

Portfolio opdracht Ahrend

Biobased vergaderstoel

-CAA Biobased reeks 2 biobased materialen-



Afbeelding: Revoltstoel van Friso Kramer - Ahrend



**Centre of Expertise
Biobased Economy**

Portfolio opdracht Ahrend

-CAA Biobased materialen-

Uitvoeringsgegevens

Naam student + studentnummer + e-mailadres

Joke Soer
2072088
acj.soer@student.avans.nl

Jolien van der Linden
2048819
j.vanderlinden4@student.avans.nl

Naam opleiding:

Biologie en Medisch Laboratoriumonderzoek

Naam instelling:

Avans Hogeschool

Begeleiders:

Margot Verwei (leidster cursus CAA biobased)

Plaats:

Breda

Datum:

Januari-maart 2015

Versie:

1

Onderwerp:

Dit is het portfolio van CAA biobased reeks 2. Hierbij worden de verschillende delen van de opdracht weergegeven en onze uiteindelijke keuze voor de meest geschikte biobased materialen voor de vergaderstoel van Ahrend.

Inhoudsopgave

INLEIDING.....	4
OPDRACHTSOMSCHRIJVING	5
Deel 1: Literatuuronderzoek.....	5
Deel 1.1 Aan welke eisen moet een vergaderstoel voldoen?	5
Deel 1.2 Welke eisen stelt Ahrend aan de stoel (programma van eisen)?.....	6
Deel 1.3 Welke biobased materialen bestaan er?.....	6
Deel 1.4 Welke zijn geschikt voor biobased meubilair.	17
Deel 1.5 Welke materialen zijn er nodig voor jouw vergaderstoel?	17
Deel 1.6 Welke processen zijn er nodig om tot het geschikte materiaal te komen?	17
Deel 1.7 Welke procesmogelijkheden heeft Ahrend?	19
Deel 1.8 Het stappenplan van de ontwerpcyclus	19
Deel 2: Excursies bedrijven.....	20
Excursie Ahrend in Zwanenburg – 26 januari 2015	20
Excursie NPSP in Werkendam – 17 februari 2015	20
Excursie VIBA expo in 's-Hertogenbosch – 18 februari 2015	25
Deel 3: Inspiratiewerkshops 2 februari 2015	31
Deel 4: Vraaggesprek met een deskundige	33
Deel 5: Conclusie en aanbevelingen	33
Deel 6: Presentatie	34
LITERATUURLIJST.....	35
BIJLAGEN.....	37
Bijlage I Informatie over bioharsen	37
Bijlage II Informatie over hout.....	40
Bijlage III Vragen aan Ahrend met antwoorden.....	43

Inleiding

Biobased materialen zijn materialen gebaseerd op hernieuwbare kort cyclische grondstoffen. Er is een verschil tussen biodegradable en biorenewable materialen. De eerste categorie is op de natuurlijke manier verkregen en is ook in de natuur composteerbaar. Denk aan hout, hennep, vlas en bamboe. De tweede categorie betreft materialen van natuurlijke, biologische oorsprong die vervolgens door bioraffinage – op een scheikundige manier – zijn geproduceerd. We worden gedwongen anders met onze grondstoffen en afvalstromen om te gaan. Hierin wordt gekeken naar de biobased en circulaire (o.a. C2C) economy, deze twee gaan hand in hand met elkaar.

Op dit moment werkt een ontwerpteam aan een biobased herinrichting van de linkervleugel, 2^e verdieping Lovensdijkstraat. Het ontwerp bevat onder andere een ontmoetingsplaats (marktplaats) voor studenten en docenten en een vergaderruimte met vergaderstoelen. Avans Hogeschool hecht grote waarde aan studentenparticipatie. Om deze reden wil het Centre of Expertise Biobased economy [1] studenten betrekken bij het onderzoek naar biobased materialen die geschikt zijn voor de vergaderstoelen voor deze vergaderruimte.

Als onderneming is aan ons de taak te onderzoeken welke biobased materialen het meest geschikt zijn voor de vergaderstoelen voor de vergaderruimte in Avans Hogeschool, waarbij, uiteraard rekening wordt gehouden met de randvoorwaarden als kosten en functionele eigenschappen. Het doel is om uiteindelijk te komen tot een prototype van een biobased vergaderstoel welke, bij succes kan leiden tot een nieuwe stoelenlijn van Ahrend. Ahrend, de vaste leverancier van meubilair aan Avans Hogeschool, fungeert in deze als opdrachtgever.

Dit portfolio bestaat uit de verschillende deelopdrachten van deze opdracht. Per opdracht staat de (deel)opdracht beschreven en de informatie die wij hierover gevonden hebben. Dan geven wij onze conclusie over het onderzoek dat verricht is. Vervolgens staan in de literatuurlijst de referenties die we gebruikt hebben. Tevens staat in de bijlagen nog extra informatie.

Opdrachtsomschrijving

Je gaat op onderzoek naar geschikte biobased materialen voor deze vergaderstoel. Uiteindelijk presenteer je je keuze voor de verschillende materialen en daartoe benodigde processen om tot een stoel te komen aan de opdrachtgever en andere betrokkenen. 9 maart lever je je portfolio en presentatie in via mgp.verwei@avans.nl. In je portfolio neem je tenminste alle punten op die genoemd zijn onder het kopje onderzoeksoptzet. Je verwerkt deze onderzoeksgegevens in een overzicht, beschrijving en analyse van tenminste **drie** biobased materialen en verwerkingstechnieken. Je formuleert conclusies en aanbevelingen. Uit je portfolio moet duidelijk blijken dat je gedegen onderzoek hebt gedaan. Je portfolio heeft een duidelijke structuur en bevat geen spelfouten. De opdracht is opgesplitst in verschillende delen die in dit hoofdstuk besproken worden.

Deel 1: Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek is gedaan aan de hand van de hieronder genoemde vragen.

Deel 1.1 Aan welke eisen moet een vergaderstoel voldoen?

De vergaderstoel moet voldoen aan de Arbo NEN en NPR richtlijnen zoals onderstaand zijn weergegeven:

Kantoorstoelen Nederlandse norm NEN-1812

- De zitting-hoogte dient verstelbaar te zijn van minimaal 400mm tot 510 mm.
- De breedte van de zitting dient tenminste 400 mm. te zijn waarbij de zitting-diepte minimaal 440 mm is.
- Lende steun verstelling met verstelgebied in hoogte van minimaal 170 tot 210 mm.
- De hoogte van de lende steun bij hoge rug minimaal 370 mm.
- De breedte van de rugleuning minimaal 360 mm en maximaal 460 mm.
- De breedte tussen de armleuningen minimaal 460 mm en maximaal 510 mm.
- De breedte van de armsteunen dient minimaal 50 mm te zijn, waarbij de lengte van de armsteunen minimaal 150 mm is.

Hiernaast worden er ook functionele eisen gesteld zoals stabiliteit, stevigheid, duurzaamheid en betrouwbaarheid:

- Statische belasting van de zitting en rugleuning.
- Vermoeiingsproef van de rugleuning en de zitting d.m.v. dynamische belasting.
- Dynamische belasting van de zitting.
- Draaioproef met een gewicht van 95 kg.
- Stabiliteits- en kantelproef volgens DIN 1551.
- Een Nederlandstalige gebruiksaanwijzing behorende bij de stoel is een vereiste.

Kantoorstoelen Nederlandse Praktijk Richtlijnen 1813 (NPR 1813)

De NPR1813 geeft toelichting en aanvulling op en aanwijzingen voor het verantwoord gebruik van de normen NEN-EN 1335, NEN-EN 527, NEN 2441 en NEN 2449 behandelde kantoormeubelen. De Praktijkrichtlijn NPR 1813 heeft tot doel aan te geven op welke goede en verantwoorde wijze zittend en eventueel staand kantoorwerk uitgevoerd kan worden.

Richtlijnen Bureaustoelen:

- de zithoogte is verstelbaar van 41 tot 55 cm;
- de zitting is vlak, minimaal 40 cm breed en 44 cm diep en heeft een verstelbare hellingshoek van -7 tot 3 graden, vast te zetten op een hoek van -3 graden;
- de voor- en achterzijde van de zitting en de boven- en onderzijde van de rugleuning zijn afgerond;
- de zitdiepte is verstelbaar van 38 tot 48 cm;
- de voorzijde van de rugleuning is vloeiend, zonder knikken of hoeken met een horizontale straal van 40 cm of meer;
- de breedte van de rugleuning is minimaal 36 en maximaal 46 cm, de lengte minimaal 37 cm;
- de lendensteun is verstelbaar in hoogte: het middelpunt van de steun is tenminste verstelbaar tussen 17 en 23 cm boven de zitting;
- de arm steun heeft een verstelbare hoogte van 20 tot 30 cm en is minimaal 5 cm breed en 20 cm lang;
- de afstand tussen de armsteunen is instelbaar tussen 36 en 51 cm;

- de afstand van de voorzijde van de arm steun tot de voorzijde van de zitting is minimaal 20 cm;
- het onderstel heeft 5 zwenkwielen en is draaibaar;
- de afstand tussen de draai-as en de vloer is minimaal 2 cm;
- de stoel is veilig en stabiel en heeft geen scherpe of uitstekende delen. [2] [3]

Deel 1.2 Welke eisen stelt Ahrend aan de stoel (programma van eisen)?

Naast de eerder genoemde Arbo NEN en NPR richtlijnen waaraan de vergaderstoel moet voldoen heeft Ahrend nog extra eisen toegevoegd waaraan voldaan moet worden. Ahrend heeft meerdere eisen aan de stoel gesteld. De stoel moet goede comfort bezitten, studenten moeten comfortabel in de stoel kunnen zitten. Volgens Ahrend is het zo dat voordat je bent gaan zitten je al 70% van je mening over comfort heb gevormd. De drukverdeling van het zitvlak moet juist zijn, dit kan door een flexibel zitvlak of een zitvlak in exact de juiste vorm. De stoel mag niet 'zweeten'.

Op dit moment bestaat de Ahrend stoel uit polyester met epocam. Hierdoor is de stoel stijf, dun en bevat glans. Dit zijn allemaal gewenste eigenschappen voor de stoel, echter hoeft hieraan niet voldaan te worden als het materiaal dit niet toe staat; de stoel moet er goed en/of biobased uitzien. De rugleuning/lendesteun moet flexibel zijn, de zittende persoon moet kunnen basculeren. De stoel moet een leuke kleur hebben, de kostprijs moet zo laag mogelijk zijn, met of zonder bekleding, hoge kwaliteit, de levensduur moet lang genoeg zijn, er moeten 3-7 keuzes (bv. In kleuren) zijn en juiste ergonomie. De twee uitgangspunten van Ahrend zijn: 1) CO₂-neutraal (gebruik van zonne-, wind- en waterenergie) en 2) gesloten ketens (biologische en technische cyclus) → kun je producten scheiden en afbreken in milieu?

Deel 1.3 Welke biobased materialen bestaan er?

Om een juiste aanbeveling te doen over het materiaal welke als beste gebruikt kan worden voor de vergaderstoel, is literatuuronderzoek gedaan waarmee we ons verdiept hebben in verschillende biobased materialen.

In de inleiding is al de basis verteld wat biobased materialen precies zijn. Bioplastic is het bekendste voorbeeld van biobased materiaal. Plastic was altijd een echt aardolieproduct. Maar plastic kan ook goed uit plantaardig materiaal gemaakt worden. Bioplastic heeft als bijkomend voordeel dat het meestal ook biologisch afbreekbaar is, waarmee dit een biodegradable materiaal is. Nu de aardolieprijs stijgt en duurzaamheid steeds belangrijker wordt, keren ook stoffen terug die vroeger veel gebruikt werden, maar door goedkope productie van fossiele grondstoffen verdrongen waren. Denk bijvoorbeeld aan wol, vlasvezel, kleurstof uit meekrap (rubia). Papier en karton zijn ook biobased. Papier en karton worden gemaakt van natuurlijke vezels, meestal hout, maar vezels uit stro of gras kan ook. Papier en karton kunnen meer en anders gebruikt worden. Bij verpakkingen is karton een goede vervanger van plastic. Kartonnen meubels zijn een goed voorbeeld van een nieuwe toepassing [4]. De papier en karton industrie maakt al jaren gebruik van biomassa als grondstof voor materialen, waardoor deze materialen biobased zijn. Papier kan optimaal worden hergebruikt. De unieke duurzame eigenschappen van hout, papier en karton maken dit mogelijk. Zowel pulp uit verse houtvezels als de pulp uit gerecycled papier is biobased. Pulp is onderdeel van de CO₂-cyclus. Bomen nemen namelijk tijdens de groei CO₂, welke pas bij de verbranding weer vrijkomt. Bij recycling blijft de CO₂ opgeslagen in het product [5].

Bioplastics

Bioplastics zijn kunststoffen op basis van natuurlijke materialen zoals zetmeel, cellulose, melkzuur of eiwitten. Deze materialen zijn composteerbaar en soms ook bio-afbreekbaar [6]. De laatste jaren zijn veel nieuwe bio-afbreekbare bioplastics op de markt gekomen, bijvoorbeeld:

- Solanyl. Dit is een plastic gemaakt uit zetmeelreststromen voor ander andere bio-afbreekbare plantenpotten.
- Ander zetmeelplastics, soms gemengd met bio-afbreekbare (aardolie) plastics. Deze kunnen gebruikt worden voor voedselverpakkingen. Het nadeel van zetmeelplastics is dat deze oplossen in water. Zetmeelplastic wordt vooral in de schuimindustrie gebruikt [7].
- Polymelkzuur (PLA), wat gemaakt is uit melkzuur. Dit is verkrijgbaar in twee vormen. Als vezel (INGEO) kan dit gebruikt worden in matrassen en kleding omdat het goed vocht reguleert. Als plastic (NatureWorksPLA) wordt het gebruikt voor bijvoorbeeld voedselverpakkingen [6].

Tevens zijn er veel nieuwe materialen ontwikkeld die niet bio-afbreekbaar zijn, waaronder:

- Nieuwe bioplastics gemengd met gewone, niet bio-afbreekbare plastics. Dit wordt gedaan omdat de bioplastics aan het mengsel goede eigenschappen meegeven.

Een voorbeeld is PLA gemengd met gewoon plastic, wat gebruikt kan worden voor de computerbehuizing.

- Nieuwe bioharsen uit oliën en suikers, welke gebruikt kunnen worden voor carrosserieonderdelen van bussen.
- Natuurlijke vezels, zoals vlas. Deze kunnen gebruikt worden om plastics te versterken [6].

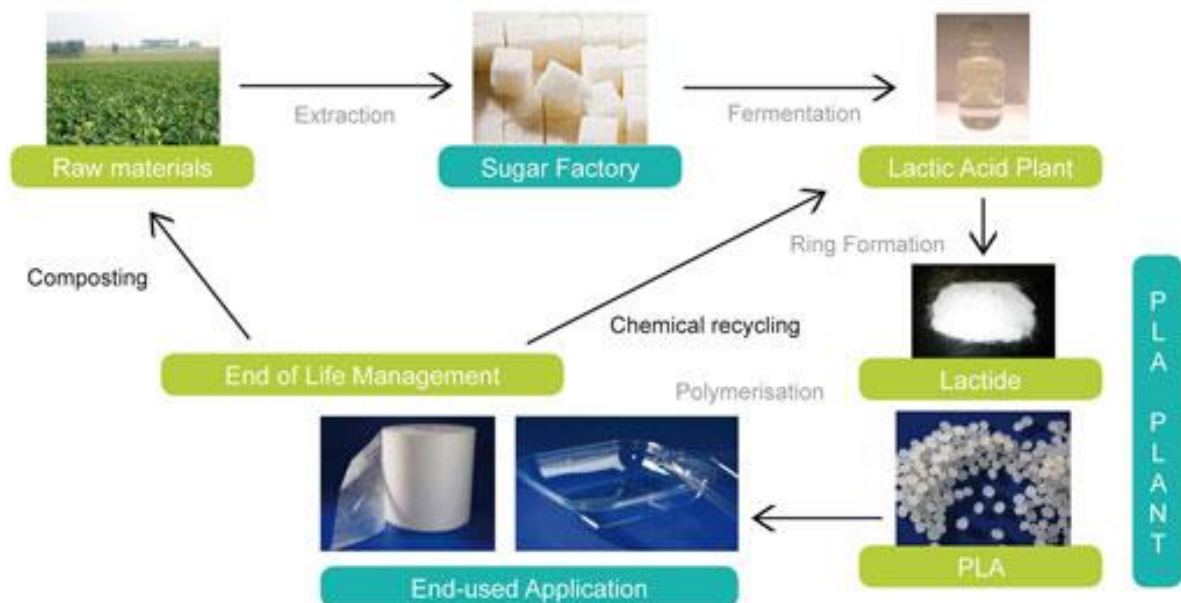
Een nadeel van bioplastics is dat er landbouwgrond voor nodig is, wat tegenwoordig steeds schaarser is [7].

Composteerbare kunststoffen

Composteerbare verpakkingen, tevens bioplastics, kunnen zijn gemaakt uit hernieuwbare grondstoffen (bijvoorbeeld maïs). Deze leiden tot minder klimaatbelasting. Het voordeel echter komt niet doordat het kunststof composteerbaar is, maar omdat de grondstoffen waarvan composteerbaar kunststof hernieuwbaar zijn. Composteerbaar kunststof bespaart naar schatting 20% aan energie en CO₂-uitstoot [7]. De composteerbare verpakkingen zijn vaak een mengsel van bioplastics en synthetische composteerbare polyesters. De bioplastics zijn goedkoper, maar de synthetische composteerbare polyesters moeten worden toegevoegd om het materiaal sterker en waterdicht te maken [7]. Composteerbare verpakkingen vergaan alleen onder specifieke omstandigheden, zoals een vrij hoge temperatuur en hoge luchtvochtigheid, waardoor deze verpakkingen niet in de natuur kunnen worden afgebroken [7].

PLA

Zoals al eerder is vermeld wordt PLA (poly lactic acid) gemaakt uit melkzuur. Melkzuur ontstaat als suikers (glucose en sucrose) worden gefermenteerd waarbij micro-organismen gebruikt worden [7]. Deze suikers kunnen gewonnen worden uit suikerbieten, suikerriet, tarwe, maïs en cellulose [8]. Deze suikers worden nu nog uit landbouwgewassen verkregen, echter in de toekomst kunnen ook agrarische nevenstromen worden gebruikt (melkwei, resten maïskolven, enzovoorts). PLA is waterbestendig [7]. Het melkzuur wordt vervolgens chemisch omgezet in PLA, zie Figuur 1 [8]. Monomeer melkzuur is in D- en L-vorm verkrijgbaar. Hiermee kan zuiver D- of zuiver L-polymelkzuur of polymelkzuur waarin beide isomeren voorkomen, worden gemaakt. Poly-L-melkzuur is vrijwel niet biologisch afbreekbaar, echter polymelkzuur uit D- en L-isomeren wordt binnen enkele weken al afgebroken [9]. PLA kan voor verschillende doelen gebruikt worden gebruikt zoals verpakkingsmateriaal en wegwerpvoorwerpen. PLA van hernieuwbare ruwe materialen is biodegradeerbaar en composteerbaar [8]. PLA kan ge-depolymeriseerd worden tot melkzuur en na zuivering opnieuw gebruikt worden om PLA van te maken [8]. De prijs van het granulaat is circa 1,5 tot 2,5 euro per kilo [9].



Figuur 1 De vergaring, verwerking en productie van PLA [8]

PLA is vergeleken met PET (polyethyleentereftalaat; aardoliebasis), zie Tabel 1, waarbij PLA in drie verschillende processen werd geproduceerd:

- PLA geproduceerd in 2005 (PLA5) uit maïs

- PLA geproduceerd in 2006 (PLA6) uit zetmeelhoudend materiaal zoals maïs of rijst; inclusief Renewable Energy Credits (RECs)
- PLA Next generation (PLA NG) uit goedkope biomassa zoals resten van maïskolven; nieuwe technologie en inclusief RECs.

Uit deze Tabel 1 blijkt dat het broeikaspotentieel voor alle PLA processen aanzienlijk lager is vergeleken met PET. De 'Cradle-to-factory gate' waarde is voor PLA NG zelfs negatief, wat inhoudt dat het proces CO₂ verbruikt in plaats van uitstoot [10].

Tabel 1 Broeikasgas (GHG) emissie van PLA vergeleken met PET [10]

GHG emissie (ton CO ₂ eq/ton plastic)	PLA5	PLA6	PLA NG	PET
1 Directe emissie	1.04	1.04	nvt	nvt
2 Indirecte emissie	1.56	1.56	<1.56	nvt
3 Brandstof, materiaal, maïs productie	1.24	1.24	nvt	nvt
4 CO ₂ opname maïs	-1.82	-1.82	-1.82	0
5a RECs ter compensatie van 2	-	-1.55	nvt	0
5b RECs ter compensatie van 3	-	-0.20	nvt	0
Cradle-to-factory gate	2.02	0.27	-0.68	3.30
Cradle-to-grave door afvalverbranding	3.84	2.09	1.14	5.59

* The eco-profiles for current and near-future NatureWorks polylactide (PLA) production, *Industrial Biotechnology*, 3 (1), pp 58-81

PHA

PHA's zijn plastics die geproduceerd worden door bepaalde bacteriën, gisten en planten. Bij planten en gisten is altijd genetische modificatie nodig om ze PHA te laten produceren. Voorbeelden van PHA's zijn polyhydroxybutyraat (PHB) en polyhydroxybutyraat valeraat (PHBV). PHB kan worden gemaakt uit bijvoorbeeld glucose of zetmeel. De micro-organismen slaan de geproduceerde PHB op in hun cellen. PHB is hoogkristallijn thermoplastisch materiaal en is vrij stijf en bros. PHBV is taaier en lijkt qua eigenschappen op polypropyleen (PP). Uit natuurlijke oliën kunnen rubberachtige PHA's worden geproduceerd. De productiemethode is echter duur. PHA's kunnen zowel flexibel, rubberachtig als rigide zijn afhankelijk van monomeersamenstelling (voeding van micro-organismen) [11].

Celluloseplastics

Cellulose is een polymeer van natuurlijke afkomst, welke het belangrijkste bestanddeel van de celwanden van planten is. Hierdoor is cellulose in grote hoeveelheden beschikbaar. Cellulose kan gewonnen worden uit bomen en (vezel)planten. Cellulose is een hoogmoleculair hoogkristallijn lineair polymeer dat niet smelt en niet oplosbaar is in gangbare oplosmiddelen. Celluloseplastics zijn over het algemeen zeer transparant en vochtbestendig. Textiel uit cellulose is in alle gevallen comfortabel omdat het goed vocht kan opnemen. De vezels uit geregenereerde cellulose en gemodificeerde cellulose zijn zeer goed te kleuren [12]. Van cellulose kunnen de volgende soorten materialen gemaakt worden: natuurlijke cellulosevezel, geregenereerde cellulose en gemodificeerde cellulose [12]. Natuurlijke cellulosevezels worden gebruikt voor de productie van papier, karton en textiel. Deze bestaan uit hout, jute, vlas, katoen en hennep. Voor papier- en kartonproductie worden de vezels gefibrilleerd en aan elkaar geplakt. Voor textielproductie worden de cellulosevezels gesponnen en geweven. Geregenereerde cellulose wordt verkregen door cellulose in een sterk oplosmiddel op te lossen en vervolgens weer terug te winnen. Een voorbeeld is cellofaan. Door gebruik van oplosmiddelen is dit product niet milieuvriendelijk. Echter is het voordeel dat de goede eigenschappen van cellulose behouden blijven (hoge temperatuurstabiliteit en hoge sterkte). Er bestaat een milieuvriendelijk productieproces echter, waarmee "Lyocell" vezels worden gemaakt. Deze kunnen worden toegepast in textiel en non-wovers. Bij gemodificeerde cellulose is de cellulose chemisch gemodificeerd tot thermoplastisch verwerkbaar cellulose. Het nadeel hierbij is het hoge energieverbruik bij de productie. Een voorbeeld van een bio-afbreekbaar gemodificeerde cellulose is cellulose diacetaat [12]. Cellulose diacetaat heeft als goede eigenschappen: taaierheid, hardheid, sterkte, helderheid en chemische resistentie. Het materiaal heeft een uitzonderlijk mooi uiterlijk (glans) en voelt prettig aan [12].

Zetmeelplastics

Zetmeelplastics is tevens een bio-afbreekbaar bioplastic, zoals al eerder vermeld. Zetmeel is een polymeer van natuurlijke herkomst en kan gewonnen worden uit maïs, tarwe rijst en aardappelen. De prijs van zetmeelplastics is laag. Zetmeel bestaat uit twee types glucosepolymeren: een laagmoleculair lineair polymeer (amylose) en een hoogmoleculair vertakt polymeer (amylopectine). Zetmeel kan via extrusie (in de smelt) verwerkt worden tot halffabricaat: thermoplastisch zetmeel of 'thermoplastic Starch' (TPS). TPS lijkt qua verwerkbaarheid sterk op 'gewone' bulkplastics, maar is minder hitteresistent. TPS kan door middel van spuitgieten, folieblazen, extrusie, schuimen of gieten verwerkt worden tot eindproduct. De granulaatprijs van TPS ligt tussen 1,5 tot 4,0 euro per kilo. Biologische afbreekbare weekmakers kunnen worden toegevoegd om een meer flexibel en minder watergevoelig eindproduct te krijgen [13]. Zetmeelplastics kunnen vooral polyethyleen (PE) en polypropyleen (PP) vervangen. TPS en mengsels van TPS met synthetische bio-afbreekbare plastics (PCL en PVOH) zijn vergeleken met PE, zie Tabel 2. Uit deze Tabel 2 blijkt dat zetmeelplastics een vermindering van broeikasgasemissie van 1,2-3,7 ton CO₂/ton plastic hebben, afhankelijk van de hoeveelheid synthetisch plastic in het materiaal [14].

Tabel 2 Broeikasgas (GHG) emissie van zetmeel plastics vergeleken met PE [14]

Plastic	GHG emissie (ton CO ₂ eq/ton)	GHG-emissie besparing (ton CO ₂ eq/ton)
PE (synthetisch)	4.8	-
TPS + 60% PCL	3.6	1.2
TPS + 52.5% PCL	3.4	1.4
TPS + 15% PVOH	1.7	3.1
TPS	1.1	3.7
Zetmeelfilm	1.2	3.6
Zetmeelschuim	1.2	3.6

TPS = thermoplastisch zetmeel, PCL = polycaprolacton,

PVOH = polyvinylalcohol

Biobased PE

Polyethyleen (PE) is een veelgebruikt plastic dat wordt geproduceerd uit aardolie. Het is echter ook mogelijk om PE uit hernieuwbare grondstoffen te maken. PE wordt verkregen door polymerisatie van ethyleen. Hernieuwbare grondstoffen zoals suikerriet, suikerbiet, maïs of tarwe leveren suikers voor bio-ethanol (door fermentatie). Vervolgens kan uit deze bio-ethanol via dehydratie bij hoge temperatuur ethyleen worden geproduceerd. Van deze ethyleen kan dan via polymerisatie PE worden gemaakt. Tevens kan deze ethyleen gebruikt worden voor productie van biobased PVC. Lage dichtheid PE wordt gebruikt als verpakkingsfolie, zakken en buizen. Hoge dichtheid PE wordt gebruikt in speelgoed, kratten en flessen. Biobased PE heeft exact dezelfde chemische, fysische en mechanische eigenschappen als petrochemisch PE [15]. Petrochemisch PE is vergeleken met PE, waarbij PE met huidige technologie (beperkt gebruik van bagasse) en toekomstige technologie (efficiënt gebruik van bagasse) geproduceerd is, zie Tabel 3. Tevens wordt de BREW studie vermeld, welke uitgaat van efficiënt gebruik van nevenstromen voor energieproductie, zie Tabel 3. Uit deze Tabel 3 blijkt dat biobased PE 3,3-5,5 ton CO₂/ton ethyleen lager is dan voor petrochemische ethyleen [15].

Tabel 3 Broeikaspotentieel van ethyleen uit suikerriet vergeleken met ethyleen uit aardolie [15]

Broeikaspotentieel (ton CO ₂ /ton ethyleen)		Biobased ethyleen			Petroche- misch ethyleen
		Macedo		BREW 2006	
		2005/2006	2020		
1	Koolstof vastleggen	-3.14	-3.14	-3.14	
2	Fermentatie			-0.96	
	Ethanol productie	0.89	0.71		
	Energie productie	-0.43	-1.66		
3	Dehydratie	0.74	0.74		
Cradle-to-factory gate		-1.94	-3.35	-4.10	1.40

Biocomposieten

Composiet betekent samengesteld. Kunststofcomposieten bestaan bijvoorbeeld uit een combinatie van vezels met een (kunststof)-hars. Materiaaleigenschappen die gewenst zijn kunnen op maat worden gemaakt, waardoor dit product sterk in opkomst is. Composietmaterialen kunnen zeer verschillende eigenschappen hebben door de gebruikte matrix- en vezelmaterialen.

Kunststofcomposieten hebben een lange levensduur, lage onderhoudskosten, grote ontwerpvrijheid, hoge specifieke sterkte en draagkracht, hoge chemische bestendigheid, weer- en waterbestendigheid, goede vermoeiingseigenschappen (cyclische belasting) en mogelijkheid tot serieproductie [16]. Biocomposieten bevatten een aanzienlijk deel van hernieuwbare grondstoffen zoals vezels en harsen en zijn hierom biobased materialen. Natuurlijke vezels (agrovezels) bestaan in veel soorten en maten en hebben eigenschappen die in composiettoepassingen kunnen concurreren met glasvezels, zoals de lagere dichtheid dan glasvezels. Natuurvezel composiet kan worden toegepast in de meubelindustrie. De prijzen van natuurvezel composiet granulaat is tussen 1,30-4 euro per kilo [17]. Bioharsen worden tevens in hoog tempo ontwikkeld. De mechanische eigenschappen zijn vergelijkbaar met die van onverzadigd polyester [16]. Recentelijk is de Cradle-to-cradle (C2C) filosofie meer ter sprake gekomen. Veel bedrijven zijn het eens met het minimaliseren van het materiaalgebruik (verhogen van recycling) en willen zich inspannen om de materiaal cirkel sluitend te houden. In deze filosofie past biobased materiaal helemaal. Door het gebruik van biobased materialen kan een bedrijf een groen imago krijgen, gebruik maken van hernieuwbare grondstoffen en zijn deze minder afhankelijk van fossiele grondstoffen [16]. Hars-gebonden natuurlijke vezelcomposieten kunnen gebruikt worden in design producten. Natuurlijke vezels groeien over de gehele wereld, zie Tabel 4. De productie van natuurlijke vezels die geschikt kunnen zijn voor toepassing in composieten (vlas, hennep, kenaf, jute, sisal) zijn hoger dan de productie van glasvezelversterkte kunststoffen in de Europese Unie [16].

Tabel 4 Jaarlijkse productie van natuurlijke vezels [16]

Vezel	kton/jaar	Belangrijkste producerende landen
Vlas	300	EU, China
Hennep	90	China, EU
Kenaf	350	China, Thailand
Jute	2.500	Bangladesh, India
Sisal	300	Brazilië, Kenia, Tanzania
Ramie	280	China, Brazilië
Abaca	70	Filipijnen, Ecuador
Katoen	25.000	China, Brazilië, India, Pakistan, VS, Uzbekistan
Kokos	500	India, Sri Lanka
GVK in EU	915	

Natuurlijke vezels worden geëxtraheerd uit stengels (vlas, hennep, jute, kenaf, ramie), bladeren (sisal, abaca, banana, pineapple) en zaden (katoen, kokos). Tijdens de extractie van deze natuurlijke vezels uit plantenstengels worden de houtachtige delen van het kernmateriaal (=scheven) gescheiden van de gewenste en sterke vezels (=bastvezels). Het verwijderen van de laatste houtachtige delen van het kernmateriaal kost inspanning en verhoogt daarmee de kostprijs. Echter is het van belang dat deze delen, grotendeels, worden verwijderd, omdat anders zwakke plekken in de composiet kunnen ontstaan [16].

Natuurlijke vezels zijn beschikbaar in verschillende vormen, namelijk:

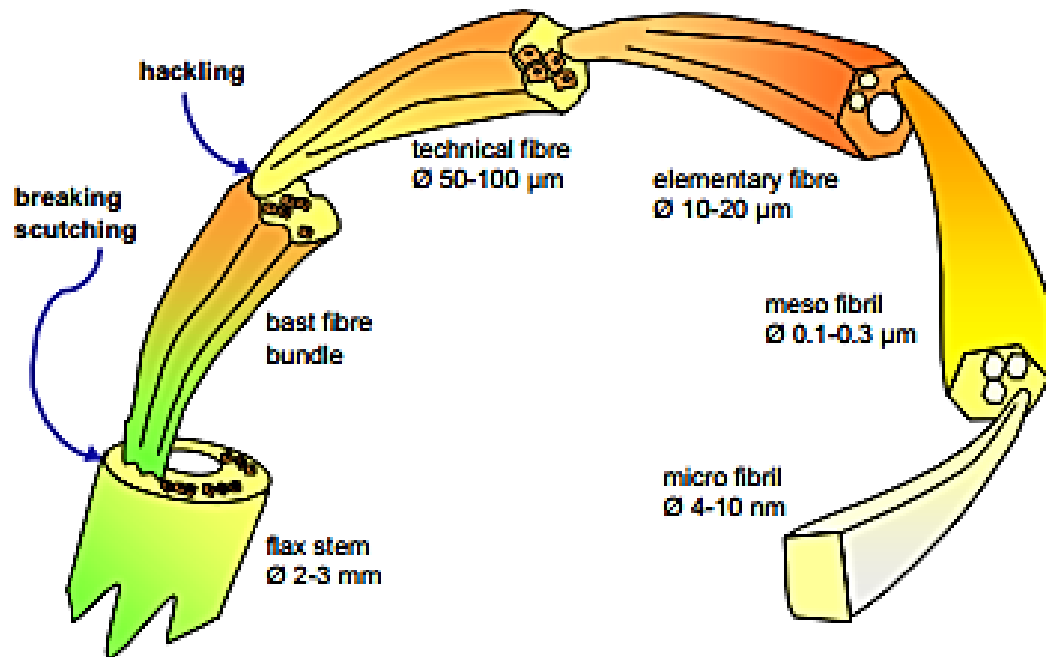
- Non-wovens, welke meestal worden gemaakt van korte vezels (5-30 cm lang) en is geschikt voor de toepassing in RTM en hand lay-up. Deze vorm kan nog houtachtige delen bevatten.
- Silver, welke een bundel van dakpansgewijs op elkaar gestapelde vezels is en gemaakt kan zijn van korte of lange vezels. Deze vorm heeft alleen sterkte over de afstand binnen de typische lengte van de vezels, zie Tabel 5.
- Korte en lange vezels, welke gebruikt kunnen worden om lokaal in een product extra sterkte en stijfheid aan te brengen [16].

Tabel 5 Indicatie van prijzen in 2011 [16]

	Vezelvorm		Prijs (€/ton)
Vlas	Korte vezel, 5-20 cm	Paar % scheven	650
Vlas	Korte vezel, 5-20 cm	Schoon	1000
Vlas	Lange vezel, 50-80 cm	Schoon	1500-2000
Vlas	Non-woven, 1000 g/m ²	~ 1% scheven	2000
Vlas	Sliver, lange vezel	Schoon	3000-5000
Hennep	Korte vezel, 5-20 cm	Paar % scheven	650
Viscose	Roving		2000
Glas	Roving		2000
Glas	Non-woven		3000

In Tabel 5 is tevens te zien dat de kostprijs hoger wordt als de vezels geen scheven bevatten, waardoor het composiet geen zwakke plekken bevat [16].

Natuurlijke vezels zijn op zichzelf ook composieten: de vezelbundel bestaat uit plantencellen die op hun beurt weer bestaan uit kleinere fibrillen, die uiteindelijk zijn opgebouwd uit celluloseketens. Een voorbeeld van een natuurlijke vezel, vlas, is weergegeven in Figuur 2. Andere natuurlijke vezels hebben een vergelijkbare structuur [16].



Figuur 2 Schematische weergave van de structuur van vlas [16]

De eigenschappen van de natuurlijke vezels worden bepaald door de structuur, tevens vezelopbouw genoemd. Dit is de binding tussen de structuren en de chemische samenstelling van de vezels [16]. Vezelsterkte neemt toe met afnemende hoek tussen fibrillen en lengterichting van de macroscopische vezel die in de composiet verwerkt wordt, zie Tabel 6. Tevens neemt de vezelsterkte toe met het cellulose/kristallijn gehalte, zie Tabel 7. Door afwezigheid van de laterale binding in vezelbundels in bastvezels kan zorgen voor verminderde stijfheid in de composietsterkte. Het is mogelijk om deze zwakke delen te verwijderen in een proces genaamd 'hekelen'. Dit is een soort kammen [16].

Tabel 6 Morfologische eigenschappen van natuurlijke vezels [16]

Vezel	Lengte (mm)		Diameter (micrometer)		Fibril hoek (°)
	Vezelbundel	Plantencel	Vezelbundel	Plantencel	
Vlas	300-900	13-60	50-200	12-30	10
Hennep	1000-3000	5-55		16-50	6.2
Kenaf	900-1800	1.5-11		14-33	
Jute	1500-3600	0.8-6		5-25	7-9
Ramie	>1500	40-250		16-125	7.5
Netel	190-800	5-55		20-80	
Katoen		15-56		12-25	
Sisal	600-1000	0.8-8		100-400	18-22
Abaca	1000-2000	3-12		50-280	
Banaan	450-1000	2.7-5.5		50-250	11-12
Pineapple	750-1000	5-6		3-8	14-18
Kokos	50-350	0.3-1.0		12-24	30-49
Miscanthus		1.6			
Esparto		0.5-3.5		9	
Rayon		Oneindig		12.5	-
Glasvezel		Oneindig		8-15	-

Tabel 7 Indicatieve chemische samenstelling van natuurlijke vezels [16]

Vezel	Cellulose	Hemicell	Lignine	Pectine	Eiwit	As	Extractives
Vlas	72.4	9.5	2.9	3.5	2.1	1.8	8.8
Hennep	70.1	8.8	3.8	3.1	4.5	4.1	6.9
Kenaf	56.2	15.0	9.4	5.4	2.6	1.5	8.1
Jute	59.4	10.7	14.6	2.6	1.6	0.7	2.1
Ramie	76.6	3.7	0.5	3.7	4.3	4.2	10.6
Katoen	91.2	0.8	0.4	2.2	2.0	1.6	2.8
Sisal	44.8	17.7	21.9	1.9	1.2	0.8	7.7
Abaca	61.4	12.0	10.3	4.4	1.0	1.0	5.5
Kokos	34.6	15.9	34.9	5.4	1.6	1.3	3.9

Tevens zijn indicaties van de trekeigenschappen van natuurlijke vezels en hun dichtheden bekend, zie Tabel 8. De vezelsterkte kan bij extraheren van natuurlijke vezels uit planten worden verlaagd, doordat er kleine beschadigingen ontstaan. Deze beschadigingen vermijden lijkt onmogelijk, echter is gebleken dat op labschaal vlasvezels onbeschadigd uit de plant gehaald kan worden. Deze vezels blijken dan ook een hogere sterkte te hebben [16].

Tabel 8 Trekeigenschappen en dichtheden van natuurlijke vezels [16]

Vezel	Strerkte (MPa)	Stijfheid (GPa)	Rek bij breuk (%)	Dichtheid (g/cm³)
Vlas	500-1100	50-70	1.3-3.3	1.5
Hennep	400-800	30-60	1.6-4	1.48
Kenaf	500-700		1.3-2.3	
Jute	200-1000	13-27	1.5-3	1.3-1.45
Ramie	500-1000	50-100	2.5-4	1.5
Netel	170-560	19-32	0.7-2.4	
Katoen	200-400	6-12	7-8	1.5
Sisal	500-700	9-28	3-14	1.4
Abaca	900-1000		3-4	
Banaan	500-750	7-21	1-4	1.35
Pineapple	400-1600	34-83	0.8-1.6	1.44
Kokos	130-340	4-6	15-40	1.0-1.3
Bamboe	140-810	11-33	2-3	0.6-1.4
Rayon	680-780	19.5	11-13	1.5
Glasvezel	2000-3500	72	2.5	2.55

Natuurlijke vezels hebben veel voordelen ten opzichte van glasvezels. Enkele voorbeelden zijn: redelijke sterkte, hernieuwbaar, materiaal op zich is 100% CO₂ neutraal, groeien overal ter wereld en zijn vochtregulerend (kan bijdrage leveren aan binnenklimaatcontrole). Echter bevatten natuurlijke vezels ook nadelen ten opzichte van glasvezels zoals de eindige lengte (bij spinnen van vezels ontstaat een twist in de vezels die de effectieve vezelsterkte verlaagt), vochtabsorberend (droging van vezels is vaak nodig voordat deze verwerkt kunnen worden), moeilijkere snijbaarheid en kan beslaan van ruiten en geur veroorzaken (gedurende en na verwerking bij hogere temperaturen, met name boven 180°C) [16].

Biodegradeerbaarheid is een eigenschap die zowel voor- als nadelen kan hebben. Dit is afhankelijk van de toepassing en de gewenste levensduur van het product [16].

Gelet op de prijs/kwaliteit verhouding lijken hennep, vlas, jute, kenaf en sisal de meest geschikte vezels voor toepassing in composieten. Hennep bevat een goede sterkte en is grof genoeg voor goede doorvloeijing. Vlas en jute-vezels zijn sterk, maar bevatten fijne structuur wat zorgt voor tragere doorvloeijing van hars. Sisal is grover dan hennep, waardoor composieten met een hoge vezelconcentratie haalbaar zijn. Sisal is echter minder sterk. De grove structuur van sisal kan gebruikt worden om de doorvloeijing in vlas en jute non-woven te verbeteren [16].

Bioharsen zijn volop in ontwikkeling en er zijn er een aantal commercieel beschikbaar [16].

Epoxyhars is een twee-componenten hars die bestaat uit een hars die epoxide groepen bevat en een harder met aminegroepen. Voor biobased epoxyharsen wordt vaak gebruikt gemaakt van natuurlijke oliën als grondstof, zoals lijnolie. Hierbij worden onverzadigde bindingen van de (meervoudige) onverzadigde oliën omgezet in epoxy groepen. Het bedrijf B.A.M. maakt biohars op basis van geëpoxideerde lijnolie in combinatie met polycarboxylzuuranhydrides, PTP genoemd. Deze hars bestaat tot maximaal 96% uit natuurlijke grondstoffen en harden bij 190°C in slechts één minuut. Uitharden bij 100°C kost enkele uren. Voor verwerking met natuurlijke vezels moeten deze vezels goed gedroogd zijn om de-activatie van anhydriden te voorkomen [16]. Biobased polyesterharsen bevatten monomeren zoals isosorbide, itaconzuur en barnsteenzuur. Tevens moet de reactieve verdunner styreen, deels, vervangen worden [16]. Biobased polyurethaanharsen zijn voornamelijk biobased polyolen, welke zonder gezondheidsrisico's kunnen worden toegepast. De hars schuimt gemakkelijk, waardoor in het verwerkingsproces mogelijkheid tot ontluchting aanwezig moet zijn [16]. Polyurethaan geeft producten een lange levensduur [18]. Bioharsen zijn

niet per definitie onschadelijk voor de gezondheid. Anhydriden zijn irriterend en kunnen sensibiliserende werking hebben. Zuren kunnen irriterend en corrosief/bijtend zijn. Epoxies en polyesterharsen kunnen vaak bij kamertemperatuur worden verwerkt en uitgehard. Echter is het bij bioharsen is de verwerking en het uitharden vaak bij hoge temperaturen [16]. Zie bijlage I voor meer informatie over bioharsen en de bedrijven die deze produceren.

Een praktisch voorbeeld van een biocomposiet is het gebruik hiervan voor bureaubladen, welke bestaan uit sojapoeder in combinatie met een natuurvezel zoals vlas of jute. Dit bureaublad heeft een groot aantal voordelen ten opzichte van bestaande bureaubladen op basis van spaanplaat of andere vezelplaat, namelijk:

- Het vermijden van schadelijke additieven zoals formaldehyde
- Een beter verwerkbaarheid
- Mogelijkheden tot 3D-vormgeving
- Het materiaal is sterker dan gangbare spaanplaatproducten
- Productie kost slechts 19% van de energie die noodzakelijk is om een traditioneel bureaublad te produceren.
- Het is goedkoper dan spaanplaat
- Het is veel minder schadelijk voor mens en milieu
- 100% afbreekbaar [19] [20]

Dit materiaal kan in complexe vormen worden gemaakt [21].

Groene bouwmaterialen

Hout is veruit het bekendste groene bouw materiaal. De CO₂ opslag in hout is circa 0,9 ton CO₂ per kubieke meter hout en levert een negatieve emissiewaarde van circa -1,7 g CO₂/kg hout [22]. Vezelplaten worden tegenwoordig veel gebruikt. Deze kunnen van hout zijn, maar ook bijvoorbeeld van stro of kokos. Hout, riet en stro fixeren CO₂ uit de lucht wanneer zij groeien en kunnen daardoor een positief effect hebben op de broeikasgasbalans [22]. Vezelplaten en vezelcomposieten zijn voor meubelindustrie inzetbaar [22]. De specifieke eigenschappen van natuurlijke vezels maakt ze geschikt voor toepassing in vezelversterkte polymeren (composieten) met hoge sterkte-stijfheid en lage dichtheid. Informatie over vezelplaten is al genoemd. Echter is nog niet vermeld dat de polymeren onder te verdelen zijn in 2 categorieën: thermoplasten en thermoharders. Thermoplasten waarin natuurlijke vezels voornamelijk verwerkt zijn polypropreen (PP), polyetheen (PE) en polymelkzuur (PLA). Gebruikte thermoharders zijn acrylaatharsen, epoxy (EP) en onverzadigde polyesters (UP). Natuurlijke vezelmatten worden met thermo-hardende hars besproeid of geïmpregneerd en geperst, welke bestaan uit meer dan 90% natuurlijke vezels. Voordeel van de vezels is de hoge stijfheid en lage dichtheid. Dit materiaal kan ook voor meubilair worden gebruikt. Natuurvezelmatten zijn verkrijgbaar vanaf circa 1,5 euro per kilo [23].

De toepassingsmogelijkheden van hout hangen onder andere van de houtsoort en de omgevingscondities af. In bijlage II staan twee tabellen waarin de meest toegepaste houtsoorten in de bouw in Nederland en de meest gangbare tropische hardhoutsoorten zijn vermeld. Hieruit blijkt dat meerdere houtsoorten geschikt zijn voor het maken van meubilair.

Het biobased afwerken van hout kan gebeuren met fineer [22]. Triplex of multiplex wordt in grote hoeveelheden toegepast in de bouw en meubelindustrie. Deze plaatmaterialen zijn opgebouwd uit drie of meer lagen houtfineer, die kruislings worden verlijmd, waardoor in alle richtingen hoge sterkte ontstaat [22]. Er zijn formaldehyde vrije houtlijmen beschikbaar, welke gebaseerd zijn op sojameel maar ook een aandeel chemische cross-linker bevatten [22]. Acrodur is een nieuwe "ecologische" lijm van BASF. Deze is op basis van acrylaat voor de fabricage van vezelcomposieten en thermo-hardende vormdelen [22]. Er zijn ook biobased lijmen. Beenderlijm bijvoorbeeld wat wordt gemaakt op basis van collageen uit slachtafval is niet watervast en door temperatuur en vochtinwerking reversibel weer los te maken. Vezel non-wovens kunnen worden geproduceerd door het gebruik van zetmeellijmen (stijfsel) uit aardappel, tarwe, maïs of rijst geproduceerd [22]. Hout is gevoelig voor biologische afbraak als het vochtgehalte te hoog wordt en tevens hebben UV-licht en wind een negatieve uitwerking. Natuurlijke houtbeschermers kunnen gebruikt worden zoals was, schellak, drogende oliën (lijnolie bijvoorbeeld), vernis, lak en verf (op plantaardige oliebasis) [22]. Houtvernissen op plantaardige oliebasis kunnen succesvol als bescherming van hout worden toegepast, echter zijn langere droogtijden en meerdere behandelingen nodig. Cellulose derivaten (zoals CMC) kunnen worden toegepast als extra verdikkingsmiddel en/of glansmiddel. Waterglas (Na₂SiO₃) wordt vaak gebruikt om hout en textiel brandwerend te maken en ook om poreuze wanden vochtwerend te maken [22]. Bagassevezelplaat wordt gemaakt op basis van het restproduct dat vrijkomt bij suikerrietproductie. Bamboe heeft vele mogelijkheden als bouw materiaal en kan worden gebruikt voor binnenhuisinrichting [22]. Bamboe is een benaming voor een aantal plantensoorten die een geslachtsgroep vormen van grassen. De stengels bestaan uit dichte parallelle vezelbundels welke van binnen hol zijn. Bamboe is een van de snelst groeiende

planten. Bamboe is goed te verwerken tot plaatmateriaal, wat in meubels gebruikt kan worden [24].

Thermoplastische kunststoffen, in tegenstelling tot thermo-hardende kunststoffen, zijn in principe recyclebaar [22]. Zowel thermoplastische als thermo-hardende kunststoffen kunnen in plaats van met glasvezels en minerale vulstoffen met natuurlijke vezels worden versterkt, tevens natural fibre composites (NFC) genoemd. De categorieën hierin zijn: houtvezelcomposieten (wood polymer composites: WPC), non-wovens van natuurlijke vezels, vezel versterkte composieten voor de bouw, natuurlijke vezels gecombineerd met plastics zoals (PP en PLA) en gerecycled plastic, rubber en cellulosevezel materiaal. Natuurlijke vezels kunnen goedkope bulkpolymeren zoals PP ongeveer 2 maal zo sterk en 4 maal zo stijf maken, waardoor ze technisch kunnen concurreren met duurdere engineering plastics zoals PC/ABS [23]. Spuitgietbare houtvezel gevulde plastics zijn beschikbaar vanaf circa 1,30 euro per kilo. Vlas of hennep versterkt plastics zijn beschikbaar vanaf 1,80 euro per kilo [23].

Houtvezelcomposieten (WPC) zijn bioplastics omgesmolten en vermengd met natuurlijke vezels en zijn direct tot een profiel gevormd. WPC's bevatten tot 70% vezels en worden vooral in vlonders gebruikt [23].

Natuurlijke vezels, lignine en vloeiverbeteraars worden gemengd en zijn spuitgietbaar op conventionele spuitgietmachines. Dit materiaal wordt vloeibaar hout genoemd, heeft een uniek houtachtig uiterlijk en wordt toegepast in meubelindustrie. Het is beschikbaar vanaf circa 3,5 euro per kilo [23].

Hernieuwbare kunststoffen kunnen ook in de bouw worden toegepast. Een al eerder genoemd voorbeeld is polymelkzuur (poly lactic acid, PLA). Andere, al eerder genoemde, mogelijke hernieuwbare kunststoffen zijn polyhydroxyalkanoaten (PHB, PHA) en verschillende cellulose derivaten zoals cellulose diacetaat (CA) [22]. Natuurkurk wordt geproduceerd uit de bast van de kurkeik. Kurk is van nature waterafstotend, vocht- en rotbestendig en heeft uitstekende brandwerende eigenschappen [22]. Geotextielen zijn biologisch afbreekbaar. Grondstoffen voor geotextielen kunnen kokos, jute en vlas zijn. Agrovezelplaten welke gemaakt zijn van verschillende (landbouw)grondstoffen zoals stro, bagasse, miscanthus of kokosbolster. Uit de vezelrijke bolsters van kokosnoten kunnen plaatmaterialen of vormdelen worden geperst zonder toevoeging van synthetische lijmen, zie Figuur 3 [22].



Figuur 3 Labschaal vezelplaatmateriaal op basis van kokosbolster [22]

Kokosnoot bolsters zijn ruimschoots beschikbaar in alle tropische landen als goedkoop bijproduct van kokosolie industrie. De vezelige bolster bestaat voor circa 30% uit vezels en voor 70% uit lignine-rijk merg. Er kan worden gebruik gemaakt van de specifieke lijmeigenschappen van lignine in het merg en de sterkte van de kokosvezel, zodat sterke platen worden gemaakt van hoge kwaliteit zonder synthetische lijmen. Heet persen is nodig voor het creëren van platen. Het bolster moet eerst gescheiden worden van de noot, vervolgens vermalen worden tot fijne deeltjes (eventueel drogen) en dan het heet persen van vezels tot plaatmateriaal. Kokosvezelplaten kunnen gebruikt worden in de meubelindustrie [25]. De eigenschappen van het plaatmateriaal (en MDF en spaanplaat) is samengevat in Tabel 9.

Tabel 9 Technische data vezelplaten [25]

Parameter	Kokosvezelplaat	MDF	Spaanplaat
Dichtheid (kg/m ³)	1100-1300	820	740
Buigsterkte (MPa)	50	45	16
Stijfheid (GPa)	5.0	4.5	3.2
Schroefvastheid	zeer goed	matig	slecht
Brandwerendheid	zeer goed	goed	matig

Zelfs beton en cement kunnen (deels) geproduceerd worden uit groene grondstoffen. De bouw heeft meer nodig dan alleen de 'grote' materialen. Isolatiemateriaal, lijm, kit en verf worden meestal gemaakt uit fossiele grondstoffen, maar kunnen ook zeer goed uit groene grondstoffen gemaakt worden (zie blz. 15). De afwerking en inrichting van huizen en gebouwen kunnen ook biobased zijn. Denk aan bioplastic voor stopcontacten of stoelbekleding van natuurlijke materialen [4].

Deel 1.4 Welke zijn geschikt voor biobased meubilair.

In deel 1.3 is verteld dat **karton** een geschikt biobased materiaal is voor meubilair. **Natuurvezel composiet** is tevens geschikt voor meubilair. **Kokosvezelplaten** kunnen ook voor meubilair gebruikt worden. **Natuurlijke vezelmatten** kunnen tevens in meubilair gebruikt worden. Ook bioplastics kunnen door middel van spuitgieten voor meubels gebruikt worden [26]. **Vloeibaar hout** kan ook voor meubels gebruikt worden. Ook **bamboe** kan in meubels gebruikt worden.

Deel 1.5 Welke materialen zijn er nodig voor jouw vergaderstoel?

Er zijn verschillende materialen nodig voor onze vergaderstoel waaronder:

- stoelpoten,
- stoelpoot dopjes
- zitvlak en rugvlak
- kleur (verf)

Deel 1.6 Welke processen zijn er nodig om tot het geschikte materiaal te komen?

Er is al genoemd welke biobased materialen nodig zijn voor onze vergaderstoel en welke biobased materialen hiervoor geschikt zijn. Vervolgens wordt in deze paragraaf besproken hoe deze materialen gemaakt dienen te worden.

- **Stoelpoot dopjes** {was tevens een vraag aan Ahrend, zie bijlage III en paragraaf 1.7}

Een mogelijkheid is met **spuitgieten**; De plastics waarin natuurlijke vezels met name verwerkt worden zijn polypropreen (PP), polyetheen (PE), en steeds meer het biopolymeer polymelkzuur (PLA), welke al besproken zijn in paragraaf 1.3.

Het (bio)plastic wordt in een extruder gesmolten en de natuurlijke vezels worden toegevoegd en gemengd; dit proces wordt compounceren genoemd, hieruit ontstaan composiet-korrels of granules. Deze korrels worden dan opnieuw gesmolten in de spuitgietmachine, waarna ze in een mal gespoten worden. Gemiddeld bevat composietmateriaal 30 tot 50% natuurlijke vezel. De spuitgiettechniek wordt wereldwijd toegepast voor het produceren van grote series producten met complexe vormen [27]

- **Natuurvezelcomposiet**

Composiet bestaat uit twee hoofdcomponenten: een kunsthars en een vezel van glas, aramide, of koolstof. De vezel zorgt daarbij voor de sterkte en stijfheid van het materiaal, de hars voor de taaiheid en de chemische resistentie. Vloeibaar is de hars eenvoudig toe te passen en met mallen in elke gewenste vorm te verwerken [27].

Bij het spuitgieten van bio-composieten wordt een thermoplastisch kunststof gebruikt dat vermengd wordt met cellulose of lignine. Het wordt ook gedaan met toevoeging van gemalen hout. Er kunnen mixen ontstaan waarin tot 70% composiet is verwerkt. Gemiddeld wordt het gedaan met een hoeveelheid van 30-50%. Bij een hoger percentage toegevoegd cellulose gaan de weerbestendige eigenschappen van het materiaal achteruit. Voor een composiet te spuitgieten is moet het wel aan bepaalde eisen voldoen. Het kunststof moet bijvoorbeeld de goede viscositeit hebben en de composietdeeltjes mogen maar een bepaalde grootte hebben anders verstopen ze het injectiekanal van de spuitgietmachine [29].

• Kleurstof

Ahrend beschikt zelf over biobased poederverf (nadeel is dat de stoel er niet biobased uit zal zien). Daarom is gezocht naar een alternatief: **natuurlijke kleurstoffen**. Natuurlijke kleurstoffen welke verwerkt kunnen worden in duurzame producten.

Meestal zijn natuurlijke kleurstoffen afkomstig uit planten. Voorbeelden zijn saffraan (uit krokus), curcumine (uit geelwortel), annatto (uit de annatto zaadjes), anthocyanen (uit biet en rode vruchten), lycopene (uit tomaat) en luteïne (uit brandnetels en afrikaantjes) [28], blauw (uit indigo, een plant van de erwtenfamilie), rood (uit meekrapwortel, Kermes en cochenille (gedroogde luizen). Geel (uit saffraan, reseda, druivenblad of granaatappel), groen (uit indigo + druivenblad, granaatappelschil of door blauw en geel te mixen), bruin (uit een walnotendop of eikenbast), oranje (uit henna + meekrapwortel), beige (uit walnotendoppen en granaatappelschil), zwart (uit indigo + henna).

Een aantal bomen die gebruikt worden is Braziliaans hout (een boom die voornamelijk groeit in Brazilië, en gebruikt voor rode, paarse en zwarte kleuren), Catechu (een boom die groeit in India en Oost Afrika. Gebruikt voor bruine kleuren), Rabarber (een plant met lange stengels en grote bladeren. Gebruikt voor gele en roodkoperen kleuren). Yellowwood (een Amerikaanse boom gebruikt voor gele kleuren) [29]. Het nadeel van deze pigmenten is dat het erg duur is om ze uit de natuurlijke bron te winnen. Een overweging om micro-organisme natuurlijke kleurstoffen te laten maken die normaal uit planten gezuiverd moeten worden is om een goedgekeurde stof in een goedgekeurde bacterie maken. In dat geval hoeft je niet voor elk verschillend extract weer uit te zoeken of er stoffen in voorkomen die niet eetbaar zijn. Een kleurstof die door een goedgekeurd micro-organisme wordt gemaakt kan best onzuiverheden (stoffen die niets met de kleurstof te maken hebben) bevatten, maar daar kun je tenminste zeker van zijn dat die niet schadelijk zijn voor de gezondheid. Een andere overweging om kleurstoffen in micro-organismen te maken kan zijn dat het goedkoper is, of dat de kwaliteit of de aanvoer constanter is [28].

◦ Rubia natural colors

Dit is een Nederlands bedrijf, welke alleen natuurlijke materialen (planten) gebruikt om kleuren te extraheren. Een gebruikte bron is bijvoorbeeld de wortels van Meekrap. Rubia werkt met zijn eigen variaties, welke gegroeid worden onder licenties, waardoor Rubia volledige controle heeft over de zuiverheid van het materiaal.

De kleuren lijken op synthetisch kleuren welke bestaan uit maar één molecuul, maar deze natuurlijke kleuren bestaan uit 15 verschillende substanties, wat de kleur een authentieke, rijke en natuurlijke glans geeft aan het eindproduct. Ze kunnen bijna het gehele kleurspectrum maken en bevatten unieke kenmerken, namelijk:

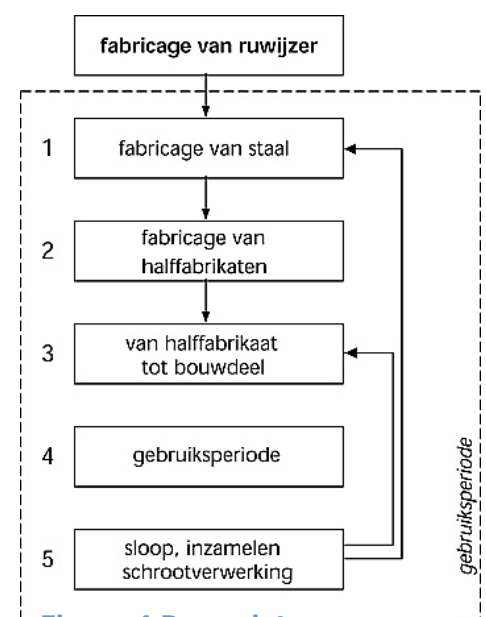
- Kleuringsstoffen van groente zijn in poedervorm.
- Het extract bevat een grote diversiteit aan kleur componenten, wat een speciale glans/gloei veroorzaakt.
- Perfecte hechting op stoffen, draden en andere producten zoals wol en leer.
- Milieuvriendelijk productieproces en volledig 'renewable'.
- De teelt concurreert niet met voedselgewassen, omdat deze plant gevarieerd kan worden met de monocultuur, wat anders moeilijkheden voor de kweker op zou leveren.
- Aangezien de productie en teelt in Nederland is, is het transport snel (goedkoper dan vanuit buitenland) en kost dit weinig energie en grondstoffen.
- De kleur heeft een goede lichtechtheid en is goed wasbaar

Rubia Natural Colours heeft een positieve footprint. Omdat er gedurende het proces meer CO₂ geabsorbeerd wordt, dan uitgestoten. Voor 1 kilo geëxtraheerde kleurstof, wordt 10 kilo CO₂ geabsorbeerd. Daarnaast gebruikt het bij de productie groene stroom en de extracties zijn volledig natuurlijk afbreekbaar [32].

• Stoelpoten (van staal)

Staal is al C2C (Cradle-to-cradle), zie Figuur 4. C2C gaat ervan uit dat, analoog aan de voedselketen, een materiaal/product/ ontwerp of gebouw een volledig gesloten kringloop beschrijft.

De kringloop van staal is gesloten en staal is recyclebaar én upcyclebaar. Bij upcycling hebben de nieuwe materialen dezelfde toepassing als het 'moedermateriaal', maar kunnen ook hoogwaardigere toepassingen aan.



Figuur 4 De gesloten kringloop van staal.

Een profiel met staalkwaliteit S235 is bijvoorbeeld om te smelten tot de hogere kwaliteit S460. Het recyclen van S235 tot S460 kost net zoveel energie als het recyclen van S235 tot S235. Een S460-profiel bezit bovendien betere eigenschappen, bijvoorbeeld een hogere sterkte. Hierdoor is voor een constructiedeel minder materiaal nodig (materiaalextensief). Bij deze 'dubbele winst' valt de iets hogere aanschafprijs van S460 (zo'n 9% hoger dan S235) in het niet [33].

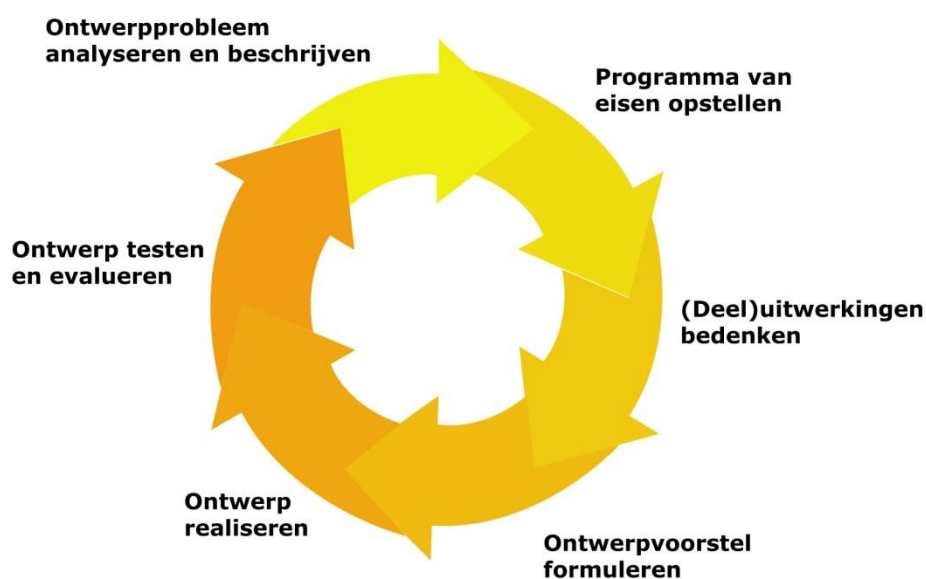
Daarnaast is staal duurzaam en natuurlijk materiaal. De restgassen worden opnieuw gebruikt om energie te produceren. Een ander restproduct is hoogovenslag wat gebruikt wordt voor het maken van cement. Uiteindelijk wordt het hersmolten. Zelfs alle lange producten worden gemaakt van gerecycleerd schroot, zonder gebruik van ertsen, de kwaliteit neemt niet af en het schroot is eenvoudig sorteerbaar [34].

Deel 1.7 Welke procesmogelijkheden heeft Ahrend?

Nu besproken is hoe de door ons gekozen biobased materialen verwerkt kunnen worden is nagevraagd bij Ahrend welke procesmogelijkheden deze heeft, zie tevens bijlage III. Hieruit bleek dat de stoelpootdopjes door middel van persen of erin slaan met een kunststof hamer worden verwerkt, waarbij de dopjes vastzitten op een klem. Tevens maakt Ahrend gebruik van spuitgieten. Hierbij wordt de mal gesloten met een kracht die in tonnen wordt uitgedrukt. Vervolgens wordt de kunststof dun vloeibaar gemaakt door te smelten (bij ongeveer 260°C). Dan wordt dit met grote druk in de mal gespoten en wordt gewacht tot het afkoelt (afkoelen is de helft van de cyclustijd). Als de wanddikte groter wordt duurt het afkoelen langer is de cyclustijd langer en is de productprijs duurder. Slim construeren kan veel geld besparen. Na afkoeling, uitstoten – kunststof krimpt, dus duwen uitstoters, het harde kunststof product van de binnenmal af. En klaar is het product. Eventueel kan de deelnaad worden afgewerkt [35]. Ahrend heeft geen mogelijkheden voor het verwerken van biobased materialen, maar is geïnteresseerd wanneer een dergelijke investering zinvol is voor het bedrijf.

Deel 1.8 Het stappenplan van de ontwerpcyclus

Bij het uitvoeren van de gestelde opdracht (zie opdrachtsomschrijving blz. 5) is een stappenplan gebruikt van de ontwerpcyclus. Ontwerpen is het bedenken hoe iets dat gemaakt moet worden eruit zal zien en of dit voldoet aan de gestelde eisen voor het ontwerp. Het ontwerpen van producten, zoals een vergaderstoel, verloopt in de techniek volgens een vast schema met stappen, welke de 'ontwerpcyclus' genoemd wordt. Dit stappenplan is in Figuur 5 weergegeven [27]. Allereerst is in het begin van dit portfolio vastgelegd wat het programma van eisen was (zie paragraaf 1.1 en 1.2). Vervolgens is literatuuronderzoek verricht (gedurende een aantal weken). Hierna zijn excursies naar verschillende bedrijven uitgevoerd om het verrichte literatuuronderzoek aan te vullen. Vervolgens is het ontwerpvoorstel voorgesteld aan een deskundige. Hierna is het onderzoek afgerond, waarna het aan de opdrachtgever Ahrend gepresenteerd kan worden.



Figuur 5 Ontwerpcyclus [27]

Deel 2: Excursies bedrijven

Excursie Ahrend in Zwanenburg – 26 januari 2015

Allereerst is het gehele productieproces van de stoelen doorlopen. Wat belangrijk was voor deze opdracht waren de manieren waarop Ahrend al biobased bezig is. Dit werd bijvoorbeeld gedaan door poederlak te gebruiken om stoelen (maar ook tafels e.d.) te verven. In deze poederlak zitten geen toxische stoffen. Tevens kan gebruikt poederlak, wat naast het product valt, opnieuw gebruikt worden (recyclen). Door deze twee eigenschappen is dit een biobased product. Tevens werd gelet op het hergebruik van afval, bijvoorbeeld afval van de stof (van de zitting van een stoel). Dit wordt precies met een machine automatisch gesneden, echter ontstaan altijd randen stof die afgesneden worden en vervolgens niet meer gebruikt kunnen worden. Deze stof wordt verzameld en vervolgens naar een andere fabriek gestuurd. In die fabriek wordt deze stof ontsponnen tot garen. Van dit garen wordt weer nieuwe stof gemaakt die Ahrend vervolgens weer kan inkomen, en zo is deze cyclus rond. Dit is dus ook biobased werken. Ook het houtafval van de tafelbladen wordt gerecycled op soortgelijke wijze. Hierbij wordt het overgebleven hout van de gebruikte platen opnieuw naar de leverancier van die platen gestuurd en kan deze leverancier deze stukken platen weer gebruiken om nieuwe platen te maken. Deze nieuwe platen worden vervolgens door Ahrend weer ingekocht. Ook is erop gelet dat de bekleding van de stoelen niet wordt vastgelijmd maar geniet of met een antisliprand in de stoel wordt bevestigd. Hierdoor kan de versleten stof apart worden afgevoerd en is dit kostenbesparend omdat geen gehele nieuwe stoel maar alleen nieuwe bekleding voor een stoel gekocht dient te worden. Al met al is Ahrend al biobased bezig. Echter is nu de taak om ook biobased materialen voor de stoelen te gaan gebruiken.

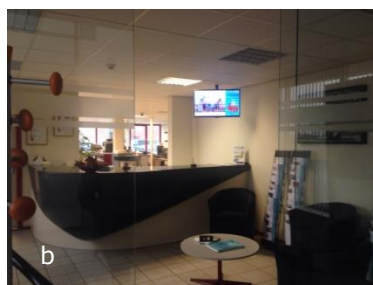
Tevens zijn in de presentaties na de rondleiding ergonomie en de route van Cradle-to-cradle (C2C) toegelicht. Bij de ergonomie presentatie werd duidelijk gemaakt dat mensen gemiddeld langer worden. Het belang bij het ontwerp van de stoelen was dat de lendesteun hoger moest worden gemaakt. Daarnaast werd toegelicht dat je niet jezelf als uitgangspunt moet nemen en ook niet de gemiddelde mens, maar ook rekening moet houden met de kleinste en de grootste mensen/studenten. 96% van de mensen tussen de 18-56 jaar zijn qua lengte tussen de 155-196 centimeter. Een bezoekersstoel is niet-verstelbaar, dus moet best passende worden gemaakt. De volgende opmerking werd tevens meegegeven: 'Liggen en gaan is beter dan zitten en staan!'. Waaruit blijkt dat stilzitten of stilstaan niet goed voor het lichaam is. Tevens werd toegelicht aan welke eisen de stoel volgens Ahrend moet voldoen. Bij de presentatie over route C2C werd uitgelegd dat het biologische kringloop van belang is: waar komt de grondstof vandaan, hoe wordt deze omgevormd, wat is het productieproces (gaat er bijvoorbeeld zoutzuur de grond in doordat dit gebruikt moet worden bij de productie?), welk product ontstaat er, zijn de onderdelen onderling te vervangen, kan product gedemonteerd worden waarbij alle onderdelen apart afgevoerd/gerecycled kunnen worden, zijn er veilige materialen bij gebruikt (zijn er emissies geproduceerd, bij slijtage van de stof komen toxische stoffen uit de bekleding in de lucht). De twee uitgangspunten van Ahrend zijn genoemd: 1) CO₂-neutraal (gebruik van zonne-, wind- en waterenergie) en 2) gesloten ketens (biologische en technische cyclus) → kun je producten scheiden en afbreken in milieu?

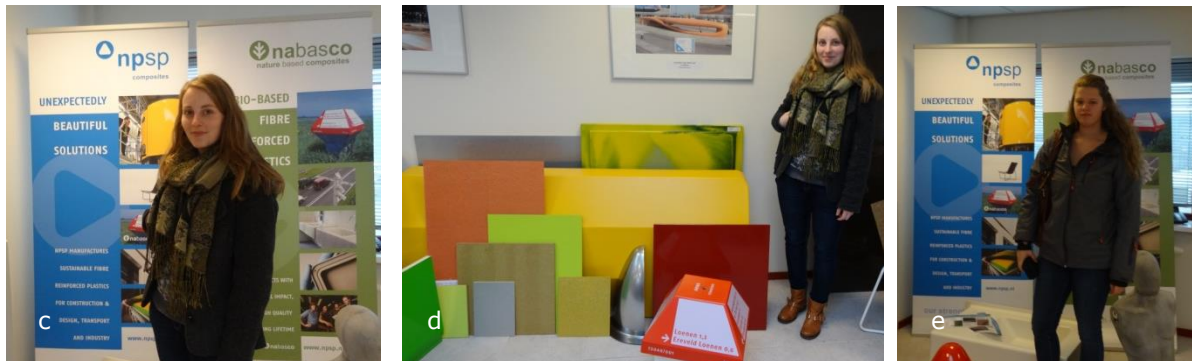
Excursie NPSP in Werkendam – 17 februari 2015

Gesproken met Willem Böttger

Natural Powered Speed Products (NPSP), levert vezelversterkte composieten voor de bouw (gevelbekleding, sanitair, vloeren en dakconstructie). De kunststofcomposieten worden geproduceerd op basis van onverzadigde polyester met vacuüminjectietechniek. Naast glasvezels gebruiken zijn ook natuurlijke vezels als vlas, jute en kokos in hun Nabasco composieten. NPSP onderzoekt ook bioharsen als alternatief voor hun epoxy en polyester harsen [22].

De volgende foto's zijn genomen bij NPSP:





Figuur 6 (a) Bedrijfspand NPSP, te Werkendam (b) receptie (c) Joke Soer bij poster van NPSP en Nabasco (d) Joke Soer met gekleurde composieten (e) Jolien van der Linden met poster van NPSP en Nabasco.

De rondleiding begon, aan de vergadertafel met wat informatie over composiet.

Composiet is opgebouwd uit hars, dit is een thermoharder en zorgt voor de hardheid en stijfheid van het product, het biedt tevens bescherming. Daarnaast bevat het vezels (thermoplasten), wat zorgt voor degelijkheid en stevigheid van het product. Als laatste kunnen er extra ingrediënten aan toegevoegd worden, zoals kleurstoffen, brandvertragers en isolatiemateriaal in een sandwich vorm (Figuur 7).



Figuur 7 Drie vormen van natuurvezelcomposieten (a) natuurvezelcomposiet uit vlas, zonder extra toevoegingen (b) composiet sandwich met isolatiemateriaal (c) composiet met toevoeging van witte kleurstof.

Natuurvezelcomposiet is 80-85% biobased. Vezels die gebruikt worden zijn onder andere vlas (Figuur 8), hennep, kokos, jute, sisal en koolstof in plaats van glasvezels.



Figuur 8 (a) Vlas vezels en een kleine rol (b) glasvezels.

Waarom is composiet biobased? Wanneer normaal gesproken hout verbrand wordt, levert dat groene stroom op, daarnaast komt de CO₂ weer vrij die de boom heeft opgenomen in de jaren dat hij gegroeid is. Het nadeel is dan ook dat het de boom jaren kost om CO₂ op te nemen en een paar minuten op de boom te verbranden er energie en CO₂ uit vrij te maken.

Maar op het moment dat er eerst producten gemaakt worden uit de boom, bijvoorbeeld een stoel. Wordt de boom veel duurzamer gebruikt. Pas na 20 jaar als de stoel wordt afgeschreven kan hij alsnog verbrand worden tot groene stroom, daarnaast heeft een nieuwe boom in de tijd gehad om te groeien en CO₂ op te nemen, die bij het verbranden van de stoel weer vrij komt.

In plaatst van bomen, wordt er in composiet vlas gebruikt. Een landelijk product (dit scheelt in transportkosten) en economische goed, daarnaast is het zowel in België als in Frankrijk ook verkrijgbaar.

Het verwerken van composiet

Natuurvezelcomposiet is verwarmbaar en kan in mallen gegoten worden en met een perstechnieken gedrukt. Wat de productie goedkoper maakt en massaproductie mogelijk. Een zitvlak van een Revoltstoel duurt bijvoorbeeld maar 2 minuten per zitje.

Het voordeel van composiet is het weinige onderhoud wat nodig is, daarnaast is het licht en sterk. Het bevat akoestische eigenschappen; het neemt geluid op. Dus in een ruimte met veel van deze stoelen en veel mensen zal het geluid wat gedempt worden door het materiaal, waardoor de 'herrie' van het geklets wat minder wordt. Het materiaal is biobased en heeft ook dit uiterlijk (Figuur 9).



Figuur 9 Zitvlak en rugleuning bestaande uit een stuk composiet (Pastoe design).

Het is mogelijk om er een verfpoeder coat over te spuiten, maar er kan ook gedacht worden aan een kleurstof door het materiaal, zodat de vezels nog zichtbaar blijven (zoals bij houtnerven).

Daarnaast is composiet te bewerken zodat het lijkt op hout of tegels (Figuur 10). Ondertussen wordt composiet al veel gebruikt, alleen lijkt het dan op plastic waardoor het niet eenvoudig wordt herkend als composiet zoals de fietspaddenstoelen en elektrische oplaadpunten (Figuur 11).



Figuur 10 Composiet met het uiterlijk van (a) hout en (b) tegeltjes.



Figuur 11 (a) Fietspaddenstoel, bewegwijzering van ANWB (b) elektrische oplaadpunt voor auto's.

Vervolgens een rondleiding door de fabriek (Figuur 12). Houten mallen maken ze zelf (Figuur 13). Voor een grotere productie wordt metaal gebruikt. In (Figuur 14) is de houten mal te zien die gebruikt wordt voor de voorkant van de NS treinen.



Figuur 12 Foto in de NPSP fabriek/werkplaats.



Figuur 13 Een zelfgemaakte houten mal.



Figuur 14 De houten mal voor de NS trein.

Nadat de mallen gemaakt zijn, wordt de hars in de mal geplaatst en geperst onder de drukpers (Figuur 15).



Figuur 15 Een persmachine.

Daarnaast kan er gebruikt gemaakt worden van de vacuümtechniek. Het product wordt vacuüm gezogen ($1\text{bar} = 1\text{kg/cm}^2$). Dan wordt het hars langzaam toegevoerd en wordt naar het middelste punt gezogen, waarna het kan uitharden. Hoe helderder de hars hoe gladder de plaat (Figuur 16).



Figuur 16 Vacuüm gezogen tafelblad.



Figuur 17 De rand van een tafelblad.

On effenheden (

Figuur 17) na het uitharden kunnen weggesneden worden onder hoge druk door een watersnijder (Figuur 18). Daarnaast kunnen hiermee figuren uitgesneden worden.



Figuur 18 De watersnijder.

Excursie VIBA expo in 's-Hertogenbosch – 18 februari 2015

Gesproken met Jan van Holstein

Vandaag zijn we naar de VIBA expo geweest in Den Bosch. De expo ging voornamelijk over duurzame bouwmaterialen voor huizen en gebouwen.



Allereerst hout; hout wordt alle eeuwen gebruikt in de bouw voor verschillende constructies (Figuur 19). Nobel Wood (Figuur 20) dit hout wordt bewerkt door het te verhitten, hierdoor verandert de houtstructuur (lygine) waardoor bacteriën het minder snel afbreken en het hout duurzamer wordt. Daarnaast worden houtvezels gebruikt als isolatiemateriaal (Figuur 21).



Figuur 19 Houten materialen.



Figuur 20 Nobel Wood hout, duurzaam door verhitting.



Figuur 21 Isolatie met houtvezels.

Om het traject van boom naar verbranding zo duurzaam mogelijk te maken wordt er gewerkt met de ladder van Lansink (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Dit is een trap van hergebruikt, zodat producten die afgeschreven worden niet direct worden weggegooid en verbrand. Er zitten stappen tussen waarbij het product hergebruikt word. Hierbij daalt het product een trap en verliest het dan ook aan kwaliteit, maar het wordt niet direct verbrand en daarmee wordt er bespaard op nieuwe grondstoffen voor de producten die er nog wel van gemaakt kunnen worden.

Bijvoorbeeld; hout → duur/kwaliteit papier → gewoon 'print/schets' papier → kranten papier → isolatie materiaal (Figuur 23) → verbranding.



Figuur 23 Isolatie materiaal gemaakt uit kranten.

In de bouw worden ook verschillende vezels gebruikt. Deze vezels worden voornamelijk gebruikt als isolatiemateriaal (Figuur 24 & Figuur 25). Isovlas geeft het vele kwaliteiten, dus het gebruik van vlas in composiet geeft het product veel positieve kenmerken.

LADDER VAN LANSINK 2.0



Figuur 22 Ladder van Lansink



Figuur 24 Isovlas kenmerken deel a.

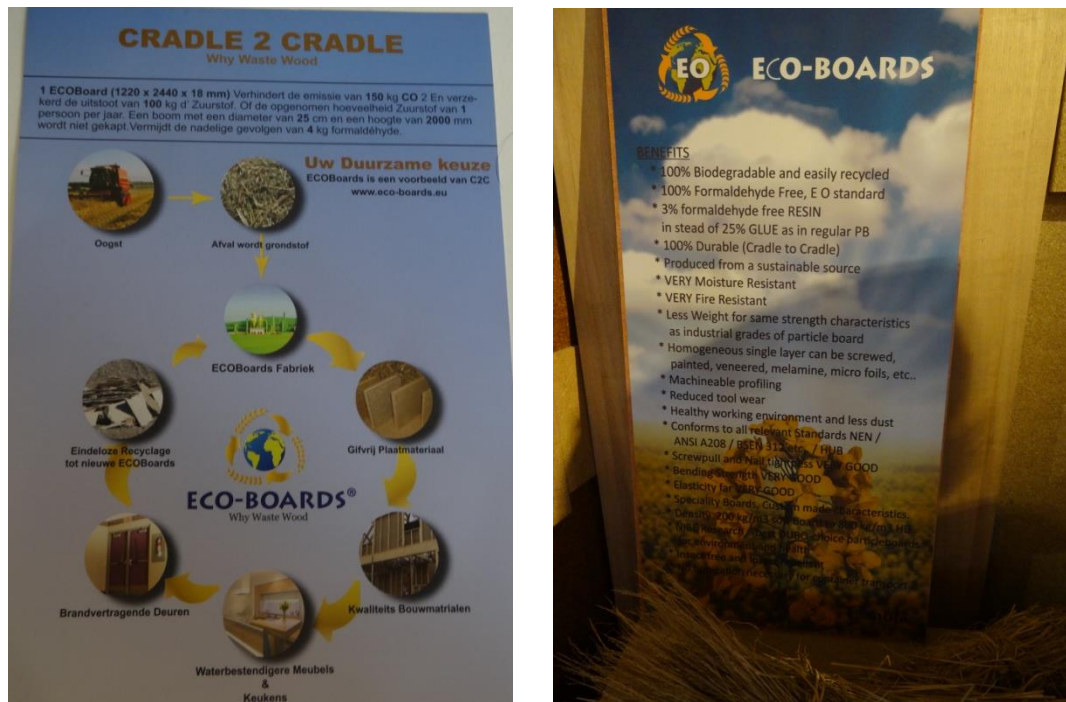


Figuur 25 Isovlas kenmerken deel b, c en d.

Naast vlas wordt er ook gebruik gemaakt van schapenwol (Doschawol) (Figuur 26) en isolatiemateriaal in Ecoboard, dit is plaat materiaal (Figuur 26 & Figuur 27).



Figuur 26 (a) Doschawol (b) ecoboard.



Figuur 27 Ecoboard is Cradle-to-cradle en bevat veel positieve kenmerken ten aanzien van biobased materiaal.

Marmoleum is ook een biobased product het voordeel is dat dit product in vele kleuren verkrijgbaar is. Daarnaast blijven de vezels zichtbaar als er gewerkt wordt met kleur, dat geeft het dan ook een echt biobased uitstraling (Figuur 28).



Figuur 28 Marmoleum in verschillende kleuren.

Deze kleuren brengen ons op de volgende punten: kleur en verf. Auro Natuurverven (Figuur 29) is verf gemaakt uit herwinbare grondstoffen. Deze bestaat voornamelijk uit lijnolie en harsen en pigmenten uit delfstoffen en oxiden. Deze verf heeft als doel door te schilderen met natuurverf om de oppervlakten te beschermen en te verduurzamen. Natuurverf heeft daarom dezelfde kwaliteiten als "gewone" verf. Bij winning van deze grondstoffen wordt het milieu zo veel mogelijk ontzien. Bij de productie wordt zorgvuldig en behoudend omgegaan met de grondstoffen. Zowel in de productie alsook in de afvalfase is natuurverf hierdoor minder belastend voor het milieu.



Figuur 29 AURO natuurverven.

Een andere verf waar aan gedacht kan worden is kookverf (Figuur 30), een verfsoort die gebruikt wordt om Scandinavische houten huizen te schilderen. De verf wordt gemaakt met natuurlijke ingrediënten lijnolie, rogge- of tarwemeel en natuurlijke minerale en plantaardige kleurstoffen. De originele rode kleur komt van een aardpigment uit de mijnen van Falun, dat vergelijkbaar is met Sienna. Het is een bijproduct van de koperertswinning en is in originele, niet gebrande vorm geel-oker van kleur. Na branden of verwerken aan het aardoppervlak wordt het rood en vervolgens diepzwart. Het koken is een oude manier om de lijnolie te activeren en van het meel een soort stijfsel te maken. In Zweden is de verf bekend als slamfärg (uit het Duits "Schlamm"), dat wil zeggen verf gemaakt van mijnafval.

Doordat de lijnolie in heel kleine druppeltjes in het stijfsel geëmulgeerd raakt, kan de verf erg goed doordringen in de structuur van het hout. Er wordt als basis voor kookverf verder alleen water gebruikt zodat de verf van nature oplosmiddelvrij is.



Figuur 30 kookverf

Deel 3: Inspiratiewerkshops 2 februari 2015

Er zijn 3 workshops gevolgd: 3D-printing, mechanische analyse en composieten.

Allereerst werd het 3D-printen uitgelegd, van biopolymeren met een hoge hitte bestendigheid. Er is steeds meer vraag naar bio-gebaseerde en bio-afbreekbare kunststoffen. De verwachting is dat de toepassing hiervan de komende jaren dan ook toe zal nemen. Een onderzoek naar de toepasbaarheid is daarom zeer gewenst. Een andere opkomend fenomeen is het 3D-printen, met name de FDM methode, zie Figuur 31 De 3D-printer Ultimaker Original met verwarmde printplaat met PLA als biopolymeer.



Figuur 31 De 3D-printer Ultimaker Original met verwarmde printplaat met PLA als biopolymeer.

Er kunnen allerlei materialen voor 3D-printen gebruikt worden van pannenkoekenbeslag tot beton. Zolang het materiaal maar gesmolten kan worden door hitte en vervolgens snel hard wordt. Op dit moment worden er slechts enkele kunststoffen hiervoor gebruikt en een klein deel is maar bio-gebaseerd. Eén doel is om voor olie gebaseerde polymeren bio-gebaseerde alternatieven te vinden en, dit geldt ook binnen het 3D-printen. Ook zijn de bio-gebaseerde kunststoffen die geschikt zijn voor 3D-printen vaak niet goed bestand tegen hoge temperaturen, zijnde dat deze bij hoge temperaturen degraderen of simpelweg smelten. Het doel is een vergelijkingsonderzoek met verschillende heat-stable biopolymeren, in het bijzonder n-PLA (bevat kleur en is stevig) en sc-PLA maar ook Cellulose Acetaat en PBS, tussen spuitgieten en 3D-printen. Hierbij is vergeleken op printbaarheid en thermische en mechanische eigenschappen met behulp van DSC, slag en trek-proef. Test objecten werden geprint m.b.v. een Ultimaker Original voorzien van een verwarmde printplaat. Heat-stable betekende binnen dit project dat geprint object bij 100°C tenminste een half uur zijn vorm visueel behouden blijft en niet meer dan 2% vervormt in hoogte of breedte. Dit zal onderzocht worden m.b.v. dunwandige printproducten. Het procesverloop is in Figuur 32

Procesverloop van 3D-printing onderzoek weergegeven. Hierbij is het eindproduct, gemaakt door 3D-printen of spuitgieten, staafjes welke gebruikt kunnen worden in de trek- en slag-proeven. Het opnieuw smelten van biopolymeren om dit opnieuw in de 3D-printer te gebruiken is niet wenselijk, aangezien deze hierdoor steeds brosser wordt door de korter wordende polymeren. PLA is een biopolymeer uit melkzuur welke tevens biologische afbreekbaar is. Hierbij komt alleen melkzuur vrij, wat geen probleem is aangezien deze stof zelfs in het lichaam zelf voorkomt (bij verzuring spieren/spierpijn). PLA is oplosbaar in natronloog, waardoor deze gescheiden kan worden van andere polymeren zoals PBS (PLA is dan volledig verdwenen). Water zorgt voor hydrolysatie-reacties van PLA, waardoor deze afbreekt. Het toevoegen van kleurstoffen in PLA zorgt voor kristallisatie, waardoor de structuur minder flexibel wordt. PBS is veel flexibeler dan PLA. PBS is tevens biologische afbreekbaar maar bevat wel aardolieproducten. Aardappelzetmeel kan tevens gebruikt worden en kan goed gekleurd worden en is biologisch afbreekbaar, maar bevat wel chemische stoffen.



Figuur 32 Procesverloop van 3D-printing onderzoek.

De tweede workshop was mechanische analyse. Dit zijn trek-proeven, waarbij getest wordt hoeveel kracht (in Newton) nodig is om het materiaal te breken en waarbij de flexibiliteit bepaald kan worden. Het apparaat dat gebruikt wordt is in Figuur 33 De mechanische analyse/trek-proef, weergegeven. Het gemaakte staafje (bijvoorbeeld met 3D-printen) wordt tussen de twee klemmen geklemd, waarna het apparaat met een steeds grotere kracht gaat trekken. Er wordt een grafiek geconstrueerd waaruit de flexibiliteit van het materiaal afgelezen kan worden.



Figuur 33 De mechanische analyse/trek-proef

Als laatste is de workshop over composieten gevolgd. Dit zijn materialen die bestaan uit twee of meer materialen. Hierbij kun je dus de eigenschappen van meerdere materialen combineren. Wanneer je bijvoorbeeld een stug en hard materiaal hebt kun je dit mengen met een rubber, waardoor het ontstane composiet meer flexibel is. Ook kan hars worden gebruikt in combinatie met vezels waardoor juist een heel hard en stevig materiaal ontstaat. Hierdoor kunnen materialen gemaakt worden met gewenste eigenschappen.

Deel 4: Vraaggesprek met een deskundige

We hebben ons onderzoek naar biobased materialen besproken met Aart van den Dool (docent Avans Hogeschool) op 25 februari 2015. Hij vond het interessant om te horen wat we hadden uitgezocht over biobased materialen en waar we op excursies zijn geweest. Daarnaast heeft Aart ons wat tips gegeven aan de hand van onze vraag over kleurstoffen. Op school worden de kleurstoffen gebruik van Rubia Natural colors, hierover staat wat beschreven in paragraaf 1.5. Om deze kleurstoffen te kunnen gebruiken voor/in composiet moet er gedacht worden en onderzoek gedaan worden naar: hoe hecht de kleurstof aan de vezels of hars van de composiet, wat is de kleurechtheid nadat het composiet geleverd is en wat is het migratiepatroon van de kleur. Deze punten zullen we in de conclusie noemen, als voorwaarde waar naar gekeken zal moeten worden voordat er kleurstoffen echt gemengd kunnen worden in de composiet. Wel is het leuk om dit onderzoek dan weer terug te koppelen naar Avans studenten (wat voor Ahrend weer kostenbesparend zal zijn).

Deel 5: Conclusie en aanbevelingen

Aan de hand van ons onderzoek naar biobased materialen om de Revoltstoel van Ahrend te vernieuwen. Hebben we besloten om de volgende aanbevelingen te maken:

- Natuurvezelcomposiet (van NPSP);
De composiet van NPSP bestaat uit vlas met hieraan een kleine hoeveelheid hennep toegevoegd in combinatie met een biohars. Hennep is een grovere natuurvezel dan vlas waardoor de doorvloeiing van de biohars beter wordt bij toevoeging van hennep. Dit materiaal kan gebruikt worden voor het zit- en rugvlak, het voordeel hiervan is dat dezelfde mallen gebruikt kunnen worden (als welke nu gebruikt worden bij Ahrend), aangenomen dat de temperatuur en druk aangepast kunnen worden of hetzelfde zijn. Hars-gebonden natuurlijke vezelcomposieten kunnen gebruikt worden in design producten. Natuurlijke vezels groeien over de gehele wereld inclusief in Nederland, waardoor de transportkosten (en emissies van broeikasgassen als gevolg van het transport) laag zijn. Van dit materiaal zijn al eerder stoelen gemaakt (zoals beschreven in Deel 2: Excursies bedrijven), wat het voor ons doel een geschikt materiaal maakt. Tevens is dit materiaal licht (lage dichtheid), sterk en goedkoop, volgens NPSP. Tevens heeft het composiet weinig onderhoud nodig en bevat het akoestische eigenschappen. Dit laatste wil zeggen dat het geluid/herrie uit de ruimte opneemt. Tevens kan in overleg met NPSP worden besloten om het zit-en rugvlak bij NPSP te laten maken, aangezien zij verschillende mallen hebben. Deze kunnen dan worden aangeleverd bij Ahrend.
- Stalen stoelpoten;
Dit wordt al zo gedaan en kan hetzelfde blijven aangezien staal Cradle-to-cradle is en duurzaam (wat al eerder beschreven is in paragraaf 1.5). Het is optioneel om de poten ook van composiet te maken, hiervoor is wel een nieuwe mal voor nodig. Dit kost veel geld, dus dit is niet onze eerste keuze.
- Rubberen stoeldopjes van PLA;
De aanbeveling is om PLA voor de stoeldopjes te gebruiken. PLA is waterbestendig en stevig. De huidige stoeldopjes worden geperst of in een mal geslagen met een kunststof hamer, waarbij de dopjes vastzitten op een klem. Waarschijnlijk is het mogelijk om dezelfde techniek voor PLA te gebruiken.
- Kleurstoffen van Rubia Natural Colors;
Het is wenselijk om variatie in stoelen te hebben, zodat de klant zelf een keuze kan maken naar zijn of haar smaak. Hierom raden we het gebruik van natuurlijke kleurstoffen aan. Het bedrijf Rubia Natural colors, maakt alleen gebruik van natuurlijke materialen om kleurstoffen uit planten te extraheren, daarnaast is het voordeel dat ze bijna over heel het kleurenspectrum beschikken en het een positieve Carbonfootprint heeft. Bij het gebruik van een kleurstof door het composiet heen is het mogelijk om er voor te zorgen dat de vezel structuur lichtelijk zichtbaar blijft, wat het een biobased uiterlijk geeft. Verder heeft het gebruik van kleurstoffen in composieten meer onderzoek nodig, zoals naar het aanhechten van de kleurstof aan het materiaal, het migratiepatroon en de kleurechtheid in biocomposiet. Wellicht is het een idee om voor dit onderzoek studenten van Avans Hogeschool in te zetten (dit is voor Ahrend tevens kostenbesparend).

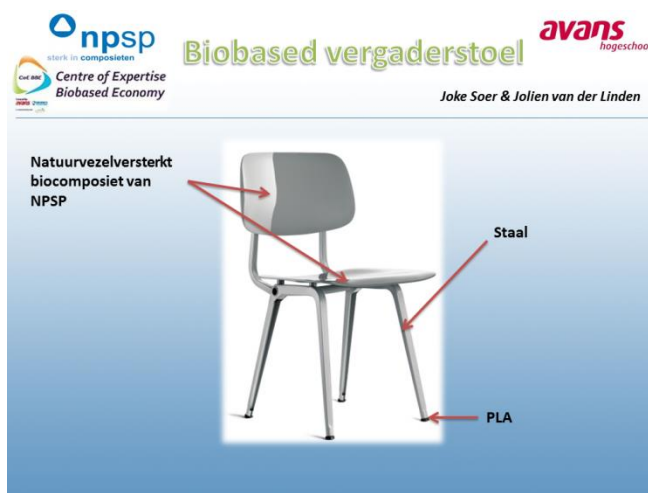
Naast de genoemde aanbevelingen hebben we ook nog mogelijkheden voor biobased materialen die nog beter uitgezocht dienen te worden. Wellicht is het mogelijk om zetmeelplastic te gebruiken

om het schuim van de stoelzitting mee te maken. De prijs van zetmeelplastics is laag. Er zijn nog meer voordelen genoemd van dit materiaal in paragraaf 1.2 (blz. 9). Een andere mogelijkheid om het schuim te vervangen wellicht is biobased polyetheen, welke dezelfde chemische, fysische en mechanische eigenschappen heeft als petrochemisch polyetheen (paragraaf 1.2 blz. 9). Tevens kan worden uitgezocht of natuurlijke cellulosevezel gebruikt kan worden voor de bekleding van de stoelen. Celluloseplastics zijn over het algemeen zeer transparant en vochtbestendig. Textiel uit cellulose is in alle gevallen comfortabel omdat het goed vocht kan opnemen (paragraaf 1.2 blz. 8). Naast het feit dat het bedrijf een goede naam krijgt wanneer biobased materialen worden gebruikt, maakt het dit bedrijf ook minder afhankelijk van fossiele brandstoffen. We hopen dat onze aanbevelingen Ahrend hebben geïnspireerd, zodat zij nu of in de toekomst gebruik zullen gaan maken van biobased materialen voor hun producten.

Deel 6: Presentatie

Je rondt je onderzoek af met een korte, beeldende en inspirerende presentatie van ongeveer 8 minuten waarin je motiveert aan de opdrachtgever waarom jij deze keuze hebt gemaakt. Uit alle ingezonden portfolio's en presentaties maken we een selectie. De beste worden gepresenteerd op 16 maart aan de opdrachtgever. Hierbij is iedereen aanwezig.

De opzet van de (poster)presentatie is onderstaand weergegeven. Eerst wordt verteld welke biobased materialen we willen gebruiken voor de stoel. Vervolgens wordt meer over de kleurstoffen verteld. Als laatste worden nog enkele verwerkingstechnieken genoemd. De informatie die wordt verteld staat in de conclusie/discussie met aanvulling vanuit het literatuuronderzoek wat tevens in dit portfolio is weergegeven.



Literatuurlijst

- [1] Centre of expertise biobased economy, „Centre of expertise biobased economy,” Centre of expertise biobased economy, [Online]. Available: www.coebbe.nl. [Geopend 15 februari 2015].
- [2] B. t. kantoorinrichting, „Arbo NEN en normen,” BNR totale kantoorinrichting, [Online]. Available: <http://www.bnrkantoor.nl/arbo-nen-en-npr-normen>. [Geopend 1 februari 2015].
- [3] E. specialist, „Nederlandse Praktijk Richtlijn NPR-1813,” Ergonomie specialist, [Online]. Available: <http://www.ergonomiespecialist.nl/subpages.php?f=racozijnsen&pageid=31353>. [Geopend 1 februari 2015].
- [4] G. Kennisnet, „Biobased materialen,” Groen Kennisnet, [Online]. Available: http://www.groenkennisnet.nl/dossiers/Pages/Biobased_economy.aspx. [Geopend 1 februari 2015].
- [5] Biobased economy, „Papier en karton,” Biobased economy, [Online]. Available: <http://www.biobasedeconomy.nl/bedrijfsleven-biobased/sectoren/papier/>. [Geopend 16 februari 2015].
- [6] Biobased economy, „Materialen,” Biobased economy, [Online]. Available: <http://www.biobasedeconomy.nl/wat-is-biobased-economy/themas/materialen/>. [Geopend 26 februari 2015].
- [7] Milieu centraal, „Composteerbaar plastic,” Milieu centraal, [Online]. Available: <http://www.milieucentraal.nl/afval/verpakkingen/composteerbaar-plastic/?onderwerp=Composteerbaar%20kunststof>. [Geopend 16 februari 2015].
- [8] Futerro, „The PLA,” Futerro, [Online]. Available: http://www.futerro.com/index_pla.html. [Geopend 16 februari 2015].
- [9] C. Bolck en H. Bos, „Polymelkzuur: Eigenschappen en toepassingen,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20PLA%20eigenschappen.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [10] P. Harmsen en M. Patel, „Polymelkzuur: Markt- en milieu-aspecten,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20PLA%20duurzaamheid.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [11] C. Bolck en H. Bos, „Plastics gemaakt door micro-organismen (PHA's): Eigenschappen en applicaties,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20PHAs.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [12] C. Bolck en H. Bos, „Celluloseplastics: Eigenschappen en toepassingen,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20cellulose%20eigenschappen.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [13] C. Bolck en H. Bos, „Zetmeelplastics: Eigenschappen en toepassingen,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20zetmeel%20eigenschappen.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [14] P. Harmsen en M. Patel, „Zetmeelplastics: Markt- en milieu-aspecten,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20zetmeel%20duurzaamheid.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [15] P. Harmsen en M. Patel, „Biobased polyethyleen: Markt- en milieu-aspecten,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Bioplastics%20PE%20duurzaamheid.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [16] M. van den Oever en K. Molenveld, „Biocomposieten 2012,” Harriëtte Bos, Wageningen, 2012.
- [17] M. van den Oever en P. Harmsen, „Spuitsgietbare natuurlijke vezel-plastic composieten,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Spuitsgietbare%20composieten.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [18] Flax-Table, „Duurzame producten,” Flax-Table, [Online]. Available: <http://www.flax-table.nl/over-ons/duurzame-producten/>. [Geopend 16 februari 2015].
- [19] DuurzamerWerken, „Bureaublad uit biocomposiet,” DuurzamerWerken, 14 maart 2012. [Online]. Available: <http://www.duurzamerwerken.nl/news/newsdetail.aspx?newsId=453&catid=2>. [Geopend 15 februari 2015].
- [20] e2e materials, „No Compromise Biocomposites,” e2e materials, [Online]. Available: http://e2ematerials.com/?action=no_compromise_biocomposites. [Geopend 15 februari 2015].
- [21] e2e materials, „Transform,” e2e materials, [Online]. Available: <http://e2ematerials.com/?action=transform>. [Geopend 15 februari 2015].

- [22] J. v. Dam en M. van den Oever, „Catalogus Biobased bouwmaterialen; het groene bouwen,” Propress, Wageningen, 2012.
- [23] M. van den Oever en P. Harmsen, „Natuurlijke vezelversterkte composieten,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/Natuurlijk%20vezelversterkte%20composieten.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [24] Bamboo biodiversity, „Bamboos,” Bamboo biodiversity, [Online]. Available: <http://www.eeob.iastate.edu/research/bamboo/bamboo.html>. [Geopend 16 februari 2015].
- [25] J. van Dam en E. Keijsers, „Kokosvezelplaten als duurzaam bouw materiaal,” [Online]. Available: <http://groenegrondstoffen.nl/downloads/Infosheets/kokosvezelplaat.pdf>. [Geopend 16 februari 2015].
- [26] Biobased economy, „Meubilair maken van bioplastic,” Biobased economy, [Online]. Available: <http://www.biobasedeconomy.nl/2014/02/16/video-meubilair-maken-van-bioplastic/>. [Geopend 16 februari 2015].
- [27] E. I. V. 2. g. techniek, „Ontwerpen (en) beoordelen,” Ergonomie lerarenopleiding VO 2e graad techniek, [Online]. Available: http://145.103.105.199/Ergonomie/ontwerpen_en_beoordelen.html. [Geopend 1 februari 2015].
- [28] „Green et elve,” september 2012. [Online]. Available: <http://www.greenetvert.fr/2014/09/25/leconomie-partagee-une-question-de-pouvoir-dachat-avant-tout/81917>. [Geopend 7 november 2014].

Opmerkingen Margot Verwei

Joke, Jolien: goed werk verricht! Complimenten.

Het geheel ziet er verzorgd uit en is erg compleet.

Er is uitgebreid en gedegen onderzoek gedaan.

Goed dat het jullie gelukt is om NPSP te bezoeken! (druk en niet makkelijk bereikbaar).

Niet helemaal duidelijk wat jullie onder een natuurvezelcomposiet verstaan.

Bijlagen

In de bijlagen staan aanvullende gegevens voor bioharsen en hout. Tevens zijn de vragen aan Ahrend met antwoorden vermeld.

Bijlage I Informatie over bioharsen

In onderstaande tabel 7 wordt weergegeven welke bioharsen door bedrijven worden geproduceerd, hoe groot het percentage biobased is, de toepassingsgebieden en de commerciële beschikbaarheid. In tabel 8 staan indicaties van de prijzen van enkele bioharsen gegeven. In tabel 9 worden verwerkingskenmerken van bioharsen weergegeven. In tabel 10 zijn enkele mechanische eigenschappen van bioharsen weergegeven. [16].

Tabel 7. Producenten van bioharsen, percentage biobased, toepassingsgebied en commerciële beschikbaarheid.

Producent	Biohars	% bio-based	Geschikt voor	Beschikbaarheid
Amroy	Epoblox	70	Infusion, Open mal, Pre-preg	Onlangs gestaakt
AOC Resins	EkoTek	24-38	Gieten, Pultrusie, Open mal, RTM, SMC/BMC	In VS, nog niet in EU
Ashland	Envirez	8-22	Gieten, Infusion, Pultrusie, Open mal, SMC/BMC	Verzoek niet beantwoord
B.A.M.	PTP	70	Pultrusie, RTM, SMC	Commercieel
BioResin (Br)	BioResin	50-70	Autodaaf, Open mal, RTM, Spray up	Commercieel in 2012
Bioresin (D)	Biothan	<50	Gieten	Verzoek niet beantwoord
Cambridge Biopolymers	Bioresin		Gieten, Prepreg	Op verzoek
Cognis	Tribest	70	Spray coaten + persen	Op verzoek
Cray Valley	EnviroGuard	20-50	'Alle processen'	Commercieel
Dracosa	Dracowol		Niet gespecificeerd	Commercieel
Dragonkraft	Exo-Poxy	65-95	RTM	Verzoek niet beantwoord
DSM Composite Resins	Palapreg Eco	55	SMC	Commercieel
DynaChem	FurAlloy	35-70	Gieten	Verzoek niet beantwoord
Entropy Resin	Super SAP	30-50	Gieten, Infusion, Open mal	Commercieel
JVS-Polymers	Lait-X	60-78	Open mal, RTM, SMC, Spraying	Zoekt partner voor opschaling
Reichhold	EnviroLite	25	Pultrusie, SMC/BMC	Commercieel
SicomIn	Greenpoxy	55	Filament winding, Gieten, Open mal, RTM	Commercieel
TransFurans Chemicals	BioRez	70-100	Open mal, Prepreg, SMC, Spray coaten + persen	Commercieel

Tabel 8. Indicatie van prijzen van enkele bioharsen.

	Prijs (€/kg)	Referentie
BloRez	3-6	FBR, 2007
Greenpoxy 55	20	Sicomln, 2011
Lalt-X	3-5	FBR, 2007
Biothan 2MD 1795	15-20	FBR, 2007
EnviroGuard	2.8	CCP Composites, 2011
Super SAP	6	Composite Source, 2011

Tabel 9. Verwerkingskenmerken van bioharsen.

	Viscositeit (mPa.s)	Uithardingstemp. (°C)	Piek exotherm (°C)	Geltijd (min)
BioResin	450-750			30-40
Bioresin (Cambr)	300	20-200		
BloRez	200-10.000	150-180		
Biothan	700-hoog	20-100		5-100
Eco-Poxy	Geen data beschikbaar			
Greenpoxy 55	1.300-2.700		>215	25-70
EnviroGuard	170-1800	25-130	85-275	1-22
Epoblox	300	80	80	60
Dracowol EP 10/1	300-500	20-100	160-180	1-360
EcoTek	130-950		145-243	5-50
Envirez	150-5.500		135-193	4-60
EnviroLite	650-1250		170-230	4-10
Lalt-X	hoog	100-170		
Palapreg Eco P55-01	550-850		240-280	2.5-3
PTP	450	100-190		
Super SAP	500-7000	25-80		22-360
Tribest S351 EXP	1.250-3.000	130-150		

Tabel 10. Mechanische eigenschappen van bioharsen.

	Treksterkte (MPa)	Bulgsterkte (MPa)	Bulgmodulus (GPa)
BioResin (Br)	Geen betrouwbare data		
Bioresin (Cambridge)	Geen data beschikbaar		
BioRez	Geen data beschikbaar		
Eco-Poxy	Geen data beschikbaar		
Greenpoxy 55	52	73	2.0
EnviroGuard	50-70	70-120	3.2-4.5
Epoblox			2.5
Dracowol EP 10/1	Geen data beschikbaar		
EcoTek	44-70	81-128	3.4-4.3
Envirez	73	119	3.3
EnviroLite	47	90	4.6
Lait-X	Geen data beschikbaar		
Palapreg Eco P55-01	65	113	3.2
PTP		80-90	2-2.2
Super SAP	43-70	52-110	1.7-3.8
Biothan 2MD 1795	Geen data beschikbaar		

Bijlage II Informatie over hout

In deze bijlage worden de meest toegepaste houtsoorten in de bouw in Nederland en de meest gangbare tropische hardhoutsoorten vermeld [22].

Tabel 2. Meest toegepaste houtsoorten in de bouw in Nederland (Houtinfo, 2012).

Houtsoort	Wetenschappelijke naam	Duurzaamheids-klasse NEN	Dichtheid kg/m ³	Toepassingen
Fijnspar (vuren)	<i>Picea abies</i>	4	460	kozijnen, pulen, ramen, deuren, trappen vloeren, kasten, bekisting lijstwerk, triplex, spaanplaat
Grove den (grenen)	<i>Pinus sylvestris</i>	3/4	510	kozijnen, ramen, deuren, vloeren, binnen- en buiten betimmering, balkhout, triplex, houtwol, hekpalen
Lariks	<i>Larix sp</i>	3	590	dragende constructies, kozijnen, ramen, gevelbekleding, binnen betimmering, trappen, stutten, daksporen, afrastering
Western red cedar	<i>Thuja plicata</i>	2	350	Buitentoeepassingen, palen, plankieren, shingles
Douglas	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	3/4	530	Timmerhout, balken, planken, hekpalen, multiplex
Berk	<i>Betula sp</i>	5	670	Fineer, multiplex
Beuk	<i>Fagus sylvatica</i>	5	680-720	Voor binnen toepassingen, meubels, dorpels, trappen, parket, gereedschap
Eik	<i>Quercus robur</i>	2	650-750	Constructiehout, houtskelet frames, balken, parket, fineer
Kastanje (tamme)	<i>Castanea sativa</i>	2	590	hekwerk
Iep	<i>Ulmus sp</i>	4	550-600	Meubels,
Wilg	<i>Salix sp</i>	5	420	Vlechtwerk en afscheidingen, fineer
Populier	<i>Populus sp</i>	5	350-450	Pallets, multiplex, papierpulp
Robinia	<i>Robinia pseudoacacia</i>	1/2	750-950	Meubels, vloeren, wanden, hekwerk
Noten	<i>Juglans regia</i>	3	570-660	Meubels, vloeren, fineer
Eucalyptus	<i>Eucalyptus sp</i>	1/2	620	constructie, trappen, hekken, leuningen, parket, tuinhout, plaatmateriaal (multiplex, houtvezelplaat)
Esdoorn	<i>Acer sp</i>	5	755	Timmerhout, meubels, houtsnijwerk, gereedschap
Es	<i>Fraxinus sp</i>	5	540-710	Meubels, fineer, schrijnwerk

Tabel 3. Overzicht van meest gangbare tropische hardhoutsoorten (Houtinfo, 2012).

Houtsoort handelsnaam	Wetenschappelijke naam	Duurzaamheidsklasse NEN	Dichtheid kg/m ³	Toepassingen (Herkomst)
Acapou	<i>Vouacapoua americana</i>			(Midden & Zuid Amerika)
Angelim de campina (Macucu de pau)	<i>Aldina heterophylla</i>	1	880	Buitentoepassing, vloanders en vloeren, zware meubels (Brazilië)
Angelim vermelho (Gurupa)	<i>Dinizia excelsa</i>	1	1070	Buitentoepassing, vloanders en vloeren, trappen (Brazilië)
Azobé (Bonikole)	<i>Lophira alata</i>	1/2		Buitentoepassing, vloanders en vloeren, trappen, constructief en zware meubels (West Afrika)
Bangkiral (Meranti) #	<i>Shorea spec. div.</i>	1/2	500-600	Sterk constructief timmerhout voor buiten toepassingen en tuinmeubelen. (Zuidoost Azië)
Billinga	<i>Nauclea diderrichii</i>	1		Buitentoepassing, hekwerk, beschoeiling (W. Afrika)
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	1	910-1060	Vloeren, parket, (N. Zuid Amerika)
Ebber (Ebony) #	<i>Diospyros sp</i>		960-1120	Houtbewerking, snijwerk, meubels, muziekinstrumenten (India, Sri Lanka, West Afrika)
Favinha, Timbauba	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	1		Meubels, boten, vloerdelen, constructie hout, fineer (Brazilië)
Guariuba, Muruné	<i>Clarisia racemosa</i>	1	1160	Tuinmeubels, dekvloeren (Brazilië)
Ipe	<i>Tabebuia sp</i>	1	850-970	meubels, vloerdelen (M en Z Amerika)
Itauba	<i>Mezilaurus sp</i>	1	960	Boten, vloeren (M Amerika tot ZO Brazilië),
Iroko	<i>Milicia excelsa</i>	1/2	655	(Afrikaans teak, bedreigde soort)
Jarrah	<i>Eucalyptus marginata</i>	1	860	Buitentoepassingen, vloeren, constructiehout, fineer (West Australië)
Jatoba	<i>Hymenaea courbaril</i>	1	710-820	Meubels, vloeren, parket decoratie, snijwerk, gereedschap (Caribben, Midden & Zuid Amerika)

Staan op IUCN rode lijst

Tabel 3 (vervolg). Overzicht van meest gangbare tropische hardhoutsoorten (Houtinfo, 2012).

Houtsoort handelsnaam	Wetenschappelijke naam	Duurzaamheids-klasse NEN	Dichtheid kg/m³	Toepassingen (Herkomst)
Karri	<i>Eucalyptus diversicolor</i>	2	900	Vloeren en af timmerwerk (Australië)
Louro gamela	<i>Ocotea rubra</i>	2	640-720	Meubels, dekvloer en parket (Brazilië, Suriname, Guyana)
Louro preto (Imbuva)	<i>Ocotea spec. div.</i>	1	650	(Zuid Brazilië)
Mahonie (Sipo) #	<i>Entandrophragma utile</i>	2/3	650	Meubels, fineer (Afrika)
Massaranduba	<i>Marilkara hubert</i> <i>M. bidentata</i>	1/2	870-1050	Meubels en vloeren (Midden Amerika)
Merbau	<i>Intsia bijuga</i>	2	1050	Vloeren, deuren, kozijnen (Zuid Azië, Pacific)
Padoek (Narra, Amboyna)	<i>Pterocarpus soyawii</i> <i>Pterocarpus Indica</i>	2/3	740	Fineer, vloeren, meubels, draaiwerk (Centraal-West Afrika)
Piquia	<i>Caryocar villosum</i>	2	780	Kozijnen en constructiehout (Brazilië)
Purperhart	<i>Peltogyne spec. div.</i>	2/3	860	Meubels, fineer, parket (Midden & Zuid Amerika)
Sucupira amarelo Mandioqueira	<i>Ferrelvea spectabilis</i> <i>Bowdichia nitida</i> <i>Qualea parsonsii</i> <i>Rulzerania sp</i>	2/3	980 1010 720	Meubels, fineer, vloeren, balkhout, shingles, constructiehout (Brazilië)
Sucupira vermelho	<i>Andira parviflora</i>	2	630-710	Constructiehout, deuren, kozijnen, trappen en gevelbekleding, meubels, fineer (M & Z Amerika)
Teak	<i>Tectona grandis</i>	1	630-720	Meubels, vloeren, timmerhout (Zuidoost Azië, Afrika, Caribben)
Vitex	<i>Vitex cofassus</i>	1/2	700-800	Vloeren, constructiehout (Zuidoost Azië, Papua N Guinea)
Wengé #	<i>Millettia laurentii</i>	2	750	Vloeren, parket, hekwerk, draaiwerk, instrumenten (West-Centraal Afrika)

Staan op IUCN rode lijst

Bijlage III Vragen aan Ahrend met antwoorden

In deze bijlage zijn de vragen weergegeven welke aan Ahrend zijn gesteld, met vervolgens de antwoorden van Ahrend.

1) De rubberen dopjes die onderaan de stoelpoten worden gebruikt, worden die gemaakt in mallen en hoe worden die verbonden aan de poten?

Persen, of er in slaan met kunststof hamer. Die dopjes zitten vast op de klem.

2) De kussens die jullie gebruiken voor de bureaustoelen, uit welk materiaal bestaat dat uit/welke chemicaliën? is het biobased?

Neen, niet biobased. Polyurethaan vormschuim. (twee componenten zie <http://nl.wikipedia.org/wiki/Polyurethaan>) Met dit vormschuim kunnen we ronde vormen maken. En zogenaamd blokschuim polyether. Meer dunne plakjes.

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Polyetherschuim>

3) De mallen die gebruikt worden voor het zitvlak en de rugleuning van de Revoltstoel. Bij welke temperatuur en druk worden deze geperst?

Afhankelijk van de type kunststof en wanddikte en totale massa die gespuitspuit wordt.

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Spuitgieten>

Voor de beeldvorming, hoe gaat spuitgieten in z'n werk: de mal wordt gesloten met kracht die in tonnen wordt uitgedrukt; de kunststof wordt dun vloeibaar gemaakt door te smelten (ongeveer 260°C), dan met grote druk in de mal gespoten en dan wachten tot het afkoelt. (Afkoelen is de helft van de cyclustijd). Als de wanddikte groter wordt duurt het afkoelen langer is de cyclustijd langer is de productprijs duurder. Slim construeren kan veel geld besparen. Na afkoeling, uitstoten – kunststof krimpt, dus duwen uitstoters, het harde kunststof product van de binnenmal af. En klaar is het product. Eventueel de deelsnaad afwerken.

<http://www.kraussmaffei.com/en/mx-series.html>