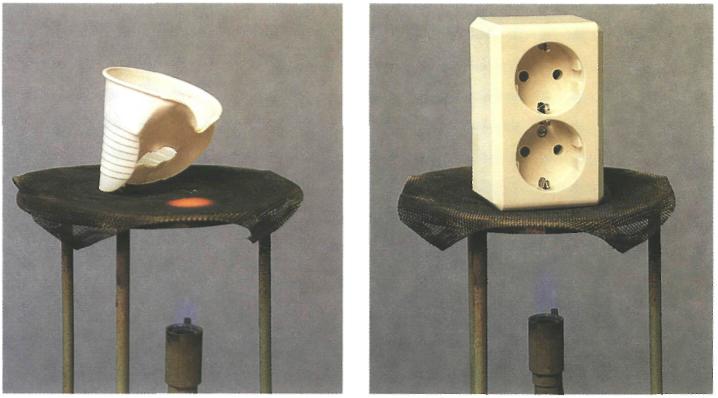
waarbij krachten en verwarming snel leiden tot vormverandering *(thermo-­plasten)* en kunststoffen waar krach-

ten en warmte geen invloed op heb-

ben (duroplasten of *thermoharders).*

Celluloid, PE, PP en PVC zijn voor-beelden van thermoplasten. Thermo­plasten hebben lange ketenvormige polymeren die hier en daar zijketens kunnen hebben.





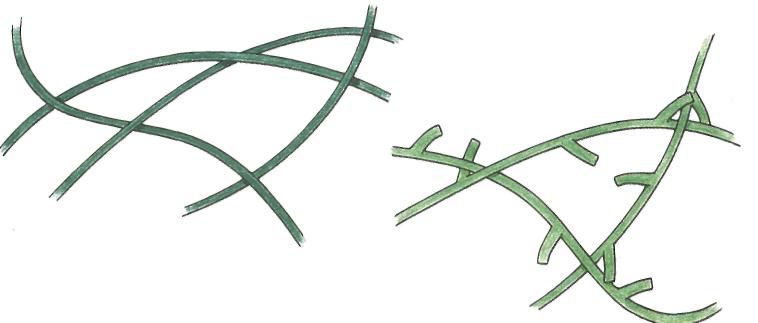
Thermoplasten smelten als ze verhit worden. Thermoharders blijven bi] deze temperaturen

onveranderd. Afbeelding 11-17

Thermoplasten worden bij verwar-ming snel stroperig *(=* zacht/week). De macromoleculen, die als een klu-wen in elkaar verstrengeld zijn, heb-ben onderling geen binding van bete-kenis. Bij verwarming gaan ze bewe-gen en glijden langs elkaar; de kunst-stof zal dus vervormen. Materialen die onder verwarmen onder druk vervormen, noemen we *plastisch.* De-

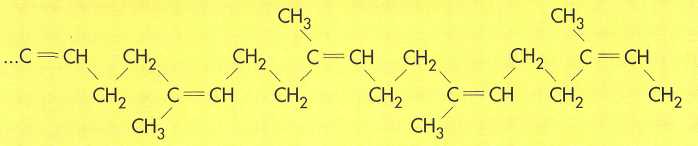
ze groep van polymeren noemen we daarom dan ook *plastics* of thermo-plasten(= met warmte vervormbaar). Thermoplasten worden week boven 50 °C. Boven 200 °C worden de mees-te zelfs vloeibaar.

Omdat de moleculen ondanks hun lengte onderling weinig houvast heb-ben, is het mogelijk thermoplasten in geschikte vloeistoffen op te lossen.



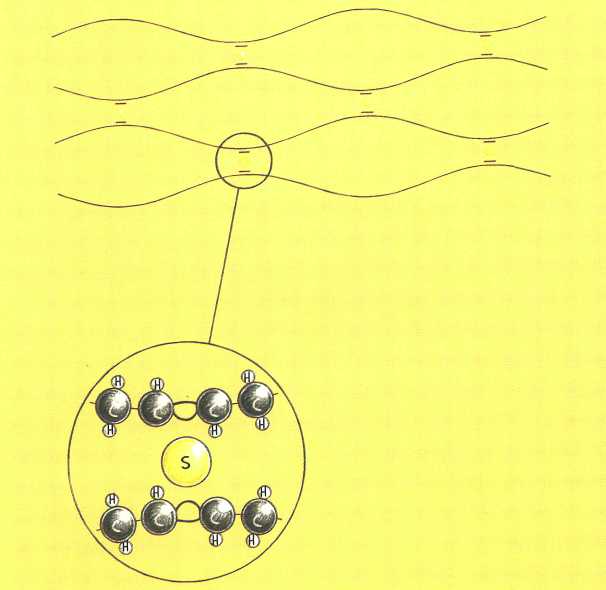
Afbeelding 1 1-18 Thermoplasten

Een bijzondere groep van de thermoplasten vormt die van de (kunst)rubbers.



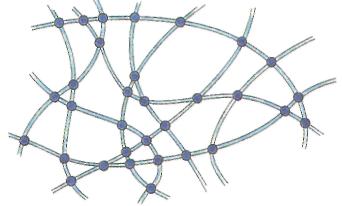
Afbeelding 1 1-19 Rubbermolecuul

Kunstrubbers zijn, naast thermoplastisch, ook nog eens elasfisch. Dat wil zeggen datze na vormverande- ring terugkeren naar hun oorspronkelijke vorm. Oorzaak is de aanwezigheid van dubbele bindingen in het polymeer. Door toevoeging van geschikte stoffen (met name zwavel) vormen zich tussen de dubbele bindingen van verschillende polymeerketens hier en daar een soort dwarsverbindingen zonder dat de dubbele binding wordtopgeheven. Deze 'bruggen' houden de polymeerketens min of meer bijeen. Bij belasting of verwarming treedt wel vormverandering op, maar a!s de vervormende kracht wegvalt, trekt de zwavel de polymeren weer naar elkaar toe. Deze bijzondere groep van thermoplasten wordt ook wel elastomeren genoemd.



Afbeelding 1 1-20 Elastomeren

Formica (UF) en polyesterhars (PES) zijn voorbeelden van thermoharders. Thermoharders worden ook vaak aangeduid met de naam *kunstharsen.* Van herkenbare polymeerketens is bij thermoharders geen sprake. Het zijn kunststoffen waarin de polymeren een netwerk vormen.



Afbeelding 11-21 Thermoharders

De macromoleculen zijn via dwars­verbindingen met elkaar verbonden wat een star driedimensionaal net­werk oplevert. Omdat de dwarsver­bindingen tussen afzonderlijke poly­meerketens even sterk zijn als de bin­dingen in elke polymeerketen zelf, ontstaat een geheel dat niet vervorm­baar is. Bij verwarming treedt geen verandering in de structuur op. Deze groep van kunststoffen is dan ook zonder uitzondering hard en zeer slijtvast, maar bros. Thermoharders lossen niet op. Ze vinden toepassing als af deklaag van laminaatvloeren en aanrechtbladen, als onbreekbaar ser­viesgoed, ski's, tweecomponenten­lakken, lijmen, enzovoort. Thermo­harders smelten niet. Wei ontleden ze bij sterke verhitting. Denk maar aan de brosse handgrepen van oudere pannen.

**ONTHOUD:**

Kunststoffen kunnen we verde-

len naar de vorm van de poly-

meren in ketensen netwerken.

ketenvormige polymeren zijn

thermoplastish: ze worden

zacht/week bij verwarmen. In

thermoplasten zijn de macromo-

leculen niet met elkaar verbon-

den. De moleculen hebben on-

derling weinig of geen samen-

hang. Bij verwarmen glijden de

macromoleculen langs elkaar.

Bij sterk verwarmen worden

thermoplasten zelfs vloeibaar:

ze smelten. Tot de thermopLas-

ten behoren alle ‘plastics’ en

ook de kunstrubbers.

Netwerkvormige polymeren

zijn thermoharders of kunsthar-

sen. Bij thermoharders zijn de

afzonderlijke macromoleculen

op veel plaatsen met elkaar ver-

bouden, waardoor een star net-

werk ontstaat. Bij verwarming

treedt geen verandering op in

de structuur. Thermoharders

smelten niet. Bij zeer sterke ver-

hitting treedt wel ontleding op

 Maak nu:0:11/25t/m0:11/32

**7 Vormgevings-methoden**

Thermoplasten en thermoharders kunnen op verschillende manieren worden vormgegeven. We bespreken de vormgevingsmethoden eerst voor de thermoplasten en daarna voor de thermoharders.

**7.1 Thermoplasten**

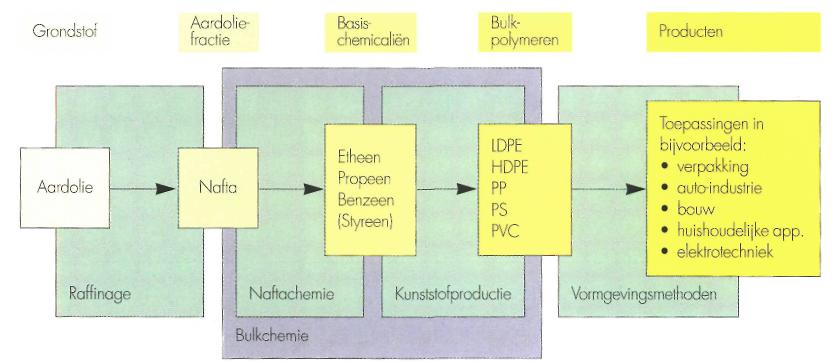
Als je thermoplastische kunststoffen verwarmt, worden ze stroperig en kun je ze eenvoudig vormgeven. Dat maakt het mogelijk om eerst de kunststof te maken en die pas veel la- ter of elders vorm te geven. De bedrij­ven die de kunststoffen maken, zijn dan vaak ook andere bedrijven dan

zij die uit de kunststof producten fa­briceren. Bij thermohardende kunst­stoffen ligt dat anders. Thermohar­- ders zijn niet vervormbaar en moeten dus bij aanmaak ook direct hun de­finitieve vorm krijgen. Omdat dat

niet altijd en overal kan, is het aantal vormgevingsmethoden voor ther­moharders beperkt.

Thermoplastische producten wor-den vervaardigd door de kunststof, die als *granulaat* (= korrels) wordt aangeleverd, te verwarmen, in de ge-wenste vorm te brengen en daarna snel af te koelen. Die vorm kan ver-schillend zijn en hangt zeer sterk af-van het gebruik. In de tabel van af-beelding 11-23 staan de meest voor-komende vormen en voorbeelden van gebruik.

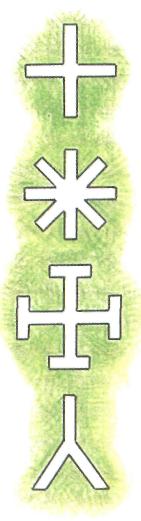
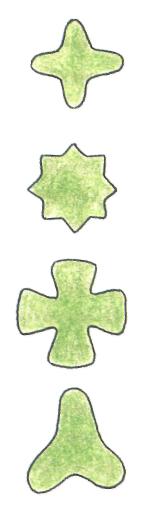
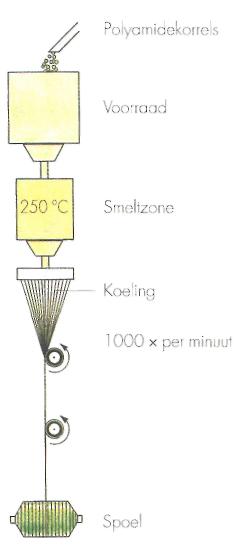
Afbeelding 11-23



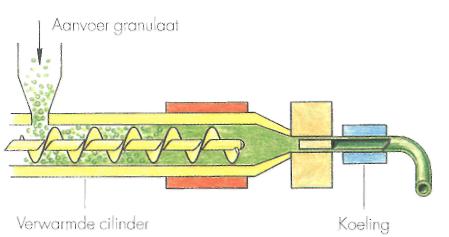
Afbeelding 1 1-22 Aardolie en wat ervan gemaakt kan worden



Profielopening

Vezeldoorsnede die ontstaat

Afbeelding 11-24 Smeltspinnen

Vezels worden gemaakt door de kor­rels te smelten. De stroperige kunststof die dan ontstaat wordt door een soort douchekop (spindop) geperst. De me­thode wordt *smeltspinnen* genoemd. Door de openingen van de spindop een andere dan de ronde vorm te ge­ven, ontstaan bovendien vezels met een andere structuur. Bekende vezel­soorten die zo worden gevormd zijn polyester, polyacryl en polyamide.

*Schuimen* ontstaan door tijdens de vor­minggas (meestal butaan of koolstof­dioxide) door de weke massa te leiden. Als de massa afkoelt, wordt dit gas vastgehouden.

Voor de vorming van buizen en profie­len wordt stroperige kunststof door   
een opening gedreven die de vorm

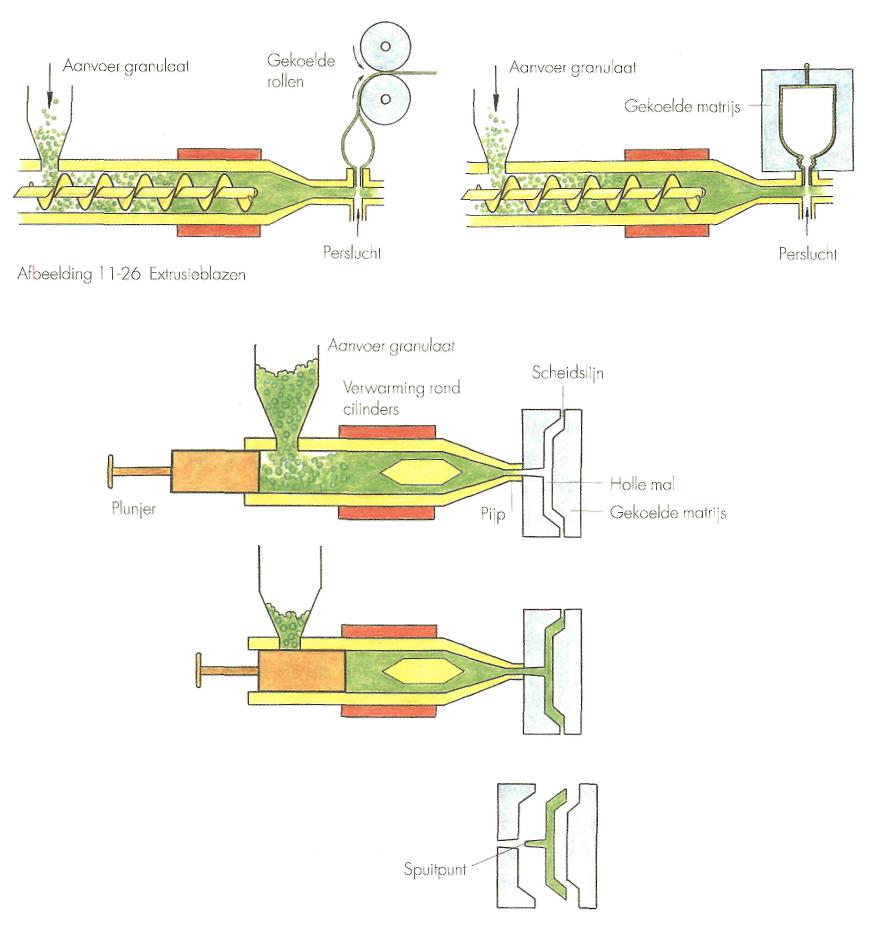
heeft van het gewenste product. Een andere naamvoor dit ‘uitdrijven’ is *ex­trusie.* Dat is ook de naam van de me­thode.

Afbeelding 11-25 Extrusie

Als de kunststof niet direct wordt af­gekoeld, maar eerst nog wordt utitgeblazen, ontstaat folie. Gebeurt dit in een gekoelde matrijs, dan ontstaan holle voorwerpen zoals flessen en jer-



Afbeelding 11-27 Spuitgieten



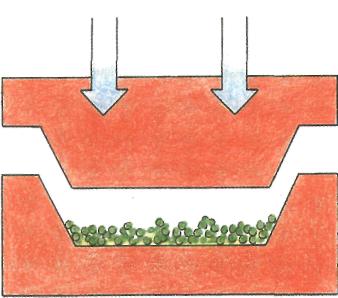
rycans. Het principe van dit *extrusie­blazen* is vergelijkbaar met wat je doet als je een bel blaast uit kauwgom.

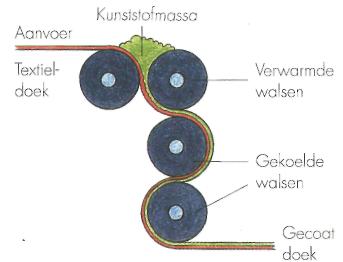
Bij *spuitgieten* spuit men een hoeveel­heid stroperige kunststof onder hoge druk in een gekoelde matrijs. Bij ope­ning van de matrijs wordt het pro­duct gelost. Massieve en vooral ook

ingewikkelde vormen (bijvoorbeeld koffers, tv-ombouw en kratten) wor­den door spuitgieten vormgegeven. Spuitgietproducten zijn herkenbaar aan de achtergebleven spuitpunt.

Folies en platen kunnen ook gemaakt worden met verwarmde walsen. Dit noemen we *kalanderen.* Kalanderen



wordt ook gebruikt om textiel van een plastic coating te voorzien. Zo ont­staan lakdoek, rubberdoek en ‘skai’ (kunstleer).

Afbeelding 11-28 Kalanderen

moharders zijn. Die harden uit bij nor­­­­­­­­male druk en kamertemperatuur.

Afbeelding 11-29 Directe vorming van thermo-harder

**ONTHOUD:**

Belangrijke vormgevingstech-

nieken voor thermoplastische

kunstsoffen zijn:

**•** smeltspinnen;

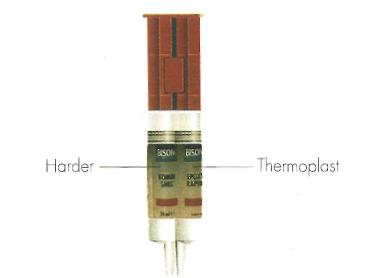
**•** schuimen;

**•** extrusie;

**•** extrusieblazen;

**•** spuitgieten;

**•** kalanderan.

7.2 Thermoharders

Thermohardende kunststoffen nemen bij de aanmaak al hun definitieve vorm aan. Die is dan niet meer te ver­anderen. We onderscheiden bij de vorming van thermoharders directe en indirecte vorming. Bij directe vor­ming worden de grondstoffen in een mal samengebracht en met hitte en druk in die voorvorm gepersten daar­bij gepolymeriseerd. Tennisrackets worden langs deze weg vervaardigd. Ook verf en parketlak danken hun hardheid aan bindmiddelen die ther­-

Bij indirecte vorming ontstaat de ther­moharder uit een thermoplast door bij vorming van het product een stof toe te voegen die de polymeren van de thermoplast met elkaar verbindt. Dat soort stoffen noemen we *harders.* Houtrotvuller en tweecomponenten­lijm werken zo. Bij indirecte vorming wordt dus een thermoplast omge­vormd in een thermoharder. Niet elke thermoplast is daarvoor geschikt. Dat kan alleen met thermoplasten waar­van de polymeren onverzadigd zijn.

Afbeelding 11-30 Indirecte vorming van thermo­harder



**Kunststof %**

LDPE27,0 27.0

PVC 23,2

HDPE 12,8

PP 12,2

PS 11,4

ABS 3,0

Overig 10,4

Een bekend voorbeeld daarvan is po­lyester. Polyester komt als thermo­plast voor in kleding, als thermohar­derin boten, surfplanken en ski’s.

Voorwerpen van thermohardend po­lyester (boten, vijvers, carrosseriëen) worden veelal door gieten gevormd. Daartoe brengt men de polyester en de harder samen in een matrijs. Als het hardingsproces is voltooid, kan het kunststofvoorwerp zo uit de ma­trijs worden genomen.

ONTHOUD:

Thermoharders ontstaan in hun

definitieve vorm. Sommige di-

rect onder hode druk en tempe-

ratuur,andere door het samen-

brengen van een thermoplast

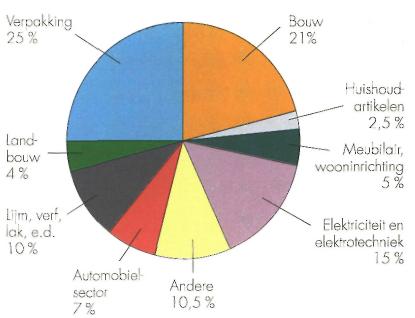
en een harder.

Belangrijke vormgevingsmetho-

den voor thermoharders zijn

persen en gieten.

Afbee;lding 11-31



Afbeelding 1 1-32

Maak nu: O: 11/33 t/m O:11/39

1. **Gebruik en afdanken**

Polyetheen is wereldwijd de meest ge­produceerde kunststof. Daarna vol­gen PVC en polypropeen (zie de tabel van afbeelding 11-31).

Van alle geproduceerde kunststof gaat ongeveer de helft op aan het vervaar­digen van verpakkingsmaterialen en bouwmaterialen. Een aanzienlijk deel wordt gebruikt in de elektrische en elektrotechnische sector. In het cirkel­diagram (afbeelding 11-32) wordt elke sector afzonderlijk aangegeven.

Van de totale hoeveelheid kunststof­fen die jaarlijks wordt gebruikt, be-  
landt maar liefst de helft binnen twee  
jaar in het afval. De andere helft be  
reikt die afvalberg ook, al doet die er wat langer over. Per jaar geeft dat meer dan 400 miljoen kilogram kunst-  
­stof afval, waarvan het merendeel ver  
pakkingsmaterialen zijn! Hoe het kunststof afval in huisvuil is samenge  
steld, kun je zien in de tabel van af­beelding 11-33.

**% Kunststof**

60 PE en PP

20 PS

15 PVC

5 Overig

Afbeelding 11-33

Driekwart (75%) van alle huishoude­lijk kunststofafval bestaat uit verpak­kingsmaterialen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er de laatste jaren met name zoveel aandacht uit gaat naar de vraag hoe we de hoeveelheid verpakkingsmaterialen kunnen ver­minderen. Het merendeel van het huishoudelijk kunststofafval belandt op stortplaatsen. Daar zorgt de kunst­stof voor een steeds oenemende bo­demvervuiling.



Afbeelding 11-34

Synthetische polymeren zijn niet bio­logisch afbreekbaar (ze worden niet door bacteriën afgebroken). Ze verte­ren dus niet. Maar toegevoegde stof­fen, waaronder cadmium- en lood­verbindingen (toegevoegd als stabili­satoren) treden geleidelijk aan uit de kunststof en belanden in het grond­water. PVC voegt daar nog eens gro­te hoeveelheden weekmakers aan toe. In bijna alle gevallen zijn deze en andere uitlekkende stoffen giftig of zelfs kankerverwekkend.

Als alternatief voor storten wordt af­val steeds vaker verbrand. Verbran­ding van kunststofafval levert echter andere milieuproblemen. Verbran­ding van zuivere PE, PP en PS leveren als verbrandingsgassen CO2 en H2O. CO2 draagt bij aan de toename van het broeikaseffect. Maar het is met name PVC dat bij verbranding voor extra

milieuschade zorgt. Verbranding van PVC levert naast CO2 en H2O namelijk HCl op en dioxinen. *Dioxinen* zijn ver­dindingen van chloor en zuurstof die uiterst kankerverwekkend zijn. De dioxinen slaan neer op gras en berei­ken via koeien en hun melk de mens. De stof blijkt zich vooral in moeder­­melk op te hopen zodat baby’s een verhoogd risico lopen.

**ONTHOUD:**

Kunststoffen worden op veel

manieren toegepast.De greet-

ste hoeveelheid kunststof wordt

gebruikt voor verpakkingsmate-

rialen en bouwmateriaal.

Het afdaken van kunststoffen

geeft veel milieubezwaren.Bij

storten komen schadeljke stof-

fen uit de kunststof in het milieu

terecht.Synthetische polymeren

zijn bovendien niet biologisch

afbreekbaar; ze verteren niet.

Bij verbranden vormen zich

naast koolstofdioxide en water

vaak andere (giftigel) afvalgas-

sen.Dit is met name het geval

bij de verbranding van PVC.

Maak nu:O: 11/40 t/m O: 11/46

**9 Verwerking van kunststof**

We zijn zo gewend aan het gebruik van kunststoffen dat we ons niet re­aliseren dat over ongeveer 50 jaar de grondstoffen voor vervaardiging van kunststoffen op zijn. Niet alleen de milieuschade (geen enkele kunststof is milieuvriendelijk), maar ook de be-

perktheid van grondstoffen is reden om zuinig om te springen met het ge­bruik van kunststof. Met name met verpakkingsmateriaal van kunststof.

Je kunt op verschillende manieren be­wust omgaan met kunststof: vermij­den, verminderen, vervangen, ver­eenvoudigen, verlengen, verwerken en/of vernieuwen.

**Vermijden**

Het gebruik van kunststof is in veel gevallen overbodig. Veel winkels bie­den klanten daarom ook geen draag­tassen meer aan of laten de klant er­voor betalen. Het gebruik van de ei­gen boodschappentas wordt daar­mee gestimuleerd. Ook bij product­verpakkingen wordt rekening ge­houden met ‘vermijden’: aardappe­len worden vaak al in jute zakken ver­pakt die de plastic ‘poly’ zakken ver­vangen. Melk wordt op veel plaatsen (weer) verkocht in glazen flessen. In de bouwwereld worden stenen niet langer in ‘plastic’ ingepakt, maar met staalband bijeengehouden.

**Verminderen**

Als kunststof niet vervangen kan worden, kunnen we streven naar ver­mindering van de hoeveelheid. Zo zien we plastic flessen verschijnen in dunnere uitvoeringen en wordt al veel gewerkt met navulverpakkin­gen. Toch zijn er nog steeds veel pro­ducten die in overdreven veel kunst­stof worden verpakt. Dat geldt in het bijzonder voor koek, snoep en bon­bons. Verpakking heeft vaak een be­schermende functie, maar het geheel ziet er vaak ook aantrekkelijker of in­drukwekkender door uit.

**Vervangen**

Geen enkele kunststof is milieuvrien­delijk. Wel is er verschil in de mate waarin ze milieuschadend zijn. PVC is zeer milieuschadend. Veel verpak­kingsmaterialen bestonden tot voor kort uit PVC. De laatste jaren wordt PVC meer en meer vervangen door andere plastics, met name PE en PP. Datzelfde gebeurt ook met materialen in de bouw.

**Vereenvoudigen**

Een beruchte vorm van verpakking is de meerlagenfolie. Door plastics van verschillende soort op elkaar aan te brengen ontstaat een folie die artike­len zeer lang houdbaar maakt. De verwerking ervan is nauwelijks mo­gelijk. Datzelfde geldt voor zoge­naamde *laminaatverpakkingen.* Melk­pakken bestaan uit (van buiten naar binnen) paraffine, papier en poly­etheen; vruchtensappakken uit pa­raffine, papier, aluminium en poly­etheen. Fabrikanten zoeken naar ver­pakkingsmaterialen die goed en een­voudig zijn en beter verwerkbaar.

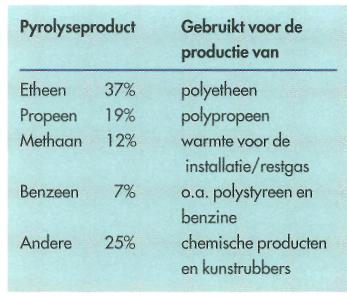
**Verlengen**

Kunststofproducten kunnen worden hergebruikt. Een plastic draagtas kan lang als zodanig dienst doen en ten slotte nog als pedaalemmerzak ge­bruikt worden. Kindershampoos

worden soms verpakt in plastic flessen die als beer zijn uitge-voerd om op- nieuw gebruikt te kunnen wor­- den als speel- goed. Dit op- nieuw gebrui- ken noemen we Afbeelding 11-35

*hergebruik.* Het heffen van statiegeld op plastic flessen is ook een voorbeeld van toepassing van hergebruik.

**Verwerken**

Als een kunststofartikel niet langer bruikbaar is, kan het materiaal dat nog wel zijn. Hergebruik van het ma­teriaal noemen we *recycling.* Bij recy­cling wordt ingezameld plastic om­gesmolten en omgevormd tot nieuwe artikelen. Een fraai voorbeeld is de textielstof ‘fleece’ die voor 100% ver­vaardigd wordt uit oude PET-flessen. Recycling is alleen dan mogelijk als de plasticsoorten goed gescheiden kunnen worden. Bij PET-flessen is dat goed mogelijk. Is dat niet het geval dan ontstaan producten van mindere kwaliteit. Deze worden veelal ver­erkt tot minder hoogwaardige pro­ducten als tuinpalen, waterkering en tuinbanken.

**Vernieuwen**

Als kunststoffen geen nut meer heb­en, kunnen ze worden vernieuwd. Bij vernieuwen wordt de kunststof weer ontleed, waarbij de monomeren zich terugvormen. Dat ontleden kan met bepaalde ingewikkelde techni­ken maar betreft in hoofd zaak hydro­yse en thermolyse. Polymeren die ooit gevormd zijn als polycondensa­tieproduct (zoals polyamide en poly­urethaan) kunnen zo via hydrolyse weer worden ontleed. Uit de mono­meren kan men dan weer opnieuw polyamide en polyurethaan samen­tellen.

Voor vernieuwing door thermolyse komt elke kunststof of elk kunststof­mengsel in aanmerking. Door een partij kunststoffen, afgesloten van lucht, te verhitten tussen 400 en 900 °C ontstaan producten die weer als mo-

nomeer geschikt zijn voor vervaardi­ging van nieuwe kunststoffen. In de techniek noemt men deze thermolyse *pyrolyse.* In de tabel van afbeelding 11-36 kun je zien wat de gemiddelde op­brengst van pyrolyse is.

Afbeelding 11-36

**ONTHOUD:**

Oplossingen voor het kunststof-

afvalprobleem zijn:

**•** voorkomen van kunststofge-

bruik;

**•** verminderen van noodzake-

lijk kunststofgebruik;

**•** vervangen van kunststof

door minder milieubelasten-

de kunststof;

**•** vereenvoudigen van ingewik-

kelde kunststofverpakkingen;

**•** verlengen van het gebruik

van kunststofartikelen;

**•** verwerken van kunststof

door recycling;

**•** vernieuwen van kunststof

door terugwinning van

monomeren.

Maak nu: O: 11/47 t//m O: 111/53



**SAMENVATTING**

**1** Kunststoffen bestaan uit zeer grote moleculen. Deze zijn langs chemische weg gevormd of van natuurlijke herkomst. Kunststoffen worden in de volks­mond ook wel plastics genoemd.

**2** Kunststoffen zijn goedkoop; de productie ervan vraagt weinig energie. Ze zijn op diverse gebieden toepasbaar door hun gunstige kenmerken en eigen­schappen:

* Ze zijn meestal licht in gewicht.
* Ze geleiden geen elektriciteit en warmte.
* Ze zijn sterk.
* Ze lossen niet op in water.
* Ze roesten niet en reageren niet met zuren en basen.

**3** Polymeren of macromoleculen zijn zeer grote, vaak langgerekte,moleculen die bestaan uit aan elkaar gekoppelde monomeren. Monomeren zijn kleine moleculen. Kunststoffen bestaan uit polymeren.

Halfsynthetische kunststoffen zijn vervaardigd door bewerking van natuurlijke polymeren. Bijvoorbeeld: celluloid, cellofaan en viscose.

Monomeren van synthetische kunststoffen zijn met name afkomstig uit aard­gas en de naftafractie van aardolie.

**4** Natuurlijke polymeren ontstaan door polycondensatie. Behalve het polymeer  
vormt zich nog een bijproduct, meestal water. De belangrijkste synthetische  
polymeren ontstaan door polymerisatie. Daarbij ontstaat geen bijproduct.

Geschikte monomeren voor polymerisatie zijn alkenen. Alkenen ontstaan bij het kraken van aardoliebestanddelen, met name uit de naftafractie.

Uit het monomeer etheen ontstaat bij polymerisatie polyetheen (PE), uit pro­peen polypropeen (PP), uit chlooretheen polychlooretheen. Polychlooretheen is meer bekend onder de naam polyvinylchloride (PVC).

Polyetheen (PE) ontstaat na opheffing van de dubbele binding tussen de kool­stofatomen. De dubbele binding verandert daarbij in een enkelvoudige bin­ding. Met de opengebroken binding koppelen de koolstofatomen zich beide aan het koolstofatoom van naastgelegen moleculen.

 De naam van polymerisatiepolymeren begint met poly, gevolgd door de naam van het monomeer. Veel polymeren hebben ook andere (handels)namen.

1. Variatie in soorten polymeren ontstaat door:

* de keuze van het monomeer;
* reactieomstandigheden te veranderen;
* verschillende soorten monomeren tot één polymeer te combineren;
* verschillende polymeren te mengen;
* toevoeging van hulpstoffen.

1. Kunststoffen kunnen we verdelen naar de vorm van de polymeren in ketens en netwerken.

Ketenvormige polymeren zijn thermoplastisch: ze worden zacht/week bij verwarmen. In thermoplasten zijn de macromoleculen niet met elkaar verbon­den. De moleculen hebben onderling weinig of geen samenhang. Bij verwar­men glijden de macromoleculen langs elkaar. Bij sterk verwarmen worden thermoplasten zelfs vloeibaar: ze smelten. Tot de thermoplasten behoren alle ‘plastics’ en ook de kunstrubbers.

Netwerkvormige polymeren zijn thermoharders of kunstharsen. Bij thermo­harders zijn de afzonderlijke macromoleculen op veel plaatsen met elkaar verbonden, waardoor een star netwerk ontstaat. Bij verwarming treedt geen verandering op in de structuur. Thermoharders smelten niet. Bij zeer sterke verhitting treedt wel ontleding op.

1. Belangrijke vormgevingstechnieken voor thermoplastische kunststoffen zijn:

* smeltspinnen; **•** extrusieblazen;
* schuimen; **•** spuitgieten;
* extruderen; **•** kalanderen.

**8** Thermoharders ontstaan in hun definitieve vorm. Sommige direct onder ho­ge druk en temperatuur, andere door het samenbrengen van een thermo­plast en een harder.

Belangrijke vormgevingsmethoden voor thermoharders zijn persen en gieten.

**9** Kunststoffen worden op veel manieren toegepast. De grootste hoeveelheid kunststof wordt gebruikt voor verpakkingsmaterialen en bouwmateriaal.

Het afdanken van kunststoffen geeft veel milieubezwaren. Bij storten komen schadelijke stoffen uit de kunststof in het milieu terecht. Synthetische polyme­ren zijn bovendien niet biologisch afbreekbaar; ze verteren niet. Bij verbran­den vormen zich naast koolstofdioxide en water vaak andere (giftige!) afval­gassen. Dit is met name het geval bij de verbranding van PVC.

**10** Oplossingen voor het kunststofafvalprobleem zijn:

* voorkomen van kunststofgebruik;
* verminderen van noodzakelijk kunststofgebruik;
* vervangen van kunststof door minder milieubelastende kunststof;
* vereenvoudigen van ingewikkelde kunststofverpakkingen;
* verlengen van het gebruik van kunststofartikelen;
* verwerken van kunststof door recycling;
* vernieuwen van kunststof door terugwinning van monomeren.

