

Message in a Bottle

Leonoor Vesseur



Message in a Bottle

Leonoor Vesseur



Message in a Bottle

Onderzoek gedaan door:

Leonoor Vesseur

April 2013

Begeleid door:

Onderzoeksm mentor:

Dhr. Geldermans

Architectuurmentor:

Dhr. Nottrot

Bouwtechniekmentor:

Dhr. Van de Voort

Technische Universiteit Delft

Faculteit Architectuur

Explore Lab 15



1.0 Inleiding	9
2.0 Afval	12
3.0 Kunststof	21
4.0 Grondstoffen	32
5.0 Plastic afvalverwerking	40

Inhoudsopgave

6.0 De PET-fles	50
7.0 Alternatieve plastics	60
8.0 Plastic vergelijking	70
9.0 Aanpak	83
10.0 Gebouw & Flesje	88
11.0 Conclusie	88
12.0 Reflectie	98
13.0 Bibliografie	100





INLEIDING

01

Afbeelding 1 bron: <http://e-wasteregulation.blogspot.nl/>

INLEIDING

Het onderzoeksverslag dat voor u ligt, is ontstaan door mijn fascinatie. Mijn fascinatie, iets wat mij bezig houdt, gaat over de hoeveelheid afval die wij produceren. Met 'wij' doel ik op mijzelf en de mensen om mij heen: mijn huisgenoten, mijn ouders, mijn vrienden, de burens, mijn vrienden, enzovoort. Het valt mij op dat wij in onze maatschappij zo gemakkelijk dingen weggooien en nieuwe spullen kopen. Dit gaat echter vanzelf. We hebben dit niet door. In de maatschappij waar wij in leven is deze manier van consumeren normaal. De jonge hoogopgeleide mensen om mij heen hebben voor het eerst in hun leven wat meer geld, dus ze kopen alles nieuw: alles moet mooi, origineel en hip zijn. Dat is hoe het nou eenmaal gaat. Ondertussen zijn deze mensen zich er niet van bewust wat ze eigenlijk allemaal aanrichten met het kopen van een product. Bij het proces dat vooraf gaat aan de gebruiksfase komen broeikasgassen vrij, er worden schaarse grondstoffen gebruikt en er wordt geld verspeeld. Bijzonder is dat we het product dat wij hebben gebruikt, met het grootste gemak gewoon weer weggooien. Een proces dat ook weer de nodige voeten in de aarde heeft.

Ik ben van mening dat we slim genoeg zijn om bewust om te gaan met de spullen die wij produceren en consumeren. We zijn echter te erg gewend aan hoe het nu gaat.

Een project dat mij erg aanspreekt is 'The Story of Stuff'. Annie Leonard, de bedenker van dit

project, maakte in 2008 een filmpje dat in Amerika duizenden keren werd bekeken. In deze film wordt het verhaal van een product verteld. Hoe machtig bijvoorbeeld de fabrikanten van een product zijn in dit verhaal. Een fabrikant ontwerpt gerust een nieuwe aansluiting voor je laptop-oplader, waardoor als alleen de lader kapot is, je gedoemd bent om een nieuwe laptop te kopen. Als consument sta je dus machteloos tegenover de fabrikant. (*Leonard, A. 2008*)

Met mijn afstudeerproject zal het niet lukken om de wereld te verbeteren. Fabrikanten zullen machtig blijven. Wat ik met mijn project wil bereiken is om ons, de fabrikant en de consument, bewust te maken van het feit dat we veel consumeren en wat we consumeren. Het bewustzijn van dit feit zal kunnen leiden tot een verbeterd product en een bewustere omgang met producten.

Om dit te kunnen bereiken wil ik een product dat wij dagelijks gebruiken, verbeteren. Een analyse van de levenscyclus van het product leidt tot een advies aan de fabrikant en aan de consument.

De onderzoeksvraag van mijn onderzoek luidt:

Hoe kan een product dat wij dagelijks gebruiken, dat erg herkenbaar is voor de consument en vraagt om verbetering worden verbeterd? En hoe kan dit product vervolgens worden hergebruikt?

Het gebouw dat met mijn afstudeerproject ontworpen wordt zorgt voor de verlenging van de levensloop van het product. Het zal een tweede toepassing bieden aan het product. Door de toepassing van het product in het gebouw zal er bij de consument en de fabrikant bewustwording ontstaan. Het wordt een paviljoen ter promotie van het product en het duurzame project.

Het onderzoek is opgedeeld in 3 delen:

1. Het vinden van een product dat hergebruikt gaat worden. Door het bezoeken van verschillende bedrijven in de afval en hergebruik branche, is er informatie gewonnen. Bedrijven zoals Nedvang, SITA, de Bende en 2012 Architecten zijn bezocht. Ook is er onderzoek gedaan naar afvalcijfers.

2. Naar aanleiding van het gekozen product ben ik gaan kijken hoe het product verbeterd kan worden, naar aanleiding van knelpunten ben ik gaan kijken wat er verbeterd kon worden. Dit heb ik voornamelijk gedaan aan de hand van literatuur.

3. Het derde onderdeel is het onderzoek naar de toepassing van het product.

Het verwachte resultaat van het onderzoek is een analyse waaruit blijkt welk product interessant is om

te onderzoeken. Over dit product wordt een advies uitgebracht. De vlakken waarop het kan worden verbeterd zullen worden belicht. Uiteindelijk zal het product worden toegepast in het gebouw.



AFVAL 02

Afbeelding 2: <http://www.rnw.nl/data/files/images/lead/070510%20vuilnis%20%20Amsterdam%20ANP-2465233.jpg>

AFVAL

Om te kijken van welk product de kringloop interessant is om te bekijken, ben ik gaan inzoomen op afval in Nederland. Daarbij ben ik op zoek gegaan naar een product of een productgroep dat nog niet goed wordt hergebruikt of ergens vastloopt in de kringloop.

2.1 Afval in Nederland

Jaarlijks wordt er in Nederland 60 miljoen ton afval geproduceerd. Dit afval is afkomst uit allemaal verschillende sectoren, zoals verkeer en vervoer, bouw, industrie, consumenten, landbouw, etc.

(Agentschap NL, 2011)

In mijn onderzoek concentreer ik me op het afval geproduceerd door consumenten, huishoudelijk afval dus. Om inzicht te geven van het percentage dat dit is van het gehele afvalaanbod zijn de gegevens van de verschillende doelgroepen op een rijtje gezet, daarbij zijn de waarden uit 2007 en 2008 genomen. Te zien in tabel 1.

De twee grootste sectoren zijn Bouw en Industrie. Op de derde plek staat het huishoudelijke afval, waar ik op in speel. Mijn project heeft ook wat

	Hoeveelheid afval (kton)		Percentage van geheel (in 2008)
	2007	2008	
Consumenten	9.287	9.187	15%
Verkeer en vervoer	723	639	1%
Landbouw, bosbouw en visserij	2.446	2.563	4%
Industrie	16.372	16.786	27%
Handel, diensten en overheid	5.594	5.584	9%
Bouw	23.868	25.011	40%
Energievoorziening	1.452	1.504	2%
Rioolwaterzuiveringsinrichtingen	1.653	1.449	2%
Openbare drink- en industriewatervoorziening	190	176	0,3%
Totaal	61.585 kton	62.899 kton	100%

Tabel 1: (Agentschap NL, 2011)

raakvlakken met de twee grootste, omdat er van het huishoudelijke afvalproduct uiteindelijk een bouwproduct worden gemaakt, dat weer gerecycled kan worden. Dit zorgt ook voor vermindering van afval in de industrie.

In tabel 1 is te zien dat er in 2008 9.187 kton afval door consumenten werd geproduceerd. Dit consumentenafval wordt opgedeeld in twee soorten afval: grof afval (grofvuil) en huishoudelijk afval. Het huishoudelijke afval is van deze twee de grootste. Dit was in 2008 namelijk 6.938 kton.

Het huishoudelijke afval kan weer worden onderverdeeld in groepen. Deze groepen worden op verschillende manieren verwerkt. Hier wordt verder op ingegaan in het volgende kopje.

2.2 Huishoudelijk afval

Het huishoudelijke afval in 2008 was 6.938 kton. Deze 6,938 kton wordt op verschillende manieren verwerkt. Met verwerken wordt de manier waarop het afval verder wordt behandeld bedoeld. Agentschap NL maakt in het rapport 'Nederlands afval in cijfers', onderscheid tussen de volgende groepen: de producten die een nuttig toepassen krijgen, de producten die worden verbrand, de producten die worden gestort en de producten die worden geloosd.

Afgezien van het verkleinen van het totaal cijfer

van het huishoudelijk afvalaanbod, is het doel om het cijfer van de nuttige toepassing het grootst te krijgen. In 2008 was het nog als volgt verdeeld:

Hoeveelheid huishoudelijk afval kton 2008

Nuttig toepassen	3.245
Verbranden	3.430
Storten	211
Lozen	53
Totaal	6.938

(Agentschap NL, 2011)

Storten en lozen van afval wil je voorkomen, dus dat deze cijfers dalen is goed. (1.035 kton werd in 2000 gestort en 211 kton in 2008), de cijfers van de afvalverbranding zijn daardoor echter wel gestegen. De cijfers van verbranden en de nuttige toepassing liggen daardoor dicht elkaar.

Het verbranden van afval gebeurt als er geen toepassing meer is voor het product of het niet meer kan worden hergebruikt.

Het verbranden heeft een paar voordelen:

- Het benutten van de energie-inhoud van het afval. Het afval wordt ingezet als brandstof.
- De restwarmte van het afval wordt benut.

Afvalverbranding heeft echter ook nadelen, zoals negatieve milieu effecten. Bij afvalverbranding worden er verschillende gassen uitgestoten:

stikstofdioxiden (NO en NO₂), fijnstof (PM₁₀), zwaveldioxide (SO₂), koolmonoxide (CO) en lood (Pb). Er zijn in Nederland door het Besluit verbranden afvalstoffen (Bva) regels opgesteld die ervoor moeten zorgen dat deze gassen niet de luchtkwaliteitseisen overschrijden. Deze regels zijn gebaseerd op de Europese afvalverbrandingsrichtlijn en op de IPPC-richtlijn (Integrated Pollution Prevention and Control). (Milieu focus, 2012)

Er zijn dus regels opgesteld, maar er zijn toch nog veel gassen die worden uitgestoten heel hardnekkig: zeer resistent tegen afbraak in het milieu, bioaccumulerend (ze hopen zich op in de weefsels van levende organismen) en giftig. Het gevolg hiervan is dat deze chemicaliën bijvoorbeeld carcinogeen (kankerverwekkend) kunnen zijn. Anderen, zoals zwaveldioxide (SO₂) en stikstofdioxide (NO₂) en fijn stof, heeft negatieve effecten op de respiratoire gezondheid (ademhaling).

(Allsopp, M, Costne, P, Johnston, P, 2001)

(Stop de over, 2012)

Er wordt dus nog een groot gedeelte van het huishoudelijke afval verbrand, wat ernstige gevolgen kan hebben. Het percentage afval dat verbrand wordt moet daarom dalen. Als ik een productgroep heb gekozen waar ik verder op ga inzoomen, zal ik kijken welk afval hiervan wordt verbrand en of daar

een product tussen zit dat eigenlijk niet verbrand hoeft te worden.

2.3 De onderverdeling van het huishoudelijk afval

Zoals verteld heb ik gekozen voor het huishoudelijk afval. Omdat het huisafval uit heel veel verschillende categorieën bestaat gaat ik eerst inzoomen op één productgroep uit het huishoudelijke afval, voordat ik een selectie kan maken.

Het huishoudelijke afval wordt opgedeeld in verschillende categorieën. De percentages van deze groepen zijn te zien in tabel 2. Opvallend groot in deze categorie is de groep GFT-afval.

Alle groepen zullen in het volgende apart worden behandeld.

	Gemiddelde samenstelling	Verpakkingen
Gft-afval	36 %	
Papier/karton	20 %	8,5 %
Kunststoffen	15 %	10 %
Overig	11 %	0,01 %
Luiers	5,3 %	
Glas	4,7 %	4,5 %
Textiel	4,1 %	
Ferro	3,4 %	2,5 %
Non-ferro	1,1 %	0,76 %
KCA	0,05 %	
Totaal	100 %	

(Tabel 2: Agentschap NL, 2011)

GFT afval

GFT-afval staat voor groente-, fruit- en tuinafval. In Nederland wordt gft-afval gescheiden ingezameld. We verzamelen jaarlijks 1,6 miljoen ton in. We maken er vervolgens compost van. Gemeentes hebben tegenwoordig meer vrijheid om zelf te bepalen wat ze doen met het ingezamelde gft-afval. Het kan bijvoorbeeld ook gebruikt worden om biogassen te verkrijgen. Ook kan het ons elektriciteit, warmte of CO2 opleveren. (Vereniging afvalbedrijven, 2012)

Papier

Een groot gedeelte van het papier dat wij verbruiken wordt gerecycled. In Nederland gebruiken we per jaar per persoon ongeveer 115 kg papier en karton. Nadat we het gebruikt hebben gaat het bij het oudpapier. We houden dit apart van de rest van het afval. De inzameling van het oudpapier wordt in Nederland geregeld per gemeente. Een oudpapier-onderneming neemt uiteindelijk het oudpapier in. Hij reinigt het, sorteert het op kwaliteit en brengt het uiteindelijk naar een papier en kartonfabriek. Oudpapier wordt opgelost in water. De papiervezels komen daardoor los van elkaar. Er ontstaat dan pulp. Ook de inkt kan uit de pulp worden verwijderd. Van de pulp wordt uiteindelijk weer papier geperst. (PRN, 2012)

Oud papier en karton wordt in Nederland goed ingezameld. In 2010 werd 90% van alle geproduceerde papier en karton verpakkingen

hergebruikt. (Nedvang, 2012)

Kunststof

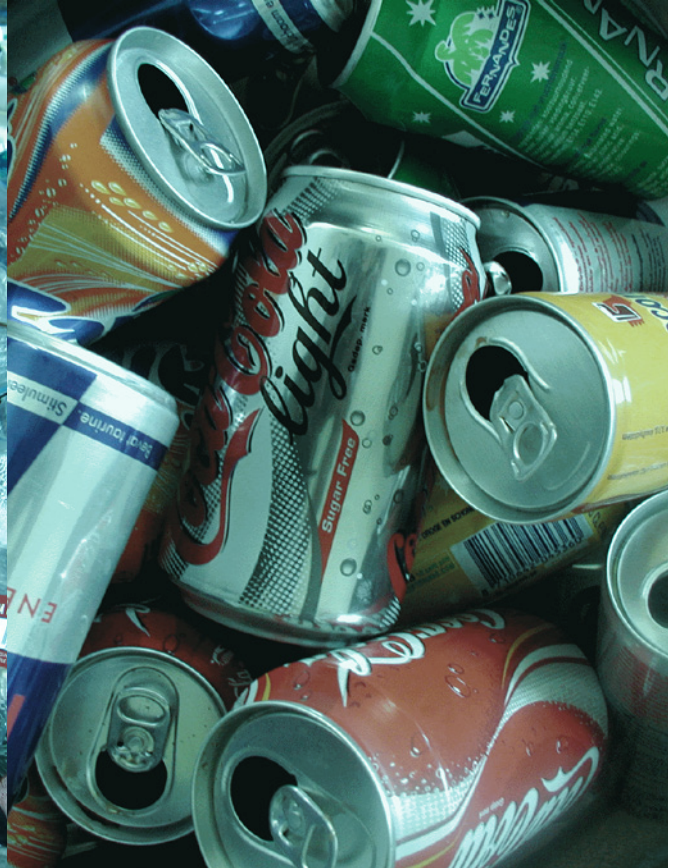
Dagelijks gebruiken wij heel veel plastic. Sinds kunststof apart wordt ingezameld binnen het huishoudelijk afval, is te zien dat we heel erg veel plastics gebruiken. Ons eten zit erin verpakt, producten zijn ervan gemaakt, zelfs papieren folders worden erin verpakt.

Maar waarom gebruiken wij eigenlijk zoveel plastic? Plastic heeft bepaalde eigenschappen waarom wij dit doen. 39% van al het plastic dat we produceren is voor het verpakken van eten. In ontwikkelingslanden gaat er een hoop eten verloren, dit komt doordat ze geen goede verpakkingen hebben om het eten te bewaren. Vlees kan bijvoorbeeld 5 tot 10 dagen langer bewaard worden als het in plastic wordt verpakt en ook een komkommer blijft bijvoorbeeld langer houdbaar.

(Plastic Europe, 2012)

Sinds een paar jaar wordt in sommige huishoudens plastic apart ingezameld, sommige afval verwerkers scheiden het plastic zelf van het andere afval. Door deze ontwikkelingen wordt er steeds meer plastic hergebruikt. De hergebruik cijfers van plastic zijn echter nog laag, vergeleken met andere productgroepen: van alle kunststof verpakkingen werd in 2010 48% hergebruikt.

(Nedvang, 2012)



Glas

Wij gebruiken in ons huishouden heel veel glas. Heel veel etensproducten worden verpakt in glas. Glas is een milieuverantwoorde verpakking. Zonder kwaliteitsverlies kan glas worden hergebruikt. Van al het glas dat in 2010 op de markt kwam is 91% hergebruikt. *(Nedvang, 2012)*

Door middel van reiniging, zeven, magneten etc wordt het glasafval zo veel mogelijk gescheiden van andere materialen. Als het glas helemaal schoon is gaat het weer opnieuw naar een glasfabriek.

(Stichting Kringloop Glas, 2012)

Blik

Blik staat voor metalen verpakkingen. Bijvoorbeeld producten zoals een soepblik, een deodorantbus of een verpakkingen van diervoeding zijn van blik gemaakt. In Nederland werd in 2007 al 84% van alle blikverpakkingen gerecycled. Dit gebeurt door het blik uit het restafval te scheiden.

Van alle metalen verpakkingen in Nederland wordt het grootste gedeelte van staal gemaakt (90%) en 10% van aluminium. Sommige producten, zoals het cola blikje, bestaat uit een mengsel van de twee producten: een stalen romp en een aluminium deksel.

Blik wordt samen met het restafval door huishoudens verzameld. Installaties voor afvalverbranding scheiden de metalen van het andere restafval. Ook het afval dat in een vuilnisbak aan de straat beland

wordt gerecycled.

Het deel dat niet in het recycling proces terecht komt is het zwerfafval. Dit is ongeveer 5% van het geheel.

Door middel van magneten halen de afvalverwerkingsbedrijven het blik uit het restafval. Dit gebeurt voor of na de verbranding. De scheiding voorafgaand aan de verbranding is gunstiger dan andersom.

De ingezamelde metaalproducten worden ingezet bij de bereiding van nieuw staal en aluminium. Dit hergebruik is in de afgelopen jaren heel erg gestegen. Van ongeveer 50% in 1993 naar 84% in 2007.

De afvalverwerking van blikafval gaat in Nederland al erg goed. Er kan een groot gedeelte gerecycled worden en het wordt goed gebruikt als nieuwe grondstof.

(Stichting Kringloop Blik, 2007)

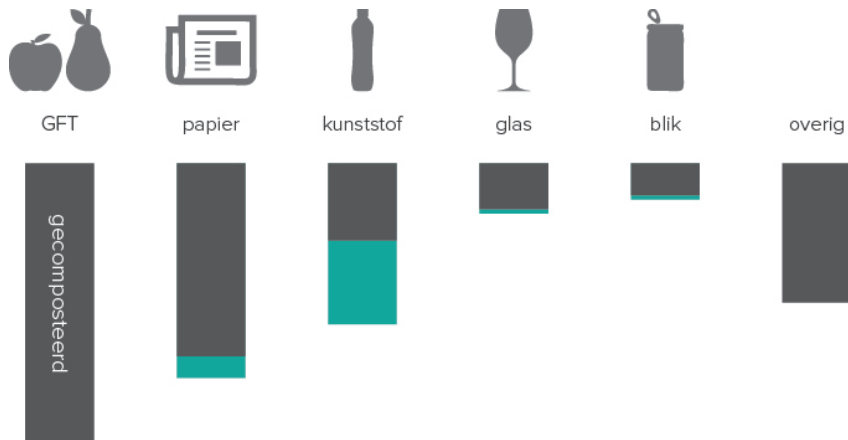
Al deze groepen worden dus in zekere mate gebruikt voor nuttige toepassing. De cijfers die Nedvang publiceerde kwamen in de tekst al naar voren. Deze percentages worden nog een keer op een rijtje gezet om een keuze te maken voor een product groep. *(Afbeelding 7)* Van al het blik afval is in 2010 88% hergebruikt. Van het papier en karton werd er in 2010 90% hergebruikt. Ook van het glas werd er veel hergebruikt, namelijk 91%. Alleen de cijfers van het kunststof zijn lager, namelijk 48%

hergebruik in 2010. www.Nedvang.nl

Kunststof valt in dit rijtje op. Mede met de kennis dat de productie van kunststof wereldwijd in de afgelopen 20 jaar elk jaar met 5% is gestegen (*United Nation Enviroment Programme, UNEP*), is dit zorgwekkend. In 2010 werd bijvoorbeeld 265 miljoen ton plastic geproduceerd, 15 miljoen meer dan het jaar daarvoor. <http://www.unep.org/ietc/ourwork/wastemanagement/projects/wasteplasticsproject/tabid/79203/default.aspx>

volgende zal worden ingezoomd op het product kunststof. Wat is kunststof precies? Wat zijn de problemen met kunststof? En hoe wordt kunststof als afval in Nederland verwerkt? De antwoorden op deze vragen zullen uiteindelijk leiden tot een product dat verbeterd gaat worden en zal worden ingezet in een gebouw.

Deze argumenten zorgen ervoor dat de focus in dit onderzoek komt te liggen op kunststof. In het



Afbeelding 7: (Agentschap NL, 2012)





KUNSTSTOF

03

Afbeelding 8: <http://image.made-in-china.com/2f0j00revEIRuaOMkZ/Pet-Bottle-Flake.jpg>



KUNSTSTOF

Om er achter te komen welk kunststof product interessant is om her te gebruiken en te verbeteren is het belangrijk om te weten wat kunststof eigenlijk precies is. Eerst zal er een korte geschiedenis van plastic worden besproken, vervolgens zal worden behandeld wat plastic eigenlijk precies is.

3.1 Korte geschiedenis.

Als je om je heen kijkt zie je overal plastic. We kunnen het niet meer weg denken uit ons leven. In 1862 werd op de Great International Exhibition in Londen door Alexander Parkes het eerste door mensen handen gemaakte plastic onthult. Het product Parkesine was verkregen uit cellulose. Het product had op de grote schaal nog niet veel succes, het had nog een te slechte kwaliteit en de productiekosten waren erg hoog. Een product dat wel succes had op de grotere schaal was celluloid. Het is een plastic dat is gemaakt van katoenvezels en andere plantaardige materialen. Het is rond 1880 ontwikkeld als goedkope vervanger van ivoor voor biljardballen.

In 1907 werd pas het eerste volledige synthetische handgemaakte plastic Bakeliet ontwikkeld. Het is gemaakt van koolteer. Anders dan eerdere plastics hield bakeliet zijn vorm als het werd verwarmd. Later werd het gebruikt om radio's en bijvoorbeeld klokken van te maken. Het werd voor het eerst niet gebruikt als vervanger van ivoor, de industrie zette het in als nieuw product en ging er dingen mee

produceren.

In 1912 werd cellofaan ontwikkeld. Het werd gebruikt door Whitman's candy company om snoepjes in te verpakken. DuPont zorgde er later voor dat het vochtbestendig werd. PVC, een plastic dat we nu erg veel gebruiken werd in 1920 uitgevonden om het kostbare natuurlijke rubber te vervangen. In 1933 werd het goedkope, flexibele en duurzame polyethyleen ontwikkeld. Het werd tijdens de WOII gebruikt om radar systemen op vliegtuigen te isoleren. Na de oorlog werd polyethyleen een product dat bij het grote publiek werd gebruikt.

Vanaf 1930 kwamen er veel verschillende nieuwe plastics op de markt. Zoals bijvoorbeeld Teflon, nylon, ABS en polyester.

De ontwikkeling van plastic is enorm geweest. Onderzoekers en ontwikkelaars hebben nieuwe methodes ontwikkeld om plastics samen te stellen, te verbeteren en te ontwikkelen. Nieuw in de geschiedenis is dat men zich gaat verzetten tegen de ontwikkeling van plastics. Waar vroeger plastics als alternatief werden gebruikt, wordt er nu gezocht naar nieuwe vervangers van plastics.

(NPR, 2012)

3.2 Wat is plastic?

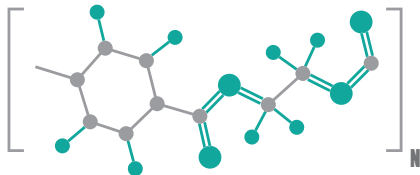
Plastic wordt gemaakt van aardolie. Op de grondstoffen zal later dieper worden ingegaan. Plastics zijn er in alle verschillende soorten en maten. Deze verschillende soorten ontstaan door de

verschillende eigenschappen die plastics hebben. Hier zal worden besproken welke verschillende varianten er zijn van plastics.

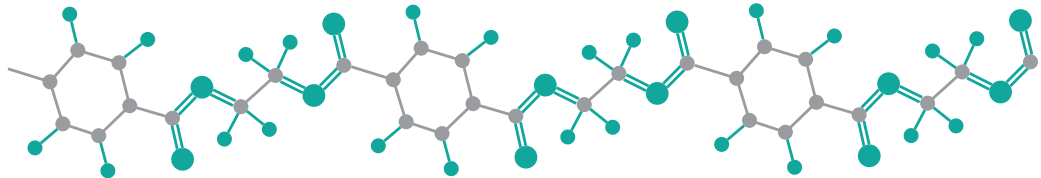
Plastics bestaan uit polymeren. Polymeren zijn lange ketens van moleculen, repeterende units. Een polymeer kan als volgt worden opgeschreven: $-(RU)_n-$
RU is de repeterende unit. n is het aantal units. Het aantal repeterende units moet groot zijn, want dan is er een kleine kans dat er een verandering in eigenschappen optreedt als er een klein foutje in

de keten zit.

Polymeren komen voor in de natuur en in plantaardige en dierlijke weefsels. Hout, katoen, wol, zijde en bont zijn bijvoorbeeld natuurlijke polymeren. Een groeiende groep polymeren is de groep met synthetische polymeren. Deze ketenmoleculen zijn volledig in een chemische fabriek gemaakt. De meeste polymeren met een commerciële toepassing zijn synthetische materialen. De polymeren bestaan uit allemaal individuele monomeren, waar een chemische link tussen zit. (Vegt, A.K. van der, 1999)



repeterende unit



polymeer

Polymeren kunnen worden onderverdeeld door middel van verschillende criteria, bijvoorbeeld: thermisch gedrag en polymerisatie mechanisme.

Als je de plastics beoordeelt op het thermische gedrag, kan je ze onderverdelen in 2 categorieën:

1. De Thermoplasten. Thermoplasten worden zacht als ze worden opgewarmd en weer hard als ze afkoelen. Dit komt door de afwezigheid van onderlinge bindingen in de keten. Deze eigenschap speelt een grote rol in het recyclingproces van plastics. Vanuit het commerciële oogpunt zijn de bekendste thermoplasten HDPE, LDPE, PP, PS, PVC, PET, PA, PMMA, ABS en SAN.

2. Thermoharders. Thermoharders zijn plastics waarbij de polymeren kettingen bindingen met elkaar aan gaan. Daardoor ontstaat er een 3d structuur en kunnen ze niet smelten door warmte. Voorbeelden van thermoharders zijn PU, epoxy harsen, onverzadigde polyesters en fenol-formaldehyde harsen.

(Vegt, A.K. van der, 1999)

Er kan ook onderscheid worden gemaakt tussen de verschillende plastics door het type polymerisatie mechanisme. Het polymerisatie mechanisme is de manier waarop het polymeer ontstaat en wordt samengesteld. Er bestaan twee verschillende groepen.

1. Additie polymeren: Deze polymerisatie is het

achtereenvolgend opnemen van monomeren in een lange ketting. Hierdoor gaan er geen moleculen of fragmenten verloren en hebben de polymeren dezelfde samenstelling als de monomeren. Voorbeelden zijn PE, PS, PVC, PMMA

2. Condensatie polymeren: Bij deze polymerisatie vindt een reactie plaats waardoor er een molecuul vrijkomt, zoals bijvoorbeeld een zuur, water of HC. Nylon-6,6 bijvoorbeeld wordt verkregen door de polycondensatie van adipinezuur en hexamethyleendiamine. Uiteindelijk komt er bij deze reactie twee water moleculen vrij per repeterende unit.

(Aguado, J, Serrano, D, 1999)

Verder maken we ook nog onderscheid tussen polymeren die **kristallijn of amorf** zijn. Dit gaat over de manier waarop de polymeren in vaste vorm ten opzichte van elkaar geordend zijn. Een kristallijne vorm is een vorm waarin de elementen in een herhalend patroon zijn geordend. Je zou het kunnen opschrijven als ABC-ABC-ABC-ABC.

Een amorfe vorm heeft niet deze orde. Dat zal geschreven kunnen worden als ABCBCACBCABCABCBCAB. Tijdens een smeltproces zullen alle (ook kristallijne) vormen amorf zijn. *(Koster, R. 2012)*

3.2.1. Thermoplasten & thermoharders

Het merendeel van de plastics dat wij gebruiken is

een thermoplast. Ze worden overall toegepast, in allemaal verschillende vormen en soorten. In West Europa wordt voor 90% van de totale thermoplastische consumptie een kleine groep van 5 plastics gebruikt. Deze 5 zijn: PE, PP, PVC, PS en PET.

PE polyethyleen

Polyethyleen is een polymeer dat ontstaat door polyadditie van ethyleenmoleculen. Afhankelijk van de conditie waarin de reactie plaats vindt, ontstaan er verschillende types PE. Polyethleen wordt namelijk vervaardigd in 2 types. Dit zijn HDPE en LDPE. HDPE (hoge-dichtheid PE) is hard en LDPE is zacht. Beide zijn erg taai en hebben een lage sterkte en een goede slagvastheid.

PE heeft een goede chemische bestendigheid. Het is daardoor goed bestand tegen zuren, zout oplossingen, water, alcohol en olie. Als de temperatuur onder de 60 graden is, is PE in bijna alle oplosmiddelen onoplosbaar.

PE heeft hele goede elektrische isolatie eigenschappen. Daarnaast heeft het een hoge oppervlakte glans, is het steriliseerbaar, heeft het een goede warmte bestendigheid, weersbestendigheid en een lage wateropname.

Pe is een kristallijn polymeer.

High density Poly Ethyleen (HDPE) is gemaakt bij een vrij lage temperatuur (60-200graden) en bij een lage druk (1-100atm). Het is een hoog lineair polymeer

en heeft daardoor een hoog soortelijk gewicht en een hoge kristalliniteit. De hoofdtoepassingen van HDPE zijn folies, voedingsverpakkingen, kratten, speelgoed, tanks en pijpen.

(Aguado, J, Serrano, D, 1999)

Low density polyethyleen (LDPE) wordt bij een hele hoge druk gesynthetiseerd (1200-1500 atm) en bij een temperatuur van 250 graden. LDPE is een sterk vertakt polymeer gekenmerkt door een lagere kristalliniteit en dichtheid dan HDPE, maar met een grotere flexibiliteit.

Andere PE plastics zijn: UHMWPE - LLDPE

(Aguado, J, Serrano, D, 1999)

PP Polypropyleen

Polypropyleen lijkt erg op PE, het is wel iets harder en stijver dan HDPE. De polymeer smelt bij 165 graden. Polypropyleen wordt gemaakt door de polymerisatie van propyleen.

PP wordt voornamelijk toegepast als verpakkingsfolie, vezels, buizen, auto-onderdelen et cetera. Vaak worden hier versterkende vulstoffen voor gebruikt. Zo kunnen er ook scharnieren worden ingebouwd die bijna een onbeperkte weerstand tegen buigen kunnen vertonen.

Er zijn twee soorten polypropyleen die commercieel worden toegepast:

1. Isotactic Polypropyleen i-PP. i-PP is meer bestand tegen breken dan HDPE en het heeft

goede elektrische isolatie eigenschappen. Echter, de kristallijne smelt temperatuur van i-PP is veel hoger dan dat van HDPE, dit is in sommige gevallen ongunstig en zorgt ervoor dat de i-PP productie afneemt.

2. Syndiotactic Polypropyleen s-PP wordt in de aanwezigheid van de katalysator Ziegler-Natta, gemaakt op een lagere temperatuur dan i-PP. Doordat er aan de zijanten afwisselend methylgroepen zitten, is deze polymeer niet kristallijn. Het heeft daardoor ook een lagere dichtheid, lagere mechanische sterkte en lager smeltpunt dan i-PP. s-PP wordt voornamelijk gebruikt als coating materiaal.

(Vegt, A.K. van der, 1999)

PS Polystyreen

Polystyreen is gemaakt door de polymerisatie van styrene monomeren (C₈H₈), wat leidt tot een niet flexibel polymeer. PS is een amorphe polymeer. Het is erg hard en bros, daardoor heeft het een goede elektrische isolatie waarde. De hoge broosheid en lage smeltpunt zijn belangrijke beperkingen voor de industriële toepassing, daarom wordt het vaak gemengd of gecopolymeriseerd met rubber (meestal butadieenrubber). Ongemodificeerd PS wordt erg veel toepast als (piep)schuim. Is het PS meer slagvast dan wordt het veel gebruikt bij de maak van radio's en televisies, speelgoed en elektrische toepassingen.

Styreen komt voor in bepaalde boomharsen, steenkoolteer en pyrolyse producten van aardolie.

(Vegt, A.K. van der, 1999)

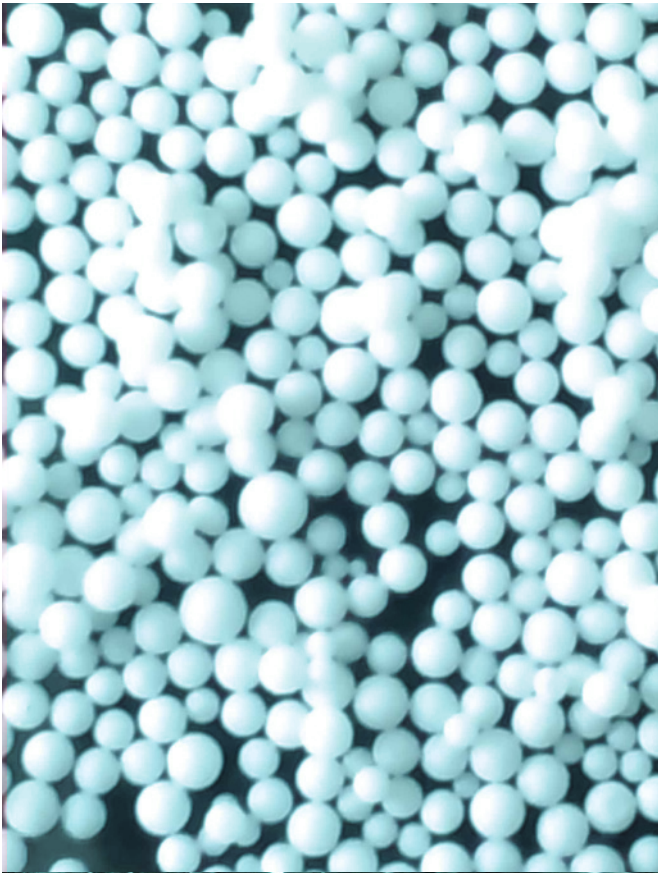
PVC Polyvinyl Chloride

PVC is een plastic dat is gemaakt door depolymerisatie van vinylchloride (chloor etheen) op een temperatuur van 50 graden. Het is een amorf, stijf, hard en vaak broos polymeer. PVC wordt vaak gemengd met rubber, zodat de slagsterkte wordt verbeterd. Het wordt vaak gebruikt voor buizen, dakgoten, kabels en bijvoorbeeld raamprofielen. Als er weekmakers worden toegevoegd kan PVC worden toegepast in kunstleer, slangen, schoeisel en folies bijvoorbeeld.

(Vegt, A.K. van der, 1999)

PET Polyethyleen Tereftalaat

PET behoort tot de polyesters. Er zijn verschillende methodes om PET te maken. Het wordt gemaakt van verschillende monomeren: TPA, DMT en BHET. De meest gebruikelijke manier om PET te maken is door de copolymerisatie van TPA en ethyleen glycol. PET wordt in toenemende mate toegepast in folies en in spuitgietartikelen, zoals bijvoorbeeld flessen. De stijfheid van de fles neemt snel af bij verwarmen (70 graden), maar het behoudt als kristallijn polymeer tot ongeveer 255 graden zijn vast-stof karakter. Later zal er verder worden ingezoomd op Polyethyleen Tereftalaat. *(Vegt, A.K. van der, 1999)*



Afbeelding 9-12

Naast de net omschreven belangrijke thermoplasten zijn er nog veel meer thermoplasten. Onder andere bijvoorbeeld: Styreen-acrylonitril (SAN), Acrylonitril-butadiëen-styreen (ABS), Acrylonitril-tyreen-acrylester (ASA), Polymethylmethacrylaat (PMMA), Polyamide (PA), Polyoxymethyleen (POM), Polycarbonaat (PC), Polybuteentereftalaat (PBTP), Polysulfon (PSU), Polyfenyleensulfide (PPS) en Polyimide (PI).

Naast de thermoplasten zijn er de thermoharders. Thermoharders worden in gelijke hoeveelheid gebruikt voor plastics en voor niet-plastics. Plastic gebruik van thermoharders is bijvoorbeeld voor auto-stoelen, sport-artikelen en elektronische toepassingen. Als niet plastic toepassing wordt het bijvoorbeeld gebruikt voor coatings en lijm. Voorbeelden van thermosetters zijn: Fenol-formaldehyde (PF), Ureum-formaldehyde (UF), Melamine-formaldehyde (MF), onverzadigde polyesters (UP), Epoxyhars (EP) en Polyurethanen (PU).

(Vegt, A.K. van der, 1999)

3.3 Belangrijke kenmerken van kunststof

Er zal worden gekeken welk type kunststof interessant is om op in te zoomen. Deze keuze zal worden gemaakt aan de hand van de analyse van het afval. Vervolgens zal er worden gekeken hoe

het product misschien kan worden verbeterd. Bij deze verbetering is het belangrijk dat het kunststof zijn goede eigenschappen behoudt.

Als wij een plastic gebruiken voor de productie van een product zijn er een paar eigenschappen erg belangrijk. Bijvoorbeeld bij welke temperatuur smelt het plastic, hoe hard is het plastic en hoe maak je het plastic. De volgende eigenschappen zijn ook interessant om te bekijken als er verder op een product moet worden ingezoomd.

- amorf & kristallijn
- tensile behaviour
- visco-elastic response to stress
- time-dependent-behaviour - creep
- influence of deformation rate
- shrinkage (v-T diagram)
- smeltemperatuur
- glastransitie
- dichtheid
- zuurstof barrière
- vocht marriere
- mechanische recycle mogelijkheden
- chemische recycle mogelijkheden

(Koster, R. 2012)

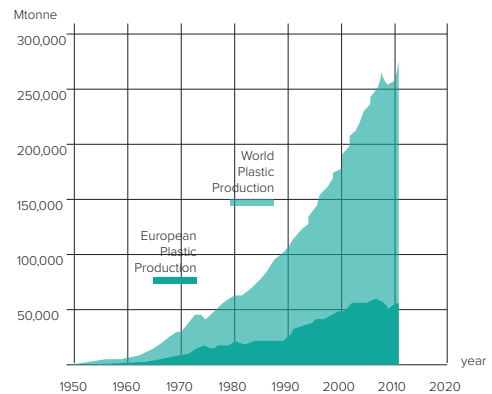
3.4 Kunststof cijfers

Bekend is nu wat plastic is en dat er een hele hoop plastic afval is. Maar hoeveel wordt plastic eigenlijk gebruikt? De cijfers die hiervoor gebruikt zijn, zijn afkomstig van PlasticEurope, The European Plastic

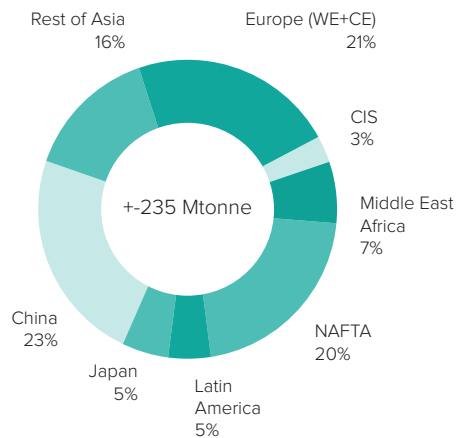
Recyclers, the European Association of Plastics and Recovery Organisations. De cijfers die in dit hoofdstuk zullen worden genoemd gaan over de 27 EU-landen + Zwitserland en Noorwegen.

De plastic industrie in Europa is erg groot. Dit betekent niet alleen dat er veel plastic wordt gemaakt, maar dat er ook veel werk is in de plastic-industrie en de plastic-verwerking. Zo werkten er in 2011 167.000 mensen in de plastic industrie en 1,23 miljoen mensen in de plastic verwerking in Europa. De plastic-industrie groeit. Van 2010 naar 2011 is de plastic industrie in Europa toegenomen met 1,9% (194 biljoen euro's). Als je dit op grotere schaal bekijkt (op wereld niveau), dan zie je dat er een enorme stijging plaats vindt. Te zien is wel dat Europa een minder groot gedeelte van de totale plastic productie is gaan innemen. (Afbelding 13) Als je verder inzoomt op de plastic productie zie je de volgende verdeling en zie je dat Europa een groot gedeelte van het totaal inneemt. (Afbelding 14) (Plastic Europe, 2010)

Vervolgens is de volgende verdeling te zien als je inzoomt op de landen in Europa. (tabel 3) Je ziet dat Nederland vrij hoog staat als het gaat om aantal kilogram plastic-vraag per persoon. Dit betekent niet meteen dat we in Nederland per persoon meer plastic gebruiken, want bijvoorbeeld de industrie in Nederland heeft ook vraag naar plastic. Hierdoor stijgt Nederland ten opzichte van een land waar de



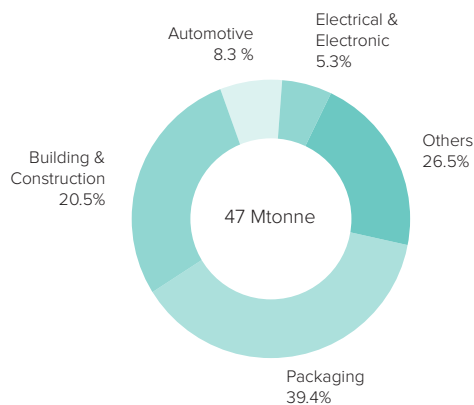
Afbelding 13: World Plastics Production 1950-2010
PlasticsEurope Market Research Group



Afbelding 14: World Plastics Materials Production 2011, PlasticsEurope Market Research Group

industrie minder groot is.

Daarom bekijk ik in welke sector het plastic gebruikt wordt. In afbeelding 15 is te zien dat het grootste segment waar plastic in wordt gebruikt is voor verpakkingen. Daarnaast wordt plastic gebruikt voornamelijk gebruikt in de Building & Construction, automotive, Electrical & Electronic and others. *(Plastic Europe, 2010)*



Afbeelding 15: Plastic per sector
PlasticsEurope Market Research Group

De meest gebruikte plastics, zoals al eerder

	Vraag naar plastic	Inwoners	Vraag naar plastic per inwoner
1 België & Luxemburg	2200 kton	10947000	201,0 kg
2 Estland	200 kton	1275000	156,9 kg
3 Duitsland	11800 kton	81306000	145,1 kg
4 Finland	650 kton	5263000	123,5 kg
5 Oostenrijk	1000 kton	8220000	121,7 kg
6 Italië	7100 kton	61261000	115,9 kg
7 Tsjechische republiek	1100 kton	10177000	108,1 kg
8 Nederland	1800 kton	16731000	107,6 kg
9 Zwitserland	800 kton	7907000	101,2 kg
10 Slovenie	200 kton	1997000	100,2 kg
11 Zweden	900 kton	9104000	98,9 kg
12 Denemarken	550 kton	5593000	98,3 kg
13 Cyprus/Malta	150 kton	1548000	96,9 kg
14 Spanje	3600 kton	47043000	76,5 kg
15 Hongarije	750 kton	9958000	75,3 kg
16 Griekenland	800 kton	10768000	74,3 kg
17 Portugal	800 kton	10781000	74,2 kg
18 Polen	2700 kton	38415000	70,3 kg
19 Frankrijk	4600 kton	65631000	70,1 kg
20 Slowakije	350 kton	5483000	63,8 kg
21 Ierland	300 kton	4722000	63,5 kg
22 UK	3800 kton	63322000	60,0 kg
23 Bulgarije	400 kton	7038000	56,8 kg
24 Litouwen	200 kton	3526000	56,7 kg
25 Noorwegen	250 kton	4952000	50,5 kg
26 Letland	100 kton	2192000	45,6 kg
27 Roemenie	700 kton	21849000	32,0 kg

Tabel 3: Plastic vraag per land Europa
PlasticsEurope Market Research Group

genoemd in het hoofdstuk over plastic zijn PE, PP, PVC, PET en PS. Per sector verschilt wel heel erg welk soort plastic een groter aandeel heeft. Als je de verpakkingindustrie vergelijkt met de building & construction- sector zie je dat in de bouw PVC veel meer wordt gebruikt, terwijl PE in de verpakkingindustrie de grootste is.

(Plastic Europe, 2010)

Maar waarom wordt plastic in zoveel producten toegepast? De grootste redenen voor de steeds maar toenemende hoeveelheden van plasticgebruik zijn de gunstige eigenschappen die het product bezit. Er zitten echter niet alleen maar voordelen aan het gebruik van plastic. Door de goede mogelijkheden en eigenschappen passen wij het in heel veel producten toe, maar doen we dit niet te veel? In het volgende hoofdstuk ga ik met het belichten van de grondstoffen van plastics verder op deze vraag in.



GRONDSTOFFEN

04

Afbeelding 16: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Schoonebeek_Jaknikker2.jpg

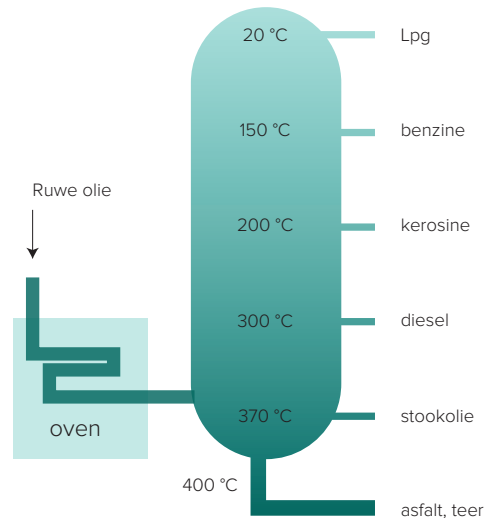
GRONDSTOFFEN

Omdat ik een plastic product wil verbeteren zal ik alle facetten van de kringloop moeten bekijken. De grondstof van het product is daarbij heel erg belangrijk. Daarom dat ik de grondstoffen van plastics al in een apart hoofdstuk behandel, voordat ik het product heb gekozen.

Als grondstof voor kunststoffen worden organische producten gebruikt. Dit zijn de natuurlijke producten: cellulose, kolen, aardgas, zout en ruwe olie bijvoorbeeld. Er wordt voornamelijk gebruik gemaakt van ruwe olie. Ruwe olie bestaat uit koolwaterstoffen. Deze stoffen kunnen ontstaan uit dode algen, bacteriën of planten. Als deze organismen onder druk- en temperatuurverhogingen staan, treden er reacties op. Uit deze reactie ontstaan vloeibare en gasvormige koolwaterstoffen, zoals ruwe olie en natuurlijke gassen (hoofdzakelijk methaan en ethaan). Ruwe olie kan verschillen in viscositeit en kleur, van een helder lichte vloeistof tot een donker teerachtige substantie.

(PlasticEurope, 2012)

Ruwe olie kan worden gebruikt als energiebron of grondstof. Ruwe olie zelf is alleen nog een hele mix van verschillende componenten, daarom moet het eerst een heel proces doorlopen. De natuurlijke producten moeten dan gescheiden worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van raffinage. Raffineren is het bewerken van olie met als doel



Afbeelding 17: Schematische weergave destillatietoren (wikipedia 2012)

deze beter bruikbaar te maken voor het beoogde gebruik. Deze bewerking kan zijn door middel van scheiden en kraken. Er ontstaan dan allemaal verschillende lichtere fracties van de ruwe olie. Elke fractie is een mix van koolwaterstofketens, alleen met een andere grootte en structuur. Afhankelijk van de samenstelling kan raffinage dus verschillende producten opleveren: Gas, propaan, benzine, stookolie, smeermiddelen, nafta etc. Nafta is een cruciaal product dat geschikt is om te gebruiken voor de productie van plastics.

(PlasticEurope, 2012)

Zoals al eerder verteld bevindt olie zich in de

bodem, op grote diepte. Overal over de wereld bevinden zich oliebronnen. Er worden ongeveer 85 miljoen vaten (van 159 liter) olie per dag omhoog gepompt. Er worden steeds nieuwe oliebronnen gevonden en aangeboord, maar sinds de jaren '60 nemen deze aantallen af. Het oliegebruik neemt echter wel toe en sinds de jaren '80 is het zelfs zo dat we meer olie omhoog pompen, dan dat er gevonden wordt. Plastic is natuurlijk niet het enige waarvoor we olie nodig hebben, maar omdat het wel een deel van deze consumptie in beslag neemt is het toch belangrijk om naar te kijken. Daarom zal er eerst worden ingezoomd op de Peakoil (wanneer de productie van olie maximaal is) en later zal er worden gekeken hoe groot percentage er van deze olie wordt gebruikt voor de productie van plastic. (Koppelaar, R, Ven, van der, D, 2009)

De Peakoil

Wat de angst is als we meer olie gebruiken dan dat de voorraad groot is, is of er wel genoeg is. Die vraag is niet zo gemakkelijk te antwoorden. Dat komt doordat er verschillende factoren, naast de hoeveelheid olie die zich op aarde bevindt, een rol spelen. Voorbeelden hiervan zijn de volgende twee onderdelen:

- **De oliereserves bevinden zich in een beperkt aantal landen.**

Het probleem is dat deze voorraden zich bevinden in landen met een dubieuze democratische traditie,

waar private oliebedrijven weinig toegang tot hebben. Gevolg is dat de prijzen stijgen.

- **Oliereserves worden door landen als machtsmiddel gebruikt.**

Veel olieproducerende landen gebruiken hun oliereserves als machtsmiddel voor niet-energie gerelateerde onderwerpen om de belangen van de nationale staat te behartigen. Een voorbeeld van deze vorm van resource nationalism is de nationalisering van Venezolaanse olievelden onder leiding van president Hugo Chavez. In 2007 hebben ExxonMobil, Conoco-Phillips, Chevron, Statoil, Total en BP belangen in Venezolaanse olievelden ter waarde van 17 miljard dollar moeten overdragen aan een staatsbedrijf. De ontoegankelijkheid van makkelijk winbare oliereserves voor private oliebedrijven zorgt uiteindelijk voor prijsstijgingen. (Geuns, van L, Meijknecht, J, 2011)

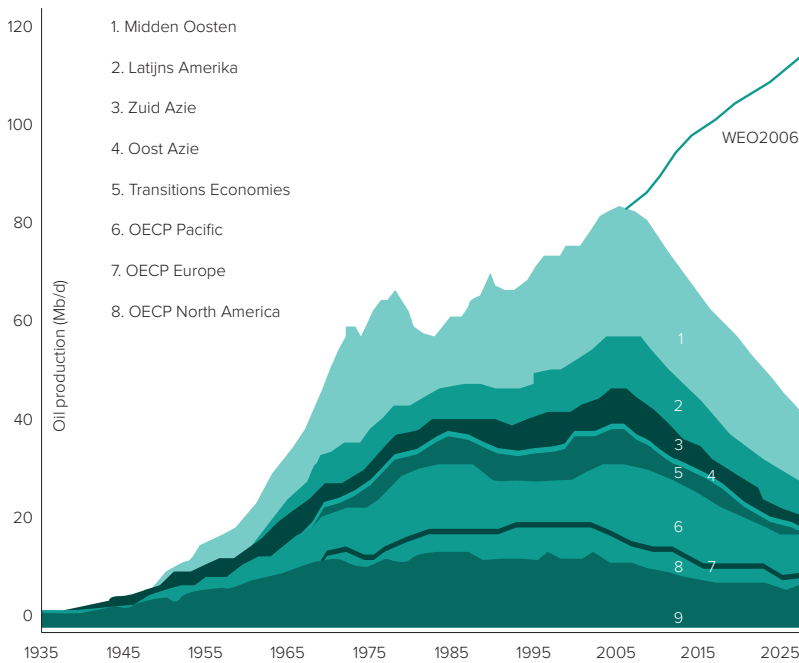
De olievoorraden worden steeds minder goed bereikbaar en de nieuwe olie- en gasvelden worden zeldzamer, kleiner en moeilijker te winnen. Een voorbeeld hiervan is het Braziliaanse Tupi-veld – met 5 tot 7 miljard vaten oliereserves een van de meest recente (2006) grote olievondsten – zich 150 kilometer voor de kust, op 2.000 meter waterdiepte en 6.000 meter onder de zeebodem, bedekt door een dikke zoutlaag. Kortom dit is moeilijk te winnen, maar het is er wel. Het kost 50-100 miljard om de olievoorraden te winnen.

(Geuns, van L, Meijknecht, J, 2011)

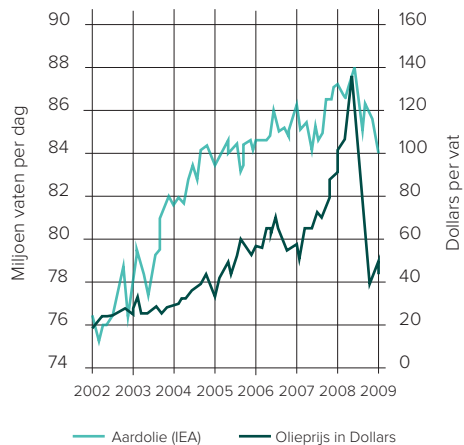
Allemaal verschillende onderzoeksbureaus, instituten en bedrijven doen onderzoek naar wanneer de Peakoil zal plaats vinden. Het is moeilijk te bepalen wanneer dit plaats zal vinden. Wel is er duidelijk dat er een enorm gat komt tussen de olieaanbod en de olievraag. (zie afbeelding 18)

Als de vraag naar olie blijft stijgen, zullen uiteindelijk

de prijzen omhoog gaan. Daardoor zal op den duur de vraag weer kleiner worden, want consumenten zullen stoppen met olie gebruiken als het te duur wordt. Andere invloeden, zoals conflicten, weersomstandigheden en ongelukken kunnen ervoor zorgen dat de te kleine buffercapaciteit nog kleiner wordt. De prijzen zullen daardoor blijven stijgen. In de grafiek is te zien dat de prijzen van olie in de crisis weer extreem daalden. Naar verwachting zullen deze weer enorm gaan stijgen.



Afbeelding 18:
Productieprognose
ASPO Internationaal
(2007) en
vraagprognose
Internationaal
Energie Agentschap
(2006) (Stichting
Peakoil Nederland,
2009)



Afbeelding 19: Wereldproductie aardolie + olieprijs (Peakoil, 2009)

Nederland is een sterk ontwikkeld land en daardoor ook een land dat erg afhankelijk is van olie. Het staat op de 19e plek van landen die het meeste olie verbruiken, terwijl het in de top 20 van de landen die olie produceren niet voor komt. (Koppelaar, R, Ven, van der, D, 2009)

Dagelijks worden er 1,1 miljoen vaten (van 159 liter) olie gebruikt in Nederland. Hierdoor is Nederland onderhevig aan de invloeden die de peakoil veroorzaakt. Om te voorkomen dat we heel erg in de problemen raken hierdoor, is het noodzakelijk dat onze manier van leven wordt aangepast. Als je kijkt op het gebied van producten, zullen er veranderingen plaatsen moeten vinden op het

gebied van transport en productieprocessen, zodat we minder afhankelijk worden van de oliestaten. (Stichting Peakoil Nederland, 2012)

Cijfers

Er wordt veel olie verbruikt in de wereld, terwijl de voorraden schaars zijn. Maar hoeveel wordt er voor plastic gebruikt? De United States conference of mayors (een officiële niet-partijgebonden organisatie voor steden met een bevolking van 30.000 of meer) vertellen op hun website dat er in Amerika 1,5 miljoen vaten olie worden gebruikt om waterflesjes te maken. Dit is genoeg om 100.000 auto's een heel jaar te laten rijden. (dan zijn de transport kosten van het transporteren van de flesjes nog niet meegenomen).

(Treehugger, 2012)

Dit lijken schokkende aantallen. Echter, The Pacific Institute, een American non-profit onderzoeksinstituut, komt met nog veel verontrustendere cijfers. The Pacific Institute heeft geschat dat voor het maken van de water-flesjes die in Amerika worden gebruikt, 17 miljoen vaten olie nodig zijn. Terwijl in dit geval de transport-energie nog niet is meegerekend. Deze hoeveelheid olie is genoeg om 1 miljoen Amerikaanse auto's en kleine trucks te laten rijden. Als je een flesje voor ¼ vult met olie, heb je de olie die nodig is om het flesje te maken en te transporteren. (The Pacific Institute, 2012)

Als je kijkt naar het totale olieproductie over de hele wereld wordt er 4% gebruikt voor plastics. Het grootste gedeelte, 87%, van de totale olie productie wordt gebruikt voor transport. (*British Plastic Federation, 2012*)

In 2006 zijn ongeveer 331 miljoen vaten LPG en natural gas liquids (NGL) gebruikt om plastic-producten te maken in de USA. Dit is 4,6% van de totale olie consumptie. Van deze 331 miljoen vaten werden er 329 gebruikt als grondstof en 2 miljoen als brandstof.

Naast de aardolie werd er nog 11 biljoen cubic feet natuurlijk gas gebruikt als grondstof en 324 biljoen cubic feet werd verbrand als brandstof. Dit is gelijk aan 1,5 % van de gehele natuurlijke gas consumptie in de USA in 2006.

Daarnaast is er ook elektriciteit nodig om plastic te maken. In 2006 werd er 19,2 biljoen kilowatt/ uur gebruikt. Dit is minder dan 1% van het totale elektriciteit verbruik in de USA. 1,4 % van het totale petroleum gebruik in de USA is gebruikt om elektriciteit te produceren.

(*US Energy Information Administration, 2012*)

Wat kunnen we veranderen?

Gezien de problemen waar we in ons land tegenaan lopen in verband met de olie schaarste en de hoge olieprijsen, is het belangrijk dat er een beleid is over de omgang met olie.

Zoals al eerder genoemd zijn er problemen zoals onvoldoende gemakkelijk te bereiken olievelden, sterke kosten inflatie, geen stabiele productie gebieden en de winning van nieuwe olie is te complex. Deze problemen hebben gevolgen: de olieproductie zal de vraaggroei niet aankunnen, de macht van de olieproducerende landen zal toenemen en kosten zullen stijgen.

(*Bulk van den, J, Kamphorst, F, Koppelaar, R, Meerkerk, B, Polder, P, 2008*)

Om deze problemen en gevolgen op te lossen is het belangrijk dat we bewust omgaan met de productie en het gebruik van olie. Daarom heeft Stichting PeakOil Nederland een beleidsvoorstel geschreven over het gebruik van olie in Nederland. Dit is een advies aan de overheid, omdat ze denken dat er dringende maatregelen nodig zijn.

Een maatregel dat moet worden getroffen is bijvoorbeeld dat er efficiënter personenvervoer moet plaats vinden, dit kan al 12% van het oliegebruik schelen. Een andere maatregel dat moet worden genomen ligt in de industrie. Vermindering van oliegebruik kan hier op 3 verschillende vlakken:

- Efficiëntie verbetering
- Conversie naar bio-brandstoffen
- Vermindering van de vraag naar producten waarvoor aardolie als grondstof nodig is.

Deze punten zijn ook van toepassing op de plastic

industrie. Door gebruik te gaan maken van biobased grondstoffen bijvoorbeeld kan de olievraag voor de productie van plastic verminderen. Of door op een andere manier met het plastic-product om te gaan kan er een minder grotere vraag ontstaan.

(Bulk van den, J, Kamphorst, F, Koppelaar, R, Meerkerk, B, Polder, P, 2008)

Dit zijn de punten die ik meeneem naar de verbetering van mijn plastic-product. Een betere omgang en een alternatieve grondstof.

Eerst zal een product uit de plastic-tieten worden gekozen, vervolgens zal er onderzoek gegaan naar een verbetering van deze 2 punten.





PLASTIC AFVAL- VERWERKING

05

Afbeelding 20: <http://www.flickr.com/photos/51426000@N07/5692360779/sizes/l/in/photostream/>



Kunststof verwerkingsinstallatie

De keuze is gemaakt om in te zoomen op kunststof afval in Nederland. Om meer te weten te komen over de kunststofverwerking in Nederland ben ik gaan kijken bij de kunststofscheidingsinstallatie van SITA in Rotterdam en bij Nedvang.

Bij Nedvang heb ik gesproken met dhr. E. Rudolf, Product manager recycling bij Nedvang. Nedvang is een stichting die is opgericht voor de bevordering van hergebruik. Nedvang staat voor 'Nederland Van Afval Naar Grondstof'. De producent van een product is verantwoordelijk voor het afval dat zijn product produceert. Ze zijn verantwoordelijk voor inzameling en herverwerking van het verpakkingsmateriaal. Het is heel erg lastig voor een bedrijf om dit te doen. Daarom is vanuit het bedrijfsleven Nedvang opgericht. Nedvang zorgt voor de organisatie van gescheiden inzameling en recycling. Daarnaast stimuleert Nedvang bedrijven in het ontwikkelen van verpakkingen die beter kunnen worden hergebruikt. Om deze redenen was het voor mij interessant om te praten met iemand van Nedvang. Dhr. Rudolf heeft mij verteld hoe de kunststof verwerking in Nederland in zijn werk gaat. Maar om precies te zien hoe de kunststof verwerking in zijn werk gaan, heeft mij doorverwezen naar SITA, De mensen die hier werken weten precies hoe het verwerkingsproces in zijn werk gaat. Ook hebben zij beschikking over de gegevens van de verschillende soorten stromen plastics en wat er tijdens de

verwerking mis gaat.

Er zijn naast SITA in Nederland ook andere bedrijven die kunststof verwerken, maar de reden dat ik voor SITA in Rotterdam heb gekozen, is omdat dit het afvalverwerkingsbedrijf is waar ik via Nedvang binnen kon komen. Een andere kunststof verwerker in Nederland is van Gansewinkel bijvoorbeeld. De keuze voor afvalverwerkingsbedrijf ligt bij de gemeente. (Rudolf, E, Persoonlijke mededeling, 2012)

4.1 Sita

SITA is een bedrijf dat zich in veel landen bevindt. Onder andere in Zweden, Finland, Verenigd Koninkrijk, Frankrijk, Polen en in Slovenië. SITA staat voor Société Industrielle des Transports Automobiles. SITA had de eerste gemotoriseerde huisvuilwagens in de geschiedenis. Dit was een ontwikkeling die rond 1919 ontstond in grote steden van Frankrijk. Deze ontwikkeling kwam voort uit een behoefte aan meer hygiëne in de stad.

De werkzaamheden die SITA in Nederland verricht zijn:

Inzameling, transport en verwerking van regulier (bedrijfs)afval:

- gescheiden 'mono-stromen': glas, hout, metaal, plastic, folie, papier
- diffuse stromen: restafval, algemeen bedrijfsafval en huisvuil

Inzameling, transport en verwerking van speciale afvalsoorten:

- gevaarlijk afval
- betrouwbare documenten en dossiers (DataZeker)
- afval uit de medische sector
- bouw- en sloopafval

Onderhoud en beheer van rioleringen en vetputten

- bodemsanering

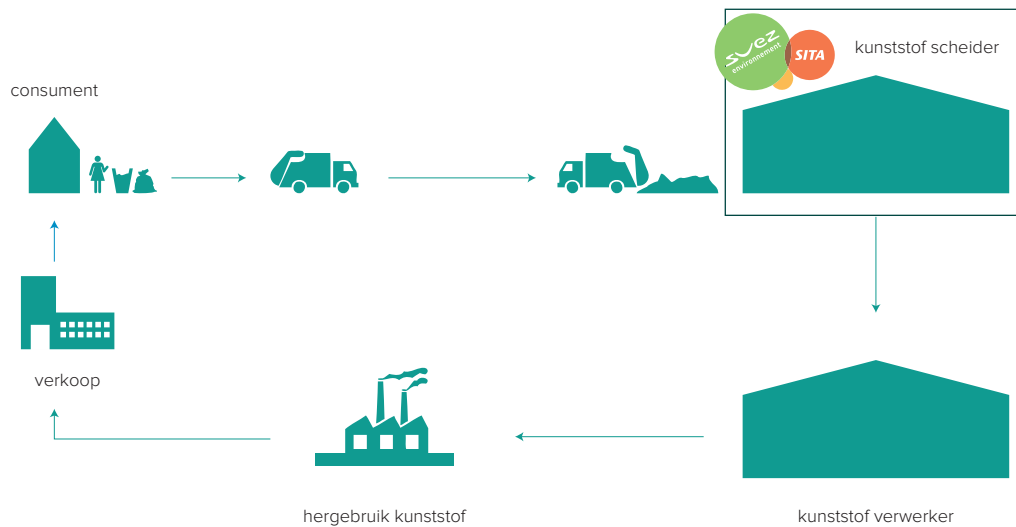
(Sita, 2012)

SITA heeft in Nederland 40 vestigingen. Ze verzorgen voor gemeenten de afvalinzameling van

bijna 4 miljoen inwoners en 70.000 bedrijven maken gebruik van de afvaldienstverlening van SITA.

(Sita, 2012)

Het aan de gemeente welk afvalbedrijf ze inschakelen. Niet in elke gemeente wordt dus op dezelfde manier afval ingezameld. Bijna alle Nederlandse gemeenten zijn inmiddels gestart met het gescheiden inzamelen van kunststof (bronscheiding). Als het niet al gescheiden wordt ingezameld bij de huishoudens, wordt het vaak nog gescheiden na de inzameling (nascheiding). Er zijn verschillende campagnes gestart die ervoor



Afbeelding 21: Kunststof verwerking kringloop (Nedvang, 2012)

hebben gezorgd dat dit steeds meer ging gebeuren (Plastic Heroes bijvoorbeeld). (*VROM inspectie, 2011*)

Inzameling

Afhankelijk van de manier waarop het afval in de gemeente wordt ingezameld, probeert SITA het zo veel mogelijk te recyclen. SITA heeft verschillende overslaglocaties. Op de kunststof overslaglocatie komt het brongescheiden kunststof binnen. Vanuit daar wordt het kunststof overgebracht naar de sorteerder (in dit geval SITA). SITA is in Nederland de grootste inzamelaar, meer dan 75% van het kunststof afval in Nederland komt in de handen van SITA. De rest wordt door kleinere bedrijven verwerkt, zoals van Gansewinkel, de ROVA, Sortiva en Hummel.

Sortering

Nadat het kunststof door de verschillende bedrijven is ingezameld, wordt het gesorteerd. Voorheen gebeurde dit alleen bij 3 bedrijven in Duitsland, maar tegenwoordig doet SITA dit zelf in Rotterdam. Sinds 5 september 2011 is dat de eerste Nederlandse sorteerinstallatie van kunststofverpakkingsafval in Nederland. 1/3 van het afval gaat naar deze installatie, de rest gaat naar Duitsland.

Het afval komt in balen, zakken of containers aan bij de sorteerinstallatie.

Tijdens mijn bezoek aan SITA heb ik deze sorteerinstallatie bezicht. Ik ben hier rondgeleid door Jerry Pennings en Albertino Pereira.

Als het kunststofafval binnenkomt bij de sorteerinstallatie, ziet het eruit als 'vies' afval. Het doel is om dit vieze afval te scheiden in de verschillende soorten plastic groepen, zodat het goed kan worden gerecycled. Dit vieze afval ondergaat daarom een hoop verschillende stappen in de enorme machine die in Rotterdam gebouwd is. Een enorme hal is volgebouwd met loopbanden, trappen, machines en trommels, waar het afval gedurende de hele dag doorheen gaat. De eindproducten van deze sorteer installatie zijn interessant, maar eerst zal ik bespreken hoe deze sortering precies is zijn werk gaat.

1. Allereerst komt het afval bij twee zakkenscheurders. Om het afval te kunnen sorteren moet het eerst worden ontdaan van de zakken waar het in zit. Omdat het meeste afval in huishoudens wordt verzameld in zakken zoals die van de Plastic Heroes gaat al het afval eerst door de zakkenscheurders.

- Al het afval komt in een grote ronddraaiende sorteertrommel terecht. In de trommel draait het afval rond. In de trommel bevinden zich gaten, waar het afval doorheen valt. Hierdoor ontstaat al een eerste grove scheiding. Folies worden hier al grotendeels uitgeselecteerd, omdat die te licht zijn om door de gaten te vallen



Afbeelding 22-24
Linksboven: loopband waar het afval wordt aangevoerd
Rechtsboven: windshifter
Onder: sorteertrommel (http://www.flickr.com/photos/sitani/with/6102950488/#photo_6102950488)

- Op een lopende band wordt het afval verder vervoerd. Een overbandmagneet verwijderd achtergebleven metalen uit het afval.

- De volgende stap zijn vier windzifters. Deze kunnen de verschillende soorten plastic van elkaar scheiden, door lichte producten bijvoorbeeld tussen de rest uit te blazen. Deze lichte producten komen weer een op een andere loopband terecht.

- Bij de vier ballistische scheiders worden de zware materialen gescheiden van de lichtere. In een schuine stand staan er verschillende langwerpige roosters naast elkaar. Deze roosters bewegen heen en weer. De lichte onderdelen stuiten daardoor omhoog, de zware onderdelen stuiten omlaag. De producten komen vervolgens op verschillende banden terecht.

- Het afval komt vervolgens terecht bij de drie Near Infra Rood productscheiders en twee Near Infra Rood controlescheiders voor hogere zuiverheid. Deze optische scheiders zijn ingesteld om de verschillende soorten plastics te onderscheiden. De eerste is voor PET, de tweede voor PE en de derde voor PP. Elk soort plastic reflecteert licht op een andere manier. De reflectie van infrarood wordt per plastic door de machine anders gedetecteerd.

Door de machine wordt, als er bijvoorbeeld PET is gesignaleerd, een seintje gegeven en wordt door perslucht het PET van de band geblazen.

- De laatste selectie wordt met de hand gedaan. Hier komen de verschillende afval soorten op negen verschillende banden langs. Deze banden worden handmatig gecontroleerd op verkeerde materialen. Deze materialen worden er handmatig uitgehaald.

(Pennings, J, Persoonlijke mededeling, 2012)

(Wilschut, J, 2011)

(VROM inspectie, 2011)

De volgende gesorteerde groepen komen vervolgens uit de sorteerinstallatie:

- **folie (grote losse vellen)**

- **PET**

- **PE**

- **PP**

- **MIX**

- **REST**

- **FIJN**

- **DRADEN**

Deze groepen gaan of naar het 'restafval' of ze worden in balen geperst. Deze balen worden vervolgens vervoerd naar bedrijven die bijvoorbeeld PE plastic recyclen. Hier zal later meer over worden

verteld.

Tijdens de rondleiding heb ik vooral gekeken naar de dingen die niet goed gingen. Welke materialen bleven vastzitten in de machines of welke materialen werden niet gesorteerd. Los van de cijfers van de machines, waren er een paar dingen die meteen opvielen bij de rondleiding:

- Overall in de machines zit het lint van videobanden verstrikt. Dagelijks worden deze linten eruit gehaald, zodat er geen dingen achter blijven hangen. Als de consument beter voorgelicht zou zijn, zou men weten dat videobanden niet bij het kunststofafval moet. Dit zou tijd en mankracht schelen.
- Ook zie je overal bloempotten. Ze zijn door hun

zwarte kleur niet door de infraroodscheider te lezen en daarom belanden ze massaal bij het restafval.

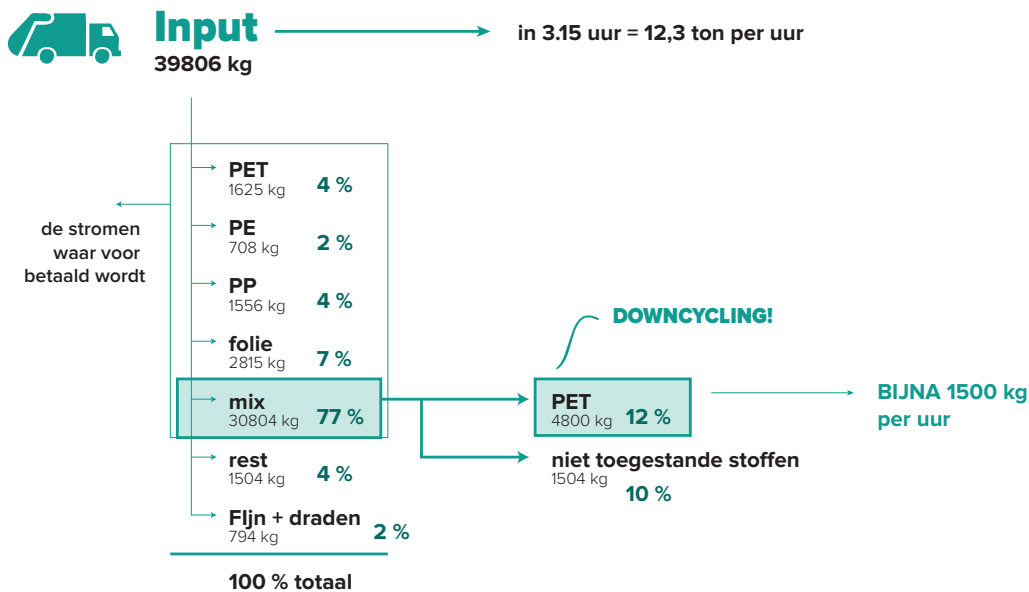
- Er zit tussen het restafval een hoop niet plastic afval. Men gooit dus erg veel spullen bij het kunststofafval, terwijl het geen kunststof is.

- Er zitten tussen het rest afval een hoop producten die in een andere afval stroom heel goed hadden gepast. Er is dus iets met het product aan de hand waardoor het niet goed gesorteerd wordt.

(Pennings, J, Persoonlijke mededeling, 2012)

Cijfers van de scheiding

Voor mijn onderzoek is het interessant om te zien wat er gebeurt met de hoeveelheden plastics die



Afbeelding 25: Cijfers afval stromen

er binnenkomen bij SITA. Welk gedeelte van de verschillende soorten plastic wordt er gescheiden, hergebruikt of verbrand? Daarom zijn in *afbeelding* ... de cijfers van een steekproef van SITA op een rijtje gezet. (let wel, dit is een moment opname) (Afbeelding 25)

Zoals te zien is sorteert SITA het kunststof dat binnenkomt in verschillende stromen. Dit is omdat er 5 stromen zijn waar SITA geld mee verdient. De eisen over de samenstelling van het gesorteerde afval zijn door Nedvang gesteld. Nedvang is de opdrachtgever van SITA. (Pennings, J, Persoonlijke mededeling, 2012)

De verdere verwerking

Als de verschillende stromen plastic gescheiden zijn worden ze in balen geperst. Deze balen van deelstromen worden afgevoerd naar bedrijven die het verder verwerken. Er zijn tientallen verwerkersbedrijven die het Nederlandse kunststof verwerken, tot in Azië aan toe. Deze verwerkers produceren recyclaat of kunststof eindproducten.

Recyclaat is een verzamelnaam voor maalgoed, agglomeraat en regranulaat.

- Maalgoed: als kunststof is gemalen, gewassen en ontsoft
- Agglomeraat: verdicht foliemateriaal dat niet is gezuiverd van verontreinigingen.
- Regranulaat: materiaal dat door smeltzuiveren

is gereinigd. Het kunststof wordt in een extruder gesmolten en door een zeepakket geperst.

Een verwerker zal bij binnenkomst van de stromen eerst het afval inspecteren op zuiverheid en verkeerde stoffen. Voor de verwerking van folies is bijvoorbeeld het percentage harde kunststoffen een belangrijke factor.

De verwerking zal zich vervolgen als volgt:

- Malen: het kunststof wordt verkleind
- Zeef-, windzift- en infraroodstappen
- Wassen van het kunststof
- Sink-floatscheiding: PE en PP zijn lichter dan PET en PVC
- Agglomereren: verhittingsproces waarin dunnen stukjes folie verdichten tot een propachtige structuur
- Extruderen: kunststof wordt gesmolten in de extruder. Het kunststof wordt met een schroef getransporteerd door een steeds nauwer kanaal, waardoor de wrijving toeneemt. Doordat de wrijving toeneemt smelt het materiaal.

4.3 De MIXstroom verwerking

De gegevens in het schema op de vorige pagina zullen niet altijd hetzelfde zijn, maar er kan wel een duidelijke conclusie uit worden getrokken. Er komt een groot gedeelte terecht in de MIXstroom. Deze MIXstroom wordt wel hergebruikt, maar niet op een goede manier.

In de MIXstroom zitten verschillende soorten plastic,

PE, PP, PET, PVC en PS. Deze plastics bevinden zich in allemaal soorten en maten in de MIXstroom. In de vorm van folies, flessen, flacons etc.

Als de MIXstroom wordt verwerkt wordt het eerst droog voorbereid en vermalen, toegevoegde stoffen als ferro en aluminium worden verwijderd. Vervolgens wordt door middel van windzifters en infraroodscheiding nog verstorend materiaal verwijderd.

- Het kunststof wordt vervolgens nat verder verwerkt. Het wordt gewassen en er wordt sink-floating toegepast. Door een extruder wordt het materiaal gesmolten, gekneed en gemengd. Vervolgens wordt het ontgast, gefilterd en geperst tot grijskleurig regranulaat.

De plastics die in de MIXstroom belanden worden dus hergebruikt. Er hangen aan de productie van de MIXstroom echter nadelen, waardoor hergebruik minder aantrekkelijk wordt:

- Doordat er verschillende soort kunststoffen in de recyclaten van de MIXstroom zitten, gaan de eigenschappen achteruit. De mechanische eigenschappen veranderen bijvoorbeeld.
- De kleur van het recyclaat is meestal donkergekleurd, waardoor het toepassingsgebied wordt beperkt.
- Verontreiniging door PVC of aluminium verstoren de productie met deze recyclaten. PVC heeft

namelijk een erg laag smeltpunt, waardoor onregelmatigheden ontstaan bij het gerecyclede materiaal.

Ondanks deze slechte eigenschappen van de verwerking van de MIXstroom zijn er wel toepassingen voor. Er worden bijvoorbeeld banken, wegenpaaltjes of speeltoestellen in het park van gemaakt. De recycling van de producten die in de MIXstroom belanden wordt ook wel downcycling genoemd. Een product als PET dat een groot potentieel heeft, maar in de MIXstroom belandt gaat er qua eigenschappen heel erg op achteruit. Daarom is het belangrijk dat er zo min mogelijk producten in de MIXstroom terecht komen.

(VROM inspectie, 2011)

Zoals er te zien is in de cijfers van de kunststofsortering, is het percentage MIX heel erg groot. Een groot gedeelte daarvan is PET, terwijl dat het plastic is dat een groot potentieel heeft en de marktwaarde is erg hoog. Daarom is PET een interessant product om te bestuderen voor de verbetering.

Er zijn verschillende oorzaken voor de grote hoeveelheid PET in de MIXstroom. Deze oorzaken liggen zowel bij de fabrikant van het product, als bij de consument. Het PET-flesje wordt bijvoorbeeld weggegooid met een laagje water erin. Hierdoor in het te zwaar en kan de windshifter het niet aan.

Of de fabrikant plaatst een grote gekleurde sticker op het product, waardoor bijvoorbeeld de infraroodscheiders het product niet kunnen lezen.

(Pennings, J, Persoonlijke mededeling, 2012)

Het is dus van belang dat de problemen zoals de voorbeelden hierboven uit de weg worden gegaan. Hoe dit kan worden aangepakt zal worden omschreven in het hoofdstuk aanpak.

DE PET-FLES

06



Afbeelding 06: <http://e-wasteregulation.blogspot.nl/>

De PET-FLES

Aan de hand van de analyse van de kunststof-afvalverwerking heb ik gekozen voor de PET-fles. De basis kenmerken van plastic zijn al besproken. In dit hoofdstuk zal ik verder inzoomen op de PET-fles. Uit welke bestanddelen bestaat PET, hoe wordt het gemaakt en hoe wordt de PET-fles verwerkt?

De eerste laboratorium-synthese van PET is beschreven in 1941. De grotere toepassingen kwamen echter later pas, na de Tweede Wereldoorlog. Dit was in de textielindustrie. Daarnaast kwamen op den duur de PET-bandengaren en de PET-flessen. (Zundert, M, 2006)

5.1 De productie van PET

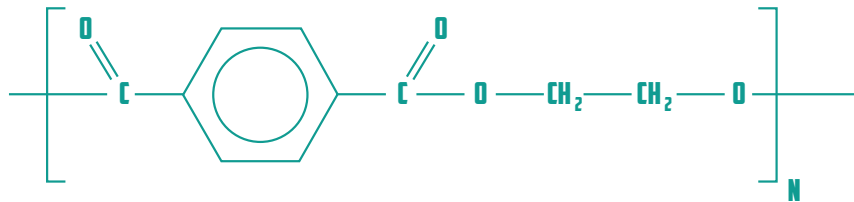
De beginstoffen van PET zijn de meest gemaakt polymeren van de afgelopen decennia. Dit komt door de grote groei in vraag naar het product. Het is een bijzonder product dat geschikt is voor

vele toepassingen en wordt wereldwijd gebruikt voor drankflesjes. Dat het hiervoor wordt gebruikt komt doordat het goede eigenschappen heeft als omtrent trek en stootsterkte, chemische weerstand, helderheid, goede verwerkbaarheid, kleurmogelijkheden en thermische stabiliteit.

Veel verschillende bedrijven produceren de grondstoffen voor PET. Grote bedrijven in Europa die dit doen zijn:

- DSM Engineering Plastics
- ENKA-Glazstoff
- EASTMAN chemical company
- Farbwerke Hoechst AG
- E.I. Du Pont de Nemours & Co., Inc
- Imperial Chemical Industries Ltd.

Poly(ethyleentereftalaat) bestaat uit het volgende repeterende element:



Afbeelding 27: Structuur formule PET

De PET-productie bestaat uit twee verschillende startreacties.

1. Een veresteringsreactie waarbij tereftaalzuur (TPA) reageert met ethyleenglycol (EG). Dit gebeurt bij een temperatuur tussen de 240 en de 260 graden en een druk tussen de 300 en de 500 kPa.

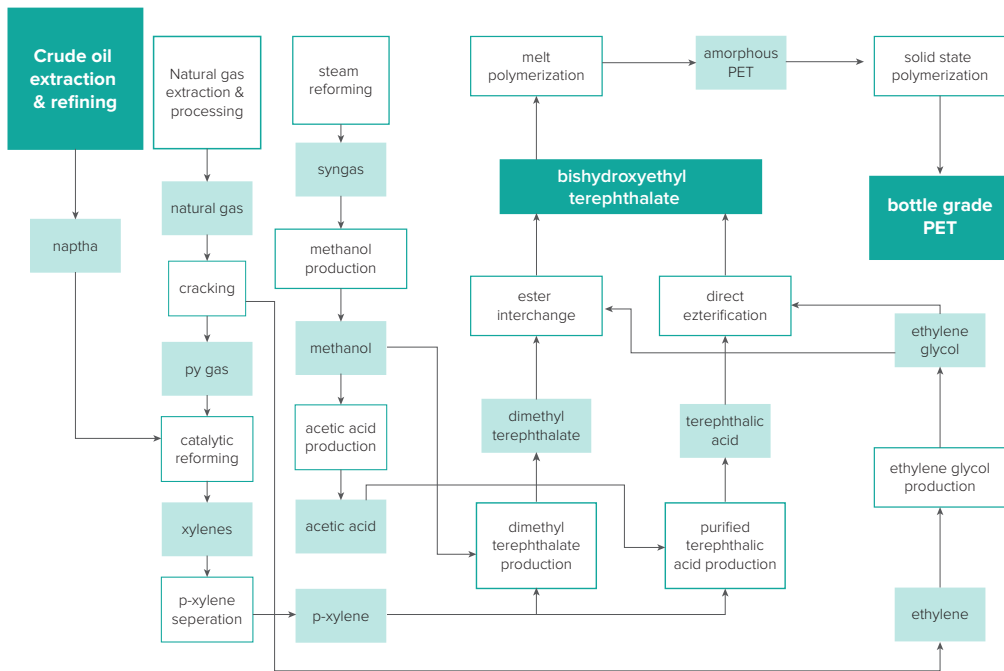
2. Een trans-veresteringsreactie waarbij dimethyltereftalaat(DMT) een reactie aangaat met ethyleenglycol(EG). Dit gebeurt onder een

temperatuur van 150, 180-220 en 140-220 graden en onder een druk van 100 kPa.

De uitkomst van beide processen is **bis(hydroxyethyl) terephthalate (BHET)**.

Dit proces is in het onderstaande schema te zien. Halverwege is de bis(hydroxyethyl) terephthalate te zien.

Daarna vindt de polycondensatie plaats. Hier worden dus polymeren gevormd. De graad van



Afbeelding 28: Lifecycle bottle grade PET (Dogan, S, 2008)

de polymerisatie neemt toe tot 30. Vervolgens vindt er een polycondensatieproces plaats, waarbij de polymerisatie graad toeneemt tot 100. In dit stadium is de PET die is ontstaan geschikt voor toepassingen die geen hoog moleculair gewicht vragen, zoals vezels en sheets. Er is nog een Solid State Polymerisatie (SSP) nodig om een hoger moleculair gewicht te verkrijgen. Door de SSP neemt de DP toe tot 150, het moleculair gewicht neemt dan ook toe.

Tijdens de polycondensatie neemt dus de ketenlengte toe, maar ook het molecuulgewicht en de viscositeit.

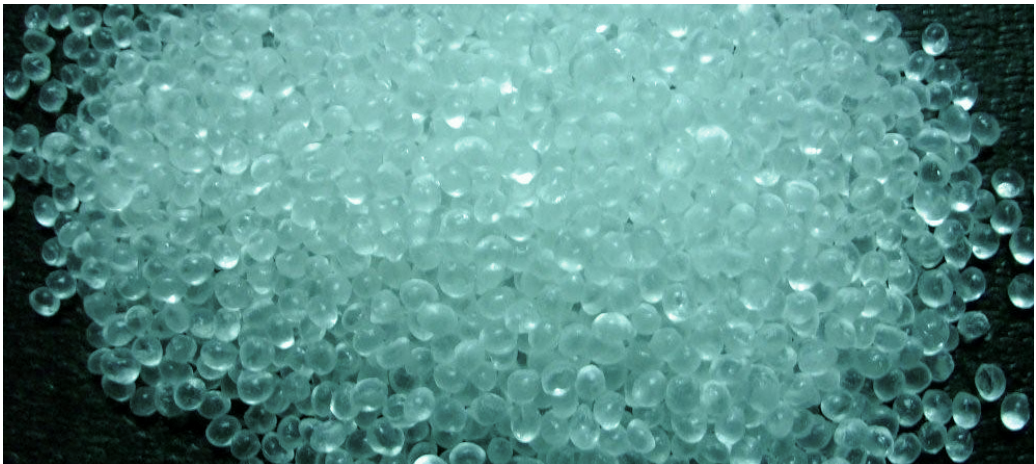
Als de gewenste waarde voor het molecuulgewicht is bereikt, wordt de visceuze gesmolten polymeer in de vorm van draden uit de reactor getrokken. Deze worden gekoeld en vervolgens in korrels gehakt.

Van deze korrels of draden kunnen vervolgens producten worden gemaakt. *(Dogan, S, 2008)*

Fabrikanten van PET maken ook vaak PET copolymeren. PET-flessen zijn hier vaak van gemaakt, omdat ze een lagere kristalliniteit, een betere rekbaarheid, betere helderheid en een betere proces vermogen hebben.

PET wordt over de hele wereld gebruikt voor de productie van flessen, electische instrumenten, producten voor auto's, huishoudelijke artikelen, verlichtingsproducten, sportspullen etc. PET folies en vezels zijn de oudste toepassingen van PET.

(Awaja, F, Pavel, D, 2005)



Afbeelding 29: PET korrels

De smelt temperatuur van PET ligt tussen de 255-265 graden. Voor meer gekristaliseerd PET ligt dit iets hoger. De T_g (de glastemperatuur) van PET ligt tussen de 67-140 graden.

De glastemperatuur is de temperatuur waarbij een vaste stof zacht wordt bij verwarming en bros wordt bij verkoeling.

De lage flexibiliteit in PET komt door de korte ethyleen groep en door de aanwezigheid van de p-phenylene groep.

(Jager, J, 1994)

5.2 De productie van de PET-fles

De verwerking van PET-korrels, die verkregen zijn nadat de draden kleiner zijn gemaakt, worden door een spuitgietproces gevormd tot PET-preforms. In het spuitgietproces wordt een matrijs gevuld door een spuittechniek. De matrijs heeft de vorm van de



Afbeelding 30: Preform (Wikimedia)

preform van de fles. De korrel worden gesmolten en onder druk in de matrijs gespoten. Als het weer hard geworden is, wordt de matrijs geopend en is de preform klaar voor het blaasproces.

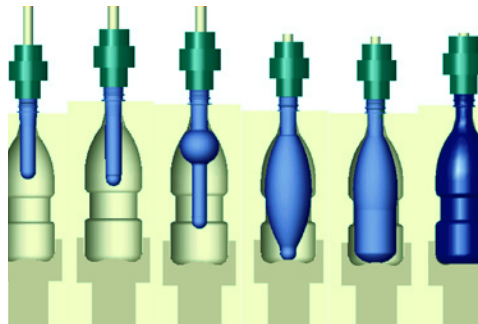
In het blaasproces worden preforms verwarmd tot omstreeks 100 graden. Vervolgens worden ze in de flessenmatrijs opgeblazen. De polymeerketens vormen hierbij kleine niet-zichtbare kristallen, waardoor de fles mechanische sterkte krijgt.

(Zundert, M, 2006)

(The Plastic Portal, 2012)

5.4 Energie kosten van PET fles productie

Dat er voor de productie van PET fossiele brandstoffen worden gebruikt die schaars zijn is inmiddels bekend. Voor het productieproces van PET is ook energie nodig, hiervoor worden ook



Afbeelding 31: Stadia blowmolding (APEX)

fossiele brandstoffen gebruikt. Om zicht te krijgen op de energie kosten van de productie van een PET-fles wordt hier de verbruikte energie uitgeschreven.

Om te weten hoeveel energie er wordt verbruikt voor de productie van een PET-fles zal ik eerst wat vertellen over de hoeveelheid PET-flessen die gemaakt wordt. In de hele wereld is de vraag naar PET de afgelopen jaren heel erg gestegen. De toename is te wijten aan de stijgende vraag naar water in flesjes. Men drinkt niet meer een glas water uit de kraan, maar koopt altijd een flesje bron water. In 2007 zijn wereldwijd 200 biljoen flesjes water verkocht. Voornamelijk in Noord-Amerika en in Europa, maar ook in ontwikkelingslanden is er veel vraag naar flesjes. Sinds 2001 is de waterflesjesverkoop in Amerika met 70% gestegen. De waterflesjes zijn de verkoop van bier en melk voorbij gegaan. De enige dranksoort die nog meer verkoopt is frisdrank.

Elk jaar worden 29 biljoen plastic flessen geproduceerd in the Amerika. (2008). Om ze te maken zijn 17 miljoen vaten olie nodig. De stijging van de olieprijs, heeft er ook voor gezorgd dat de prijzen van de flesjes stijgen.

(Water World Trib-e, 2012)

Amerika is natuurlijk vele malen groter dan Nederland, dus wordt er meer geproduceerd. Toch

worden er in Nederland jaarlijks 600 miljoen 0,5L flesjes geproduceerd.

(Verpakkings management Nederland,2012)

Om de PET-fles te maken is er een grondstof nodig en is er energie nodig om de fles te maken. In het volgende wordt het verder uitgesplitst.

- Het maken van het kunststof
- Het transporteren van de kunststof
- Het maken van de PET fles
- Het transporteren van de lege fles
- Het vullen van de fles en labelen
- Transporteren van de fles naar de winkels

En dan volgt er weer een proces dat energie kost om het te verwerken of weg te gooien.

De gevraagde energie die nodig is om PET te maken dat klaar is voor de productie van een fles, is 65-73 MJ kg-1. Het verder produceren van de pre-forms en het in de vorm van een fles maken kost 20 MJ kg-1. De totale productie van PET flessen, inclusief de transportenergie om het PET te verplaatsen naar de plaats waar het PET tot fles wordt gemaakt, is 100 MJ(th) kg-1. Dit komt neer op 100000 MJ(th) kg-1/ton PET.

(Cooley, H, Gleick, P, 2009)

Als een fles is gemaakt is het nog niet klaar voor de verkoop. De fles moet nog gevuld worden, er moet een dop op, een label op etc. De gemiddelde

machine kan 15000 flessen per uur schoonmaken, vullen en sealen en vraagt 0,006 MJ(th) per fles. Machines die labelen en verpakken kosten ongeveer 0,008 MJ(th) per fles. In totaal dus 0,014 MJ(th) per fles. Dit is dus een erg klein percentage in vergelijking met de gehele energiekosten van het maken van de fles. (0,34%)

(Cooley, H, Gleick, P, 2009)

De volgende stap waar energie in gaat zitten in het transport van de fles op de markt. Hier wordt ook niet verder op ingezoomd, maar moet ook in gedachten gehouden worden. Dit is namelijk een heel groot gedeelte van het totaal. In de tabel op de vorige pagina is dit nog een keer goed te zien.

Non-renewable energy resources

Fuel energy	30-34 MJ
Feedstock energy	35-39 MJ

Renewable energy resources (biomass)

Fuel energy	0,8 MJ
Feedstock energy	- MJ

Abiotic Depletion Potential

Elements	0,030 kg Sb eq
Fossil fuels	69,0 MJ

Renewable materials (biomass)

0,001 kg

Water use

for process	7,00 kg
for cooling	53,00 kg

5.4 Recycling van PET

Eerst wordt de PET-fles geproduceerd en vervolgens wordt de PET-fles gebruikt. Na het gebruik komt het zoals verteld in de afvalverwerking terecht. Als dit op een juiste manier verloopt kan het worden gerecycled.

Het eerste PET recycling-proces vond plaats in Australië in 1977. Vanaf dat moment werd er gerecycled en zijn er eisen gesteld aan de kwaliteit van het gerecyclede PET. Gerecycled PET moet voldoen aan verschillende eisen. Zoals te zien in de tabel. (Awaja, F, Pavel, D, 2005)

Energy intensity (MJ l-1)

Manufacture plastic bottle	4.0
Treatment at bottling plant	0.0001-0.02
Fill, label, and seal bottle	0.01
Transportation: range from three scenarios	1.4-5.8
Cooling	0.2-0.4
Total	5.6-10.2

Tabel 4: Energy implications of bottled water

(Cooley, H, Gleick, P, 2009)

Tabel 5: Energy demand PET bottle production

(Cooley, H, Gleick, P, 2009)

Besmetting van het PET met andere plastics of stoffen is de grootste oorzaak van de achteruitgang van het product. Dit moet dus zoveel mogelijk worden voorkomen, want zoals eerder verteld vindt er dan downcycling plaats.

PET kan worden vervuild door:

- Zuur producerende verontreiniging.

Deze zuren worden gebruikt tijdens het proces waarbij de POSTC-PET wordt gesmolten.

- Water.

Water vermindert het moleculair gewicht van POSTC-PET tijdens een hydrolyse reactie. De hoeveelheid water moet niet boven de 0,02% komen, om te voorkomen dat het moleculair gewicht te laag wordt.

- Kleurstoffen.

Door kleurstoffen die in de fles hebben gezeten kan het gerecyclede product een onvoorspelbare kleur krijgen.

- Acetaldehyde.

Dit bevindt zich in PET en in POSTC-PET.

- Soms wordt PET gebruikt voor opslag van stoffen zoals olies en pesticiden. Dit kan erg slecht zijn als het materiaal hergebruikt gaat worden.

(Awaja, F, Pavel, D, 2005)

2.4.1. Het proces

Om een goede kwaliteit gerecycled PET te krijgen is het dus belangrijk dat de recycling zorgvuldig verloopt. Er zijn twee verschillende manieren om PET te recyclen Chemische recycling en mechanische recycling.

Chemische recycling:

Chemische recycling gebeurt door depolymerisatie van polymeren in monomeren of gedeeltelijke depolymerisatie tot oligomeren. De chemische stoffen die gebruikt worden voor chemische recycling zijn: water, methanol en glycolise. Het grote nadeel van deze manier van recyclen is dat het heel erg duur is. *(Awaja, F, Pavel, D, 2005)*

Mechanische recycling.

Het mechanische recycling proces bestaat uit sorteren, wassen, drogen en smelten. Dat gaat als volgt:

- De PET-flessen worden gesorteerd, gemalen en gewassen. Het wordt gescheiden van PVC, polyethyleen en andere plastics. Dit is een belangrijke en kritieke stap, want vermenging van de verschillende plastics moet worden voorkomen. Na het sorteren wordt het PET gemalen tot vlokken. Daarna worden ze gewassen en geslepen.
- Drogen. Dit is een essentiële stap in het recycling proces. Het minimaliseren van de vochtigheid van de PET, vermindert het hydrolyse vermindering

van het plastic en zorgt ook voor een hogere smelt sterkte.

- Smelten. POSTC-PET vlokken kunnen door middel van een normaal extrusie systeem worden gemaakt tot korrels. In verband met de stoffen die niet in het PET thuis horen, wordt het PET onder een hogere temperatuur geëxtrudeerd.

Het grote voordeel van mechanisch recycelen van PET is dat het een vrij simpel proces is en het vraagt vrij weinig investering. Het grootste nadeel is de vermindering van het moleculair gewicht of de vervuiling met verkeerde stoffen. (*Awaja, F. Pavel, D, 2005*)

Nu er meer bekend is over de eigenschappen van PET en over de PET-fles, kan er gezocht naar een alternatief dat misschien minder impact op het milieu heeft.



Afbeelding 32: Gerecycled plastic (*Plastic today, 2012*)





ALTERNATIEVE PLASTICS

07

Afbeelding 33: http://1.bp.blogspot.com/_K1LACWsk_o/TRun4dKyhtI/AAAAAAAAAFJY/AxL8Hk_jBYk/s1600/Cornfield.jpg

ALTERNATIEVE PLASTICS

In het hoofdstuk Grondstoffen is beschreven dat het vinden van een alternatieve grondstof voor plastic voordelen heeft. In dit hoofdstuk zullen de verschillen de alternatieve voor PET worden omschreven, onder andere bioplastics. Dit hoofdstuk begint met een omschrijving van bioplastics, vervolgens zullen er nog andere alternatieven worden behandeld. In het volgende hoofdstuk zullen de behandelde alternatieve voor PET preciezer worden vergeleken.

7.1 Bioplastics

Bioplastics zijn gemaakt van on-uitputtende grondstoffen en ze verminderen ook nog de uitstoot van broeikasgassen. Bioplastics worden al gebruikt voor voedsel verpakkingen, landbouw, composteerbare tassen. Sinds 1996 is de consumptie van bioplastics toegenomen van 15.000 ton naar 225.000 ton in 2008.

De meest gebruikte bioplastics op het moment zijn polylactic acid (PLA), hydroxybutyrate (PHB), op soja gebaseerde plastics, cellulose polyesters, zetmeel gebaseerde plastics, groente olie afgeleide plastics.

Een biologische verpakkingen kan niet zomaar een plasticverpakking vervangen. Het moet voldoen aan een hoop verschillende eisen: beschermen, luchtdicht zijn, veilig zijn en communiceren met de gebruiker. In het volgende stuk zullen de eigenschappen van de verschillende bioplastics worden omschreven en zal worden bekeken wat

een geschikte vervanger voor PET is.

De verschillende groepen zullen worden behandeld:

- Plastics uit polymeren van natuurlijke oorsprong.
- Plastics uit monomeren van natuurlijke oorsprong.
- Plastics gemaakt door micro-organismen

(Bos, H, Conijn, S, Corre, W, Meesters, K, Patel, M, 2011)

(Bolck, C, Harmsen, P, Molenveld, K, Ravenstijn, J, 2012)

7.1.1 Plastics uit polymeren van natuurlijke oorsprong

Plastics uit polymeren van natuurlijke oorsprong zijn polymeren die direct worden geëxtraheerd en gewonnen uit biomassa zoals bijvoorbeeld hout, maïs, tarwe, rijst en aardappels. Voorbeelden van grondstoffen hiervan zijn zetmeel en cellulose.



Afbeelding 34: aardappelen

Zetmeel

Zetmeel is een polymeer dat afkomstig is uit de natuur. Bronnen van zetmeel zijn mais, tarwe, rijst en aardappelen. Al deze producten zijn gemakkelijk te verkrijgen, dus de prijs is erg laag. Zetmeel bestaat uit twee types glucosepolymeren: een laagmoleculair lineair polymeer (amylose) en een hoogmoleculair polymeer (amylopectine). Door middel van extrusie kan zetmeel worden verwerkt tot half-fabrikaat: thermoplastisch zetmeel of Thermoplastic Starch (TPS). Daarna wordt het verder verwerkt tot plastic door middel van spuitgieten, folieblazen, schuimen of gieten.

Met de toevoeging van biologisch afbreekbare weekmakers kan het product flexibeler worden of minder watergevoelig.

Een onhandige materiaaleigenschap van zetmeelplastic is de gas-doorlaatbaarheid. Het laat gemakkelijk zuurstof door. Ook is het erg gevoelig voor water en het is lastig om een volledig transparante folie te maken van zetmeelplastic.

Zetmeelplastic wordt toegepast in de schuimindustrie. Ook wordt het gebruikt voor folies, draagtassen en geschuimde trays.

De eigenschappen die hierboven worden genoemd zijn niet gunstig voor een fles waar een drank in bewaard moet worden. Daarom zal niet verder

worden gekeken of het bioplastic gemaakt van zetmeel een goede vervanger kan zijn voor PET.

Cellulose

Cellulose is een polymeer met een natuurlijke oorsprong. Het is een bestandsdeel van de celwanden van planten. Cellulose wordt voornamelijk uit bomen gehaald. Cellulose is een hoogmoleculair lineair polymeer dat niet smelt en niet makkelijk oplosbaar is in oplosmiddelen.

De volgende 3 polymeren kunnen gemaakt worden:

1. Natuurlijke cellulosevezel: papier, jute en karton zijn gemaakt van natuurlijke cellulosevezel.

2. Geregenereerd cellulose: oftewel cellofaan. Cellofaan kan ontstaan door cellulose tijdens de verwerking te modificeren. Het product is niet thermoplastisch bewerkbaar, daarom wordt er soms een laagje thermoplastisch niet-biologisch afbreekbaar polymeer aangebracht. Dit kan ook een biologisch afbreekbare laag zijn, waardoor er een volledig biologisch afbreekbare folie bestaat.

3. Gemodificeerd cellulose: Cellulose kan op een chemische manier worden gemodificeerd waardoor het thermoplastisch verwerkbaar wordt. Deze vorm van cellulose is echter niet meer biologisch afbreekbaar.

Er is dus thermoplastisch bewerkbaar en thermoplastisch niet-bewerkbaar celluloseplastic. De materialen zijn heel erg transparant en

vochtbestendig. Ze knisperen echter veel en hebben een slecht geheugen, waardoor ze niet in hun oude vorm terugkeren na vervorming.

Cellulose is erg geschikt als verpakkingsmateriaal van snoep, koekjes, groente en fruit.

Netals bij bioplastic gemaakt vanuit zetmeel, bezit bioplastic gemaakt uit cellulose eigenschappen die niet geschikt zijn voor een fles. Dit is de reden dat polymeren met een natuurlijke oorsprong niet geschikt zijn voor de vervanging van PET.

(Bolck, C, Harmsen, P, Molenveld, K, Ravenstijn, J, 2012)

7.1.2. Plastics uit monomeren van natuurlijke oorsprong

Plastics kunnen worden opgebouwd uit monomeren van natuurlijke oorsprong. Vaak wordt voor de productie gebruik gemaakt van klassieke chemische synthese. De monomeren daarentegen worden vaak op een biotechnologisch wijze verkregen uit de grondstoffen. Voorbeelden zijn de polyesters Poly Lactic Acid (PLA) op basis van melkzuur en PolyTrimethyleen Tereftalaat (PTT) op basis van 1,3-propaandiol (PDO).

Polymelkzuur (PLA)

Polymelkzuur is een polymeer vervaardigd uit melkzuur. Melkzuur wordt geproduceerd door het fermenteren van suikers of zetmeel. (Fermenteren

is met bacteriën biologische materialen omzetten.) Deze suikers worden bijvoorbeeld gewonnen uit mais. Er bestaan 2 soorten PLA, de D-vorm variant en de L-vorm variant. Poly-L-melkzuur is vrijwel niet biologisch afbreekbaar, terwijl polymelkzuur uit D en L-isomeren al binnen enkele weken afgebroken worden.

Er zijn twee methodes om polymelkzuur te verkrijgen. Het kan door middel van polycondensatie van melkzuur of door lactide-ring opening.

Polymelkzuur heeft goede mechanische en thermische eigenschappen, vergelijkbaar met PET of PS. PLA is wel beperkt als je het vergelijkt met PS, wat betreft waterdamp en zuurstof permeabiliteit. PLA wordt voornamelijk gebruikt voor folies, voedselverpakkingen en flessen.



Afbeelding 35: Mais

Het is geschikt om te gebruiken als verpakkingsmateriaal voor snoep, groente, fruit, koude dranken, vlees en zuivel. Melkzuur bevindt zich ook in het menselijke lichaam, daarom wordt het ook gebruikt voor medische toepassingen.

Omdat PLA geschikte eigenschappen lijkt te hebben om als vervanger op te treden voor PET zal er later verder op worden ingezoomd.

7.1.3. Plastics gemaakt door micro-organismen

Dit zijn plastics die gemaakt zijn door micro-organismen zoals bacteriën, gisten of planten. Plastics zoals polyhydroxyalkanoaten (PHAs) kunnen worden geproduceerd door bacteriën, gisten en planten. Ondanks dat PHAs veel potentie hebben, worden ze maar op kleine schaal geproduceerd. Er wordt nog veel onderzoek gedaan naar goedkopere productie methodes.

Het plastic PHA is vergelijkbaar met LDPE.

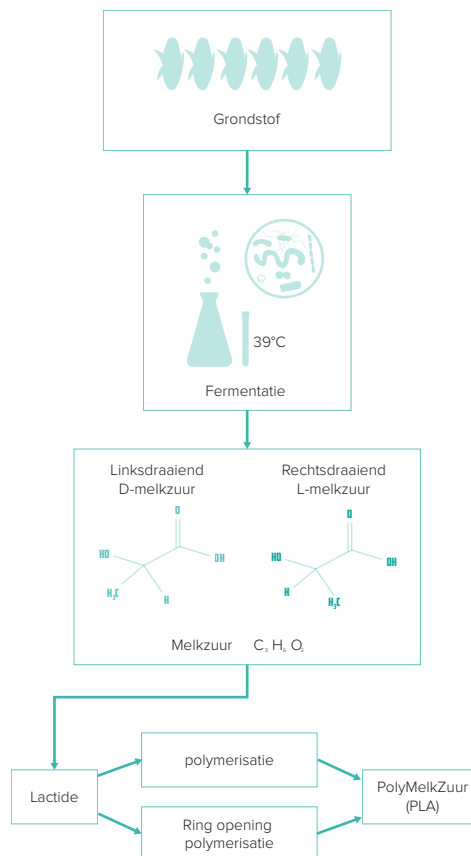
Mogelijke toepassingen zijn er veel, bijvoorbeeld shampooflessen, pinpassen en klerhangers, maar er zijn nu geen toepassingen op de markt.

(Bos, H, Conijn, S, Corre, W, Meesters, K, Patel, M, 2011)

(Bolck, C, Harmsen, P, Molenveld, K, Ravenstijn, J, 2012)

7.2 PLA Poly Lactid Acid

Zoals omschreven zijn er bioplastics die lijken op de huidige plastics die wij gebruiken. Toch zijn er een hoop eigenschappen die in de weg staan dat we ze als echte vervanger gebruiken. Deze eigenschappen



Afbeelding 36: Productie van PLA

kunnen in de toekomst wel worden verbeterd. In deze paragraaf zal verder worden ingezoomd op PLA. Omdat deze bioplastic eigenschappen bezit die erg lijken op de eigenschappen van PET. Zou het een vervanger kunnen zijn?

Poly Lactid acid (PLA) is een polymeer dat is gemaakt van hernieuwbare bronnen, hoofdzakelijk zetmeel en suikers. De laatste 10 jaar is PLA bijna alleen maar gebruikt voor medische toepassingen, omdat het nog erg duur was om voor grotere productie te gebruiken en omdat het nog een erg laag moleculair gewicht had. Nieuwe technieken hebben er echter voor gezorgd dat het economisch haalbaar is om een hoog moleculair gewicht PLA te produceren.

PLA hoort bij de familie van de alifatische polyesters, die verkregen zijn uit α -hydroxy zuren. De bouwstenen van PLA, (2-hydroxy propionische acid) bestaan als D-enantiomeren en L-enantiomeren (enantiomeren = optische isomeren). Afhankelijk van de grootte van de enantiomeren, kunnen er verschillende soorten PLA worden verkregen.

(Bolck, C, Harmsen, P, Molenveld, K, Ravenstijn, J, 2012)

Productie en bouw van PLA

PLA is een polymeer gemaakt van Lactic Acid, ook wel melkzuur. Melkzuur is een eenvoudig molecuul dat bestaat uit 2 stereo-isomeren. De L-melkzuur (poly(L-lactic acid)(PLLA)) en de L,D-melkzuur

(poly(D,L-lactic acid) (PDLLA)), die zijn gemaakt van L-lactiden en D,L-lactiden. Deze D of L voor de melkzuur heeft te maken met de richting waarin het molecuul gepolariseerd licht afbuigt.

Om melkzuur te verkrijgen moeten er eerst suikers worden gewonnen. Suikers die gewonnen worden uit mais, worden vervolgens door fermentatie omgevormd tot melkzuur. Dit gebeurt door micro organismen. Fermentatie vindt plaats onder anaerobe (zonder lucht) condities. Het is van belang dat er een goede temperatuur gekozen wordt om bij te fermenteren. Hoe lager de temperatuur, hoe beter de adsorptie. Hoe hoger de temperatuur, hoe beter de melkzuur opbrengst. Uit testen is gebleken dat 39°C de optimale temperatuur is voor het melkzuur fermentatie proces. Meestal wordt er gebruik gemaakt van een twee reactoren systeem zodat er een continue productie van melkzuur kan plaats vinden. De reactoren worden om en om batchwijs gevoed om zo continue melkzuur te kunnen produceren.

(Biopolymeren, 2012)

(Bolck, C, Harmsen, P, Molenveld, K, Ravenstijn, J, 2012)

Door fermentatie verkregen melkzuur bestaat bijna uitsluitend uit L-melkzuur. Een zuiver L-melkzuur brengt veel consequenties met zich mee en kan erg gunstig zijn.

Tijdens fermentatie worden de suikers uit de mais omgezet naar melkzuur door bacteriën

Het omzetten van melkzuur tot een hoog moleculairgewicht wordt bereikt op 2 manieren:

- Door middel van ringopening
- Door middel van polymerisatie

Tijdens beide processen is het heel erg belangrijk dat de tijd en temperatuur precies wordt geregeld. Dit zorgt voor meer zuiverheid in D- en L-melkzuren. PLA dat geproduceerd wordt via het lactide proces of door middel van directe polymerisatie is een lineair polymeer. In vergelijking met een polyolefin (PE, PP etc) heeft PLA een lage smelt elasticiteit.

PLA polymeren kunnen glasachtige polymeren zijn met een glastransitie temperatuur van 60 graden, maar kunnen ook een semi-kristalproduct zijn met een kristalsmelpunt van 130-180 graden. Er zijn transparante varianten en niet-transparante varianten. Deze verschillende eigenschappen lijken het meest op de PET en PS.

Later zullen de precieze eigenschappen van PLA in vergelijking met de eigenschappen van PET nog op een rijtje worden gezet, maar voor nu: , PLA is/heeft:

- bestand tegen vet voedsel en zuivelproducten
- een uitstekende smaak en aroma barrière;
- een goede smeltbaarheid;
- hoge oppervlakte-energie waardoor een goede

bedrukbaarheid;

(Aurasb, M, Lima, L, Rubinob, M, 2008)

Recycling van PLA

Het voordeel van een bioplastic, in vergelijking met een niet bio-plastic is dat het kan worden afgebroken op een biologische manier. Om PLA te kunnen afbreken zijn er 2 stappen nodig. De eerste stap is het toevoegen van water en warmte. Door absorptie van water splitsen de esterverbindingen, waardoor er een reductie van het moleculair gewicht plaats vindt. Er worden kleinere ketens gevormd.

Stap 2 is dat micro-organismen in compost en in de bodem de kleinere ketens als voedsel gebruiken. Het eindproduct is CO₂ , water, humus, als voeding voor de bodem.

Dit hele proces kan alleen plaats vinden onder een bepaalde temperatuur en bepaalde vochtigheid, dus dat gebeurt niet zomaar thuis of als je de betor op straat gooit.

(Nature Works LLC,2012)

Als een PLA product gebruikt is, is het dus zaak dat het goed verwerkt wordt. Het is nodig dat er een composteerder deze speciale omstandigheden verzorgt. Want momenteel werkt deze manier van verwerken nog niet in Nederland. Te zien in de aflevering van de Keuringsdienst van Waarde over Bioplastics, hierover later meer.

7.3 De PEF-fles

Als alternatief voor PET is PLA omschreven. Er zijn echter meer alternatieven ter beschikking. Of deze echt geschikt zijn is nog de vraag, dit zal later behandeld worden. Eerst zullen ze omschreven worden. In dit kopje wordt PEF behandeld.

Coca-Cola is over de hele wereld een grote producent van PET-flessen. Momenteel maakt Coca-Cola's PlantBottle verpakkingen. Dit zijn flessen die 30% op plantaardige basis zijn gemaakt, voor 70% zijn de nog gemaakt van terephthalic aci (PTA) dat uit aardolie komt. Het is dus deels een bio-based fles.

Er zijn echter nieuwe ontwikkelingen. In 2012 heeft Coca-Cola een contract met Avantium uit Nederland gesloten. Het bedrijf Avantium heeft de YXY-technologie ontwikkeld. Daarmee kunnen ze het groene product furanics mee maken. Furanics zijn bio-based building blocks die kunnen worden ingezet voor heel veel verschillende soorten materialen en brandstoffen. Zo kan ook de PEF-fles worden geproduceerd. (PEF staat voor polyethyleenfuranoaat) Tot voor kort werd er nog geen gebruik gemaakt van furanics, vanwege de dure productie kosten. Maar de YXY-technologie lijkt meer haalbaar.

(Avantium, 2012)

Omdat Avantium een vernieuwende techniek bezit en contracten heeft met Coca-Cola ligt de informatie

over PEF nog niet voor het oprapen. De informatie die gebruikt in dit stuk is daarom afkomstig van de site en van een email-conversatie met een werknemer van Avantium.

Volgens Avantium heeft PEF betere barrière- en temperatureigenschappen dan het PET. Het wordt



Afbeelding 37: PEF fles

bijvoorbeeld pas zacht bij 86 graden in plaats van bij 74 graden zoals bij PET.

De verwerkbaarheid van PEF is afhankelijk van de het smeltpunt en de rheologie. (rheologie is de relatie tussen de opgelegde spanning op een materiaal en de vervormingen die daardoor ontstaat). De T_m van PEF is van nature lager dan die van PET. Dus het kan bij een vrij lage temperatuur verwerkt worden. Bij PET wordt om dit ook te kunnen vaak een comonomer toegevoegd, waardoor een lagere T_m ontstaat. Het is een voordeel dat dit bij PEF niet hoeft, het kan dus als homopolymeer worden toegepast.

PEF kan mechanisch, thermisch en chemisch gerecycled worden. Afhankelijk van het type verpakking en de locatie zal een bepaalde recycle route de voorkeur hebben.

In de toekomst is Coca-Cola van plan om hiermee 100% bio-based flessen te gaan maken. Ook Danone doet onderzoek met Avantium naar plantaardige verpakkingen.

(Berkel, J, email conversatie met R. Koster, 2012)

(Avantium, 2012)

Netals PLA zullen de waarden van PEF in het volgende hoofdstuk vergeleken worden met PET.

7.4 r-PET

Naast PLA en PEF zal als alternatief voor PET ook r-PET worden omschreven.



Afbeelding 38: rPET

rPET staat voor gerecycled PET. De reden dat ik deze plastic soort als 3e alternatief gebruik is omdat als blijkt dat de levenscyclus van r-PET gunstiger is dan de andere alternatieven het misschien meer redabel is om PET te blijven gebruiken.

Er zijn in dit hoofdstuk 3 alternatieven omschreven voor PET. In het volgende hoofdstuk zullen de verschillende eigenschappen van PEF, rPET, PLA en PET worden vergeleken.

Deze 3 alternatieven zijn niet alleen gekozen omdat ze een goede alternatief lijken, maar ook

omdat ze allemaal een categorie van alternatieven vertegenwoordigen. Een bioplastic (PLA), een semi-bioplastic (PEF), een gerecyclede plastic (r-PET) en een plastic (PET).



PLASTIC VERGELIJKING

08

PLASTIC VERGELIJKING

Zoals te lezen is in dit rapport zijn er heel veel onderdelen van een product die je kunt analyseren. Dit is een hele complexe cyclus. In het hoofdstuk grondstoffen is aan bod gekomen dat er misschien moet worden gekeken naar een vervanger van olie als grondstof. In het hoofdstuk alternatieve plastics zijn er verschillende voorbeelden genoemd die interessant zouden zijn als vervanger voor de PET fles. Omdat je niet zomaar kan zeggen dat het ene product beter is dan de ander, omdat dit een extreem breed gebied beslaat, heb ik in dit hoofdstuk verder ingezoomd op de producten om te kijken of ik een advies uit kan brengen. De onderdelen die ik heb meegenomen in de analyse omschrijf ik in het volgende en daar zal ik ook beargumenteren, waarom ik deze onderdelen heb gekozen.

Aan de hand van mijn eerdere analyse heb ik een product gekozen dat verbeterd kan worden. Er loopt iets mis in de keten. Wat ik heb gedaan is naar de verschillende onderdelen in het leven van het product, waar is er verbetering mogelijk? Zodat het product in het vervolg 'beter' zal zijn, minder impact op het milieu bijvoorbeeld.

Ik heb besloten om PET te vergelijken met 3 verschillende soorten plastics. Waarom deze 3 producten: PEF, PLA en r-PET interessant zijn om te bestuderen heb ik eerder al omschreven.

Een opvallende tussen deze 3 is r-PET, omdat deze

van gebruikt PET wordt gemaakt. Voor de analyse van rPET is de keuze gemaakt voor de cut-off methode. Hierin wordt de levenscyclus van rPET volledig los geanalyseerd van de PET cyclus. Dit betekent dus dat de impact die de levenscyclus van de PET-fles heeft, niet wordt meegeteld in de berekening van de impact die de levenscyclus van de r-PET-fles heeft.

(Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu, 2012)

Het doel van deze studie is om te kijken wat het verschil is in impact op de omgeving en in eigenschappen van de verschillende soorten plastic flesjes. De analyse beslaat de gehele levensloop van het product, dus van cradle to grave. Dus van raw material tot afval verwerking. Tijdens de analyse wordt gekeken naar onder andere energie verbruik, uitstoot van gassen, afval productie etc.

In de analyse ga ik inzoomen op de volgende onderdelen:

Analyse grondstoffen (onderdeel 1)

Zoals al eerder omschreven is de grondstof van een PET-fles olie. Het probleem omtrent de grondstoffen is al besproken. In dit gedeelte van de analyse zal daarom gekeken hoe goed de nodige grondstoffen te verkrijgen zijn.

Omdat alle 4 de producten een andere soort grondstof hebben, zijn de hoeveelheden die

nodig zijn om het product te produceren niet te vergelijken. Een ton olie is niet te vergelijken met een ton mais. Daarom zullen in dit hoofdstuk de onderdelen verder worden uitgelegd en zullen er wat cijfers worden gegeven om een beeld te geven.

- Milieu impact (onderdeel 2)

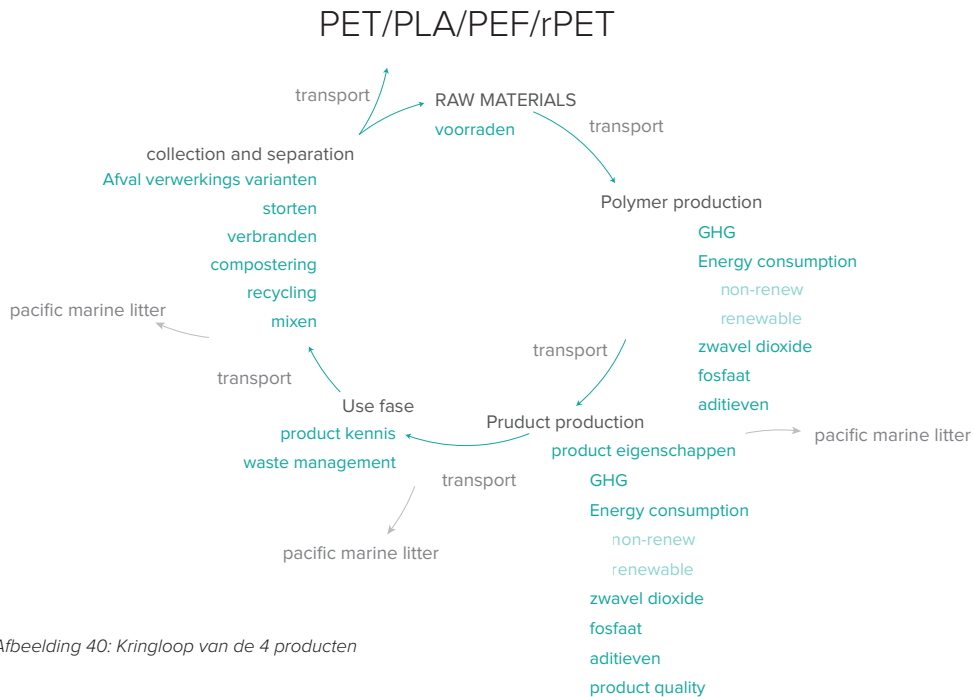
Vervolgens ga ik kijken naar de impact die de productie van de fles op het milieu heeft. Een alternatief product kan nog zulke goede eigenschappen hebben, als het een verschrikkelijke

impact op het milieu heeft, is het alsnog geen geschikt product.

Om dit te kunnen bepalen maakt men normaal gebruik van Life Cycle Assessments (LCA's).

Ik ervoor gekozen om verschillende onderdelen die komen kijken bij de productie van de verschillende soorten flessen, met elkaar te vergelijken. Ik heb gekozen om de volgende onderdelen te vergelijken:

Global warming: De Global warming potential (GWP) is een maatstaf om te bepalen hoeveel



Afbeelding 40: Kringloop van de 4 producten

een greenhouse gas de atmosfeer opwarmt. Het vergelijkt hoeveel warmte (in kg CO₂) door een actie (dus bijvoorbeeld de productie van een ton plastic) wordt uitgestoten. De global warming indicator drukt de uitstoot van greenhouse gasses uit in CO₂ per kg. Kort door de bocht: teveel CO₂ uitstoot zorgt voor opwarming van de aarde, dus je wilt dat je product zo min mogelijk CO₂ uitstoot. Daarom is dit een onderdeel van de vergelijking die wordt gemaakt. (Gironi, F, Piemonte, V, 2010)

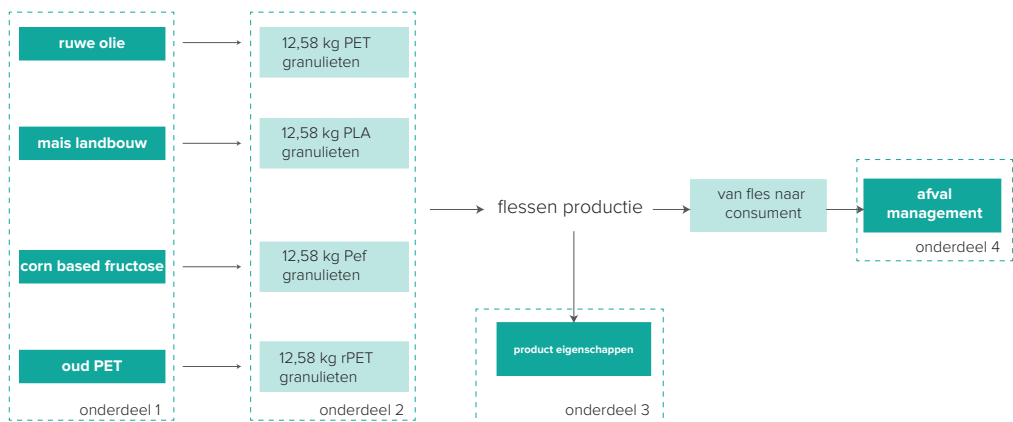
Nonrenewable energy: Niet hernieuwbare energy is de energie die de productie van het product vraagt die niet hernieuwbaar is. Dit is de energie die wordt opgewerkt bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Dus bij de verbranding van aardgas, aardolie en bijvoorbeeld steenkool. Deze energie

wordt uitgedrukt in GJ/ton.

Renewable energy:

Onder het kopje hernieuwbare energie valt de energie uit bronnen die weer kunnen worden aangevuld. Dit kan bijvoorbeeld energie zijn afkomstig van waterkracht, de zon, wind of bijvoorbeeld biomassa. De hernieuwbare energie wordt uitgedrukt in GJ/ton. (Gironi, F, Piemonte, V, 2010)

De keuze voor deze onderdelen heb ik overgenomen uit de vergelijking die is gemaakt tussen PET en PLA in het artikel 'Life Cycle Assessment of Polylactic Acid and Polyethylene Terephthalate Bottles for Drinking Water' van Fausto Gironi and Vincenzo Piemonte van het Department



Afbeelding 41: 4 onderdelen

of Chemical Engineering Materials and Environment, University of Rome "La Sapienza," Italy;

Naar deze onderdelen kijk in de verschillende fases: de productie van grondstof tot granulaten - het transport dat gepaard gaat met de productie van de productie van het product - de productie van de fles met de granulaten. Deze onderdelen heb ik gekozen omdat dan het hele traject van grondstof tot fles wordt belicht.

Te zien is dat er onder het kopje PET en PLA soms meerdere waardes zijn genoemd en bij anderen waardes ontbreken. Zoals al eerder genoemd wordt er over PEF nog enigszins geheimzinnig gedaan, in verband met concurrentie, daardoor zijn deze waardes erg lastig te verkrijgen. De volledige vergelijking zal niet gemaakt kunnen worden hierdoor. Er zullen we conclusies getrokken kunnen worden aan de hand van de gegevens die wel gevonden zijn.

(Gironi, F, Piemonte, V, 2010)

- Product eigenschappen (onderdeel 3)

Een geschikte vervanger voor de PET-fles moet goede fysische en mechanische eigenschappen bezitten. De fles moet wel goed kunnen functioneren. Daarom heb ik de verschillende eigenschappen op een rijtje gezet. Bij dit onderdeel zijn er eindeloos veel eigenschappen die je kunt vergelijken. Het lastige van dit onderdeel is dat er heel veel

eigenschap onder invloed van additieven kunnen worden gemanipuleerd en veranderd. Het is dus de vraag hoe belangrijk het is om deze eigenschappen allemaal precies met elkaar te vergelijken. Toch heb ik de verschillende eigenschappen op een rij gezet en heb in de lijst onderscheid gemaakt tussen de belangrijkste eigenschappen om te vergelijken. Ook hier weer is te zien dat er niet van elk product evenveel bekend is. De volledige vergelijking zal niet gemaakt kunnen worden, maar er zullen wel weer conclusies getrokken kunnen worden.

- Recycle opties. (onderdeel 4)

Een gebruikte fles wordt op den duur weggegooid. Het beste is als deze vervolgens kan worden hergebruikt. Zoals al eerder verteld kan plastic op verschillende manieren worden gerecycled: Mechanisch en chemisch. In dit onderdeel van de analyse wordt gekeken op welke manier de 4 producten kunnen worden gerecycled.

Een belangrijk onderdeel in de recycling in Nederland is de afval verwerking. Stel we zouden voor een vervanger voor PET kiezen, dan is het erg belangrijk om te weten wat er gebeurt als het in de afval stroom terecht komt. Kan het bijvoorbeeld worden gemengd met een andere soort plastic? Dit is daarom ook een onderdeel in de vergelijking. Het laatste onderdeel van de recycle vergelijking is hoe geschikt het product is om ter verlenging van

de levensduur te worden gebruikt in een andere toepassing.

Resultaten

De resultaten wil ik inleiden met een reflectie. Deze reflectie zal de resultaten deels verklaren. Aan het begin van dit onderzoek wilde ik een advies uitbrengen over een plastic. Hoe kon deze verbeterd worden. Onderdeel van de verbetering waren de grondstoffen, de productie methodes en de afvalverwerking. Steeds verder in het onderzoek bleek dat dit een heel erg breed en groot onderzoek is. Ik zal later hier verder op ingaan, maar voor nu verklaard het waarom ik op een gegeven moment in mijn onderzoek niet verder ben gegaan met het verdiepen in de scheikundige materie, maar het voort gezet op maatschappelijke schaal. Hier zal ik na het bespreken van de 4 onderdelen verder op ingaan.

Onderdeel 1

In tabel 6 op de volgende pagina zijn een paar eigenschappen van de 4 materialen te zien. Bij de onderdelen PLA en PEF is landbouw nodig. Als we meer PLA en PEF gaan maken zal de landbouw moeten uitbreiden. Een eerder genoemd nadeel hiervan kan zijn dat er op andere plekken voedsel tekorten kunnen ontstaan. Met vernieuwde technieken in de landbouw zal de productie kunnen worden verhoogd en de groeiende vraag kunnen

opvangen. (Bolck, C, Harmsen, P, Molenveld, K, Ravenstijn, J, 2012)

Het mogelijk kunnen opvangen van de groeiende vraag naar grondstoffen, is het grote verschil tussen de bioplastics en de petrochemische plastics. De groeiende vraag naar olie kan niet zo gemakkelijk worden opgevangen. (Geuns, van L, Meijknecht, J, 2011)

Aan elke optie zitten haken en ogen. Omdat de opties ook nog afhankelijk zijn van bijvoorbeeld ontwikkelingen in de economie, de crisis of conflicten is niet te zeggen welk product beter is.

Onderdeel 2

Uit de resultaten in de tabel zijn een paar dingen op te maken.

Allereerst valt er uit de resultaten op te maken dat er van het ene product veel meer informatie bekend is dan van het andere product. Zoals al eerder verteld is PEF een product waar de producent enigszins geheimzinnig over doet. Er zijn weinig waarden te verkrijgen. Over rPet is meer bekend, maar over de productie wordt bijvoorbeeld nog niet veel gepubliceerd.

In de resultaten die wel ter beschikking waren is te zien dat er bij de productie van PET granulaten over het algemeen het meeste greenhouse gasses

worden uitgestoten. Logisch is dat bij de productie van de grondstof van rPET dit het minste is. Dit is namelijk al grotendeels gebeurd bij de productie van het PET waaruit het afkomstig is. (Patel, M, Shena, L, Worrellb, E, 2010)

Het minste uitstoot van GHG's heeft vervolgens de productie van PLA granulaat. PEF granulaat ligt dichtbij de PET.

Het niet hernieuwbare energieverbruik ligt bij de productie van het PET granulaat wederom het hoogst. Na de productie van het PET granulaat komt PLA, vervolgens PEF en rPET.

De cijfers voor het hernieuwbare energieverbruik van PEF en rPET ontbreken. Een logisch groot verschil tussen PLA en PET is wel te zien. Waar bij de productie van PET meer gebruik wordt gemaakt van

PET

Pet wordt gemaakt van aardolie, een schaarse grondstof.

PLA

PLA wordt gemaakt uit biomassa. Dit kan bijvoorbeeld mais zijn. Als er meer PLA gemaakt wordt, zal de biomassa moeten toenemen. De biomassa zal vanwege meerdere aspecten moeten toenemen. Door de groeiende wereldbevolking zal er meer biomassa nodig zijn als voeding en we gebruiken biomassa ook voor andere doeleinden gebruiken, zoals het maken van plastics en voor het opwekken van energie.

Nieuwe technieken zullen de groeiende vraag kunnen opvangen.

PEF

Netals PLA wordt PEF gemaakt uit biomassa. Voor de groeiende vraag geldt hetzelfde als bij PLA.

De productie van PEF start met de productie van dextrose verkregen uit mais. Uit 1 ton dextrose kan 0,56 ton PEF worden gemaakt: 0,23 ha landgebruik per ton PEF.

1 ton dextrose = 0,56 ton PEF

0,23 ha land = 1 ton PEF

rPET

De grondstof van rPET is gerecycled PET. Van oude flessen worden vlokken gemaakt en vervolgens korrels. Hier kan uiteindelijk weer een nieuwe fles van gemaakt worden.

Een gevaar van het recyclingproces is het verlies van de zuiverheid van het product, dit kan ten koste gaan van de kwaliteit van het product.

Tabel 6: Grondstoffen
4 onderdelen

niet-hernieuwbare energie, wordt er bij de productie van PLA meer gebruik gemaakt van hernieuwbare energie. Dit is een voordeel van de productie van PLA.

Ook kan alleen de impact van de flesproductie van PET en PLA worden vergeleken. Uit de tabel valt op te maken dat de productie van een PLA fles minder impact heeft dan de productie van een PET fles.

(Gironi, F, Piemonte, V, 2010), (Plastic Europe, 2012), (Eerhart, A, Faaij, A, Patel, M, 2012), (Natureworks LLC, 2012), (Patel, M, Shena, L, Worrellb, E, 2010)

Aan de hand van de aanwezige waarden kan de conclusie worden getrokken dat de productie van een PLA-fles gunstiger is wat betreft milieu impact dan de PET-fles. Van de PEF-fles is te weinig bekend

PET

	granulieten			transport	bottle production
	^{*1}	^{*2}	^{*3}	^{*1}	^{*1}
Global warming kgCO ₂ eq / ton	2,6	2,15	4,4	0,01	0,38
Nonrenewable energy Gjeq / ton	78,7	69	69	77	0,14
Renewable energy Gjeq / ton	1,0	0,8	0,8	-	6,48

PLA

	granulieten		transport	bottle production
	^{*1}	^{*4}	^{*1}	^{*1}
Global warming kgCO ₂ eq / ton	1,1	2,05-0,75	0,01	0,28
Nonrenewable energy Gjeq / ton	53,7	50,18-35,2	0,14	19,59
Renewable energy Gjeq / ton	26,3		-	4,72

PEF

	granulieten	transport	bottle production
	^{*5}		
Global warming kgCO ₂ eq / ton	2,05		
Nonrenewable energy Gjeq / ton	37		
Renewable energy Gjeq / ton			

rPET

	granulieten	transport	bottle production
	^{*6}		
Global warming kgCO ₂ eq / ton	0,96		
Nonrenewable energy Gjeq / ton	13		
Renewable energy Gjeq / ton	-		

Tabel 7: milieu impact

1. (Gironi, F, Piemonte, V, 2010)
2. (Plastic Europe, 2012)
3. (Eerhart, A, Faaij, A, Patel, M, 2012)
4. (Natureworks LLC, 2012)
5. (Eerhart, A, Faaij, A, Patel, M, 2012)
6. (Patel, M, Shena, L, Worrellb, E, 2010)

	PET ^{*1}	PLA ^{*2}	PEF ^{*3}	rPET ^{*4}
Properties of the product				
density	1,38	1,25 g		1,36-1,40
Mechanical Properties				
Young's (tensile) modulus	2,8-3	0,35-3,5		
Compressive modulus	2,76-4,14	2,9		
Shear modulus	0,994-1,49	3		
Bulk modulus	4,94-5,19			
Poisson's ratio	0,381			
Shape factor	5,7			
Tensile strength	55-60	57,8		
Elongation	280-320	3,8		5,4
Fracture toughness	4,75-5,25			
Mechanical loss coefficient	0,00966-0,0145			
Refractive index	1,54	1,35-1,45		
Glass temperature	60-84	55-65	86	72,21
Melting temperature Tm	255	160-170	235	249,29
Water vapor transmission	0,464-0,707		2x beter dan Pet	
Permeability (O2)	1,2-2,77		6x beter dan PET	
CO2 barrier			3x beter dan PET	
Flammability	highly flammable	highly flammable		
LOI	26%	22%		
Durability:				
Water (fresh)	Excellent	PLA absorbeert weinig		
Water (salt)	Excellent	vocht en het droogt snel.		
Weak acid	Acceptable			
Strong acid	Unacceptable			
Weak alkalis	Acceptable			
Strong alkalis	Limited use	PLA absorbeert geen		
Organic solvents	Limited use	licht. Hierdoor verliest het		
O2 permeation	25,33	weinig sterkte in		32,5
UV radiation (sunlight)	Good	vergelijking met		
		petrochemische plastics.		

Tabel 8: eigenschappen plastics

1. Bristogianni, T. 2012

2. Blackburn, R, Davies, J, Farrington, D, 2005

3. Avantium, 2012

4. Hamzehlou, S, Katbab, A, 2007

om uitspraak over te doen. De productie van de r-PET granulaten lijkt voor zover de waarden bekend zijn erg gunstig.

Onderdeel 3

In de tabel zijn de verschillende eigenschappen van de 4 verschillende producten weergegeven. In een gesprek met dhr. Ir. R.P. Koster, materiaal deskundige van de faculteit Industrieel ontwerpen aan de TUDelft, besprak ik dat de eigenschappen redelijk goed gemanipuleerd kunnen worden. Vervolgens heb ik op een symposium dhr. van der Meer van BASF (een chemie concern) horen spreken over het opwaarderen van gerecycleerde plastics door het toevoegen van additieven, waardoor het weer een hoogwaardige toepassing krijgt. De waarden die in de tabel staan kunnen dus worden aangepast, dus ik kan de verschillen waarnemen, maar hier geen keuze voor een product door maken.

(Koster, R, Persoonlijke mededeling, 2012)

Bij alle 4 de producten kunnen we de glastransitie temperatuur waarnemen. De glastemperatuur is de temperatuur waarbij de polymeer, bros wordt bij koeling, of zacht bij verwarming. Een hoge glastransitie temperatuur is aantrekkelijk, want dan is het product beter bestand tegen opwarming. Te zien is dat de T_g van PLA lager ligt dan die van de andere 3. Zo is ook de smeltemperatuur van PLA lager dan dat van de andere plastics. PLA is duidelijk

minder bestand tegen warmte. Opvallend is wel dat PLA beter bestand is tegen licht dan PET, het zal dus minder snel kwaliteit verliezen onder invloed van UV. PLA is ook iets lichter dan PET en rPET, te zien aan de dichtheid van het product.

De gegevens die verstrekt zijn door Avantium, de producent van PEF laten zien dat PEF een stuk beter is dan PET. Deze waarden zijn verder nergens gevonden.

(Bristogianni, T. 2012) (Blackburn, R, Davies, J, Farrington, D, 2005) (Avantium, 2012) (Hamzehlou, S, Katbab, A, 2007)

Onderdeel 4

In de tabel is te zien dat PLA het minst gemakkelijk met andere plastics kan worden gemengd. Dit is lastig als het in het afvalverwerkingssysteem in Nederland terecht komt. Er moet dan een aparte verwerking worden opgezet voor dit product. PLA kan daarentegen wel gecomposteerd worden.

Het voordeel van PEF is, is dat het een nieuw product is, maar wel in het huidige afvalverwerkingssysteem mee kan, doordat het met PET gemengd kan worden. Hierdoor heeft de invoering van het product op de afval verwerking minder invloed.

(Avantium, 2012) (Hamzehlou, S, Katbab, A, 2007)

Zoals tussendoor in dit hoofdstuk al werd genoemd, is de vergelijking die ik hoopte te kunnen te maken een groter onderzoek dan ik had verwacht. Ik

kan niet een advies geven welk soort plastic PET zou kunnen vervangen. Als je kijkt naar de milieu belasting zou je zeggen PLA, maar als je kijkt naar de afval verwerking PEF bijvoorbeeld. En dan heb ik niet eens alle facetten bekeken. Er komen zoveel verschillende factoren kijken bij de keuze voor een product, dat dit niet alleen afhangt van een betere smelttemperatuur of een andere afvalverwerking. Dit is een ontwikkeling die de afgelopen jaren en in

de toekomst zal plaats vinden.

In het volgende hoofdstuk zal ik hier verder op ingaan. En daar zal ik ook aankaarten wat ik denk dat we nu dan wel kunnen doen om wel voor een verbeterde kringloop te zorgen.

In de reflectie is ook geschreven over dit tegenvallende resultaat.

	PET	PLA	PEF	rPET
Recycling				
Mechanisch	ja	ja	ja	ja
Chemisch	ja	ja	ja	ja
Compostering	nee	ja	nee	nee
Mengen met				
PET	x	nee	ja	ja
PLA	nee	x	nee	nee
PEF	ja	nee	x	ja
rPET	ja	nee	ja	x

Tabel 9: recycling mogelijkheden





AANPAK

09

AANPAK

In het begin van dit rapport heb ik omschreven dat ik de kringloop van plastic wil verbeteren en mensen bewust wil maken van het feit dat we ontzettend veel producten consumeren en afval produceren. In het vorige hoofdstuk is de verbetering van het plasticproduct omschreven. Dit hoofdstuk heeft niet tot de conclusie geleid die was verwacht. In dit hoofdstuk zal ik meer ingaan op de maatschappelijke verbetering.

Dit zal ik doen aan de hand van gesprekken die ik heb gehad met verschillende partijen binnen de keten van de plasticringloop. Ik heb gesproken met de afval verwerkers van SITA, ik heb gesproken met Nedvang (de link tussen fabrikanten en afvalverwerkers) en ik ben op symposia geweest met milieudeskundigen, fabrikant, ontwerpers en chemici.

Een aflevering van de keuringsdienst van waarden deed mij beseffen dat nieuwe ontwikkelingen in de plasticindustrie niet meteen een verbetering opleveren. In deze aflevering wordt omschreven hoe de fabrikant, consument en afvalverwerker samen moeten werken. Er wordt onderzocht of een composteerbaar bioplastic-verpakking (zoals vermeld met het keurmerk op de verpakking) ook wel echt wordt gecomposteerd. De keuringsdienst van waarde komt er gedurende deze aflevering achter dat de producten wel composteerbaar zijn, maar het niet wordt gecomposteerd. Dit komt doordat de

composteerder het product hetzelfde behandelt als de andere GFT producten. Het bioplastic heeft echter een langere composteertijd dan bijvoorbeeld groenten en fruit, waardoor het aan het eind van het composteerproces nog steeds plastic is. Hierdoor wordt het uit het compost gefilterd en samen met het andere restafval naar de verbrandingsoven gebracht. (*Keuringsdienst van waarde, 2011*)

Uit dit voorbeeld blijkt dat de fabrikant een goed product heeft gemaakt, maar de composteerder hier niet goed mee omgaat. Ook wordt de consument voorgelogen, want het product wordt niet gecomposteerd, zoals het etiket vermeld. Er moet dus beter worden samengewerkt tussen, in dit geval, de fabrikant van een product en de composteerder. Op het symposium 'Plastic Forever?' waar verschillende partijen uit de keten bij elkaar kwamen, hoopte ik deze samenwerking te zien.

Plastic Forever?

Op 2 november 2012 bezocht ik het Symposium 'Plastic Forever?', waar ik door dhr. Ir. R.P. Koster, materiaal deskundige van de faculteit Industrieel ontwerpen aan de TUDelft, voor was uitgenodigd. Op dit symposium waren sprekers, die iets te maken hadden met een fase uit de plasticketen, aanwezig. Er waren erg interessante sprekers. Dhr. Nijenhuis vertelde over de duurzame ontwikkelingen binnen DSM bijvoorbeeld, er werd gesproken over de invloed van de Plastic Soup in de Oceaan en

bijvoorbeeld dhr. Patel sprak over de LCA van plastic. Ook sprak dhr. Koster van de TUDelft zelf. In zijn praatje behandelde hij onder andere projecten van studenten die op een duurzame manier met plastics om gaan. In zijn verhaal heeft hij ook mijn afstudeerproject belicht.

De invalshoeken van de verschillende presentaties waren voornamelijk gericht op de onderwerpen van de spreker zelf. Ik was van mening dat bijvoorbeeld de chemicus van DSM, de additieven specialist van BASF, de milieudeskundige van Stichting Noordzee allemaal hun eigen onderwerp promoten. Dat de sprekers alleen over zichzelf praatten is niet raar, ze willen hun product verkopen of laten zien dat zij heel duurzaam zijn. De dag werd, naar mijn idee, het interessantst toen de discussie begon. Alle sprekers kwamen op het podium en er was gelegenheid voor vragen en discussie. Doordat dit aan het einde van het symposium plaats vond was er te weinig tijd. Tijdens deze discussie reageerden de sprekers op elkaar. Er werd geconcludeerd dat er schakels uit de keten ontbraken die dag, bijvoorbeeld de afval verwerker. De hoofdconclusie die werd getrokken aan het einde van de dag was dat het oplossen van het plastic probleem niet alleen ligt bij nieuwe technieken, maar dat het gaat om samenwerking en bewustwording. Door de samenwerking te bevorderen zal het in de toekomst bijvoorbeeld zin kunnen hebben een bioplastic op

de markt te brengen, omdat deze dat goed wordt gecomposteerd. Bewustwording kan ervoor zorgen dat iedereen met zijn neus dezelfde kant op staat.

Dat op het symposium werd afgesloten met het creëren van bewustwording was voor mij erg boeiend, aangezien ik hier met mijn ontwerp op inspeel. Dit was een bevestiging voor het doel van mijn gebouw.

‘Design for next life. Towards circular application of plastics and textiles.’

Dat er aan de bewustwording en samenwerking wordt gewerkt blijkt uit het feit dat er in januari alweer een symposium was, georganiseerd door dhr. Koster. Op dit symposium werden voornamelijk duurzame technieken, ideeën en toepassingen gepresenteerd. Ook ik heb hier mijn afstuderen gepresenteerd.

Netals bij het vorige symposium ontbraken er partijen, alweer was de afvalverwerker niet aanwezig, terwijl deze een ontzettend grote rol speelt.

Het probleem is te groot voor mij om op te lossen, maar ik kan wel het volgende concluderen. Het is zaak dat als er nieuwe technieken worden toegepast, in de afvalverwerking, in de productie, in het gebruik et cetera, iedereen hiervan op de hoogte is. Door middel van symposia, promotie projecten of bijvoorbeeld het realiseren van mijn

afstudeerontwerp kan ervoor gezorgd worden dat er steeds meer samen gewerkt gaat worden.

De onwetende consument is op dit soort symposia ook niet aanwezig. Uit mijn onderzoek bij de afvalverwerker en uit de observaties bij de symposia kan ik wel enige verbeteringen voorstellen. Dit wordt daarom besproken in het volgende onderdeel.

3.3 De consument

Om de consument bewust te maken van de producten die het gebruikt en weggooit is het belangrijk dat deze goed wordt voorgelicht door de fabrikant. De consument gelooft namelijk precies wat de fabrikant zegt. Dit is logisch, want de fabrikant heeft verstand van het product dat bij de consument terecht komt. Dit blijkt uit het voorbeeld dat de Keuringsdienst van Waarde geeft in het tv-programma dat al eerder is besproken. De consument doet wat de fabrikant zegt: het afval bij het compostafval gooien, terwijl dit helemaal niet een goede handeling blijkt te zijn. (Aflevering Keuringsdienst van waarde: Bio-afbreekbaar, woensdag 9 maart 2011)

In dit geval blijkt dus dat de consument maar doet wat de fabrikant zegt, zonder te weten dat het hiermee niet goed zit.

De onwetendheid van de consument kan dus problemen opleveren. Dit blijkt ook uit de problemen waar SITA tegenaan loopt, eerder omschreven in hoofdstuk 4. Bij het bezoek aan

de kunststofverwerkingsinstallatie van SITA in Rotterdam bleek dat er een hoop spullen verkeerd worden weggegooid. Rond de kerst bijvoorbeeld worden er veel netten waarin kerstbomen zijn verpakt weggegooid. De gebruikers van het product zijn in de veronderstelling dat het net van plastic is gemaakt. Daardoor wordt het massaal bij het plasticafval gegooid. Doordat deze netten verkeerd in de plasticverwerkers terecht komen, wordt het proces verstoord en kost het sorteren meer tijd dan eigenlijk nodig zou zijn.

Een ander voorbeeld van de onwetendheid van de consument blijkt uit de PET-flesjes die niet helemaal geleegd worden, zoals eerder verteld. Mensen laten een klein laagje water in het flesje staan als ze het weggoeien. Door dit laagje water is het flesje te zwaar voor bijvoorbeeld de windshifters en wordt het aangezien als rest afval. Deze flesjes gaan vervolgens naar de verbrandingsoven.

Uit deze gevallen blijkt dus dat de consument goed moet worden voorgelicht. Op het product moet komen te staan hoe en waar het moet worden weggegooid. Daarbij is van belang dat de fabrikant de informatie die het aan de consument verschaft overlegt met de afval verwerker.

Op het PET-flesje bijvoorbeeld moet komen te staan:

- In welke afvalbak het product moet worden gegooid.
- Hoe het product in de afvalbak moet worden

gegooid: zonder etiket, zonder water, etc.

Daarnaast ben ik van mening dat de consument te weinig weet over het product zelf. Daarom zou het interessant zijn om bijvoorbeeld informatie op de fles te zetten over de grondstoffen en de kringloop van het product. Als de consument geconfronteerd wordt met bijvoorbeeld de vervuiling in de oceanen, denken ze wel twee keer na voordat ze het product in de prullenbak gooien of erger nog, in de berm. Door dit soort informatie op de fles worden ze gestimuleerd om her te gebruiken. In dit geval blijft het natuurlijk lastig dat de fabrikant zoveel mogelijk producten wil verkopen, dus niet wil dat de fles eindelijk wordt hergebruikt.

Dat dit soort kleine dingen al kunnen bijdragen aan bewustwording blijkt uit de volgende gevallen.

Voor mijn ontwerpdracht verzamel ik SPA-flesjes. Deze SPA-flesje wil ik niet kopen, dus ik heb mijn huisgenoten en vrienden gezegd dat als ze een flesje hebben gebruikt hem niet moeten weggooien, maar aan mij moeten geven. Dit doen ze allemaal netjes, want ze vinden het een leuk project en helpen op deze manier en handje mee. Hierdoor belanden al deze flesjes niet in de afvalbak, maar krijgen ze een tweede toepassing. Mensen worden dus gestimuleerd door een actie om mee te werken en dat werkt, want bij ons thuis liggen er geen flesjes meer in de afval bak.

Mensen zijn ook gevoelig voor schuldgevoel. Tijdens de uren die ik met mijn mede-afstudeerders door breng op de TU wordt er heel veel koffie gedronken, uit papieren bekertjes. Het is de vraag of uit een mok drinken zuiniger is, in verband met afwaswater et cetera. Maar het gebruiken van een mok voelt beter, dus toen er één persoon uit een mok koffie ging drinken volgende er snel meer. Nu mijn mok kapot is gevallen en ik aan het eind van de dag een stapel bekertjes weggooi, voel ik me niet goed. Ik ben van mening dat dit schuldgevoel best een beetje mag worden uitgedaagd. Door middel van een confronterende tekst bijvoorbeeld (zoals er op een sigarettenpakje ook een confronterende tekst staat), waardoor ik denk, volgende keer maar weer uit een mok drinken.

Er zijn al grootschalige projecten, zoals Plastic Heroes bijvoorbeeld, die ervoor moeten zorgen dat de consument weet hoe te handelen.

Om een voorbeeld te geven van hoe de consument beter zou kunnen worden geholpen heb ik het etiket van een SPA-flesje opnieuw vormgegeven, met daarop informatie die volgens mij nu nog ontbreekt.

Op het etiket dat ik heb her-ontworpen is te zien dat ik groots heb aangegeven wat de consument moet doen met het product moet doen na gebruik. Daarnaast staat er op het etiket aangegeven waar het product van gemaakt is. Ook staat er een

confronterende tekst op die ervoor moet zorgen dat de consument 2x nadenkt bij het kopen van een volgend flesje, terwijl de oude nog hergebruikt kan worden.

om gaan met spullen. Zoals in het begint is verteld heeft mijn ontwerp ook dit doel. Hoe ik dit doe is te lezen in het volgende hoofdstuk.

Met behulp van dit soort ingrepen kan getracht worden mensen bewuster te maken van het zuinig



Flesje leeg? Vul 'm nog een keer!
 of
 giet het flesje goed leeg → trek het etiket los
 en gooi dit bij het papierafval → gooi het flesje
 bij het plastic afval



Afbeelding 43: Het verbeterde etiket



GEBOUW & FLESJE

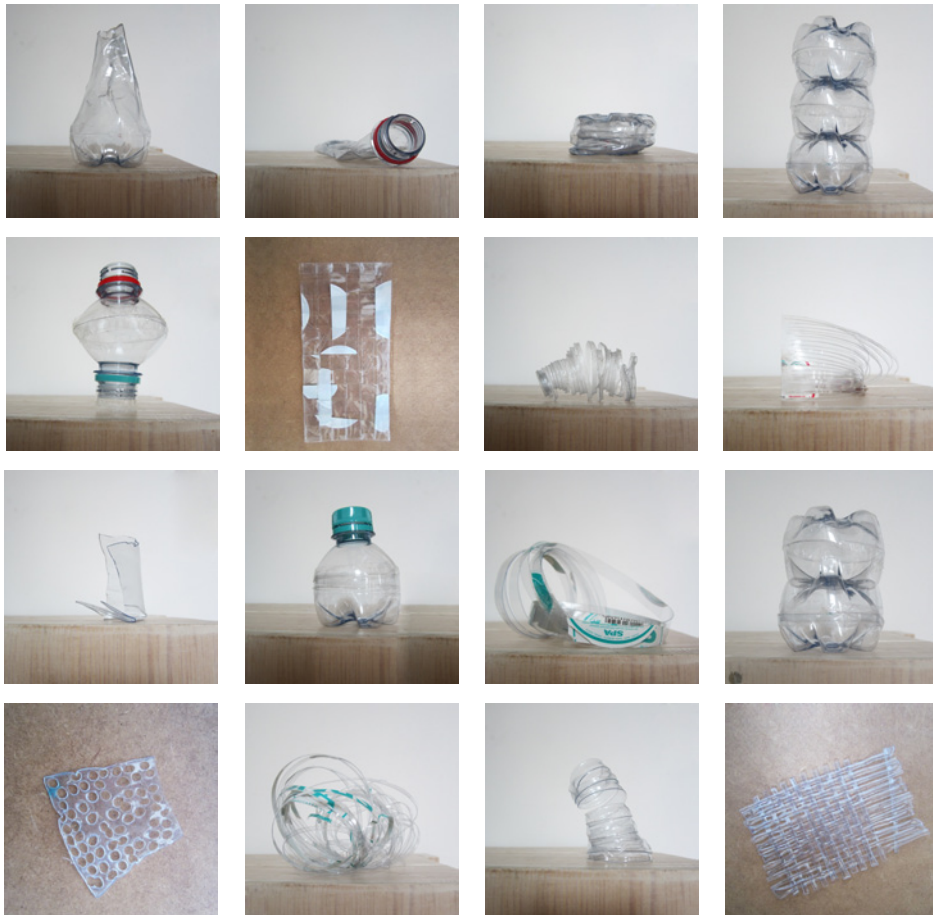
10

Afbeelding 44

GEBOUW & FLESJE

In het begin van mijn rapport beschrijf ik dat ik met mijn gebouw mensen bewust wil maken van de hoeveelheid producten die wij gebruiken en met hetzelfde gemak weer weggoaien. Tijdens mijn onderzoek ben ik opzoek gegaan naar een product waar ik een verbeteringsadvies over kon uitbrengen,

dit werd het PET-flesje. Het verbeteringsadvies kwam echter terecht bij bewustwording en samenwerking, niet bij een precieze verbetering van de kringloop. Dit is niet het gewenste resultaat, maar het sluit wel goed aan op mijn ontwerp.



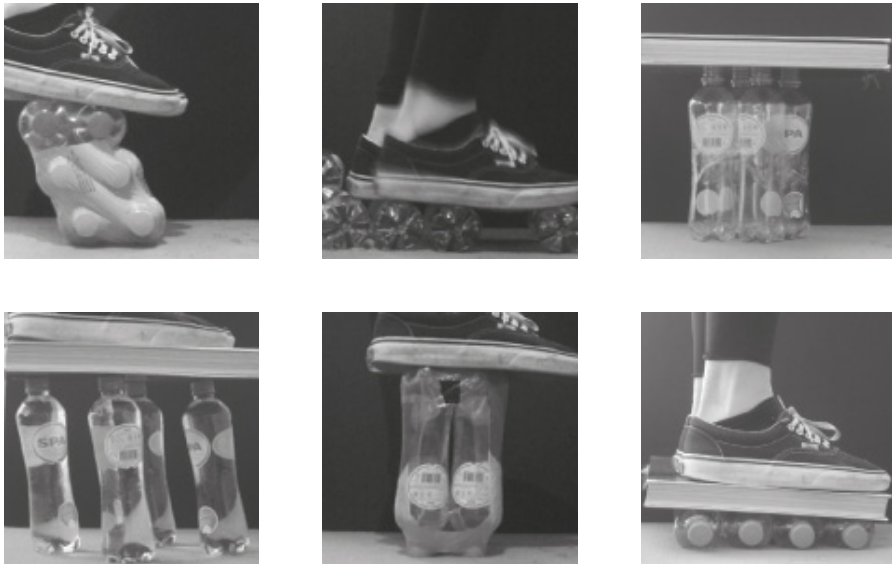
Afbeelding 45: fles testen

De functie van het gebouw dat ik heb ontworpen is een paviljoen. Een paviljoen dat op het water drijft en door zijn afmeting over alle Nederlandse wateren kan worden vervoerd. Op deze manier kan het allemaal verschillende steden aan doen en een grote publiek bereiken.

Als product om mee te ontwerpen, heb ik aan de hand van de afvalanalyse gekozen voor het PET-flesje. Ik ben vervolgens gaan onderzoeken hoe ik het PET-flesje in zijn geheel kan inzetten in een gebouw en het hierbij een functie te laten hebben. Als begin standpunt heb ik gekozen voor het



Afbeelding 46: Fles testen



Afbeelding 47: fles testen

toepassen van het flesje in zijn volledige staat.

Om enig idee te geven van hoe het proces zich heeft ontwikkeld, in het volgende een korte samenvatting van de zoektocht naar de toepassing van het flesje.

Om wel enige kennis van het product op te doen ben ik gaan 'spelen' met het product. Dit heb ik gedaan door middel van vlechten met gesneden stroken PET-fles, ik heb het flesje onder het strijkijzer gehouden en ik heb er bijvoorbeeld een spiraal van geknipt. Tijdens dit spelen zag ik bijvoorbeeld dat het gedeelte van de fles dat door blowmolding is gevormd erg snel krimpt bij verwarming. Terwijl dit niet gebeurt met het voetje en op de plek van het

schroefdraad. Deze twee onderdelen zijn dan ook een sterk gedeelte van de fles. Dit zal ook blijken uit latere testen.

Na het bewerken van de fles zelf ben ik gaan kijken naar de eigenschappen van de fles in relatie met gewicht. Dit heb ik gedaan door kracht uit te oefenen op de fles, terwijl deze zich in verschillende opstellingen bevond. Hieruit leidde ik af dat het product niet zonder hulpmiddel een stevige constructie zou vormen.

Met hulpmiddelen zoals touw, plastic, hout en lijm bijvoorbeeld ben ik gaan proberen de flesjes bij elkaar te binden en een transparante constructie

pluspunten

- + er kan 'iets' in de fles
- + de fles is transparant
- + de gesloten fles is sterk, afhankelijk van de vulling
- + de hals en het voetstuk zijn van minder uitgerekt plastic, dus sterker dan de rest van de fles
 - + waterdicht
 - + rond
- + heeft een stabiel voetstuk
- + het schroefdraad van de hals is erg sterk



minpunten

- rond en rolt
 - indeukbaar
 - niet stabiel zonder hulpstuk
 - de flesjes sluiten niet op elkaar aan als ze recht naast elkaar staan
- een kleine aanpassing aan de fles waardoor de flesjes aan elkaar haken
- vullen en afsluiten
- ten opzichte van elkaar draaien

te vormen. Ik wilde een constructie die als hoofdonderdeel uit de flesjes bestond. Dit was een lastige klus. Er waren een hoop eigenschappen van de fles die me tegen zaten. Daarom ben ik op dit punt alleen eigenschappen van de fles waar ik mee te maken kreeg op een rij gaan zetten. Welke eigenschap kon ik eigenlijk wel gebruiken en welke niet? Te zien in het schema.

Ik heb toen besloten om aan het werk te gaan met de pluspunten en niet te blijven worstelen met de minpunten. Ik heb er daarom voor gekozen om een stevig hulpmateriaal te zoeken dat de fles zou insluiten, waardoor het niet meer kon rollen en niet op elkaar gestapeld hoefde te worden. De transparantie van de fles, de enige kwaliteit die mij nooit in de weg stond, wilde ik dan juist gebruiken. Ik heb vervolgens het flesje in beton gestort.

In het beton kan het flesje geen kant op. Het zit volledig vast. Licht kan wel door het flesje heen vallen. De slechte eigenschappen worden op deze manier uit de weggegaan, terwijl de goede eigenschappen worden gebruikt.

Mijn gebouw is opgebouwd uit beton, waarbij de flesjes zorgen voor de licht inval in het gebouw. Ook werkt het andersom, als er 's avonds licht brand in mijn gebouw, dan zal dit van buiten te zien zijn door de PET-flesjes.

Door de flesjes op deze manier het beeld te laten bepalen van mijn gebouw en ze een grote rol te laten spelen, wordt mijn gebouw bijzonder. Het zal bezoekers en voorbijgangers opvallen dat dit paviljoen niet gebouwd is met een normaal bouw materiaal. Op deze manier wil ik ze laten zien dat het flesje een kostbaar materiaal is, waar heel veel mee kan. Uiteindelijk hoop ik ermee te bereiken dat mensen daardoor 2x nadenken voordat ze iets kopen of klakkeloos weggooien. In het gebouw is vervolgens ook ruimte voor een kleine bijeenkomst of voor een plastic-symposium bijvoorbeeld.

In sommige flesjes bevindt zich een LED-lichtje. Dit LED-lichtje is in de dop geplaatst. Hierdoor kan er op de gevel een boodschap, tekst of figuur worden geprojecteerd. De energie voor de LED-lichtjes wordt opgewekt door een tredmolen waar kinderen in kunnen lopen, rennen of spelen. Een accu slaat de energie op, zodat het als het buiten donker is kan worden gebruikt.

Hoe duurzaam is het gebouw?

Omdat mijn gebouw een paviljoen is waar mensen in en uit lopen zullen ze voornamelijk hun jas aanhouden en zal het klimaat in het gebouw niet worden geregeld. Dit kost dus geen energie. De LED-lichtjes kosten wel energie, maar die worden van energie voorzien door de tredmolen in het uiteinde van het gebouw.

Er zijn heel weinig verschillende soort materialen gebruikt in mijn gebouw.

Het hele gebouw bestaat uit beton, wapening en waterflesje. Dit zijn de hoofdmaterialen. Daarnaast is er nog een houten vloer in het gebouw.

Het beton dat is gekozen is een duurzame soort. Het is het duurzame beton van ORCEM. Hier wordt ECO2cem (gemalen Hoogovengranulaat) toegepast. Door het toepassen van hoogovenslakken en vliegas in hoogovencement is er een gemiddelde CO₂-reductie van 65% ten opzichte van Portlandcement. Het Hoogovengranulaat zorgt er ook voor dat het beton een dichtere structuur heeft. Hierdoor kunnen er minder gemakkelijk stoffen het beton in dringen die bijvoorbeeld de wapening aantasten. Er is minder chlorideindringing en het is beter bestand tegen sulfaat (dat zich voornamelijk in water bevindt). (ORCEM, 2013), (MVO, 2013)

Doordat mijn gebouw niet op een bepaalde plek gebouwd hoeft te worden kunnen energiekosten die normaal nodig zijn voor transport, laag worden gehouden. De enige voorwaarde is dat het gebouw uiteindelijk op het water komt te drijven.

Als de gebruiksfase van het gebouw erop zit kunnen de materialen die zijn gebruikt worden hergebruikt. De hoofdconstructie bestaat uit beton, wapening en flesjes. Als dit van elkaar gescheiden wordt, kan het

worden hergebruikt.

Voor het scheiden van het beton zijn er verschillende methodes:

Het beton kan op basis van de ADR-technologie (Advanced Dry Recovery) worden gereinigd, gescheiden, verbrokken en vermalen en als recyclingbeton worden hergebruikt in een nieuw gebouw. (*Stedenbouw & architectuur, 2012*)

Een nieuwe toepassing, elektrodynamische fragmentatie, kan er echter voor zorgen dat het beton op een hogere kwaliteit wordt gescheiden in grind, zand en calcië.

Dit is een oude Russische methode. Er worden onderwater stroomschoten door het beton gestuurd. Binnen het beton verplaatst de bliksem zich tussen de grenzen van het grind en het cement, waardoor het wordt gescheiden. (*Technisch Weekblad, 2013*)

De flesjes moeten echter ook nog van het beton worden gescheiden. Dit gebeurt door het vermalen het vermalen beton, de wapening en de flesjes in het water te leggen. De PET-delen zullen gaan drijven. Hierdoor kan het gescheiden worden van het beton en worden gerecycled.

Doordat het gebouw uit weinig verschillende materialen bestaat, die gerecycled kunnen worden en zelfvoorzienend is van energie, ontstaat er een duurzaam gebouw. Een duurzaam gebouw dat mensen moet leren over duurzaamheid.



CONCLUSIE

11

NATURELLE
GERAALWATER
RAL WATER

CONCLUSIE

In de inleiding werd de volgende onderzoeksvraag omschreven:

Hoe kan een product dat wij dagelijks gebruiken, dat erg herkenbaar is voor de consument en vraagt om verbetering worden verbeterd? En hoe kan dit product vervolgens worden hergebruikt?

Met als gewenste resultaat van het een onderzoek een analyse waaruit blijkt welk product interessant is om te onderzoeken. Over dit product wordt een advies uitgebracht. De vlakken waarop het kan worden verbeterd zullen worden belicht. Uiteindelijk zal het product worden toegepast in het gebouw.

Aan de hand van een analyse naar afval in Nederland ben ik opzoek gegaan naar een product. Ik heb me gefocust op een product uit het huishoudelijke afval, omdat ik een product wilde vinden dat de consument aanspreekt, een product dat ze dagelijks gebruiken. Uit de afval analyse bleek het kunststof afval een stroom te zijn die minder wordt hergebruikt dan de andere stromen, zoals glas en papier bijvoorbeeld. Kunststof werd daarom de stroom waar ik verder op wilde inzoomen. Ik ben opzoek gegaan naar een product binnen deze afval stroom om te verbeteren. Gesprekken met NEDVANG en SITA hebben meer bekend gemaakt over het in zijn werk gaan van de kunststofafvalstroom. Een bezoek aan de kunststofverwerker heeft uiteindelijk geleid tot de selectie van een product.

Bij de kunststofafvalverwerker worden 5 grote groepen plastics gescheiden. Daarnaast is er een grote stroom waarin zich een mix van verschillende plastics bevindt. In deze stroom bevinden zich producten die bijvoorbeeld uit 2 soorten plastic bestaan. In de cijfers, waargenomen door SITA, van de hoeveelheden en soorten plastics in deze stromen is te zien dat er heel veel PET in de mix-stroom aanwezig is.

Door verschillende redenen belandt het PET in deze stroom, met als meest voorkomende product het PET-flesje. De reden dat deze flesjes in de mix-stroom terecht komen komt veelal door de consument die water in het flesje laat zitten of door de fabrikant die een te grote of gekleurde sticker op het flesje plakt. Het is de onwetendheid van de fabrikant of de consument die ervoor zorgt dat het flesje in de verkeerde stroom terecht komt. De mix-stroom wordt een verkeerde stroom genoemd omdat er bij recycling een mix van verschillende plastics zal ontstaan waardoor het product zijn kwaliteit verliest, er vindt downcycling plaats.

Het PET-flesje is gekozen als product dat verbeterd moet worden. Daarvoor is de kringloop van het product bekeken. Uit een verdieping in verschillende plastics is gebleken dat alle soorten plastics verschillende eigenschappen bezitten. Het is belangrijk dat er bij de verbetering van het product wordt gekeken naar de eigenschappen van

PET, want deze zijn belangrijk om te behouden.

De groeiende vraag naar plastics botst met de steeds schaarser wordende aanwezigheid van aardolie, de grondstof van plastic. Als verbetering van het product zou een andere grondstof aannemelijk zijn, waardoor het niet meer afhankelijk is van de olieschaarste, peakoil of stijgende olieprijs. In plaats van aardolie zou gebruik gemaakt kunnen worden van een grondstof die steeds kan worden aangevuld, zoals mais bijvoorbeeld. De plastics die hiervan gemaakt worden, worden bioplastics genoemd. Verdieping in de bioplastics wees erop dat Poly Lactic Acid misschien wel een geschikt vervanger voor PET was. Ook Poly Ethylene Furanoaat kwam in aanmerking. Deze hebben eigenschappen die overeenkomen met PET. Een andere manier om het gebruik van aardolie voor de productie van PET terug te dringen is door middel van het gebruik van volledig gerecyclede PET-flesjes (rPET).

In een vergelijking tussen de vier producten PET, PEF, PLA en rPET zij de verschillende eigenschappen op een rijtje gezet. De verschillende onderdelen van de kringloop zijn met elkaar vergeleken.

In deze vergelijking waren echter heel veel variabelen aanwezig, waardoor er geen duidelijk resultaat uit de vergelijking kwam. Van niet alle plastics die zijn vergeleken zijn genoeg waarden

bekend om conclusies te kunnen trekken. Maar ook kunnen er heel veel waarden beïnvloed worden, additieven kunnen ervoor zorgen dat een plastic betere eigenschappen krijgt. Dit maakt het heel erg moeilijk om te zeggen wat beter is.

Gedurende dit onderzoek kwam ik in contact met steeds meer verschillende partijen uit de keten. Daarbij bleek dat het proces een stuk complexer was dan verwacht. Er zitten ontzettend veel partijen in de keten en er zijn zoveel verschillende dingen van invloed op het proces. Een advies uitbrengen was daardoor voor mij niet mogelijk.

Want een verbetering kan alleen succes hebben als alle partijen uit de keten er aan meewerken. Het probleem is dat deze keten uit een enorme groep mensen bestaat, deskundigen, maar ook de onwetende consument. Samen moeten al deze partijen werken aan een verbeterd product.

Om al deze mensen te laten meewerken aan het verbeteren van een product moeten ze gestimuleerd worden. Mensen moeten bewust worden gemaakt van het feit dat ze zorgvuldig met spullen moeten omgaan. Pas dan kunnen veranderingen en verbeteringen echt een succes worden op grote schaal.

Om dit te bereiken zijn er projecten nodig die ervoor zorgen dat alle neuzen dezelfde kant op komen

te staan. Mijn ontwerp zou een dergelijk project kunnen zijn waar mensen bewuster worden van het waardevolle product.

Om onze consumptie maatschappij te verbeteren, bewuster met onze spullen om willen gaan, moeten we samen werken en leren van elkaar. Informatie moeten we met elkaar delen en doorgeven, als 'a message in a bottle'.





REFLECTIE

12

REFLECTIE

Toen ik aan mijn afstudeerproject begon was ik nog erg zoekende naar wat ik wilde doen. Mijn doel was in ieder geval met mijn ontwerpproject mensen bewust maken van de consumptiemaatschappij waar wij in leven. Daarvoor wilde ik opzoek gaan naar een product dat ik kon toepassen in mijn gebouw. Een product waar ik ook een advies over uit kon brengen. Hoe kon ik deze kringloop verbeteren?

Doordat ik niet precies wist wat ik met het product dat ik zocht wilde gaan doen heb ik erg lang gezocht naar een manier om het product dat ik had gekozen kon toepassen in mijn gebouw. Ik had gekozen voor het PET-flesje omdat uit mijn analyse bleek dat er heel veel PET-flesjes verloren gaan, terwijl dit niet nodig is.

Ik ben erg lang bezig geweest met het zoeken naar verbeteringen. Ik heb erg lang geprobeerd me te verdiepen in scheikundige materie, waar ik niet altijd helemaal uitkwam. Dit was erg lastig, waardoor ik hier lang over deed. Ik kwam er gedurende het project achter dat een advies uitbrengen over de productie of grondstoffen voor mij onmogelijk was om te doen. Het onderzoek was te breed ik heb teveel onderwerpen willen belichten, waardoor het soms op de oppervlakte is gebleven.

Dit proces duurde lang. Dit heeft echter ook een voordeel gehad. Hierdoor heb ik veel gesproken met mensen uit de sector en kwam ik erachter dat

de verbeteringen waar ik naar opzoek was niet de belangrijkste zijn en ook niet aan mij waren om uit te zoeken. Het was veel te complex en ik had niet de expertise om dit op te lossen.

Een verbetering waar ik wel aan kon bijdragen was de bewustwording. Dit bleek ook uit het feit dat mijn project 2x op een symposium is gepresenteerd. 1x door mij zelf, een andere keer door Rolf Koster.

Omdat mijn onderzoek niet opleverde wat ik had gehoopt heb ik het een tijd een grote kluit gevonden. De bevestiging voor mij dat het wel een succes was, was op het symposium 'Design for Next Life' waar ik mijn project presenteerde en mensen geïnteresseerd en belangstellend waren.

Ondanks dat ik lang bezig geweest ben met een onderzoek dat niet meer helemaal in mijn straatje paste, ben ik toch blij met het resultaat, dat wel bij mij en mijn afstudeerontwerp past.



BIBLIOGRAFIE

13

BIBLIOGRAFIE

- Aguado, J, Serrano, D, 1999, *Feedstock recycling of plastic wastes*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge
- Agentschap NL, 2011, *Nederlands afval in cijfers, 2000-2008*, Ministerie van Infrastructuur en milieu
- Allsopp, M, Costne, P, Johnston, P, 2001, *Incineration and human health*, Greenpeace Research Laboratories, University of Exeter, UK.
- Aurasb, M, Lima, L, Rubinob, M, 2008, *Processing technologies for poly(lactic acid)*, *Progress in Polymer Science* 33 (2008) 820–852
- Awaja, F, Pavel, D, 2005, *Recycling of PET*, *European Polymer Journal* 41 (2005) 1453–1477, RMIT University, Australia
- Bezdek, R, Hirsch, R, Wendling, R, 2005, *Peaking of world oil production: impact, mitigation & risk management*, New York Government, New York
- Blackburn, R, Davies, J, Farrington, D, 2005, *Poly(lactic acid) fibers*, *Biodegradable and Sustainable Fibres*, Chapter 6, CRC Press.
- Bolck, C, Harmsen, P, Molenveld, K, Ravenstijn, J, 2012, *Biobased Plastics 2012*, Wageningen UR Food & Biobased Research, Wageningen
- Bos, H, Conijn, S, Corre, W, Meesters, K, Patel, M, 2011, *Duurzaamheid van biobased producten, Energiegebruik en broeikasgasemissie van producten met suikers als grondstof*, Wageningen UR Food & Biobased Research, Wageningen
- Bristogianni, T. 2012, *Composite Structural Module out of srPP Facings and a PET-Bottle Core*, TUDelft, Delft
- Bulk van den, J, Kamphorst, F, Koppelaar, R, Meerkerk, B, Polder, P, 2008, *Olieschaarstebeleid*, Stichting Peakoil Nederland, Amsterdam
- Cooly, H, Gleick, P, 2009, *Energy implications of bottled water*, Pacific Institute, Oakland, USA
- Dogan, S, 2008, *Life Cycle Assessment of PET bottle Thesis*, Graduate School of Natural and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, Turkije
- Erhart, A, Faaij, A, Patel, M, 2012, *Replacing fossil based PET with biobased PEF; process analysis, energy and GHG balance*, *Energy Environ. Sci.*, 2012, 5, 6407
- Jager, J, 1994, *De PET-fles*, Akzo Nobel Central Research, Arnhem
- Geuns, van L, Meijknecht, J, 2011, *Aardolie, Economisch en maatschappelijk smeermiddel voor Nederland*. Clingendael Instituut, Den Haag
- Gironi, F, Piemonte, V, 2010, *Life Cycle Assessment of Polylactic Acid and Polyethylene Terephthalate Bottles for Drinking Water*, *Environmental Progress & Sustainable Energy* (Vol.30, No.3) DOI 10.1002/ep
- Hamzehlou, S, Katbab, A, 2007, *Bottle-to-Bottle Recycling of PET Via Nanostructure*, Polymer Engineering Faculty, AmirKabir University of Technology, Tehran, Iran
- Koppelaar, R, Ven, van der, D, 2009, *Schoon en zuinig, maar ook fossielarm genoeg? De invloed van het Nederlandse klimaatbeleid op het fossiel brandstofgebruik tot aan 2020*, *Stikting Peakoil Nederland*, Amsterdam
- Koster, R, 2012, *designing & manufacturing plastic products*, TUDelft faculty of design engineering, Delft
- Leonard, A, 2010, *The story of stuff*, Free Press, New York
- Patel, M, Shena, L, Worrellb, E, 2010, *Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling*, *Resources, Conservation and Recycling* 55 (2010) 34–52
- Plastic Europe, 2012, *Plastic Packaging, Born to protect*, PlasticsEurope AISBL, Brussels
- Plastic Europe, 2010, *Plastics – the Facts 2010, An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2009*, PlasticsEurope AISBL, Brussels
- Stichting Kringloop Blik, 2007, *Blok dossier, feiten en wetenswaardigheden over de kringloop van blik*, Stichting Kringloop Blik, Zoetermeer

Vegt, A.K. van der, 1999, Polymeren: van keten tot kunststof, Delft University Press, Delft

VROM inspectie, 2011, Kunststof verpakingsafval uit huishoudens in beeld, VROM inspectie, Den Haag

Wilschut, J, 2011, Nieuwe installatie in de Rotterdamse Waalhaven, Recycling Magazine oktober 2011

Zundert, M, 2006, Chemische feitelijkheden, Van ruwe olie tot glanzende fles, Bèta Publishers, Leidschendam

Gironi, F, Piemonte, V, 2010, Life Cycle Assessment of Polylactic Acid and Polyethylene Terephthalate Bottles for Drinking Water, Environmental Progress & Sustainable Energy (Vol.30, No.3) DOI 10.1002/ep

Websites:

Avantium, PEF Bottels [Online] Beschikbaar op: <<http://avantium.com/yxy/products-applications/PEF-bottles.html>> [Geraadpleegd in juni 2012]

Biopolymeren [Online] Beschikbaar op: <http://biopolymeren.blogspot.nl/2011/11/pla-poly-lactid-acid_10.html> [Geraadpleegd in november 2012]

British Plastic Federation [Online] Beschikbaar op: <http://www.bpf.co.uk/Press/Oil_Consumption.aspx> [Geraadpleegd in juni 2012]

Milieu focus, afval verbranding [Online] Beschikbaar op: <<http://www.milieufocus.nl/factsheets/afvalverbranding.html>> [Geraadpleegd in april 2012]

MVO Nederland [Online] Beschikbaar op: <http://www.mvonderland.nl/dossier/2/18/dossier_description/4428> [Geraadpleegd in februari 2013]

Nature Works LLC, Composting [Online] Beschikbaar op: <<http://www.natureworksllc.com/the-ingeo-journey/end-of-life-options/composting.aspx>> [Geraadpleegd in januari 2013]

Nature Works LLC, ECO-PROFILE [Online] Beschikbaar op: <<http://www.natureworksllc.com/the-ingeo-journey/Eco-Profile-and-LCA/Eco-Profile.aspx#ghg>> [Geraadpleegd in januari 2012]

Nedvang [Online] Beschikbaar op: <www.nedvang.nl> [Geraadpleegd in maart 2012]

NPR [Online] Beschikbaar op: <<http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=114331762>> [Geraadpleegd in oktober 2012]

ORCEM [Online] Beschikbaar op: <<http://www.orcem.nl/sulfaatbestandheid.html>> [Geraadpleegd in februari 2013]

Plastic Europe, how plastic is made [Online] Beschikbaar op: <<http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/how-plastic-is-made.aspx>> [Geraadpleegd in juni 2012]

PRN, Papier recycling Nederland [Online] Beschikbaar op: <www.prn.nl> [Geraadpleegd in april 2012]

Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu, Life Cycle Assessment (LCA) [Online] Beschikbaar op: <http://www.rivm.nl/Onderwerpen/Onderwerpen/L/Life_Cycle_Assessment_LCA/LCA/Waarvoor_wordt_LCA_gebruikt> [Geraadpleegd in november 2012]

SITA [Online] Beschikbaar op: <<http://www.sita.nl/SITANederland.html>> [Geraadpleegd in april 2012]

Stedenbouw & architectuur [Online] Beschikbaar op: <<http://www.stedebouwarchitectuur.nl/Uploads/2012/11/Binder6.pdf>> [Geraadpleegd in maart 2013]

Stichting Kringloop Glas [Online] Beschikbaar op: <www.kringloopglas.nl> [Geraadpleegd in maart 2012]

Stichting Peakoil Nederland [Online] Beschikbaar op: <<http://www.peakoil.nl/wat-is-peakoil>> [Geraadpleegd in september 2012]

Stop de over, bezwaarschrift tegen verbrandingsovens [Online] Beschikbaar op: <<http://www.stopdeoven.be/afvalverbranding/meer-informatie/research>> [Geraadpleegd in april 2012]

Technische Weekblad, Bliksemafbraak van beton [Online] Beschikbaar op: <<http://www.technischweekblad.nl/dossiers.240517.lynkx>> [Geraadpleegd in maart 2013]

The Pacific Institute [Online] Beschikbaar op: <http://www.pacinst.org/topics/water_and_sustainability/>

bottled_water/bottled_water_and_energy.html>
[Geraadpleegd in september 2012]

The Plastic Portal [Online] Beschikbaar op: <<http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability/eco-profiles/browse-by-flowchart.aspx?LCAID=r55>> [Geraadpleegd in november 2012]

Treehugger [Online] Beschikbaar op: <<http://www.treehugger.com/green-food/a-world-of-reasons-to-ditch-bottled-water.html>> [Geraadpleegd in mei 2012]

US Energy Information Administration [Online] Beschikbaar op: <<http://205.254.135.7/tools/faqs/faq.cfm?id=34&t=6>> [Geraadpleegd in september 2012]

Vereniging afvalbedrijven [Online] Beschikbaar op: <www.gft-afval.nl> [Geraadpleegd in mei 2012]

Verpakkings management Nederland, Systeemkosten PET-flesjes lager dan bij 'grote broer' [Online] Beschikbaar op: <<http://www.verpakkingsmanagement.nl/>> [Geraadpleegd in september 2012]

Water World Trib-e, 2012 [Online] Beschikbaar op: <<http://www.thetrib-e.com/water-world-trib-e/did-you-know>> [Geraadpleegd in oktober 2012]

Afbeeldingen:

Afbeelding 1: bron: <http://e-wasteregulation.blogspot.nl/>

Afbeelding 2: <http://www.rnw.nl/data/files/images/lead/070510%20vuilnis%20%20Amsterdam%20ANP-2465233.jpg>

Afbeelding 3: www.eeklo.be

Afbeelding 4: <http://members.multimania.nl/blikopmilieu/ftp.members.lycos.nl/blikopmilieu/P1010048.gif>

Afbeelding 5: http://www.rmn.nl/content/images/stories/fotos/papier_nieuwegein_bewerkt.jpg

Afbeelding 6: <http://www.utne.com/uploadedImages/utne/articles/issues/2012-11-01/Plastic-Bottles-Trash.jpg>

Afbeelding 7: (Agentschap NL, 2012)

Afbeelding 8: <http://image.made-in-china.com/2f0j00revElRuaOMkZ/Pet-Bottle-Flake.jpg>

Afbeelding 9: <http://image.made-in-china.com/2f0j00njiETSsmSRoA/EPS-Expandable-Polystyrene-Special-Grade-.jpg> polystyrene

Afbeelding 10: <http://truwellpipes.com/gifs/s3.jpg>

Afbeelding 11: <http://www.vanderwindt.com/site/images/1271/algemeen-verpakkingsfolies2.jpg>

Afbeelding 12: <http://www.novagreenbloempotten.nl/upload/pure-round-fuchsia-jpg%20100%20cm.jpg>

Afbeelding 13: Plastic Europe

Afbeelding 14: Plastic Europe

Afbeelding 16: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Schoonebeek_Jaknikker2.jpg

Afbeelding 17: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Olieraffinage>

Afbeelding 18: Productieprognose ASPO Internationaal (2007) en vraagprognose Internationaal Energie Agentschap (2006) (Stichting Peakoil Nederland) <http://www.peakoil.nl/wat-is-peakoil/>

Afbeelding 19: Wereldproductie aardolie + olieprijs (Peakoil, 2009)

Afbeelding 20: <http://www.flickr.com/photos/51426000@N07/5692360779/sizes/l/in/photostream/>

Afbeelding 21: Nedvang, 2012

Afbeeldingen 22-24: SITA http://www.flickr.com/photos/sitanl/with/6102950488/#photo_6102950488

Afbeelding 26: <http://e-wasteregulation.blogspot.nl/>

Afbeelding 28: Lifecycle bottle grade PET (Dogan, S, 2008)

Afbeelding 29: <http://www.recyclechina.com/scrapoffers/leadsList---bs---t---c---ABS.htm>

Afbeelding 30: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PETling.jpg>

Afbeelding 31: <http://blowmolding.org/Apex%20Images/All%20stages.jpg>

Afbeelding 32: <http://www.plasticstoday.com/sites/default/files/Recycled-plastic.jpg>

Afbeelding 33: http://1.bp.blogspot.com/_KIKLACWsk_o/TRun4dKyhtI/AAAAAAAAAFJY/AxL8Hk_jBYk/s1600/Cornfield.jpg

Afbeelding 34: <http://www.kodaionline.com/Images/Agriculture/Potato.jpg>

Afbeelding 35: <http://cdn.gunaxin.com/wp-content/uploads/2012/01/corn.jpg>

Afbeelding 37: <http://avantium.com/yxy/products-applications/PEF-bottles.html>

Afbeelding 42: <http://designkebab.com/wp-content/uploads/2012/10/CSS-Website-21-Plastic-Heroes.png>





