

RECURF, hergebruik van textiel in biocomposieten

van materiaal tot toepassing

Author(s)

Oskam, I.F.; de Jong, M.A.; Lepelaar, M.; Nackenhorst, K.; Boerema, M.J.; ten Kate, R.; Blauwhoff, D.; Agrawal, P.

Publication date

2017

Document Version

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Oskam, I. F., de Jong, M. A., Lepelaar, M., Nackenhorst, K., Boerema, M. J., ten Kate, R., Blauwhoff, D., & Agrawal, P. (2017). *RECURF, hergebruik van textiel in biocomposieten: van materiaal tot toepassing*. (1 ed.) (Publicatiereeks HvA Kenniscentrum Techniek; No. 11).

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please contact the library: <https://www.amsterdamuas.com/library/contact>, or send a letter to: University Library (Library of the University of Amsterdam and Amsterdam University of Applied Sciences), Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.



Hogeschool van Amsterdam

ONDERZOEKSPROGRAMMA URBAN TECHNOLOGY

RECURF

HERGEBRUIK VAN TEXTIEL IN BIOCOMPOSITETEN

Van materiaal tot toepassing

Inge Oskam
Matthijs de Jong
Mark Lepelaar
Kim Nackenhorst
Martin Boerema
Rogier ten Kate
Davine Blauwhoff
Pramod Agrawal

RECURF

HERGEBRUIK VAN TEXTIEL IN BIOCOMPOSITEN

Van materiaal tot toepassing

In deze reeks verschenen eerder:



01 Vertical farming



02 Duurzaam bewaren



03 Extreme neerslag



04 Beter beheer met BIM



05 Het stedenbouwkundig bureau van de toekomst



06 (Terug)schakelen naar ketendenken



07 Maintaining your competitive edge



08 Biobased plastics



09 Greening the cloud



10 De klimaatbestendige wijk

Publicatiereeks HvA Faculteit Techniek

In deze publicatiereeks bundelt de Faculteit Techniek van de Hogeschool van Amsterdam de resultaten van praktijkgericht onderzoek. De publicatie is gericht op professionals en ontsluit kennis en expertise die via praktijkgericht onderzoek van de HvA in de metropoolregio Amsterdam wordt verkregen. Deze publicatie geeft de lezer handvatten om tot verbetering en innovatie in de technische beroepspraktijk te komen.

Faculteit Techniek

Faculteit Techniek van de Hogeschool van Amsterdam is de grootste technische hbo van Nederland. De faculteit bestaat uit acht technische opleidingen met gevarieerde leerroutes en afstudeerrichtingen. Het palet aan opleidingen is zeer divers, van Engineering tot Logistiek, van Civiele Techniek tot Forensisch Onderzoek en van Maritiem Officier tot Aviation.

Onderzoek bij Faculteit Techniek

Onderzoek heeft een centrale plek bij Faculteit Techniek. Dit onderzoek is geworteld in de beroepspraktijk en draagt bij aan de continue verbetering van de kwaliteit van het onderwijs en aan praktijkinnovaties. Het praktijkgericht onderzoek van de HvA heeft drie functies:

- Ontwikkeling van kennis
- Innovatie van de beroepspraktijk
- Vernieuwing van het onderwijs

Faculteit Techniek kent 3 onderzoeksprogramma's die alle nauw gekoppeld zijn aan de opleidingen. Deze programma's zijn:

1. Aviation
2. Forensisch Onderzoek
3. Urban Technology

Het HvA-Kenniscentrum Techniek is dé plek waar de resultaten van het praktijkgericht onderzoek worden gebundeld en uitgewisseld.

Redactie

De publicatiereeks is uitgegeven door Faculteit Techniek van de HvA. De redactieraad bestaat uit lectoren van deze faculteit. Iedere publicatie kent een team eigen auteurs bestaand uit HvA medewerkers, soms aangevuld met vertegenwoordigers van bedrijven en andere kennisinstellingen.

COLOFON

Uitgave:

Onderzoeksprogramma Urban Technology
Faculteit Techniek, Hogeschool van Amsterdam

Auteurs:

Inge Oskam (HvA)
Matthijs de Jong (HvA)
Mark Lepelaar (HvA)
Kim Nackenhorst (HvA)
Martin Boerema (HvA)
Rogier ten Kate (HvA)
Davine Blauwhoff (TU Delft)
Pramod Agrawal (Saxion)

Foto's:

Hogeschool van Amsterdam

Redactie:

Els de Roon Hertoge, Fonar

Financiering:

Dit onderzoek is mede gefinancierd door Regieorgaan SIA,
onderdeel van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

Contact:

Mark Lepelaar
m.lepelaar@hva.nl
Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek
Postbus 1025, 1000 BA Amsterdam
www.hva.nl/recurf

Meer informatie:

Deze publicatie is ook online beschikbaar op:
www.hva.nl/recurf
ISBN: 978-94-92644-04-6

Disclaimer: Kenniscentrum Techniek, Hogeschool van Amsterdam, oktober 2017



SUMMARY

RECURF: Reuse of textiles in bio composites – from material to application

While the amount of waste continues to grow, raw materials become scarcer and more expensive. The circular economy offers solutions to cope with these growing problems. Within the developing circular economy, biobased materials are on the rise and close attention is paid to reuse and recycling. New business models based on waste reuse and value creation are being developed. Research is conducted in biobased plastics, textile waste streams and bio composites, however the combination thereof has not been researched yet.

Several companies within the Amsterdam metropolitan region generate textile waste streams. These streams are not yet reused in an optimal circular way. In our project we processed burlap bags from Starbucks (coffee company), woolen scrap cuttings from Ahrend, (specialist in realization of interior projects) and denim from Sympany (textile collector). At the start of the project, these three residual textile streams are either incinerated or processed into filling or insulation materials.

Within the RECURF project various organizations cooperate. The Amsterdam University of Applied Sciences (AUAS), in cooperation with several partners, has conducted research in residual textiles. The research tried to clarify how residual textiles could be upcycled into useful circular products. The textiles were combined with biobased plastics into new materials. Given its availability and biodegradability, the bioplastic PLA was used in all three cases. These new materials were used to develop products with unique characteristics and application possibilities.

During the course of the project, a great number of possible material combinations was identified. The new materials varied in technical and mechanical characteristics and showed a wide range of different perceptive values. Based on the most favorable material combinations some prototypes were developed and tested.

Research was conducted into:

- the mechanical and experiential qualities of the new materials and their combinations;
- the appropriate processing techniques and design strategies for application;
- the circular nature of the designs, including environmental impact and end-of-life scenarios;
- circular business models with an interesting value proposition and revenue model.

The research brought forward the following findings:

- Creating new materials by combining textile waste and biobased plastics offers a great range of different appearances, forms and formats.
- Combining biobased plastic with fibers enhances the performance: tensile strength and rigidity increase.
- Physical properties like sound-damping and vibration-damping look promising.
- The new material combinations show, next to varying mechanical characteristics, a new and unique 'look & feel' and perceptive values: from smooth to rough, from glossy to dull, from flexible to rigid.
- In general the environmental impact of the newly developed products is better compared to products made of existing materials.
- Business models look promising. The fact that the supplier of the textile waste stream might act as launching customer is beneficial in this respect.

It is from this understanding that the research partners concluded that further research on the entire value chain of sheet based RECURF products for interior use is recommended. Next to a further exploration into the possible products, this further research should include optimization of circularity and commercial feasibility. The promising result on the use of flexible digital production techniques in order to customize products, shapes and appearances should be elaborated and further explored.

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding 09

 1.1 Aanleiding 09

 1.2 Deelnemers 12

 1.3 Doelstelling en Onderzoeksaanpak 14

2 Materiaalontwikkeling 19

 2.1 Mogelijke combinaties van resttextiel en biobased plastics 19

 2.2 Kansrijke biocomposieten en hun verwerking 24

 2.3 Materiaaleigenschappen 28

 2.4 Conclusies en aanbevelingen 32

3 Ontwerpen met biocomposieten 35

 3.1 Circulaire ontwerpstrategieën 35

 3.2 Ontwerpen vanuit het materiaal 38

 3.3 Onderzoek belevingswaarde 41

 3.4 Casestudies 41

 3.5 Conclusies en aanbevelingen 46

4 Einde Levensduur Scenario's en milieu-impact 51

 4.1 Inventarisatie 51

 4.2 Vergelijking van drie scenario's voor biocomposieten 52

 4.3 Impactanalyse m.b.v. een LCA quick scan 55

 4.4 Case studies 57

 4.5 Conclusies en aanbevelingen 62

5 Toevoegde waarde en businessmodellen 67

 5.1 Circulaire businessmodelstrategieën 67

 5.2 Circulaire businessmodellen met textielstromen 68

 5.3 Leverancier als 'launching customer' 69

 5.4 Case studies 71

 5.5 Conclusies en aanbevelingen 78

6 Conclusies en vervolg 81

 6.1 Materiaal en toepassingsmogelijkheden 81

 6.2 Milieu-impact en businesskansen 83

 6.3 Toepassing in de praktijk en aanbevelingen per case 87

 6.4 Vervolgonderzoek 88

Bijlagen 92

 A Literatuurlijst 92

 B Betrokken organisaties en personen 94

 C Onderzoek belevingswaarde 96

 D LCA quickscan met Modint EcoTool voor drie cases 100

 E Canvas 'Value mapping in the supply chain voor geluiddempend wandpaneel' 108



1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de reden waarom we het RECURF project hebben gestart, wat we hebben willen bereiken en hoe we het hebben ingevuld. Daarbij wordt kennis gemaakt met alle deelnemende partijen (waarvan een overzicht is gegeven in bijlage B) en wordt uitgelegd dat we de resultaten van het onderzoek hebben toegepast in drie verschillende cases.

1.1 Aanleiding

Circulaire economie

In de samenleving is veel aandacht voor de circulaire economie, een economie waarin kringlopen worden gesloten door materialen en grondstoffen aan het eind van de gebruiksduur opnieuw in te zetten in producten en systemen. Biobased grondstoffen, recycling, upcycling en de ontwikkeling van nieuwe businessmodellen rond afvalhergebruik en waardecreatie staan hierbij sterk in de belangstelling.

De Nederlandse overheid beoogt in 2050 volledig circulair (afvalloos) te zijn (I&M, 2016). Hiertoe is in 2016 het rijksbrede programma Circulaire Economie opgestart. Op 24 januari 2017 heeft de Rijksoverheid het Grondstoffenakkoord gesloten met 180 partijen uit het bedrijfsleven en de maatschappelijke sector (I&M, 2017), waaronder regieorgaan SIA.

Ook voor de regio Amsterdam is de circulaire economie een belangrijk thema. Het rapport Amsterdam Circulair (Gemeente Amsterdam, 2015) maakt de circulaire kansen kwantitatief inzichtelijk: in de bouw een waardecreatie van 85 mln. en 700 arbeidsplaatsen, in de organische reststroomketen een waardecreatie van 150 mln. en 1200 arbeidsplaatsen.

Circulair textiel in Nederland

Een van de materiaalstromen waar de algemene aandacht naar uitgaat, is textiel. In Nederland zijn

verschillende kennisinstellingen, organisaties en bedrijven betrokken bij het inzamelen, hergebruiken en recyclen van textiel. Zo is er een Green Deal textiel-inzameling met als ambitie om 50% van het resttextiel uit het Nederlandse restafval apart in te zamelen voor verwaarding als tweedehands of als gerecyclede vezels. De inwoners van Amsterdam bijvoorbeeld produceren gemiddeld 17 kg textielafval per persoon per jaar, waarvan op dit moment slechts 16% apart wordt ingezameld (Gemeente Amsterdam, 2015). De rest eindigt bij het restafval en wordt verbrand.

Van het ingezamelde textiel is slechts een deel geschikt voor hergebruik of hoogwaardige recycling.

Waarde wordt gecreëerd door zogenaamde kleding-kleding recycling (verkoop tweedehands kleding), materiaal terugwinning (voornamelijk bij synthetisch textiel) en recycling tot producten met een relatief lage waarde zoals poetsdoeken of isolatiemateriaal (Bottenberg, Goselink, & Bouwhuis, 2013).

Hergebruik in biocomposieten

De hoeveelheid ingezamelde textiele reststromen groeit, mede door inzamelingsambities van lokale en regionale overheden. Meer dan 35% van deze textiele reststromen zijn niet geschikt voor hergebruik of recycling tot vezel en/of nieuw textiel (Custers, Hopstaken & Van der Maesen, 2014). Deze zogenaamde 'onderstroom' wordt wel hergebruikt in

laagwaardige toepassingen zoals isolatie, maar desondanks blijft er nog een groot deel van deze onderstroom over waar nog geen toepassing voor is gevonden. Uit oogpunt van waardecreatie wordt er gekeken naar hoogwaardiger toepassingen voor deze vezels, zoals het gebruik in biocomposieten.

Uit eerder onderzoek van de Hogeschool van Amsterdam (Oskam, 2014; Oskam, Lepelaar, De Jong & Ten Kate, 2015) komt naar voren dat er specifieke kansen liggen in het verwerken van textiele reststromen in combinatie met biobased plastics tot nieuwe biocomposietproducten. Voor de biobased waardeketen levert dit nieuwe materiaalcombinaties op met bijzondere mogelijkheden en daarmee nieuwe afzetmarkten.

Gebruik van vezels uit reststromen biedt mogelijkheden om biobased plastics goedkoper te maken, maar vooral ook om nieuwe materiaalcombinaties met unieke eigenschappen te creëren.

Biobased plastics zien er anders uit en voelen anders dan gewone plastics. Deze esthetische en tactiele eigenschappen worden ook wel aangeduid met het begrip 'look & feel'. Juist deze verschillen met gewoon plastic dragen bij tot de waardering voor de natuurlijke oorsprong en de kwaliteit van biobased producten (Karana, 2012; Van der Wal, 2015). Daarbij liggen er kansen om circulaire producten te creëren met een hoogwaardige inzet van de reststroom en met gebruik van circulaire businessmodellen.



Afbeelding 1.1 Textielinzameling in Amsterdam (beeld HvA.)

Onderzoeksprogramma Urban Technology

Het RAAK-mkb-project RECURF – Re-using Circular Urban Fibres and Biobased Plastics in Urban Products– maakt deel uit van het onderzoeksprogramma Urban Technology. Urban Technology is één van de speerpunten van de Hogeschool van Amsterdam en een onderzoeksprogramma waarin de faculteit Techniek samenwerkt met de faculteiten Economie & Management en Digitale Media & Creatieve Industrie. Binnen Urban Technology werkt een mix van lectoren, hoofddocenten, onderzoekers, docent-onderzoekers, promovendi, alumni en studenten aan concrete projecten met nieuwe technologieën.

De projecten moeten bijdragen aan een duurzame (sustainable), leefbare (liveable) en verbonden (connected) metropool en moeten ook daadwerkelijk realiseerbaar zijn in de 'proeftuin' Metropool Regio Amsterdam (MRA).

Eén van de vier onderzoeksthema's van Urban Technology is de Circulaire Stad. In dit thema draagt de HvA met een gebiedsgerichte aanpak en kennis van circulair (her)ontwerp, prototyping en circulaire business modellen bij aan de transitie van Amsterdam naar een circulaire stad met een focus op hoogwaardig hergebruik van materialen en producten, lokale productie, afval- en retourlogistiek en circulaire bouw.

1.2 Deelnemers

Aan het RECURF-onderzoek hebben verschillende partijen deelgenomen: mkb-bedrijven, branche-vertegenwoordigers uit twee sectoren en grotere ondernemingen met textiele reststromen (zie bijlage B).

Cross-sectorale samenwerking binnen het mkb
Het onderzoek brengt twee sectoren bij elkaar: de kunststofverwerkende industrie en de vezelverwerkende industrie, vertegenwoordigd door respectievelijk NRK (Federatie Nederlandse Rubber- en Kunststof-industrie) en Modint (ondernemersorganisatie voor de mode-, interieur-, tapijt- en textielbranche). Bij het onderzoek zijn verschillende groepen mkb-ondernemingen betrokken die voorop willen lopen in de

verwerking van biobased kunststoffen en vezelmaterialen tot nieuwe producten:

- producenten en toeleveranciers van grondstoffen voor biobased plastics: Natural Plastics, Rodenburg Biopolymers, Synbra;
- producenten van halffabrikaten met betrekking tot vezelverwerking en biobased plastics: Frankenhuis, Havivank, Transmare, Ekon;
- verwerkers in de biobasedplastics-waardeketen: Greijn, NPSP, HB|3D, Omefa;
- potentiële toepassers van nieuwe materiaalcombinaties in relevante producten met markttoegang: Biofutura, Fiction Factory, Planq.

Vragen uit de praktijk

Biobasedplastics-producent: '(Dure) bioplastics mengen met (goedkopere) reststromen is een interessante richting om een nieuwe markt te creëren. Het sluit aan bij de trend van circular design. Er kan tot 30 à 40% worden bijgemengd. Welke zinvolle combinaties zijn er, wat voor nieuwe eigenschappen (datasheets) levert dit op en wat is de kostprijs? Zijn er geïnteresseerde partijen om het materiaal af te nemen?'

Textielvezelverwerker: 'Kunnen wij met onze vezels in de composietenbranche hoogwaardiger producten realiseren? Hoeveel vezels zijn er beschikbaar, hoeveel kunnen er verwerkt worden in bioplastics? Is het aanbod niet veel groter dan de vraag? En wat voeg je dan toe aan waarde?'

Kunststofverwerker: 'Wat zijn milieu-effecten en end-of-life-scenario's indien je vezelvormige reststromen door kunststoffen (al dan niet biobased) mengt? Heeft toepassen van biobased plastics een meerwaarde boven gebruik van synthetische plastics?'

Potentiële toepassers: 'Voldoen de materialen en producten aan de eisen van onze klant en zien ze er aantrekkelijk uit? Zijn het circulaire businessmodel en de producten interessant en uniek genoeg om afnemers te binden aan de leverende bedrijven?'

De deelnemers gaven bij aanvang aan behoefte te hebben aan kennis over de mogelijkheden van nieuwe circulaire materiaalcombinaties. De belangstelling ging niet alleen uit naar klassieke hogesterktecomposieten van lange vezels en een biobased kunststof matrix, maar juist ook naar de mogelijkheden van korte vezels, verwerkingstechnieken als spuitgieten en het gebruik van textielvezels als zichtbaar object gevangen in kunststof.

Het is een grote uitdaging om te komen tot nieuwe materialen met meerwaarde en tot aansprekende producten die hiervan gemaakt kunnen worden. Dat geldt op zowel het technische vlak (het vinden van goed verwerkbare combinaties van vezels en kunststoffen), het economische vlak (het opstellen van interessante businesscases) als het ecologische vlak (het inventariseren van circulair milieuvoordeel bij gebruik van samengestelde materialen, ten opzichte van gescheiden recycling van vezels en kunststoffen). Deze uitdagingen konden worden opgepakt dankzij de combinatie van enerzijds de waardevolle kennis van bedrijven op het vlak van materialen en verwerkingstechnieken en anderzijds de expertise van de Hogeschool van Amsterdam en Saxion Hogescholen op het gebied van circulair ontwerpen, ontwikkelen van businessmodellen en beoordelen van milieu-impact.

Leveranciers van textiele reststromen
Uniek in dit onderzoek is dat leveranciers van de textiele reststromen nauw betrokken waren bij het onderzoek. De mogelijkheid is onderzocht om met afgedankt textiel van deze bedrijven innovatieve circulaire producten te maken die de bedrijven zelf weer kunnen gebruiken. Voor de leveranciers van afvalstromen bieden de nieuwe materialen de mogelijkheid om textiele/natuurvezel reststromen die nu als afval worden gezien, te verwerken tot aansprekende producten. Omdat bij deze recycle methode het product meer waard is dan het te recyclen materiaal, is hier sprake van upcycling. Dit draagt bij aan de duurzaamheidsstrategie van deze leveranciers, maar levert ook een kostenvoordeel op.

Bij dit onderzoek waren drie bedrijven met textiele reststromen betrokken, actief of gevestigd in de Metropoolregio Amsterdam:

- *Sympany* is inzamelaar van gebruikt textiel, waaronder kleding, en geeft dit een tweede leven. Meer dan 35% van deze textiele reststromen kan echter niet hoogwaardig worden hergebruikt of gerecycled. Sympany zoekt daarom naar mogelijkheden voor grootschalige toepassing van deze zogenaamde 'onderstroom'.
- *Ahrend* is producent van kantoormeubilair, waaronder kantoorstoelen. Bij de stoffering van het meubilair ontstaat snijafval. Ahrend is geïnteresseerd in de mogelijkheden om met dit textiele snijafval nieuwe materialen en producten te maken.
- *Starbucks* is producent van koffie. De ruwe koffiebonen worden door een wereldwijd arsenaal van toeleveranciers in juten zakken naar de koffiebranderij in de Amsterdamse haven getransporteerd. Voor de winkelontwerpen maakt Starbucks zoveel mogelijk gebruik van lokaal gevonden materialen en hergebruikte en gerecycleerde elementen. De ontwerpers op het kantoor in Amsterdam bestrijken de regio EMEA (Europa, Midden Oosten en Azië) waarin zich circa 2800 filialen bevinden.

Deze bedrijven zijn dus aanbieders van textiele reststromen en zijn tevens potentieel afnemer (*launching customer*) van de ontworpen producten. Hiermee zijn zij een cruciale schakel in het project om tot een circulair product en businessmodel te komen. In het project brachten zij, naast expertise over samenstelling en eigenschappen van de textiele reststromen, ook kennis in over in- en exterieurtoepassingen die voor hen en hun branche relevant zijn.



Afbeelding 1.2 Textielsortering bij Sympany.

Deze drie bedrijven vertegenwoordigen ieder een ander type bron van de textiele reststroom. De continuïteit van deze bronnen en de invloed van de bedrijven daarop vertonen grote verschillen. Daarnaast lopen de toepassingsmogelijkheden sterk uiteen (zie tabel 1.3).

1.3 Doelstelling en onderzoeksaanpak

De centrale onderzoeksvraag in het RECURF-project naar aanleiding van de vragen uit de bedrijven luidt: 'hoe kunnen textiele reststromen en biobased plastics gecombineerd worden toegepast in circulaire producten zodat ze elkaar versterken?

State-of-the-art en doelstelling
Er is weliswaar veel bekend over biocomposieten, biobased plastics en verwerking van reststromen van textiele vezels, maar niet over de combinatie ervan.

Bij het maken van biocomposietproducten wordt gebruikt gemaakt van natuurlijke 'virgin' vezels en/of biobased kunststoffen. Er is al veel onderzoek gedaan naar mogelijkheden en knelpunten. Er zijn nog optimalisaties mogelijk, maar de marktkansen van biocomposieten, waarbij vezels worden ingezet als versterking, zijn goed (Faruka, Bledzkia, Fink & Saind, 2012). Belangrijk voor de marktkansen zijn de milieu-

Tabel 1.3 Oorsprong textiele reststromen en hun toepassingsmogelijkheden binnen RECURF.

Naam bedrijf	Sympany	Ahrend	Starbucks
Type bedrijf	Inzamelaar textielresten	Producent kantoor-meubilair	Producent koffie
Reststroom	Textiel (veelal kleding) dat niet herdraagbaar of recyclebaar is	Wollen meubelstoffering	Juten zakken (met stiksels en bedrukking)
Bron reststroom	Inzamelcontainers	Snijafval uit eigen productie kantoormeubilair	Verpakkingsmateriaal koffieleveranciers
Mate van invloed op samenstelling / kwaliteit / vervuiling	Zeer laag, alleen door sorteren	Relatief groot	Beperkt wegens diversiteit aan koffieleveranciers
Toepassingsmogelijkheden	In halffabricaten en producten die anderen op de markt kunnen brengen	In producten die zij zelf op de markt kunnen brengen	In producten die zij zelf kunnen gebruiken

voordelen, het lage soortelijk gewicht en de esthetische eigenschappen. Dit geldt voor zowel thermoplastische als thermohardende matrices (Böttger, Lepelaar & Bouvy, 2009; Van Beurden & Goselink, 2013; Van Rooijen, 2012). Tot nu toe werd vooral naar technische zaken en kostenaspecten gekeken, terwijl esthetische, tactiele en commerciële aspecten onderbelicht bleven.

Op dit moment worden biocomposieten met natuurvezels vooral grootschalig ingezet als laagwaardige technische non-woven toepassingen in de auto-mobiel-industrie (Dammer, Carus, Raschka & Scholz, 2013). Er zijn maar weinig voorbeelden beschikbaar

van inspirerende en succesvolle serieproducten waarbij de natuurvezels (ook) als visueel kenmerk worden toegepast. De meeste voorbeelden blijven hangen op demonstratieniveau of in zeer kleine series, en kennis over *look & feel* en commerciële eigenschappen ontbreekt.

Het gebruik van textiele vezels in een biocomposiet is relatief nieuw. Hiervan zijn kleinschalige toepassingen bekend, waarbij bijna altijd nieuwe textielvezel wordt gebruikt. De combinatie van textiele restvezels met biobased plastics biedt een unieke kans om een afvalproduct te verwerken tot een circulair product.

In figuur 1.4 is het RECURF–logo getoond. Hierin zijn de blauwe, technische kringloop en de groene, biologische kringloop te herkennen. Het is gebaseerd op de literatuur over circulaire economie. De foto's tonen het circulaire ontwikkel- en productieproces van de nieuwe biocomposieten op basis van textiele reststromen en biobased plastics.

De doelstelling van het onderzoek is drieledig:

- Onderzoeken van de duurzaamheid en andere eigenschappen van biocomposieten op basis van textiele reststromen en biobased plastics.
- Verkennen van de mogelijkheden om met deze nieuwe materialen aansprekende circulaire producten te ontwikkelen voor in- en exterieur gebruik.
- Evalueren van de materialen en ontwerpen op technisch, economisch en ecologisch gebied.



Figuur 1.4 RECURF: Combineren van textielresten met biobased plastics tot circulaire producten.

Onderzoeksaanpak

Deelonderzoeken

Het onderzoek is uitgevoerd in vier deelonderzoeken die antwoorden bieden op de volgende deelvragen:

- *Materiaal:* Welke combinaties van textiele restvezels en biobased plastics zijn er mogelijk? Welke verwerkingstechnieken kunnen worden gebruikt? Welke mechanische en functionele materiaaleigenschappen levert dit op? (zie hoofdstuk 2).
- *Toepassing:* Welk type producten kunnen met de nieuwe biocomposieten worden gemaakt? Bieden die producten meerwaarde voor de eindgebruiker? Hoe kunnen de unieke eigenschappen van het materiaal bijdragen aan de gewenste functionaliteit en uitstraling van het product? (zie hoofdstuk 3).
- *Impact:* Welke eindelevensduursscenario's zijn relevant voor de nieuwe biocomposieten? Wat is de milieu-impact van deze materialen en de hiervan gemaakte producten? (zie hoofdstuk 4).
- *Business:* Hoe ziet het businessmodel (waardepromissie, waardenetwerk en verdienmodel) voor deze toepassingen eruit? Levert dit een interessante businesscase op? (zie hoofdstuk 5).

De gebruikte onderzoeksmethoden en technieken zijn voor ieder deelonderzoek in het desbetreffende hoofdstuk beschreven.

Ontwerpstudies en cases

Parallel aan deze deelonderzoeken zijn diverse materiaal- en ontwerpstudies uitgevoerd. Door verschillende studententeams van zowel de Hogeschool van Amsterdam als van Saxion Hogescholen en de TU Delft zijn materiaalonderzoeken uitgevoerd, ontwerpen gemaakt en prototypes gebouwd. Het doel hiervan was om de nieuwe materialen te verkennen en te karakteriseren, verwerkingstechnieken en mogelijkheden te inventariseren, nieuwe betekenis en waarde te creëren en daarop te reflecteren. Enkele van de hieruit voortgekomen productvoorbeelden worden besproken in kaders verspreid in deze publicatie (zie tabel 1.5).

Voor iedere leverancier van een textiele reststroom is één productidee nader uitgewerkt door een team van onderzoekers, mkb-deelnemers en studenten. Voor deze cases hebben naast het materiaalonderzoek en de ontwerpstudie ook een analyse van de milieupact en een verkenning van het businessmodel plaatsgevonden. Deze drie cases zijn (zie tabel 1.5):

1. Een armlegger met wollen snijafval van Ahrend
2. Een geluiddempend paneel met textiel van Sympany
3. Een terrasstoel met jute van Starbucks

Tabel 1.5 Productvoorbeelden en uitgewerkte cases per bedrijf.

	AHREND	SYMPANY	STARBUCKS
Ontwerpstudies	Tafelblad (zie kader in H2)		
	Hoed en Laptop / tablet sleeve (zie kader in H3)		
		Vin Surfplank (zie kader in H4)	Tas (zie kader in H5)
Uitgewerkte cases	Armlegger	Wandpaneel	Terrasstoel
	materiaalcombinatie, verwerkingstechniek en ontwerp (zie paragraaf 3.4) analyse milieu-impact(zie paragraaf 4.4) verkenning businessmodel (zie paragraaf 5.4)		



2 MATERIAALONTWIKKELING

Binnen het RECURF-project worden biocomposieten gemaakt uit resttextiel en biobased plastic. Gezien de vele soorten textiel en vele typen beschikbare biobased plastics, is er een vrijwel oneindige reeks combinaties mogelijk, zeker als ook variabelen als vezellengte en verwerkingstechnieken in de beschouwing worden meegenomen. In dit hoofdstuk laten we zien welke combinaties er mogelijk zijn. We zoomen daarna in op de meest kansrijke materiaalcombinaties en verwerkingstechnieken. Vervolgens bespreken we de materiaaleigenschappen die indicatief bepaald zijn met behulp van samples in de vorm van testplaatjes, filamenten en trekstaafjes. Tot slot gaan we in op de belangrijkste bevindingen.

2.1 Mogelijke combinaties van resttextiel en biobased plastics

Voor het onderzoek naar het maken van biocomposieten op basis van biobased plastics en textielresten zijn de volgende variabelen in ogenschouw genomen:

type biobased plastic, vezelsoort en vezellengte. Vervolgens is onderzocht welke technieken kunnen worden ingezet voor de verwerking van deze nieuwe biocomposieten.

Biobased plastics

De grondstof voor verreweg de meeste soorten plastic is aardolie, dat in de loop van miljoenen jaren is ontstaan. De grondstof voor biobased plastics is organisch materiaal dat pas recent is ontstaan en relatief snel terug kan groeien. De toepassing van biobased plastics maakt het dus mogelijk plastics te blijven gebruiken zonder de grondstoffenvoorraad verder uit te putten.

Er zijn al veel biobased plastics commercieel verkrijgbaar. Vaak zijn deze niet geheel duurzaam vanwege vermenging met niet-biobased additieven, bijvoorbeeld ter verbetering van de verwerkbaarheid of andere eigenschappen. Kennis van de manier waarop de verschillende biobased plastics het best kunnen

worden gebruikt is beschikbaar bij een aantal gespecialiseerde kunststofverwerkende bedrijven.

Om biobased plastics te laten passen in een circulaire economie moet na gebruik van het plastic de korte koolstofcyclus ook echt gesloten worden. Dat kan als het plastic biologisch afbreekbaar is, maar dat geldt voor slechts een klein aantal biobased plastics. Er wordt onderscheid gemaakt tussen 'biologisch afbreekbaar' en 'composteerbaar'. We spreken van 'biologisch afbreekbaar' als het plastic in de natuur wordt afgebroken. Daarbij wordt nog een onderverdeling gemaakt in verschillende milieus: in zoet water, in zout water of in de grond. Als daarentegen een plastic dat 'composteerbaar' is in de natuur wordt achtergelaten, breekt dit slechts zeer langzaam af. Pas in een industriële composteringsinstallatie met gecontroleerde omstandigheden wordt dit plastic binnen enkele maanden afgebroken. Zowel biologisch afbreekbare plastics als composteerbare plastics worden zo uiteindelijk omgezet in water, CO₂ en reststoffen.

Omdat de 'C' in 'RECURF' verwijst naar circulariteit, is de keus voor biobased plastics binnen het project beperkt gebleven tot de wel afbreekbare soorten. Omdat daarnaast de kunststof ook nog goed verkrijgbaar moet zijn, heeft RECURF zich gericht op de toepassing van:

- TPS: *Thermoplastic Starch* zetmeel, gemengd met een plastic. Biologisch afbreekbaar
- PLA: *Poly Lactic Acid* met een chemisch proces gemaakt uit bijvoorbeeld mais. Composteerbaar

Puur TPS wordt weinig toegepast omdat zetmeel van zichzelf te weinig samenhang vertoont. Daarom wordt zetmeel gemengd met een thermoplast; vaak een synthetische variant, maar in RECURF met PLA. De binnen RECURF toegepaste TPS-grades zijn Solanyl en Cradonyl.

Er worden drie soorten kunststoffen onderscheiden: thermoplasten, thermoharders en elastomeren. Thermoplasten hebben de eigenschap dat ze kunnen smelten en weer stollen, terwijl thermoharders na het ontstaan altijd hun vaste vorm behouden. Tot de laatste groep (elastomeren) behoren de rubbers, die in RECURF verder niet worden toegepast.

Naast de thermoplastische en biobased PLA en TPS, is binnen RECURF ook gebruik gemaakt van een 50% biobased thermohardende UP (onverzadigd polyester) hars. Thermoharders zijn nog niet 100% biobased te verkrijgen. Deze thermoharder is gebruikt bij het prototype van de terrasstoel voor Starbucks omdat thermoharders veel beter bestand zijn tegen weersinvloeden dan thermoplasten.

Textielresten
De textielresten die voor onze biocomposieten gebruikt zijn, kunnen variëren in vezelsoort of grondstof, maar ook in vezelvorm en afmetingen.

Vezelsoort
Binnen RECURF is de keuze voor het soort vezels voornamelijk bepaald door de in het project participerende partners. Het onderzoek heeft zich daarom gefocust op de volgende vezelsoorten:

- jute (gebruikte Starbucks koffiezakken)
- denim (door Sympany ingezamelde kleding)
- wol (snijafval van de meubelstoffering van Ahrend)

Daarnaast zijn in het onderzoek enkele andere kansrijke textiele reststromen onderzocht, zoals stof uit het filter van een vervezelingsmachine en textielresten van uniformen, beide ter beschikking gesteld door vervezelaar Frankenhuis.

Vezelvorm
De gekozen vezelsoorten komen in de reststroom terecht in de vorm van een weefsel (geweven textiel-draden, eventueel verwerkt tot een zak of kledingstuk). In het nieuw te ontwikkelen biocomposiet kunnen de vezels in de vorm van dit weefsel worden ingezet, maar ook als losse vezels of vermalen tot zeer korte vezels (1 á 2 mm). Een verzameling losse vezels kan door middel van 'vernaalden' samenhang krijgen. Bij 'vernaalden' prikken vele scherpe haaknaalden herhaaldelijk door de verzameling vezels. Bij de opgaande beweging trekken ze de onderste vezels mee naar boven, door het bed heen. Daardoor krijgt de verzameling vezels een zekere samenhang en spreken we van een vezelmat of een 'non-woven'.

Verwerkingstechnieken
Bij het verwerken van grondstof tot eindproduct maken we onderscheid in omvormingstechnieken en bewerkingstechnieken. Met een omvormingstechniek wordt een nieuwe vorm gecreëerd, een nieuwe samenhang van de uitgangsmaterialen. Voorbeelden zijn (spuit) gieten, extruderen, thermovormen en warm- of koudpersen. Met een bewerkingstechniek daarentegen wordt alleen de functionaliteit veranderd, de samenhang van de uitgangsmaterialen blijft ongewijzigd. Voorbeelden zijn knippen, snijden, boren, frezen en zagen.

Omvormingstechnieken
De binnen RECURF meest gebruikte omvormingstechnieken zijn warm- en koudpersen (zie afbeelding 2.1). Hierbij wordt een mengsel van polymeer en vezel verwarmd en vervolgens samengeperst tot een testplaatje. Als de composiet wordt geperst in een mal, dan kunnen ook driedimensionale vormen worden gemaakt (zie afbeelding 2.2). Koudpersen gebeurt

door het polymeer/vezel-mengsel extern te verwarmen en vervolgens te persen in een niet-verwarmde pers. Omdat op deze manier de pers tussendoor niet hoeft af te koelen, kan hierdoor de productietijd worden verkort.

Een speciale omvormingstechniek is 3D-printen. Hierbij kunnen uitsluitend zeer korte (vermalen) vezels worden gebruikt, omdat een 3D-filament een diameter heeft van slechts 1,75 mm.

Bewerkingstechnieken
Een binnen RECURF veel gebruikte bewerkingstechniek is lasersnijden. Met deze techniek kunnen platen gemaakt van biocomposiet worden nabewerkt, maar is het ook mogelijk om bijvoorbeeld een vezelmat (non-woven) te bewerken voordat deze geperst wordt. In hoofdstuk 3 gaan we hier dieper op in en laten we zien wat voor ontwerpmogelijkheden en toegevoegde waarde dit oplevert.



Afbeelding 2.1 Experimenteren met een kleine laboratorium pers.

Drie verwerkingsmogelijkheden
De variaties in vezellengte maken het mogelijk verschillende verwerkingstechnieken toe te passen. Zo kunnen composieten met weefsels als vezelmatten goed warm of koud geperst worden tot plaatmateriaal, terwijl het mengen van vermalen vezels met kunststof tot granulaat bewerkingen als 3D-printen en spuitgieten mogelijk maakt. De drie belangrijkste verwerkingsmogelijkheden van textielresten tot bio-composieten zijn daarmee:

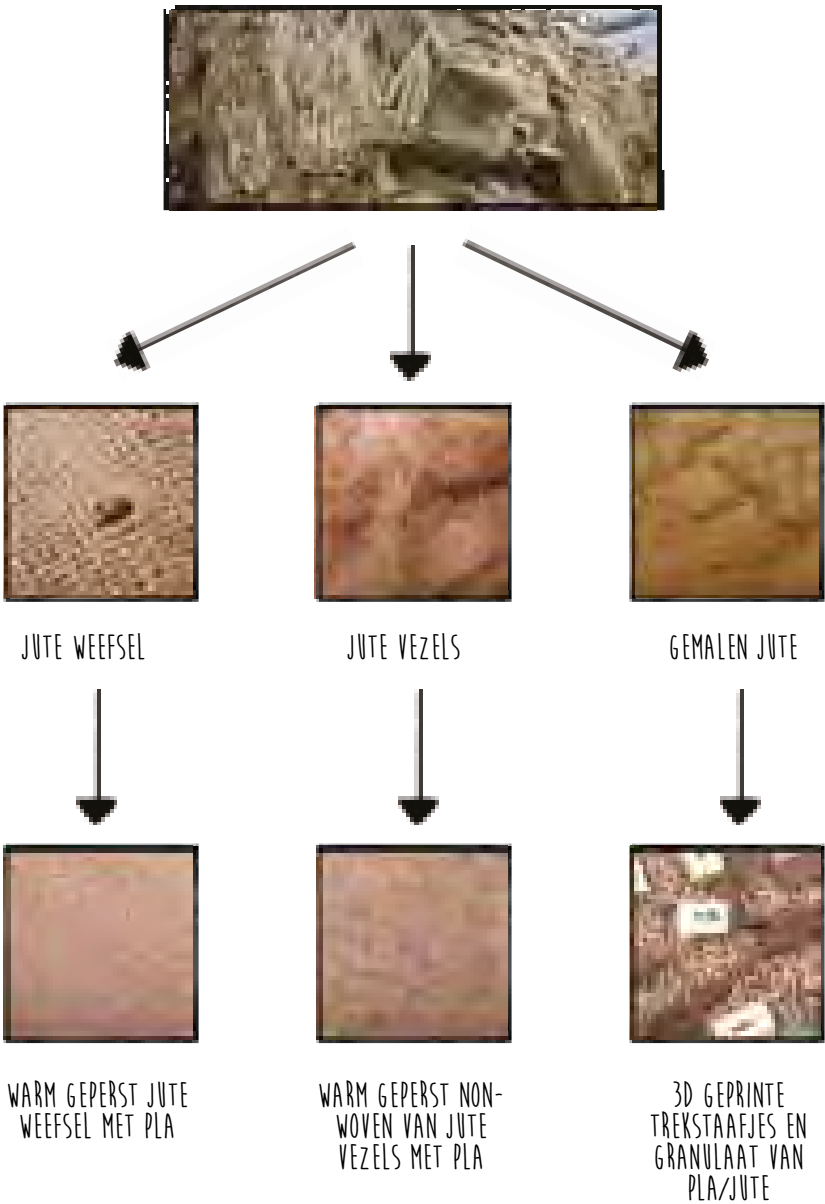
- 1. Persen van vezels met biobased plastics granulaat of film
- 2. Persen van vervezelde non-woven matten
- 3. Maken van granulaat van vermalen vezel en biobased plastics. Dit granulaat kan dan verder verwerkt worden (bijvoorbeeld spuitgieten of extruderen)

In figuur 2.3 zijn deze drie verwerkingsmogelijkheden weergegeven met de afvalstroom van de juten zakken als voorbeeld.



Afbeelding 2.2 Driedimensionale vormen door persen in een mal.

TEXTIEL AFVAL STROOM VAN JUTEN ZAKKEN, AFKOMSTIG VAN STARBUCKS KOFFIEBRANDERIJ IN AMSTERDAM.



Figuur 2.3 Drie verwerkingsmogelijkheden van jute en PLA tot bio-composiet (Lepelaar, Nackenhorst & Oskam, 2017).



Afbeelding 2.4 Biocomposiet met herkenbaar weefsel (jute zak).



Afbeelding 2.5 Lab-opstelling van kaardmachine.

2.2 Kansrijke biocomposieten en hun verwerking

De drie belangrijkste verwerkingsmogelijkheden worden in deze paragraaf verder uitgewerkt en geïllustreerd.

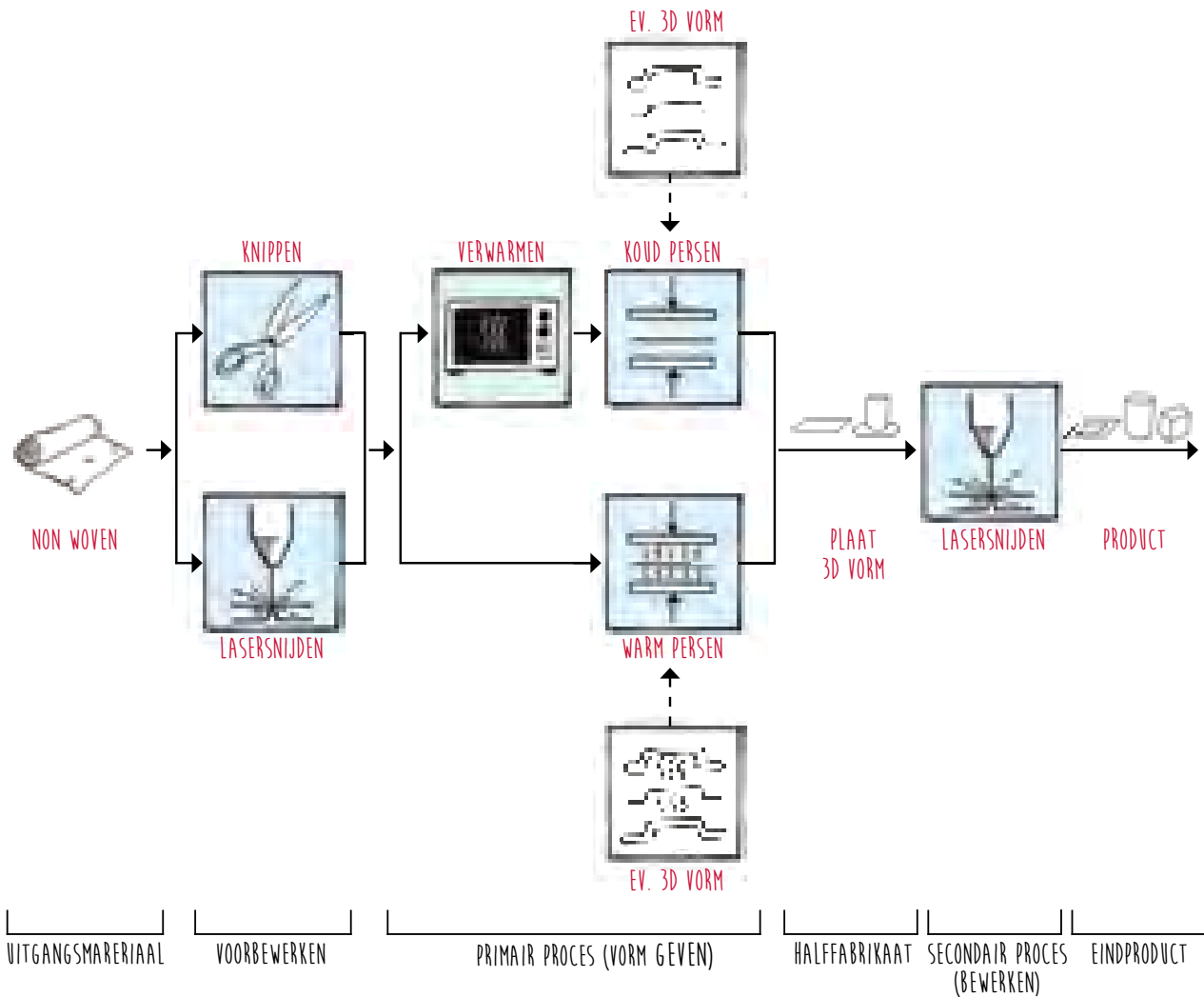
Persen van weefsel met biobased plastics granulaat
Als het resttextiel direct als weefsel in de biocomposit wordt gebruikt, dan draagt dit weefsel maximaal bij aan de verhoging van de treksterkte van het nieuwe materiaal. Tevens is het uitgangsmateriaal (bijvoorbeeld juten zak of spijkerbroek) nog goed herkenbaar, waardoor de oorsprong van de afvalstroom direct duidelijk is en het materiaal een groen of 'eco' imago krijgt (zie afbeelding 2.4). Nadelen van deze werkwijze zijn de beperkte afmetingen van het weefsel en feit dat de weefsels stuk voor stuk moeten worden ingevoerd in het proces. Hierdoor is industriële opschaling van het productieproces moeilijk.

Persen van vervezelde non-woven matten
De belangrijkste fractie in de hoeveelheid ter recycling

aangeboden textiel is het gedeelte dat nog opnieuw gedragen kan worden, desnoods na een kleine reparatie. De onderstroom (het gedeelte dat niet meer gedragen kan worden) wordt verwerkt door hem te 'vervezelen': het textiel wordt mechanisch omgezet tot een verzameling vezels van ca. 30 mm lang met een willekeurige, losse samenhang.

Het vervezelde materiaal kan worden 'gekaard' (mechanisch in één richting gekamd, zie afbeelding 2.5) en na menging met een PLA draad worden 'vernaald'. De zo ontstane vezelmat van textielrest en PLA kan als één pakket worden geperst tot een materiaal met een glad oppervlak, maar niet zo glad als dat van puur plastic.

Met deze werkwijze kan een continue vezelmat (non-woven) worden gerealiseerd met een gedefinieerde samenstelling en gewicht per m². Zo'n rol leent zich bij uitstek voor industriële verwerking, waarbij digitale technieken als lasersnijden kunnen worden ingezet als voor- of nabewerkingsstap. Zie figuur 2.6 voor een compleet overzicht van dit proces.



Figuur 2.6 Overzicht materiaalontwikkelingsproces.

Verwerken van granulaat van vermalen vezel en biobased plastics

Een kenmerk van thermoplastische kunststoffen is dat ze kunnen smelten en weer hard worden. Granulaat van vermalen vezel en biobased plastic kan daarom in een aparte fabriek worden gemaakt en later worden gebruikt in de plasticverwerkende industrie. De korrelgrootte van granulaat is bij benadering 3 x 3 x 3 mm (zie afbeelding 2.7 voor een foto van granulaat). Dat betekent dat voor het maken van biocomposiet granulaat fijn gemalen textielvezel moet worden gebruikt.

Om biocomposiet granulaat te maken, zijn binnen RECURF aanvankelijk geperste testplaatjes verknipt en door een shredder gevoerd. Later is granulaat gemaakt

door PLA-granulaat en losse vezels te persen en dit product na opknippen te extruderen. Door de geëxtrudeerde streng in kleine stukjes te knippen is hiervan granulaat gemaakt.

Door de biocomposiet in de granulaatvorm te maken, is er een vrije keuze voor de omvormingstechniek waarmee dit granulaat verder wordt verwerkt, bijvoorbeeld extruderen of spuitgieten. Zo zijn binnen RECURF enkele spuitgietproeven gedaan met het geproduceerde granulaat (zie afbeelding 2.8). Door middel van extruderen kan nu ook een filament voor 3D-printen worden gemaakt (zie kader). Een aandachtspunt is nog het feit dat het maken van granulaat op deze manier nog zeer veel tijd, energie en arbeid kost. Dat betekent dat de opschaling van dit proces nog nader onderzoek vereist.



Afbeelding 2.7 Van jute naar granulaat met biobased plastic.



Afbeelding 2.8 Spuitgegoten proefstaafje van PLA/denim.

3D-printen met textiele restvezel

De nieuwe korrels kunnen ook gebruikt worden om te 3D-printen. Er is een test gedaan waarbij eerst een PLA/jute-granulaat is gemaakt, waarna van dit granulaat met behulp van een extruder filament is gemaakt. Dit filament is vervolgens gebruikt om een trekstaafje te printen. Het printen met een vezelhoudend filament leidt vaak tot storingen in de apparatuur, doordat de vezel de printkop kan verstoppen of doordat het filament breekt vanwege een ongelijke verdeling van de vezel.

Het maximale aandeel vezel waarbij het filament tijdens het onderzoek nog verwerkt kon worden is 5%. Een mogelijke oplossing voor knelpunten als storingsgevoeligheid, uitval en laag vezelpercentage, is om direct vanuit granulaat te 3D-printen, dus zonder dat er eerst filament van wordt gemaakt. Dit kan bijvoorbeeld met een robotarm waarop een extruder is gemonteerd. Deze techniek is echter nog niet gangbaar, de meeste 3D-printers werken (nog) op basis van een filament.



Filament van PLA en jute restvezel voor gebruik in een 3D printer.

2.3 Materiaaleigenschappen

De zoektocht naar biocomposieten op basis van textielresten en biobased plastics kenmerkte zich door het maken van een grote hoeveelheid samples in de vorm van proefplaatjes en trekstaafjes, met steeds verschillende samenstellingen en onder verschillende procescondities. Hiervoor zijn een warmpers, een lasersnijder en een spuitgietmachine gebruikt. Enkele voorbeelden van de samenstelling van de verschillende proefplaatjes zijn gegeven in tabel 2.9.

Mechanische eigenschappen

Bij het maken van samples lag de nadruk op het vaststellen van de maakbaarheid van de verschillende plaatjes. Van dit materiaal zijn op indicatief niveau de mechanische eigenschappen bepaald, zoals de trek-

sterkte en de driepuntsbuigsterkte. De treksterkte wordt bepaald door in een trekbank een proefstaafje van het materiaal langzaam kapot te trekken. De kracht die nodig is om het staafje te laten inscheuren gedeeld door de oorspronkelijke doorsnede van het proefstaafje geeft de treksterkte in N/mm², ook wel aangeduid als MPa.

Van een deel van de samples gemaakt binnen RECURF is de treksterkte en de buigsterkte bepaald en, samen met de procesparameters, opgenomen in een database die op verzoek ter beschikking wordt gesteld. Deze gegevens zijn slechts indicatief om de volgende redenen:

- De wijze waarop een proefstaafje wordt gemaakt, is voornamelijk afhankelijk van de gekozen vezelvorm. Zo kan met een lasersnijder

een proefstrookje worden gesneden uit een plaatje, maar kan het proefstaafje ook worden spuitgegoten uit granulaat. Maar als uit granulaat eerst een filament wordt gemaakt, kan het proefstaafje ook ge-3D-print worden. Al deze verschillende productietechnieken maken onderlinge vergelijking van de resultaten lastig.

- De methoden om textiel te verkleinen zijn niet gestandaardiseerd. Hierdoor kunnen de deeltjesgrootte en de deeltjesgrootteverdeling per sample verschillen.
- Doordat in verschillende instituten onderzoek is gedaan, zijn ook verschillende trekbanken gebruikt. Dit bemoeilijkt de onderlinge vergelijking.

In deze publicatie beperken we ons tot de bepaling van de treksterkte van proefstaafjes die zijn gemaakt middels

- spuitgieten van granulaat met vezels
- warmpersen van vernaalde non-woven matten

Spuitgieten van granulaat met vezels

Om een indruk te krijgen van de invloed van de diverse textielsoorten op de mechanische eigenschappen, zijn experimenten uitgevoerd, waarvan de resultaten staan vermeld in tabel 2.10. Al deze metingen zijn verricht aan proefstaafjes geproduceerd door spuitgieten op basis van granulaat.

Evaluatie van de gegevens uit tabel 2.10:

- Toevoeging van denim of jute verhoogt de treksterkte van PLA, terwijl toevoeging van wol de treksterkte van PLA juist verlaagt.
- Alle soorten vezels lijken de elasticiteitsmodulus van PLA te verhogen. Dit betekent dat het materiaal door de toevoeging van vezels stijver wordt. Hierdoor wordt het materiaal minder taai, wat de slagvastheid verlaagt.

Tabel 2.9 Voorbeelden van samenstelling textiel/kunststof-proefplaatjes.

	GEBRUIKT TEXTIEL		GEBRUIKTE KUNSTSTOF	
	Soort	Vorm	Soort	Vorm
1.	Jute	Weefsel	PLA	Granulaat
2.	Jute	Weefsel	TPS/PLA	Film
3.	Jute	Non-woven	PLA	Draad
4.	Denim	Non-woven	PLA	Draad
5.	Denim	Filterstof	TPS/PLA	Film
6.	Wol	Losse vezels	PLA	Granulaat
7.	Wol	Losse vezels	TPS/PLA	Film
8.	Uniformstof	Non-woven	PLA	Draad
9.	Uniformstof	Losse vezels	TPS/PLA	Film

Tabel 2.10 Resultaten van metingen aan spuitgegoten trekstaafjes.

Kunststof – vezel – gehalte	Treksterkte (MPa)	Stijfheid (GPa)
PP	30	1,2
PLA	54	3,0
TPS/PLA	35	2,2
PLA Wol (30%)	41	--
TPS/PLA Wol (30%)	28	2,7
PLA Jute (30%)	60	4,9
TPS/PLA Jute (30%)	38	3,3
PLA Denim (30%)	56	--
TPS/PLA Denim (30%)	40	2,6

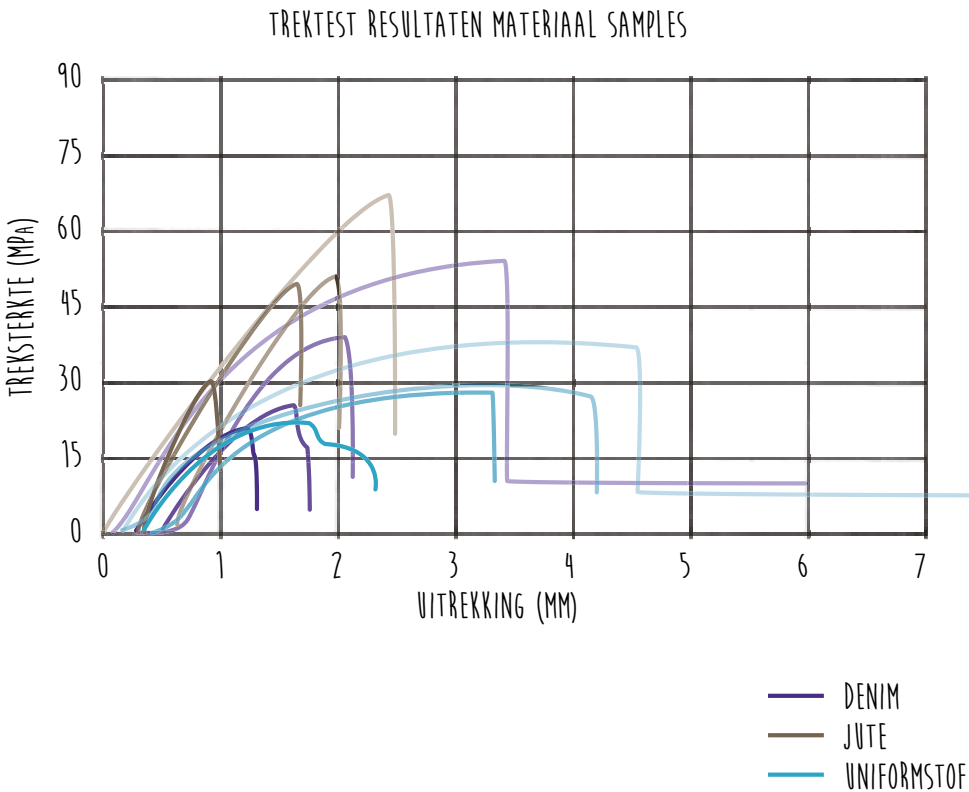
Warmpersen van vernaalde non-woven matten
Er zijn drie verschillende vernaalde non-wovens van 50% PLA en 50% vezel gemaakt, te weten: PLA/denim, PLA/jute en PLA/uniformstof. Van deze non-wovens zijn in een warmpers vier verschillende proefplaatjes gemaakt van één, twee, vier en acht lagen non-woven op elkaar. Vervolgens zijn met een lasersnijder uit elk proefplaatje steeds vijf trekstaafjes gesneden. Het doel van dit onderzoek was

- 1. te bepalen of er verschil zit tussen de typen materialen;
- 2. te achterhalen wat het effect is van het aantal lagen op de treksterkte¹.

De resultaten zijn getoond in de figuren 2.11.a en 2.11.b, waarvoor de volgende legenda geldt:

- Paars = PLA + denim; Bruin = PLA + jute; Blauw = PLA + uniformstof
- Donkerst = eenlaags, lichtst = achtlaags

In figuur 2.11a is van elk sampletype het gemiddelde verloop van de treksterkte getoond. Hierin worden de verschillen duidelijk tussen de materialen en de effecten van het aantal lagen. Figuur 2.11b geeft de gemiddelde treksterkte en de bijbehorende spreiding van de vijf samples per type weer.



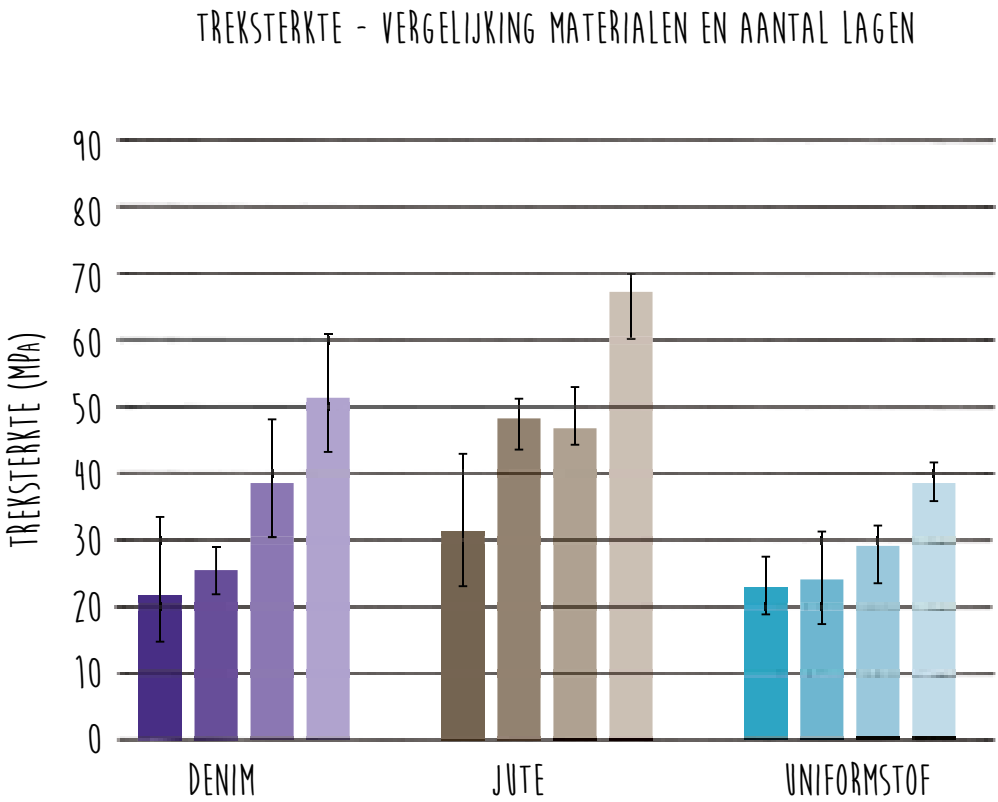
Figuur 2.11a: Verloop treksterkte per materiaal en aantal lagen.
¹. De trektesten zijn uitgevoerd volgens de norm DIN EN ISO 527-1 met een Zwick/Roell 2010.

De resultaten laten zien dat PLA/jute de sterkste variant is, gevolgd door PLA/denim en PLA/uniformstof. De sterkte van het materiaal neemt toe naarmate er meer lagen worden gebruikt, maar staat niet in directe verhouding tot het aantal gebruikte lagen: een verdubbeling van het aantal lagen leidt niet tot een verdubbeling van de treksterkte. Bij denim is de invloed van het aantal lagen het duidelijkst te zien: het materiaal met vier lagen is bijna twee keer zo sterk als het materiaal met één laag. Het materiaal met acht lagen is zelfs meer dan 2,5 keer sterker. In andere gevallen is er weinig verschil te merken tussen het aantal lagen, zoals te zien is bij Jute-tweelaags ten opzichte van jute-vierlaags en bij uniformstof-een-

laags ten opzichte van uniformstof-tweelaags.

In figuur 2.11a is de 'rek bij breuk' (bij de scherpe knik naar beneden) een indicatie voor de elasticiteit van het materiaal. Van alle drie de materialen is de 'rek bij breuk' laag, waarbij de PLA/uniformstof het meest elastisch is en PLA/jute het meest bros.

Andere eigenschappen
Binnen RECURF zijn functionele eigenschappen wel benoemd, maar nog niet gekwantificeerd. Zo lijkt de geperste plaat geluiddempende eigenschappen te hebben, maar zijn deze niet uitgebreid onderzocht. Ook zijn er geen gecombineerde testen en optimalisaties uitgevoerd. Dit wordt relevant zodra er een specifieke materiaalcombinatie in een specifiek toe-



Figuur 2.11b: Gemiddelde treksterkte en spreiding (donkerste is 1 laag, lichtst is 8 lagen).

passingsgebied is gekozen. Fysische eigenschappen (zoals soortelijk gewicht), functionele eigenschappen (zoals brandwerendheid) en mechanische eigenschappen (zoals sterkte, stijfheid, slagvastheid en elasticiteit) kunnen dan geoptimaliseerd worden door het variëren van materiaalparameters (vezelbehandeling, verhouding vezel/kunststof) en procesparameters (druk, temperatuur, tijd).

2.4 Conclusies en aanbevelingen

Het RECURF-onderzoek heeft aangetoond welke combinaties kunnen worden gemaakt, welke mechanische eigenschappen deze combinaties globaal hebben en wat indicatieve waarden zijn voor enkele fysische en functionele eigenschappen.

Materiaalcombinaties en verwerkingstechnieken
Een nieuw opgezette database maakt overzichtelijk welke combinaties tussen biobased plastic, textiele reststroom en productie/verwerkingstechniek maakbaar zijn. In de database zijn van de kansrijke combinaties indicatieve waarden van bepaalde mechanische eigenschappen (treksterkte en stijfheid) en productieparameters opgenomen (druk, temperatuur, opbouw). Er zijn daarnaast fysieke samples beschikbaar van de verschillende combinaties.

Kansrijke verwerkingsmogelijkheden zijn:

- 1. Persen van weefsel met granulaat of film van biobased plastics
- 2. Persen van vervezelde non-woven matten
- 3. Maken van granulaat van vermalen vezel en biobased plastics.
Dit granulaat kan verder verwerkt worden (bijvoorbeeld spuitgieten of extruderen)

Het persen van weefsel biedt de meeste mogelijkheden om de herkomst van het textiel in het nieuwe materiaal zichtbaar te maken, maar geeft weinig vormvrijheid en is beperkt qua opschaalbaarheid van de productie. De laatste twee opties zijn wel geschikt voor seriematige productie. Vervezelde non-woven

matten zijn daarbij zeer goed geschikt voor het toepassen van digitale voor- en/of nabewerkingstechnieken als lasersnijden. Granulaat van vermalen vezel en biobased plastic is geschikt voor spuitgieten of extruderen. De mogelijkheden voor 3D-printen met bestaande 3D-printers is echter beperkt, maar grootschalig 3D-printen met een extruder behoort wel tot de mogelijkheden. Er zijn al praktijkvoorbeelden van deze techniek, maar dit vergt nog nader onderzoek.

Materiaaleigenschappen
Het kwalitatieve onderzoek naar eigenschappen wijst uit dat het mogelijk is om de nieuwe materialen toe te passen in producten, waarbij de volgende uitgangspunten kunnen worden gehanteerd:

- De nieuwe composietmaterialen kunnen constructief worden toegepast en hebben geluiddempende eigenschappen.
- Doordat de vezels vocht kunnen opnemen in de biobased thermoplastische matrix zijn de materialen vooral geschikt voor interieuroepassingen².

Er is wel nog verdiepend onderzoek nodig naar:

- Mechanische eigenschappen (genormeerd bepalen van treksterkte en -stijfheid, driepuntsterkte en stijfheid, slagvastheid (IZOD));
- Functionele eigenschappen (denk aan geluiddempende eigenschappen, brandwerendheid, temperatuurbestendigheid en verouderingsgevoeligheid);
- Combinaties van mechanische en functionele eigenschappen.

De normen en testprotocollen voor eigenschappen als geluiddempendheid, brandwerendheid en veroudering verschillen per toepassing. Daarom is verdiepend onderzoek naar die eigenschappen pas zinvol als er een initiële keuze is gemaakt voor de materiaalverwerkingscombinatie en het toepassingsgebied.

2. Denk aan gebruik in cafés van Starbucks, kantoorinrichting van Ahrend en geluiddempende producten van Sympany/VRK.

Ontwerpstudie: tafelblad

Lennard de Jong, Thomas Kaars, Daniël de Graaf en Thijs Leeuw (HvA-studenten)

Het biocomposiet van PLA/jute is stevig genoeg om er constructieve platen mee te maken, bijvoorbeeld voor interieurpanelen of tafelbladen. Het ontwerpteam experimenteerde met dit gegeven en creëerde uit het plaatmateriaal een tafelblad waarin het uitgangsmateriaal jute goed zichtbaar is. Zij maakten hiermee een salontafel bestaande uit puzzelstukken die werden geplaatst in een roestvast stalen frame. Deze puzzelstukken kunnen bij beschadiging eenvoudig worden vervangen. Op de foto is het rustieke uiterlijk goed te zien.

Tijdens het testen is duidelijk geworden dat het materiaal wit kan uitslaan als er een warme drank op wordt geplaatst. Deze verkleuring kan mogelijk voorkomen worden door een laag biowax aan te brengen, maar dit vergt vervolgonderzoek. Ook bleek het niet eenvoudig om de juiste dikte te kunnen garanderen tijdens het gebruikte productieproces. Hier is dus nog ruimte voor verbetering.

In principe leent ieder weefsel zich voor het maken van plaatmateriaal waarbij het weefsel zichtbaar blijft. De grootte van de platen is echter beperkt door de afmetingen van het beschikbare weefsel. De sterkte van de platen is afhankelijk van vele factoren zoals bijvoorbeeld het type weefsel, de gebruikte soort bioplastic, de verhouding van de grondstoffen en het aantal lagen waaruit de plaat is opgebouwd.



Tafelblad van jute/PLA.



3 ONTWERPEN MET BIOCOMPOSITIETEN

Het circulair maken van een product begint bij het ontwerp. Naast de materiaal- en proceskeuze zijn onderwerpen als hoeveelheid materiaal, milieu-impact, eenvoudige (de)montage en de waardering door de gebruiker van belang.

In dit hoofdstuk gaan we in op circulaire ontwerpstrategieën. We laten zien wat het betekent om te ontwerpen vanuit het materiaal en bespreken de resultaten van een onderzoek naar de belevingswaarde van de biocomposieten. Tot slot bespreken we de ontwerpen voor de drie cases.

3.1 Circulaire ontwerpstrategieën

Binnen een productontwerp kunnen de grondstofstromen op verschillende wijzen worden benaderd (Bocken, De Pauw, Bakker & Van der Grinten, 2016):

1. Vertragen van grondstofstromen
Het product wordt ontworpen voor een langere levensduur, intensiever gebruik of een betere emotionele binding.
2. Sluiten van grondstofstromen
Materialen worden na productie en gebruik goed hergebruikt of gerecycled.
3. Verkleinen van grondstofstromen.
Het materiaalgebruik wordt verminderd door slimmer te ontwerpen en minder grondstoffen te gebruiken in het productieproces.

Een goed circulair ontwerp combineert deze drie strategieën, waarvan de samenhang is weergegeven in figuur 3.1.

Vertragen van grondstofstromen
Het vertragen van grondstofstromen draagt bij aan de transitie naar een circulaire economie door de volgende ontwerpstrategieën (Bocken et al., 2016; Bakker, Den Hollander, Van Hinte & Zijlstra, 2014):

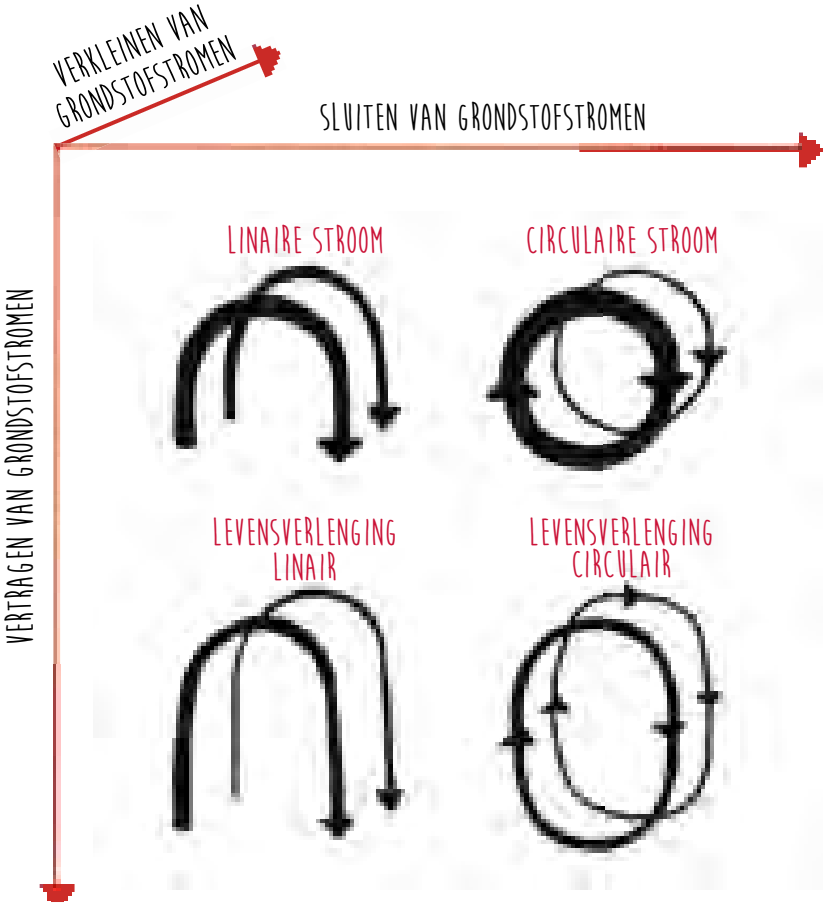
- 1. Ontwerpen van producten met een lange levensduur, 'long life products';
- 2. Ontwerpen van producten met een verlengde gebruiksduur, 'product life extension'.

- Ad 1. Producten met een lange levensduur*
- Ontwerpen voor vertrouwen en (emotionele) binding. Door het creëren van een band tussen de gebruiker en het product, wordt het product langer gebruikt of eerder gerepareerd.
 - Ontwerpen voor lange levensduur. Door het optimaliseren van de afstemming tussen de technische, stilistische en economische levensduur gaat het product langer mee.

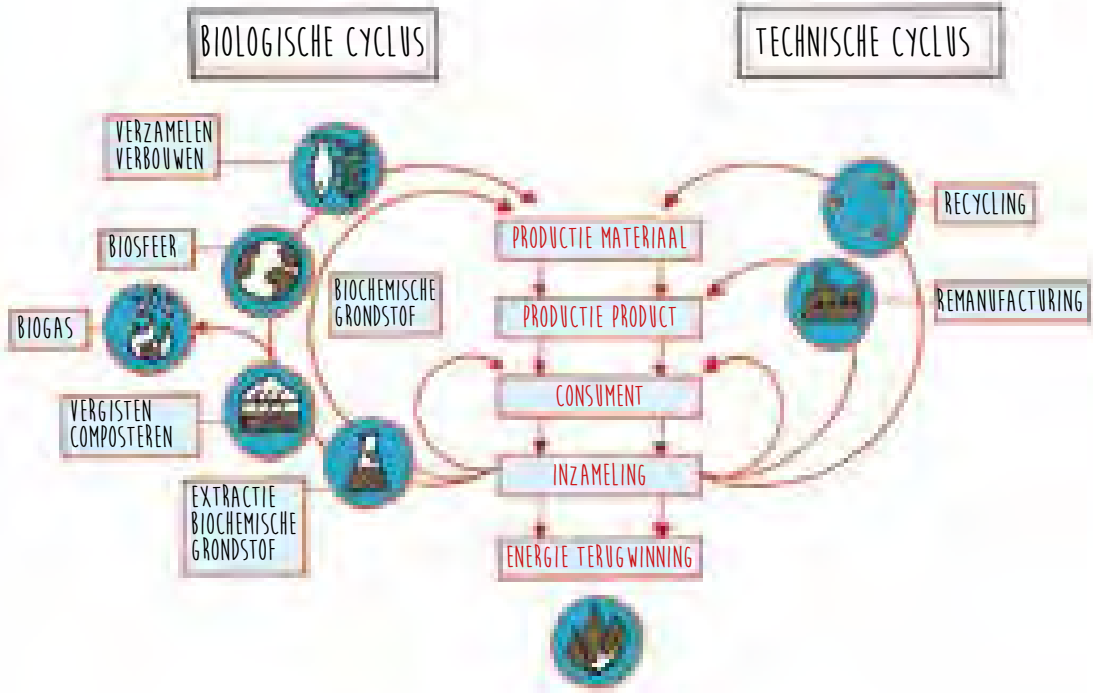
- Ad 2. Producten met een verlengde gebruiksduur*
- Ontwerpen voor standaardisering. Door standaardisatie neemt de functionele levensduur van een product toe. Aandachtspunt is de groeiende wens tot personifiëring van producten.
 - Ontwerpen voor eenvoudig onderhoud. Door onderhoud en reparatie te vereenvoudigen neemt de levensduur van een product toe. Aandachtspunten hierbij zijn het garantiebeleid en veiligheidsnormeringen.
 - Ontwerpen voor aanpassing. Als onderdelen eenvoudig kunnen worden uitgewisseld, neemt de functionaliteit van een product toe.
 - Ontwerpen voor de-assemblage en re-assemblage. Door een product eenvoudig deelbaar te maken is het product enerzijds eenvoudiger te recycleren, anderzijds eenvoudiger te repareren of functioneel te wijzigen.

Deze ontwerpstrategieën zijn breed toepasbaar en onderling te combineren, maar zijn ook onafhankelijk van het te gebruiken materiaal. Binnen RECURF stond de materiaalontwikkeling centraal. Daarom is de aandacht meer uitgegaan naar het verlengen van de levensduur dan naar het verlengen van de gebruiksduur.

Sluiten van grondstofstromen
Ook het sluiten van grondstofstromen draagt bij aan de transitie naar een circulaire economie. Hiertoe is er in het ontwerp aandacht nodig voor de plaats van het product in zowel de technische als de biologische cyclus. Met de biocomposieten op basis van textiele restvezels en biobased plastics is het in principe mogelijk om eerst een product via de technische cyclus meerdere levens te geven en daarna het materiaal via de biologische cyclus af te breken (zie figuur 3.2). Uit het RECURF onderzoek is gebleken dat de milieuwinst het grootst is als het product uiteindelijk wordt verbrand (zie hoofdstuk 4).



Figuur 3.1 Lineaire en circulaire strategieën voor reduceren grondstofgebruik (Bocken et al., 2016).



Figuur 3.2 Combineren van de biologische en technische cyclus.

In de technische cyclus is het van belang het product en de materialen zo hoogwaardig mogelijk te hergebruiken en een product meerdere levenscycli te geven. Een hogere kwaliteit van het materiaal leidt tot een langere levensduur van het product en reduceert de downcycling¹. Van een modulair en eenvoudig demonteerbaar product kan zo nodig de functionaliteit worden aangepast.

Ook in de biologische cyclus wordt gestreefd naar meerdere levenscycli. Maar er komt een moment dat een product (of een gedeelte daarvan) niet meer opnieuw gebruikt kan worden. Als het biologisch afbreekbaar is, dan kan het worden afgebroken of gecomposteerd tot CO₂, water en reststoffen. Hiermee wordt dan de korte koolstofcyclus gesloten. In RECURF is duidelijk geworden dat het 100% sluiten van de korte koolstofkringloop lastig is, doordat vrijwel elk materiaal vele (ook niet-afbreekbare) componenten bevat.

Verkleinen van grondstofstromen
Het verkleinen van de grondstromen is een strategie die ook al binnen de lineaire economie wordt toegepast om het productontwerp economisch te optimaliseren. Een lager materiaalverbruik en een zo efficiënt mogelijk productieproces dragen immers bij aan een lagere kostprijs van het product.



Afbeelding 3.3 Combineren van hard en zacht in één productiestap.

1. Over het algemeen is er bij 'recycling' van restmateriaal vooral sprake van 'downcycling'. Dat wil zeggen dat door het recyclen de materialen kwalitatief achteruitgaan en daarom niet geschikt zijn om oneindig op een kwalitatief gelijkwaardig of hoger niveau in de technologische kringloop te circuleren (het uiteindelijke doel van de circulaire economie).

2. In de veelal Engelstalige literatuur waarnaar verwezen wordt in deze publicatie wordt de Engelse term 'experiential value' gebruikt voor de hier genoemde belevingswaarde.

3.2 Ontwerpen vanuit het materiaal

Omdat we in RECURF op zoek zijn naar waardevolle toepassingen van een reststroom, gaan we in op het ontwerpen vanuit een nieuw materiaal, in dit geval nieuwe materiaalcombinaties van biobased plastics en textiele reststromen. Dit is wezenlijk anders dan ontwerpen vanuit een klantbehoefte of marktvraag.

In de zoektocht naar circulariteit door upcycling van materialen en grondstoffen worden nieuwe materiaalcombinaties onderzocht. Naast andere mechanische en functionele eigenschappen kunnen ook nieuwe eigenschappen ontstaan. Onderzoekers en studenten van de HvA en TUD hebben veelvuldig geëxperimenteerd met de nieuwe materiaalcombinaties. Op die manier is er een aantal unieke esthetische en tactiele eigenschappen aan het licht gekomen, die voor ontwerpers kansen bieden om nieuwe en succesvolle producten te ontwikkelen. Zo heeft ieder sample door de steeds variërende vezels een unieke visuele uitstraling en kunnen bijvoorbeeld zowel ruwe en zachte als gladde en harde oppervlakken worden gecreëerd, zelfs binnen één productiestap (zie afbeelding 3.3).

Esthetische, tactiele en emotionele eigenschappen zijn belangrijk voor de belevingswaarde² en daarmee de waardering van biobased producten. Een hoge

belevingswaarde vergroot de kans op commercieel succes en een grootschalige toepassing (Karana, 2012; Van der Wal, 2015; Karana & Nijkamp, 2014). De belevingswaarde kan de natuurlijke oorsprong en kwaliteit van de producten benadrukken. Het is hiervoor van belang dat een beschrijving van het nieuwe materiaal dus niet alleen gericht is op de functie die het kan vervullen, maar ook op het effect dat het op mensen kan hebben.

Dit effect wordt nadrukkelijk bestudeerd en geïllustreerd in de case van de armlegger van Ahrend, waarin het nieuwe materiaal een verbeterde haptiek (gevoel bij aanraken), thermisch gevoel en esthetiek oplevert (zie paragraaf 3.4). In samenwerking met het Materials Experience Lab van de TU Delft is daarnaast een verkenning uitgevoerd naar de belevingswaarde van de nieuwe biocomposieten op basis van twee specifieke mogelijkheden die het materiaal biedt:

- Het kunnen combineren van de eigenschappen van kunststof en textiel in één product (harde kunststof en zacht textiel)
- Het kunnen vervormen of manipuleren van de materialen door creatief en variërend gebruik van digitale productietechnieken.



Afbeelding 3.4 Creëren van 2,5D- en 3D-structuren en patronen met behulp van lasersnijden.

Vervolgens is onderzoek gedaan naar de waardering van de nieuwe eigenschappen door gebruikers. De materiaalexperimenten en het onderzoek naar belevingswaarde zijn uitgevoerd volgens de Material Driven Design methode, die is ontwikkeld door de TU Delft. Hoe deze methode is toegepast op de biocomposieten met textiel komt uitgebreid aan bod in de kaders over Material Driven Design.

Experimenteren met digitale bewerkingstechnieken
Uit het onderzoek blijkt dat de inzet van digitale voor- en nabewerkingstechnieken zoals lasersnijden zeer kansrijk zijn voor het creëren van 2,5D- en 3D-structuren en patronen met een hoge belevingswaarde (zie voorbeelden in afbeelding 3.4).

Ook het creëren van een harde en een zachte zijde levert extra belevingswaarde op (zie voorbeelden in afbeelding 3.5). Beide opties maken het ook mogelijk specifieke functionele eigenschappen te verbeteren, zoals bijvoorbeeld geluidsdemping. Dit biedt een interessante route voor vervolgonderzoek. In hoofdstuk 6 gaan we hier verder op in.



Afbeelding 3.5 Creëren van harde en zachte oppervlakken door middel van lasersnijden.

MDD: Material Driven Design

Davine Blauwhoff (TU Delft)

Material Driven Design is een methode, ontwikkeld door Elvin Karana (Karana, Barati, Rognoli & Zeeuw van der Laan, 2015), waarbij wordt ontworpen vanuit het materiaal. Hierbij zijn de kwaliteiten van het materiaal belangrijk, zowel de technische eigenschappen als de beleving die de gebruikers hebben. Doel van deze methode is het creëren van unieke producten, productbelevissen en interacties. De methode kent vier stappen:

Stap 1. Ontwikkelen materialen

Bij de ontwikkeling van het RECURF materiaal zijn verschillende processen nodig om van halffabricaat naar eindproduct te komen. Binnen de verschillende fases zijn meerdere bewerkingen mogelijk die resulteren in een verscheidenheid aan creaties. Op grond van een inventarisatie van de mogelijkheden is het mogelijk te bepalen welke variabelen er zijn, waarbij het interessant is om te onderzoeken welk effect deze variabelen hebben op het eindresultaat.

Stap 2. Bepalen materiaaleigenschappen

Om het effect van de variabelen op de materiaaleigenschappen te bepalen, is er onderzoek gedaan naar o.a. de treksterkte van het materiaal. De resultaten van deze bepaling zijn besproken in paragraaf 2.4. Een tweede onderzoek gaat specifiek in op de belevingswaarden, waarvan de resultaten worden besproken in paragraaf 3.4.

Stap 3. Ontwikkelen visie

Vanuit dit uitgebreide inzicht in het materiaal wordt vervolgens een visie geformuleerd waarbij het materiaal in een bredere sociaaleconomische context wordt geplaatst: wat moet met het materiaal bereikt worden? Deze vaak holistische en abstracte visie is met behulp van gebruikersonderzoek vertaald in tastbare materiaalpatronen die kunnen helpen passende producten te ontwerpen.

Stap 4. Ontwerpen product

Een laatste stap in deze methode is het ontwerpen, waarbij de opgedane kennis en visie samenkomen in een product.

3.3 Onderzoek belevingswaarde

De belevingswaarde van een materiaal kan worden beschreven (Karana et al., 2015) aan de hand van:

- 1. Sensorische eigenschappen, gericht op de beleving van het materiaal door de zintuigen;
- 2. Interpretatieve eigenschappen, gericht op de betekenis die het materiaal uitstraalt;
- 3. Emotionele eigenschappen, gericht op de emoties die het materiaal opwekt;
- 4. Performatieve eigenschappen, gericht op de interactie van de gebruiker met het materiaal.

Aan de hand van vier verschillende samples (denim-ongeperst, jute-eenlaags, uniform-eenlaags glimmend en denim-vierlaags) is onderzocht hoe de belevingswaarde van het materiaal verschilt tussen (1) ongeperst en geperst, (2) eenlaags en vierlaags, (3) de typen materialen en (4) de afwerking. Aan dit onderzoek hebben tien personen deelgenomen, variërend in leeftijd en arbeidsniveau. De resultaten zijn hierna per type eigenschap samengevat. Zie bijlage C voor een uitgebreide beschrijving van de opzet van het onderzoek en de resultaten.

Sensorische eigenschappen

Er bestaan veel overeenkomsten tussen de materialen van de bovengenoemde samples, maar ook een aantal duidelijke verschillen. Over het algemeen worden de materialen beleefd als warm, waarbij er kleine verschillen zitten tussen de samples. Een aantal zichtbare overeenkomsten zijn het lage gewicht, de textuur en de zichtbaarheid van de vezels.

Interpretatieve eigenschappen

Jute heeft een kalme, natuurlijke en handgemaakte uitstraling. Het uniform-sample onderscheidt zich met een aantal interessante contrasten, als zowel agressief als kalm en als zowel natuurlijk als onnatuurlijk. Daarnaast worden de uniformstof en het jute als elegant ervaren. Ook de denim samples komen kalm over, waarbij de geperste variant tevens een vreemde en een professionele, maar toch speelse uitstraling heeft. Het ongeperste denim wordt daarentegen gezien als vrouwelijk en knus.

Emotionele eigenschappen

Alle samples zijn overwegend aangenaam, terwijl ze vooral aantrekkingskracht, nieuwsgierigheid, fascinatie en comfort opwekken. Daarentegen lokken de materialen ook enkele onaangename gevoelens uit, zoals verwarring en onzekerheid.

Performatieve eigenschappen

De voorgaande bevindingen sluiten goed aan bij het gedrag dat de deelnemers vertoonden. Het materiaal werd geaaid en gestreeld, het werd opgetild en van veraf en dichtbij bekeken. Daarbij werd het gebogen om de stijfheid en sterkte te voelen. Verder werd er op het materiaal getikt en geklopt en werd het als een waaier door de lucht heen en weer bewogen. Associaties met karton, kunst en linoleum werden regelmatig genoemd.

Uit dit onderzoek blijkt dat de nieuwe materialen bijzondere belevingswaarden bieden. De warme en zachte oppervlakken zijn fijn om aan te raken, wat ondersteund wordt door een kalme uitstraling en een comfortabel gevoel. De nieuwsgierigheid en fascinatie worden deels gewekt door de variatie in hardheid en flexibiliteit in combinatie met visuele patronen en zichtbare vezels die niet direct terugkomen in de textuur. De artistieke uitstraling biedt veel mogelijkheden voor decoratieve doeleinden waarbij het type materiaal en de afwerking veel invloed hebben op de professionele en de natuurlijke uitstraling van het materiaal.

3.4 Casestudies

Binnen RECURF hebben we drie cases nader uitgewerkt. We bespreken per case de uitgangspunten, de gebruikte materiaalcombinaties, de verwerkingstechnieken, het ontwerp en wat er aan doorontwikkeling mogelijk is. In de hoofdstukken 4 en 5 worden respectievelijk de milieu-impact en het businessmodel per case besproken.

Voor alle cases geldt dat de ontwerpstrategie 'sluiten van de grondstoffenstroom' is gehanteerd. Aanvullende strategieën zijn per case aangegeven. Bij het maken van het ontwerp zijn steeds de materiaaleigenschappen en kenmerken per materiaalcombinatie in kaart gebracht (zie figuur 3.6).

Armlegger met wollen snijafval voor Ahrend

Uitgangspunten
Ahrend zoekt naar een materiaal ter vervanging van armleuningen die voorheen van bakeliet en tegenwoordig van polypropyleen (PP) worden gemaakt. De gehanteerde circulaire ontwerpstrategie is een combinatie van het ontwerpen voor een lange levensduur, het ontwerpen voor vertrouwen/binding en het ontwerpen voor de- en re-assemblage.

Het belangrijkste uitgangspunt voor deze case is een verbeterde belevingswaarde van de armlegger door het bijmengen van wol in PLA- of TPS/PLA (Solanyl)-granulaat. We verwachten op basis van de eerste prototypes een toename in haptiek, thermisch gevoel en esthetiek.

Materiaalcombinatie, verwerkingstechniek en ontwerp
Het wollen snijafval van de stofferingsafdeling van Ahrend is vervezeld tot vezels met een lengte van 20 tot 30 mm. Deze zijn vermalen tot vezels met een lengte van 1 mm of minder. Dit poeder is gemengd met zowel PLA (van de firma Nature Works), als met Solanyl (van de firma Rodenburg BioPolymers). Het hoogste aandeel wol dat kon worden toegevoegd was 30%.

Met beide granulaten zijn vervolgens prototypes van de armlegger gemaakt met een warmpers. Door het hoge percentage vulling is het lastig de kunststof glad te laten uitvloeien op het mal- en productoppervlak. Het ontwerp is conform een klassieke armlegger die op een stoelbuis wordt gemonteerd. Afbeelding 3.7 toont het ontstaan van enkele prototypes.

MATERIAAL				
KENMERKEN	TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN			
	CHEMISCH	FYSISCH	MECHANISCH	PRODUCTIE-TECHNISCH
RUWHEID UITERLIJK GEUR SMAAK GELUID ...	SAMENSTELLING DUURZAAMHEID BRANDBAARHEID GIFTIGHEID VOCHTBESTENDIGHEID ...	DICHTHEID SMELTPUNT KOOKPUNT THERMISCHE STABILITEIT UITZETTINGSCOËFFICIENT ...	TREKSTERKTE ELASTICITEIT (STIJFHEID) HARDHEID KRUIP TAAIHEID ...	GIETBAAR SNIJDBAAR LASBAAR PERSBAAR SPUITGIETBAAR ...

Figuur 3.6 Overzichtsmatrix met voorbeelden van materiaaleigenschappen en kenmerken voor ontwerpers.



Afbeelding 3.7 Armlegger met wollen snijafval voor Ahrend (van wol tot granulaat tot prototype).

Geluiddempend paneel met textiel voor Sympany

Uitgangspunten

Een deel van de door Sympany ingezamelde, gesorteerde en als niet-herdraagbaar beoordeelde kleding wordt gebruikt in geluiddempende panelen. Deze onderstroom resttextiel wordt vervezeld en van de vezels worden non-woven matten gemaakt. Deze matten worden opgerold en vervolgens aangebracht in met profielen en doeken samengestelde panelen die in verschillende uitvoeringen kunnen worden gebruikt in het interieur. Voor deze case is onderzocht of de textielresten bruikbaar zijn voor het maken van een geluiddempend paneel, waarbij geprofiteerd wordt van de mogelijkheden om hard en zacht te combineren en om lasersnijtechnieken toe te passen voor de esthetische uitstraling van het product.

De gehanteerde circulaire ontwerpstrategie is een combinatie van het ontwerpen voor een lange levensduur en het ontwerpen voor vertrouwen/binding.

Materiaalcombinatie, verwerkingstechniek en ontwerp

In deze case is gebruik gemaakt van vervezeld denim en jute. Beide vezels zijn apart gemengd met PLA-draad, waarna de vezelpakketten zijn vernaald tot non-wovens. De massaverhouding was 50% PLA en 50% vezel. Deze non-wovens kunnen zowel warm als koud worden geperst. Met een aangepaste vorm van deze productietechniek, waarbij delen van de mal warm en andere delen van de mal koud zijn, kunnen uit één halffabricaat (de non-woven mat), producten worden gemaakt die zowel hard (daar waar kunststof gesmolten is) als zacht (daar waar kunststof niet gesmolten is) kunnen zijn. Deze techniek is gedurende het project ontdekt en is verder uitgewerkt door

experimenteren en samplen. De materialen kunnen goed en snel worden lasergesneden en lasergegraveerd en bieden een breed spectrum aan vormgevingsmogelijkheden.

De harde delen van het product zijn vanwege de aanwezige textielvezel meer geluiddempend dan andere harde materialen zo als metaal, glas of harde, niet-gevulde kunststoffen. De zachte gedeelten van de producten zijn goed geluiddempend, vergelijkbaar met speciaal voor geluiddemping geproduceerde materialen. Door meerdere lagen te combineren en te variëren met harde en zachte gedeeltes kunnen interieurpanelen met een hoge geluiddempende functie worden gemaakt (zie afbeelding 3.8). Het lasersnijden is een digitale techniek zonder mal, waarmee een grote verscheidenheid aan patronen kan worden gerealiseerd, in zowel het harde als het zachte gedeelte van een paneel. De patronen dragen bij aan de belevingswaarde van de panelen.

Terrasstoel met jute voor Starbucks

Uitgangspunten

Voor deze case heeft Starbucks de volgende drie uitgangspunten aangegeven:

- 1. Verwerken van de textiele reststroom van juten zakken waarin de koffie wordt aangevoerd.
- 2. Zoeken naar een materiaal dat hardhout in meubelen kan vervangen.
- 3. Ontwikkelen van een loungestoel die geschikt is voor gebruik op het terras.

Veel materialen die in de buitenruimte worden gebruikt, zijn klimaat- en vandalismebestendig. Door de zware eisen die aan de producten worden gesteld, worden nu vaak behandelde en gemengde materialen gebruikt, die daardoor moeilijk of niet te recyclen zijn. De gehanteerde circulaire ontwerpstrategie is een combinatie van het ontwerpen voor een lange levensduur, ontwerpen voor vertrouwen/binding en ontwerp voor de- en re-assemblage.

Materiaalcombinatie, ontwerp en productietechniek

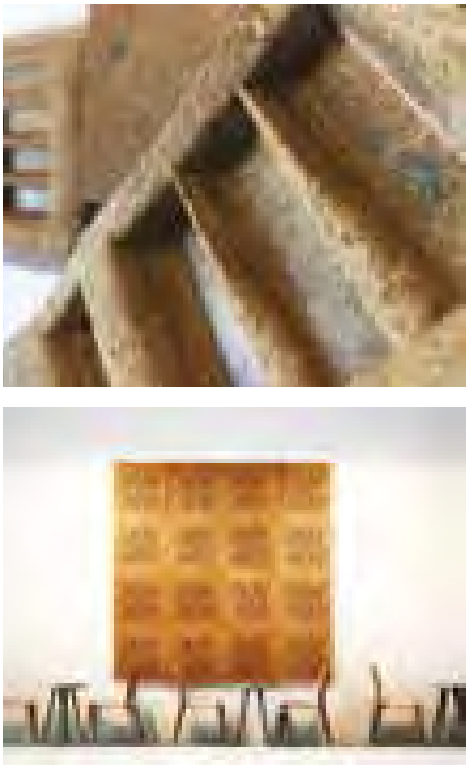
In het onderzoek zijn testen gedaan met het mengen van jutevezel met een thermohardende kunststof en een vulmiddel. Het betreft een gangbare vezel-versterkte onverzadigde polyesterhars (UP), waarbij de glasvezel is vervangen door jute. De hars is gedeeltelijk biobased (maximaal 50%). Het vulmiddel kalk komt uit een onthardingsinstallatie en is daarmee een afvalstroom die wordt herverwerkt.

Het mengsel polymeriseert onder hoge druk en temperatuur tot platen die worden gezaagd en gefreesd tot stoelonderdelen. Ook zijn er proeven gedaan met pigmenten om het materiaal in te kleuren. Hieruit bleek dat er zowel volledig ingekleurde alsook gemêleerde materialen kunnen worden gemaakt. De uitstraling is afhankelijk van de kleur en de hoeveelheid pigment.

Het ontwerp combineert een roestvrijstalen frame met een gangbare lattenzitting waarbij het hardhout is vervangen door het op jute gebaseerde materiaal (zie afbeelding 3.9). Met deze nieuwe materiaalcombinatie kan een product worden gemaakt dat aan de eisen voor gebruik op terrassen voldoet en ook binnen de kostenverwachting van Starbucks valt. In dit nieuwe materiaal is het mogelijke aandeel biobased en circulair materiaal maximaal 85%.



Afbeelding 3.8 Concepten, proefmodel en voorbeeld geluiddempend wandpaneel met textiel voor Sympany.



Afbeelding 3.9 Ontwerp terrasstoel met jute voor Starbucks.

3.5 Conclusies en aanbevelingen

Bij het ontwerpen met circulaire materialen kunnen zowel reguliere ontwerpmethodieken als circulaire ontwerpstrategieën worden toegepast. In het geval van biocomposieten wordt er ook gewerkt met materialen die nog relatief onbekend zijn en die daarnaast verschillen van de meest toegepaste virgin materialen.

Ontwerpen vanuit een materiaal

Ontwerpen vanuit een materiaal is een nog vrij onbekende strategie en is daarmee niet eenvoudig toepasbaar voor de meeste ontwerpers. Er wordt immers niet ontworpen vanuit een gebruikersbehoefte of een esthetisch uitgangspunt. Wel is het een bijzondere uitdaging deze aanpak te volgen en kan de gekozen andere invalshoek juist tot inspirerende nieuwe productideeën leiden.

Circulaire ontwerpstrategieën

Een van de uitgangspunten van RECURF was het sluiten van de grondstofstromen in de technische en biologische cyclus. Na de ontwikkeling van nieuwe materiaalcombinaties zijn de Material Driven Design-methode en andere, meer generieke ontwerpmethoden toegepast. Het ontwerpen voor de- en re-assemblage is een voorwaarde om delen van producten te kunnen recyclen of te hergebruiken. Voor deze circulaire ontwerptechnieken zijn de cases en de ervaringen in dit project een illustratie en een verdieping.

Het vertragen van de grondstofstromen en de daar- onder gecategoriseerde ontwerpstrategieën is nader onderzocht. De nieuwe biocomposietmaterialen zijn goed toepasbaar en bruikbaar voor producten die lang mee lijken te gaan op basis van mechanische eigenschappen. Er zijn nog geen gebruiks- en levensduurtesten uitgevoerd. De nieuwe circulaire en (grotendeels) biobased materialen zullen moeten 'concurreren' met alternatieve, vaak niet circulaire of niet biobased materialen die veelal goedkoper zijn en minder risico in productie, functionaliteit en levens- duur in zich dragen. Deze reguliere materialen zijn immers al bekend en worden breed toegepast.

Unieke belevingswaarde als startpunt voor circulaire producten

De aspecten 'vertrouwen' en 'emotionele binding' zijn binnen de circulaire ontwerpstrategieën onderzocht met de Material Driven Designmethode. Het ver- moeten bestaat dat vertrouwen in en binding met een product mede worden bepaald door de belevings- waarde van het materiaal.

De nieuwe RECURF-materialen hebben uitzonderlijke belevingswaarden op vier fronten:

- 1. esthetisch: de (herkomst van de) vezel is te herkennen
- 2. haptisch: de materialen voelen anders en prettiger aan
- 3. akoestisch: de materialen dempen het geluid maar hebben daarnaast zelf ook een andere, warmere klank als erop geklopt wordt
- 4. emotioneel: mensen reageren positief op materialen met deze herkomst en eigenschappen

Deze uitzonderlijke belevingswaarden kunnen wellicht worden gebruikt om nieuwe producten te ontwikkelen die behoeften beter kunnen bevredigen. Denk hierbij aan het gebruik van denimreststromen voor winkel- interieurs van lifestyle denimmerken, die een jonge milieubewuste doelgroep aanspreken. Of producten voor dezelfde doelgroep die door de nieuwe eigen- schappen het gangbare denimkledingassortiment verbreden (zonnebrillencase, een meubellijn). Om vast te stellen in hoeverre dit leidt tot een sterker vertrouwen in en een grotere binding met het nieuwe biocomposietmateriaal is nog verder en uitgebreider onderzoek nodig.

De Material Driven Design en circulaire strategieën dienen wel te worden gecombineerd met reguliere ontwerpmethodieken om tot goede productontwerpen te kunnen komen.

Ontwerpstudie volgens Material Driven Design: hoed en laptop/tablet sleeve

Davine Blauwhoff (TU Delft)

De Material Driven Design aanpak is integraal toegepast op non-woven denim/PLA, een van de kansrijke materiaalcombinaties. De experimenten met het materiaal (stap 1) en het onderzoek naar de eigenschappen ervan (stap 2) tonen aan dat het materiaal een aantal unieke eigenschappen heeft. De meest kenmerkende zijn het lage gewicht, de variatie in zowel stijfheid als hardheid en de relatief hoge sterkte. De variatie in hardheid en flexibiliteit in combinatie met visuele patronen en zichtbare vezels dragen bij aan de belevingswaarde van het materiaal. Interessante mogelijkheden zijn het spelen met de variatie in flexibiliteit in combinatie met patronen en 3D-vormen. Op basis hiervan is een visie ontwikkeld rondom het materiaal (stap 3) en zijn producten ontworpen (stap 4). De resultaten van deze twee laatste stappen worden hier beschreven.

Zoals onderzocht heeft het materiaal, ondanks dat het deels een reststroom is, juist veel unieke eigenschappen. Dit komt mede door de bijzondere samenvoeging van textiel en kunststof in één mate- riaal. Het ultieme doel is de waardering van afvaltextiel te verhogen en de perceptie van het materiaal te veranderen. 'Ik wil unieke producten en product-interacties creëren door gebruik te maken van de dualiteit (variatie in eigenschappen) van het materiaal, waarbij de tactiele kwaliteiten centraal staan.'

Het product kan enige openheid of ambiguïteit hebben om de tactiele interactie te stimuleren. Op deze manier kan de gebruiker het materiaal en het product ervaren door een 'speelse exploratie'. Dit is te vergelijken met een dans, waarbij twee individuen als één lichaam samensmelten, maar op sommige momenten hun eigen karakter benadrukken. Door de intrinsieke esthetische kwaliteiten van het materiaal, kunnen de producten vrij simpel zijn, maar creëert het gebruik zelf meer diepgang.

Vanuit de genoemde kwaliteiten richt de conceptontwikkeling zich op de volgende dualiteiten:

- flexibel – stijf
- zacht – hard
- glad – textuur
- tweedimensionaal – driedimensionaal

Textiel wordt vaak op het lichaam gedragen of gebruikt in een omgeving waar het lichaam contact mee heeft. Plastic daarentegen staat vaak wat verder buiten het lichaam en wordt meer toegepast in de objecten om ons heen. Nu het nieuwe materiaal uit zowel textiel als plastic bestaat, is het interessant om naar contexten te kijken waar deze uitgangsstoffen beide in voorkomen en waar tactiele interactie een duidelijke rol speelt. Daarom is gekozen om voor het verdere ontwerptraject de uitgangspunten 'interieur' en 'fashion' te nemen. Voor ieder uitgangspunt is een exploratieve mindmap gemaakt.

Vanuit de mindmaps zijn twee concepten verder ontwikkeld: een laptop/tablet sleeve en een hoed (zie afbeeldingen). Het idee van de laptop/tablet sleeve is geïnspireerd op Japanse vouwtechnieken,



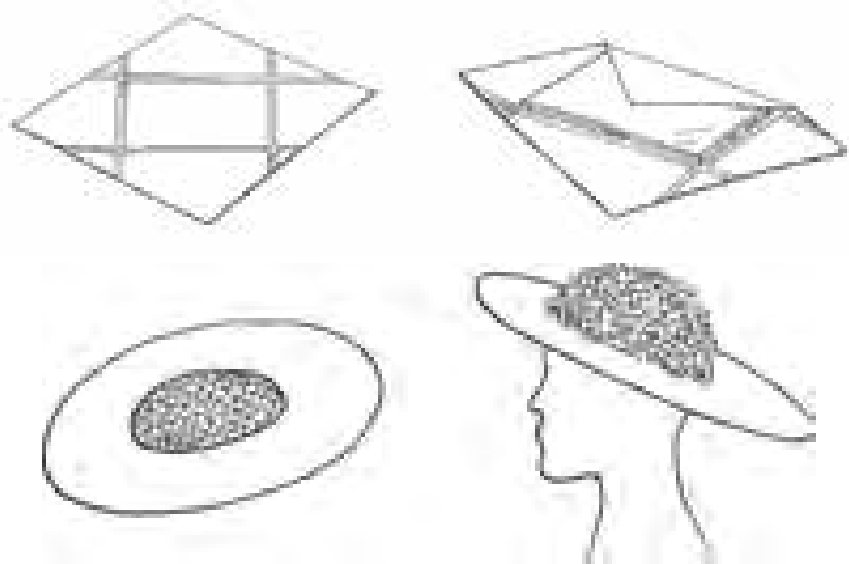
maar ook op het kaften van boeken en het verpakken van cadeaus. Wanneer een rechthoekig object schuin op een stuk papier wordt geplaatst, is er minder materiaal nodig om dit object geheel te bedekken. Daarbij lijkt dit proces een soort ritueel waarbij de tijd wordt genomen om iets waardevols te beschermen. Gedurende deze tijd is er constant aanraking met het materiaal. Op deze manier ontstaat er een functionele en deels speelse interactie.

Dit ontwerp van de sleeve benadrukt de dualiteit van flexibel–stijf en hard–zacht. Om de laptop/tablet te beschermen is de binnenkant zacht en zijn de vlakken aan de buitenkant hard. Door ruimte tussen de vlakken over te laten en met het aantal lagen te spelen, ontstaan er stijve en flexibele delen. Hierdoor is het mogelijk om het materiaal te buigen volgens de gegeven patronen.

Het tweede concept, de hoed, is ontwikkeld door verschillende lasersnijpatronen in het materiaal aan te brengen. Bij een specifiek patroon is het mogelijk om een plat materiaal driedimensionaal te vervormen. Een sample waar dit patroon in was gesneden werd door proefpersonen intuïtief op het hoofd geplaatst.

Het idee achter het ontwerp is dat hoeden vaak onhandig zijn om mee te nemen en daarbij veel ruimte innemen. Door de combinatie van het materiaal, de gebruikte technieken en de specifieke patronen is het mogelijk om een platte maar ook draagbare hoed te maken. Een bijkomende factor is dat de hoed de vorm van het hoofd aanneemt en daardoor goed aansluit.

Vanuit het materiaal gezien accentueert dit ontwerp het aanpassingsvermogen van 2D naar 3D. Daarbij wordt er gevarieerd met het aantal lagen, waardoor sommige delen minder flexibel zijn. Hierbij is ook de binnenkant van de hoed zacht gehouden om het directe contact met het lichaam aangenaam te houden.



Schetsen van de concepten.



Prototype van de tablet sleeve.



Prototype van de hoed.



4 EINDELEVENSDUURSCENARIO'S EN MILIEU-IMPACT

In dit hoofdstuk wordt de milieu-impact van biocomposieten uit textielresten en biobased plastics in kaart gebracht. Allereerst beschrijven we de verschillende eindelevensduurscenario's (ELS) die mogelijk zijn voor de verwerking van biocomposieten. Vervolgens maken we een kwalitatieve vergelijking van deze scenario's op basis van beschikbare literatuur. Tenslotte vergelijken we voor de drie cases de milieu-impact van de meest voor de hand liggende scenario's met behulp van een levenscyclusanalyse (LCA) quick scan. Aandachtspunten hierbij zijn: de gebruikte grondstoffen (biobased plastic en textiel), de gemaakte composietmaterialen en de tijdens het project ontworpen producten.

4.1 Inventarisatie

In een lineaire economie kent een product de levensfasen grondstofwinning – productie – gebruik – afdanking. De laatste fase betekent verbranden of storten. In een circulaire economie wordt een product aan het eind van zijn levensduur hergebruikt

of verwerkt tot een nieuw product (in de technische cyclus) of afgebroken tot CO₂ en water (in de biologische cyclus). Doordat in een circulaire economie zoveel mogelijk grondstoffen worden hergebruikt, hebben circulaire producten een lagere milieu-impact dan lineaire producten.

Een eindelevensduurscenario geeft aan wat er met een product gebeurt als het aan het eind van de gebruiksfase is gekomen. Afhankelijk van de eigenschappen van het product hebben de verschillende eindelevensduurscenario's uiteenlopende invloed op het milieu, de technische mogelijkheden en de financiële haalbaarheid.

In Nederland geeft de zogenaamde 'Ladder van Lansink' de algemeen erkende afvalhiërarchie weer. Van 'meest gewenst' tot 'minst gewenst' kent deze ladder de volgende treden: preventie, hergebruik, recycling, verbranding (met en zonder energieopwekking) en storten.

Het Utrecht Sustainability Institute heeft de Ladder verder uitgebreid naar de verschillende niveaus van circulariteit, ook wel bekend als ‘de tien R’s van Cramer’ (Cramer, 2015). Deze tien niveaus van circulariteit gaan over het zo hoogwaardig mogelijk in de kringloop houden van grondstoffen; ook hier staat de milieuvriendelijkste verwerkingswijze bovenaan:

- | | |
|------------------|---|
| 1. Refuse | : voorkomen van verbruik van grondstoffen |
| 2. Reduce | : verminderen van grondstoffen per producteenheid |
| 3. Renew | : herontwerpen van producten met circulariteit als uitgangspunt |
| 4. Re-use | : hergebruiken van producten (tweedehands) |
| 5. Repair | : onderhouden en repareren |
| 6. Refurbish | : opknappen van producten |
| 7. Remanufacture | : maken van nieuw producten van tweedehands |
| 8. Re-purpose | : hergebruiken van producten met ander doel |
| 9. Recycle | : verwerken en hergebruiken van materialen |
| 10. Recover | : terugwinnen van energie uit materialen |

Omdat RECURF de ontwikkeling van nieuwe producten op basis van een restmateriaal onderzoekt, is het voorkomen en verminderen (‘refuse’, ‘reduce’ en ‘renew’) van grondstoffen minder relevant.

Daarmee worden ‘re-use’ en ‘repair’ de milieuvriendelijkste scenario’s. Milieuvoordelen van het hergebruik en repareren van producten en materialen zijn vooral de besparing van grondstoffen en energie. De winning van grondstoffen is in het algemeen zeer milieubelastend; deze stap vervalt in dit scenario helemaal. Verder gebruikt in deze scenario’s het maken van een product minder energie dan het maken van een geheel nieuw product uit virgin grondstoffen. Maar er zijn ook negatieve milieueffecten verbonden aan deze scenario’s, zoals emissies door transport en extra schoonmaak- en opknapwerkzaamheden met bijbehorend gebruik van chemicaliën. Bij ‘refurbish’, ‘remanufacture’ en ‘re-purpose’ komen meer transportkosten kijken en worden mogelijk nieuwe materialen toegevoegd en productiestappen gemaakt met de negatieve

milieueffecten die hieraan verbonden zijn. Bij ieder nieuw productontwerp, ook met een nieuw materiaal, moet worden geprobeerd rekening te houden met de mogelijkheden van deze eindelevensduurscenario’s.

Omdat we binnen RECURF textiele reststromen hergebruiken in combinatie met biobased plastics, is het van belang te weten wat de mogelijkheden zijn voor de recycling van deze nieuwe biocomposieten. Voor het vervolg van dit hoofdstuk concentreren we ons daarom op de volgende drie eindelevensduurscenario’s:

1. Recyclen: herverwerken (mechanisch of (bio) chemisch)
2. Biodegraderen: terugvoeren in de biologische kringloop
3. Terugwinnen van energie: verbranden en energie terugwinnen, eventueel na vergisting

Om de milieu-impact hiervan te vergelijken met die van bestaande materialen hebben we twee benaderingswijzen gebruikt. Ten eerste een kwalitatieve beoordeling op basis van literatuuronderzoek (zie paragraaf 4.2). Vervolgens hebben we met behulp van een LCA-quick scan (zie paragraaf 4.3) een kwantitatieve vergelijking gemaakt voor de cases (zie paragraaf 4.4).

4.2 Vergelijking van drie eindelevensduurscenario’s voor biocomposieten

Voor de verschillende ELS is op basis van literatuuronderzoek nagegaan welke mogelijkheden en beperkingen er zijn voor biocomposieten. Een composiet bestaat per definitie uit meerdere verschillende materialen. Dit feit bemoeilijkt de recycling. De mogelijkheden en beperkingen van het recyclen van biocomposieten zijn nog relatief onontgonnen. Ook is er nog nauwelijks praktijkervaring of regelgeving op dit gebied. De uitkomsten van het literatuuronderzoek worden hieronder per scenario beknopt weergegeven.

Recycling

De begrippen hergebruik en recycling worden vaak door elkaar gebruikt. Ten onrechte, want hergebruik vindt plaats op productniveau, terwijl bij recycling een

product wordt afgebroken tot op materiaalniveau. Voor biocomposieten onderscheiden we drie mogelijkheden:

1. Mechanische recycling: het materiaal zodanig verkleinen dat het direct kan worden gebruikt om nieuwe producten van te maken. Het wordt daarom wel ‘materiaalhergebruik’ genoemd.
2. Chemische recycling: het materiaal afbreken tot de uitgangsstoffen. In het geval van bioplastics: afbreken tot op het niveau van monomeren, de bouwstenen van het plastic. Het wordt daarom wel ‘grondstoffenhergebruik’ genoemd. Hiervoor zijn vaak hoge drukken en hoge temperaturen nodig.
3. Biochemische recycling: vergelijkbaar met chemische recycling. Deze methode maakt echter gebruik van specifieke enzymen en kan daarom onder atmosferische druk en bij relatief lage temperaturen plaatsvinden.

Ad 1. Mechanische recycling

Mechanische bewerkingsvormen zijn bijvoorbeeld hakken, malen (zie afbeelding 4.1), vervezelen en granuleren. Evenals bij het ‘re-use’-scenario geldt hier dat de negatieve milieueffecten van de grondstoffenwinning vervallen. Mechanisch recyclen van biobased plastics en textiel heeft echter ook beperkingen:

- Vervuiling: contact van het materiaal met ongewenste stoffen (bijvoorbeeld tijdens het gebruik) kan leiden tot slechte mechanische eigenschappen.
- Degradatie: onder invloed van bijvoorbeeld zonlicht of verhoogde temperatuur kan de polymeerstructuur van de plastics worden veranderd. Ook kan in het gebruik en tijdens het mechanisch bewerken voor recycling de lengte van de textielvezels worden gereduceerd, waardoor de mechanische eigenschappen (zoals treksterkte) van het biocomposiet kunnen afnemen.



Afbeelding 4.1 Vermalen plaat van jute/PLA.

Om de mechanische eigenschappen van de gerecyclede materialen te verbeteren kunnen in het productieproces additieven en/of virgin material worden toegevoegd. Het aantal mogelijke mechanische recyclingstappen met een acceptabele achteruitgang van de materiaaleigenschappen verschilt aanzienlijk per soort biobased plastic (Soroudi & Jakubowicz, 2013).

Ad 2. Chemische recycling

Bij chemische recycling van biobased plastics worden de polymeerketens afgebroken tot de bouwstenen: de monomeren. Hiervan kan door polymerisatie weer kunststof worden gemaakt. Kanttekeningen bij chemische recycling zijn (Soroudi & Jakubowicz, 2013):

- Hoog energiegebruik en mede daardoor hoge kosten;
- Ingewikkeld en complex proces;
- Niet op alle biopolymeren toepasbaar.

Recycling reduceert de milieu-impact van producten en materialen. Het ideale scenario binnen RECURF lijkt dan ook een aantal (mechanische) recyclingrondes met een uiteindelijke biodegradatie. Op deze manier worden de grondstoffen weer in de biosfeer teruggevoerd en dienen ze weer als nutriënt voor bestaande biologische processen.

Ad 3. Biochemische recycling

Biochemische recycling is een relatief nieuwe methode voor biobased plastics. Binnen het RECURF-project zijn bij de Saxion Hogeschool in Enschede proeven gedaan met het enzymatisch afbreken van PLA. Dit biedt in principe de mogelijkheid om uit een RECURF-product aan het einde van zijn levensduur de textielvezels terug te winnen (zie kader).

Biodegraderen

De binnen RECURF ontwikkelde materialen bestaan uit biobased plastics en natuurlijke textielvezels. Bij de juiste keuze van de types biobased plastic en textielvezel wordt het mogelijk om de producten uiteindelijk te kunnen biodegraderen en zo het dichtst bij 100% circulariteit te komen. Hier zijn echter enige kanttekeningen op hun plaats (Yates & Barlow, 2013):

- Gebruikte materialen zijn zelden 100% zuiver. De gebruikte kunststoffen bevatten vrijwel altijd additieven, bijvoorbeeld om beter te vloeien tijdens productie of om minder bros te worden. Daarnaast blijken de gebruikte textiele restvezels onzuiverheden zoals verf, inkt en andere (synthetische) vezels te bevatten. Hierdoor is de geproduceerde compost niet overal inzetbaar.
- Lang niet alle biobased plastics zijn afbreekbaar. Van de plastics die wel afbreekbaar zijn kunnen slechts een paar types direct in de natuur worden afgebroken, de andere kunnen alleen worden gecomposteerd. Dit wil zeggen dat ze uitsluitend in een industriële installatie onder gecontroleerde omstandigheden kunnen worden afgebroken (zie ook hoofdstuk 2)
- Net als bij verbranding ontstaat er bij biologische afbraak CO₂, dat een negatieve klimaatimpact heeft.

Energieterugwinning

Dit scenario omvat de terugwinning van energie uit de materialen door middel van verbranding. Dit kan direct door het materiaal te verbranden of indirect door het materiaal eerst te vergisten tot methaan en dan dit gas te verbranden. Door rendementsverliezen wordt altijd meer energie gebruikt bij de productie van materialen dan er wordt teruggewonnen bij de verbranding ervan. Ook moeten eventuele ongewenste emissies uit de verbrandingsinstallaties worden verwerkt.

Tot slot

Beoordeling van eindelevensduurscenario's van biocomposieten is een complex onderwerp met veel verschillende variabelen. Zo is bijvoorbeeld het eindelevensduurscenario mede afhankelijk van de toepassing waarin het materiaal wordt gebruikt. Het is daardoor moeilijk om tot een eenduidige conclusie te komen. Verschillende onderzoeken geven aan dat in het algemeen het scenario 'mechanische recycling' van biocomposieten vanuit milieuoogpunt het gunstigst is (Rossi et al., 2015). Uitdagingen liggen in de kwaliteit van het recycalaat (Pawelzika et al., 2013) en in de praktische haalbaarheid van met name recycling en biodegradatie. Een goed recycling systeem stelt eisen aan herkenbaarheid of traceerbaarheid van materialen, logistieke uitdagingen, scheiding van verschillende stofstromen, etc.

4.3 Impactanalyse m.b.v. een LCA quick scan

Een levenscyclusanalyse (LCA) van een product is een inventarisatie van de milieu-impact van elke stap in de levenscyclus van dat product: van het winnen van de grondstoffen tot en met het afdanken van het product. Door de milieu-impacts van de verschillende productiestappen bij elkaar op te tellen, wordt een score verkregen die een indicatie geeft van de milieubelasting van het onderzochte product.

Er zijn meerdere aanbieders van LCA-studies. Een resultaat voor het ene product van de ene LCA-aanbieder kan echter slecht vergeleken worden met het resultaat voor het andere product van de andere LCA-aanbieder. Daarom is het gebruik van een LCA-methode beperkt tot het vergelijken van producten. Daarnaast is een officiële LCA een duur, complex en langdurig proces.

Binnen RECURF is daarom is gezocht naar een LCA-quickscan: een methode die snel en goedkoop een indicatie geeft van de milieu-impacts. Hiervoor is een aantal verschillende LCA quickscans met elkaar vergeleken: de EcoTool van Modint, de LCA-quickscan uit het aan RECURF voorafgaande HvA project 'Ontwerpen met biobased plastics', GaBi en het EVR model van Vogtlander.

Al deze methoden zijn gebaseerd op de ReCiPe methode, waarin milieueffecten op twee niveaus worden beschouwd: 'midpoint' en 'endpoint'. Midpoints geven de bijdrage van een product aan een specifiek milieueffect aan. Voorbeelden van midpoints zijn klimaatverandering en verzuring. De bijdragen van de verschillende midpoints worden gebundeld tot drie endpoints: de uiteindelijke schade aan de natuurlijke omgeving (biodiversiteit), aan de humane gezondheid en aan de grondstoffenvoorraad. De ReCiPe methode is in Nederland ontwikkeld en is wereldwijd bekend en veelgebruikt. Deze methode maakt gebruik van de Eco-invent database, een van de meest uitgebreide internationale LCA-databanken, die regelmatig wordt geactualiseerd.

Voor RECURF is besloten tot het gebruik van de EcoTool van Modint, want deze tool:

- is flexibel. De gebruiker kan een berekening van de milieu-impact eenvoudig aanpassen aan de werkelijke processen. Nieuwe producten leiden met nieuwe processen tot de wens om de berekeningen van de milieu-impact te kunnen aanpassen.
- bevat veel gegevens van zowel textiel als van biobased plastics.
- geeft de resultaten van de berekeningen als scores op vier verschillende midpoints: 'Invloed op klimaatverandering', 'Primair energiegebruik', 'Waterverbruik' en 'Landgebruik'. Zo kan de gebruiker de onderlinge scores zelf interpreteren;
- is ontworpen onder de auspiciën van het gerenommeerde LCA-instituut 'CE Delft'.

Voor de vergelijking van de scenario's concentreren we ons op 'Invloed op klimaatverandering' en 'Primair energiegebruik'. De bijdrage van de andere twee midpoints 'Landgebruik' en 'Waterverbruik' wordt sterk beïnvloed door de keuze van het soort PLA. Zo heeft een eerste generatie PLA veel land en water nodig, omdat deze wordt gemaakt uit speciaal daarvoor geteelde gewassen als mais en suikerriet. Maar een tweede generatie PLA wordt geproduceerd uit (industriële) reststromen, terwijl voor een derde generatie biobased plastic gekweekte organismen zoals bacteriën en algen worden gebruikt. Het zal duidelijk zijn dat 'Landgebruik' en 'Waterverbruik' sterk afhankelijk zijn van de generatie PLA die wordt gebruikt. De ECOTool kent alleen 1e generatie PLA.

De onnauwkeurigheid in de gebruikte methode is groot, waardoor de uitkomsten slechts indicatief zijn en niet kunnen worden gebruikt voor het trekken van definitieve conclusies.

Biochemische recycling

Selectieve afbraak van PLA in een PLA/jute-composiet met behulp van biologische en chemisch-mechanische processen

Pramod Agrawal (Saxion)

In het streven naar sluiting van de kringloop is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om PLA af te breken met behulp van zowel een biologisch als een chemisch-mechanisch proces. Het hierdoor vrijkomende originele resttextiel kan dan opnieuw gebruikt worden. De verwachting was dat de esterbindingen in PLA biologisch zouden kunnen worden afgebroken door enzymen (bijvoorbeeld lipase of cutinase) of chemisch door het te roeren met loog (bijvoorbeeld NaOH). Aanvullende vragen in dit onderzoek waren:

- Wat is het effect van roeren op de degradatiesnelheid?
- Welke invloed heeft de temperatuur op de afbraak van PLA?
- Welk type PLA is het meest geschikt om te worden afgebroken?

Onderzoeksaanpak

- Twee verschillende soorten PLA (2003D en 4060D) zijn gebruikt als granulaat, als film en als biocomposiet met Starbucks-jute. De film en het biocomposiet zijn gemaakt met behulp van een warmpers en in alle experimenten is steeds evenveel PLA gebruikt.
- Er zijn verschillende enzymen getest op hun vermogen om PLA selectief af te breken. Bij al deze experimenten was de temperatuur 50-60°C en de pH 8,0.
- Alle proeven met loog vonden plaats in een zogenaamde 'labomat'. Dat is een apparaat waarin door te roeren mechanische kracht op de inhoud kan worden uitgeoefend. In deze testen werd gevarieerd met de tijd, de NaOH-concentratie en de temperatuur.

Resultaten en conclusies

- PLA 4060D in een biocomposiet met jute werd binnen twaalf dagen afgebroken door de enzymen lipase en cutinase. Er werd niet geroerd en de temperatuur was 60°C. Nader onderzoek met een scanning electronenmicroscop (SEM-EDX) bevestigde dat het jute-oppervlak na de degradatie van PLA weer bloot kwam te liggen.
- De temperatuur en uitwendig uitgeoefende krachten blijken van grote invloed op de chemische afbraak van PLA. De snelste manier om zowel PLA 2003D als PLA 4060D af te breken was om na toevoeging van een 80 gram/liter NaOH-oplossing 8 uur in de labomat te roeren bij 90°C.
- We kunnen concluderen dat PLA in een biocomposiet met jute onder gecontroleerde omstandigheden zowel biologisch (door enzymen) als chemisch-mechanisch (door loog en roeren) selectief kan worden afgebroken. Dit brengt het sluiten van de kringloop weer een stap dichterbij.

4.4 Case studies

In tabel 4.2 is weergegeven welke RECURF-producten met welke originele materialen met behulp van de Modint EcoTool met elkaar zijn vergeleken.

In de LCA-berekeningen wordt de focus gelegd op de verschillen in het productieproces en in de materiaaleigenschappen. Er is dus van uitgegaan dat elementen als 'transport' en 'gebruik' voor de originele materialen en de RECURF-materialen in dezelfde toepassingen gelijk zijn.

RECURF-materialen zijn vaak sterker en stijver dan de gebruikte biobased plastics alleen. Omdat deze invloed onvoldoende is gekwantificeerd, is in de uitvoering van de LCA's steeds uitgegaan van dezelfde hoeveelheid benodigde grondstof (1000 kg).

Armlegger met wollen snijafval voor Ahrend

In de Ahrend-case is een armlegger gemaakt van PLA en wol (zie afbeelding 3.7) op basis van snijafval dat is ontstaan tijdens de productie van kantoormeubilair. Momenteel worden deze armleggers gemaakt van alleen polypropyleen (PP) en worden deze aan het einde van hun levensduur verbrand. Dit is het basisscenario waarmee we vergelijken.

Vergeleken scenario's en uitgangspunten

Voor de nieuwe armlegger, gemaakt van PLA en wol kijken we naar verbranding, recycling en compostering. Bij recycling gaan we ervan uit dat bij elke cyclus 10 % recyclelaat wordt vervangen door nieuw materiaal en dat deze 10% recyclelaat wordt verbrand of gecomposteerd. Omdat PP ook recyclebaar is en ook gevuld kan worden met wol, nemen we ook deze combinaties in de vergelijking mee. Voor de armlegger komen we hiermee op acht alternatieven, waarbij in de nummering het voorvoegsel 'A' staat voor 'Armlegger' (zie tabel 4.3).

De Modint EcoTool bevat helaas niet alle gegevens van de gekozen materialen en eindelevensduurscenario's. PP (niet in de ecotool) is daarom benaderd als PET (thermoplastisch polyester); verbranding van PLA (niet in ecotool) is benaderd als verbranding van katoen, eveneens een kort cyclisch materiaal; en compostering van textiel/wol (niet in ecotool) is in alternatieven A7 en A8 benaderd als compostering van PLA.

Resultaten quickscan

We gaan ervan uit dat Ahrend bij recycling alle armleggers aan het eind van hun levensduur zelf inneemt en zelf recycleert. De vergelijking van de acht verschillende alternatieven voor invloed op klimaatverandering en primair energiegebruik is

Tabel 4.2 Casussen voor LCA-quickscan m.b.v. Modint EcoTool.

Vezelleverancier	Casus	Origineel materiaal	RECURF-materiaal
Ahrend wollen snijafval	Armlegger	Polypropyleen (PP) en PP met snijafval	PLA met snijafval
Starbucks juten zakken	Terrasstoel	Tropisch hardhout	Biobased UP met jute
Sympany denimvezel	Geluiddempend wandpaneel	Polyester (PET)	PLA met denim

grafisch weergegeven in figuur 4.4. De achterliggende berekeningen en uitgebreide resultaten zijn te vinden in bijlage D.

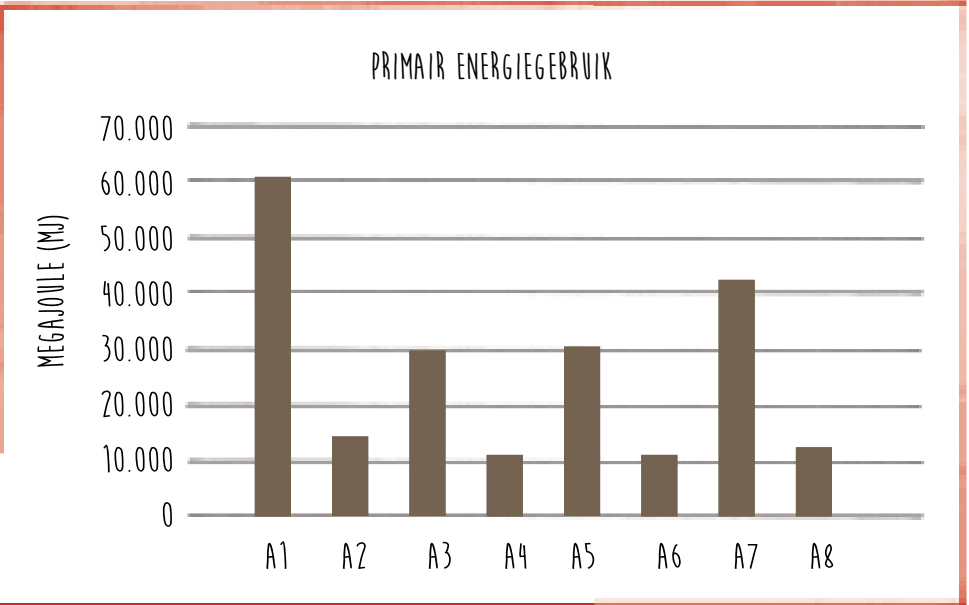
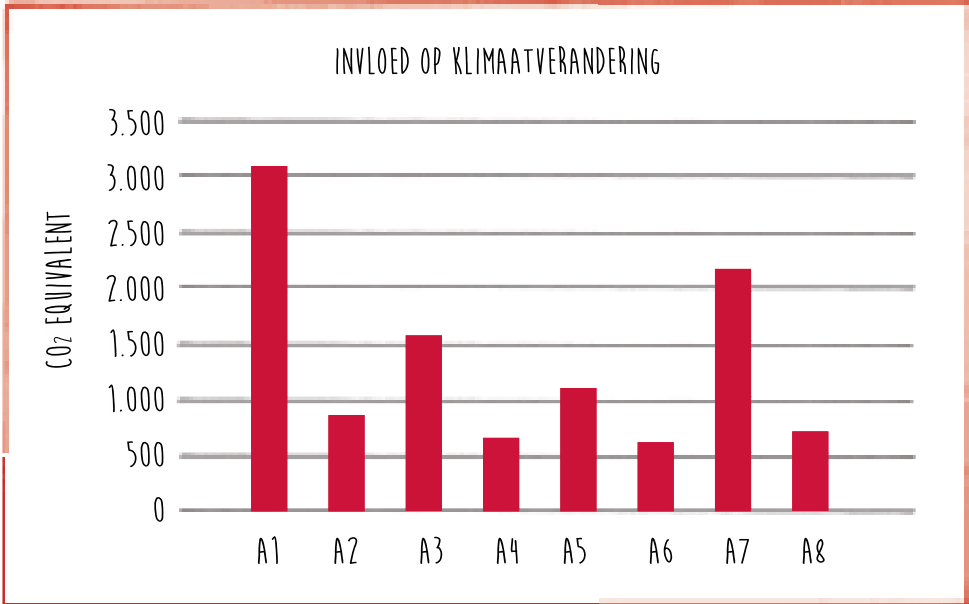
Evaluatie

- Een armlegger gemaakt van PLA en wol (A5) scoort aanzienlijk beter dan de huidige armlegger van PP (A1) als gekeken wordt naar invloed op klimaatverandering en energiegebruik. Dit komt doordat PP wordt gemaakt van fossiele grondstoffen en PLA van hernieuwbare grondstoffen.
 - Wanneer de nieuwe armlegger aan het eind van zijn levensduur wordt gerecycled in plaats van verbrand, wordt de impact nog verder verbeterd
- (A6). Hier moet echter wel retourlogistiek voor worden ingericht. Als dit ook wordt gedaan voor PP armleggers is de winst lager, maar scoort een armlegger gemaakt van tweedegeneratie-PLA en wol nog steeds beter dan de huidige PP armlegger.

 - PLA + wol heeft een lager soortelijk gewicht dan PP. Daarom kunnen er uit 1000 kg PLA + wol waarschijnlijk meer armleggers worden gemaakt dan uit 1000 kg PP. Dit effect is niet meegenomen.
 - Composteren levert in de LCA geen voordeel op, omdat dit een hogere milieu-impact heeft dan verbranden. De vrijkomende hoeveelheid broeikasgassen is bij benadering gelijk, maar verbranden levert ook nog bruikbare energie op.

Tabel 4.3 Onderzochte alternatieven van LCA-quickscan Armlegger.

Alternatief	Samenstelling	Bij einde levensduur
A1	PP	Verbranding
A2	PP	Recycling (– 10% verbranding + 10% virgin)
A3	PP + Wol	Verbranding
A4	PP + Wol	Recycling (– 10% verbranding + 10% virgin)
A5	PLA + Wol	Verbranding
A6	PLA + Wol	Recycling (– 10% verbranding + 10% virgin)
A7	PLA + Wol	Biodegradatie
A8	PLA + Wol	Recycling (– 10% biodegradatie + 10% virgin)



Figuur 4.4 Uitkomsten LCA-quickscan Armlegger per 1000 kg materiaal.

Geluiddempend paneel met denim voor Sympany

Het akoestisch (wand)paneel wordt gemaakt van 50% denimresten en 50% PLA. Er zijn diverse akoestische wandpanelen op de markt, gemaakt van combinaties van diverse materialen (zie afbeelding 3.8). We hebben er hier voor gekozen om te vergelijken met een wandpaneel gemaakt van één materiaal, namelijk PET. Hierdoor is het relatief makkelijk te recyclen. Zie tabel 4.5 voor de alternatieven die zijn vergeleken met behulp van de Modint EcoTool, waarin 'W' staat voor 'Wandpaneel'.

Bij de berekeningen van de milieu-impact van de panelen is ervan uitgegaan dat, naast transport en verpakking, ook het productieproces voor alle alternatieven hetzelfde is. De vergelijking focust dus alleen op de materialen. Ook hier is weer uitgegaan van steeds 1000 kg product. Verder is er bij de case van het akoestisch wandpaneel van uitgegaan dat bij recycling steeds 10% nieuw materiaal moet worden toegevoegd en dus 10% niet herbruikbaar is en wordt verbrand. Dit geldt zowel bij recycling van PET (W2) als bij recycling van PLA + Denim (5% PLA en 5% denim: W4 en W6)).

Omdat de Modint EcoTool ook hier niet alle data van de gekozen materialen en eindelevensduurscenario's bevat, zijn ook hier enkele benaderingen gedaan (zie bijlage D). De resultaten voor 'invloed op klimaatverandering' en 'primaire energiegebruik' zijn grafisch

weergegeven in figuur 4.6. De achterliggende berekeningen en uitgebreide resultaten zijn te vinden in bijlage D.

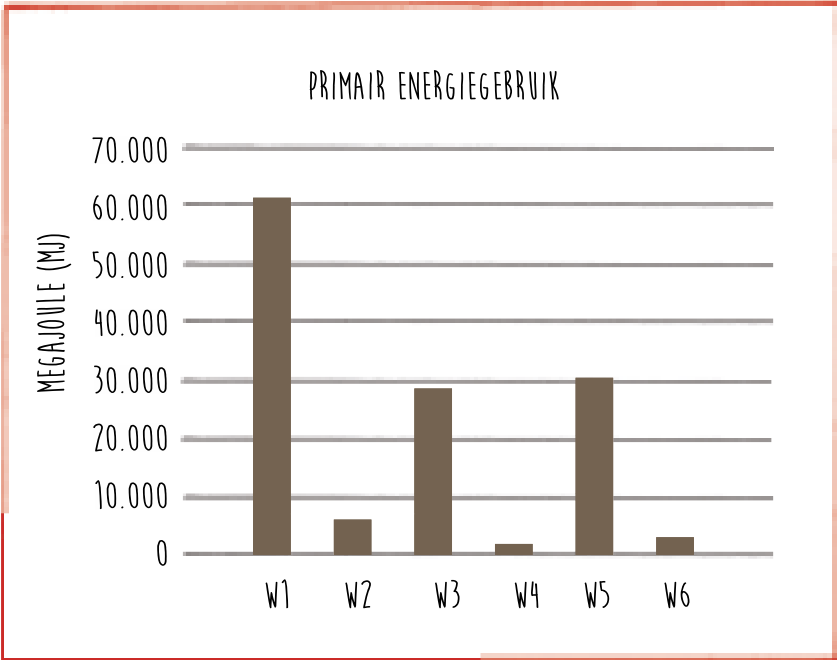
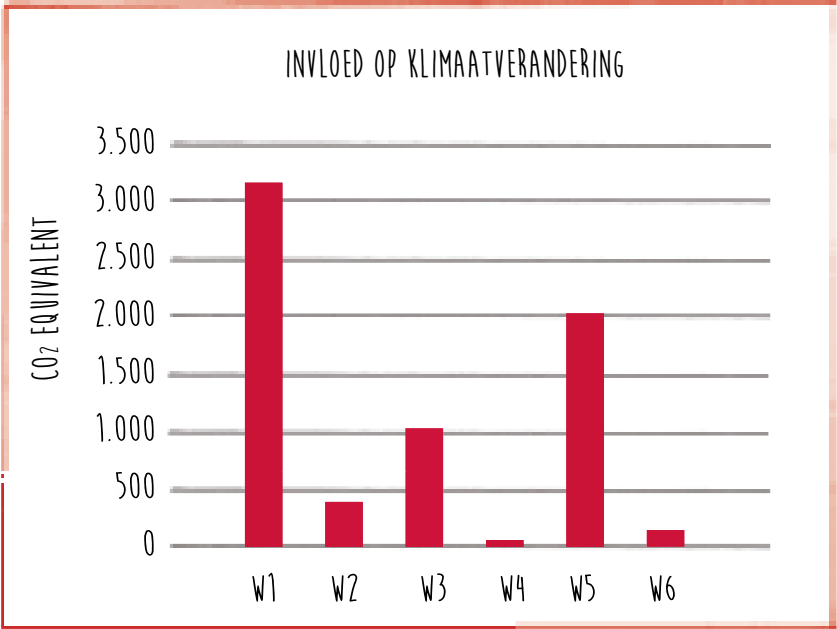
Evaluatie

De uitkomsten van de vergelijking van de verschillende alternatieven en scenario's van het wandpaneel komen overeen met de uitkomsten van de vergelijking van de armlegger.

- Een paneel gemaakt van PLA en denimresten scoort zoals verwacht beter op 'invloed van klimaatverandering' en 'primaire energiegebruik' dan een paneel gemaakt van PET dat is gemaakt van fossiele grondstoffen.
- Ook hier wordt het reduceren van de impact nog verder positief beïnvloed door het paneel terug te nemen en het te recyclen. Dit geldt echter ook voor het paneel van PET. Het verschil in milieu-impact tussen een paneel van PET en een paneel van PLA + denim is daarmee verwaarloosbaar.
- Denim bestaat in principe uit 100% katoen en is dus te composteren. In de praktijk wordt echter ook tot 5% PET vezels toegevoegd en bevat het kleurstof. Daardoor zou denim niet meer goed te composteren zijn. Hiermee is geen rekening gehouden.

Tabel 4.5 Onderzochte alternatieven van LCA-quickscan 'Wandpaneel'.

Alternatief	Samenstelling	Bij einde levensduur
W1	PET	Verbranding
W2	PET	Recycling (- 10% verbranding + 10% virgin)
W3	PLA + Denim	Verbranding
W4	PLA + Denim	Recycling (- 10% verbranding + 10% virgin)
W5	PLA + Denim	Biodegradatie
W6	PLA + Denim	Recycling (- 10% biodegradatie + 10% virgin)



Figuur 4.6 Uitkomsten LCA-quickscan wandpaneel per 1000 kg materiaal.

Terrasstoel met jute voor Starbucks

De bestaande terrasstoel van Starbucks bestaat uit een stalen frame met hardhouten latten. Deze wilden we vergelijken met een terrasstoel met latten gemaakt van een thermohardende onverzadigd polyesterhars (50% biobased) met jutevezels en kalk als vulmiddel. Een volledig biobased thermoplastische kunststof is niet geschikt voor langdurige buitentoepassingen en een 100% biobased thermoharde hars bestaat nog niet.

Bij het uitvoeren van de LCA-quicksan voor de terrasstoel kwamen veel complicaties aan het licht. Zo bestaan er geen Eco-inventdata van de gebruikte 50% bio-hars. Deze data bestaan wel van UP (onverzadigd polyester), maar de invloed van het 50% biobased zijn op de data is onbekend. In de gebruikte Modint Eco-Tool worden noch hardhout, noch UP ondersteund. De invloeden van FSC-certificering en ontbossing op de waarden in de ecotool zijn onbekend.

De uitvoering van de LCA-quicksan van de stoel was met zoveel aannames en onzekerheden omgeven dat we besloten hebben om de resultaten niet in dit hoofdstuk op te nemen. Voor geïnteresseerden zijn de uitkomsten van de LCA wel opgenomen in bijlage D. Het is onze verwachting dat de stoelelementen gemaakt van composiet in een LCA beter zullen scoren, maar binnen de scope van het RECURF-project kan deze verwachting onvoldoende betrouwbaar worden onderbouwd.

4.5 Conclusies en aanbevelingen

Tijdens het project zijn een aantal nuttige en aansprekende prototypes van producten ontwikkeld. De materiaaleigenschappen en hierbij met name de 'look & feel' (dus de esthetische en tactiele eigenschappen), zijn positief onderscheidende kenmerken. De beoordeling van de milieu-impact heeft laten zien dat deze prototypes een lagere impact hebben, en op sommige punten een vrijwel even hoge impact hebben verleken met de huidige gangbare producten.

Kansrijke eindelevensduurscenario's voor biocomposieten met textiele restvezels
Het gebruik van een quickscan LCA brengt haast per definitie onnauwkeurigheden met zich mee. Het is immers slechts een benadering. Toch kan de quickscan worden gebruikt om inzicht te krijgen in en verder na te denken over de verschillende alternatieven.

Recycling kan de milieu-impact nog verder verlagen. Als dit ook wordt gedaan bij producten gemaakt van op fossiele grondstoffen gebaseerde kunststoffen, worden de verschillen kleiner. Dan is een goede afweging tussen beide materialen noodzakelijk op basis van functionaliteit en gewenste hernieuwbaarheid. Voor recycling is wel de inrichting van een retourstelsysteem noodzakelijk, inclusief duidelijke markering van het type materiaal en voldoende volume om op een efficiënte manier en in voldoende mate te recyclen. Op dit moment wordt immers nog maar een beperkt deel van de synthetische kunststoffen gerecycled.

Composteren blijkt geen interessant scenario voor de onderzochte toepassingen. Het biedt geen voordeel ten opzichte van verbranden of recyclen vanwege de broeikasgassen die vrijkomen. Daarbij bevatten biobased plastics geen voedingsstoffen voor de bodem en mogen de textielvezels geen vervuiling bevatten. Voor specifieke toepassingen waarbij bioafbreekbaarheid gewenst is, kan het toevoegen van textielvezels overigens wel gunstig zijn omdat dit mogelijk de snelheid van het afbreekproces kan verbeteren. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van (schone) jutevezels in combinatie van in de grond afbreekbare biobased plastics voor bijvoorbeeld plantenpotjes (Visser, 2015).

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek naar eindelevensduurscenario's
Mechanische recycling is goed mogelijk bij biocomposieten gemaakt van thermoplasten en textiele restvezels. Het materiaal kan worden verkleind en opnieuw gebruikt met productietechnieken als persen, spuitgieten en printen. Er is echter wel aanvullend onderzoek nodig bij iedere ontwikkelde biocomposiet om te bepalen wat de specifieke eigenschappen zijn van het gerecyclede materiaal en hoeveel nieuw materiaal eventueel moet worden toegevoegd om de gewenste eigenschappen te behouden.

Omdat we op een nieuwe manier werken met nieuwe materialen, zijn veel gegevens nog niet beschikbaar in de materiaaldatabases voor de LCA's. Het is noodzakelijk dat deze databases gevuld worden om scherpere analyses te kunnen maken, waarbij meer eenduidige conclusies kunnen worden getrokken en materiaalkeuzes beter onderbouwd kunnen worden.

Biochemische recycling met enzymen is een interessant eindelevensduurscenario, omdat hiermee zowel de textiele vezels alsook de monomeren van de PLA weer worden teruggewonnen. Het is dan theoretisch mogelijk om weer virgin PLA te produceren. Omdat er veel moeite wordt gedaan om laagwaardig afvaltextiel terug te winnen, is nog onzeker of dit scenario economisch haalbaar is. Daarnaast staat deze methode technologisch nog in de kinderschoenen.

Kansen voor verder verlagen van de milieu-impact en sluiten van kringlopen
Om de milieu-impact van de nieuwe materialen verder te verlagen is een meer gedetailleerde vergelijking noodzakelijk voor iedere te ontwikkelen toepassing, rekening houdend met de specifieke materiaal-eigenschappen. Composietmateriaal met textielvezels heeft in het algemeen voordelen met betrekking tot stevigheid, treksterkte en gewicht. Hierdoor is het voor sommige toepassingen mogelijk de hoeveelheid materiaal die gebruikt wordt te verlagen. Het gebruik van minder materiaal voor dezelfde toepassingen en doeleinden kan in een LCA-berekening positief worden gewogen.

Verder zou in een uitgebreidere vergelijking van de milieu-impact ook moeten worden gekeken naar de verschillen tussen theorie en praktijk. Welke obstakels zijn er bijvoorbeeld op dit moment nog ten aanzien van de recycling van materialen? Hoe worden de materialen gescheiden en hoe komen ze weer terug bij de producent? Op dit punt is het een voordeel binnen het RECURF-project dat de leveranciers van het resttextiel ook de afnemers van de nieuw ontwikkelde producten kunnen zijn. Hier liggen kansen om de theorie naar de praktijk om te zetten en de kringloop daadwerkelijk te sluiten.

Ontwerpstudie: Set vinnen voor een surfplank

Nick Fatel, Jannine van der Velden, Roel Lichtenberg, Thijs Andriessen en Freek Lieshout (HvA-studenten)

Achtergrond

Surfers zijn steeds vaker op zoek naar natuurlijke materialen voor hun uitrusting, omdat zij bewust met de aarde willen omgaan. De vinnen die onder een surfplank zitten, breken regelmatig af en komen dan in zee terecht. Als de vin gemaakt wordt van biocomposiet, is de milieubelasting na afbreken minder groot. Daarnaast zijn in het biocomposiet de gerecyclede vezels goed te zien, waardoor de surfvin een natuurlijke uitstraling krijgt die goed past bij de doelgroep.

Materiaal

Een standaard surfvin wordt van glasvezelversterkte epoxyhars gemaakt. Bij de toepassing van een biocomposiet spelen de opname van water en de invloed daarvan op de buigspanning een belangrijke rol. De surfvin gemaakt van een biocomposiet van 50% denim/50% PLA bleek wel een hoge sterkte te hebben, maar nog niet goed bestand tegen zeewater te zijn. Ook de stijfheid bleek relatief laag.

Product

Er is gekozen voor de meest gebruikte verbindingsmethode: een FSC (fin control system) vinnenset voor een 'Thruster configuratie' surfboard. Deze vinnenset biedt daarom de grootste afzetmarkt en is relatief eenvoudig te produceren. Dit betekent dat er drie verschillende vinnen moeten worden geproduceerd: een rechter-, een linker- en een middenvin.

Productie

Voor de eerste productiestap worden platen gemaakt door meerdere lagen non-woven denim/PLA samen te smelten in een warmpers. Uit deze platen worden met een lasersnijder de contouren van de verschillende vinnen gesneden. Dan wordt een aantal van deze vinvormige plaatjes tegelijk opnieuw warmgeperst in een matrijs. Hierdoor krijgen de vinnen de juiste dikte, de juiste dubbele kromming, de juiste vormdetails en een extra gladde buitenkant, die de waterbestendigheid van de vin verhoogt. Er is aangetoond dat het mogelijk is, maar een economisch verantwoorde vervanging van de surfvin van epoxy/glasvezel door een vin van denim/PLA vereist nog veel nader onderzoek.



Surf vinnen set van PLA/denim.



5 TOEGEVOEGDE WAARDE EN BUSINESSMODELLEN

In dit hoofdstuk onderzoeken we welke circulaire businessmodelstrategieën er zijn en hoe deze kunnen worden toegepast in de textielindustrie en voor bio-composieten op basis van textiele restvezels. Daarnaast laten we zien wat voor voordelen het oplevert wanneer de leverancier van de restvezel tevens klant is van de producten die ermee gemaakt worden. In de drie cases is dit verder uitgewerkt en is besproken hoe de businessmodellen zo circulair mogelijk kunnen worden gemaakt. Tenslotte volgen conclusies uit de praktijkcases.

5.1 Circulaire businessmodelstrategieën

In paragraaf 3.2 bespraken we de circulaire ontwerpstrategieën die geschikt zijn voor het vertragen en sluiten van grondstofstromen. De centrale vraag in deze paragraaf is welke businessmodelstrategieën hierbij passen.

Vertragen van de grondstofstromen

Businessmodelstrategieën die bijdragen aan het vertragen van de grondstofstromen ten behoeve van een circulaire economie zijn (Bocken et al., 2016):

- Toegang-en-prestatiemodel of 'access and performance model'. Het leveren van een dienst waarmee de behoeften van de klant worden vervuld zonder dat de klant het product bezit. Het product blijft hierbij eigendom van de leverancier en de klant betaalt voor het gebruik.
- Verlenging productwaarde of 'extended product value'. Gebruikmaken van de restwaarde van afgedankte producten door ze in te zamelen en te repareren of herfabriceren, waarna ze opnieuw kunnen worden verkocht.
- Klassiek langelevensduurmodel of 'classic long-life model'. Businessmodel dat er op is gericht een lange levensduur te realiseren met producten die zodanig zijn ontworpen en gemaakt dat ze lang meegaan en gemakkelijk kunnen worden gerepareerd.
- Stimuleren van efficiëntie of 'encourage sufficiency'. Oplossingen die de behoefte aan en het verbruik van materialen verminderen. Denk aan garanties en diensten waarmee producten kunnen worden gerepareerd of een upgrade kunnen krijgen.

Bij deze businessmodellen worden producenten beloond om producten te maken die goed presteren en lang meegaan. Dit in tegenstelling tot businessmodellen gericht op 'kopen', waarbij leveranciers gebaat zijn bij producten die minder lang meegaan, zodat er sneller herhaalaankopen worden gedaan.

Sluiten van de grondstofstromen

Voor het daadwerkelijk sluiten van de grondstofstromen kunnen de volgende circulaire businessmodelstrategieën worden ingezet (Bocken et al., 2016):

- Verlenging materiaalwaarde of 'extended resource value'. Gebruik maken van de restwaarde van materialen door ze in te zamelen en nieuwe waarde te geven door hergebruik en recycling. De materialen worden dus opnieuw als grondstof ingezet in dezelfde of andere producten.
- Industriële symbiose of 'industrial symbiosis'. Reststromen van het ene productieproces worden hierbij als grondstof gebruikt voor een ander productieproces. Dit is een procesgeoriënteerde aanpak waarbij gebruik wordt gemaakt van de geografische nabijheid van de verschillende bedrijven.

5.2 Circulaire businessmodellen met textielstromen

In de textielindustrie zijn al diverse initiatieven te vinden die grondstofstromen proberen te vertragen of te sluiten, waarbij verschillende circulaire businessmodelstrategieën worden toegepast. We bespreken hier enkele initiatieven en laten zien welke toepasbaar zijn voor de nieuwe biocomposieten op basis van textiele restvezels.

Bestaande initiatieven

Kleding

Hergebruik van nog draagbaar textiel is een voorbeeld van een circulair businessmodel dat zich al heeft bevestigd. Hierbij staat 'verlenging productwaarde' centraal. Dit businessmodel is de kern van het bedrijf Sympany. Zij zamelt gebruikte kleding in en brengt deze opnieuw op de markt, via de tweedehands winkel Kaufhaus maar ook via verkoop in ontwikkelingslanden. Een aanzienlijk deel van de textielstroom betreft echter niet-herdraagbare kleding, de zogenaamde onderstroom. Het volume

van deze onderstroom in textiel is groter dan dat er op dit moment toepassingen voor zijn. Er bestaat daarom een grote behoefte aan nieuwe productideeën en businessmodellen op het gebied van recycling. Oftewel er is behoefte aan 'verlenging materiaalwaarde'.

Jute

Koffiebrander Lincoln & York shreddert en verkaart juten koffiezakken en verwerkt deze als onderlaag in vloerbedekking (Lincoln & York, 2016). Dit zou geduid kunnen worden als industriële symbiose, waarbij het afval van het transportproces van koffiebonen – namelijk de juten zakken – worden ingezet als grondstof voor het vervaardigen van tapijt. Er is daarnaast een breed aanbod van diverse kleinere initiatieven die juten koffiezakken verwerken in producten als tassen (Etsy, z.d.). Hier is sprake van 'verlenging materiaalwaarde'.

Spijkerbroeken

Het Nederlandse bedrijf MUDJeans heeft het 'toegang-en-prestatie-model' geïntroduceerd voor spijkerbroeken. Klanten kunnen een spijkerbroek leasen voor een maandelijks bedrag (MUDJeans, z.d.). Na een jaar, of als de broek versleten is, kan de klant de broek terugzenden en een nieuwe broek uitkiezen. MudJeans recyclet het materiaal. Op deze manier heeft de klant altijd een modieuze jeans en kan MudJeans het materiaal hergebruiken.

Ook G-star past recycling toe, in twee vormen: hoogwaardige recycling van spijkerbroeken naar nieuwe stof voor spijkerbroeken (denim-to-denim) en laagwaardige recycling naar isolatiemateriaal. (bron: Sitra, 2015). Beide vormen kunnen worden gezien als 'verlenging materiaalwaarde'.

Bedrijfskleding

Het bedrijf Dutch aWEARness produceert 100% polyester werkkleding, die volledig recyclebaar is. Het bedrijf heeft een partnernetwerk ingericht en een circulair managementsysteem geïmplementeerd waarbij alle partners in de keten betrokken zijn. Via dit systeem wordt bijgehouden welke materialen zijn gebruikt en waar in de keten de producten zich bevinden, wat terugname en recycling mogelijk maakt. Ook hier is sprake van 'verlenging materiaalwaarde'. Klanten kunnen kiezen om de kleding te kopen of om een periodieke betaling te doen (Sitra, 2015). In dit laatste geval is er sprake van gebruik van het 'prestatie-model'.

Adviesbureau Circle Economy heeft 250 businessconcepten in de mode- en textielindustrie geïdentificeerd en daaruit 10 cases geselecteerd voor diepgaander onderzoek (Sitra, 2015). Een van de conclusies van Circle Economy is dat veel initiatieven voor hergebruik en recycling van textiel zich nog in de beginfase van de levenscyclus bevinden, maar dat ze onderdeel zijn van een groeiende trend – de circulaire economie – en daarom als beloftevol worden gezien voor de toekomst (Sitra, 2015).

Strategieën voor biocomposieten met textiele restvezels

Omdat we binnen RECURF uitgaan van een materiaalreststroom, kan er geen sprake zijn van verlenging van de levensduur van het oorspronkelijke product ('verlenging productwaarde') maar ligt de focus op 'verlenging materiaalwaarde'. Hierbij wordt het materiaal een tweede leven gegeven door het toe te passen als grondstof voor een nieuw materiaal of product. Aangezien de materiaalreststromen ontstaan door een ander bedrijfsproces dan waarin ze zijn ontstaan, kan dit ook geclassificeerd worden als een vorm van 'industriële symbiose'. Zo is in de case van Starbucks de reststroom jute afkomstig van het transportproces van koffiebonen en wordt de stof vervolgens gebruikt in het productieproces van bijvoorbeeld meubilair.

5.3 Leverancier als 'launching customer'

Binnen RECURF zijn drie bedrijven betrokken die textiele restvezels hebben én geïnteresseerd zijn in producten die met de nieuwe biocomposieten van textiele restvezels kunnen worden gemaakt. Wanneer bedrijven met textiele reststromen de rol van afnemer of distributeur van de met de reststroom gemaakte producten op zich nemen, noemen we dit 'leverancier is klant'. Dit levert een interessant circulair businessmodel op, maar die nieuwe producten moeten bij voorkeur ook weer teruggenomen en zo hoogwaardig mogelijk gerecycled worden.

Leverancier is klant

Door de rol van launching customer te vervullen, stimuleert de leverancier van reststromen het hergebruik van het materiaal door de eerste afzetmarkt te creëren. Een dergelijke initiële afzet kan interessant zijn om de zogenaamde investment gap te overbruggen

waarmee innovaties vaak te maken hebben (zie kader).

Binnen RECURF kunnen de leveranciers van textiele reststromen op de volgende wijze de rol van launching customer vervullen:

1. Ahrend laat voor de productie van de stoelen in zijn portfolio onderdelen vervaardigen van biocomposiet, gebaseerd op wolsnijafval.
2. Sympany gaat een samenwerkingsverband aan met een distributeur van geluiddempende wandpanelen, gemaakt van gerecyclede kleding.
3. Starbucks wordt voor het interieur van zijn koffiehuizen afnemer van stoelen die zijn gemaakt van gerecyclede juten koffiezakken.

Organiseren van de retourstroom

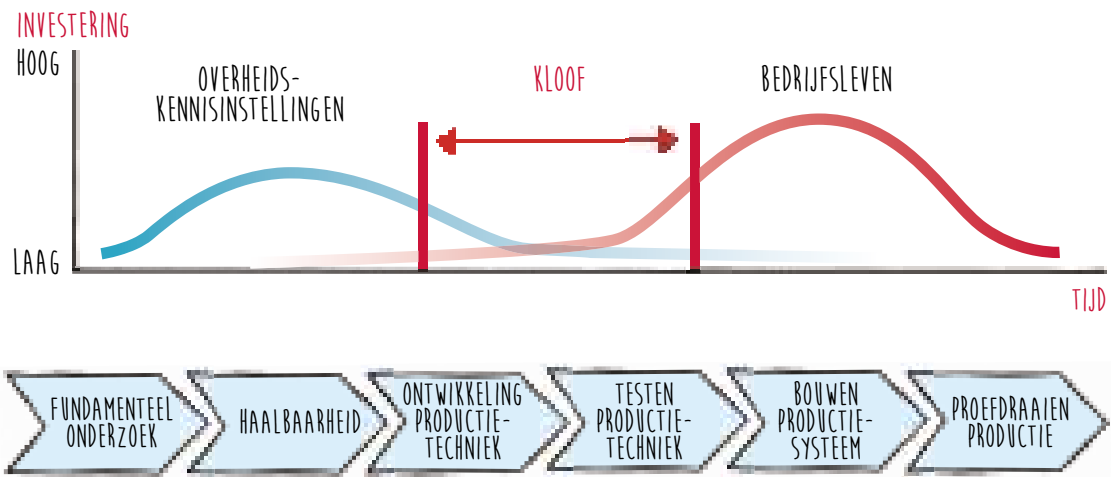
Uit het onderzoek naar de eindelevensduurscenario's is gebleken dat (mechanische) recycling voor de producten die gemaakt zijn van het nieuwe biocomposiet de meest gunstige milieu-impact heeft (zie hoofdstuk 4). Dit betekent dat voor zo'n product gekeken moet worden hoe het aan het eind van zijn levensduur weer kan worden teruggenomen en door middel van recycling nog een volgende bestemming kan krijgen.

Voor de terugname van het materiaal kan gebruik worden gemaakt van verschillende circulaire businessmodelstrategieën. Het 'toegang-en-prestatie-model' biedt kansen voor de terugname omdat in deze strategie de aanbieder van de dienst eigenaar blijft van de producten en daarmee van de materialen. Deze aanbieder weet waar de producten zijn en blijft er via de dienstverlening controle over houden; immers, indien het product versleten is zal de dienst met een mindere kwaliteit worden geleverd. Het onderhoud kan derhalve worden gecombineerd met de terugname. Als bij een onderhoudsactiviteit (controle, schoonmaken, reparatie) blijkt dat het product of een deel van het product moet worden vervangen, dan kan het product worden teruggenomen.

Wanneer gebruik wordt gemaakt van het businessmodel 'lange levensduur' en het product bijvoorbeeld gewoon wordt verkocht, is het lastiger om de retourstroom te organiseren. Hierbij moet extra aandacht worden besteed aan de herkenbaarheid van het materiaal, de organisatie van de inzameling en aan de recycling.

Investeringskloof

Voor de ontwikkeling van materialen en producten en het opstarten voor productie op industriële schaal zijn vaak hoge initiële investeringen nodig. Een mal om een onderdeel of product te spuitgieten of te persen vereist bijvoorbeeld enkele tienduizenden tot honderdduizenden euro's investering. Dit noemen we de 'investment gap in the innovation process'. Het overbruggen van deze 'investeringskloof' vereist een minimaal afzetvolume om de investering terug te verdienen. Een launching customer kan met een initiële afzet zorgen voor een dekkingsbijdrage van de vaste kosten, zodat de kans op levensvatbaarheid – prijstechnisch gezien – in andere marktsegmenten wordt vergroot.



Investeringskloof in het innovatieproces (gebaseerd op: Gao (z.d.))

5.4 Casestudies

Een circulair businessmodel bestaat uit de volgende hoofdelementen (Schaltegger, Hansen & Lüdeke-Freund, 2016):

- 1. een *waardepropositie* die naast economische waarde ook ecologische waarde realiseert voor de klant en alle andere belanghebbenden;
- 2. een *waardenetwerk* dat waardecreatie en levering mogelijk maakt door het bedrijf en de partners, voor alle belanghebbenden;
- 3. een *verdienmodel* dat economische waarde creëert, terwijl de ecologische waarde behouden blijft.

Voor elk van de drie cases bespreken we de waardepropositie en het hiervoor benodigde waardenetwerk. Daarnaast gaan we in op enkele financiële aspecten.

Armlegger met wolsnijafval voor Ahrend

Waardepropositie
Ahrend houdt als producent van kantoormeubilair wol over als snijverliezen bij de productie van zittingen en rugdelen voor stoelen. Ahrend wil dit textiele restmateriaal hergebruiken en verwerken in armleuningen voor enkele klassieke stoelmodellen die door het bedrijf zelf worden geherintroduceerd (zie afbeelding 5.1). De armlegger die voorheen van bakeliet werd gemaakt, wordt nu vervaardigd van een alternatief zoals hout of kunststof. Een mengsel van textiel snijafval met PLA is een aantrekkelijk alternatief vanwege het circulaire karakter: het past bij de herintroductie van de modellen en lijkt kostenefficiënt en comfortabel.

Waardenetwerk
De stoelenfabriek van Ahrend is toeleverancier van snijafval, de designers van Ahrend ontwikkelen het product, de planningsafdeling van Ahrend neemt de regie over de productieketen en de verkoop-



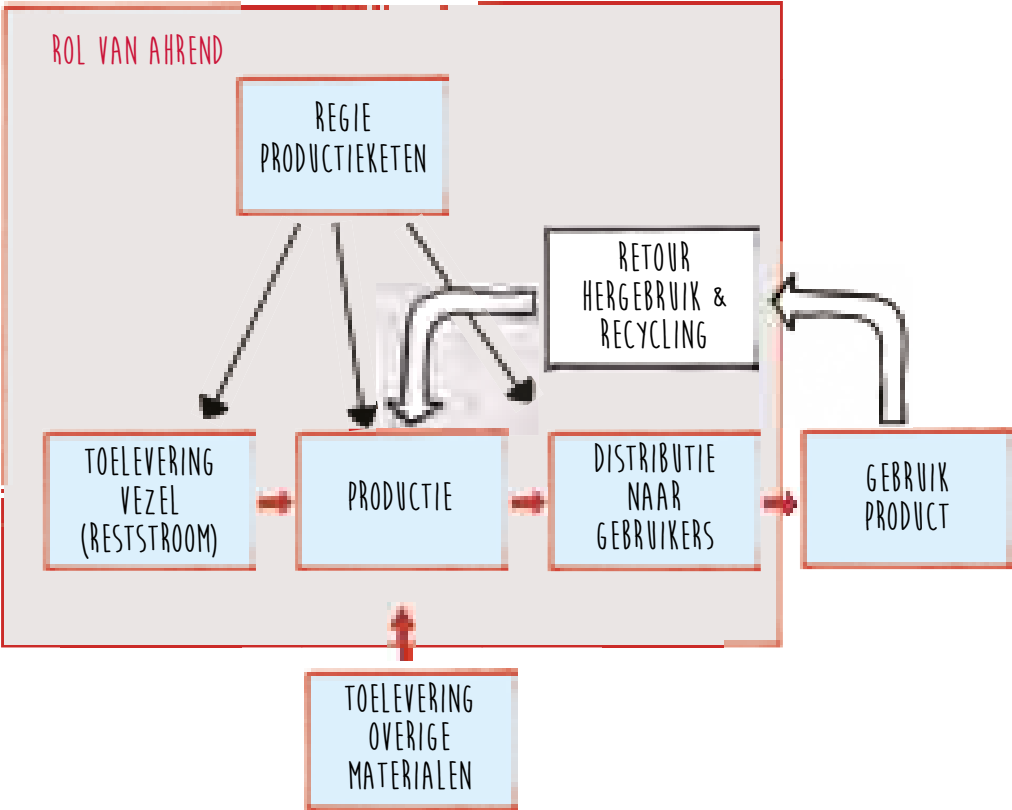
Afbeelding 5.1 Klassiek stoelmodel waarvoor de armlegger van biocomposiet wordt gemaakt.

organisatie van Ahrend zorgt voor de verkoop van de stoelen. Ahrend kan samenwerken met gespecialiseerde kunststofverwerkers als compounders, spuitgieters of persers en recyclers met ervaring in biobased plastics en/of biobased composieten.

Ahrend is reeds actief in het sluiten van zijn kringlopen en faciliteert hergebruik van al zijn producten. Het toepassen van leaseconstructies, waarbij meubilair eigendom blijft van de leverancier, groeit in de meubelbranche en is een optie om een goede basis te leggen voor realisatie van de retourstroom. Zie figuur 5.2 voor een schematische weergave van de materiaalstromen.

Financiële aspecten
Een hogere kostprijs per leuning van gerecycled materiaal is volgens Ahrend acceptabel, mits de armleggers aan alle reguliere eisen voor een armlegger voldoen, het comfort hoger is en het circulaire verhaal klopt en aanspreekt. Ahrend verwacht een afzet van de retrostoel met biocomposiet-armleggers van circa 250 stuks per jaar (oftewel 500 armleggers).

De kostprijs van de armleggers van biocomposiet is sterk afhankelijk van de afzetvolumes, waarbij schaal-groottevoordelen een rol spelen. De in het kader getoonde indicatieve kostprijsberekening laat zien dat de kostprijs van een armlegger meer dan gehalveerd wordt als de jaarlijkse afzet stijgt van 250 stoelen (500 armleggers) naar 1000 stoelen (2000 armleggers).



Figuur 5.2 Schematische weergave van de materiaalstromen 'armlegger' en de rol van vezelleverancier hierin.

Indicatieve berekening van de productiekostprijs van een armlegger

Geschatte kosten per armlegger bij afzet van respectievelijk 250 en 1000 stoelen (2 armleggers per stoel) per jaar.

Uitgangspunten:

- kostprijs productiemal: € 15.000,-
- opstartkosten productie met onbekend materiaal: € 10.000,-
- afschrijving in 4 jaar

	250 stoelen/jaar (500 armleggers)	1000 stoelen/jaar (2000 armleggers)
Materiaal, productie en logistiek	€ 3,50	€ 3,50
Afschrijving productiemal in 4 jaar	€ 7,50	€ 1,90
Afschrijving opstartkosten productie in 4 jaar	€ 5,-	€ 1,25
Productiekostprijs	€ 16,-	€ 7,- (afgerond)

Geluiddempend wandpaneel met textiel van Sympany

Waardepropositie
In de architectuur wordt meer en meer gezocht naar geluiddempende materialen en alternatieve interieurafwerkingen. Ook neemt de aandacht voor circulair bouwen toe. Indien de textiele reststromen in combinatie met PLA kunnen worden verwerkt tot geluiddempende designpanelen met veel toepassingsmogelijkheden en een hoge toegevoegde waarde, is dat een belangrijke motivatie voor het recyclen van niet-herdraagbaar textiel.

Een mogelijke afzetmarkt zijn retailbedrijven in kleding die hun imago als duurzaam bedrijf willen versterken door de inzet van circulaire geluiddempende wandpanelen.

Waardenetwerk
Sympany levert de grondstof voor de textiele restvezel vanuit ingezamelde kleding die niet als herdraagbaar kan worden verkocht. De rol van ondernemer kan worden ingevuld door een samenwerkingsverband tussen Sympany en een specialistische partij op het terrein van geluiddempende panelen, zodat er een nieuwe afzetmarkt ontstaat (zie figuur 5.3).

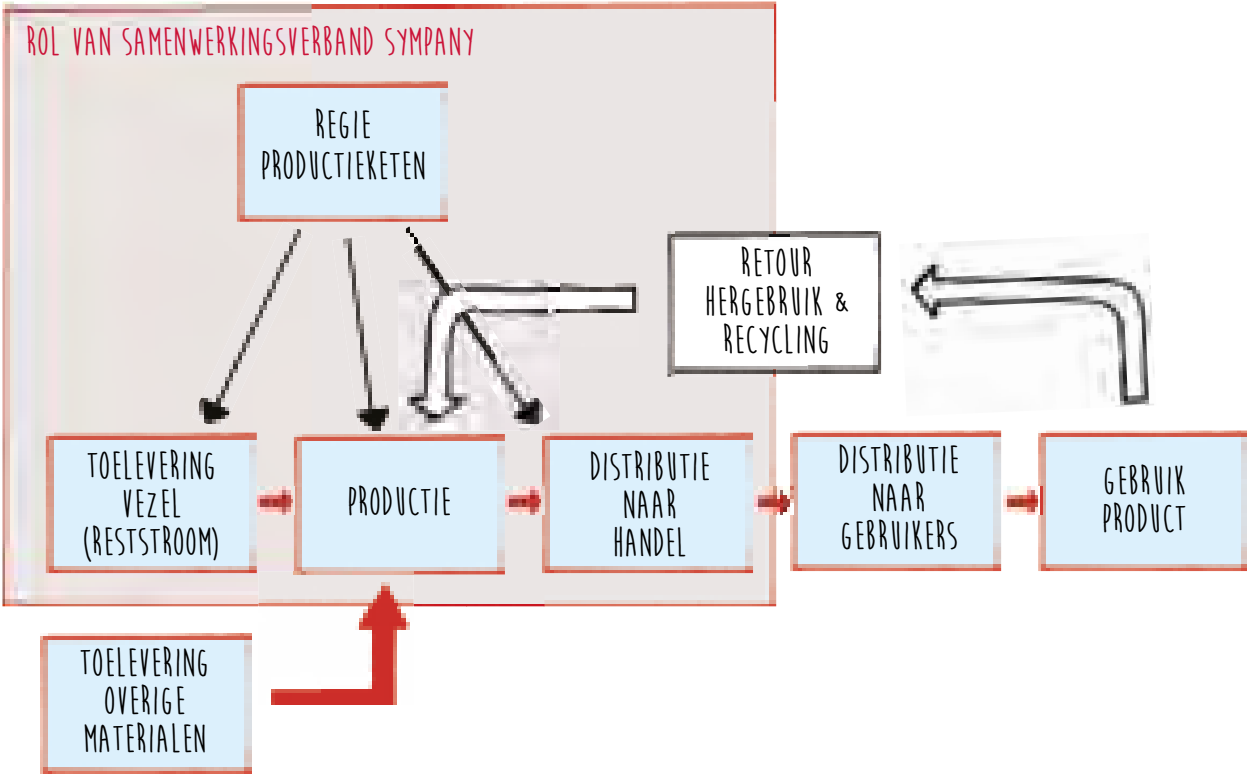
Bij een duurzaam, op basis van gerecyclede materialen vervaardigd wandpaneel, past een logistiek concept dat al direct bij aanvang de retourlogistiek ontwerpt en inricht. Dit concept garandeert dat de wandpanelen aan het einde van hun levensduur terugkomen voor recycling van het materiaal.

Voor de case van de wandpanelen hebben projectpartners van RECURF een schets gemaakt van de verschillende processtappen in de productie van akoestische panelen op basis van gerecycled textiel. In deze schets zijn ook alle partners binnen het waardenetwerk

geïdentificeerd (zie Bijlage E). Verschillende projectpartners van RECURF zouden een rol kunnen spelen bij de productie en het vermarkten van geluiddempende wandpanelen. Dit levert waarde op voor de verschillende partijen. Voor Sympany bijvoorbeeld krijgt de onderstroom van textiel meer waarde door de toepassing in geluiddempende panelen. Frankenhuis voegt waarde toe door middel van zijn vervezelingsproces. Havivank produceert non-woven matten met toevoeging van de PLA-vezel en krijgt daarmee een nieuwe afzetmarkt. NPSP kan de non-woven matten verwerken tot panelen. Daarnaast is er ruimte voor nieuwe partijen om rollen in te vullen, zoals laseren en snijden, assembleren van onderdelen, inrichten van de retourstromen en recyclen van wandpanelen aan het einde van de levensduur. Kortom, waardecreatie door en voor een veelheid van marktpartijen.

Financiële aspecten
Er worden nu al textiele reststromen verwerkt in geluiddempende producten. Zo zijn er isolatiematerialen op basis van textiele restvezel op de markt, alsook geluiddempende panelen waarin textiele restvezel is verwerkt. Geluiddempende panelen bestaan vaak uit een aluminium frame dat met textielresten wordt gevuld en wordt afgewerkt met nieuw textiel. Omdat deze textielresten worden gebruikt als vulling, zijn ze niet zichtbaar en hebben ze concurrentie van alternatieve niet-circulaire materialen. Textielresten hebben in deze toepassing daarom maar een relatief beperkte toegevoegde waarde.

Het beoogde geluiddempende wandpaneel wordt geproduceerd uit één materiaal, een biocomposiet van textiel en PLA, waarbij het gebruikte textiel wel zichtbaar en voelbaar is. Ook kan het paneel op creatieve wijze (digitaal) worden nabewerkt. De unieke uitstraling creëert toegevoegde waarde en door de efficiëntere productie zijn de kosten naar verwachting lager.



Figuur 5.3 Schematische weergave van de materiaalstromen 'wandpaneel' en de rol van de vezelleverancier hierin.

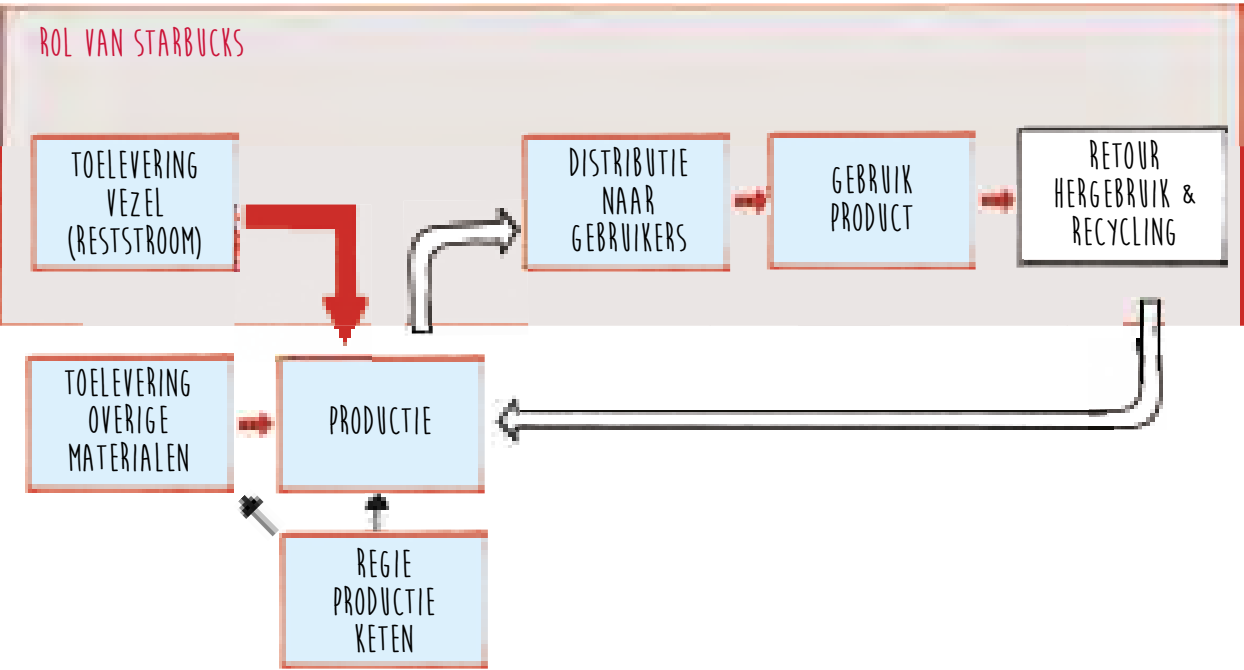
Terrasstoel met jute voor Starbucks

Waardepropositie
In Amsterdam heeft Starbucks een aparte ontwerpafdeling die de inrichting van koffiehuisen samenstelt. Koffiehuizen van Starbucks wereldwijd mogen kiezen wat ze uit deze collectie in hun winkel willen hebben. In deze collectie wordt straks een terrasstoel aangeboden, waarin geen hardhout maar een composiet met jute wordt gebruikt, gemaakt van de juten zakken waarin de koffie is vervoerd. De stoelen voldoen aan alle gebruikseisen die vanuit de koffiehuisen worden gesteld, maar zijn zichtbaar van een ander materiaal gemaakt dan tropisch hardhout. Dit andere materiaal heeft een duurzame uitstraling, wat het imago van Starbucks als duurzaam bedrijf versterkt.

Waardenetwerk
De koffiebranderij van Starbucks in Amsterdam is de toeleverancier van jute, het hoofdkantoor van Starbucks kan worden gezien als distributeur van

de stoelen die van dit materiaal zijn gemaakt en de Starbucks koffiehuisen zijn de eindgebruikers. In dit businessmodel dient een ondernemende meubelmaker de regie over de productieketen voor zijn rekening te nemen (zie figuur 5.4).

Het meest voor de hand ligt dat één van de voorkeursleveranciers van Starbucks de rol van ondernemer en leverancier van de terrasstoel op zich neemt. Hier komt immers een ondernemersrisico bij kijken. Starbucks geeft namelijk geen afnamegarantie. Het hoofdkantoor van Starbucks schrijft weliswaar voor uit welke meubels de vestigingen hun keuze kunnen maken, maar binnen het goedgekeurde assortiment hebben de vestigingen enige vrijheid om zelf meubels te kiezen. Starbucks wil zelf niet investeren in ontwikkeling van meubilair en wenst dat een leverancier de ontwikkelkosten voor zijn rekening neemt en erop vertrouwt dat deze uiteindelijk – onder meer via afzet aan Starbucks – worden terugverdiend.



Figuur 5.4 Schematische weergave rol vezelleverancier en materiaalstromen ‘terrasstoel’ en de rol van de vezelleverancier hierin.

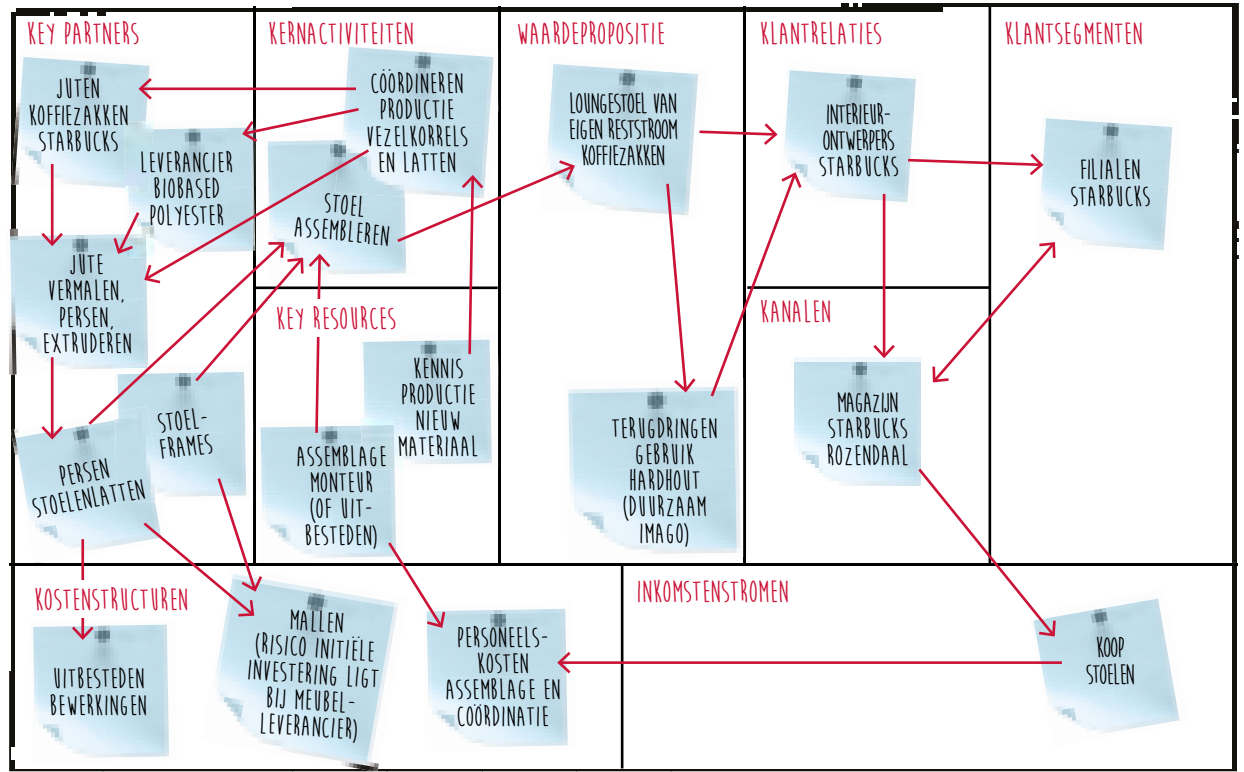
Momenteel worden de meubels vanuit een centraal magazijn in Rozendaal verzonden aan de vestigingen in de EMEA-regio (Europe, Middle East and Africa). Dit proces zou een goede basis kunnen zijn voor het inrichten van de retourlogistiek aan het einde van de levensduur, waarbij de stoelen worden teruggeleverd aan de meubelfabrikant. Deze kan dan de stoelen ‘refurbishen’ (herfabriceren) en wederom aanbieden aan het centrale magazijn van Starbucks. Indien refurbishment niet mogelijk is, kan de meubelfabrikant de onderdelen demonteren en afzonderlijk recycleren, waarbij de latten van jutecomposiet worden vernalen om opnieuw in producten te worden verwerkt. Momenteel maakt Starbucks echter gebruik van lokale aannemers die – bij de inrichting van een vestiging – tevens zorg dragen voor de afvoer van het oude interieur.

De vraag is of de kosten van de internationale retourlogistiek opwegen tegen de opbrengsten van de recycling. Een verbetering om op kortere termijn de

levensduur van een stoel te verlengen is het terbeschikkingstellen van een reparatieset waarmee beschadigde latten in de stoel eenvoudig kunnen worden vervangen. Dit is een voorbeeld van het ‘klassieke langelevensduurmodel’.

Financiële aspecten
De globale businesscase laat zien dat de stoelen kunnen worden geproduceerd binnen het door Starbucks gestelde budget. Als een van de drie productlijnen voor buitenstoelen binnen de interieurlijnen van Starbucks EMEA de terrasstoel van jutecomposiet gaat produceren, kan de jaarlijkse afzet in potentie een omvang krijgen van 2000 stuks. Dit vormt een interessante initiële afzet voor een meubelfabrikant om de investiment gap van een nieuw product te overbruggen.

Het Business Model Canvas van de terrasstoel voor Starbucks (leverancier = klant) is weergegeven in figuur 5.5.



Figuur 5.5 Het Business Model Canvas voor de terrasstoel voor Starbucks.

5.5 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de cases kunnen we de hier volgende conclusies trekken en aanbevelingen doen ten aanzien van de toepassing van circulaire businessmodellen en de waarde die dit in potentie oplevert voor het netwerk.

Circulaire businessstrategieën

‘Verlenging materiaalwaarde’ is het startpunt van RECURF, maar de zes strategieën voor circulaire businessmodellen (zie paragraaf 5.2) sluiten elkaar niet uit en kunnen vaak gecombineerd worden toegepast. Op basis van de drie cases zien we de volgende toepassingsmogelijkheden:

- *Toegang-en-prestatiemodel:* producten gemaakt van de nieuwe biocomposieten (retrostoelen Ahrend, wandpanelen Sympany en terrasstoelen Starbucks) kunnen via een leaseconstructie in de markt worden gezet om daarmee de kans te vergroten dat de producten retour komen aan het einde van de levensduur.
- *Verlenging productwaarde:* door herfabricage of het leveren van een reparatieset kan de levensduur van de producten worden verlengd.
- *Klassiek langelevensduurmodel:* een solide ontwerp dat de levensduur verlengt leent zich bij uitstek voor interieurproducten.
- *Stimuleren van efficiëntie:* mede uit kostenoverwegingen moet niet meer materiaal worden gebruikt dan nodig is. RECURF streeft niet naar de puurste vorm van efficiëntie, waarin überhaupt geen materiaal nodig is. In dat geval zouden in de Starbucks koffiehuisen geen zit- maar staanplaatsen gerealiseerd moeten worden.
- *Verlenging materiaalwaarde:* het feit dat in de stoelzitting een thermoharder als kunststof wordt gebruikt, reduceert de mogelijkheden tot recycling aanzienlijk. Een thermoharder kan immers niet smelten en biologische afbraak is gezien de weersbestendigheid en samenstelling ook geen optie. Een stoelzitting zou aan het eind van zijn levensduur vermalen kunnen worden en als vulstof kunnen dienen bij de productie van

nieuwe stoelzittingen. Het is maar zeer de vraag of het volume van de stromen groot genoeg is om het inrichten van retourstromen en recycling te rechtvaardigen.

- *Industriële symbiose:* als het lukt om de textiele reststroom te gebruiken in een productieproces dichtbij de plaats waar het afval ontstaat, en het volume van de reststroom aansluit op de behoefte, is er echt sprake van industriële symbiose. De Ahrend-case met wolsnijafval uit de productie biedt hiertoe de beste kansen.

Leverancier is klant

De businessmodellen voor de drie cases (Starbucks, Ahrend en Sympany) voor producten gemaakt van biocomposieten zijn alledrie gebaseerd op het principe ‘leverancier is klant’, waarbij de eigenaar en leverancier van de reststroom ook de rol van afnemer en/of distributeur vervult. Dit lijkt een kansrijk model om een eerste afzetmarkt voor nieuwe producten te creëren. Hiermee kunnen de initiële opstartkosten bij de productie ervan (de investeringskloof) worden overbrugd en wordt de levensvatbaarheid van nieuwe producten vergroot.

In de rollen die de leverancier in het waardenetwerk vervult, zitten echter nuanceverschillen:

- In de Ahrend-case zou de regiefunctie over het waardesysteem door Ahrend zelf worden ingevuld. Niet het bedrijf zelf maar de klanten zijn de directe afnemers. Doordat Ahrend zijn bestaande afzetkanalen kan gebruiken lijkt de kans op succes groot. Door de centrale rol die Ahrend vervult lijkt het proces van retourneren, hergebruiken en recyclen – bijvoorbeeld door leaseconstructies waarbij het eigendom bij Ahrend blijft – eenvoudig realiseerbaar.
- In de Sympany-case wil Sympany een samenwerking realiseren met een partij die kennis heeft van de markt van geluiddempende panelen, waarbij het samenwerkingsverband de rol van distributeur vervult en de regie over het waardenetwerk voor zijn rekening neemt, waaronder de organisatie van de productie. Het vinden van deze marktpartij met kennis van de akoestische markt is cruciaal voor het welslagen van dit businessconcept.

- In de Starbucks-case dient de regiefunctie over het waardesysteem door een ondernemende meubelfabrikant te worden ingevuld. Wel zijn de (eerste) eindklanten reeds specifiek gedefinieerd, namelijk de koffiehuisen van Starbucks.

De retourlogistiek is pas zinvol wanneer is aangetoond dat de oude stoelzittingen kunnen worden herverwerkt in nieuwe. In dat geval kan Starbucks een belangrijke rol spelen bij het opzetten van de retourlogistiek.

Ontwerpstudie: Aktetas

Daphne Vrijenhoek, Joeri de Vries, Koen Smit, Kirsten Molle en Peter Heijink (HvA studenten)

Dit ontwerpteam experimenteerde met non-woven matten gemaakt van 50 % jute en 50 % PLA draad. Zij ontwierpen een aktetas bestaande uit een flexibele plaat die is opgebouwd als een sandwich: het kernmateriaal koud geperst cellulose/PLA wordt ingepakt in twee platen van warm geperst jute/PLA. Hierdoor ontstaat een materiaal dat flexibel en tegelijk ook stijf is. Het materiaal is te verwerken als een stevig en dik leer: het beschermt kwetsbare spullen en is goed te verbinden door middel van stikken met bijvoorbeeld juten garen.

De platen worden ook hier met een lasersnijder op maat gesneden. Om het materiaal te buigen wordt het materiaal aan één kant verhit en vervolgens omgezet. Tussenschotten in de aktetas worden geplaatst met drukkers.

Deze uitvoering van de studenten is nog niet 100% biobased: de draagriem is van nylon, de gesp is van PP en de slotjes en drukkers zijn van metaal. Het lijkt zeker haalbaar om deze onderdelen ook uit te voeren in een biobased materiaal, waarmee weer een bijdrage kan worden geleverd aan het sluiten van de kringloop.



Aktetas van jute/PLA.



6 CONCLUSIES EN VERVOLG

De centrale onderzoeksvraag 'hoe kunnen textiele reststromen en biobased plastics gecombineerd worden toegepast in circulaire producten zodat ze elkaar versterken?' is beantwoord door de uitvoering van vier deelonderzoeken en verschillende materiaal- en ontwerpstudies. In dit hoofdstuk vatten we de belangrijkste bevindingen samen. Daarna laten we zien hoe de resultaten in de praktijk kunnen worden toegepast en evalueren we de drie cases. Tot slot bespreken we de mogelijkheden voor vervolgonderzoek.

6.1 Materiaal en toepassingsmogelijkheden

Kansrijke materiaalcombinaties en verwerkingstechnieken

Binnen RECURF is met name gewerkt met juten koffiezakken, wollen snijafval en denim. Deze textiele restvezels kunnen goed gecombineerd worden met PLA en PLA/TPS-blends. Er is gekozen voor PLA en TPS omdat deze biobased plastics goed verkrijgbaar zijn en passen in een circulaire economie. Ze kunnen worden gerecycled, maar ook worden afgebroken. De restvezels kunnen in verschillende vormen worden verwerkt: als weefsel, lange of korte vezels of vezel-

stof. Dit levert de volgende kansrijke verwerkingsmogelijkheden op, waarbij de laatste twee de beste mogelijkheden bieden voor seriematige productie:

1. Persen van weefsel met granulaat of film van biobased plastics;
2. Persen van vervezelde non-woven matten, waarin PLA draad is verwerkt;
3. Smitgieten, extruderen of 3D-printen met granulaat van vermalen vezel en biobased plastics.

Er is een database beschikbaar met samples en datasheets. De database maakt inzichtelijk welke combinaties van biobased plastic, textiele reststroom en productie- en verwerkingstechnieken leiden tot maakbare biocomposieten. Tevens zijn in de database van de kansrijke combinaties indicatieve waarden van bepaalde mechanische eigenschappen (treksterkte en trekstijfheid) en van productieparameters (druk, temperatuur, opbouw) opgenomen.

Bedrijven die geïnteresseerd zijn in bepaalde materiaalverwerkingscombinaties kunnen gebruik maken van deze database. Aangezien er eindeloos veel

combinatiemogelijkheden zijn van vezelsoort, vezelvorm, biobased plastic en verwerkingstechniek is er nog veel ruimte om verder te experimenteren. Met de gegevens die dit oplevert kan de database worden aangevuld.

Mechanische en functionele eigenschappen

De nieuwe biocomposieten op basis van textiele restvezels leveren interessante en unieke eigenschappen op. De belangrijkste bevindingen zijn:

- Door het toevoegen van een reststroom wordt de materiaalkostprijs verlaagd ten opzichte van 'virgin' biobased kunststof.
- De mechanische eigenschappen van de nieuwe biocomposieten op basis van textiele restvezels zijn vergelijkbaar of beter dan die van gangbare synthetische en grootschalige toegepaste kunststoffen. Voorbeelden van deze eigenschappen zijn sterkte en stijfheid. Met gangbare kunststofcomposieten, zoals bijvoorbeeld glasvezelversterkte polyester, zijn echter (veel) hogere waarden te halen.
- Afhankelijk van de soort restvezel en de passing ervan in het biocomposiet kunnen specifieke functionele eigenschappen worden gecreëerd, zoals verbeterde geluidsdemping. Deze eigenschappen zullen goed zijn, maar niet uitzonderlijk ten opzichte van materialen die hier specifiek voor zijn ontwikkeld.

De nieuwe materialen bieden echter nog veel ruimte voor het verbeteren of finetunen van de eigenschappen voor een specifieke toepassing. Door het variëren van materiaalparameters (vezelbehandeling, verhouding vezel/kunststof) en machine-instellingen (druk, temperatuur, tijd, etc.) kunnen fysische eigenschappen als soortelijk gewicht, functionele eigenschappen als geluidsdemping en brandwerendheid en mechanische eigenschappen als sterkte, stijfheid, slagvastheid en elasticiteit worden beïnvloed.

Wanneer een specifieke combinatie van biocomposiet en toepassingsgebied bekend is, kunnen meer uitgebreide tests worden gedaan om de eigenschappen goed te bepalen conform de voor die markt geldende normen. Op basis daarvan kan het materiaal verder

worden geoptimaliseerd voor een specifieke toepassing. Belangrijk hierbij is om rekening te houden met mogelijke variaties in de textiele vezels, omdat het hier een restmateriaal betreft.

Door ook te variëren in de wijze waarop de materialen worden verwerkt in een halffabricaat of eindproduct (denk aan meerdere lagen, combinatie van warm en koud persen, etc.) kunnen eigenschappen worden afgestemd op de gewenste functionaliteit van het product.

Unieke kenmerken met een hoge belevingswaarde

De nieuwe biocomposieten hebben enkele specifieke kenmerken die een hoge belevingswaarde bieden en kansen creëren voor ontwerpers om unieke producten te ontwerpen (Lepelaar et al, 2017). Zo zijn deze materialen goed voor en na te bewerken met digitale technieken als lasersnijden, waardoor het mogelijk is tweeënhalve- en driedimensionale structuren en patronen met een hoge belevingswaarde te creëren. Ook is het mogelijk om in één productiegang een product te maken waarin harde en zachte oppervlakken worden gecombineerd. Hiermee kan dan een specifieke functionaliteit worden gecreëerd, bijvoorbeeld geluidsdemping.

Wanneer een bedrijf of ontwerper specifiek gebruik wil maken van de belevingswaarde van het materiaal, is het raadzaam om niet alleen het materiaal te beoordelen maar ook de wijze waarop het wordt toegepast in het product.

Circulair ontwerpen vanuit het materiaal

Werken met een restmateriaal vraagt een specifieke aanpak. Ontwerpen vanuit het materiaal blijkt lastig maar het is een waardevolle methode om tot inspirerende productideeën te komen. De Material Driven Designmethode blijkt hiervoor een goede aanpak.

Bij het verder uitwerken van het ontwerp is het goed mogelijk om verschillende circulaire ontwerpstrategieën toe te passen. In het geval van het ontwerpen van producten die lang mee gaan op basis van een restmateriaal, blijken de circulaire ontwerpstrategieën 'ontwerpen voor lange levensduur' en 'ontwerpen voor emotionele binding' het meest voor de hand te liggen.

6.2 Milieu-impact en business-kansen

Eindelevensduurscenario's

Uit het onderzoek blijkt dat verschillende textiele restvezels goed te combineren zijn met biobased plastics als PLA en PLA/TPS-blends. Het blijkt echter niet mogelijk om deze biocomposieten via biodegradatie volledig terug te brengen in de grondstoffen-cyclus, omdat de textiele restvezels veel andere, vaak niet-afbreekbare stoffen bevatten.

Hierin zijn verbeteringen aan te brengen door samen te werken met de toeleveranciers van het textiel. Dit is lang niet altijd mogelijk, zoals in geval van 'post consumer' kledinginzameling. Toch kan bijvoorbeeld de composteerbaarheid van een vezel verbeteren door de samenstelling van de textiele reststromen 'upstream' in de keten, dus bij de fabrikanten van het nieuwe textiel, schonter te maken. Dit kan onder meer door het gebruik van synthetische vezels in het textiel te verminderen en/of door bij het kiezen van hulpstoffen (pigmenten, brandvertragers, drukinkten) kritisch op afbreekbaarheid te beoordelen. De kwaliteit van een textiele reststroom kan ook verbeteren door het textiel 'downstream' beter te sorteren.

Er is een andere route die wel een goede bijdrage kan leveren aan de circulaire economie: terugname van het product, vervolgens mechanische recycling van het composietmateriaal en het opnieuw toepassen van het materiaal in een nieuw product. Er is vervolgonderzoek noodzakelijk per product/materiaalcombinatie om te bepalen wat de eigenschappen van het materiaal worden na recycling.

Daarnaast is het voor specifieke biobased plastics mogelijk om de vezels enzymatisch te scheiden van de kunststof. Deze route lijkt veelbelovend (zie kader in hoofdstuk 4) maar vergt nog jaren onderzoek.

Milieu-impact

Met behulp van een LCA-quickscanmethode (Modint EcoTool) is voor enkele toepassingen de milieu-impact in kaart gebracht van het gebruik van biocomposieten met textiele restvezel. Hierbij is uitgegaan van de eindelevensduurscenario's 'verbranden', 'mechanische recycling' en 'composteren'. Alhoewel slechts ruwe

indicaties gegeven kunnen worden, lijkt de milieu-impact van het biocomposiet positief uit te vallen ten opzichte van het gebruik van 'virgin' materialen. Hierbij speelt het feit dat er gebruik wordt gemaakt van een afvalproduct zeker een rol. Recycling verlengt de levensduur van het materiaal en verlaagt de materiaalconsumptie en de carbon footprint.

Voor beter gefundeerde uitspraken over de milieu-impact is echter een multi-lifecycle-analyse noodzakelijk. Die wijst uit hoe vaak de materialen kunnen worden gerecycled en wat hiervan het milieueffect is. Hiervoor zijn op dit moment echter nog geen goede tools voorhanden. Ook moet onderzocht worden welke routes er zijn voor de verwerking van materialen die na een aantal cycli niet meer (her)bruikbaar zijn. Daarnaast levert een quickscanmethode per definitie een benadering. Zo nodig kan een officiële LCA-analyse worden overwogen.

Organiseren van terugname voor recycling

Mechanische recycling als eindelevensduurscenario betekent dat er onderzocht moet worden hoe de retourstroom kan worden gerealiseerd en welk businessmodel hierbij past. Een businessmodel waarin de leverancier van de restvezel of de producent van het product eigenaar blijft van het materiaal, ligt voor de hand. In zo'n geval kan namelijk de retourstroom makkelijker worden gegarandeerd. De uitvoering daarvan hangt echter af van het product, de markt en de betrokken partners.

Daarnaast is een goed coderingssysteem noodzakelijk, bijvoorbeeld met tags of een in het materiaal geperste code, waarmee de materialen herkend kunnen worden. Een ander aandachtspunt is het matchen van de volumes van de teruggenomen producten met de producten die hier weer van gemaakt moeten worden.

Uniek circulair businessmodel

De circulaire businessmodelstrategie 'verlenging materiaalwaarde' is het uitgangspunt bij het realiseren van producten op basis van restmaterialen. Deze strategie kan echter gecombineerd worden met andere circulaire businessmodelstrategieën. Denk aan het 'toegang-en-prestatie-model' waarbij de producent eigenaar blijft van de producten en van het materiaal waaruit deze bestaan.

Ontwerpstudie: Lampen

Tijdens experimenten met verschillende materiaalcombinaties bleken de geperste platen steeds een bepaalde lichtdoorlatendheid te hebben. Deze eigenschap was de aanleiding om verschillende studenten te vragen lampen te ontwerpen. De opdracht hierbij was om de vlakke (2D) plaat met een lasersnijder te bewerken zodanig dat deze omgevormd kan worden tot een 3D product.

Deze werkwijze staat centraal bij het eerstejaarsproject 'dimensie' van de opleiding Engineering en heeft mooie lampen opgeleverd. Een aantal van deze lampen is geselecteerd en uitgevoerd in de materiaalcombinatie jute/PLA (zie afbeeldingen). Het jute is afkomstig van de koffiezakken van Starbucks.



Enkele prototypes met uniformstof/PLA en jute/PLA.



PLANQ

PLANQ is een ontwerpbureau dat is opgericht door de HvA-alumni Anton Teeuw, Dennis Teeuw en Joris Kortenhorst. Als jonge innovators geloven zij in de kracht van design. Het bureau werkt aan het ontwerpen van milieubewuste producten, waarbij met afval en natuurlijke materialen waarde wordt gecreëerd.

PLANQ is een van de mkb-partners van het RECURF-project en heeft enkele van de ontwikkelde materiaalcombinaties, waaronder denim/PLA en jute/PLA, gebruikt om meubelen te ontwerpen en te realiseren. Zo maken ze onder meer zitschalen voor stoelen en krukken in hun Reznig collectie en worden winkel- en horecameubelen bekleed met RECURF-materiaal. De producten laten de waarde van het hernieuwbare RECURF-materiaal goed zien. Dit materiaal kan in elke gewenste vorm worden gebracht en de producten kunnen aan het einde van de levensduur worden gerecycled. Door het materiaal opnieuw te verwerken tot circulaire producten, kan de kringloop worden gesloten.

Om te zorgen dat PLANQ ook weet waar de producten zich bevinden, hebben ze een huurkoopconstructie opgezet. Voor de producten wordt een deel vooruit betaald, waarna voor een maandelijks bedrag de producten worden gehuurd. Na vijf jaar wordt overlegd of de producten worden teruggegeven aan PLANQ voor recycling. Ook kan de klant de producten nog langere tijd blijven gebruiken of in eigendom krijgen.

Voor de storytelling van hun producten maakt PLANQ nadrukkelijk gebruik van de toegepaste vezels en hun eigenschappen. Zo wordt jute gebruikt voor de koffietafels in cafés en denim voor kleding-winkelinterieurs, in meubelen en in kledinghangers (zie afbeelding).

De ervaringen met het RECURF-materiaal zijn positief, maar de gebruikte vezels (bijvoorbeeld jute en denim) vertonen wel een groot verschil in mechanische eigenschappen en verwerkingsparameters. Niet alleen tussen de verschillende vezels, maar zelfs tussen verschillende kwaliteiten van dezelfde vezel. De A-kwaliteit denimvezel wordt verkregen uit niet-gedragen denim en de B-kwaliteit uit wel-gedragen denim. De A-kwaliteit heeft een helderder kleur en betere mechanische eigenschappen dan de B-kwaliteit. Zo kan het voorkomen dat voor hetzelfde product meer materiaal nodig is, of dat binnen een product de kleuren verschillen.

Vervolgstappen zijn het productassortiment te verbreden, materialen verder te testen (op bijvoorbeeld geluidsdemping, brandveiligheid, mechanische eigenschappen en vochtgevoeligheid) en om textiele restvezel van andere leveranciers te gaan verwerken.



Enkele voorbeelden van PLANQ producten.



Een unieke mogelijkheid ontstaat als de leverancier van de restvezel tevens klant is van de uit biocomposiet vervaardigde producten. Door als enige klant of als launching customer op te treden, speelt de leverancier een cruciale rol in het verwaarden van reststromen en kan hij tevens een rol spelen in het creëren van meerdere levenscycli voor het materiaal. De leverancier neemt hiermee verantwoordelijkheid voor de reststromen van zijn eigen productieproces en draagt zo wezenlijk bij aan de transitie naar een circulaire economie.

Businesskansen

Binnen de onderzochte cases vervullen de deelnemende bedrijven verschillende rollen. Het realiseren van producten op basis van de nieuwe biocomposiet materialen levert voor hen verschillende voordelen op. De leveranciers van textiele restvezels besparen afvalverwerkingskosten door verlaging van het volume van de afvalstroom. Voor de bedrijven die de kunststoffen leveren, productiebewerkingen uitvoeren en halffabricaten of eindproducten vervaardigen, bieden de nieuwe biocomposieten een nieuwe potentiële afzetmarkt en een hogere omzet. Voor alle partijen geldt dat ze met het verwerken van textiele restvezels in biocomposieten een voortrekkersrol kunnen vervullen in de transitie naar een circulaire economie en daarmee in het voordeel zijn bij de gunning van nieuwe opdrachten.

6.3 Toepassing in de praktijk en aanbevelingen per case

Verschiedende deelnemers aan het RECURF-project hebben deelresultaten van het onderzoek reeds toegepast of zijn bezig de implementatie van het project te plannen. Het bedrijf PLANQ (zie kader) is een voorbeeld van zo'n deelnemer.

Voor de drie uitgewerkte cases is een evaluatie met de partners uitgevoerd en worden de mogelijkheden en aandachtspunten voor doorontwikkeling besproken.

Armlegger met wolsnijafval voor Ahrend

Voor de armlegger wordt samen met Ahrend onderzocht wat er nodig is om de armlegger verder te ontwikkelen en in productie te nemen. De prototypes moeten nog geoptimaliseerd worden, maar er is wel een duidelijk onderscheidend product gerealiseerd. Zowel de esthetiek, de haptiek, het thermische gevoel

als de klank zijn anders dan bij gangbare (synthetische) kunststoffen. De vervolgstap is het toetsen van de beleving door potentiële gebruikers en het optimaliseren van het proces voor serieproductie.

Door te experimenteren met de structuur van het oppervlak van de mal kunnen de haptiek en de belevingswaarde van het product nog verder verbeterd worden. Het maximale aandeel wol lijkt beperkt vanwege de vereiste vloeieigenschappen van de vezel-kunststof mix bij zowel componderen, spuitgieten als persen. Dit kan mogelijk worden verbeterd door te kiezen voor een andere kunststof. Ook zou er met een verlaagde smeltemperatuur gewerkt moeten worden omdat wol bij een verwerkingstemperatuur van 180°C een onaangename geur afgeeft.

Uit de impactanalyse blijkt dat een armlegger van PLA/wol beter scoort qua 'invloed op het klimaat' en 'energiegebruik' dan een armlegger van polypropyleen. Dit is volgens verwachting, omdat PLA en wol hernieuwbare grondstoffen zijn en PP een fossiele oorsprong heeft. Als de armlegger aan het einde van de levensduur wordt gerecycled in plaats van verbrand, daalt de milieu-impact nog verder. Deze winst is afhankelijk van een nog op te zetten retourlogistiek en het nog te bepalen aantal malen dat het materiaal kan worden gerecycled. Als recycling niet meer mogelijk is, kan het materiaal worden verbrand of gecomposteerd. Composteren is lastig vanwege de niet-composteerbare stoffen in de wol, zoals bijvoorbeeld inkt. Daarnaast ontstaan zowel bij verbranden als bij composteren broeikasgassen, terwijl bij verbranden nog energie kan worden teruggewonnen.

Geluidsdempend paneel met textiel voor Sympany

De geluidsdemping door de ontwikkelde panelen lijkt voldoende voor de beoogde toepassing, maar dit moet nog verder worden getest volgens de relevante normering. Dit geldt ook voor de brandveiligheid: de panelen kunnen brandvertragend worden gemaakt, maar er is nog niet onderzocht welke klasse haalbaar is en wat het milieueffect is van de toe te passen brandvertragers. Verder onderzoek is dus nodig om te kunnen bepalen welke toepassingen (wel of niet als plafondplaat of als wandbekleding in een vluchtweg) in welke markten (woningbouw, kantoren, luchthavens, scholen etc.) haalbaar zijn.

Door de toepassing van een lasersnijder krijgen de panelen een geheel eigen en vernieuwende uitstraling. Hierbij kan optimaal gebruik worden gemaakt van de unieke mogelijkheden die het uitgangsmateriaal (non-woven matten) en de verwerkingstechnieken (persen en lasersnijden) bieden. Dergelijke panelen kunnen seriematig worden geproduceerd en bieden interessante mogelijkheden voor ontwerpers. Voor deze ontwikkelrichting wordt een vervolgonderzoek gestart (zie kader: Vervolgonderzoek in RECURF-UP). In de impactanalyse scoort een paneel van PLA/denim volgens verwachting beter dan een paneel van PET. Daarnaast scoort recycling beter dan verbranden, maar hierin verschillen het PET- en het PLA/denim-paneel maar weinig van elkaar.

Terrasstoel met jute voor Starbucks

De samples en het ontwerp zijn geëvalueerd door Starbucks. De vormgeving van de stoel past qua beeld op dit moment niet bij de behoefte van Starbucks. Het materiaal biedt echter functionele mogelijkheden voor zowel het toepassen van restmateriaal als het gebruik in de buitenlucht. De uitstraling van het materiaal moet wel worden afgestemd op de toepassing (product, vorm). Deze afstemming is kritisch, want het complete beeld (kleur, structuur, vorm) moet in de vormgevingsvisie van Starbucks passen en ook de functionaliteit moet goed zijn (eenvoudig te reinigen, glad, sterk, voldoende stijf, acceptabele prijs etc.).

Het materiaal lijkt kansrijk, maar er is verder onderzoek nodig om bovenstaande eigenschappen zodanig af te stemmen dat het product een kans krijgt in de markt. Daarnaast is Starbucks geïnteresseerd in andere interieurtoepassingen van het op jute gebaseerde materiaal, bijvoorbeeld in lampen.

Pas als er een definitieve toepassing voor het materiaal is gevonden, zal de milieu-impact nader worden onderzocht.

6.4 Vervolgonderzoek

De resultaten van RECURF zijn veelbelovend en bieden verschillende mogelijkheden voor nader onderzoek, zowel naar digitale productietechnieken en recycling van biocomposieten, als naar specifieke toepassingen.

Onderzoek naar digitaal produceren met biocomposieten

Door met digitale productietechnieken zeer specifiek en met een beperkte milieubelasting te produceren, kan een bijdrage worden geleverd aan de circulaire economie. Met de onderzochte biocomposieten op basis van textiele restvezels en biobased plastics bestaan er mogelijkheden voor de inzet van:

- 1. digitale bewerkings- en ontwerpstechnieken bij non-woven matten
- 2. 3D-printen van granulaat met een extruder op een robotarm.

Ad 1. Digitale bewerkings- en ontwerpstechnieken
Uit het RECURF project blijkt dat digitale bewerkings- en ontwerpstechnieken een onderscheidende rol kunnen spelen bij de realisatie van gewenste mechanische en fysische eigenschappen. Ook kunnen zij bijdragen aan de realisatie van 2,5D- en 3D-structuren en van patronen met een hoge belevingswaarde. Bewerkingen die tijdens RECURF zijn verkend (zo als lasersnijden, plaatselijk vervormen, graveren en vouwen) worden voor zover bekend nog niet elders toegepast. Onbekend is nog hoe deze technieken kunnen worden gebruikt in de productie van functionele producten met specifiek gewenste eigenschappen. Daarnaast moet worden onderzocht hoe deze technieken kunnen worden ingezet bij het automatiseren van het productieproces.

Ad 2. 3D-printen met een extruder op een robotarm
Het maken en verwerken van filament voor bestaande 3D-printers bleek lastig op basis van granulaat van gemalen textielvezels en PLA. Er lijken wel goede mogelijkheden te zijn voor 3D-printen op grote schaal, waarbij een extruder op een robotarm wordt gemoniteerd. Dan kan immers direct vezelgevuld granulaat worden gebruikt en hoeft er niet eerst een filament van te worden gemaakt. Deze manier van 3D-printen is echter minder ver ontwikkeld dan het printen met een filament. De ontwikkelingen op dit gebied bij een van onze partners worden daarom nauwlettend gevolgd.

Onderzoek naar recyclingroutes
Uit het RECURF-onderzoek is gebleken dat het materiaal niet volledig biologisch afbreekbaar is vanwege het gehalte aan synthetische en niet afbreekbare stoffen in het textiel. Daarom zijn de mogelijkheden voor recycling een belangrijk aandachtspunt. Twee routes zijn interessant:

- 1. Mechanische recycling waarbij meerdere cycli mogelijk zijn;
- 2. Biochemische recycling waarbij de vezels worden teruggewonnen en waardoor productie van nieuwe kunststof mogelijk wordt.

Ad 1. Mechanische recycling
Uit literatuuronderzoek blijkt dat mechanische recycling van thermoplastische biocomposieten op basis van textiele restvezels en biobased plastics goed mogelijk is en dat de unieke mechanische eigenschappen na meerdere keren recycleren behouden kunnen blijven (Soroudi & Jakubowicz, 2013). Een eerste praktijktest heeft dit bevestigd.

Onbekend is echter wat bij op textielvezels gebaseerde biocomposieten het effect is van mechanische recycling op de mechanische en de fysische eigenschappen alsook op de belevingswaarde, wanneer het recyclaat opnieuw in producten wordt toegepast.

Hiervoor zijn verouderingstests nodig die multicyclisch gebruik en recycling simuleren. Deze zijn pas zinvol als er een keuze is gemaakt voor een bepaald product van een bepaalde composiet met een bepaalde samenstelling.

Ad 2. Biochemische recycling
Het blijkt mogelijk om met behulp van enzymen PLA af te breken tot monomeren. Een inleidende proef wees uit dat een bepaald commercieel verkrijgbaar enzym in staat is om een bepaald type PLA af te breken. In het kader van circulariteit is dit goed nieuws. Er zal moeten worden vastgesteld in hoeverre dit proces levensvatbaar is en het een rol kan gaan spelen bij de RECURF-toepassingen. Dit is onder andere afhankelijk van kostprijs, schaalgrootte en de mogelijkheid om PLA terug te winnen uit het substraat.

Onderzoek naar specifieke toepassingen
Uit de resultaten van RECURF concludeerden de deelnemers dat plaat- of schaalvormige producten voor interieurtoepassingen het meest kansrijk zijn. De redenen hiervoor zijn:

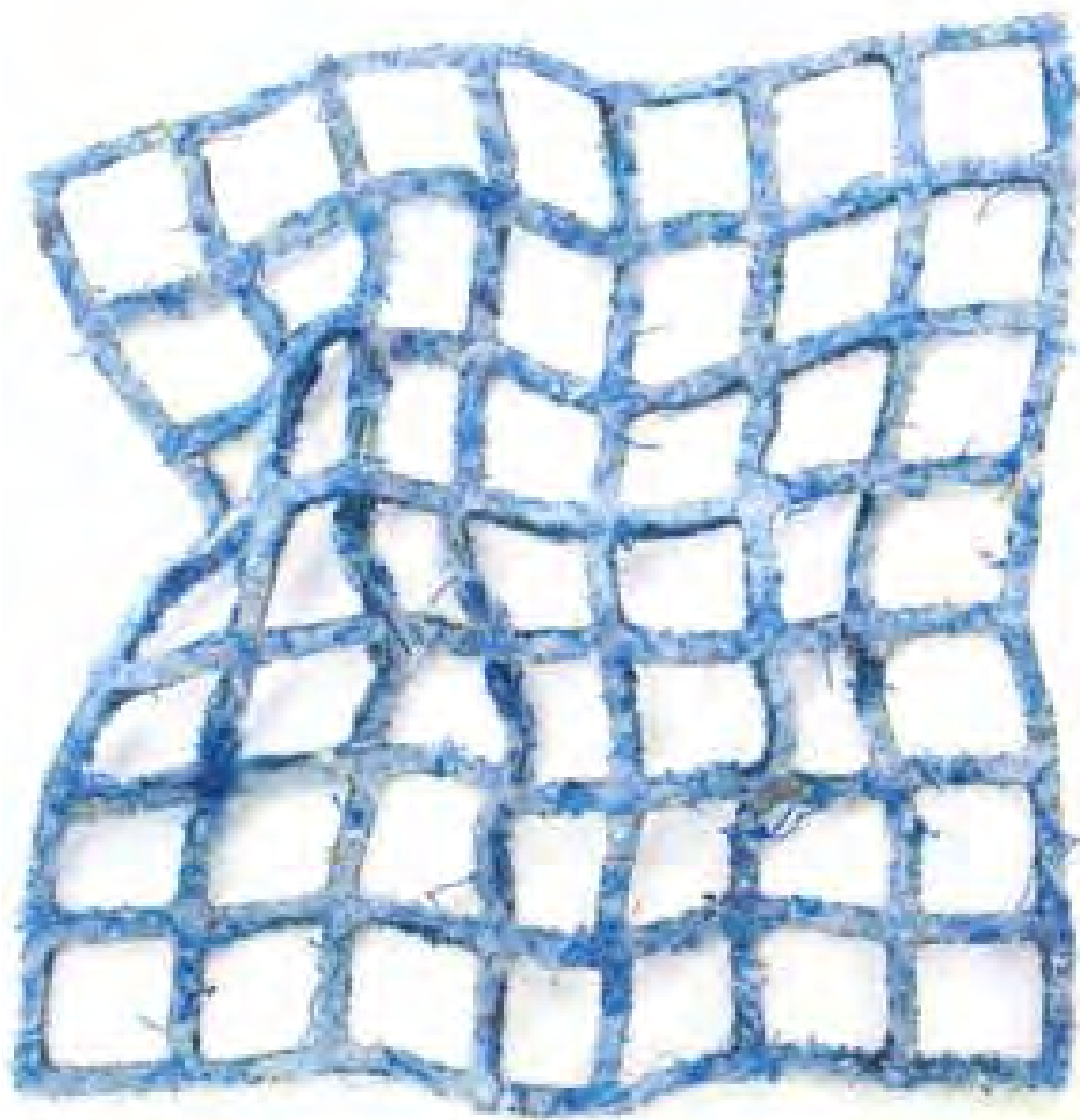
- 1. De vele toepassingsmogelijkheden

Plaat- of schaalvormige producten lijken geschikt voor een grote verscheidenheid aan interieurtoepassingen. Te denken valt aan wandpanelen, wandafwerking, lambrisering, plafondpanelen, kabelgoten, tafelbladen, scheidingswanden enzovoorts. De textielvezel- c.q. reststroomleveranciers uit RECURF willen weten of en onder welke condities specifieke toepassingen zinvol zijn.
- 2. De toegevoegde waarde door unieke combinaties van materiaaleigenschappen.

Plaat- of schaalvormige producten gemaakt van textiele restvezels en biobased plastics hebben toegevoegde waarde door unieke eigenschappen zoals geluids- en trillingsdemping, een laag soortelijk gewicht en goede mechanische eigenschappen in combinatie met variabele perceptieve eigenschappen. Door 2,5- of 3D-vervorming en/of de combinatie van hard en zacht materiaal en/of variatie van procesinstellingen, kunnen verschillende delen van het product verschillende eigenschappen hebben zoals glad en ruw, glanzend en mat, stijf en flexibel. Het kunnen toepassen en reproduceren van deze variaties en eigenschappen vergt nog specificatie en validatie.

- 3. De mogelijkheid om de producten seriematig én klantspecifiek te produceren.

De plaat- of schaalvormige producten kunnen seriematig geproduceerd worden door middel van warm en koud persen, kalenderen en/of extruderen. Variaties in het eindresultaat kunnen worden aangebracht door (gecombineerd) gebruik van digitale productietechnieken, zoals lasersnijden en -graveren maar ook 3D-printen tegen het (vervormde) plaatmateriaal aan. Het vergt nader onderzoek om te bepalen hoe deze producten seriematig én klantspecifiek geproduceerd kunnen worden.



Een laser gesneden sample van PLA/uniformstof.

4. De potentie om grote volumes restmateriaal hoogwaardig te kunnen verwerken.

Plaat- of schaalvormige producten bieden de mogelijkheid tot opschaling naar recycling van grotere hoeveelheden restmaterialen met een relatief hoog kwaliteitsniveau. Vergelijken met andere binnen RECURF onderzochte product-materiaal combinaties kunnen er veel toepassingen worden gevonden (zie punt 1) en is er relatief veel restmateriaal nodig. Dit is gunstig voor de duurzaamheid, de transitie naar een circulaire economie en de economische perspectieven voor de betrokken bedrijven.
5. De mogelijkheid om de keten (volledig) circulair te maken.

Plaat- of schaalvormige producten bieden kansen om het materiaal in diverse cycli te cascaderen, waarbij de producten aan het eind van hun levensduur worden teruggenomen en door middel van bijvoorbeeld mechanische recycling opnieuw kunnen worden gebruikt. Hiervoor is het noodzakelijk de gehele keten te optimaliseren, inclusief de logistiek van de retourstroom.

Deze mogelijkheden zijn onderwerp van het vervolgonderzoek 'RECURF-UP!' (zie kader).

Vervolgonderzoek in RECURF-UP!

Re-using Circular Urban Fibres for Urban Sheet Based Products

Nieuwe biocomposieten van textiele restvezels en biobased plastics lenen zich zeer goed voor plaat- en schaalvormige interieurtoepassingen. Denk aan wandpanelen van denim, cafétafels van jute en geluiddempende panelen. Bij RECURF-UP! onderzoeken we enerzijds de inzet van digitale productietechnieken om producteigenschappen te manipuleren en zowel seriematig als klantspecifiek te kunnen produceren, anderzijds het circulair maken van de gehele keten. Daarnaast wordt verdiepend onderzoek gedaan naar de belevingswaarde die kan worden gecreëerd door eigenschappen als hard- zacht, glad-ruw en licht-donker in één product te combineren.

Het onderzoek steunt op vier casestudies die worden uitgevoerd in samenwerking met mkb-bedrijven uit de gehele keten (van grondstof tot vermarkting van het eindproduct). Terwijl in het RECURF-project vooral kwalitatieve kennis werd ontwikkeld, zal in RECURF-UP! de focus liggen op het kwantificeren en evalueren van materiaal- en producteigenschappen.

RECURF-UP! is een samenwerking van de hogescholen HvA, Saxion, Avans en HZ (Centre of Expertise Biobased Economy), de vezelleveranciers Ahrend, Sympany en Starbucks en diverse mkb-bedrijven uit het eerste RECURF-project, aangevuld met een aantal nieuwe mkb-ondernemingen met kennisvragen op het gebied van circulaire biocomposieten en digitaal produceren. Via brancheorganisaties Modint, NRK en FME komt de opgedane kennis uit RECURF-UP! breed beschikbaar voor bedrijven in de sectoren textiel, kunststof en digitaal produceren.

De uitvoering van RECURF-UP! wordt wederom mogelijk gemaakt door een subsidie van Regieorgaan SIA in het kader van de regeling RAAK-mkb en loopt van 1 september 2017 tot 1 september 2019.

Bijlage A: Literatuurlijst

- Bakker, C., M. den Hollander, E. van Hinte, & Y. Zijlstra (2014). *Product that last. Product Design for Circular Business Models*. Delft: TU-Delft.
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). *Product design and business model strategies for a circular economy*. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.
- Beurden, K.M.M. van & Goselink E.A. (2013). *BioComposiet, Thermoplastische kunststof met natuurvezels*. Saxion, Working paper, 2013–05–01.
- Bottenberg, E., Goselink, E., Bouwhuis G. ea, *Recycling in ontwerp, 'State of the art' van de Nederlandse recycling industrie*, Saxion Kenniscentrum Design en Technologie, Oktober 2013, Enschede.
- Böttger, W.O.J., Lepelaar, M., & Bouvy, R. (2009). Aesthetic composites based on natural fibres: NaBasCo, *Int. J. of Materials and Product Technology*, 36, No.1/2/3/4, 3–10.
- Cramer, J. (2015). *Circulaire economie: van visie naar realisatie, Resultaten van negen Circular Economy Labs*. Utrecht Sustainability Institute.
- Custers, F. J. L., Hopstaken, C. F., Van der Maesen, M. (2014). Rapport massabalans textiel 2012. *Massabalans van in Nederland ingezameld en geïmporteerd textiel*. <http://www.rwsleefomgeving.nl/onderwerpen/duurzaam-producen/ketenaanpak/downloads/rapport-massabalans/>
- Dammer, L., Carus, M., Raschka, A. & Scholz, L. (2013). *Market developments of and opportunities for biobased products and chemicals*. Final report for Agentschap NL. Hürth, Duitsland: Nova-Institute for Ecology and Innovation.
- Etsy (z.d.). *Recycled burlap coffee bags*. https://www.etsy.com/nl/market/recycled_burlap_coffee_bag
- GAO (z.d.). *Nanomanufacturing – Emergence and Implications for U.S. Competitiveness, the Environment, and Human Health*. <https://www.gao.gov/assets/670/663300.pdf>
- Gemeente Amsterdam (2015). *Amsterdam Circulair – een visie en routekaart voor de stad en regio*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam.
- I&M (2016). *Rijksbrede programma Circulaire Economie*. Kamerbrief (IenM/BSK–2016/175734). Den Haag: Ministerie van Infrastructuur & Milieu.
- I&M (2017). *Grondstoffenakkoord. Intentieovereenkomst om te komen tot transitieagenda's voor de Circulaire Economie*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur & Milieu en Ministerie van EZ namens de Rijksoverheid.
- Faruka, O., Bledzka, A.K., Fink, H-P., & Saini, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010, *Progress in Polymer Science*, 37 (11), p.1552–1596.
- Karana, E. (2012). Characterization of 'natural' and 'high-quality' materials to improve perception of bio-plastics. *Journal of Cleaner Production*, 37, 316–325.
- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V. & Zeeuw Van Der Laan, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. *International Journal of Design*, 19(2), 35–54.
- Karana, E., & Nijkamp, N. (2014). Fiberness, reflectiveness and roughness in the characterization of natural high quality materials. *Journal of Cleaner Production*, 68, 252–260.
- Lepelaar, M., Nackenhorst, K., & Oskam, I. (2017). Exploring future applications of new materials made of textile waste combined with biobased plastics. *Proceedings of the 2017 International Conference on Experiential Knowledge and Emerging Materials*, 156–167.
- Lincoln & York. (2016). *Recycling Jute: What Happens To Our Coffee Sacks?* <http://lincolnyork.com/coffee-news/the-coffee-sack-journey-recycling-our-jute/>
- MUD jeans. (z.d.). *Lease A Jeans For €7,50 A Month*. <http://www.mudjeans.eu/lease-a-jeans/>
- Oskam I. (2014). Ontwerpen met biobased plastics. *Product Magazine*, p.10–12. December 2014.
- Oskam, I., Lepelaar, M., Jong, M. de & Kate, R. ten (2015). *Ontwerpen met Biobased Plastics*. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- Pawelzika, P., Carus, M., Hotchkiss, J., Narayan, R., Selke, S., Wellisch, M., Weisse, M., Wicke, B., & Patela, M.K., (2013). Critical aspects in the life cycle assessment (LCA) of bio-based materials – Reviewing methodologies and deriving recommendations. *Resources, Conservation and Recycling* 73, 211 – 228.
- Rooijen, D. van (2012). *Presentatie BIOPREG project*. [http://www.holland-innovative.nl/agro/pdf/Project BIOPREG.pdf](http://www.holland-innovative.nl/agro/pdf/Project%20BIOPREG.pdf)
- Rossi, V., Cleeve-Edwards, N., Lundquist, L., Schenker, U., Dubois, C., Humbert, S., & Joliet, O. (2015). Life cycle assessment of end-of-life options for two biodegradable packaging materials: sound application of the European waste hierarchy. *Journal of Cleaner Production*, 86, 132–145.
- Schaltegger, S., Hansen, E. G. & Lüdeke-Freund, F. (2016). Business models for sustainability: Origins, present research, and future avenues. *Organization & Environment*, 29(1), 3–10.
- Sitra (2015). *Service-based Business Models & Circular Strategies for Textiles*. Circle Economy for Sitra. <https://www.slideshare.net/SitraEkologia/servicebased-business-models-circular-strategies-for-textiles>
- Soroudi, A., & Jakubowicz, I. (2013) Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review. *European Polymer Journal*, 49, 2839 – 2858.
- Visser, I. (2015). Made to degrade. *Een onderzoek naar de ontwikkeling van een biodegradeerbare kweekpot*. Afstudeerscriptie Engineering, Design and Innovation, leerroute: Product Design. Amsterdam: Hogeschool van Amsterdam.
- Wal, M. van der (2015). Maak biobased plastics herkenbaar. *Product Magazine*, p.10–12, Februari 2015.
- Yates, M. R., & Barlow, C. Y. (2013). Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers—A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 54– 66.

Bijlage B: Betrokken organisaties en personen

Aan het RAAK–mkb project RECURF Re–using Circular Urban Fibres and Biobased Plastics in Urban Products hebben verschillende bedrijven en instanties een bijdrage geleverd – als probleemeigenaar, opdrachtgever, klankbord, expert, onderzoeker, begeleider of inspirator. Daarnaast zijn verschillende medewerkers en studenten van de HvA bij de uitvoering van het project betrokken geweest. We willen iedereen hartelijk danken voor zijn of haar waardevolle inbreng.

Projectteam HvA

Kim Nackenhorst (projectleider)
Matthijs de Jong (docent–onderzoeker Materialen en Processen)
Martin Boerema (docent–onderzoeker Business Modellen)
Rogier ten Kate (docent–onderzoeker Product Design)
Mark Lepelaar (onderzoeker Circulair Ontwerpen en Biobased Materialen)
Inge Oskam (lector Circulair Ontwerpen en Ondernemen)

Projectteam Saxion

Pramod Agrawal (coördinator onderzoekslijn Surface Modification)
Anton Luiken (specialist duurzaam textiel)
Gerrit Bouwhuis (associate lector)

Stuurgroep

Katrien de Witte (Hogeschool van Amsterdam)
Ger Brinks (Saxion Hogescholen)
Peter Koppert (Brancheorganisatie Modint)
Martin van Dord (Nederlandse Rubber– en Kunststofindustrie (NRK))

Kennispartners

Technische Universiteit Delft (Conny Bakker, Elvin Karana en Davine Blauwhoff)
Centre of Expertise BioBased Economy (Avans en HZ, Jasper Sluis)

Bedrijven

Acosorb (Martijn Min)
Ahrend (Kees de Boer)
Bio Futura (Wouter Moekotte)
EKON (Jos van Ham)
Fiction Factory (Oep Schilling)
Frankenhuis (Hannet de Vries–in’t Veld)
Greijn (Ger Steeghs en El Steeghs)
Havivank (Jeroen van Leerdam)
HB|3D (Tjeerd Vos en Niels Haarbosch)
Leonie en Lois (Leonie Vlaar en Lois Stolwijk)
Natural Plastics (Bert van Vuuren)
NPSP (Willem Böttger en Lody Klement)
Omefa (Dizzy Soederhuizen)
PLANQ (Anton en Dennis Teeuw)
Rodenburg Biopolymers (Aaik Rodenburg)
Starbucks (Helmer Verbruggen en Jelle Engel)

Sympany (Marc Vooges)
Synbra (Jan Noordegraaf)
Transmare (Robin Beishuizen)
VaVersa (Olivier Francescangeli)
Van der Kallen (Hugo van der Kallen)

Studenten en alumni

Stagiairs en afstudeerders
Hogeschool van Amsterdam: Kaj Callenbach, Pim Grootenhuis, Bo Reurings, Tim van der Schilden,
Jens Verbruggen, German Benavides Morán
Saxion Hogescholen: Solaf Bapeer, Alina Hermes, Priya Palwe en Valerie Vaanholt

HvA studenten van de opleiding Engineering die participeerden in het kader van de minor Nieuwe Materialen of een ander onderwijsproject
Thijs Andriessen, Tobias Barczyk, Jesse Boom, Erwin Boon, Fleur Botman, Angelika Buchalik, Victor di Carlo, Nick Fatels, Rudy Geukens, Daniël de Graaf, Peter Heijink, Joeri Hondius, Fabian Huguenin, Wouter Jansen, Lennard de Jong, Thomas Kaars, Jedrael Karim, Eyup Koç, Daan Langeveld, Thijs Leeuw, Freek Lieshout, Roel Lochtenberg, Thomas Lugtmeijer, Sjors van der Mark, Ernst Willem Mesdag, Kirsten Molle, German Benavides Morán, Sven Musch, Mazdak Nasori, Quinten Pietersen, Jim Rijkers, Erik Savenije, Koen Smit, Romano Sperlings, Safa Tuncer, Mehmet Tuzgol, Jannine van der Velden, Daniël Visser, Joeri de Vries, Daphne Vrijenhoek, Hakan Yilmaz.

Onderzoeksassistenten (alumni)
Jens Verbruggen en Ilana Visser

Bijlage C: Onderzoek belevingswaarde door TU Delft

Dit onderzoek is uitgevoerd door Davine Blauwhoff (TU Delft) op basis van de Material Driven Designmethode.

Inleiding

De belevingswaarde van een materiaal kan worden beschreven vanuit vier verschillende invalshoeken: (1) sensorisch, (2) interpretatief, (3) emotioneel en (4) performatief. De eerste invalshoek gaat over de subjectieve beleving van de materiaaleigenschappen door de zintuigen. De tweede focust zich op welke betekenis het materiaal uitstraalt. De derde richt zich op de emoties die het materiaal oproept en de laatste kijkt naar het gedrag (interactie) van de gebruiker met het materiaal.

Methode

Aan de hand van vier verschillende samples (denim-ongeperst, jute-eenlaags, uniform-eenlaags glimmend en denim-vierlaags) is onderzocht hoe de belevingswaarde van het materiaal verschilt tussen (1) ongeperst en geperst, (2) eenlaags en vierlaags, (3) de typen materialen en (4) de afwerking. In dit onderzoek hebben tien personen deelgenomen, variërend in leeftijd en arbeidsniveau. Voor elk sample zijn de vier invalshoeken van beleving besproken door middel van een ontwikkelde tool. Iedere deelnemer heeft de vier samples in een willekeurige volgorde beoordeeld.

Resultaten

De resultaten van het gebruikersonderzoek zijn gevisualiseerd in drie grafieken. Figuur C.1 toont de gemiddelde beleving van de genoemde zintuigelijke eigenschappen. Figuur C.2 geeft een aantal geassocieerde betekenissen met de materialen weer en Figuur C.3 laat de frequentie van genoemde emoties zien en of deze positief of negatief zijn ervaren. De resultaten zijn besproken in hoofdstuk 3.

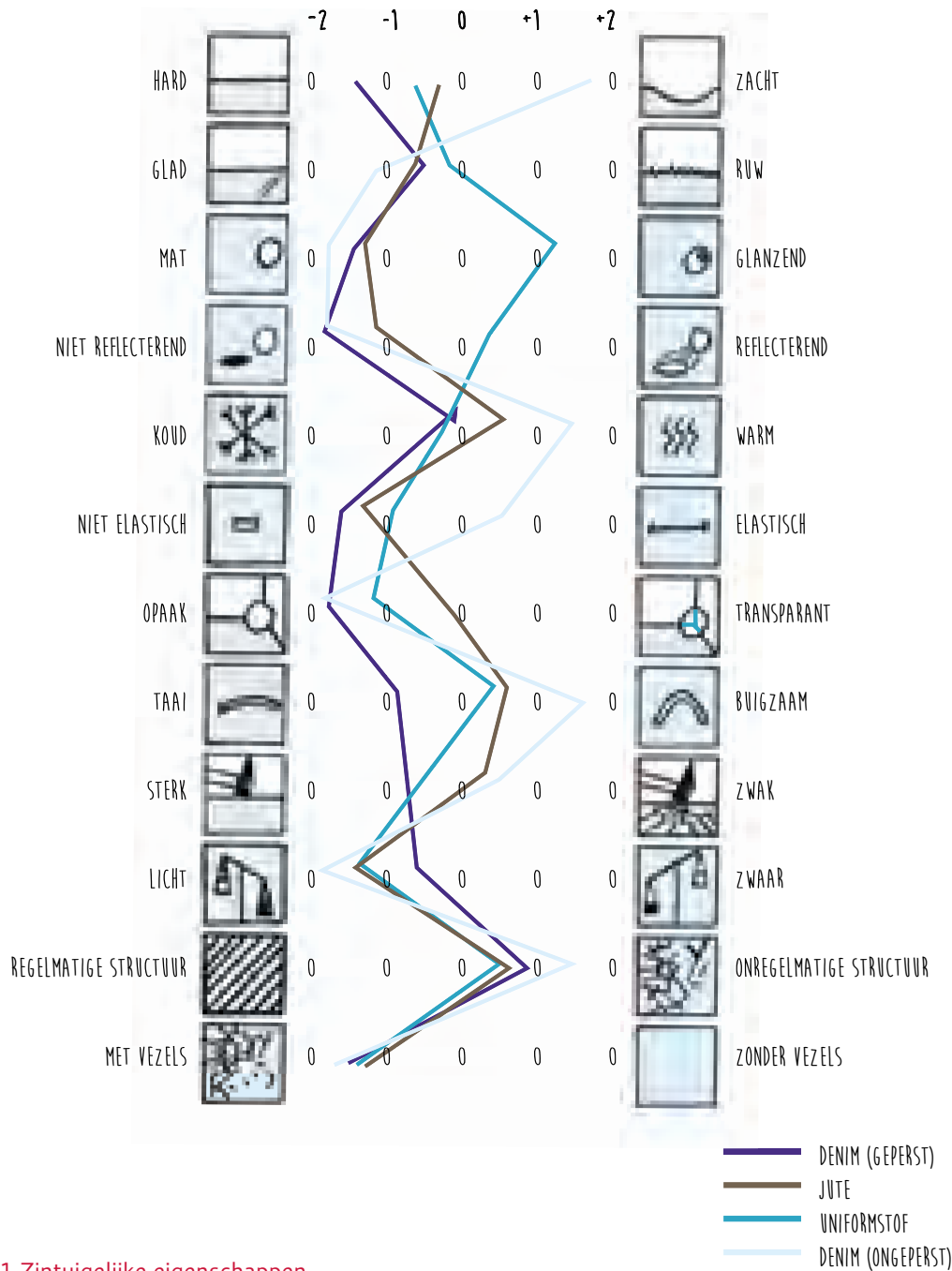
Conclusie

De verschillende onderzoeken tonen aan dat het materiaal een aantal unieke eigenschappen heeft. De meest kenmerkende zijn het lage gewicht, de variatie in stijfheid/hardheid en de relatieve sterkte. Verder is het materiaal goed te verwerken door middel van lasersnijden en warmpersen in 2D (als plaat) of 3D (in een mal).

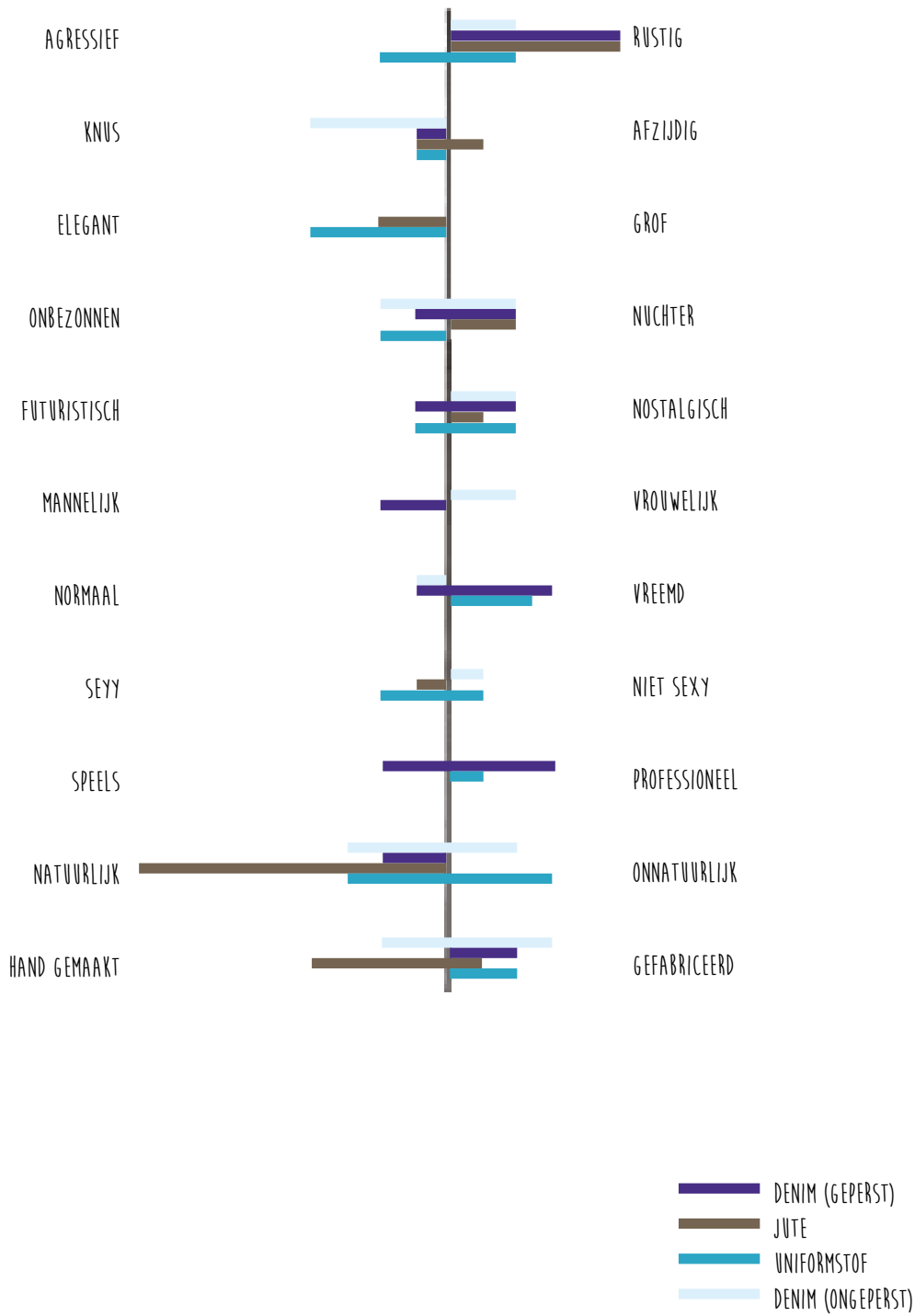
De beperkingen van het materiaal zitten met name in de waterabsorptie en de mogelijkheid om het materiaal op industriële schaal te verwerken. Op dit moment is het een vrij arbeidsintensief proces waarbij eventuele mallen kostbaar zijn. Interessante mogelijkheden zijn het spelen met de variatie in flexibiliteit in combinatie met patronen en 3D vormen.

Voor de beleving is het warme en zachte oppervlak fijn om aan te raken, wat wordt ondersteund door een kalme uitstraling en comfortabel gevoel. De nieuwsgierigheid en fascinatie worden deels gewekt door de variatie in hardheid en flexibiliteit in combinatie met visuele patronen en zichtbare vezels die niet direct terugkomen in de textuur. De artistieke uitstraling biedt veel mogelijkheden voor decoratieve doeleinden, waarbij het type materiaal en afwerking veel invloed hebben op de professionele en natuurlijke uitstraling.

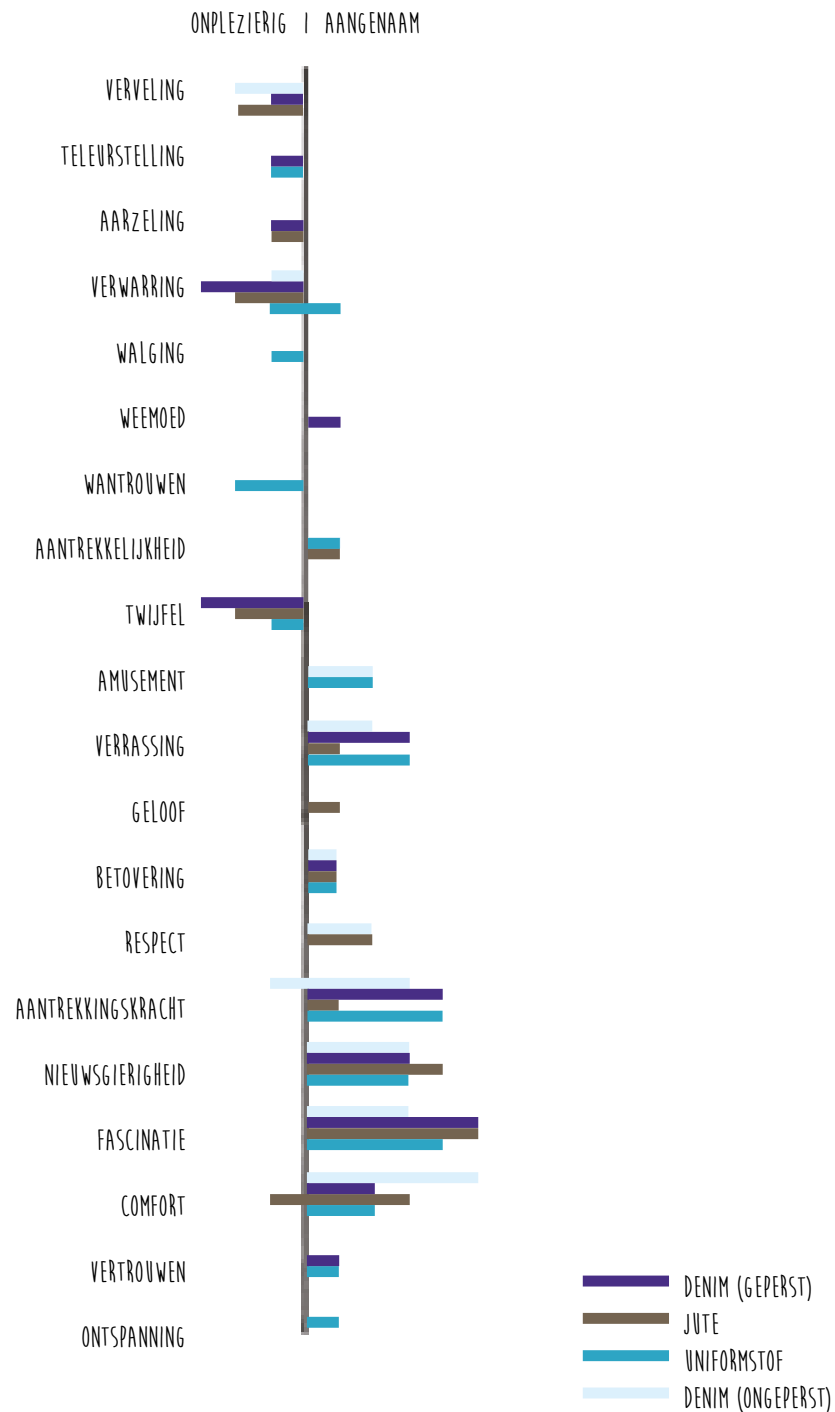
ZINTUIGELIJK NIVEAU - HOE ZOU JE HET MATERIAAL OMSCHRIJVEN?



Figuur C.1 Zintuigelijke eigenschappen.



Figuur C.2 Geassocieerde betekenissen van de materialen.



Figuur C.3 Emotionele eigenschappen.

Bijlage D: LCA-quickscan met de Modint EcoTool voor drie cases

D.1 LCA-quickscan armlegger met wolsnijafval voor Ahrend

Voor de armlegger zijn voor drie mogelijke materiaalcombinaties de eindelevensduuropties met elkaar vergeleken. Deze zijn in onderstaande tabel aangegeven met A1 t/m A8, waarbij de 'A' staat voor 'Armlegger'.

Tabel D1. Scenario's voor LCA-quickscan 'Armlegger'.

Scenario	Kunststof	Textiel	Recycle	Incineratie	Compostering
A1	PP	--	--	100%	--
A2	PP	--	90%	10%	--
A3	PP	Wol	--	100%	--
A4	PP	Wol	90%	10%	--
A5	PLA	Wol	--	100%	--
A6	PLA	Wol	90%	10%	--
A7	PLA	Wol	--	--	100%
A8	PLA	Wol	90%	--	10%

De Modint EcoTool bevat niet alle data van alle materialen of eindelevensduurscenario's. Daarom zijn in de LCA-analyse van de armlegger de volgende benaderingen gedaan:

- PP (niet in de ecotool) is benaderd als polyester (wel in de ecotool).
- Verbranding van PLA (niet in ecotool) is benaderd als verbranding van katoen (eveneens een kort cyclisch materiaal).
- Compostering van textiel/wol (niet in ecotool) is in scenario A7 en A8 benaderd als compostering van PLA.

Verder is ervan uitgegaan dat bij recycling:

- Ahrend alle armleggers aan het eind van hun levensduur zelf inneemt en zelf recycleert.
- bij elke cyclus 10% recycleaat wordt vervangen door nieuw materiaal.
- deze 10% recycleaat verbrand (scenario's A2, A4, en A6) of gecomposteerd wordt (scenario A8).

De berekeningen in de quickscan zijn gebaseerd op bovenstaande benaderingen en gaan uit van steeds 1000 kg materiaal. De resultaten van deze berekeningen zijn vermeld in tabel D2.

Tabel D2. Resultaten LCA-quickscan 'Armlegger', per 1000 kg materiaal.

Categorie	Eenheid	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Invloed op klimaatverandering	CO ₂ eq.	3.093	865	1.575	706	1.165	646	2.182	746
Primair energiegebruik	MJ	60.364	14.737	29.812	11.524	30.952	11.331	43.106	12.532
Waterverbruik	liter	4.680	468	2.340	234	9.700	970	9.700	970
Landgebruik	m ² a	0	0	0	0	555	56	555	56

Deze uitkomsten leiden tot de volgende constatering:

- Het van fossiele grondstoffen gemaakte PP scoort slechter op 'invloed op klimaatverandering' en 'primair energiegebruik' dan het biobased PLA.
- PLA (eerste generatie) heeft een grote impact op 'landgebruik' en 'waterverbruik', vanwege de effecten van de teelt van grondstoffen (mais en/of suikerriet). Het gebruik van tweede- of derdegeneratie PLA zou de impact aanzienlijk verkleinen. Omdat de waarden van tweede- of derdegeneratie PLA niet beschikbaar zijn in de Modint EcoTool, worden in tabel D2 de uitkomsten voor landgebruik slechts ter indicatie aangegeven. Dit geldt tevens voor de resultaten van 'waterverbruik'.
- Verbranding levert in een LCA een voordeel op omdat er ook energie wordt geproduceerd.
- Compostering heeft een relatief hoge milieu-impact. Dit komt onder andere doordat er wel broeikasgassen ontstaan, maar er geen energie kan worden teruggewonnen.
- Qua 'invloed op klimaatverandering' en 'primair energiegebruik' lijkt de PLA/wol-armlegger met recycling en incineratie (A6) nipt te winnen van de PP/wol-variant (A4). De onnauwkeurigheid in de gebruikte methode is echter zo groot dat de verschillen tussen beide scenario's niet significant zijn.
- De verwachting dat de scenario's met recycling te prefereren zijn boven scenario's zonder recycling wordt bevestigd.

D.2 LCA-quickscan geluiddempend paneel met textiel voor Sympany

Bij de berekeningen van de milieu-impact van de wandpanelen is ervan uitgegaan dat, naast transport en verpakking, ook het productieproces voor alle alternatieven hetzelfde is. De vergelijking betreft dus louter de materialen. Ook hier is weer uitgegaan van steeds 1000 kg product.

De volgende scenario's zijn voor deze case onderzocht:

1. PET

bij einde levensduur: verbranding
2. PET

bij einde levensduur: recycling + 10% virgin, – 10% verbranding
3. PLA Denim

bij einde levensduur: verbranding
4. PLA Denim

bij einde levensduur: recycling + 10% virgin, – 10% verbranding
5. PLA Denim

bij einde levensduur: compostering
6. PLA Denim

bij einde levensduur: recycling + 10% virgin, – 10% compostering

Deze scenario's zijn in tabel D3 aangegeven met de alternatieven W1 t/m W6 (van 'Wandpaneel')

Tabel D3. Scenario's voor LCA-quickscan 'Wandpaneel'.

Scenario	Kunststof	Textiel	Recycle	Incineratie	Compostering
W1	PET	--	--	100%	--
W2	PET	--	90%	10%	--
W3	PLA	Denim	--	100%	--
W4	PLA	Denim	90%	10%	--
W5	PLA	Denim	--	--	100%
W6	PLA	Denim	90%	--	10%

Verder is, net als bij de case van de armlegger, uitgegaan van de volgende aannames:

- Bij de recycling van PET gaat 10% van het gebruikte wandpaneel naar de verbranding en wordt ter compensatie 10% virgin PET toegevoegd.
- Bij de recycling van PLA/denim wordt net als bij de recycling van PET uitgegaan van in totaal 10% nieuw toegevoegd materiaal, dus 5% PLA en 5% afvaldenim. Dat betekent dat 10% van het oude wandpaneel naar de verbranding gaat of wordt gecomposteerd.

De Modint EcoTool bevat niet alle data van alle materialen of eindelevensduurscenario's. Daarom zijn in de berekeningen de volgende benaderingen gedaan:

- Voor de verbranding van PLA zijn de waarden voor verbranding van katoen gebruikt (eveneens een kort cyclisch materiaal).
- In scenario's W5 en W6 zijn de waarden voor compostering PLA gebruikt voor compostering van textiel/wol.

De resultaten van deze berekeningen zijn vermeld in tabel D4.

Tabel D4. Resultaten LCA-quickscan 'Wandpaneel', per 1000 kg materiaal.

Categorie	Eenheid	W1	W2	W3	W4	W5	W6
Invloed op klimaatverandering	CO ₂ eq.	3.749	375	1.020	102	2.041	202
Primair energiegebruik	MJ	62.242	6.224	28.584	2858	40.822	4075
Waterverbruik	liter	13	1	9700	970	9.700	970
Landgebruik	m ² a	39	4	555	56	555	56

De uitkomsten van deze case komen overeen met de uitkomsten van de case van de armlegger:

- PET (gemaakt van fossiele grondstoffen) scoort slechter op 'invloed op klimaatverandering' en 'primair energiegebruik' dan het biobased PLA.
- PLA heeft een grote impact op 'landgebruik' en 'waterverbruik', gezien de effecten van de (landbouw)teelt van de grondstoffen (mais en/of suikerriet). Ook hier zijn de resultaten slechts ter indicatie weergegeven.
- De recyclingscenario's hebben in het algemeen een lagere milieu-impact dan de vergelijkbare scenario's zonder recycling.
- Verbranding levert in een LCA een voordeel op omdat er energie wordt geproduceerd.
- Compostering heeft een relatief hoge milieu-impact: er ontstaat wel CO₂ maar er wordt geen energie teruggewonnen.
- De meest gunstige scenario's in bovengenoemd overzicht zijn PLA & denim met recycling en verbranding (W4) en PLA & denim met recycling en compostering (W6).

D.3 LCA-quickscan terrasstoel met jute voor Starbucks

Evenals bij de berekening voor de wandpanelen is er in de berekeningen van de milieu-impact van de stoel van uitgegaan dat, naast transport en verpakking, ook het productieproces voor alle alternatieven hetzelfde is. De vergelijking richt zich dus alleen op de materialen. Daarnaast is ook hier weer uitgegaan van steeds 1000 kg product.

De volgende scenario’s zijn voor deze case onderzocht:

1. Hardhout
- bij einde levensduur: verbranding
2. Jute en UP
- bij einde levensduur: verbranding

Onder ‘jute en UP’ wordt verstaan een mengsel van 33 % jute, 33 % polyesterhars (die voor 50% biobased is), 33% kalk en 1% losmiddel. De polyesterhars is benaderd als ‘unsaturated polyester’ (UP), omdat de waarden voor de 50%-variant niet bekend zijn. Omdat UP (ook de biobased variant) een thermoharder is, kan het stoel-element aan het einde van zijn levensduur niet worden gerecycled: het kan immers niet smelten. De optie om het stoelelement fijn te malen en als vulmiddel in plaats van kalk te gebruiken is niet verder onderzocht, mede omdat dit een geheel andere samenstelling van het stoelelement zou betekenen. De twee mogelijke scenario’s zijn aangegeven met de scenario’s vermeld in tabel D5, waarbij de ‘S’ staat voor ‘stoel’.

Tabel D5. Scenario’s voor LCA-quickscan ‘Stoel’.

Scenario	Hardhout	Kunststof	Textiel	Recycle	Incineratie
S1	Tropisch	–	--	--	100%
S2	--	UP	Jute	--	100%

Bij de case van de stoel is uitgegaan van de volgende aannames:

- Stoelelementen kunnen niet worden gerecycled.
- De gebruikte 50% biobased polyesterhars kan in de LCA benaderd worden als UP (hiervoor zijn de waarden voor UP uit de Eco-invent database gebruikt).
- Jute is een afvalmateriaal en wordt in de LCA daarom gezien als ‘zero impact material’.
- Voor de verbranding van jute is binnen de Modint EcoTool de verbranding van ‘other textiles’ gebruikt.
- Kalk is beschouwd als afvalproduct en daarmee ook als ‘zero impact material’.
- De invloed op het klimaat van de verbranding van hardhout is nul. De tijdens de groei opgenomen CO₂ komt bij verbranding weer vrij. Het proces in de Modint EcoTool is zodanig aangepast dat de impact 0 is verkregen.

- In de LCA is de verbranding van hardhout benaderd als de verbranding van katoen.
- De verbranding van UP is benaderd als de verbranding van PU (Polyurethaan, eveneens een lang cyclisch materiaal).
- De verbranding van de fractie kalk in het stoelelement heeft geen invloed op het milieu.

De resultaten van deze berekeningen zijn vermeld in tabel D6.

Tabel D6. Resultaten LCA-quickscan ‘Stoel’, per 1000 kg materiaal.

Categorie	Eenheid	S1	S2
Invloed op klimaatverandering	CO ₂ eq.	54	1.555
Primair energiegebruik	MJ	24.167	18.926
Waterverbruik	liter	4.500	17.011
Landgebruik	m ² a	22.400	36

Naar aanleiding van deze resultaten kunnen we constateren dat de uitkomsten van de LCA duidelijk verschillen voor hardhout en de jute/UP-combinatie:

- hardhout scoort beter op:
 - ‘Invloed op klimaatverandering’. Dit ligt voor de hand: het is CO₂ neutraal.
 - ‘Waterverbruik’. Kennelijk is voor de productie van UP relatief veel water nodig. Omdat jute als een ‘zero impact material’ is aangemerkt, is het waterverbruik van de juteteelt niet in dit cijfer opgenomen.
- hardhout scoort slechter op:
 - ‘Primaire energie’. Hardhout moet worden gedroogd en gezaagd. Daarnaast kan deze uitkomst zijn beïnvloed doordat het hardhout in de berekening is benaderd als katoen.
 - ‘Landgebruik’. Dit ligt weer voor de hand. Een boom heeft per ton geproduceerd hout meer ruimte nodig dan een ton geproduceerde hars.

Deze LCA-quickscan is met dermate veel onzekerheid omgeven, dat besloten is de resultaten ervan voor de stoel niet in de hoofdttekst op te nemen. Ze zijn wel in deze bijlage opgenomen voor eventuele geïnteresseerden die hiermee verder willen gaan.

D.4 LCA-quickscan nader beschouwd

Het gebruik van een LCA-quickscan brengt haast per definitie onnauwkeurigheden met zich mee. Het is immers slechts quickscan, een benadering. Toch kan de quickscan worden gebruikt om inzicht te krijgen in en verder na te denken over de verschillende scenario's.

In het algemeen dringt zich de vraag op hoe de waarden uit de verschillende impactcategorieën onderling vergeleken kunnen worden. De bioplastics scoren over het algemeen slechter op 'waterverbruik' en 'land-gebruik'. De fossiele materialen hebben een hogere impact op klimaatverandering en primair energiegebruik. Wat verandert er als de landbouwteelt op een andere manier wordt vormgegeven (bijvoorbeeld door biologische landbouw)? Hoe zwaar wordt de urgentie van klimaatverandering meegewogen? Of die van het uitputten van vruchtbare landbouwgronden? Al deze vragen dienen te worden geadresseerd als in de toekomst besloten zou worden tot het uitvoeren van een officiële LCA van een gedefiniëerd product.

D.5 Kansrijke scenario's en aanbevelingen

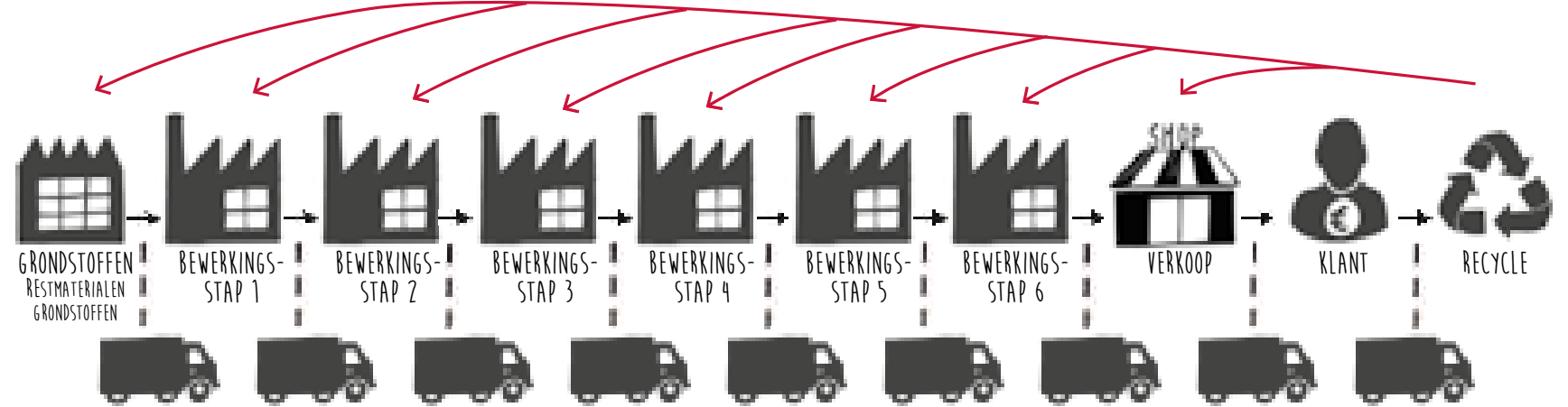
Tijdens het project is een aantal nuttige en aansprekende prototypes van producten ontwikkeld. De materiaal-eigenschappen en met name de 'look & feel' (de esthetische en tactiele eigenschappen), blijken een positief onderscheidend kenmerk. De beoordeling van de milieu-impact heeft laten zien dat deze prototypes een vergelijkbare en op sommige punten ook lagere impact hebben dan de huidige gangbare alternatieven. Voor de verdere verbetering van de milieu-impact van de nieuwe biocomposietmaterialen zijn verschillende opties denkbaar, bijvoorbeeld:

- Gebruik van tweede- of derdegeneratie-bioplastics. De eerste generatie biobased stoffen wordt gemaakt uit voedsel (suiker, mais), de tweede generatie uit afval (takjes, bladeren, industriële reststromen) en de derde generatie uit gekweekte organismen (bacteriën, algen). De milieu-impact van bioplastics gemaakt van bio-massa uit reststromen zal in een LCA-beoordeling beduidend lager zijn, aangezien de effecten van de teelt niet worden meegenomen. De Modint EcoTool kent echter geen tweede- of derdegeneratie-bioplastics.
- Verdere ontwikkeling en upscaling van biochemische recycling met enzymen. Op deze manier kunnen zowel de textiele vezels alsook de monomeren van de PLA weer worden teruggewonnen. Het is dan in theorie mogelijk om hieruit weer virgin PLA te produceren. Of het zinvol is om de vezel die in aanvang al tot afval was bestempeld terug te winnen valt nog nader te bezien.

Daarnaast is een meer gedetailleerde vergelijking noodzakelijk waarbij rekening wordt gehouden met de specifieke materiaaleigenschappen. Composietmateriaal heeft in het algemeen voordelen wat betreft stevigheid en treksterkte. Hierdoor is het voor sommige toepassingen mogelijk de benodigde hoeveelheid materiaal te verlagen. Het gebruik van minder materiaal voor dezelfde toepassingen en doeleinden wordt in een LCA-berekening dan weer positief gewogen.

Verder zou in een uitgebreidere vergelijking van de milieu-impact ook moeten worden gekeken naar de verschillen tussen theorie en praktijk. Welke obstakels zijn er bijvoorbeeld op dit moment nog ten aanzien van de recycling van materialen? Hoe worden de materialen gescheiden en hoe komen ze weer terug bij de producent? Het RECURF-project heeft op dit punt als voordeel dat de leveranciers van het resttextiel ook de afnemers van de nieuw ontwikkelde producten kunnen zijn. Hier liggen kansen om de theorie naar de praktijk om te zetten en de kringloop te sluiten.

CANVAS 'VALUE MAPPING
IN THE SUPPLY CHAIN'
VOOR GELUIDDEMPEND
WANDPANEEL



1. PROCESSTAPPEN:
WELKE BEWERKINGEN EN/OF
KETENROLLEN WORDEN UITGEVOERD?

DENIM INZAMELEN	SORTEREN (OP KLEUR)	VERVEZELN	VERMALEN + TOEVOEGEN PLA	PERSN	LASER SNIJDEN	SAMENSTELLEN EN BEVESTIGEN MATERIAAL	VERKOPEN	GEBRUIK IN DE WINKEL	TERUGNAME
--------------------	------------------------	-----------	--------------------------------	-------	------------------	--	----------	-------------------------	-----------

2. KETENPARTNER(S):
WIE KAN EN WIL DEZE PROCESSTAP
UITVOEREN?

SYMPANY	SYMPANY	FRANKENHUIS	HAVIVANK	GREIJN PLANQ NPSP	PLANQ	NADER TE BEPALN	NADER TE BEPALN	RESTAURANTS / STATIONS / ETC.	
---------	---------	-------------	----------	-------------------------	-------	-----------------------	-----------------------	-------------------------------------	--

3. WAARDECREATIE:
VOORDELEN VOOR PROJECTPARTNER(S)
VALUE CAPTURED

WAARDE- VERHOOGING GRONDSTOF	WAARDE- VERHOOGING GRONDSTOF	MEER BUSINESS €€	NIEUWE MARKTEN, TRENDS, ETC	NIEUWE MARK- TEN, BUSINESS EN TRENDS ETC.	COSTUMER VALUE DOOR COSTUMIZEN (LOGO'G E.D.)		NIEUW VERDIEN MODEL EN VOORSPRONG CONCURRENTIE	G-STAR / H&M / C&A / KANTOOR	
------------------------------------	------------------------------------	------------------------	-----------------------------------	---	--	--	--	------------------------------------	--

4. RANDVOORWAARDE(N):
VOORWAARDE(N) VAN PROJECTPARTNER(S)
VOOR DEELNAME

VOLUME KWIJT KUNNEN M. N. ONDERSTROMEN	VOLUME KWIJT KUNNEN M. N. ONDERSTROMEN					AFZET SERIEGROOTTE OPSCHAALBAAR	MARKT BEHOEFTE / VIALE BUSINESS MODEL		
--	--	--	--	--	--	---------------------------------------	---	--	--

5. ONBENUTTE KANSN:
NIEUWE KANSN EN MOGELIJKHEDN

			KUNSTSTOF ALTERNATIEVEN, 2DE OF 3DE GENERATIES OF GERECYCLED						
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Bijlage E: Mogelijke rollen in het waardenetwerk voor geluiddempende panelen.

