

# Macromoleculen, van monomeer tot polymeer



## Inhoudstafel

A.	THEORETISCH GEDEELTE .....	2
1.	Kunststoffen in ons dagelijks leven .....	2
2.	Indeling van de macromoleculen .....	2
3.	Macromoleculen: synthese .....	3
	a. Polymerisatie.....	4
	b. Polycondensatie .....	6
	c. Polyadditie .....	11
4.	Van grondstof tot kunststof .....	12
5.	Vorm geven aan kunststoffen .....	13
	a. Extruderen .....	13
	b. Kalanderen .....	14
	c. Spuitgieten.....	14
	d. Extrusievormblazen.....	15
	e. Schuimen .....	15
	f. Bewapening met vezels : composieten .....	16
	g. Beschermlagen.....	16
6.	Identificeren van kunststoffen.....	17
B.	EXPERIMENTEEL GEDEELTE .....	19
1.	Synthese van polymeren.....	19
	Experiment 1.1.: Bereiding van polystyreen .....	19
	Experiment 1.2.: Bereiding van polymethylmetacrylaat (Perspex) .....	20
	Experiment 1.3.: Bereiding van nylon-6,8 .....	21
	Experiment 1.4.: Bereiding van alkydhars (polyesterhars) .....	22
	Experiment 1.5.: Bereiding van bakeliet .....	23
2.	Identificatie van kunststofplaatjes .....	24
	Experiment 2.1.: Dichtheid .....	24
	Experiment 2.2.: Brandbaarheid en geur.....	24
	Experiment 2.3.: Onderscheid PE en PP: vingernagelproef .....	24
	Experiment 2.4.: Onderscheid PE, PP en PS: Oplosbaarheid in tetrachlooretheen .....	24
	Experiment 2.5.: Breukproef.....	25
	Samenvatting .....	26

## A. THEORETISCH GEDEELTE

### 1. Kunststoffen in ons dagelijks leven

Toen de Gentenaar Leo Baekeland in 1906 wereldberoemd werd met het kunsthars bakeliet, werd de weg geopend voor een nieuwe industrie nl. deze van de synthetische materialen. Deze synthetische materialen, ook kunststoffen genoemd, worden gebruikt voor het vervaardigen van o.a. verpakkingen, bouwmaterialen, huishoudartikelen, textiel, lijmen, verven auto-onderdelen.

De kunststoffen zijn uit ons dagelijks leven haast niet meer weg te denken. Denk maar aan lichtkoepels van acrylglas, fonoplaten van PVC, braadpannen met een bekleding van Teflon®, kledingstukken van Terlenka®, enz. ... .

### 2. Indeling van de macromoleculen

In de meest ruime betekenis van het woord zijn kunststoffen organische materialen die opgebouwd zijn uit macromoleculen en die ontstaan door wijziging van natuurproducten of door de synthese van grondstoffen uit aardolie, aardgas of steenkool. Macromoleculen zijn reuzenmoleculen die we kunnen indelen volgens oorsprong en synthese:

#### Natuurlijke stoffen:

cellulose (hout, stro), hoorn (harde eiwitstof), hars, rubber (rubberboom)

#### Gewijzigde natuurlijke stoffen:

ge vulkaniseerd rubber, ge vulkaniseerde vezel, celluloid (nitrocellulose), kunsthoorn (caseïne-kunststof)

#### Synthetische stoffen:

##### **Thermoplasten**

Kunststoffen die plastisch en vervormbaar worden als ze verwarmd worden, zonder dat ze daarbij een chemische verandering ondergaan.

##### **Thermoharders**

Driedimensionaal sterk vernette kunststoffen die hard en temperatuurbestendig zijn en die niet plastisch navervormd of gesmolten kunnen worden.

##### **Elastomeren**

Driedimensionaal licht vernette kunststoffen die veerkrachtig zijn zoals rubber.

Synthetische macromoleculen worden ook "hoogpolymeren" genoemd. De term polymeer is afgeleid van het Griekse poly (veel) en meros (deeltjes). Door het voorvoegsel "hoge" wordt gespecificeerd dat deze moleculen niet uit 5 of 10, maar uit zeer veel deeltjes samengesteld zijn. De deeltjes noemen we structureenheden.

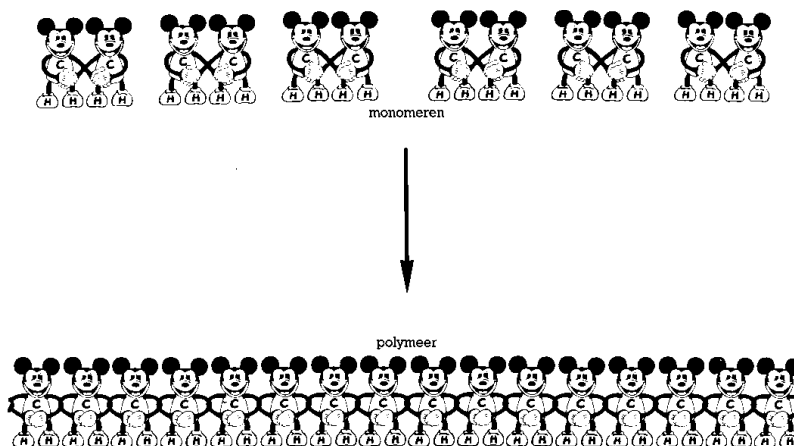
### 3. Macromoleculen: synthese

*Hoe komen we aan zulke reuzenmoleculen, m.a.w. het proces van de kunststofsynthese?*

Macromoleculen worden verkregen door aaneenschakeling van kleine moleculen:

**MONOMEREN,**

die na het aan elkaar hechten de structureenheden van macromoleculen vormen.



Om dit proces te begrijpen kan men uitgaan van het begrip "functionaliteit".

De functionaliteit geeft het aantal reactiemogelijkheden aan van een chemische stof bij de opbouw van een macromolecule.

Functionele groepen (functio = werking) zijn de atoomgroepen in organische moleculen, die reacties kunnen veroorzaken, vb. aminogroepen, hydroxylgroepen, maar ook dubbele bindingen. De bouwstenen van een macromolecule moeten tenminste **bifunctioneel** zijn: zij moeten minstens twee verbindingen kunnen aangaan.

Een treinwagon is een voorbeeld van een bifunctionaliteit: een treinstel kan maar worden samengesteld als er voor en achter aan elke wagon een koppeling zit.

De vorm en afmetingen van de reagerende moleculen – evenals het aantal en de stand van de reactieve groepen die ze bevatten – bepalen de eigenschappen van de reactieproducten. Als men bifunctionele stoffen met elkaar in contact brengt, ontstaat er altijd een lineair product dat bij stijging van de temperatuur zal beginnen smelten.

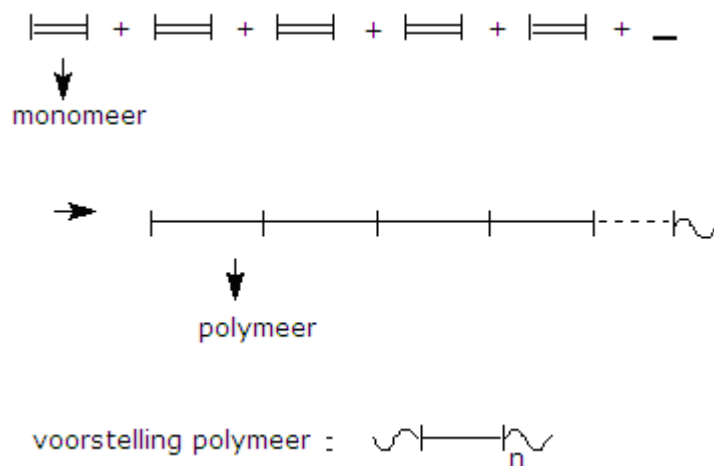
Daarentegen krijgt men een onoplosbare en niet smeltbare kunststof als tenminste één van de uitgangsstoffen tri- of polyfunctioneel is.

## a. Polymerisatie

Polymerisatie is een chemische reactie die meestal onder invloed van speciale katalysatoren plaatsgrijpt en waarbij uit kleine bouwstenen (basismoleculen) met elk één dubbele binding een molecuulketen wordt opgebouwd. Deze dubbele binding klapt open waardoor twee valenties vrijkomen die zich met andere vrije valenties van naburige moleculen zullen verbinden.

Bij polymerisatie ontstaat geen enkel nevenproduct.

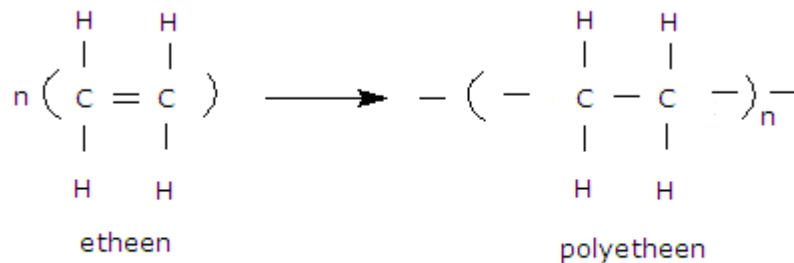
### Schema



### Voorbeelden

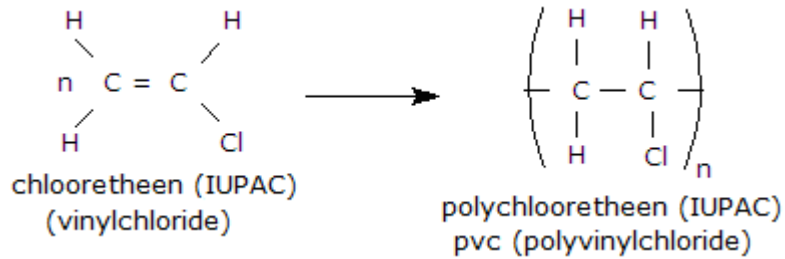
De basismoleculen kunnen identiek zijn:

- **Etheen** polymeriseert tot **polyetheen** (PE)



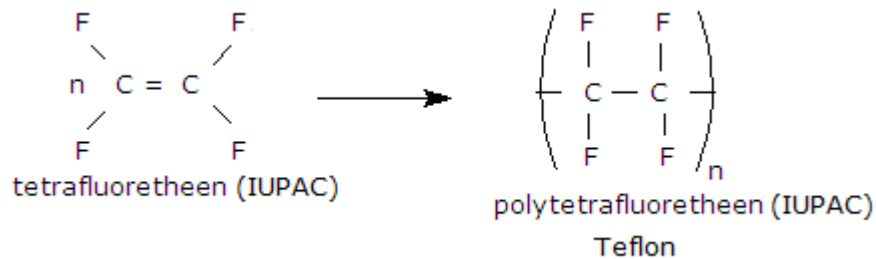
Polyetheen wordt gebruikt voor de productie van boterhamzakjes, inpakmateriaal, keukengerei, dozen, flessen. Door de moderne productie- en verwerkingstechnieken kunnen polyetheen-varianten gemaakt worden met streng gecontroleerde eigenschappen.

**Chlooretheen** (vinylchloride) polymeriseert tot **polychlooretheen** (polyvinylchloride of pvc)



Polyvinylchloride is één van de meest gebruikte kunststoffen (20 %). Het wordt gebruikt in buizen, dakgoten, schoenen, tegels, ....

➤ **Tetrafluoretheen** polymeriseert tot **polytetrafluoretheen** (Teflon)



Dit polymeer is bestendig tegen hoge temperaturen. Het vindt onder andere toepassing als anti-baklaag voor braadpannen.

➤ **Ethenylbenzeen** (styreen) polymeriseert tot **polystyreen** (experiment 1.1.). Polystyreen (PS) is een vrij bros materiaal, dat veel verwerkt wordt tot schuim (isomo).

➤ **Methyl-2-methylprop-2-enoaat** (methylmethacrylaat) polymeriseert tot **polymethylmethacrylaat (PMMA)** (experiment 1.2.). PMMA is beter gekend onder benaming plexiglas of kunstglas.

Ook basismoleculen die niet identiek zijn maar elk een dubbele binding bevatten, kunnen met elkaar polymeriseren:

- het **styreen-acrylonitril copolymeer (SAN)**
- het **acrylonitril-butadien-styreen copolymeer (ABS)**

Beide zijn gemodificeerde polystyrenen.

## b. Polycondensatie

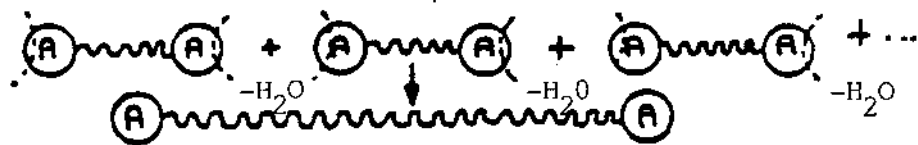
Polycondensatie is een chemische reactie tussen twee identieke of verschillende moleculaire bouwstenen die elk tenminste twee reactieve groepen hebben. Bij de reactie worden eenvoudige laagmoleculaire nevenproducten afgesplitst zoals water, zoutzuur of gelijkaardige stoffen.

✚ Uitbouw tot lineaire moleculen (kunstvezels)

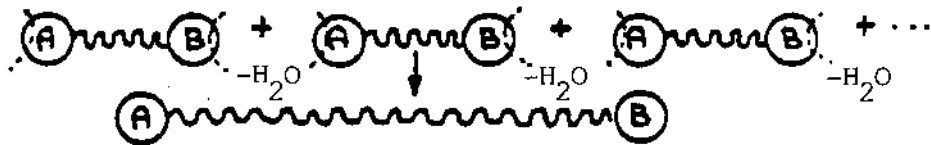
Wanneer de twee monomeren bifunctioneel zijn, worden lineaire macromoleculen gevormd.

### Schema

met 1 reagens

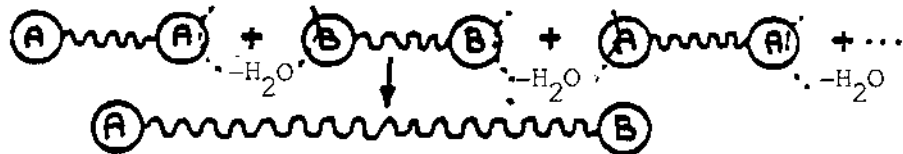


met 1 reagens



ofwel.

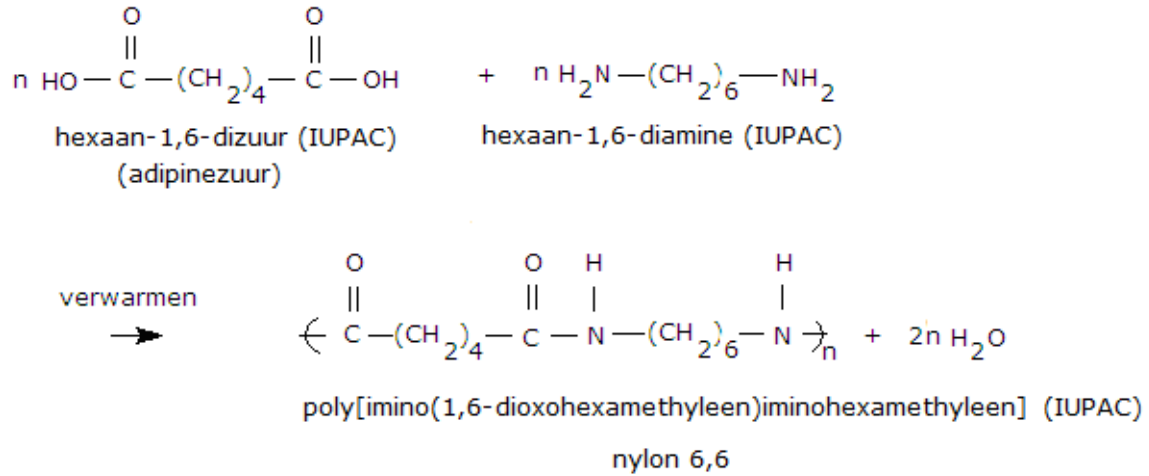
met 2 reagentia



### Voorbeelden

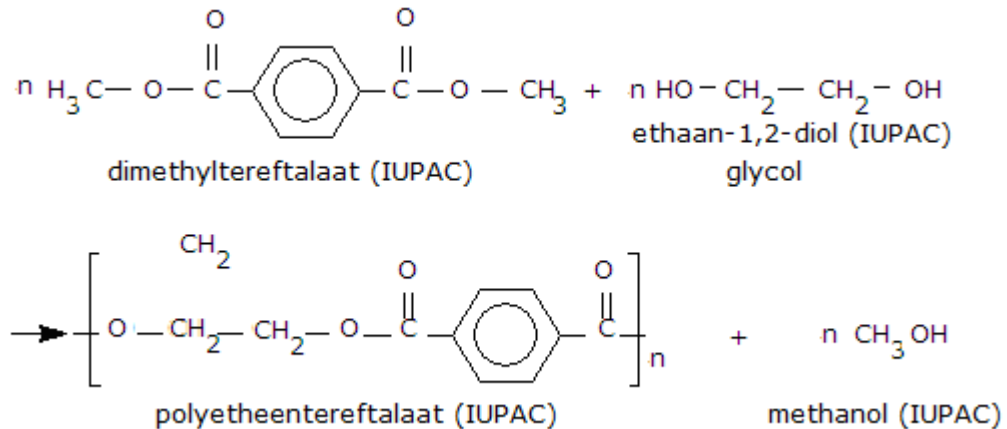
#### ➤ **polyamiden** (nylons)

vb. 1: nylon-6,6



vb. 2: nylon-6,10 (experiment 1.3.)

#### ➤ **polyesters**



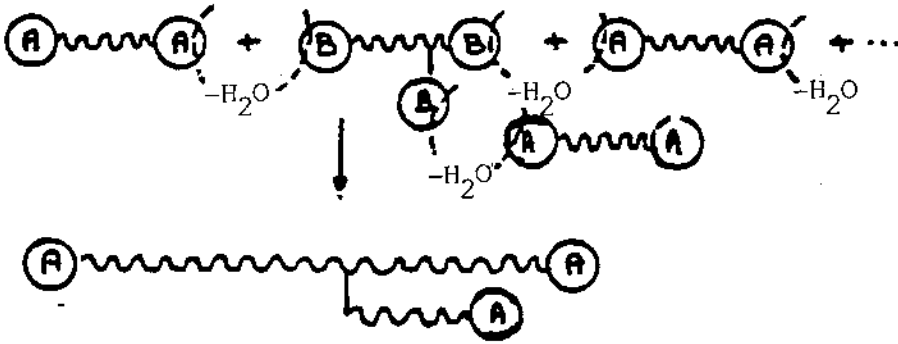
Het polyester staat bekend onder de handelsvormen Terlenka<sup>®</sup>, Terylene<sup>®</sup>, Dacron<sup>®</sup>, Trevira<sup>®</sup> en Diolen<sup>®</sup> en wordt verwerkt in kleding en ander textiel.



✚ Uitbouw tot driedimensionale moleculen (harsen)

Om een driedimensionaal hars te bekomen, moet één van beide monomeren trifunctioneel zijn.

**Schema**

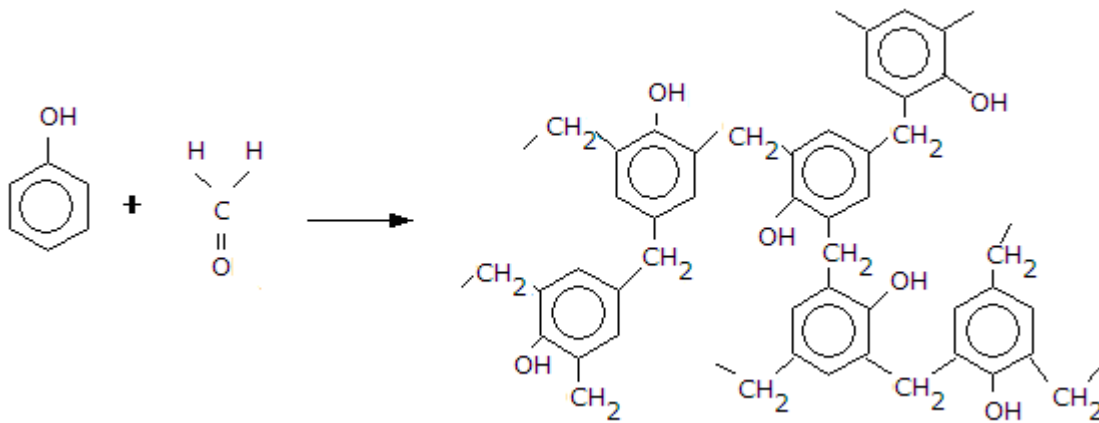


**Voorbeelden**

- **polyesterhars** (alkydhars): experiment 1.4.
- bakeliet en andere harsen.

Leo Baekeland maakte zijn bakeliet uit fenol en formaldehyde.

Er wordt een driedimensionaal netwerk bekomen:



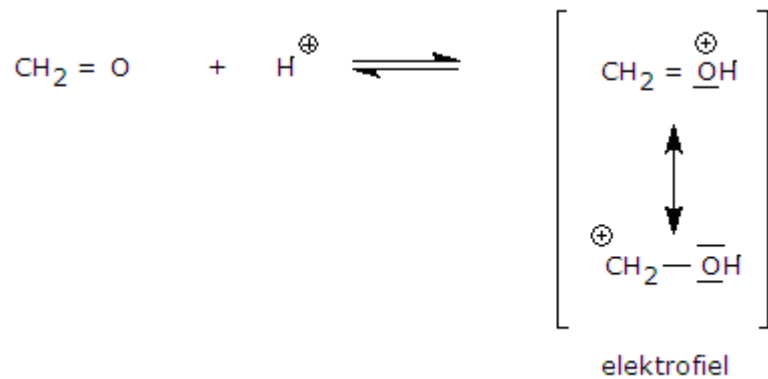
Fenol (IUPAC) methanal (IUPAC)  
formaldehyde

bakeliet

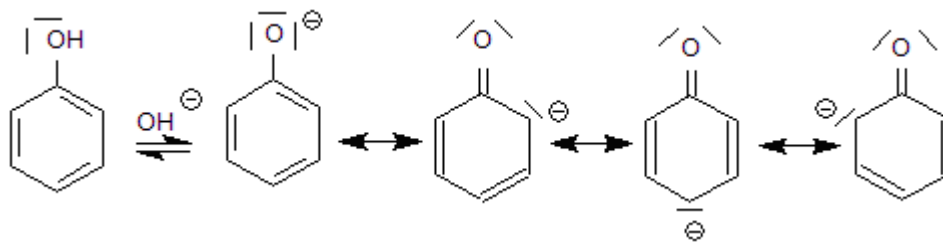
Deze reactie is in feite een elektrofile substitutie op de aromatische ring, in ortho en para van de hydroxylgroep.

Ze kan door zuur en door base gekatalyseerd worden:

- o in **zuur** midden wordt het **elektrofiel** deeltje veel reactiever:
- o

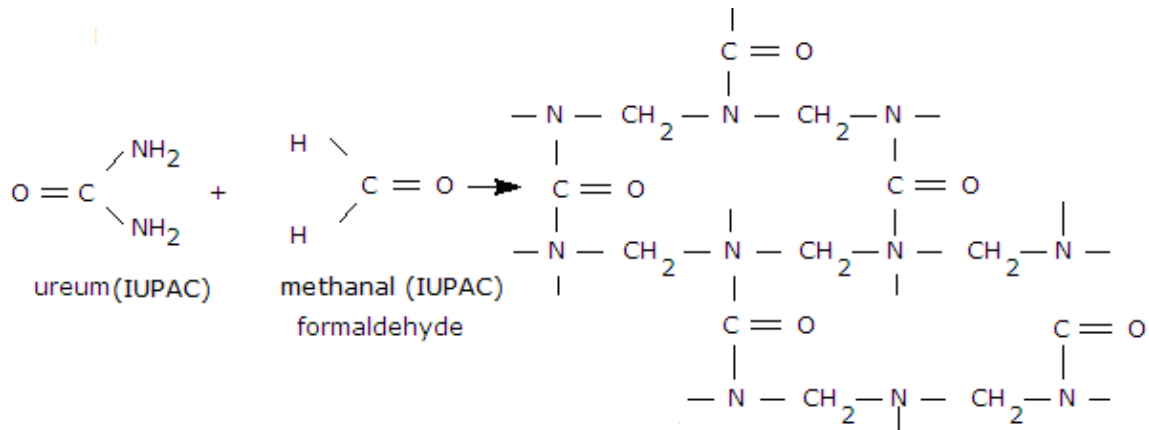


- o in **basisch** midden wordt het **substraat** veel reactiever:

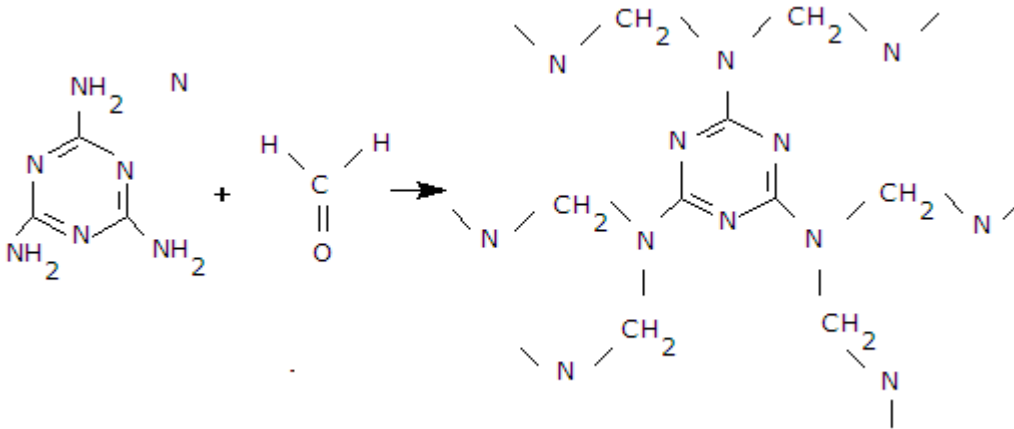


Bereiding van bakeliet: experiment 1.5.

Een gelijkaardig polymeer wordt bekomen uit de reactie van ureum met formaldehyde (**ureumhars**).



Soms wordt melamine gebruikt met formaldehyde (**melaminehars**)



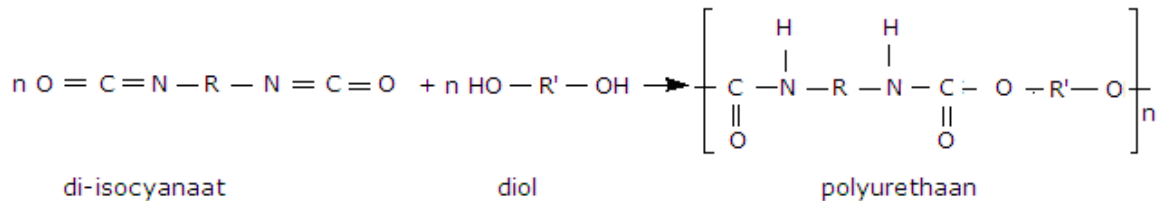
vernette polyesterharsen zoals lakken en gietharsen.

### c. Polyadditie

Bij deze chemische reactie worden twee verschillende moleculaire bouwstenen die elk minstens twee reactieve groepen hebben, met elkaar verbonden. Er ontstaan geen nevenproducten. De reactie berust immers op de eenvoudige uitwisseling van waterstofatomen tussen de functionele groepen, waarbij telkens valenties vrijkomen die zich aaneensluiten.

#### Voorbeelden

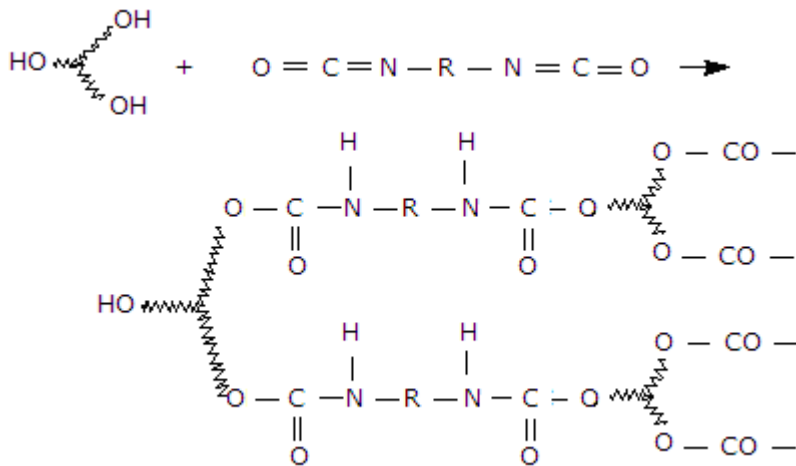
- Wanneer een bifunctioneel isocyanaat: een di-isocyanaat reageert met een bifunctioneel alcohol: een diol, dan wordt een lineair polyurethaan gevormd:



De grote reactiviteit van de isocyanaatgroep beperkt zich niet tot de alcoholgroep, maar strekt zich uit tot aminogroepen, zuurgroepen en andere. Ook met water is reactie mogelijk. De grote verscheidenheid aan reacties met isocyanaat, maakt het gebied van de polyurethanen zeer uitgebreid.

- **Polyurethaan** wordt vooral gebruikt in de vorm van schuim.

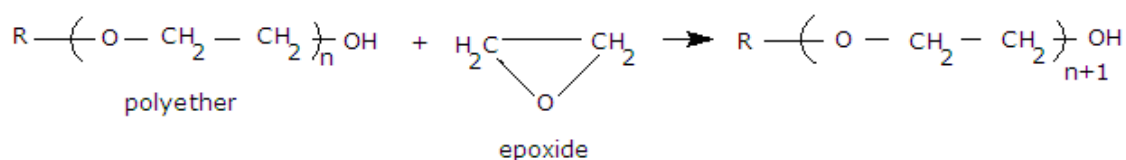
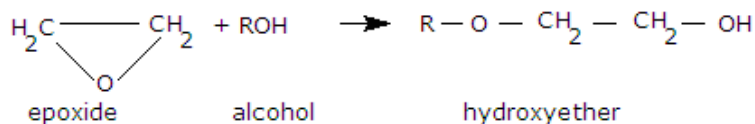
Daarvoor laat men een bifunctioneel isocyanaat: een **di-isocyanaat** (methyleendi-isocyanaat, MDI) reageren met een polyfunctioneel alcohol (polyetherpolyol, PEPOL). Er ontstaat een driedimensioneel netwerkpolymeer. Door een drijfgas toe te voegen (meestal freon), dat tengevolge van de reactiewarmte vrijkomt in kleine belletjes, ontstaat schuim. Dikwijls wordt een siliconenolie toegevoegd om de ontstane cellen te stabiliseren. Amines worden toegevoegd als katalysator voor de reactiesnelheid.



Soms wordt een kleine hoeveelheid water toegevoegd aan het polyol, dat met het isocyanaat reageert waarbij er CO<sub>2</sub> ontstaat dat tevens gasbellen vormt.

➤ **Polyethers**

De reactie wordt in gang gezet door de additie van een kleine hoeveelheid **water of alcohol** aan een **epoxide**. Een epoxide is een drieringether. Er wordt een hydroxy-ether gevormd, dat dan zelf opnieuw kan adderen aan een nieuw molecule epoxide, enz... .



**Kunststoffen kunnen we volgens syntheseproces indelen:  
polymerisatie-, polycondensatie- en polyadditiekunststoffen.**

#### 4. Van grondstof tot kunststof

We hebben al gezien dat aardolie naast aardgas de belangrijkste grondstof is voor de productie van kunststoffen.

Het gaat dus om verbindingen van koolstof (C) en waterstof (H). Ze kunnen ook zuurstof (O), stikstof (N) en zwavel (S) bevatten.

In de raffinaderij wordt aardolie door destillatie in meerdere bestanddelen gescheiden. In de fractioneer kolom zullen gas, benzine, petroleum en gasolie bij verschillende kooktemperaturen afgescheiden worden. Het restproduct van het destillatieproces, nl. bitumen (asfalt), wordt bij de wegenbouw gebruikt. De belangrijkste fractie voor de productie van kunststoffen is de ruwe benzine (nafta).

De ontstane benzine wordt dan in een thermisch splijtproces, ook "kraken" genoemd, omgevormd tot ethyleen, propyleen, butyleen en andere KWS-verbindingen.

Uit etheen kan men bij latere reacties bijvoorbeeld styreen of vinylchloride winnen.

De kunststofindustrie gebruikt slechts 4 % van de aardolieproductie. De rest gaat naar verwarming (35 %), elektriciteit, industrie (22 %), verkeer (19 %), andere (7 %).

## 5. Vorm geven aan kunststoffen

Een aantal belangrijke verwerkingsmethoden met hun producten worden hierna opgesomd:

Methode (machinaal)	Producten
Extruderen	profielen, buizen, platen, folie, kabel- en profielmantels
Kalenderen	bladen, banen
Spuitgieten	vormstukken, kratten, kopjes, tandwielen, kasten
Extrusievormblazen	holle voorwerpen
Schuimen	blokken, platen, profielen, vormstukken

Uiteraard hebben we voor respectievelijke thermoplasten, thermoharders en elastomeren verschillende verwerkingstechnieken nodig.

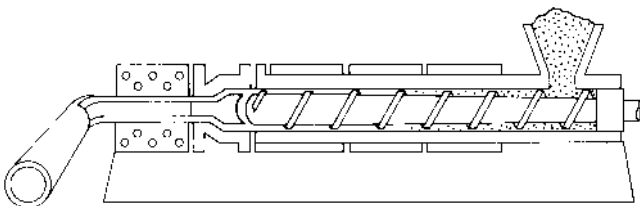
Thermoplasten worden door verwarming in een weke of vloeibare toestand gebracht, dan in hun vorm geperst en tenslotte snel afgekoeld.

Bij thermoharders mag de vernetting niet op gang komen tijdens het vormgeven maar pas er na. Ook bij rubbers (elastomeren) moet eerst de vorm gemodelleerd worden, die we pas daarna door vulkaniseren kunnen fixeren.

Van elk van de hogervernoemde methoden zullen we een korte beschrijving geven, alsook van de composietmaterialen en beschermlagen voor polymeren:

### a. Extruderen

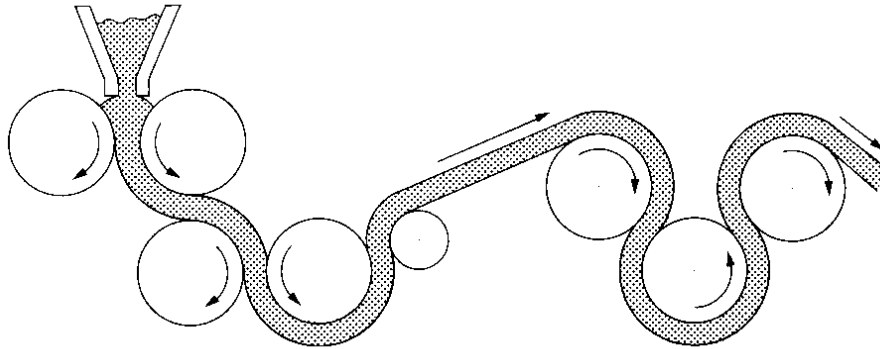
De techniek is een continu proces waarbij in een verhitte cilinder een schroef draait die het materiaal naar voor brengt, verdicht, plastificeert (dus smelt) en homogeen maakt. Aan het eind van de schroef bevindt zich een spuitkop die aan de plastische massa de gewenste vorm geeft bij het verlaten van de schroef.



## b. Kalanderen

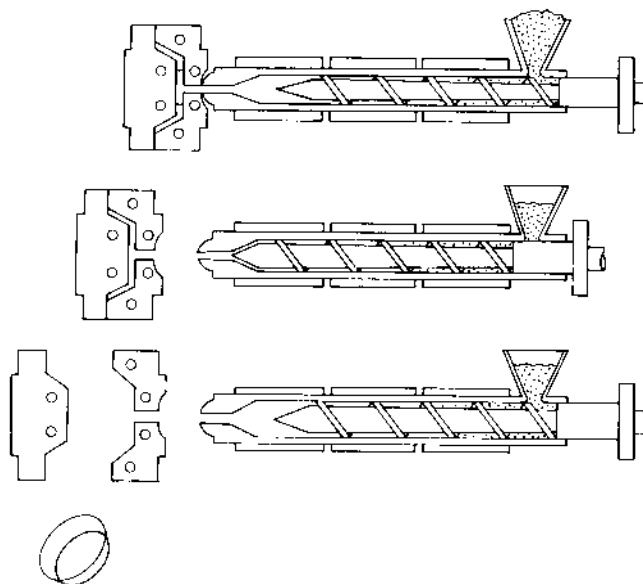
Een kalender is een apparaat dat uit een aantal draaiende rollen bestaat (zie figuur). Deze rollen verwarmen de polymeerkorrels, zodat er een smelt ontstaat, die we op de gewenste dikte brengen en daarna afkoelen door een ander rollensysteem.

Tenslotte wordt de folie opgerold. Met dergelijke apparatuur kan men zowel folie als een plastic plaat maken.



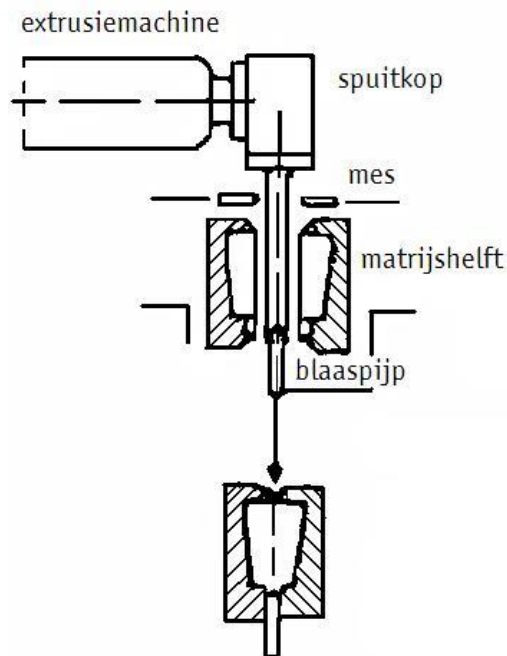
## c. spuitgieten

Bij deze techniek perst men vloeibaar polymeer onder druk in een matrijs. Zodra het product in de matrijs voldoende stevigheid heeft verkregen, wordt de matrijs geopend en het product verwijderd. De temperaturen van matrijs en cilinder zijn van groot belang om goede producten te krijgen.



#### d. Extrusievormblazen

Deze methode wordt gebruikt om alle holle voorwerpen uit thermoplasten te vervaardigen. Een plastische buis wordt naar beneden geëxtrudeerd tussen de twee helften van een open matrijs. Deze sluiten zich en knijpen zo de uiteinden van de buis dicht. Daarna wordt er lucht ingeblazen waardoor het materiaal tegen de afkoelende binnenwanden van de matrijs wordt gedrukt. Zo ontstaat een hol voorwerp.



#### e. Schuimen

De oudste vorm van schuimtechniek bestond uit het opkloppen van latex met zeep, die daarna in de juiste vorm werd geïmpregneerd bij ongeveer 100 °C. Dit heet het DUNLOP-procédé.

Veel schuimplastics maakt men tegenwoordig door het uitgangproduct te mengen met een blaasmiddel. Onder de omstandigheden waarbij het product wordt gevormd, ontwikkelt dit blaasmiddel gasbelletjes.

Fysische blaasmiddelen zijn opgeloste gassen, bijv. freon met kookpunt 84 °C.

Chemische blaasmiddelen ontwikkelen gassen via een chemische reactie, bijv. CO<sub>2</sub> uit isocyanaat met water.

Polymeerschuimen zijn niet meer weg te denken uit onze maatschappij.

De reeds behandelde verwerkingsmethodes zoals spuitgieten, extruderen, kalanderen laten ook toe voorwerpen uit geschuimde kunststof te produceren.



**f. Bewapening met vezels: composieten**

Allerlei vezels kunnen we in combinatie met polymeren gebruiken om een beter product te krijgen, dit noemt men bewapening met vezels. Hiervoor komen in aanmerking: papier, canvas, glasvezel, asbest, roestvrij staal, grafiet, koolstofvezels, ... .

Het product zal nu veel betere eigenschappen hebben dan wanneer alleen plastic gebruikt wordt.

Een dergelijk materiaal noemt men ook een composiet. Natuurlijke composieten zijn hout en beenderen.

Een veelgebruikte combinatie in de botenbouw is polyester met glasvezelbewapening.

**g. Beschermlagen**

Beschermlagen worden vaak aangebracht als poeder op het te beschermen voorwerp, waarna bijv. door verwarmen dit poeder tot een laagje polymeer wordt omgevormd. Tegenwoordig worden fietsen en auto's op deze manier "geverfd".

Ook kunnen we dunne lagen metaal aanbrengen op plastic voorwerpen of folies. Een voorbeeld hiervan zijn de verpakkingsfolies met een dun laagje aluminium.

## 6. Identificeren van kunststoffen

Een belangrijke eigenschap van kunststoffen is de **massadichtheid**. De meeste kunststoffen bezitten een massadichtheid tussen 0,9 en 1,3 g/cm<sup>3</sup>. Alle verbindingen die veel waterstof bevatten, hebben een kleine massadichtheid. Bij de thermoplasten is dit het geval voor de polyolefinen (PE = polyetheen en PP = polypropeen). Polyetheen ( $\rho = 0,98 \text{ g/cm}^3$ ) en polypropeen drijven op water. Alle andere kunststoffen zinken in water, eventueel met behulp van een detergens.

De **vingernagelproef** is een eenvoudig onderscheidingsmiddel tussen PE en PP; PE vertoont krassporen, PP niet.

Het belangrijkste herkenningsmiddel is de **brandproef**. Ook de geur die men kan waarnemen na het doven van de vlam vormt een bijkomend identificatiemiddel. Alle stoffen die halogenen bevatten (vb. PVC = polyvinylchloride) zijn slecht tot niet brandbaar. Alle verbindingen die veel koolstof bevatten, nl. alle aromatische verbindingen, branden met een sterk roetende vlam. Daartoe behoren polystyreen PS (en copolymeren zoals ABS) en polyetheentereftalaat. De andere kunststoffen, die uit alifatische moleculen zijn opgebouwd, en in verhouding minder koolstof bevatten, branden niet roetend, met blauwachtige vlam. Daartoe behoren polyetheen (PE), polypropeen (PP), polymethylmethacrylaat (PMMA), polyamide (PA) en polyoxy-methyleen (POM).

Bij het branden kunnen zich de volgende mogelijkheden voordoen:

1. er ontstaat een as met een bepaalde kleur en samenstelling;
2. het materiaal smelt samen tot een parel;
3. het smeltend materiaal vormt druppels;
4. de afvallende druppels branden verder.

Bij het verbranden wordt de kunststof gedeeltelijk gedepolymeriseerd. De gevormde monomeren bezitten een **karacteristieke geur**. Bij polyolefinen herinnert de geur aan brandende paraffine-, stearine- of waskaarsen, omdat hun grondstoffen veel overeenkomst vertonen met de polyolefinen. Polystyrenen en polystyreencopolymeren ruiken naar styreen, een zoetige geur die aan teer of aan lichtgas herinnert. Polycarbonaat (PC) ruikt duidelijk naar fenol (tandarts) en polyamide, met een op eiwit gelijkende structuur, ruikt naar verbrande hoorn.

Sommige kunststoffen **lossen op** in bepaalde **organische oplosmiddelen**.

In tetrachloroethyleen lost uitsluitend polystyreen op.

Tot slot geeft het **breukbeeld** bijkomende informatie. Men maakt onderscheid tussen taaie breuk (witte breuk), brosse breuk (glasachtig) en geen breuk.

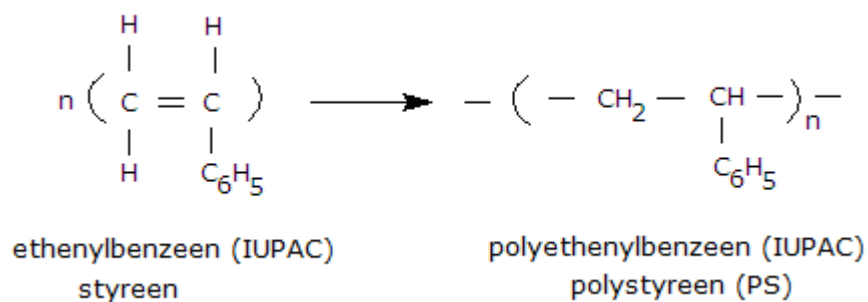
<b>KUNSTSTOF</b>	<b>PE</b>	<b>PP</b>	<b>PS</b>	<b>PVC</b>	<b>PMMA</b>	<b>PA</b>	<b>PC</b>
<b><i>Gedrag in water</i></b>							
drijft	PE	PP					
zinkt			PS	PVC	PMMA	PA	PC
<b><i>Krasbaar</i></b>							
ja	PE						
Nee		PP					
<b><i>Brandgedrag uit de vlam</i></b>							
brandt niet-roetend, gele vlam, blauwe rand, brandende druppels	PE	PP					
sterk roetend (roet-vlokken) geel lichtende vlam			PS				
Verkoolt, brandt niet (de vlam dooft)				PVC			
brandt knetterend, helgele vlam					PMMA		
brandt niet, vormt harde glanzende druppels						PA	
de sterk roetende, gele vlam dooft, verkoolt							PC
<b><i>Geur van de damp</i></b>							
brandende kaarsen	PE	PP					
zoetig, naar teer of lichtgas			PS				
onaangenaam, prikkelend (HCl)				PVC			
aangenaam, fruitgeur					PMMA		
verbrande hoorn (haar)						PA	
fenol (tandarts)							PC
<b><i>Oplosbaar in tetrachloroethyleen</i></b>			PS				
<b><i>Breukproef</i></b>							
taaie breuk			PS				
brosse breuk (glasachtig)					PMMA		

## B. EXPERIMENTEEL GEDEELTE

### 1. Synthese van polymeren

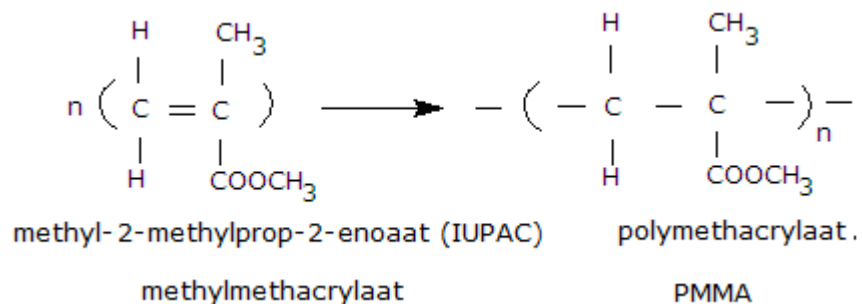
Geen producten door de gootsteen gieten!

#### Experiment 1.1. Bereiding van polystyreen



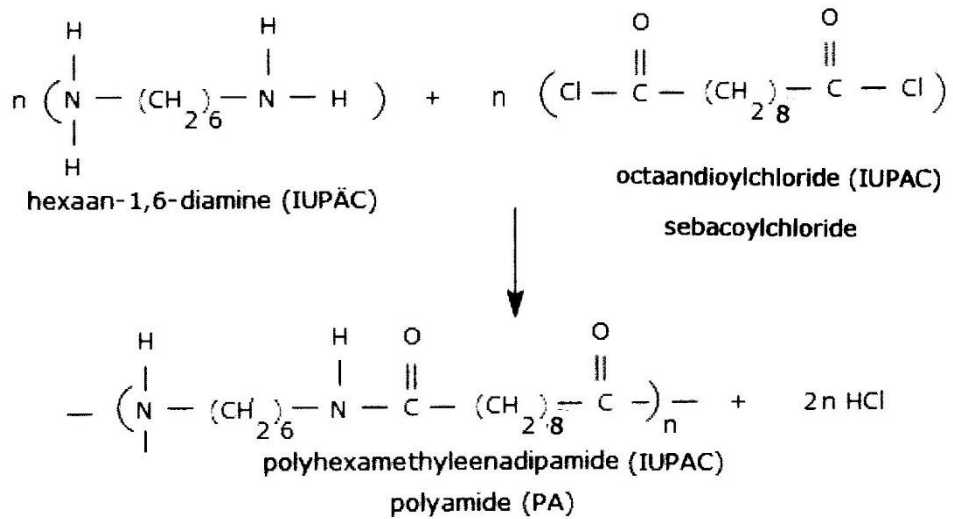
#### Voer de reactie uit onder de zuurkast:

1. Breng een mespuntje benzoylperoxide (=difenylperoxyanhydride) in een reageerbuis.
2. Voeg hieraan 3 ml styreen toe.
3. De inhoud van de reageerbuis langzaam verhitten en zachtjes laten koken tot de oplossing heel visceus wordt; let op dat je de reageerbuis verwarmt aan de onderkant en niet langs de wanden (zeer ontvlambaar!)
4. Er ontstaat " polystyreen".

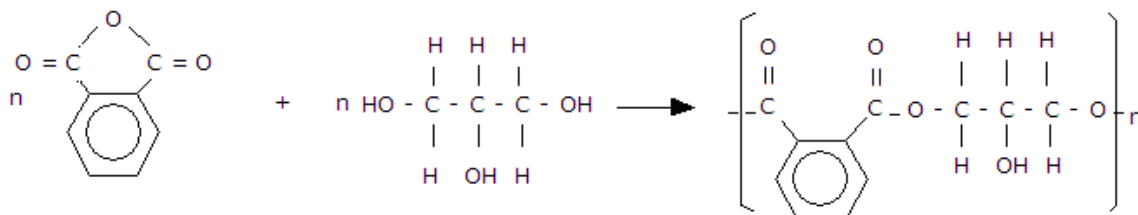
**Experiment 1.2. Bereiding van polymethylmetacrylaat (Perspex)**

1. Breng een mespuntje benzoylperoxide (als katalysator) in een reageerbuis.
2. Voeg hieraan 5 ml methacrylaat (=methyl-2-methyl-propenoaat) toe.
3. Schud even met de reageerbuis om de vaste stof op te lossen.
4. Plaats het buisje in een waterbad van 95 °C.
5. Het vaste polymeer vormt zich na 15 à 20 minuten.

*Het waterbad dient op 95 °C te worden gehouden omdat bij 100 °C er een te sterke verdamping van het polymeer optreedt aangezien het kookpunt bij 100 °C ligt. Er kan dan een polymeer ontstaan dat niet helemaal helder is door de aanwezigheid van dampbelletjes.*

**Experiment 1.3. Bereiding van nylon-6,10**

1. Breng 5 ml van een 5 % 1,6-diaminohexaan oplossing in een glazen beker van 100 ml
2. Voeg hierbij voorzichtig 5 ml van een 5 % sebacylchloride oplossing;  
kom niet met je handen aan deze oplossingen!
3. Trek voorzichtig met een roerstaaf het zich op de grenslaag vormende nylon uit het bekglas tot een lange draad die je op de roerstaaf kan rollen.
4. Het gevormde nylon wordt in de afvalpot voor nylon gedaan
5. De resterende inhoud van de beker giet je in afvalvat code groen; beker even naspoelen met een beetje aceton en dit eveneens in afvalvat code groen gieten.

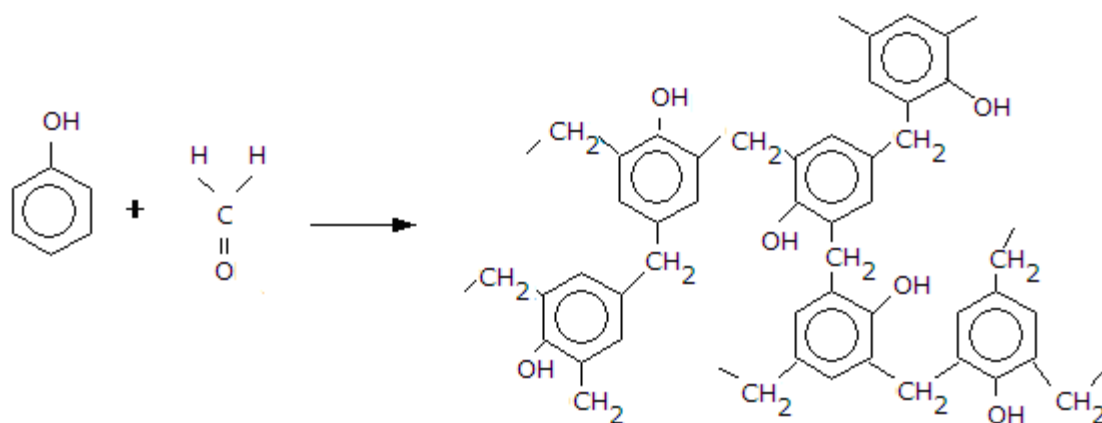
**Experiment 1.4. Bereiding van alkydhars (polyesterhars)**

2-benzofuraan-1,3-dion (IUPAC)    propaan-1,2,3-triol (IUPAC)  
ftaalzuuranhydride                    glycerol of glycerine

polyesterhars

**Voer de reactie uit onder de zuurkast:**

1. Breng 3 g ftaalzuuranhydride in een reageerbuis.
2. Voeg hier 2 g glycerine aan toe.
3. Verhit het mengsel langzaam tot een heldere oplossing.
4. Daarna kan de temperatuur opgedreven worden.
5. Er ontstaat een gele oplossing die visceus wordt; vervolgens vormt zich een oranje-bruin polyesterhars (alkydhars).

**Experiment 1.5. Bereiding van bakeliet**

Fenol (IUPAC) methanal (IUPAC)  
Formaldehyde

bakeliet

**Voer de reactie uit onder de zuurkast:**

1. Weeg 10 g resorcinol (=1,3-dihydroxybenzeen) af in een jampotje en voeg 10 ml water toe.
2. Voeg hierbij nog 12 ml 36 % formaldehyde.
3. Aan dit mengsel wordt 1 ml NaOH 5 M als katalysator toegevoegd.
4. Meng alles heel goed door een zwenkbeweging te maken met de jampot.
5. Verwarm dit mengsel langzaam in een waterbad (= inox kom met een beetje water boven een bunsenbrander); tijdens het verwarmen lost alle resorcinol op en wordt de oplossing bruin.
6. Stop met verwarmen zodra de bakelietvorming op de bodem van de pot start en laat alles nog even in het warmwaterbad staan.



## 2. Identificatie van kunststofplaatjes

Je beschikt over 7 kunststofplaatjes. Door de hieronder beschreven proeven uit te voeren is het mogelijk om de 7 plaatjes te identificeren. De samenvatting op pag. 18 kan je hierbij helpen.

### **Experiment 2.1. Dichtheid**

1. Doe 10 ml zeepoplossing in de beker van 600 ml en leng aan met water tot maximum 200 ml.
2. Leg de 7 kunststofplaatjes in de beker.
3. Er zullen nu 2 plaatjes bovendrijven. Duid op het antwoordblad aan welke plaatjes drijven en welke zinken.
4. Om de dichtheid van de oplossing te doen stijgen, moet je keukenzout toevoegen. Weeg daarom 75 g keukenzout af in de plasticen beker en voeg dit toe met kleine hoeveelheden.
5. Goed roeren met de lepel om het keukenzout telkens op te lossen.
6. Dit herhalen tot de andere plaatjes één voor één komen bovendrijven.
7. Eén plaatje zal op de bodem blijven liggen.
8. Rangschik
9. Was de beker goed uit met water zodat er geen zoutresten achterblijven.

### **Experiment 2.2. Onderscheid PE en PP: vingernagelproef**

1. Gebruik voor dit experiment de 2 plaatjes die bovendrijven in water zonder zout bij experiment 2.1.
2. Kras met je nagel over de plaatjes.
3. Noteer je bevindingen op het antwoordblad.

### **Experiment 2.3. Brandbaarheid en geur**

1. Ontsteek een bunsenbrander en houd een kunststofplaatje met behulp van de ijzeren tang in het puntje van de vlam.
2. Als het materiaal ontvlamt (vuur vat), het plaatje uit de vlam nemen want het is nog nodig voor volgende experimenten; let op voor druipende plaatjes, laat druppelen boven inox kom!
3. Indien het plaatje brandt, blaas je het voorzichtig uit.
4. Door rooksluizen, afkomstig van het plaatje voorzichtig naar je toe te waaien, bepaal je de geur.
5. Duid op je antwoordblad aan welke waarnemingen bij welk nummer van het plaatje horen.

### **Experiment 2.4. Oplosbaarheid van PS in tetrachloroethyleen**

1. Gebruik hiervoor het plaatje waarvan je vermoedt dat het PS is op basis van brandgedrag en geur;
2. Leg dit plaatje in een beker die voor ¼ gevuld is met tetrachloroethyleen ( $\text{CCl}_2=\text{CCl}_2$ ).
3. Als het plaatje oplosbaar is, wordt het kleverig; vul je waarneming in op het antwoordblad.
4. Indien het plaatje niet oplosbaar is, moet je dit experiment herhalen met de andere plaatjes die je nog niet geïdentificeerd hebt.
5. De oplossing tetrachloroethyleen na gebruik terug in de fles gieten (voor hergebruik).
6. Beker uitspoelen met een beetje aceton en dit in afvalvat code groen gieten.

### **Experiment 2.5. Breukproef**

#### **Stoffen handschoenen aandoen voor dit experiment!**

1. Dit experiment laat je toe om te controleren of je PS en PMMA herkend hebt.
2. Neem het plaatje dat PS is.
3. Controleer als je het kan breken (herhaaldelijk dubbel plooien tot breuk)
4. Doe hetzelfde voor het plaatje waarvan je vermoedt dat het PMMA is op basis brandgedrag en geur; dit plaatje breekt ineens door uitoefenen van (veel) kracht

**BESLUIT**

<b>KUNSTSTOF</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Gedrag in water</b>							
drijft in water							
zinkt in water							
Volgorde bovendrijven in zoutwater (3-7)							
<b>Krasbaar (vingernagelproef)</b>							
ja							
nee							
<b>Brandgedrag</b>							
brandt niet- roetend, gele vlam, blauwe rand, brandende druppels							
rooksluier met roetvlokken, geel lichtende vlam die blijft branden							
verkoolt, brandt niet (de vlam dooft)							
brandt knetterend, helgele vlam							
brandt niet, vormt harde, glanzende druppels							
de sterk roetende, gele vlam dooft, verkoolt							
<b>Geur van de damp</b>							
naar brandende kaarsen							
zoetig, naar teer of lichtgas							
onaangenaam, prikkelend (HCl)							
aangenaam, naar fruit							
naar verbrande hoorn (haar)							
naar fenol (tandarts)							
<b>Oplosbaar in tetrachloroethyleen</b>							
<b>Breukproef</b>							
taaie breuk							
brosse breuk (glasachtig)							