



Biopolymeren in geotextiel

PIDON-project Biobased Economy & Technology Oost Nederland

Deze uitgave is (mede) mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage van de Provincie Overijssel, de Provincie Gelderland en het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



Kom verder. Saxion.

Oost-Nederland zet een stap voorwaarts richting biobased producten. Elf bedrijven, drie universiteiten en Saxion ontwikkelen samen biobased pigmenten, verven, kwasten en garens. Over drie jaar worden concrete productconcepten opgeleverd die in de jaren erna de markt kunnen gaan veroveren. Biobased is de verzamelnaam voor producten van natuurlijke grondstoffen, die biologisch afbreekbaar zijn en onschadelijk voor mens en milieu. Volgens kenners heeft biobased de toekomst, al bevinden veel biobased producten zich nog in de onderzoeksfase. Nederland streeft naar een voortrekkersrol in de ontwikkeling van biobased technologie met Nederlandse bedrijven als marktleiders. De vijftien samenwerkende partijen in Oost-Nederland willen in drie jaar tijd van conceptideeën naar concrete producten. Gezamenlijk steken de betrokken partijen 1,1 miljoen euro in het project 'Biobased Economy & Technology Oost Nederland' en krijgen daar bovenop ruim 1,1 miljoen euro subsidie als cofinanciering van het rijk en de provincies Gelderland en Overijssel. De nieuwe biobased producten kunnen in 2015 jaarlijks 40 miljoen euro aan omzet opleveren. Het project 'Biobased Economy & Technology Oost Nederland' focust op vier toepassingsgebieden:

- Verven: ontwikkelen van natuurlijke verven op basis van biobased materialen.
- Kwasten: ontwikkelen van verfkwasten uit biobased garens.
- Speelgoed: gebruik van biobased pigmenten en verpakkingen in de speelgoedindustrie.
- Geotextiel: ontwikkelen van biobased afbreekbare garens voor geotextiel dat wordt ingezet voor onder andere dijkopbouw en -versteviging.

Een Pidon-project (= Pieken in de Delta Oost Nederland) uitgevoerd door de bedrijven Gebr. van der Geest, TenCate Geosynthetics, Van Dams kwasten Fabriek, Rolsma Lijnolieverf makerij, SES – Creative, API - Applied Polymer Innovations, Woningcorporatie De Woonplaats en de kennisinstellingen Saxion, Radboud Universiteit Nijmegen, Universiteit Twente en Wageningen Universiteit & Research Centrum.

Samenvatting

De overgang van traditionele textiel naar biotextiel kan omschreven worden als een paradigmaverandering, in grote lijnen parallel aan de komst van biotechnologie. Dit wordt vaak geassocieerd met begrippen als creatieve destructie, waarbij nieuwe innovatieve industrieën de bestaande achterhaald doen raken. Maar biopolymeren zijn er altijd al geweest. Wat opvalt, is hier niet het radicale van de verandering, maar de mogelijkheid om nieuwe technologieën en materialen toe te passen en te reageren op vragen van de markt en mondiale omstandigheden.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van het gebruik van de meest voorkomende biopolymeren in geotextieltoepassingen, dus toepassingen in bijvoorbeeld de weg- en waterbouw of in de agro-industrie.

Biopolymeren worden als volgt gedefinieerd: 'polymeren die worden geproduceerd uit natuurlijke hernieuwbare grondstoffen'.

Dit zijn bijvoorbeeld:

- Duurzame beschikbare (delen van) planten en dieren (ook aquatische biomassa).
- Primaire residuen (bermgrass, houtafval, ...).
- Secundaire residuen (bietenpulp, bierborstel, ...).

- Tertiaire residuen (dierlijk vet, GFT, ...).

Biobased houdt in dat een polymeer uit natuurlijke, dierlijke of hernieuwbare grondstof bestaat. Dit geeft een grotere onafhankelijkheid van de klassieke grondstofproducenten, zoals de aardolie- en gasproducenten. Echter moet bedacht worden dat er weer een afhankelijkheid van andere grondstofproducenten kan ontstaan. Natuurlijke grondstoffen zijn de meest bekende. Er is bijvoorbeeld cellulose uit katoen, vlas van de vlasplant of brandnetelvezel van de brandnetel. Onder dierlijke grondstoffen verstaan we onder andere chitosan uit schaaldieren. Een hernieuwbare grondstof is bijvoorbeeld zetmeel/suiker voor PLA (polymelkzuur. Deze biopolymeren worden besproken om duidelijk te maken welke soorten wel of niet geschikt zijn voor verschillende toepassingen in geotextiel.

Een verder onderscheid wordt wel gemaakt op basis hun 'end of life': biodegradeerbaar en composteerbaar. Een materiaal is biodegradeerbaar wanneer de afbraak het gevolg is van de actie van micro-organismen (zwammen, bacteriën), waardoor het materiaal uiteindelijk wordt omgezet in water, biomassa, CO₂ en/of methaan,

ongeacht de tijd die hiervoor nodig is. Composteerbaar wil zeggen dat stoffen worden afgebroken bij het composteren met een snelheid die vergelijkbaar is met die van andere bekende composteerbare materialen (bijvoorbeeld groenafval). Met andere woorden: een materiaal is composteerbaar wanneer het afbraakproces compatibel is met de omgevingsomstandigheden van een huishoudelijke of industriële composteerinstallatie, zoals temperatuur, vochtigheid en tijd.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat composteerbare materialen biodegradeerbaar zijn, maar niet alle biodegradeerbare materialen zijn composteerbaar.

In de geotextiel bestaan twee grote verschillen in toepassingen. De permanente of houdbare toepassingen en de degradeerbare toepassingen. Oeverbescherming is een goed voorbeeld van een degradeerbaar product. Een nieuwe oever bestaat voor een groot deel uit los zand. Om ervoor te zorgen dat de oever door bijvoorbeeld erosie niet verdwijnt, worden er kokosmatten gebruikt voor versteviging. Op deze kokosmatten vormt zich op den duur een nieuw ecosysteem. De kokosmatten zullen dan na een aantal jaren composteren zonder vervuilen de grondstoffen in de aarde achter te laten. Maar in bijvoorbeeld wegen of bij viaducten, wordt versteviging toegepast met als doel langdurig functioneel houden van het polymeer. In dit rapport is een tabel opgenomen met daarin

de behandelde biopolymeren met de belangrijkste eigenschappen. Zo kan bijvoorbeeld een geotextiel producent de meest optimale keuze maken voor de grondstoffen voor haar producten. Ook is een figuur opgenomen, waarin een verzameling aan geo-toepassingen en biopolymeren (met degradeerbaar/biobased labels) in een overzicht is gezet.

Biopolymeren kunnen, door onder andere additieven en voortschrijdende productietechnieken, steeds meer de eigenschappen krijgen van 'traditionele kunststoffen' gewonnen uit aardolie. Het is echter nog niet duidelijk of ze alle eigenschappen van de 'traditionele kunststoffen' kunnen krijgen. Biopolymeren zijn een duurzaam alternatief voor kunststoffen die gemaakt worden op basis van aardolie. Men streeft ernaar om alle producten die van traditionele synthetische kunststof worden gemaakt, ook van bioplastics te maken.

Belangrijk is om vast te stellen dat ook binnen Europa in grootschalige projecten onderzoek wordt verricht naar biopolymeren, zoals biotext, bioagrotex, noterefiga en cleancloth. Voor de textielbedrijven betekent deze tendens een kans om een voorsprong uit te bouwen in de productie van specifieke biopolymeren met unieke eigenschappen, zoals gecontroleerde biologische afbreekbaarheid en bioresorptie.

De grootste uitdaging is het evenaren

van goede kwaliteit van de huidige synthetische vezels die gemaakt worden op basis van olie: sterkte, verwerkbaarheid en bijvoorbeeld aanverfbaarheid. Daar is nog veel te verbeteren, maar het gaat er ook om, om toepassingen te ontwikkelen die passen bij het unieke profiel van biopolymeren, of omgekeerd om biopolymeren in te zetten in toepassingen waar het voordeel oplevert.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	6
Lijst van tabellen	7
1. Inleiding	8
2. Biopolymeren	12
3. Biopolymeren in geotextiel	16
4. Natuurlijke biopolymeren	22
5. Polymeren van hernieuwbare grondstoffen	38
6. Dierlijke biopolymeren	48
7. Mechanische eigenschappen van biopolymeren	52
8. Lyfe cycle assessments van biopolymeren	54
9. Vooruitblik	58
Bronnen	61
Bronnenlijst figuren	65
Bijlage 1: websites	66

Lijst van tabellen

- Tabel 1: Textielproductie (Bron: PCI/Unitex)
- Tabel 2: Informatie kokosvezel (Bron: www.matbase.com)
- Tabel 3: Biofront (Bron www.teijinfbre.com)
- Tabel 4: Eigenschappen PLA, katoen, zijde en wol (Bron www.natureworkslc.com)
- Tabel 5: Eigenschappen PET, PTT en PBT (Bron: www.azom.com)
- Tabel 6: Eigenschappen voor GEO toepassingen (Bronnen zie achterin)
- Tabel 7: DEFRA LCA meting (Bron: The role and bussiness case forexisting and emerging fibres in sustainable clothing; DEFRA; April 2010)
- Tabel 8: Made by Environmental benchmark for fibres (Bron: made-by.org)
- Tabel 9: LCA Hennep en Vlas (Bron: Turunen, van der Werf)
- Tabel 10: LCA TPS (Bron: Dinkel et al).

1. Inleiding

De overgang van traditionele textiel naar biotextiel kan omschreven worden als een paradigma verandering, in grote lijnen parallel aan de komst van biotechnologie. Dit wordt vaak geassocieerd met begrippen als creatieve destructie waarbij nieuwe innovatieve industrieën de bestaande achterhaald doen raken. Maar biopolymeren zijn er altijd al geweest. Wat opvalt, is hier niet het radicale van de verandering, maar de mogelijkheid om nieuwe technologieën en materialen toe te passen en te reageren op vragen van de markt en mondiale omstandigheden.

Grondstoffenschaarste is momenteel één van de grootste uitdagingen voor de textielindustrie. Dit wordt veroorzaakt door afnemende of beperkte voorraden grondstoffen, olie, water en land, terwijl de vraag toeneemt onder andere door toenemende welvaart en industriële activiteit, zoals in China. Dit is een wereldwijd verschijnsel en leidt tot een stijging van onderlinge afhankelijkheden tussen landen en regio's. Voor de textielindustrie heeft dit grote gevolgen. Er zullen dan ook strikte maatregelen genomen moeten worden om hier een goed antwoord op te vinden.

De volgende actielijnen zullen in gang moeten worden gezet:

- Betere/meer efficiënt productie- en distributie keten.
- Efficiëntere productiesystemen, zoals digitale processen.
- Beperking van grondstoffengebruik en recycling van materialen.
- Vervangen van traditionele grondstoffen door nieuwe minder belastende materialen.

Economisch gezien lijkt schaarste tot prijsstijgingen. Deze stijgingen komen wereldwijd voor. Er is toenemend sprake van een kloof tussen aanbod en vraag naar textielvezels en de industrie heeft nu al te maken met sterk stijgende prijzen van textielvezels (websites fashion united, Modint). In 2008 werd er ongeveer 67 miljoen ton aan textielvezels verbruikt. Vergelijk dit met 77 miljoen ton aan staal, 230 miljoen ton aan kunststoffen of 380 miljoen ton papier. In tabel 1 een overzicht van het verbruik (IVC-EV).

M tonnes	2000	2010	2015	2020	Growth 2010 - 2020 in %	Growth 2010 - 2020 in M tonnes
PET filament	10,99	23,57	29,73	33,72	43	10,15
PET staple	8,27	13,46	16,10	18,16	35	4,70
PA filament	3,54	3,49	3,87	3,99	15	0,50
Acrylfibre	2,64	1,96	2,05	2,05	5	0,09
Wool	1,36	1,07				
Cotton fibre	19,97	25,39	28,19	30,15	19	4,75
Lyocell/cellulosic	2,80	4,28				
PLA						
Total all fibres	53,37	77,10	90,14	99,10	29	22
Fibre use per capita (kg)	8,8	11,6	12,5	13,10		
Global population (Millions)	6090	6852	7226	7588		

Tabel 1. Textielproductie

De verwachting is dat het totale verbruik in 2020 zal oplopen tot 110 miljoen ton textielvezels.

Wereldwijd is het vezelverbruik 11 kg per persoon, voor Amerikaanse consumenten is dit 32 kg per persoon, voor de Turkse en Mexicaanse consument 10 kg per persoon en voor Indiase en Chinese consumenten 4 kg per persoon. De wereldwijde vezelconsumptie is gegroeid met 7 a 10% per jaar tussen 2002 en 2007 en is mede door de snelle mode ontwikkelingen nog steeds groeiend.

Met de huidige groei zal de wereldwijde textielvezelconsumptie in 2020 op 110 miljoen ton liggen.

Dit leidt tot een aantal problemen:

1. Textiel wordt nog steeds weinig gerecycled. 80 % van ons staal wordt gerecycled, 65 % van het papier en 30% van het plastic. Voor textiel is dit nog maar 15 a 20%.
2. Textiel verbruikt veel hulpstoffen, zoals water (200 liter voor een kg polyester, 8000 liter voor een kg katoen), energie (60 MJ voor een kg katoengaren en 109 MJ voor een kg polyestervezel) en het gebruikt veel landoppervlakte.
3. Een Amerikaanse of Europese consument heeft 600 m² aan land nodig om in zijn jaarlijkse vezelbehoefte te voorzien.

4. Katoen vereist irrigatie en verbruikt dus water dat ook voor menselijke consumptie gebruikt zou kunnen worden. Het vereist bovendien het gebruik van pesticiden en draagt dus bij aan de vervuiling en verzilting van de bodem. Katoen concurreert met land voor voedselproductie dat minder water verbruikt en hogere opbrengsten heeft.
5. Tot nu toe wordt 60 miljoen ton per jaar verbrand of gedumpt op de vuilstort.

Door de fragmentatie en globalisatie van de supply chain is het moeilijk om de impact op het milieu te reduceren. Dit geldt zowel voor de productie als voor de recycling. Papier, staal of kunststoffen hebben betere georganiseerde compactere ketens. Dus het omzetten van textiel in een duurzame industrie is moeilijk door vrijwillige overeenkomsten, collectieve convenanten, gedwongen maatregelen of regelgeving te bewerkstelligen. Door materiaaltekorten gaat de vezelprijs omhoog en is al gestegen van rond €1,60 naar €3,00 per kg. Dit prijsmechanisme is een belangrijke drijfveer voor veranderingen. Hogere vezelprijzen scheppen meer ruimte voor alternatieve en duurdere vezels zoals polymelkzuur of vlas. Het is ook een drijfveer voor meer efficiënte processen en productieketens. Nieuwe processen zoals verven met CO₂ of digitaal printen verbeteren het duurzaamheidsprofiel en reduceren de kos-

ten. Belangrijk is ook de ontwikkeling van lage temperatuur katalytische processen zoals het gebruik van enzymen in ontsterken en bleken. Hogere prijzen bevorderen de kansen voor recycling (Scheffer, Bouwhuis, et al).

De problemen van de industriële textielketen en de impact ervan op het milieu worden niet alleen veroorzaakt door inefficiënte en vervuilende processen, maar ook door een zeer ondermaatse order- en productieketen. Ter illustratie de EU-markt: in 2009 had de textielindustrie een totale waarde van 211 miljard Euro. Ruwweg is deze opgebouwd uit 40% mode/kleding, 30% interieur en 30% technische textiel. Van de kleding gerelateerde hoeveelheid wordt ongeveer 40% verkocht tegen de normale handelsprijzen, 25% tegen kortingen, bijvoorbeeld in de uitverkoop en de rest wordt vernietigd! Dus door het niet functioneren van de keten bereikt een groot deel van de geproduceerde textiel de consument niet. Dat wil zeggen dat een totale waarde van ruwweg 20 miljard euro jaarlijks vernietigd wordt. (bron: Euratex). Dit is een praktijk die in deze tijd niet meer acceptabel is. Het is niet alleen de waarde in geld, maar ook de investeringen in energie, grondstoffen en hulpstoffen die vernietigd worden. Digitaliseren van de volledige keten, inclusief ordering, productie en recycling is dan ook een must. De duurzaamheidsagenda moet dus de afnemende behoefte aan vezels omvatten, maar ook de hele keten meer efficiënt

laten werken. Daarnaast moet in het gebruik (easy care, recycling) de noodzaak voor efficiënt gebruik een grotere rol gaan spelen. De wereldwijde wetgevingssituatie, met grote verschillen in bijvoorbeeld milieuwetgeving, plaatst landen die minder gereguleerd zijn in een voordeelpositie ten opzichte van minder gereguleerde landen.

In deze turbulente markt kunnen biopolymeren een belangrijke rol spelen omdat deze gebruik maken van hernieuwbare grondstoffen en het duurzaamheidsprofiel gunstig afsteekt. Dit geeft een grotere onafhankelijkheid van de klassieke grondstofproducenten, onder wie de aardolie- en gasproducenten. Echter moet bedacht worden, dat er weer een afhankelijkheid van andere grondstofproducenten kan ontstaan.

Biopolymeren kunnen, door onder andere, additieven en voortschrijdende productietechnieken, steeds meer de eigenschappen krijgen van 'traditionele kunststoffen' gewonnen uit aardolie. Het is echter nog niet duidelijk of ze alle eigenschappen van de 'traditionele kunststoffen' kunnen krijgen. Biopolymeren zijn een duurzaam alternatief voor kunststoffen die gemaakt worden op basis van aardolie. Men streeft ernaar om alle producten die van traditionele synthetische kunststof worden gemaakt ook van bioplastics te maken. Het gaat dus niet zozeer om het vervangen van bijvoorbeeld polyethyleen door een biopolymeer, maar om polyethyleen te maken van biobased grondstoffen.

2. Biopolymeren

Biopolymeren bestaan al sinds het ontstaan van de aarde. De traditionele zijn materialen zoals jute, katoen of kokos. In dit hoofdstuk zal er een korte beschrijving van biopolymeren worden gegeven. Biopolymeren zijn niet nieuw (katoen, wol, polymelkzuur en cellulosederivaten), maar wel zeer actueel. Door de stijgende olieprijs/tekorten en CO₂-emissies, komen biogebaseerde energiebronnen/polymeren meer en meer in de belangstelling. Er wordt ook veel onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van nieuwe polymeren uit natuurlijke grondstoffen.

Definitie biopolymeren

Biopolymeren zijn gemaakt uit grondstoffen van biologische oorsprong, waaraan eventueel additieven toegevoegd zijn om de eigenschappen, zoals de UV-bestendigheid, produceerbaarheid of flexibiliteit, te verbeteren. Biopolymeren worden dus in hoofdzaak geproduceerd uit natuurlijke hernieuwbare grondstoffen. Dit zijn bijvoorbeeld:

- Duurzame beschikbare (delen van) planten en dieren (ook aquatische biomassa).
- Primaire residuen (bermgrass, houtafval, ...).
- Secundaire residuen (bietenpulp, bierborstel, ...),

• Tertiaire residuen (dierlijk vet, GFT, ...).
Materialen zoals polymelkzuur en cellulosederivaten vallen binnen deze definitie (Bolck).

Als grondstof voor additieven kan behalve hernieuwbare grondstoffen, ook aardolie gebruikt worden. Daarnaast is er een groep biopolymeren waarbij de additieven materialen van natuurlijke herkomst zijn, zoals bamboe, maïsafval en houtzaagsel. Deze additieven zijn in de vorm van vulstoffen aan een polymeer toegevoegd. Het verwarrende is dat dit polymeer dan bijvoorbeeld polypropyleen is, dus een aardolieafstamming heeft, waarbij in gewichtsprocenten een groot deel van de massa bestaat uit hernieuwbare vulstof. De definitie van biopolymeren is dus niet eenduidig en het gebruik kan dus nogal ambigu zijn door de gebruikte hulpstoffen.

Biopolymeren worden geproduceerd uit hernieuwbare grondstoffen. Dit geeft een grotere onafhankelijkheid van de klassieke grondstofproducenten, waaronder de aardolie- en gasproducenten. Echter moet bedacht worden, dat er weer een afhankelijkheid van andere grondstofproducenten kan ontstaan.

Biopolymeren kunnen, door onder andere additieven en voortschrijdende productietechnieken, steeds meer de eigenschappen krijgen van 'traditionele kunststoffen' gewonnen uit aardolie. Het is echter nog niet duidelijk of ze alle eigenschappen van de 'traditionele kunststoffen' kunnen krijgen. Biopolymeren zijn een duurzaam alternatief voor kunststoffen die gemaakt worden op basis van aardolie. Men streeft ernaar om alle producten die van traditionele synthetische kunststoffen worden gemaakt, ook van biopolymeren te maken. Het grote voordeel hiervan is dat biopolymeren worden toegepast in een gesloten kringloop, cradle-to-cradle (C2C). Daarmee wordt het verbruik van fossiele brandstoffen verminderd en de uitstoot van CO₂ beperkt. Toekomstige generaties worden niet opgezadeld met afval- en milieuproblemen.

Voor de productie en verwerking van biopolymeren is soms minder energie nodig dan voor de productie van conventionele grondstoffen. Nadeel is echter dat er veel grondoppervlak en veel water voor nodig is. Daarmee concurreren ze bijvoorbeeld met de voedselproductie in arme landen (vgl. de discussie over biobrandstof).

Een nadeel van biopolymeren is dat de prijs van biopolymeren hoger is dan de prijs van traditionele kunststoffen. Het is (nog) niet mogelijk c.q. erg moeilijk om alle eigenschappen van 'traditionele kunststoffen' met biopolymeren te realiseren, tenzij deze uit biobased

grondstoffen worden vervaardigd en qua polymeereigenschappen gelijk zijn aan polymeren op oliebasis. Zo kunnen de huidige composteerbare biopolymeren slecht tegen hitte en vocht. De productiecapaciteit van biopolymeren is momenteel veel kleiner dan die van de 'traditionele kunststoffen'. In 2007 was dit ongeveer 1% van de totale kunststoffen-productiecapaciteit. Vooral in de textielindustrie is het gebruik van biomaterialen al enige tijd gemeengoed, denk aan katoen, wol, zijde, maar ook aan geregenereerde cellulose als bijvoorbeeld lyocell. De sector zou zeker in marketingtermen dit gegeven verder kunnen uitdiepen.

Biologisch afbreekbare of biobased biopolymeren

De term biopolymeren wordt in de praktijk gebruikt als een verzamelnaam voor twee verschillende soorten polymeren. Dit zijn biologisch afbreekbare polymeren en biobased polymeren. Biologisch afbreekbare polymeren hoeven dus geen natuurlijke oorsprong te hebben.

Biologisch afbreekbare polymeren

Dit zijn polymeren die biodegradeerbaar of composteerbaar zijn. Biodegradatie houdt in dat de afbraak gekatalyseerd wordt door biologische activiteit (micro-organismen), wat leidt tot mineralisatie (het doen overgaan in anorganische stof; van Dale 14.0) en/

of biomassa. De soort afbreekbaarheid van het polymeer hangt af van zijn omgeving, dit wordt onderverdeeld in vier categorieën (Bolck):

- Bodem, soil burial.
- Water, zeewater.
- Anaeroob, vergisting.
- Compostering, industrieel of particulier.

Normen voor biodegradeerbaarheid

Voor het benoemen van een polymeer tot biodegradeerbaar polymeer worden verschillende normen gebruikt.

Volgens de ISO-norm kwalificeert een polymeer zich onder andere voor deze term wanneer het na 180 dagen minimaal 60% biodegradatie heeft bereikt (ISO 17088). Volgens de EN-norm kwalificeert een polymeer zich onder andere voor deze term wanneer:

- het materiaal en zijn relevante organische bestanddelen van nature biologisch afbreekbaar zijn (aan te tonen door middel van laboratoriumproeven);
- de desintegratie van het materiaal in een verwerkingsproces voor biologisch afval gebeurt;
- er geen negatief effect van het verpakkingsmateriaal op het verwerkingsproces voor biologisch afval wordt waargenomen;
- er geen negatief effect van de biologisch afgebroken materialen op de kwaliteit van het daaruit resulterende compost wordt waargenomen.

De Europese norm EN 13432 beschrijft daarnaast procedures voor laboratoriumtests voor biodegradeerbaarheid en composteerbaarheid (Proterra).

Composteerbaarheid

Composteerbaar wil zeggen dat stoffen worden afgebroken bij het composteren met een snelheid die vergelijkbaar is met die van andere bekende composteerbare materialen (bijvoorbeeld groenafval). Met andere woorden een materiaal is composteerbaar wanneer het afbreekproces compatibel is met de werksomstandigheden qua temperatuur, vochtigheid en tijd van een huishoudelijke of industriële composteerinstallatie.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat composteerbare materialen biodegradeerbaar zijn, maar niet alle biodegradeerbare materialen zijn composteerbaar.

In Europa wordt de composteerbaarheid van producten beoordeeld volgens de geharmoniseerde norm EN 13432. Volgens deze norm moet de afbraak plaats vinden binnen 6 tot 12 weken om te voldoen aan de eisen van de huidige composteerinstallaties. Er bestaan certificatiesystemen en kwaliteitslabels die waarborgen dat composteerbare producten, gemaakt van biodegradeerbare materialen, aan deze norm voldoen (www.nrk.nl/web/RKI/duurzontw/biodegradatie/Pages/default.aspx).

Biobased (hernieuwbare) polymeren

Dit zijn polymeren die direct of indirect uit hernieuwbare plantaardige grondstoffen geproduceerd zijn (NRK). Door een groeiend tekort aan ruwe olie en de groeiende aandacht voor milieubewust produceren en het reduceren van de carbon footprint, is er een omvangrijke zoektocht naar alternatieve grondstoffen die fossiele brandstoffen zouden kunnen vervangen. Biobased polymeren kunnen hier een grote rol in gaan spelen (Shen, Haufe, Patel). Bij sommige toepassingen van biopolymeren is het juist niet de bedoeling dat de polymeren biodegradeerbaar zijn, bijvoorbeeld bij toepassingen waarbij de polymeren jarenlange versteviging moeten geven. Wat dan een belangrijk punt voor veel bedrijven is, is dat de biopolymeer geproduceerd is uit plantaardige grondstoffen, zodat het geen vervuiling aanbrengt aan bijvoorbeeld de omliggende grond.

Biobased en biodegradeerbare biopolymeren

Dat een polymeer biobased is, wil niet per definitie zeggen dat het biodegradeerbaar is en andersom. Soms is er vraag naar een biobased polymeer dat levenslang meegaat en soms is er vraag naar een polymeer dat alleen biodegradeerbaar is. Sommige biopolymeren hebben beide eigenschappen.

Gecontroleerde degradeerbaarheid

In een aantal toepassingen worden, zoals hier besproken, biopolymeren ingezet in geotoepassingen. In een aantal toepassingen moeten deze polymeren hun functie blijven uitoefenen gedurende een bepaalde periode, bijvoorbeeld totdat een grasmat is gevormd die de oorspronkelijke functie, voorkomen van erosie, overneemt. Het gebruikte biodegradeerbare biopolymeer mag daarna degraderen en oplossen in de omgeving. Er zijn ook toepassingen denkbaar waarbij het biopolymeer een tijd functioneert en pas mag afbreken wanneer zeker is dat een functie goed wordt overgenomen. Bijvoorbeeld meerdere seizoenen, of in opslagsystemen waarbij slib moet worden verwijderd. Het zou handig zijn als het polymeer van een ingebouwde 'afbraak katalysator' zou zijn voorzien. Een katalysator die reageert op een impuls en dan het degradatieproces in werking zet. Naar deze technologie wordt onderzoek gedaan, bijvoorbeeld in het EU-Agribiotex project.

3. Biopolymeren in geotextiel

Onder geotextiel verstaan we toepassingen van textiele materialen in alle sectoren van de weg- en waterbouw, de bouw en de agro-industrie.

Biopolymeren worden al eeuwen lang toegepast als geotextiel. Biobased biopolymeren die niet degradeerbaar zijn worden gebruikt wanneer er bijvoorbeeld versteviging van de natuurlijke omgeving plaats moet vinden en die langdurig moet blijven functioneren. Biodegradabele polymeren worden gebruikt wanneer er om tijdelijke versteviging wordt gevraagd die in de omgeving kan 'verdwijnen/oplossen' zonder verontreiniging achter te laten. Momenteel lopen er verschillende projecten, waarbij onderzoek wordt gedaan naar nieuwe biopolymeren, zoals PLA voor gebruik in de geotextiel, maar wordt er ook gekeken naar het gebruik van bestaande biopolymeren zoals jute en kokos. Dit rapport is bedoeld om voor Geotextiel een overzicht te maken van bestaande biopolymeren en nieuwe biopolymeren met hun eigenschappen en toepassingsmogelijkheden (BIOAGROTEX).

Geotextiel

Geotextiel is een verzamelnaam voor uiteenlopende materialen: van zeer dunne, maar waterdichte folies tot onwrikbare wijdmazige geogrids.

Deze textielen worden in de volgende bedrijfstakken toegepast:

- Wegenbouw
- Bouwtechniek
- Waterbouw
- Agrotechniek.



Figuur 1. Geotextiel tijdens installatie (Colbond)

Toepassingen van geotextiel

Geotextiel wordt in de verschillende bedrijfstakken gebruikt voor een aantal toepassingen, de voornaamste zijn als volgt:

In de wegenbouw

- Grond- en funderingswapening
- Geluidswallen
- Drainage



Figuur 2. Drainagecomposiet (Colbond)

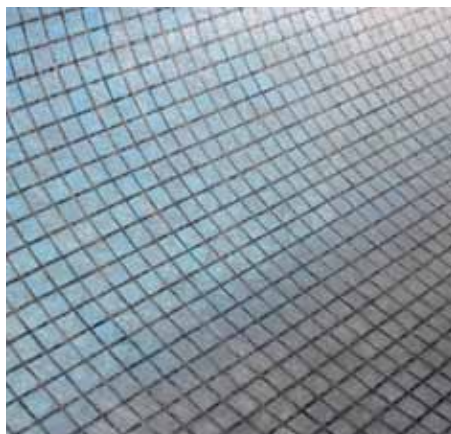
- Weg- en terreinfunderingen
- Ondergrondversteving/stabilisatie
- Grondscheiding
- Erosiebescherming.

In de bouwtechniek

- Horizontale en verticale drainage
- Grondscheiding
- Stabilisering
- Grondwapening
- Stuifschermen
- Geluidswallen
- Bodembescherming.

In de waterbouw

- Taludverdediging
- Oeverrollen
- Begroeide geotextielen/dijkbekleding
- Stuifschermen
- Grondscheiding
- Floatlands
- Gewapende grasmatten



Figuur 3. Ondergrondversteving (Colbond)

- Zolen van kraagstukken
- Zolen van blokkenmatten
- Ondergrondversteving
- Zoetwateropslag
- Zandelementen
- Filtratiesystemen.

In de agrotechniek

- Absorptie van oliën
- Grondscheiding
- Bescherming van bomen en planten
- Erosiebescherming.
- (Colbond, Geopex, TenCate).

Producten in de geotextiel

Het volgende overzicht geeft de meest voorkomende productgroepen, kenmerken, toepassingen en grondstoffen weer:

- Vliezen, soms ook non-wovens genoemd, in tegenstelling tot de weefsels. Het betreft een mat van vezels/draden die onderling me-

chanisch, thermisch of chemisch zijn gebonden, ze kunnen zeer dun tot zeer dik zijn met grote rek, weinig treksterkte. Vliezen scheiden grondsoorten praktisch gesproken altijd grond dicht van elkaar. Toepassingen: scheiden, filteren, beschermen, bij voldoende dikte draineren. Ze worden gemaakt van PP, PET, PE en natuurlijke polymeren.

Het grondscheidend vermogen en filtervermogen is afhankelijk van de openingsgrootte van de weefsels, de korrelgrootte van de aanliggende grond en de optredende waterstroming. De sterkte kan in langs- en dwarsrichting sterk verschillend zijn.

De breuksterkte kan zeer groot zijn; de daarbij optredende rek kan klein maar ook groot zijn, omdat die afhankelijk is van de gebruikte kunststof en/of productiewijze. Hiermee moet bij het stabiliseren/wapenen rekening worden gehouden.

- Geogrids (roosters)
Geogrids hebben doorgaans rasteropeningen van één tot enkele centimeters. Ze kunnen bij geringe rek grote krachten opnemen.
Ze zijn zeer geschikt voor het wapenen van grond, funderingsmateriaal, asfalt e.d.
- Structuurmatten: als anti-erosiemat neemt de structuurmat tijdelijk of permanent de functie van het wortelstelsel van de begroeiing over.



Figuur 4. TenCate MiragridGX

De structuurmat kan worden gevuld met grond en/of split of asfalt afhankelijk van de toepassing: wind- of watererosie. Anti-erosiematten kunnen, afhankelijk van de vereiste levensduur, uit kunststoffen of uit natuurlijke materialen worden gemaakt. Als kern van drainagematten moet de structuurmat uit kunststof worden vervaardigd.

De structuurmat heeft een kenmerkende 3D-structuur onder te verdelen in wirwar-, rib- en roosterstructuren, de mat heeft dikte. Tot nu veelal vervaardigd van PA, PE en PP, maar soms ook van natuurlijke biopolymeren.

- Drainagematten/-strips
De drainagematten, die horizontaal of verticaal kunnen zijn en alles wat daartussen ligt, worden gebruikt en het gaat om breedtes van 1 tot 5 à 6 m.
De drainagestrips zijn smal en wor-



Figuur 5. Mirafid Drainage (TenCate)

den veelal verticaal in de grond aan- gebracht voor een snellere conso- lidatie. Het doel hiervan is om het waterniveau in de omgeving te re- guleren door bijvoorbeeld overtol- lig water af te voeren.

- Geomembranen
Het zijn dunne waterdichte lagen. Daarom zijn ook de folies onder deze begripsnaam gebracht. Deze zorgen ervoor dat water niet kan passeren om beschadiging door vocht te vermijden, of om juist wa- ter binnen een bepaald gebied te behouden.
- Geocomposieten
Deze producten zijn altijd samen- gestelde producten van geokunst- stoffen en andere materialen, ook natuurlijke. Afhankelijk van wen- sen uit de markt kunnen er nieuwe typen geocomposieten worden ont- wikkeld.

- Geofaam
- EPS-gefoam, of geëxpandeerd po- lystyreen genoemd (vroeger ook piepschuim of PS-hardschuim), wordt sinds enkele decennia toe- gepast in wegebouwkundige con- structies, bij nieuwe aanleg, alsook bij reconstructies (NGO).

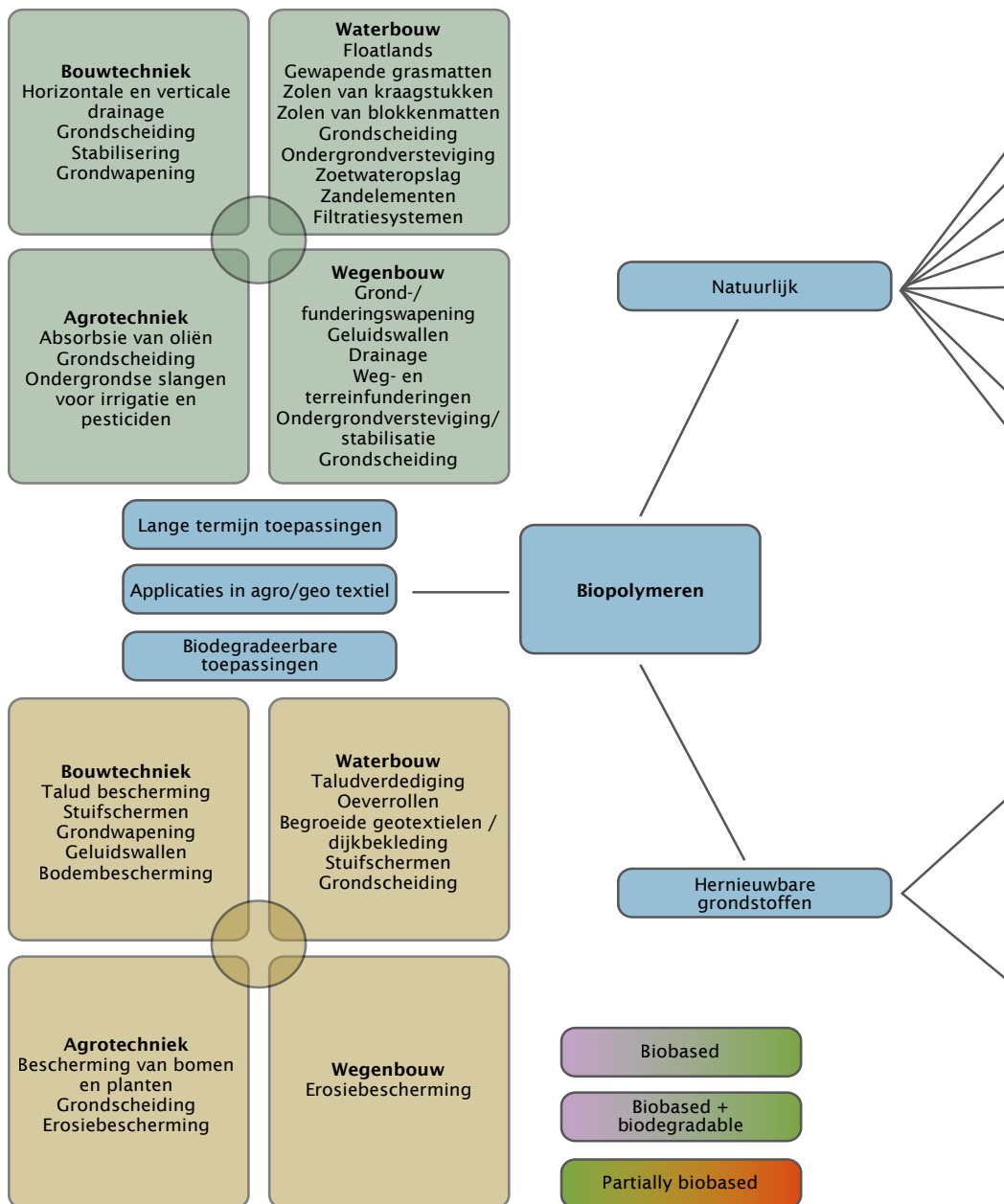
Overzicht van producten in de geotextiel en de beschikbare biopolymeren

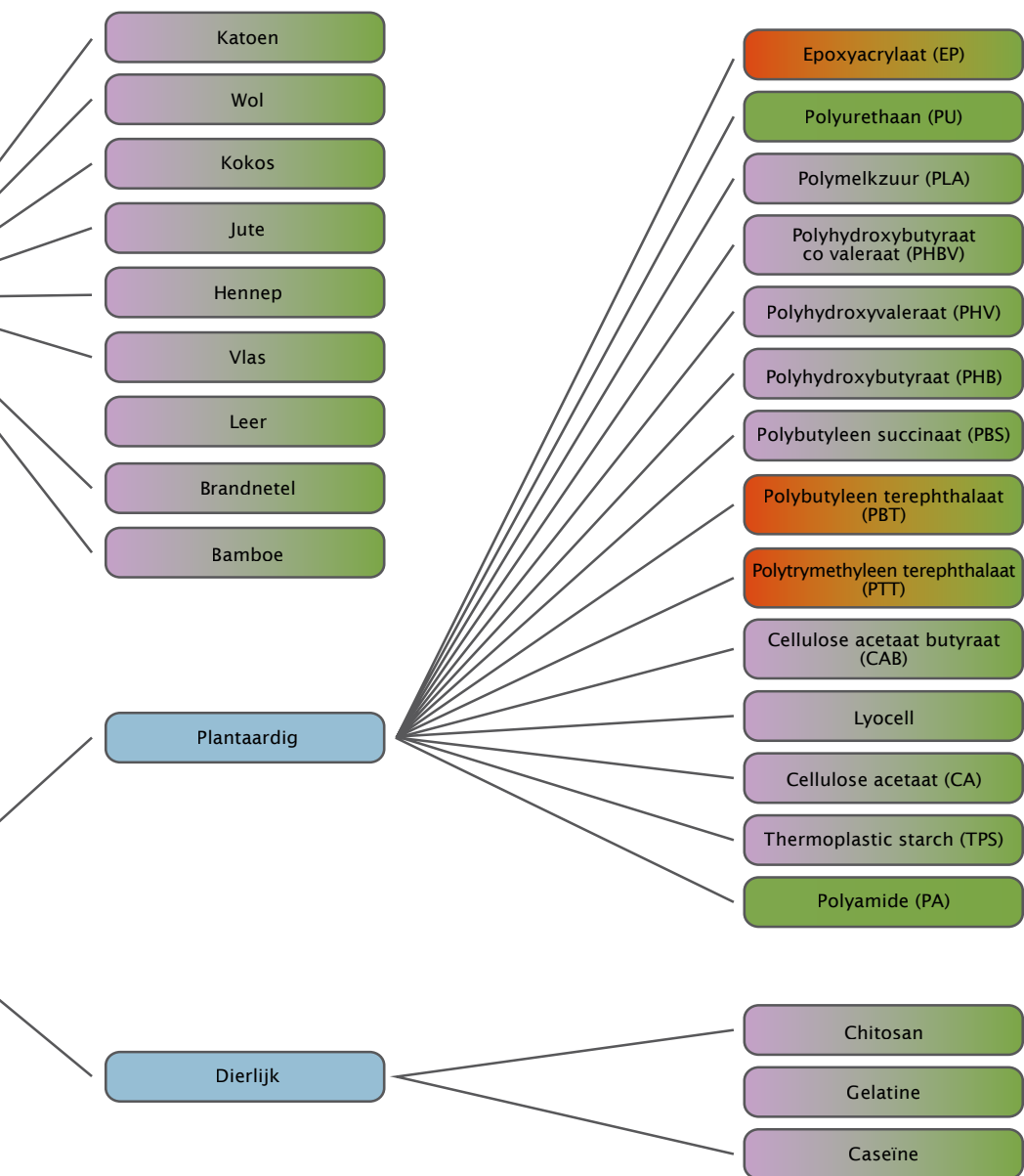
Op de volgende pagina ziet u een overzicht van de bekende geotextiel- producten met daaraan gekoppeld een



Figuur 6. TenCate Geotube

lijst van de beschikbare biopolymeren. Hierbij is te zien of de biopolymeren biodegradeerbaar of biobased, allebei of geen van beide zijn. In het hoofdstuk hierna gaan we die- per in op de biopolymeren en de bijbe- horende eigenschappen.





Figuur 7. Biopolymeren in geotoepassingen

4. Natuurlijke biopolymeren

Biopolymeren die al zeer lang bestaan en gebruikt worden in de geotextiel zijn:

- Kokos
- Jute
- Hennep
- Vlas
- Bamboe
- Leer
- Wol
- Katoen
- Brandnetel.

Deze biopolymeren zijn mogelijk een goede vervanging voor synthetische polymeren in bepaalde toepassingen. Daarom beschrijven we hieronder de eigenschappen en toepassingsmogelijkheden van deze producten.

Kokos

De kokosvezel, ook wel ‘Cocos nucifera’ is een zeer bekend biopolymeer, die op dit moment echter nog beperkt wordt toegepast. Men kent natuurlijk de kokosmatten, gemaakt van de vezels van de kokosnoot. Maar er kan veel meer mee, als begrepen wordt hoe de vezel is opgebouwd, welke eigenschappen deze heeft en hoe deze zich gedraagt in diverse toepassingen. De totale jaarlijkse kokosvezelproductie ligt rond de 700.000 ton (Bron: faostat.fao.org FAOSTAT), de kokosvezelindustrie is voornamelijk belangrijk voor India en Sri Lanka. India produceert momenteel rond de 60% van het wereldaanbod van kokosvezel en Sri Lanka rond de 36%.



Figuur 8. Kokosvezel



Figuur 9. Kokosgaren

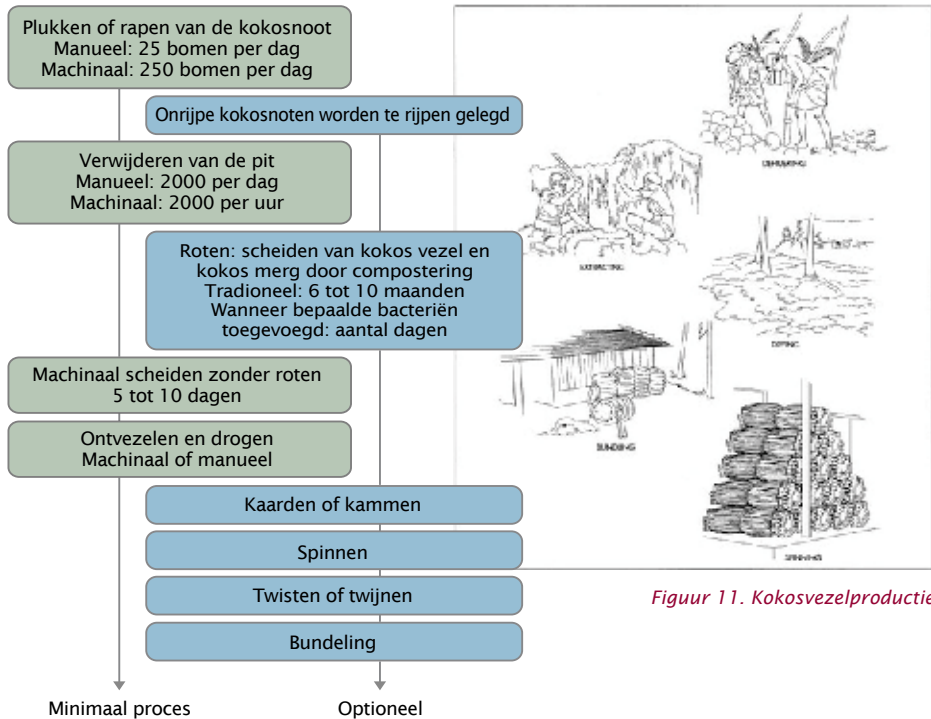
Meer dan 50% van de totale kokosvezelproductie (teelt?) wordt geconsumeerd in het land van herkomst (http://coirboard.nic.in/about_coirfiber.htmgo).

De kokosvezel wordt verkregen uit de buitenlaag van de kokosnoot. Chemisch gezien is het een cellulose lignine complex, waardoor de typisch bruine kleur, ruwheid en brosse breuk ten opzichte van katoen ontstaat. Overigens is de vezel van de onrijpe vrucht wit. Er is veel vraag naar kokosvezel, omdat het goedkoop is, maar ook wegens de sterkte, slijtweerstand en bestendigheid tegen water (<http://www.matbase.com/material/fibres/natural/coir/properties>). Het verwerken van de ruwe grondstof, de vezels, is een arbeidsintensief proces dat vervuילend is voor oppervlaktewater. Dit doordat na het oogsten de vezels 10 tot 12 maanden in vijvers ligt te rotten (an-

aerobe fermentatie). Tijdens deze rotting wordt de cortex zacht en kan deze worden verwijderd door mechanische arbeid (beuken). Dan volgt hekelen, wassen en drogen. De vezel is dan geschikt om te spinnen en te weven en vervolgens te bleken en te verven. Voor geotextielen worden kortere rottingsperioden aangehouden en worden de veredelingsstappen overgeslagen. Overigens zijn er varianten op deze productiemethodes, die andere eigenschappen van de vezels opleveren. Bijvoorbeeld het mechanisch verwijderen van de cortex in breekmachines en roterende trommels voor het scheiden van langere vezels en afval. Nieuw is de toepassing van enzymen bij het verwijderen van de cortex. Daarbij kan het rottingsproces worden teruggebracht tot 5 dagen. Bij dit proces blijven de eigenschappen van de vezel, zoals de aanverfbaarheid, beter behouden.

Informatie Kokosvezel			
Samenstelling		Eigenschappen	
Lignine (houtstof)	45,84%	Lengte	6 - 8 inch
Cellulose	43,44%	Diameter	0,1 - 1,5 mm
Hemi-cellulose	0,25%	Dichtheid	1,140 g/cc
Pectine e.d.	3,00%	Taatheid	10,0 g/tex
Vocht	5,25%	Rek	30,0%
As	2,22%	Stijfheid	1,8924 dyne/cm ²
		Zwelling in water	5,0% (DM)
		Vocht bij	65,0% RH

Tabel 2: Informatie kokosvezel



Figuur 11. Kokosvezelproductie

*Figuur 10. Het productieproces van kokos
(<http://www.madehow.com/Volume-6/Coir.html#ixzz1ObABkL2F>)*

Toepassingen

De kokosvezel is biodegradeerbaar en recycleerbaar. Het garen wordt meestal toegepast als tweestrengsgaren. Bekende producten zijn de geweven kokosmatten. Deze worden als vloerbedekking ingezet, maar ook als wandbekleding. Bij dit laatste wordt gebruik gemaakt van de vlamvertragende eigenschappen van het kokosgaren, zijn thermische isolatie en zijn decoratieve eigenschappen.



Figuur 12. Kokosmatten

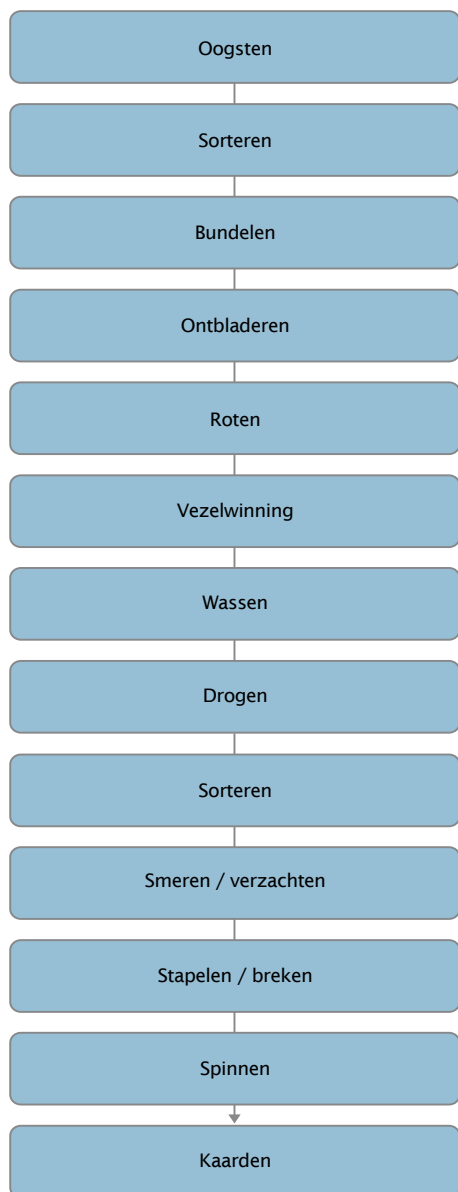
In de tuinbouw kan kokos in feite alle producten die nu van kunststof gemaakt worden vervangen, denk aan potten, bakken en manden. Kokoscomposieten worden ingezet als bouw materiaal ter vervanging van hout. Denk hierbij aan afdekplaten, meubels en deuren. Er worden dan spaanplaatachtige constructies van gemaakt. Daarnaast wordt het gebruikt als brandvertrager, als vulstof in beton- en gipsconstructies en getuft op bijvoorbeeld een kunststofdrager als kokosmat. Kokos wordt ook ingezet bij de wegebouw en dijkenbouw. Het gaat hierbij om weefsels, nonwovens en blokken. Als geotextiel wordt kokosvezel ingezet tegen bodemerosie. Zo kunnen bijvoorbeeld taluds, hellingen of vuilstortplaatsen worden beschermd tegen erosie. Met een biobased en biodegradeerbare mat is er een perfecte basis voor planten om een nieuwe begroeide laag over het te beschermen dek te vormen. De kokosvezel heeft een relatief hoge treksterkte, waterabsorptievermogen en het vermogen zand te binden. Het houdt water lang vast en bevordert de plantengroei doordat het uitdrogen vertraagt. Het gaat 4 a 5 jaar mee in de bodem. In India wordt deze bedrijfstak verder gemechaniseerd en geautomatiseerd. Het wordt gezien als een duurzame groeimarkt. In meer afgelegen gebieden wordt het overigens ook als brandstof gebruikt. Kortom, een veelzijdig materiaal dat nadere bestudering verdient (www.fibre2fashion.com, www.t-f.nl).

Jute

Jute is een biobased en biodegradeerbare polymeer. De uit het Sanskrit geïnaamde Juta (=haarvlecht) bastvezel bevat veel lignine (houtstof) en wordt gewonnen uit de juteplant en de na verwante *Corchorus Olitorius* (www.aboutrestoration). Vooral nu door het opraken van fossiele brandstoffen de synthetische textielen in prijs zullen stijgen, is er een kans voor jute dit textiel te vervangen. Momenteel is India de grootste producent van jute ter wereld. Tot ongeveer 1970 was dit Bangladesh maar sindsdien is het verschil in hoeveelheid productie tussen deze twee landen monumentaal gegroeid (International jute studie Group). India stond in 2009 op nummer 1 met een jaarlijkse productie van 1926000 Ton jute en Bangladesh op 2 met een jaarlijkse productie van 923500 Ton jute (faostat.fao.org). Verdere productie landen van Jute zijn China, Thailand, Nepal, Indonesië, Burma, Brazilië, Vietnam, Taiwan, Afrika, Azië en Centraal en Zuid Amerika (Horroks, Anand). Een outlook voor de productie van jute:

Toepassingen

Jute wordt voornamelijk gebruikt als verpakkingsmateriaal (jute zakken) of als basisweefsel voor vloerkleden. In de meubelindustrie wordt het gebruikt bij de stoffering van meubelen. In de geotextiel wordt jute gebruikt als taludbescherming en als bodembescherming. In de agrotexiel wordt jute veel gebruikt als bescherming voor de wor-



Figuur 13. Jute productieproces
(www.made-by.com, www.jute-industry.com, www.jute.org)

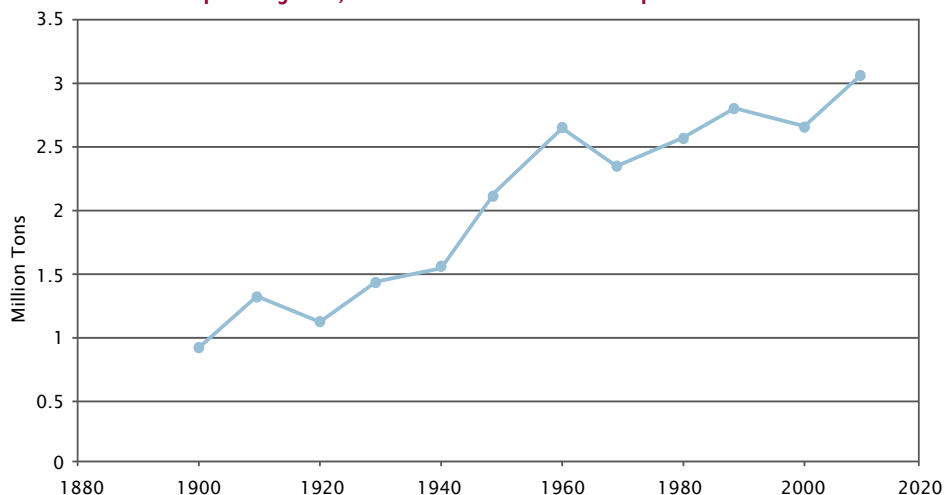


Figuur 14. Jute balen



Figuur 15. Jute tas

Road map for jute, world & allied fibre production



Figuur 16. Jute roadmap (International jute study Group)

tels van verschillende planten bij bijvoorbeeld verplaatsing.

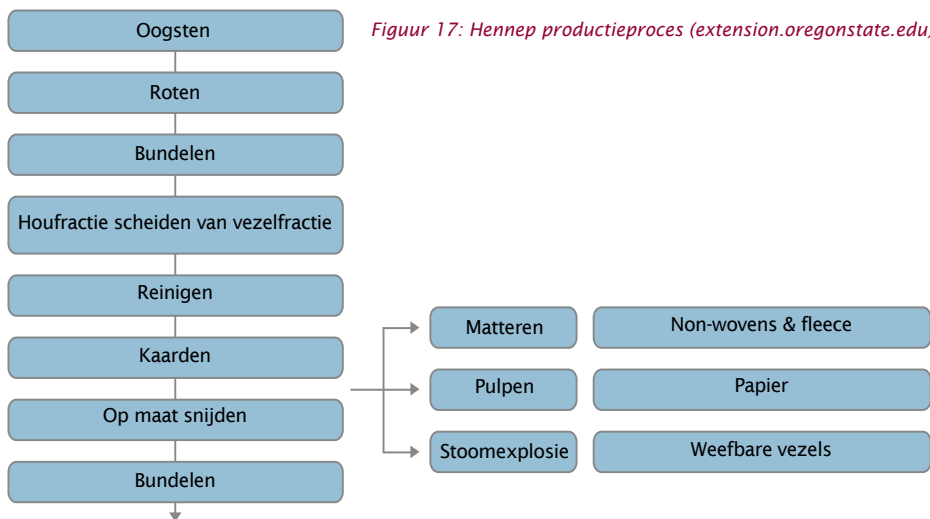
Hennep

Hennep (*Cannabis Sativa*) is een éénjarige plant uit de hennepfamilie (*Cannabaceae*). Het wordt al jarenlang gezaaid vanwege zijn sterke vezel. Hennep is een snelgroeiend gewas, dat het in Nederlands klimaat goed doet. Gezaaid in april, groeit het uit tot een 4,5 tot 5 meter hoge plant, die in augustus kan worden geoogst. De diameter van de stengel is gemiddeld 4-20 millimeter dik. Het telen van de plant is bijzonder milieuvriendelijk. Er is weinig kunstmest nodig, een minimum aan bestrijdingsmiddelen en de bodemstructuur wordt er sterk door verbeterd. De stengel bestaat uit een

houtachtige kern die is omwikkeld met vezelbundels die 1-4 meter lang zijn. Bij het oogsten wordt de stengel in stukken van 4 -10 cm lang gehakt. Daarna moet de houtfractie gescheiden worden van de vezelfractie. Een van de kenmerkende eigenschappen is dat deze vezels beter vocht opnemen dan bijvoorbeeld katoen. De jaarlijkse productie van de hennepvezel ligt rond de 214000 ton. Hennep komt voornamelijk uit Rusland, Italië, China, Servië, Roemenië, Hongarije, Polen, Frankrijk, Nederland, de Verenigde Staten en Australië (soortenbank.nl, www.madehow.com, daglichtproductie.nl, Ehresing, Horroks; S.C.Anand).

Het bedrijf Dunagro uit Oude-Pekela (Oost-Groningen) heeft een revolutionaire installatie van drie miljoen euro gekocht om de scheiding van hout- en vezelfractie van hennep tegen lage kostprijs en op industriële schaal uit te voeren. In de installatie wordt hennepstro gescheiden in kernhout en vezels. Het kernhout wordt afgezet in de dierstrooiselmarkt en de hennepvezels worden gebruikt in auto-onderdelen zoals dashboards (de hoge sterkte en lage rek van de vezelbundels zorgen voor een goede toepasbaarheid in composieten) en in bankbiljetten. De vezelbundels laten zich met air-laid installaties prima verwerken tot non-wovens van verschillende dichtheden, hetgeen diverse nieuwe toepassingen mogelijk maakt. Dunagro heeft de machine ontwikkeld in samenwerking met Ingenieursbureau Van Dommele. De installatie krijgt een capaciteit van 4 ton per uur in dagdienst (genoeg om de vezelhen-

nep van 1000 ha land te verwerken) en kan uitgebreid worden naar 3-ploegendienst. Het project wordt deels gefinancierd door de Noordelijke Ontwikkelingsmaatschappij (NOM). De machine is in oktober 2009 in gebruik genomen. De vezelfractie bestaat nu uit bundels elementaire vezels die aan elkaar zitten met pectine/hemi-cellulose/lignine. Door een extra bewerking (ofwel roten op het land, ofwel chemisch/mechanisch na bewerken) is het mogelijk om de afzonderlijke vezels uit de bundel te isoleren. Op deze manier kan een vezelfractie worden verkregen die verwerkt kan worden op katoenmachines (www.miavamiljaarverslag2009.nl, www.noorderlink.nl). In de Duitse regio Nordrhein-Westfalen wordt momenteel met steun van Europa een productieketen opgebouwd om hennep te telen en daarvan hennepweefsels te maken. Zo worden jeans geweven op basis van de hennepvezel. In Duitsland werd dit project uitgeroepen tot één van de meest innovatieve projecten (INTERREG IIIA-project).



Toepassingen

Vroeger werd vezelhenne op grote schaal in Europa geteeld om er kleding van te maken, evenals schilderdoeken, zeilen voor de scheepvaart, touwen,

enzovoorts. Nu: touw, stof, paklinnen, verpakkingsmateriaal en als een vezel voor papier of plastic vulmateriaal (www.encyclo.nl).



Figuur 18. Hennepvezel

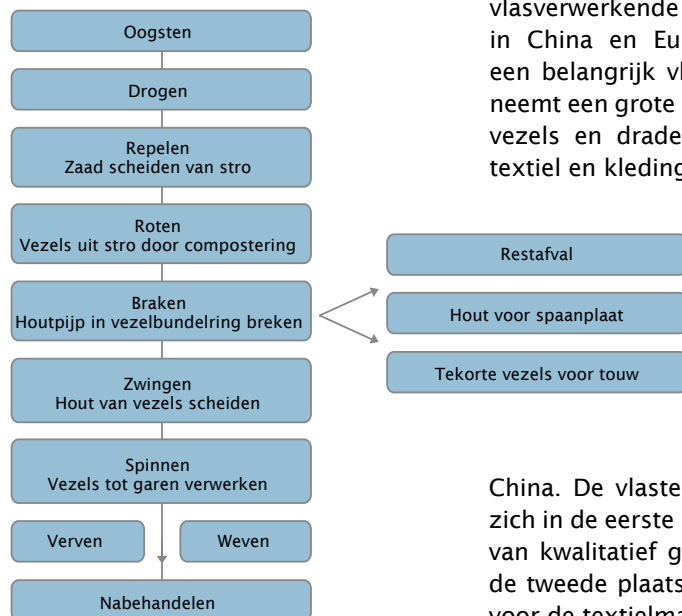


Figuur 19. Hennepgaren

Vlas

De vlasvezel, ook wel *Linum Usitatis-simum* genoemd, wordt gekweekt om zijn stengelvezels en oliehoudende zaden (soortenbank.nl). De stengel van de plant heeft een diameter van 16-32 millimeter en een lengte van 0,9 tot 1,2 meter. Uit de stengelvezels van de vlasplant wordt na 90 dagen groeien onder andere linnen, touw en spaanplaat geproduceerd. Uit de zaden van vlas wordt onder andere diervoeding en zaaigoed geproduceerd. In een stengel bevinden zich dertig tot veertig vezelbundels die vijftig tot honderd centimeter lang kunnen zijn. Ze bestaan uit cellulose en worden bij elkaar gehouden door pectine.

Linnen wordt gemaakt uit de vezels die zich rondom de houtachtige kern in de stengel bevinden. Het heeft een goed vochtopnemend en vochtdoorlatend vermogen, wel kreukt het erg snel, ook na een antikreukbehandeling. De wereldproductie van vlasvezels schommelt nogal. Het heeft gemiddeld een omvang van 650 000 ton per jaar en neemt in de totale kledingproductie een bescheiden plaats in van 1%. Tweederde van de totale vlasproductie vindt plaats in China en een derde in Europa. Frankrijk is met 35% van de Europese productie het grootste vlas producerende land binnen Europa. De voormalige Oostbloklanden produceren samen zo'n 45% van het Europese vlas. Ook de vlasverwerkende industrie bevindt zich in China en Europa. België, vroeger een belangrijk vlas producerend land, neemt een grote rol in de productie van vezels en draden. De verwerking tot textiel en kleding vindt vooral plaats in



Figuur 20. Vlasproductieproces

China. De vlasteelt in Nederland richt zich in de eerste plaats op de productie van kwalitatief goed zaaigoed. Pas op de tweede plaats komen de vlasvezels voor de textielmarkt (www.natuurenwetenschap.info).



Figuur 21. Vlas in bloei



Figuur 22. Vlas roten

Toepassingen

Naast textieltoepassingen voor kleding en interieurdecoratie, wordt vlas tegenwoordig steeds meer gebruikt voor technische toepassingen zoals isolatieplaten en ondervloeren. Ook is het een veelgebruikt materiaal in de geotextiel, zoals bijvoorbeeld gronddoeken en in de agrotexiel als wortelbescherming van planten (www.textstream.be).

Bamboe

Bamboe is de benaming voor een aantal plantensoorten, die een geslachtengroep (tribus) vormen van de grassen (Gramineae oftewel Poaceae). Dit tribus Bambuseae behoort tot het supertribus Bambusoideae en de onderfamilie Bambusoideae. De naam Bamboe is afkomstig uit het Maleis en is vrijwel alle talen bekend. De stengels bestaan uit dichte parallelle vezelbundels. Ze zijn van binnen hol en worden op ge-

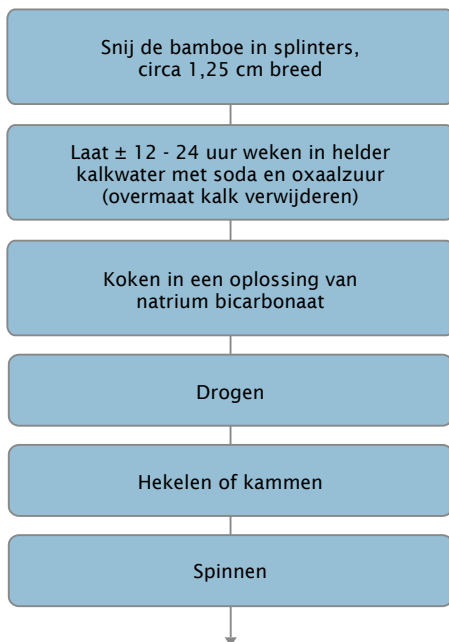
regelde afstanden onderbroken door knoppen (waaraan de bladeren hechten). De lengte van bamboe kan variëren van enkele centimeters tot wel 30 meter en in diameter van enkele millimeters tot ongeveer 25 centimeter. In deze tijd van duurzaamheid en natuurlijke grondstoffen wordt bamboe weer interessant. Het is al erg populair als vervanging voor hout, dankzij vrijwel gelijke eigenschappen. Maar ook als vervanging voor textiel begint het



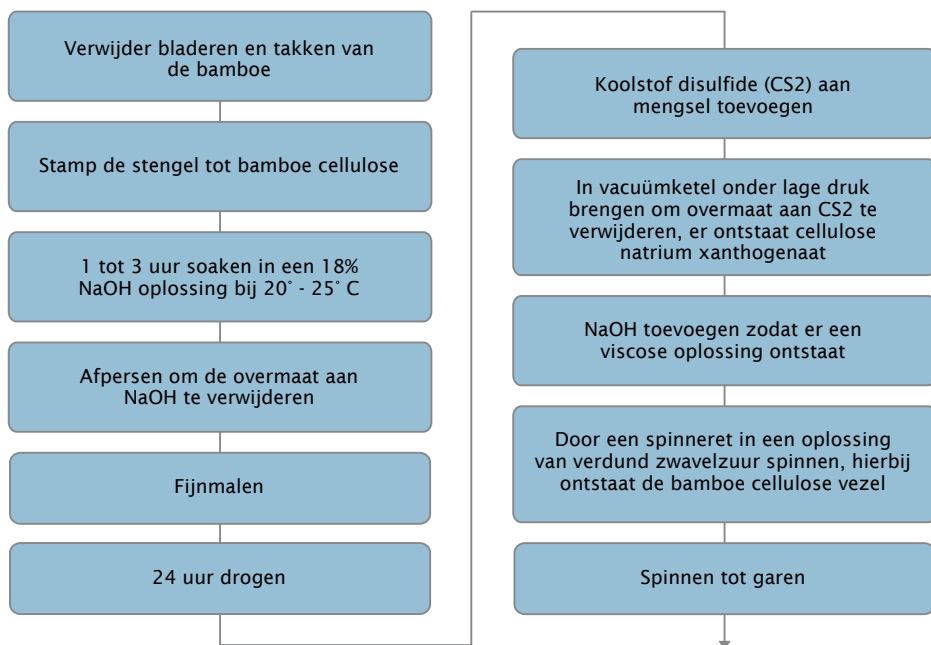
Figuur 23. Bamboevezel

op te komen. Bamboe steekt gunstig af tegen bijvoorbeeld katoen, omdat de opbrengst per oppervlakte-eenheid vele malen groter is. Doordat bamboe een grassoort is, heeft het de eigenschap vanzelf weer aan te groeien wat erg positief is voor het milieuvriendelijke imago van de plant. In 2003 was de totale wereldhandel in de 50 meest geschikte van de in totaal 1500 soorten bamboe al ruim 2300 M€. Het gebruik is vooral populair in China en aangrenzende Aziatische landen. De kostprijs van bamboe ligt rond de 3 tot 7€/kg, gemiddeld rond de 5€/kg (prijspijs 2008) ten opzichte van katoen ongeveer 1€/kg of wol 6,80 €/kg (prijspeil 2007). De vezel heeft een zachte volumineuze greep, voelt koel aan in de warmte, heeft een goed vocht opnemend vermogen, droogt snel en is antistatisch. Door sommige fabrikanten van de bamboevezel wordt tevens beweerd dat deze bacteriedodende en UV-bestendige eigenschappen heeft. Deze claims zijn discutabel en niet wetenschappelijk bewezen. De exacte productiemethode en de aanwezigheid van reststoffen en het vochtgehalte zal hierop invloed hebben. In termen van duurzaamheid is het nog maar de vraag of, gezien de productiemethodes, bamboe wel zo milieuvriendelijk is. Er schijnt ook een meer op mechanische processen gebaseerd productieproces te zijn (figuur 25: hedendaags bamboeproductieproces). Wellicht dat de balans dan aan de goed kant ligt (Waite).

De eerste patenten op het gebruik van bamboe in textiel dateren van 1864 (Philip Lichtenstadt, US patent).



Figuur 24. Bamboeproductieproces Lichtenstadt



Figuur 25. Hedendaags bamboeproductieproces

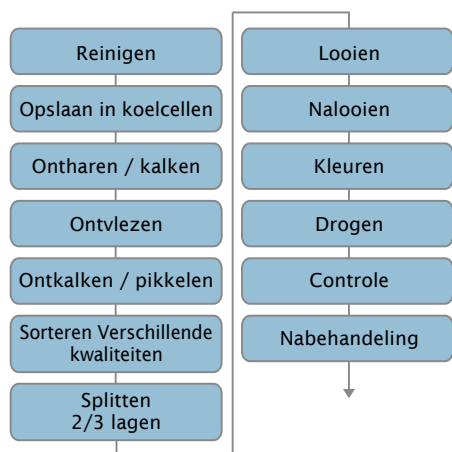
Toepassingen

Er zijn zeer veel toepassingen van bamboe, zoals muziekinstrumenten, sportartikelen, meubels en dergelijke, en dus ook als textielvezel. Ook in de geotextiel wordt bamboe gebruikt als bijvoorbeeld bodembescherming. In de landbouw wordt bamboe gebruikt als plantversterking en plantenpot.

Leer

Een biopolymeer waarmee niet vaak rekening wordt gehouden is leer. Leer is een geconserveerde dierenhuid en bestaat naast water en vet voor 96% uit collageen, de belangrijkste huidproteïne. Collageen is een eiwit en is

biobased. Wanneer leer onbehandeld blijft zal het gaan rotten en composten. Leer dat gebruikt wordt voor productie is echter altijd behandeld om te voorkomen dat het tijdens het productieproces begint te rotten. Ook al is leer een biopolymeer, het wordt vaak niet in die rol gezien, omdat het productieproces van leer gecombineerd gaat met een veelvuldig gebruik van chemicaliën, zoals de luchtverontreiniging door ammonia voor het ontlijmen en waterstofsulfide voor het ontharen. Omdat het toch een biopolymeer behandelen we het hier kort (agency World bank Group).



Figuur 26: Leer productieproces (Sharprouse)

Toepassingen

In de kledingindustrie: truien, broeken, jassen, schoenen, riemen, hoeden, handschoenen. In de meubelindustrie: meubelbekleding.

Automobieliindustrie: interieurbekleding.

Wol

De wolvezel bestaat onder meer uit proteïnen die er door hun chemische structuur voor zorgen dat wol zijn elasticiteit, treksterkte en luchtigheid krijgt. De vezel bevat veel lucht die isoleert tegen warmte en kou. Wanneer de proteïnen in aanraking komen met vocht, komt er in de wolvezel bovendien warmte vrij. De kern van de wolvezel is hydrofiel: de warmte die het lichaam afgeeft in de vorm van uitwaseming wordt door de kern van de vezel opgenomen. De vezel kan dertig procent van zijn gewicht als vocht dra-

gen, zonder vochtig aan te voelen.

Van buiten naar binnen gezien bestaat de wolvezel uit vier lagen:

- Cuticula (hoornachtige schubbenlaag)
- Subcutis (tussenmembraan)
- Cortex (schorslaag)
- Medulla (merg).

De meeste wol, zo'n 40%, is afkomstig van het van oorsprong Spaanse Merino-schaap, dat in de 18e eeuw werd door Engelse kolonisten geïmporteerd naar Australië. Merino-schapen worden gehouden voor hun wol. Deze wol wordt gezien als de wol met de beste kwaliteit, omdat het fijn, zacht sterk, dun, veerkrachtig en gekroesd is. Dit resultaat is bereikt door het doorfokken van schapen met bepaalde kwaliteiten. Bovendien levert een Merino-schaap door zijn onnatuurlijke extra huidplooien veel meer wol.

De wereld telt ongeveer een miljard schapen, die jaarlijks zo'n twee miljard kilo wol leveren. Australië is met een productie van grofweg 500 miljoen kilo wol, afkomstig van zo'n 98 miljoen Merino-schapen, het belangrijkste wol producerende land. (Bron: 2002/2003, British Wool Marketing Board). In Nederland komt 80% van alle schapenwol uit Australië. China is het tweede wol producerende land en in opkomst. Daarna is Nieuw-Zeeland een grote producent. Wol van het Nieuw-Zeelandse Romneyschaap wordt vooral verwerkt in tapijten, vloerbedekking en dekens. Groot-Brittannië is met een schapen-



Figuur 27: Wolproductieproces

industrie van 24,9 miljoen schapen (in 2003) het grootste wol producerende land van Europa. In Nederland worden grofweg 1,5 miljoen schapen gehouden vooral voor de vleesindustrie. Wol wordt beschouwd als bijproduct en heeft een ondergeschikte rol. Het in Nederland meest voorkomende Texelse schaap levert maar weinig wol (3,5 kilo per schaap). De kwaliteit is laag en de hoeveelheid is minder dan 1% van alle wol die in Nederland wordt verkocht. De Nederlandse wolproductie bedraagt zo'n drie miljoen kilo per jaar. De Nederlandse wol is te grof voor de kledingindustrie en wordt vooral gebruikt voor tapijten, dekens en als vulling voor matrassen en dekbedden. Wol uit Australië wordt vooral verscheept naar de Verenigde Staten, Europa, de voormalige Sovjet-Unie, Japan en China.

Toepassingen

In eerste instantie denkt men bij wol meteen aan kleding, maar het heeft natuurlijk veel meer toepassingen. Bijvoorbeeld in het interieur zoals beddengoed, meubelstoffen, raambekleding en vloerbedekking. In de bouw wordt het veelal gebruikt als isolatiemateriaal (www.pwg.nl).

Katoen

Katoen staat bekend als de op een na meest gebruikte grondstof voor textiel (na polyester) wereldwijd. Al eeuwenlang wordt katoen geoogst, voorbehandeld en geleverd om kleding, interieurstoffen en andere producten te verkrijgen. De eerste applicatie van katoen stamt ongeveer uit het jaar 5000 voor Christus. Deze katoenen producten zijn gevonden in grotten in Mexico. Ongeveer 800 jaar voor Christus werd katoen door Arabische kooplieden geëxporteerd naar Europa. In het jaar 1500 werd katoen een wereldwijd bekend product. Vanaf 1730 werd katoen voor het eerst machinaal gesponnen.

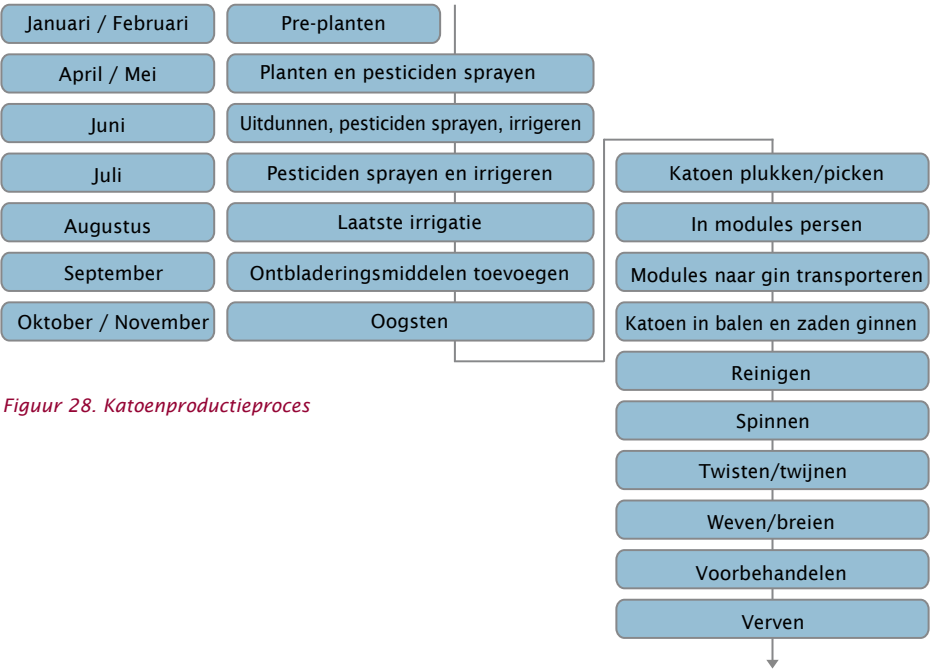
Katoen is een natuurlijke, cellulose houdende vezel en is een product van de plant Genus *Gossypium*. De Genus *Gossypium* is een plant uit de *Gossypieae* tribe, de *Malvaceae* familie en de *Malvales* order. De Genus *Gossypium* staat ook wel bekend als de katoenplant. Deze planten kunnen groeien tot een hoogte van 6 tot 20 meter, hoewel ze gecultiveerd vaak kleiner worden gehouden. Ka-

toen planten moeten vaak zo'n twee maanden groeien voordat bloemknoppen ontstaan. Na het ontstaan van de bloemknoppen zal de knop zich na ongeveer drie weken openen. Vanaf dat moment gaan de bladeren van geel naar roze en als laatst donkerrood. Na drie dagen zullen dan de bladeren verschrompelen en afvallen, waarna zaadballen overblijven, ook wel katoenballen genoemd. Wanneer de bol rijpt, wordt hij donkerbruin en na een tijdje zal de bol opensplijten waarna de katoenvezel tevoorschijn komt. Er bestaan ongeveer vijftig soorten katoen, toch zijn er maar vier gecultiveerd: de *G.hirsutum*, de *G.Barbadense*, de *G.Herbaceum* en de

G.Arboreum (www.cotton.org, www.cottonsjourney.com).

Brandnetel

Brandnetel (*Urtica*) is een plantengeslacht waarvan in Nederland en België de grote brandnetel (*Urtica dioica*) en de kleine brandnetel (*Urtica urens*) voorkomen. Het geslacht kent zo'n dertig tot vijfenveertig verschillende soorten waarvan er vier in Midden-Europa voorkomen. De botanische naam komt uit het Latijns en betekent 'uro' oftewel ik brand, wat verwijst naar de pijnlijke en/of irriterende brandharen van de plant. Het Griekse 'dioica' geeft ook wel het verschil aan tussen de mannelijke en vrouwelijke planten.



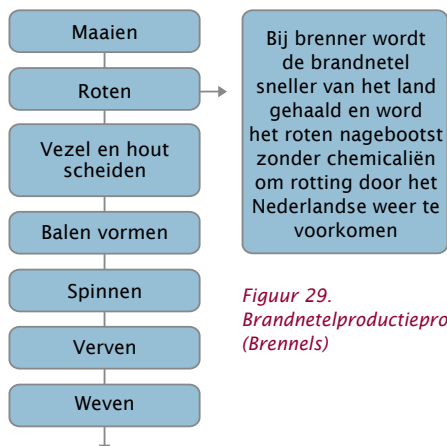
Figuur 28. Katoenproductieproces

De inhoudsstoffen van brandnetel zijn: flavonoiden, chlorofyl, carotinoïde, vitamines, minerale zouten, beta-sisosterol, plantaardige zuren en in de brandharen zit amine (histamine). Brandnetel wordt wereldwijd gedistribueerd. Net als vlas en hennep werd het tot aan de tweede wereldoorlog gebruikt als grondstof voor textiele producten. Het verdween toen andere, goedkopere en makkelijker verwerkbare vezels beschikbaar kwamen (Was-kow). Tegenwoordig groeit de vraag naar natuurlijke vezels die verkregen kunnen worden met een zo laag mogelijke impact op het milieu. Brandnetel kan hiervan profiteren, het gewas kan namelijk acht tot tien jaar overleven, de teelt kan met weinig energie groeien en het kan lokaal worden geproduceerd. Ook kan er uit brandnetel, in tegenstelling tot vezels voor een hoge kwaliteitstextiel, een breed aantal producten ontstaan naast tex-

tiel, zoals cosmetische producten en natuurlijke medicijnen (Bone and Mill). Textiel van brandnetel wordt tegenwoordig nog maar in minimale mate geproduceerd. In Nederland is Brenner de enige producent van de brandnetelvezel. Daarom is ook alleen het



Figuur 30. Brandnetelvezel



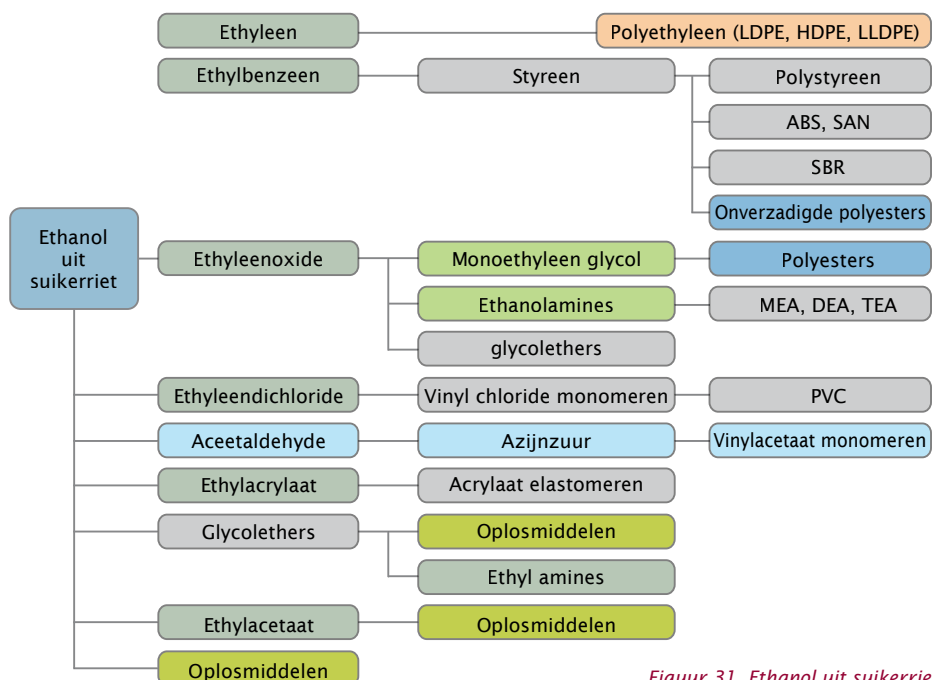
Figuur 29. Brandnetelproductieproces (Brennels)

productieproces van Brenner bekend, dat zelfs nog in ontwikkeling is. Brenner gebruikt bijvoorbeeld een verwerkingsmachine die oorspronkelijk voor hennep werd gebruikt. De vezels worden in het spinproces gemengd met katoen, omdat de verwerking van 100% brandnetel nog te duur is.

5. Polymeren van hernieuwbare grondstoffen

In de afgelopen jaren zijn er diverse hernieuwbare polymeren ontwikkeld op basis van hernieuwbare grondstoffen. We beschrijven er een aantal met hun eigenschappen en toepassingsgebieden. Het gaat hierbij om polymeren die traditioneel uit aardolie geproduceerd werden, maar die in toenemende mate geproduceerd worden uit

hernieuwbare grondstoffen, veelal uit (riet-)suiker. Rietsuiker is in potentie een rijke bron aan chemische producten die verder verwerkt kunnen worden tot eindproducten. Hieronder een overzicht van de synthese routes die kunnen leiden tot een aantal biobased materialen en chemische producten.



Figuur 31. Ethanol uit suikerriet

Epoxyacrylaat (EP)

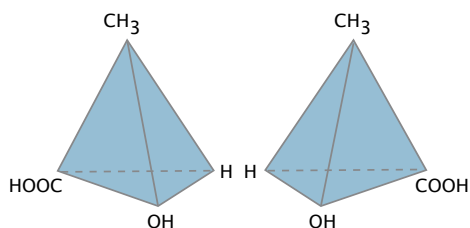
Dit polymeer is een epoxy hars uit biobased glycerine. Glycerine wordt in de oleochemie gemaakt door hydrolyse van plantaardig vet, dierlijk vet of olie. Ook ontstaat het als bijproduct bij de productie van zeep of biodiesel. Toepassingen van epoxyacrylaat zijn lijmen, 2-componentensystemen, injectieharsen en dergelijke. EP is een biopolymeer, die nog net genoemd mag worden, aangezien hij niet biodegradeerbaar is en maar deels biobased. We gaan er hier niet verder op in (www.encyclo.nl).

Polyurethaan (PU)

Polyurethaan is een organische verbinding tussen een polyol en isocyaan (-NCO-). Polyol is een organische chemische verbinding met als basis suiker. Isocyaan is een zuurrest. Toepassingen van polyurethaan zijn flexibele foam, thermo-isolatie, elastomeren voor gelpads en printrollen, elastomeren voor schoenen, harde plastics voor elektronica en flexibele plastics voor straps en bandwerk. PU kan verdeeld worden in twee toepassingsgebieden. Dit zijn de amorfe elastomeren, die gebruikt worden voor bijvoorbeeld lijmen en textielen en kristallijne schuimen die gebruikt worden voor bijvoorbeeld kussenvullingen matrassvullingen en purschuim. Ook PU is een deels biobased biopolymeer (www.polyols-eu.com, www.polyurethaan.org).

Polymelkzuur (PLA)

Polymelkzuur is momenteel het meest gebruikte commerciële bioplastic. Polymelkzuur is een polyester, waarvan de keten is opgebouwd uit een aantal melkzuureenheden. Het is kleurloos en doorzichtig, met een dichtheid van ca. 1,25 kg/dm³. De glastemperatuur ligt typisch rond 50-60°C. Het smeltgebied ligt tussen 170 en 230°C. De ontbindingstemperatuur is ongeveer 250°C. Polymeren van melkzuur zijn brandbaar en biologisch afbreekbaar in industriële composteringsinstallaties. De huidige productie van polymelkzuur is ongeveer 140 kton per jaar, de prijs van het granulaat is circa 1,5 á 2,5 euro per kilogram. Polymelkzuur ontstaat door een directe condensatiepolymerisatie van melkzuur. Melkzuur ontstaat door de fermentatie van zetmeel of suiker. Momenteel worden deze suikers gewonnen uit landbouwgewassen zoals suikerriet of maïs, in de toekomst zullen naar verwachting ook andere bronnen worden gebruikt zoals melkwei, resten van maïskolven en stro. Melkzuur komt in twee vormen voor: linksdraaiend (L-) en rechtsdraaiend (D+). Als hiervan polymeren gemaakt worden, dan hebben die verschillende eigenschappen die zijn toe te schrijven aan de ruimtelijke ordening van het resulterende polymeer.



Figuur 32. PLA

Men kan zowel D als L-melkzuur of een mengsel van beide gebruiken. De graad van kristalliniteit van het polymeer hangt af van de verhouding tussen D- en L-melkzuur. Belangrijke eigenschappen van polymelkzuur zijn transparantie, waterbestendigheid, zijn specifieke

gasbarrière-eigenschappen, als folie kraakt het en bepaalde varianten hebben een minder goed geheugen waardoor het na vervorming minder snel in haar oorspronkelijke vorm zal terugkeren. Toepassingen van polymelkzuur zijn hechtdraad, schroeven en haakjes die in het lichaam afbreken en uiteenvallen in melkzuur. Het wordt gebruikt voor verpakkingen van voedingswaren, en voor vensters in dozen en labels. Met toevoeging van additieven voor een betere mechanische sterkte wordt het ook gebruikt voor vezels, coatings, bestekken, flesjes, potten en dergelijke (Van Velthuysen, KNAW&KNCV, Chemie achter de dijken).

De Teijin groep (producent van aramides) heeft een nieuwe hittebestendig polymeer ontwikkeld gebaseerd op poly L-melkzuur en poly D-melkzuur. Door gebruik te maken van de specifieke kristallisatie eigenschappen van deze mengvorm kan een polymeer verkregen worden dat een smeltpunt heeft van 210°C. Dit is 40°C hoger dan van normaal polymelkzuur. De vezel wordt Biofront genoemd en heeft dus zeer goede mechanische en thermische eigenschappen. Het kan in toepassingen gecombineerd worden met normale polyester en is geschikt voor een veelvoud aan toepassingen. De verfcondities zijn vergelijkbaar met die van standaard polyester (Kazuhiro Morishima).

Eigenschappen Biofront, PLLA en PET

Test	Biofront	PLLA	PET
Smeltpunt (Celsius)	210	170	255
Glas overgang temperatuur (Celcius)	57	57	70
Oplossingsweerstand halogeen oplossing	OK	NG	OK
weerstand tegen hydrolyse	+	-	+
Verbrandingswarmte	Low	Low	High

Tabel 3. Biofront

In onderstaande tabel een overzicht van de vezeleigenschappen van PLA in vergelijking met een aantal andere biobased textielvezels.

Eigenschappen van polymelkzuur, katoen, zijde en wol				
Eigenschappen	Polymelkzuur	Katoen	Zijde	Wol
Lengte (mm)	38	25-39	-	58-100
Fijnheid (dtex)	1,52	1.2-2.0	1.0-2.8	6-9
*Droge treksterkte (CN/dtex)	2,8	1.9-3.1	3.8-4.0	2.6-3.5
*Droge treksterkte breekperc. (%)	25-35	7-10	11-16	14-25
Natte treksterkte (CN/dtex)	2,4	3,2	2.1-2.8	0,8
Natte treksterkte breekperc. (%)	28,8	13	27-33	50
Frictie coëfficiënt (statisch)	0,187	-	0,52	0,24
Frictie coëfficiënt (dynamisch)	0,214	-	0,26	0,384
Logaritme van massaspecifieke weerstand (Wg/cm²)	9,1	6,8	9,8	8,4
*Initiële modulus (cm/dtex)	60-80	60-82	60-80	44-88
Vocht terugwinning (%)	5-8	7-8	8-9	15-17
Specifiek gewicht (g/cm³)	1,22	1.50-1.54	1.46-1.52	1.34-1.38

Tabel 4. Eigenschappen van polymelkzuur, katoen, zijde en wol

Polyhydroxyalkanoaten (PHA's)

Dit zijn polymeren gevormd door bacteriën, gisten of planten. Bij planten en gisten is genetische modificatie nodig om PHA te produceren. Bij bacteriën wordt alleen gebruik gemaakt van genetische modificatie om de productiecapaciteit te verhogen of materiaaleigenschappen van de eindproducten te modificeren. De monomeersamenstelling van PHA is van grote invloed op de eigenschappen van PHA. Afhankelijk van deze samenstelling is het mogelijk om een grote diversiteit aan PHA's te produceren. De specifieke eigenschappen van PHA zijn afhankelijk van de samenstelling: van flexibel, rubberachtig tot rigide. De lage waterdampdoorlatendheid is verder een belangrijke eigenschap. PHA is qua eigenschappen te vergelijken met ABS (Acrylonitril Butadiëen Styreen). In tegenstelling tot PLA is PHA beter bestand tegen hoge temperaturen. Toepassingen van PHA waren in het verleden shampooflessen, creditcards en klerhangers. De verst ontwikkelde PHA's tot nu toe is Polyhydroxybutyrate-co-Valerate (PHBV). Het is een compleet biodegradeerbaar thermoplastisch polymeer geproduceerd door microbiologische fermentatie, op basis van PHA (Akotnis, Gregory, O'Brien and J.L. Willet). PolyHydroxyValerate (PHV) wordt voornamelijk gebruikt in combinatie met PHB. PolyHydroxyButyrate (PHB) is de meest voorkomende PHA met een hoog kristallijn en thermoplastisch karakter. Het heeft met PP (Polypropyleen) vergelijkbare eigenschappen. Het kan

op basis van suiker en zetmeel worden geproduceerd. Wereldwijd hebben bedrijven aangekondigd met de productie van PHB te beginnen of uit te breiden. Zo wil onder andere de Zuid-Amerikaanse suikerindustrie de productie van PHB op industriële schaal gaan toepassen. PHB is biologisch afbreekbaar, heeft een smeltpunt van boven de 130°C en bezit voor vele toepassingen optimale mechanische eigenschappen. Toch zijn er nog moeilijkheden bij de productie van PHB waardoor de productie achterblijft, zoals het feit dat er voor de productie van 1 kilogram PHB 3 kilogram suiker nodig is. Dit in combinatie met de vraag naar suiker vanuit de biobrandstof- en voedselindustrie zorgt voor oerwoud bedreigingen in Zuid-Amerika (www.composteerbaar.nl, www.innoveermetpolymeer.nl).

Polybutylene succinate (PBS)

PBS en zijn copolymeren zijn een familie van biobased en biodegradeerbare polymeren met een uitstekende biodegradeerbaarheid, thermoplastische verwerkbaarheid en gebalanceerde mechanische eigenschappen. De fysische eigenschappen en mate van biodegradeerbaarheid van PBS-materialen kunnen gevarieerd worden door middel van copolymerisatie met verschillende types en met de verschillende inhoud van monomeren. PBS heeft een breed temperatuur bereik voor thermoplastische productie. Dit maakt de hars geschikt voor extrusie, spuitgieten, thermovormen en folieblazen (Guo, Xu).

Bioamber (een joint venture tussen DNP Green technology en ARD) en Sinoven Biopolymers Inc. hebben een leveringsovereenkomst getekend voor biobased barnsteenzuur. Binnen de overeenkomst zal Bioamber Sinoven's exclusieve leverancier worden van biobased barnsteenzuur. Wat Sinoven de kans geeft om hernieuwbare gemodificeerde Polybutyleen succinaat zuur (PBS) te produceren. Sinoven's revolutionair gemodificeerde PBS heeft betere eigenschappen dan andere biodegradeerbare polymeren die momenteel op de markt zijn, met een hitte weerstand van boven de 100°C, perfecte sterkte eigenschappen en de mogelijkheid om geproduceerd te worden in bestaande productie faciliteiten. Sinoven zou het eerste bedrijf zijn dat PBS op de markt brengt met een hernieuwbare inhoud van meer dan 50%. (biopol.free.fr)

Polybutyleen terephthalaat (PBT)

PBT is een semi-kristallijn polymeer dat perfecte mechanische en elektronische eigenschappen combineert met een robuuste chemische weerstand. Het is een polymeer dat deel uitmaakt van de polyesterfamilie van de harsen. Ook is het een thermoplastische polymeer. Verdere eigenschappen van PBT: een hoge trekkracht, hoge stijfheid, taaiheid en een chemische weerstand tegen een breed scala van chemicaliën zoals oplosmiddelen, oliën en vetten. Applicaties zijn bijvoorbeeld ontstekingen

in de automotive industrie, strijkijzers, hulzen in de elektronica en douchekoppen. PBT is niet biodegradeerbaar en slechts gedeeltelijk biobased dus mag zich amper scharen tot de biopolymeren (www.omnexus.com).

Polytrimethyleen terephthalaat (PTT)

PTT is een lineair aromatische polyester geproduceerd door de polycondensatie van 1,3-propanediol (trimethyleenglycol, 3G of PDO) met een terephthalische (PTA) zuur of dimethyleenterephthalaat (DMT). Wanneer wordt gekeken naar de conventionele productieroute zijn beide monomeren (diacid en diol) verkregen uit petrochemische grondstoffen. De productie van biobased PDO is ontwikkeld door DuPont Tate & Lyle LLC. DuPont's BIO-PDOtm is geproduceerd door aerobe fermentatie van glucose uit maïszetmeel. De opbrengst en productiviteit zijn relatief hoog met het aerobe proces. Dit opent de weg naar bulkproductie van biobased PTT. In 2006 is de productiecapaciteit van BIO-PDOtm verhoogd naar 45000 t.p.a (100 miljoen lb p.a.). Acroniemen van PTT zijn ook wel PTMT (Polytrimethyleen-Terephthalaat) en PPT (PolyPropyleen-Terephthalaat). Als thermoplast heeft PTT erg aantrekkelijke eigenschappen; het combineert de stijfheid, sterkte en weerstand van Polyethyleenterephthalaat (PET) met de goede verwerkbaarheid van PolybutyleenTerephthalaat (PBT). PTT wordt vooral gebruikt om vezels van te produceren, die gebruikt

worden voor tapijten en technische textiel. Het heeft de goede elasticiteit van, alsook de verfbaarheid, statische weerstand en chemische weerstand van PET. Als garen voor kleding heeft het de eigenschappen goede rekbaarheid, zachtheid en verfbaarheid. Wanneer het als blend gebruikt wordt kan het treksterkte, flexibiliteit en barrière-eigenschappen verbeteren bij giet- en extrusieapplicaties. (DuPont, 2008d, www.fbi.gov).

Eigenschappen PET, PTT en PBT			
Test	PET	PTT	PBT
Tm (Celsius)	265	228	225
Tg (Celsius)	70-80	45-65	25-
Elasticiteit	x	xxx	xx
Zachtheid	xx	xxx	x

Tabel 5. Eigenschappen PET, PTT en PBT

Een voorbeeld van een biopolymeer uit PTT: Biophyl, Advansa’s milieuvriendelijke polyester. Onlangs introduceerde Adansa het nieuwe Biophyl, een polyestervezel. Het materiaal is gebaseerd op het Dupont polymeer Sorona en is voor 37% gemaakt van plantensucrose en is dus hernieuwbaar. Het

heeft de goede eigenschappen van polyester en de huidcontact eigenschappen of greep van nylon. Vergelijken met het op olie gebaseerde nylon vergt de productie 30% minder energie en geeft het 63% minder CO₂-uitstoot. Het materiaal is goed te verven in briljante tonen, is soepel en zacht en is door het stretch-effect comfortabel. Het is goed bestand tegen UV en chloor. Het kan gewassen en gestreken worden als standaard polyester. Het laat zich verwerken als gewone polyester en het doek kan goed tegen hogere temperaturen. Het materiaal is gemaakt van PTT of polytrimethylenterephthalate en is dus een aromatisch polyester, geproduceerd door middel van de polycondensatie van 1,3-Propane-diol en Terephthalic Acid. Het molecuul heeft een zigzagstructuur, waardoor het stretchkarakter verkregen is. De glasovergangstemperatuur ligt rond de 55 °C, dus de kritische aanverf temperatuur ligt op een niveau van 70 - 110 °C, waarbij in dat interval de meeste verf in de vezel is getrokken. Het verdere proces is gelijk aan een standaard verfproces. Dus een mooie nieuwe polyester, goed aan te verven en voor deze tijd onderbouwd met een geloofwaardig marketingverhaal (Bong, Colasanto).

Cellulose

Cellulose is één van de meest voorkomende celwandbestanddelen van alle belangrijke planten en vormt daarom het merendeel van alle chemische celcomponenten. Cellulose wordt het meest gevonden in onverhoute planten, zoals katoen en in verhoute planten zoals bomen. De volgende cellulose bevattende biopolymeren worden meegenomen in dit rapport; Cellulose acetaat vezels, Cellulose Acetaat Butyraat en Lyocell.

Cellulose Acetaat (vezels)(CA)

Cellulose acetaat is een transparante, glanzende en vrij harde thermoplastische polymeer. Het is oplosbaar in organische oplosmiddelen en daardoor beschikbaar voor de productie van vezels en het spinnen van garens. De term 'acetaatvezel' wordt vaak gebruikt voor de beschrijving van vezels, die gemaakt zijn van cellulose acetaat. Cellulose uit hout wordt gezwollen door azijnzuur, geconverteerd door cellulose acetaat door het gebruik van azijnzuuranhydride en daarna opgelost in aceton. De viscoseoplossing die dan overblijft, wordt door spinnerets gepompt in hetelucht om filamenten te vormen. De aceton verdampt en wordt hergebruikt (CIRFS, 2008a, www.azom.com).

Cellulose Acetaat Butyraat (CAB)

CAB is een thermoplastische polymeer. Het heeft betere verwerkingseigenschappen dan cellulose acetaat of cellulosepropionaat. Het is ook sterker dan celluloseacetaat en heeft een lagere vochtabsorptie dan celluloseacetaat. Het heeft een transparante en glanzende oppervlakte finish. Wel is het duurder dan cellulose acetaat. Toepassingen van CAB zijn handvaten van gereedschap, panelen voor lichtbakken, autosturen, zwembrillen, fittingen voor badkamers, pennen, sierlijsten voor auto's, duurzame consumptiegoederen, pneumatische trappen, pleisterverpakking en lamineren met aluminiumfolie (www.azom.com).

Lyocell

Lyocell is een cellulose vezel verkregen uit een organisch spinproces uit oplosmiddelen, waarbij het oplosmiddel genaamd N-Methylmorpholine-N-oxide (NMMO) bestaat uit een mix van organische chemicaliën en het spinproces en de oplossing plaatsvindt bijna geheel zonder het produceren van 'afval'. De lyocell wordt gesponnen tijdens het natte proces om speciale texturen te verkrijgen. Het is een zeer veelzijdige stof en verfbaar in praktisch alle gewilde kleuren.

Verschillende eigenschappen van Lyocell zijn; zacht, sterk, goede absorptie, perfecte natte sterkte, goede kreukweerstand, handwasbaar, goede drapeerbaarheid en biodegradeerbaar (www.afma.org).

Thermoplastic starch (TPS)

TPS wordt gemaakt van plantaardige grondstoffen zoals tarwe, maïs, aardappel, rijst en tapioca, dus het is een biobased polymeer. Het wordt gevormd door natuurlijke zetmeel in een extruder. Onder bepaalde temperatuur, druk, water en tijd worden de natuurlijke kristallijne vormen en korrelige structuur van amylase en amylopectine bijna geheel vernietigd (HOOD, 2003). De eigenschappen van TPS verminderen bij toepassing van water, mechanische energie, temperatuurverhoging en enzymen. Met als gevolg dat het materiaal biodergraadbaar is, dat gebruikt kan worden voor zeer specifieke toepassingen. Wanneer volledig gedegradeerd zal er alleen compost achterblijven. Het is goed bruikbaar voor applicaties waarbij geen beroep wordt gedaan op mechanische eigenschappen, zoals treksterkte. Thermoplastic starch wordt onder andere geproduceerd door AVEBE, Biop, Biotech en Novamont (www.matbase.com).

Biobased polyamides (PA) (Nylon)

Nylon is een generieke naam voor een familie van polyamide, met een kenmerkende repeterende amidegroep [-CONH-]. Polyamides worden over het algemeen geproduceerd uit diamines en dibasische (dicarbon) zuren, aminozuren of lactamen. De verschillende polyamidetypes worden geïdentificeerd door nummers die het aantal

carbon atomen in de monomeren aangeven. Voorbeelden van verschillende biobased polymeren (Li Shen, Haufe, Patel):

- PA11 Biobased-monomeer 11-aminoundecanoic zuur uit Castorolie
- PA6 Biobased monomeer caprolactam door de fermentatie van suiker
- PA66 Biobased adipic acid door fermentatie
- PA69 Biobased monomeer verkregen uit oleiczuur via azelaic(di)zuur.

Niet alle polyamides zijn biopolymeren. Een groot deel van de polymeren uit polyamide wordt geproduceerd uit bijvoorbeeld aardolie. Inmiddels zijn er verschillende bedrijven bezig met de productie van polyamide biopolymeren.

Een commerciële variant van PA11: Greenfill©: nylon vezels van de ricinuszaad (boon). De ricinus boon levert ricinus olie (in de techniek ook wel Castor olie genoemd). Het ricinuszaad is de bron van wonderolie, dat allerlei toepassingen heeft. De zaden bevatten tussen de 40% en 60% olie die rijk is aan triglyceride, hoofdzakelijk ricinolein. Uit de zaden (productie 1 miljoen ton per jaar) wordt olie geperst en uit die olie worden delen geïsoleerd en omgezet in een variant op nylon. In feite is het nylon 11 onder de merknaam Rilsan (Arkema groep en Solfil). De merknaam van het nieuwe polymeer wordt Greenfil©.



*Figuur 33.
Ricinuszad*



*Figuur 34.
Rilsan Monnet sokken*

Twee bedrijven komen er nu mee op de markt: het Franse Monnet, producent van sportsokken en Unitika een Japanse producent van technische vezels die het gaat toepassen in textiel voor bagage. De producent Arkema claimt dat het de eerste high performance

nylon is die is gemaakt van 100% hernieuwbare grondstoffen. Het is ook geschikt voor automotieve, medische en industriële toepassingen. De CO₂-productie van Nylon 6 of 6.6. is ruwweg 160 – 180 kg eq CO₂/kg nylon. Voor Greenfil is dit 100 kg eq CO₂/kg. Aanverven blijft een probleem (www.fibre2fashion.com, www.worldlingo.com, fabricstockexchange.com).

6. Dierlijke biopolymeren

Ook van dierlijke grondstoffen worden biopolymeren geproduceerd. Deze grondstof wordt minder gebruikt dan natuurlijke grondstoffen, maar er worden wel vaak biopolymeren geïsoleerd uit afvalstoffen die toch al ontstaan, bijvoorbeeld tijdens de productie van vlees. Daardoor kunnen ze als biopolymeer succesvol zijn in termen van bijvoorbeeld LCA.

Caseïne

Caseïne is een dierlijk eiwit dat voorkomt in melk. Caseïne kan op industriële schaal uit ondermelk gewonnen worden door de melk te verwarmen en aan te zuren met zwavelzuur.

Gelatine

Gelatine wordt gedefinieerd als een product verkregen uit een gedeelde hydrolyse van collageen, uit natuurlijke bronnen zoals huid, bindweefsel en botten van dieren. Het is een gemakkelijk verteerbare proteïne dat alle essentiële aminozuren bevat, behalve Tryptofan. Het wordt geproduceerd als poeder of granulaat, heeft een licht gele tot beige kleur en is smaak- en geurloos. Gelatine wordt gebruikt in drie vakgebieden; de voedselindustrie, de farmaceutische industrie en in de fotografische industrie. Met productvoorbeelden als gelatinedesserts en capsu-

les voor medicijnen (www.skepsis.nl).

Chitosan

Dit is een natuurlijk voorkomende polymeer en lineaire polysacharide. Het is in 1859 ontdekt door C. Rouget, die chitine kookte met kaliloog. Chitosan wordt gemaakt uit chitine, dat geproduceerd wordt uit de exoskeletten van krabben en garnalen. Het beschermende exoskelet van deze dieren is normaal een afvalproduct. Voor de productie van chitosan wordt het schoongemaakt en verpulverd, vervolgens wordt het poeder enige tijd met zoutzuur behandeld, zodat de kalk oplost. De chitine (N-acetylglucosamine) in dit poeder wordt behandeld met een loogoplossing, zodanig dat de acetyl-groep van het molecuul wordt verwijderd en chitosan resulteert.

De eigenschappen van Chitosan: biologisch afbreekbaar is (onder andere door enzymen in het lichaam), niet toxisch, antibacterieel, versnelt wondherstel, het bindt zich gemakkelijk aan diverse materialen.

Verschillende toepassingen:

- Waterzuivering: het veroorzaakt binding van de proteïnes in vervuild water; het kan zware metalen uit water binden (en na behandeling opnieuw gebruikt worden).

Biovezels uit melk

In 1924 produceerde ENKA de uit melk afkomstige geregenereerde kunstvezel Enkasa- melkwol. En in de jaren '30 van de vorige eeuw werd deze caseïne kunstvezel op grote schaal in de markt geïntroduceerd in Italië en de USA. Het doel was vooral om te concurreren met wol. Na de oorlog werd de productie gestopt, ook al omdat er relatief veel melk nodig was voor de productie. Voor het maken van 1 kg melkwol had men 1 kg caseïne nodig. Dit laatste werd verkregen uit ca. 33 liter afgeroomde melk. Bij een dagproductie van 3000 kg melkwol was 100.000 liter ondermelk nodig. Daarvoor moesten toen 12.000 koeien goed hun best doen voor een melkbeurt. Bovendien rook de vezel als deze nat werd onaangenaam. Merknamen uit die tijd: Enkasa, Aralac, Lanatil en merinova. Blijkbaar is er nu vooral in Azië een revival van de melkkunstvezel. Het in Peking gevestigde Cyarn heeft het opnieuw in de markt gebracht met een hele verzameling onnozele gezondheidsclaims. Zoals bekend laat de vezel zich goed aanverven in heldere kleuren. Het laat zich ook goed mengen met wol, viscose, katoen en natuurvezels als ramie. Producten die nu worden aanbevolen zijn ondergoed, T-shirts en sweaters. Er is al sinds de introductie bekend dat het een soepele zachte greep heeft. Als echte voordelen worden genoemd dat het een biobased product is en dat het prima technische eigenschappen heeft. Ook wordt geclaimd dat de vezel milde antibacteriële eigenschappen heeft en dus geschikt is voor hygiëne toepassingen, zoals verband en ondergoed. Deze claims zijn echter niet wetenschappelijk bewezen (www.gelatin-gmia.com, euroflax.com, www.enka-ed.com, www.cyarn.com).

- Een membraan gemaakt van chitosan fungeert als waterverzachter.
- Als component van papier maakt het dit sterker; door de antibacteriële werking kan het papier dan ook gebruikt worden in voedselverpakking.
- Medische toepassingen (bij wond-dichting na operaties, verband-middel).
- Toepassingen in de drugs- en cosmetica-industrie.
- In de textielindustrie voor het verbeteren van textieleigenschappen: meer kreukvast katoen, kleurstoffen kunnen beter aangebracht worden.
- Als smeermiddel in industriële toepassingen.

- Als afslankmiddel (een omstreden toepassing).
- Als biologisch alternatief voor zilver om weefsels zweetgeuronderdrukkende eigenschappen te geven.
- Als een onderdeel van een tweevoudig klaringssysteem om wijn van ongewenste verontreinigen te ontdoen. Oftewel voor het klaren van wijnen.

In 2009 is een coating ontwikkeld die na bijvoorbeeld bekrast te zijn zichzelf herstelt wanneer het wordt blootgesteld aan UV-licht. Dit is een Polyurethaan coating waar chitosan in geïmplementeerd is. (www.stuart-morris.co, www.encyclo.nl, Gosh, Urban, Gosh et al, United States Patent 6852904)

CRABYON

Crabyon is een composietvezel met chitine, chitosan en cellulose, ontwikkeld door OMIKENSHI (Swikofil).



7. Mechanische eigenschappen van

Eigenschappen biopolymeren voor GEO-toepassingen					Treksterkte
	Biobased	Biodegr.	Degradeerbaar- heid	Dichtheid	Tensile strength
				g/cm³	(Mpa)
Natuurlijk					
Jute			modder, zon, condensatie	1.44-1.46	453-550
Bamboe				0.3-0.4	
Leer				0.8-1.07	9-41
Wol				1.32-1.38	125-200
Katoen			35-38 vochtig	1.5-1.54	400-850
Brandnetel				1,5	500
Hennep				1,48	690-696
Kokos				1.15-1.4	140-150
Vlas				1.43-1.52	400-1500
Hernieuwbaar plantaardig					
Epoxyacrylaat (EP)				1.15-1.15	65-79
Polyurethaan (PU) (flexible foam)				0.02-0.1	0.2-1.1
Polymelkzuur (PLA)				1.21-1.43	10-110
Polyhydroxyalkanoaten (PHA)			bodem, zee, anaeroob	~1.23	~43
Polybutylene succinaat (PBS)			Eigenschappen gelijk aan PP		
Polybutylene Terephthalaat (PBT)				1.29-1.34	40-60
Polybutyleen terephthalaat (PTT)				1.34-1.35	
Cellulose Acetaat (CA)				1.27-1.32	24-76
Cellulose Acetaat Butyraat (CAB)				1.15-1.22	24-76
Lyocell				1,5	
Thermoplastic zetmeel			CO ₂ , water, mineralen	1.2-1.5	
(Biobased) polyamide					
PA11				1.04-1.05	47-47
PA6				1.12-1.15	48-85
PA6 (cast)				1.13-1.15	55-85
PA66				1.13-1.15	80-85

Deels

Ja

Nee

biopolymeren

Elongation	Young's modulus	Glaspunt	Smeltpunt	Water abs.	Price
(%)	(Mpa)	(°C)	(°C)	(%)	(Euro/KG)
0.8-2.0	10000-30000	none		12-35	0,25
		none			23 (garen)
15-37		none		6-53	n/a
20-40	n/a(i.m.2.5)	none	570-570 (o.t.)		6
3-8	5300-12000	none	255-255 (o.t.)	20-100	2,17
2	44000	none		12-17	1.08-1.80
1,6	35000-90000	none		8-30	0.4-1.4
15-17.3	4000-6000	none		0-10	0.18-0.36
1.5-4	28000-58000	none	n/a	8-10	0.4-1.1
4.5-4.5	3100-3100		50-120	0.1-0.2	
200-300				1.0-4.0	
1.5-380	350-2800	45-65	150-170	0.5-50	1.7-3.0
	~3500		50-180		3.0-5.0
	2600-2700	25-60	230	0.5-0.6	
	n/a (i.m.2.3)	51	228-230		
5-55	2500-4500	100-140	250-300	1-3	4.0->
8-80		56-94	170-240	0.9-2.4	4.0->
24-26	18400		n/a	65-70	
1-500	95-2900	35-80	105-180	0.4-4	1,5-4.0
280-280	1100-1400	46-46	195-219	1.2-1.8	
100-320	2300-2500	50-85	210-223	2.4-2.4	
10-350	700-3000	50-75	215-220	6.5-9.5	
12-300	1700-2000	76-95	250-265	3.0-4.0	

*De lege vakken zijn of niet gevonden eigenschappen, of niet beschikbare eigenschappen
Tabel 6. Eigenschappen biopolymeren voor geotoepassingen.

8. Lyfe cycle assessments van biopolymeren

Lyfe cycle assessment (LCA) is een methode voor het in kaart brengen van de invloed van producten en menselijke activiteiten op het milieu. Daarbij wordt gebruik gemaakt van speciale rekenmodellen.

Omdat het hierbij gaat om een keten van processen wordt LCA beschouwd als een vorm van ketenanalyse. LCA bestaat uit een aantal stappen. De belangrijkste stappen zijn:

- **LCI - life cycle inventory**

In deze stap wordt de informatie verzameld over de schadelijke stoffen die tijdens de levenscyclus worden uitgestoten en de grondstoffen die gebruikt worden binnen de levenscyclus. Ook andere milieu-ingrepen, zoals de productie van geluid of stank, kunnen deel uitmaken van de LCI.

- **LCIA - life cycle impact assessment**

In deze stap worden de inventarisatiegegevens beoordeeld. Hiermee ontstaat een beeld van de milieueffecten waarvoor het product of de activiteit direct of indirect verantwoordelijk is.

De uitkomst van een LCA-studie is een milieuprofiel: een 'scorelijst' met milieueffecten. Aan het milieuprofiel is te zien welke milieueffecten de belangrijkste rol spelen in de levenscyclus.

Die effecten kunnen dan met voorrang worden aangepakt. Ook kan van tevoren worden berekend of een maatregel effectief zal zijn.

In combinatie met aanverwante instrumenten kan LCA een concreet beeld opleveren van de mogelijkheden voor aanpassingen van de bedrijfsvoering. Ook de consequenties van ieder alternatief worden systematisch in beeld gebracht. Naar aanleiding van deze metingen kan ook een keuze worden gemaakt tussen verschillende biopolymeren, die misschien beide geschikte eigenschappen hebben maar verschillen in termen van klimaatbeheersing. Hier zullen verschillende LCA-metingen voorbij komen, omdat dit het beste overzicht zal geven van de op dit moment beschikbare informatie over LCA. De LCA metingen van DEFRA en MADE-BY zijn niet wetenschappelijk onderbouwd, dus worden door ons niet voor waar aangenomen; het zijn enkel richtlijnen.

Recent is door de branche-organisatie MODINT, samen met CE Delft, een ecotool ontwikkeld. De MODINT-Ecotool is ontwikkeld door CE-Delft en Alcon Advies in opdracht van MODINT/Agentschap NL. Deze tool geeft aan wat de impact is van het gebruik van een tex-

tielmateriaal bij verschillende processen, vanaf de mechanische productie tot en met het veredelen. Maar ook het effect van verpakking, transport, de in-use cyclus en de end-of-life gevolgen worden meegenomen. Met de ecotool wordt de milieu-impact van een textielmateriaal en of -product gedurende de hele levenscyclus berekend op basis van default data, daar waar mogelijk aangevuld met bedrijfseigen gegevens. Default data zijn gebaseerd op de eco-invent database aangevuld met industriële data. Na invoer van de benodigde gegevens worden alle resultaten in een scorecard weergegeven. Daarin worden

dan de volgende gegevens afgelezen: CO₂-productie in kg eq, energieverbruik in MJ, waterverbruik in liters en chemicaliën verbruik in kg. Het is waarschijnlijk dat deze tool door de Nederlandse industrie op grote schaal toegepast gaat worden (www.ce.nl).

DEFRA

Deze vezelvergelijking komt van DEFRA (Department for Environment Food and Rural affairs; Verenigd Koninkrijk). Het is een uitkomst van de roadmap: The role and business case for existing and emerging fibres in sustainable clothing uit 2009.

Fibre	Relative impacts between fibres (+ = relatively low impacts, +++ = relatively high impact)					
	Energy use	Water use	GHG emissions	Waste water production	Chemical use	Land requirement
Acrylic	+++	++	(+++)	+++	(++ - +++)	N/A
Bamboo	(++)	(+++)	(+)	(++)	(++ - +++)	(++)
Cotton (conv. organic)	++	++++	++	++	+++	+++
Flax	+	+	(++)	(++)	(+++)	+++
Hemp	+	++	(++)	(++)	(+++)	++ - +++
Jute	ID	ID	(++)	(++)	(+++)	++
Lyocell	++	++	+	(++)	(++ - +++)	+
Modal	++	+++	(+)	(++)	(++ - +++)	++
Nettle	(+)	+	(++)	(++)	(+++)	+++
Nylon	+++	+++	++++	+	(+ - ++)	N/A
PLA	++	(+)	++	ID	(+ - ++)	+
Polyester	++	+	+++	+	+ - ++	N/A
PTT	++	+	+++	(+)	(+ - ++)	(+)
Ramie	ID	ID	(++)	(++)	(+++)	++++
Silk	ID	+++	ID	(++)	ID	ID
Soybean	ID	ID	ID	(+++)	(++ - +++)	ID
Spanish broom	ID	+	(++)	(++)	(+++)	ID
Viscose	++	+++	+	(++)	++ - +++	++
Wool	+	+	ID	++++	++ - +++	++++

ID = insufficient data, NA = not applicable, Figures in brackets based on use of information from similar fiber types From: Turley, D. B., Horne, M., Blackburn, R. S., Stott E., Laybourn, S. R., Copeland, J. E, and Harwood, J. 2009.

Tabel 7.
DEFRA LCA-meting

MADE-BY

De LCA-metingen van verschillende textiele producten volgens MADE-BY. Let wel, deze metingen worden gedaan tot en met het proces van het spinnen van de garens.

MADE-BY’s Environmental Benchmark for Fibres

CLASS A	CLASS B	CLASS C	CLASS D	CLASS E	UNCLASSIFIED
Recycled Cotton	Tencel® (Lenzing Lyocell Product)	Conventional Hemp	Virgin Polyester	Conventional Cotton	Silk
Recycled Nylon	Organic Cotton	Ramie	Poly-acrylic	Virgin Nylon6	Organic Wool
Recycled Polyester	In Conversion cotton	PLA	Lenzing Modal® (Viscose Product)	Rayon Cuprammonium	Leather
Organic Hemp		Conventional Flax (Linen)		Bamboo Viscose	Elesthan (Spandex)
Organic Flax (Linen)				Wool	Acetate
				Generic Viscose	Cashmere Whool
					Alpaca Wool
					Mohair Wool
					Fibre-based Bamboo

Tabel 8. MADE-BY Environmental benchmark for fibres (Turunen, van der Werf)

Weging

De weging van verschillende impactcategorieën en indicatoren wordt door ieder LCA-model verschillend behandeld, waardoor het lastiger wordt om resultaten te vergelijken. MADE-BY geeft Green House Gases (GHG) en giftige stoffen de hoogste impact, terwijl energie, water en landgebruik een lagere impact hebben.

De volgende tabellen tonen enkele LCA berekeningen uit wetenschappelijke onderzoeken.

LCA hennep en vlas

De milieu- van garenproductie per 100 kg garen voor de scenario’s hennep watteroten, hennep bioroten, babyhennep en vlas.

LCA Hennep & Vlas					
Impact categorie	Unit	Hennep waterrotten	Hennep Biorotten	Babyhennep	Vlas
Klimaatverandering	KgCO ₂	1350	1810	1460	1360
Energieverbruik	MJ	22500	35800	26500	26100
Waterverbruik	M3	19,9	22,1	7,63	7,23

Tabel 9. LCA Hennep en Vlas (Turunen, van der Werf)

LCA Thermoplastic starch (TPS) en Low Density Polyethylene (LDPE)

De LCA van thermoplastic starch (TPS) en Low Density Polyethylene (LDPE).

De functional unit is 100 kg plastic materiaal.

LCA Thermoplastisch starch		
	GHG Emissions (KgCO ₂ eq)	Energy recourses (MJ)
TPS (80% MSWI 20% landfilling)	120 ± 15%	2250 ± 5%
TPS (100% composting)	114 ± 15%	2540 ± 5%
LDPE (80% MSWI 20% landfilling)	520 ± 20%	9170 ± 5%

Tabel 10. LCA Thermoplastic starch (Dinkel et al)

9. Vooruitblik

De overgang van traditionele textiel naar biotextiel kan omschreven worden als een paradigmaverandering. In grote lijnen parallel aan de komst van biotechnologie: de combinatie van geavanceerde materialen, karakteriseringsmethoden, genetische modificatie en de biochemische technieken kan worden beschouwd als onderdeel van de vijfde Kondratieff golf (Carlota Perez 2002).

Dit wordt vaak geassocieerd met begrippen als creatieve destructie (Schumpeter), waarbij nieuwe innovatieve industrieën de bestaande achterhaald doen raken.

Maar biopolymeren waren er altijd al. De theorie dat technologische verandering de traditionele industrieën achterhaald is niet volledig gedekt door bewijs. Vijf van de tien meest innovatieve textielbedrijven (gemeten in octrooien in de afgelopen tien jaar) is ouder dan 200 jaar. Cargill en Dupont, de toonaangevende spelers in biopolymeren zijn opgericht in respectievelijk 1865 en 1802. De ontwikkeling van biopolymeren is geen radicale breuk, maar mogelijkwerijs een herontwikkeling van de kennis die we in de jaren 1930 hebben ontwikkeld, toen onderzoek naar synthetische vezels open was en polyester nog niet zo'n dominante positie had als tegenwoor-

dig. De zeer lange ontwikkelingstijd van synthetische vezels, van 1930 tot 1990 toont de complexiteit van het benutten van de intrinsieke kwaliteiten van vezels ten opzichte van zorgvuldig na te bootsen natuurlijke vezels.

Recente ontwikkelingen op mondiale schaal van vooral grondstoffen schaarste zijn belangrijke drijvende krachten achter nieuwe ontwikkelingen. De kostprijs van biobased polymeren was altijd een probleem ten opzichte van de synthetische polymeren, mede door de schaalgrootte.

Door de stijgende vraag naar katoen, veroorzaakt door bijvoorbeeld, de toenemende welvaart in China, is er toenemende druk op de olievoorraad. Het gevolg hiervan is dat polyestervezelprijzen stijgen. Maar deze hogere vezelprijzen scheppen meer ruimte voor alternatieve en duurdere vezels zoals polymelkzuur of vlas. Schaarste en kostprijsstijgingen vormen ook een drijvende kracht voor meer efficiënte processen en productieketens.

Het is te verwachten dat binnen niet al te lange tijd alle vezels van hernieuwbare grondstoffen vervaardigd kunnen worden, veelal op basis van de suikereethanolroute.

De huidige trend is onherroepelijk in de richting van biobased. Voor succesvolle productontwikkeling is het

belangrijk om steeds te overwegen hoe de positieve eigenschappen van biopolymeren kunnen worden ingezet in huidige toepassingen. Dit geldt niet alleen voor de biodegradeerbaarheid, maar ook voor bijvoorbeeld de aanwezige mechanische eigenschappen of milieueffecten. Uiteindelijk bestaat een polymeer niet alleen uit de 'carbon backbone', maar bevat deze additieven, wordt op grote schaal geproduceerd en gefinisht met kleurstoffen of coatings. Deze aspecten moeten meegewogen worden in de keuze voor biopolymeren. In geotoepassingen zijn (meestal) de esthetische eigenschappen van ondergeschikt belang en is het gebruik puur functioneel. Dat schept ruimte voor biopolymeren met bijvoorbeeld slechte aanverf eigenschappen, omdat dat aspect dan niet van belang is.

Het is bijvoorbeeld weinig zinvol om te proberen in functionele toepassingen materialen als polyethyleen te vervangen door polymelkzuur, omdat de mechanische en chemische eigenschappen zeer verschillend zijn. Het is dan beter gebruik te maken van polyethyleen uit biobased grondstoffen (als de LCA aangeeft dat dat een zinvolle actie is).

De grootste uitdaging bestaat er op dit ogenblik uit in de goede kwaliteit van de huidige synthetische vezels op basis van petroleum - sterkte, verwerkbaarheid, aanverfbaarheid - op zijn minst te evenaren. Er wordt veel onderzoek verricht op dit terrein en

er zijn experimentele polymeren die nog niet in textiel worden toegepast. Dit onderzoek levert een belangrijke bijdrage tot de opbouw van de noodzakelijke kennis over de selectie van biopolymeren en hun verwerking en eigenschappen in textieltoepassingen. Zie bijvoorbeeld: <http://www.centex-bel.be/nl/hernieuwbare-bio-materialen>. Het opstarten van grondige en grootschalige onderzoeksprojecten in het 7de kaderprogramma, zoals BIOA-GROTEX is gericht op de ontwikkeling van nieuwe hoogwaardige textielproducten, die volledig gemaakt zijn uit natuurlijke vezels en biopolymeren. Ook wordt veel onderzoek verricht om polymelkzuureigenschappen te verbeteren.

Ten slotte wordt er zeer intens gekeken naar het hernieuwde gebruik van meer traditionele vezels. Brandnetelvezels en bamboe staan hernieuwd in de belangstelling. Ook zijn er initiatieven die het gebruik van vlas (mat als biobased bijproduct lijnolie) in de geotextiel in de belangstelling plaatsen. Linnen wordt nog steeds het meeste geteeld in gebieden waar het oorspronkelijk vandaan komt, al sinds de 19e eeuw. De toonaangevende verwerkers van vlas werden opgericht in de eerste helft van de 19e eeuw.

Veel onderzoek, gestuurd door zakelijke initiatieven zal ongetwijfeld leiden tot een veranderde visie op het gebruik van biobased materialen, zowel van synthetische als van natuurlijke gewassen. In de vezel- en textielin-

dustrie is een zekere mate van starheid ten aanzien van veranderingen begrijpelijk en essentieel, omdat dit bijdraagt aan een lagere kosten structuur. Er is immers een enorme 'installed base'. Elke nieuwe technologie start zonder opgebouwde kennisbasis over eigenschappen en processen en heeft onherroepelijk een kosten- en performancenadeel ten opzichte van nieuwere spelers. Daarom is het toevoegen van nieuwe technologie of materialen binnen een bestaande industrie een lastige opgave en kan alleen plaatsvinden op een heuristische manier met 'trial and error' en veel tijd en geduld (Michiel Scheffer, Ascanius aanvraag).

Investerings in onderzoek en proces-technologie voor biofibres zijn aanzienlijk en vergen tijd en belangrijke financiële middelen. Dit vereist fundamentele innovatie, een landbouw-basis (relevante en betrouwbare volumes) en een industriële basis voor het verwerken en een te commercialiseren product, waarvan op de lange termijn functionaliteiten en opbrengsten vaak onbekend zijn. Dit pleit voor open innovatie en een model van flexibele allianties.

Bronnen

1. http://www.fashionunited.nl/nieuws/Columns/Prijs_van_grondstoffen_blijft_stijgen_2011021632405/1b
2. <http://www.modint.nl/index.cfm/33,4198,c,html/Artikel%20Stijging%20grondstofprijzen%20%2002%202011.pdf>
3. IVC-EV Industrievereinigung Chemiefaser e.V., <http://www.ivc-ev.de>, July 27th, 2009
4. Michiel Scheffer: Growth regimes and innovation in the current decade, to be published
5. Bouwhuis, G.H.: The design of a novel environmentally improved industrial cotton pretreatment process, PhD thesis University of Twente, ISBN 978-90-365-3153-5, 2011
6. G.H. Bouwhuis, G.J. Brinks, and M.M.C.G. Warmoeskerken, Organisation of industrial application of academic research on bio-catalytic pre-treatment processes of cotton. Abstract and lecture at the INTB conference 2011
7. Christiaan Bolck: Ontwikkeling van biobased producten presentatie; 20 september 2011, biobased kunststoffen: een actuele blik; Wageningen UR; september 2010
8. ISO 17088
9. Proterra; "Ten minste houdbaar tot...; Resultaten demonstratieproject biopolymeren", KIEM, NVC
10. NRK; Federatie van brancheverenigingen voor de rubber-, recycling-, en kunststofindustrie
11. Li Shen, Juliane Haufe, Martin K.Patel; 1PRO-BIP 2009
12. BIOAGROTEX; www.bioagrotex.eu
13. <http://www.tencate.com>
14. <http://www.geopex.com>
15. <http://www.colbond-geosynthetics.com>
16. NGO Nederlandse Geotextiel Organisatie <http://www.ngo.nl/content/view/12/11>
17. http://coirboard.nic.in/about_coirfiber.htmgo
18. <http://www.matbase.com/material/fibres/natural/coir/properties>
19. <http://www.madehow.com/Volume-6/Coir.html#ixzz1ObABkL2F>
20. <http://www.t-f.nl>; importeur geotextiel
21. <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/29/2876/coir-fiber1.asp>
22. www.aboutrestoration

23. International jute studie Group,Dhaka, Banglasdesch; International trade centre UNCTAD/WTO (ITC) Geneva, Switzerland A roadmap for jute; april 2006
24. www.faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor; FAOSTAT
25. A.R.Horroks; S.C.Anand, Handbook of technical textiles, 2004
26. International jute studie Group,Dhaka, Banglasdesch; International trade centre UNCTAD/WTO (ITC) Geneva, Switzerland A roadmap for jute; april 2006
27. www.jute.org
28. www.jute-industry.com
29. www.soortenbank.nl
30. www.madehow.com
31. www.daglichtproductie.nl
32. Daryl T.Ehresing, Feasibility of industrial hemp production in the United states Pacific Northwest; SB681-May1998
33. A.R.Horroks; S.C.Anand, Handbook of technical textiles, 2004
34. www.noorderlink.nl
35. www.miavamiljaarverslag2009.nl
36. INTERREG IIIA-project “regionale hennepketen voor textielproductie” Euregio Rijn-Waal
37. www.hempflax.com
38. www.encyclo.nl
39. www.natuurenwetenschap.info
40. www.natuurenwetenschap.info/projecten/vuilewas/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=3
41. www.fiberarts.ca
42. www.textstream.be
43. Marilyn Waite; Sustainable textiles: The role of bamboo and a comparison of bamboo textile properties-part 1, journal of textile and apparel technology and management, Vol 6, No 2 2009
44. Agency World bank Group, Pollution prevention and abatement handbook environmental guidelines for tanning & leather finishing multilateral investment guarantee; 01-02-2010
45. Sharpouse, J.H. (1983). Leather Technician's Handbook. Leather Producer's Association. p. 37. ISBN 0950228516
46. www.pwg.nl/uploadedfiles/materialen.pdf
47. www.cottonsjourney.com/Storyofcotton/page2.asp
48. www.cotton.org/pubs/cottoncounts/story, <http://www.pcg.org>

49. www.irs.gov/businesses/small/article/0,,id=160145,00.html
50. Waskow, F. 1995: hanf & Co, Die Renaissance der heimischen Faserpflanzen, Katalyse Institut für angewandte Umweltforschung, Verlag die werkstatt Gottingen, 1995, p 491
51. Bone K, Mill S, eds. Principles and Practices of Phytotherapy, Modern Herbal Medicine. London: Churchill Livingstone; 2000
52. www.edepot.wur.nl/150643
53. www.encyclo.nl
54. www.polyols-eu.com
55. www.polyurethaan.org
56. Chemie achter de dijken; KNAW&KNCV;ISBN9789069069843322;Polymelkzuur: van suiker tot chirurgisch hechtmateriaal
57. J.A.van.Velthuysen, Biobased economy infosheet; Agrotechnology & food science group; Wageningen UR
58. Kazuhiro Morishima 48th Dornbirn Man-Made Fibers Congress, 16, Sep. 2009
59. Mahesh Akotnis, Gregory.S O'Brien and J.L.Willet, Processing and mechanical properties of biodegradable PHBV Starch compositions
60. www.innoveermetpolymeer.nl
61. www.composteerbaar.nl
62. Xu J, Guo BH; Poly(butylene succinate) and its copolymers: research, development and industrialization Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing, China 2010
63. www.biopol.free.fr/index.php/production-of-biobased-polybutylene-succinate-pbs/
64. www.omnexus.com
65. www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/july2001/houck.htm/
66. Luciano Colasanto, Evelin Bong, Dornbirn MFC 2009, September 2009
67. www.azom.com/article.aspx?ArticleID=384
68. www.afma.org/f-tutor/lyocell.htm
69. www.azom.com/article.aspx?ArticleID=383
70. www.matbase.com/material/polymers/agrobased/thermoplastic-starch-tps/properties
71. Li Shen, Juliane Haufe, Martin K.Patel, Product overview and market projection of emerging bio-based plastics,PRO-BIP 2009
72. www.fabricstockexchange.com/blog/fabric/apparel-textiles/castor-bean-fibers-are-for-more-than-just-underwear/
73. www.worldlingo.com/ma/enwiki/nl/Castor_oil_plant

74. www.fibre2fashion.com/industry-article/31/3050/an-introduction-to-milk-fiber-a-review1.asp
75. www.cyarn.com/http://euroflax.com/products_imports%20of_textiles.htm
76. www.enka-edc.com/NB42.htm
77. www.gelatin-gmia.com/html/qanda.html
78. www.skepsis.nl
79. United States Patent 6852904, Cellulose fibers treated with acidic odor control agents, 18 december 2001
80. www.encyclo.nl/begrip/chitosan
81. Biswajit Gosh, Marek W. Urban Gosh et al, Self Repairing Oxetane-Substituted Chitosan Polyurethane networks; Science, 13 march 2009 1458-1460.
82. www.stuartmorris.co.uk
83. www.made-by.com
84. Lea Turunen; Hayo van der Werf, Life cycle analysis van hennep textielgaren; 31 mei 2006
85. Dinkel et al; 1996, p13 en pp 51-53.
86. <http://fotonix.wordpress.com/2010/01/11/a-work-of-art-in-the-age-of-mechanical-production/>
87. Oregon state University; Feasibility of Industrial Hemp Production in the United States Pacific Northwest <http://extension.oregonstate.edu/catalog/html/sb/sb681/>
88. <http://www.ce.nl/index.php?go=home.showPages&pagenr=658&PHPSESSID=22b44019f4832f19df4cfdadf25cad8a#kop9>
89. Carlota Perez, Technological revolutions and financial capital: the dynamics of bubbles and golden ages, Edward Elgar Publishing, 2002
90. Joseph A. Schumpeter, Creative Destruction, From Capitalism, Socialism and Democracy, New York: Harper, 1975, [orig. pub. 1942], pp. 82-85

Gebruikte bronnen Tabel 2:

Mechanische eigenschappen van biopolymeren

1. Clothing technology 4th Edition 2003
2. Manchester university Textile technology
3. Centexbel; infobrochure technische fiche vlasvezel
4. The international jute commodity system, 2009 ISBN 81-7211-274-5
5. www.cimetric.co.uk
6. Some density data on leather; Ira D. Clarke, januari 1931
7. <http://www.matbase.com>
8. <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=cotton>
9. Chemiefaser lexicon

Bronnenlijst figuren

1. Copyright Colbond B.V. The Netherlands
2. Copyright Colbond B.V. The Netherlands
3. Copyright Colbond B.V. The Netherlands
4. Ten Cate geosynthetics
5. Ten Cate geosynthetics
6. Ten Cate geosynthetics
7. Biopolymeren in Geotoepassingen door E.Bottenberg
8. www.geheugenvannederland.nl
9. www.totalcoir.com
10. www.madehow.com
11. <http://www.coirindia.net/admin/FACTORY%20SITE/coir1.jpg>
12. Kokosmatten uitrollen staatsbosbeheerderschelling.wordpress.com
13. www.made-by.com, www.jute-industry.com, www.jute.org
14. www.stuartmorris.co.uk
15. www.stuartmorris.co.uk
15. www.jute.org
17. extension.oregonstate.edu
18. http://it.wikipedia.org/wiki/File:Hennepvezel_Cannabis_sativa_fibre.jpg
19. www.aurorasilk.com/yarns_and_threads/yarns/hemps/images/hempyarn-verticalL.jpg
20. www.landgoedlinnen.nl, www.natuurwetenschap.info
21. <http://static.nationalgeographic.nl/pictures/genjUserPhotoPicture/original/76/19/17/vlas-in-bloei-1a-171976.jpg>
22. http://1.bp.blogspot.com/_l0DuPusSPiQ/TQ42liO5OTI/AAAAAAAAADs/gxuv-A0LuLw/s1600/gr5.jpg
23. www.kongfi.com/images/Natural%20Bamboo%20Fiber%2090mm.jpg
24. www.wseas.us/e-library/conferences/2009/vouliagmeni/EELA/EELA-58.pdf
26. Sharphouse
27. www.pwg.nl
28. www.cottonsjourney.com
29. Brennells
30. www.recycledsilk.com
31. http://www.therenewablecorp.com/alchemx/ethanol_platforms.htm
32. J.A. VAN VELTHUIJSEN/PURAC BIOCHEM
33. <http://www.delec.com/ebay/CastorBean2.jpg>
34. <http://shop.skiquick.co.uk/WebRoot/Store3/Shops/es135737/4D63/F8E7/4A44/864D/AB32/0A0F/1115/D3CD/EXSAF.png>

Websites

Een aantal algemene websites over biopolymeren:

1. www.bcpn.nl/bcpn/
Nieuws m.b.t. composteerbare producten
2. www.ibaw.org
Ondersteuning marktintroductie
3. www.composteerbareproducten.nl
Innovatiecentrum
4. www.natureworksllc.com
Polymeren leverancier
5. www.biopolymers.nl
Polymeer materiaal leverancier
6. www.kivo.nl
Biologisch afbreekbare producten
7. www.promolding.nl
Kunststof spuitgietsproducten
8. www.bio-pro.nl
Producten van natuurlijke grondstoffen
9. www.hycail.com
Materialen uit hernieuwbare grondstoffen
10. www.agrotechnologyandfood.wur.nl
Onderzoeksbedrijf
11. www.id-l.nl/innovation/biopolymers.html
Ontwerpbureau duurzame productontwikkeling
12. www.innoveermetpolymeer.nl
Federatie NRK
13. www.b-basic.nl
Project van Uni's onderzoek en industrie
14. www.biopolymer.net
Extra links
15. www.modellproject-kassel.de
Marktonderzoek (2001) biopolymeren
16. www.senternovem.nl/opkomendemarkten/brazilie/projectvoorbeeld/index.asp
Onderzoek bioplastics
17. www.ecn.nl/docs/library/report/2001/c01036.pdf
Project bio-licht transportmiddelen hernieuwbare grondstoffen

18. www.biopolymeer.nl
Biopolymeer applicatiecentrum
19. www.centexbel.be/nl/hernieuwbare-bio-materialen
Europees project biopolymeren
20. www.openraam.eu/system/files/bedrijfscae_Dstextiles_0.pdf
Tapijtproducent werkt met biopolymeren
21. www.bio4pack.com/index/en/2/Products.html
Belangenvereniging composteerbare producten
22. www.fkur.com/produkte.html
Bioflex, Biograde, Fibrolon
23. www.moonennaturel.com/pla.html
PLA.

ISBN/EAN: 978-90-818424-4-0
Titel: Biopolymeren in textiel,
1e druk, maart 2012
Auteurs: Ger Brinks en Eliza Bottenberg
Projectreferentie: Pidon BETON
Uitgever: Saxion, Kenniscentrum Design en Technologie

Kom verder. Saxion.

saxion.nl/designentechnologie

