



Een showcase product van ge-3D-print vezelversterkt PHBV

Toegepast onderzoek naar de verwerking van het biobased materiaal in een
productontwerp voor het lectoraat Biobased Bouwen

Bachelor Engineering

Auteur: L. Zoeter

4 juni 2019, Vlissingen

1^e examiner: R.E. van Ingen

Studentnummer: 71277

Versie 2.0

2^e examiner: F.M. Ijsseldijk

EEN SHOWCASE PRODUCT VAN GE-3D- PRINT VEZELVERSTERKT PHBV

TOEGEPAST ONDERZOEK NAAR DE VERWERKING VAN HET BIOBASED MATERIAAL IN EEN
PRODUCTONTWERP VOOR HET LECTORAAT BIOBASED BOUWEN

ONDERZOEKSRAPPORT

Lennart Zoeter

Onderwijsinstelling	HZ University of Applied Sciences
Opleiding	Bachelor Engineering
Studieonderdeel	Afstuderen
Studiejaar	2018-2019
Semester	8
Afstudeerdocent	R.E. van Ingen
Opdrachtgever	HZ University of Applied Sciences
Titel	Een showcase product van ge-3D-print vezelversterkt PHBV
Document	Onderzoeksrapport
Datum van voltooiing	4 juni 2019
Datum van publicatie	4 juni 2019
Status	Definitieve versie
Versie	2.0
Auteur	L. Zoeter
Studentnummer	00071277

SAMENVATTING

Het lectoraat Biobased Bouwen wilt biobased materialen promoten en introduceren in de markt. Hiervoor worden verschillende onderzoek uitgevoerd naar biobased materialen en hun mogelijke toepassingen. Een van die onderzoeken gebeurt in samenwerking met colorFabb, een bedrijf gespecialiseerd in 3D-print materialen. Zij zoeken oplossingen om de krimp in PHBV, een biobased kunststof, te verminderen zodat het materiaal geschikt is om te 3D-printen.

Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een showcaseproduct van ge-3D-print vezelversterkt PHBV. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag gesteld: *“Wat is het ontwerp van een innovatief showcaseproduct gemaakt uit FDM ge-3D-print natuurvezelversterkt PHBV voor een toepassing in de bouwsector om de verschillen in materiaaleigenschappen en milieu-impact met andere kunststoffen te tonen?”*.

Tijdens het onderzoek wordt gezocht naar mogelijke innovaties voor het 3D-printen van PHBV in de bouwsector. Eén van die innovaties wordt uitgewerkt tot conceptueel product met een prototype. Om dit prototype te realiseren zal ook onderzoek worden gedaan naar het verminderen van krimp in PHBV door het toevoegen van natuurvezels en andere additieven.

Voor het vinden van innovaties in de bouwsector zijn 20 bouwbedrijven in de provincie Zeeland aangeschreven met een gestructureerd interview. Hierdoor is een beeld verkregen van de vraag naar innovatie in de bouw in het kader van dit onderzoek. Vervolgens is een analyse gedaan naar trends gerelateerd aan 3D-printen en PHBV in de bouwsector. De trends zijn gecombineerd met sterktes en kansen om te komen tot mogelijke innovatiekansen.

Op basis van de uitkomsten van de gestructureerde interviews en de trendanalyse, is geconstateerd dat er momenteel geen innovatiekansen zijn voor het 3D-printen van vezelversterkt PHBV in de bouwsector. Omdat de betrokken partijen ook bereid zijn voor andere toepassingsgebieden te ontwikkelen, is besloten om een innovatie te zoeken in de consumentenmarkt. Hiervoor zijn opnieuw trends gecombineerd met sterktes en kansen om tot innovatiekansen te komen.

De innovatiekans heeft geleid tot een ontwerpvragestuk voor ge-3D-printe bijenhôtels van vezelversterkt PHBV. Het ontwerpvragestuk is uitgewerkt tot een conceptueel product met een prototype. Hierbij is onderzoek gedaan naar de vermindering van krimp in het materiaal door het toevoegen van natuurvezels of andere additieven. Tijdens dit project zijn er geen leveranciers gevonden met geschikte natuurvezels. Op basis van andere onderzoeken is er gekozen om te experimenteren met muscoviet mica, een mineraal.

De experimenten met mica hebben aangetoond dat muscoviet mica de krimp in PHBV fors verminderd. Op basis van deze experimenten is besloten om een mengsel van PHBV met 20%_{massa} muscoviet mica te gebruiken om het showcaseproduct te 3D-printen. Dit is een geschikt mengsel om zonder problemen te 3D-printen.

VERKLARENDE BEGRIPPENLIJST

<i>ABS slurry</i>	Een vloeibare, stroperige stof. Wordt vaak gebruikt bij 3D-printen om de hechting tussen het bouwoppervlak en de 3D-print te verbeteren.
<i>Biobased</i>	Een term om aan te geven dat een materiaal hernieuwbaar is en een natuurlijke oorsprong heeft.
<i>Biodegradatie</i>	Het proces waarbij een materiaal door schimmels of bacteriën geleidelijk ontbindt tot anorganische stoffen.
<i>Brim</i>	Een rand om de eerste laag van een 3D-print. Deze rand wordt gebruikt om de hechting aan het bouwoppervlak te verbeteren.
<i>BuildTak</i>	Een bouwoppervlak met een ruwe structuur om de hechting met de 3D-print te verbeteren.
<i>Composteerbaar</i>	Een term om aan te geven dat een materiaal binnen 12 weken voor 95% kan worden afgebroken in een industriële composteringsinstallatie.
<i>Compounder</i>	Een machine waarin kunststof wordt gesmolten en gemengd met andere toevoegingen.
<i>Compounderen</i>	Het proces waarbij kunststof gemengd wordt met andere toevoegingen om de materiaaleigenschappen te beïnvloeden.
<i>CoE BBE</i>	Centre of Expertise Biobased Economy
<i>Extruderen</i>	Het proces waarbij kunststof wordt gesmolten om middels een continu proces door een mal een specifiek profiel te vormen.
<i>Filament</i>	Een lange kunststof draad op een rol die in een 3D-printer wordt geladen om 3D-modellen te kunnen printen.
<i>Kapton tape</i>	Een specifiek soort tape die o.a. wordt gebruikt om de hechting tussen het bouwoppervlak en 3D-model van een 3D-printer te verbeteren.
<i>LCA</i>	Life Cycle Analysis: een analyse van de levenscyclus van een product.
<i>Muscoviet mica</i>	Een soort mineraal met een plaatvormige structuur
<i>Nestmateriaal</i>	Materiaal wat een solitaire bij direct kan gebruiken om zijn nest in aan te leggen.
<i>Overextrusie</i>	De term die bij 3D-printen wordt gebruikt om aan te geven dat de 3D-printer meer materiaal uitgeeft dan normaal.
<i>Raft</i>	Een aantal lagen ge-3D-print materiaal dat gebruikt wordt om het kromtrekken van een 3D-print te voorkomen.
<i>Slicen</i>	De term voor het proces waarbij een 3D-model wordt omgezet naar een bestand voor een 3D-printer. Het bestand bevat informatie om het model te kunnen printen.
<i>Spuitsieten</i>	Het proces waarbij kunststof wordt gesmolten en onder hoge druk in een mal wordt gespoten.
<i>SWOT-analyse</i>	Een methode om sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen voor een bedrijf te analyseren.
<i>Vacuümvormen</i>	Het proces waarbij kunststof week wordt gemaakt en onder vacuüm over een mal wordt gevormd.
<i>Warp</i>	De term die in 3D-printen wordt gebruikt om aan te duiden dat een voorwerp krom trekt.

CONTENTS

Samenvatting	2
Verklarende begrippenlijst.....	3
1. Inleiding.....	1
1.1. Aanleiding.....	1
1.2. Probleemanalyse	2
1.3. Probleemstelling.....	3
2. Theoretisch kader	5
2.1. De definitie van innovatief	5
2.2. Showcaseproduct	5
2.3. FDM 3D-printen	6
2.4. Toepassingen van FDM 3D-printen in de bouw	7
2.5. Eigenschappen en biodegradatie van PHBV.....	9
2.6. NatuurVezelversterkt PHBV.....	11
2.7. Geschikte natuurvezels voor FDM 3D-printen van PHBV	12
2.8. Milieu-impact	14
3. Methode.....	15
3.1. Keuze voor de methodiek.....	15
3.2. Doel van de faseringen	18
3.3. Beschrijving meetinstrumenten en analysemethoden.....	19
4. Onderzoeksresultaat	23
4.1. Resultaten Innovatiefase	23
4.2. Resultaten analysefase	29
4.3. Resultaten ideefase	32
4.4. Resultaten conceptfase	36
5. Conclusie	45
5.1. Belangrijkste conclusies per fase.....	45
6. Discussie.....	46
7. Aanbevelingen.....	47
8. Bibliografie	48
Bijlagen.....	51
Bijlage A. Warp Test	51
Bijlage B. Technische Datasheet PHBV.....	56
Bijlage C. Trendanalyse	62
Bijlage D. Gestructureerde interviews met bouwbedrijven.....	69
Bijlage E. Informatie zoekvelden: Zien bedrijven in de bouwsector kansen in 3D-printen en PHBV?	77

Bijlage F. SWOT-analyse 'FDM 3D-printen in de bouwsector' & 'PHBV in de bouwsector'	78
Bijlage G. Innovatiekansen voor 3D-printen en PHBV in de bouwsector	80
Bijlage H. Innovatiekansen voor een consumentenproduct van ge-3D-print PHBV	81
Bijlage I. Procesboom	82
Bijlage J. Uitwerking van de analysevragen	85
Bijlage K. Pakket van eisen en wensen	100
Bijlage L. Volledige keuzematrix	102
Bijlage M. Gedetailleerde printinstellingen voor productie	103
Bijlage N. Instellingen van temperatuurzones van de compoundeer- en extrudeermachines	104
Bijlage O. Maattekening trekstaaf	105
Bijlage P. Afbeeldingen van slicen 3D-model voor Warp-index	106
Bijlage Q. Maattekening trapeziumvormig profiel	107
Bijlage R. Morfologische kaart	108

1. INLEIDING

1.1. AANLEIDING

CENTRE OF EXPERTISE BIOBASED ECONOMY

Het Centre of Expertise Biobased Economy, hierna genoemd CoE BBE, is een samenwerking tussen Avans Hogeschool en HZ University of Applied Sciences en is officieel erkend tot Centre of Expertise door het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap. Het doel van het CoE BBE is het vervangen van fossiele grondstoffen door het gebruik van biomassa. Dit wil men bereiken door het verbeteren van de kennis van, het onderwijs over en onderzoek naar biobased economie. Daarvoor werkt het CoE BBE ook samen met het CBBE, Wageningen Universiteit en HAN University of Applied Sciences.

Het CoE BBE behuist 3 lectoraten: Biobased Products, Biobased Energy en Biobased Bouwen. Elk lectoraat heeft verschillende onderzoeken lopen binnen hun expertisegebied. Eén van die onderzoeken is een onderzoek naar de toepassingsgebieden en eigenschappen van een vezelversterkt 3D-print filament van het biopolymeer polyhydroxybutyrate-co-valerate, hierna PHBV genoemd. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door Susanne Koppejan binnen het lectoraat Biobased Bouwen.

AANLEIDING

Enige tijd geleden is het bedrijf van Susanne Koppejan, SUKO Design, in aanraking gekomen met de opticien Schelfhout Oog en Oor. Deze opticien is op zoek naar duurzame alternatieven voor hun brilmonturen. Hierdoor is SUKO Design aan de slag gegaan met een onderzoek binnen het lectoraat Biobased Bouwen om duurzame alternatieven te vinden voor virgin kunststof.

Naast brilmonturen zijn er vele andere producten die gemaakt worden met fossiele grondstoffen terwijl het product dezelfde functies kan verrichten als dit gemaakt wordt van een biobased materiaal. Gezien fossiele grondstoffen steeds schaarser en duurder worden, moeten deze producten geproduceerd worden volgens de filosofie van biobased economie. Daarvoor wordt bij het lectoraat Biobased Bouwen gezocht naar toepassingen binnen de huidige markt om daar duurzame materialen te introduceren. Dit onderzoek richt zich op het verkennen van de toepassingen voor het 3D-printen van vezelversterkt PHBV in de huidige markt en het ontwikkelen van een voorbeeld welke de voordelen van biobased materialen kan uitlichten.

1.2. PROBLEEMANALYSE

Momenteel wordt voor het produceren van energie of bouwmaterialen veel gebruik gemaakt van fossiele grondstoffen. Door de groeiende wereldbevolking zullen deze grondstoffen enkel nog schaarser en duurder worden. Daarnaast zorgt het gebruik van deze fossiele grondstoffen voor het uitstoten van CO² uit een lange koolstofkringloop. Het uitstoten van CO² gaat op een harder tempo dan het opslaan daarvan, wat bijdraagt aan de opwarming van de aarde.

Voor de productie van bijvoorbeeld brandstoffen, bouwmaterialen en plastics zijn chemicaliën nodig die voornamelijk worden gewonnen uit fossiele grondstoffen. Er zijn echter steeds meer manieren voor handen om de benodigde chemicaliën te winnen uit biomassa. Hierdoor wordt de koolstofcyclus flink verkort en ontstaat er een CO²-neutrale cyclus, een cyclus waarbij in korte tijd net zoveel energie wordt opgeslagen als uitgestoten.

Het opslaan van CO² kan worden gedaan door het telen van gewassen die later gebruikt kunnen worden als voedsel of als biomassa. Hierbij kan gedacht worden aan het telen van suikerbieten waar vervolgens suiker uit gewonnen wordt voor gebruik in de voedingsmiddelenindustrie. Het afval wat overblijft na het winnen van de suiker is een biomassa waaruit een vezel gewonnen kan worden die gebruikt kan worden voor bouwmaterialen.

Naast de schaarste van fossiele grondstoffen die steeds groter wordt is er een groot probleem met plastic afval dat in de natuur beland. Door regenwater wordt plastic afval via rivieren naar de zee gevoerd en belandt het uiteindelijk in de oceaan waar het tot honderden jaren kan duren tot dit plastic afgebroken is. Tijdens dit afbraakproces komen ook allerlei giftige stoffen vrij. Samen zorgt dit voor grote schade aan flora en fauna in en rondom watergebieden over de hele wereld.

Om een oplossing te bieden voor deze problemen worden de laatste jaren steeds meer kunststoffen ontwikkeld die gemaakt worden uit biomassa en biologisch afbreekbaar zijn. Een van deze nieuwe kunststoffen is PHBV. Dit kunststof wordt momenteel geregeld toegepast in medische applicaties. Hiervoor worden productiemethodes gebruikt als spuitgieten en vacuümvormen. Een van de productiemethodes die nog niet geschikt is voor dit materiaal is 3D-printen.

Het bedrijf ColorFabb, een bedrijf dat 3D-print filament levert, wil dit materiaal graag toevoegen aan hun assortiment. Het probleem is echter dat PHBV veel krimp vertoont bij het 3D-printen wat resulteert in vervormde en gescheurde producten. Om deze krimp tegen te gaan wil ColorFabb een vezel toevoegen aan het filament. Deze vezel moet afkomstig zijn uit biomassa en biologisch afbreekbaar zijn zodat het eindproduct binnen afzienbare tijd afbreekt zonder de emissie van giftige stoffen.

Het lectoraat Biobased Bouwen werkt samen met de bedrijven ColorFabb (een leverancier van 3D-print filament) en Cosun (een verwerker van plantaardige grondstoffen) om het vezelversterkte PHBV filament te realiseren. Cosun is bij dit project betrokken geraakt omdat deze bij de verwerking van suikerbieten het afval heeft weten te verwerken tot een cellulosevezel. Voor deze vezel met de handelsnaam BetaFib wordt nog een toepassing gezocht om op deze manier een nieuwe functie aan het afval te geven.

Tijdens dit onderzoek zal eerst gezocht worden naar toepassingsgebieden voor vezelversterkt PHBV-filament. Vervolgens wordt er een showcase product ontworpen dat als voorbeeld en promotiemateriaal kan dienen voor het lectoraat. Daarnaast wordt er verder onderzoek gedaan naar de mechanische eigenschappen en eigenschappen bij 3D-printen van een aantal mengsels van natuurvezelversterkt PHBV.

DOELSTELLING

Dit onderzoek draagt bij aan meerdere doelstellingen. Het valt namelijk onder een groter onderzoek dat uitgevoerd wordt door Susanne Koppejan. Van dat grote onderzoek is de doelstelling:

“Het introduceren en implementeren van duurzame alternatieven voor virgin kunststof in de markt.”

Dit onderzoek draagt bij aan die doelstelling doordat er gezocht gaat worden naar toepassingsgebieden voor 3D-printen met een vezelversterkt biobased materiaal in de bouwsector. Daarmee luidt de doelstelling voor dit project:

“Het vinden en vervullen van een toepassing voor 3D-printen van vezelversterkt PHBV in de bouwsector.”

Dit onderzoek zal aan deze doelstelling bijdragen door toepassingsgebieden te zoeken en een showcase product te ontwerpen ter promotie van de duurzame alternatieven voor fossiel kunststof.

BEOOGD EINDPRODUCT

Het beoogde eindproduct is een ontwerp van een showcaseproduct dat het lectoraat kan gebruiken om de verschillen met andere materialen te laten zien bij een concreet ontwerp.

Het ontwerp bestaat uit:

- Een Solidworks 3D-model beschikbaar in het bestandsformaat voor 3D printers
- Een ontwerpverslag met daarin de resultaten van alle fases uit het ontwerpproces uitgewerkt t/m de conceptfase
- Een G-code bestand van het model om te 3D-printen
- Een omschrijving van de benodigde printinstellingen
- Een ge-3D-print prototype van vezelversterkt PHBV mits dit materiaal beschikbaar is. Anders zal een soortgelijk materiaal gebruikt worden.
- Een vergelijking in de CO²-emissie en milieu impact van het ontwerp gemaakt uit vezelversterkt PHBV tegenover andere veelgebruikte kunststoffen

HOOFDVRAAG

“Wat is het ontwerp van een innovatief showcaseproduct gemaakt uit FDM ge-3D-print natuurvezelversterkt PHBV voor een toepassing in de bouwsector om de verschillen in materiaaleigenschappen en milieu-impact met andere kunststoffen te tonen?”

DEELVRAGEN

De deelvragen zijn opgedeeld in de fases waarin het onderzoek uitgevoerd zal worden. Elke fase zal bepaalde producten opleveren die uiteindelijk samen de hoofdvraag beantwoorden. Voor verdere informatie over de faseringen en onderzoeksmethodiek zie hoofdstuk 3.

Innovatiefase

1. Wat zijn de marktsegmenten waar vezelversterkt PHBV kan worden toegepast?
2. Wat is de innovatiekans voor een showcaseproduct gemaakt uit vezelversterkt PHBV?

Analysefase

3. Wat zijn de eisen en wensen voor het showcaseproduct?
4. Wat is de ontwerpvisie voor het showcaseproduct?

Ideefase

5. Wat zijn de integrale ideeën voor het showcaseproduct die voldoen aan de eisen en wensen?
6. Welke integrale ideeën worden verder uitgewerkt in de conceptfase?

Conceptfase

7. Wat is de haalbaarheid van de concepten gekeken naar alle aspecten in het zonnewiel tot het 3^e niveau?
8. Welk concept wordt verder uitgewerkt in de materialisatiefase?

Materialisatie (prototypefase)

9. Wat is de gemaakte iteratie in het ontwerp t.o.v. de conceptfase?
10. Wat zijn de aanbevelingen voor de productie van het prototype?

CONCEPTEN UIT DE PROBLEEMSTELLING

1. De definitie van innovatief
2. Showcaseproduct
3. FDM 3D-printen
4. Toepassingen van FDM 3D-printen in de bouw
5. Eigenschappen en biodegradatie van PHBV
6. Natuurvezelversterkt PHBV
7. Geschikte natuurvezels voor FDM 3D-printen van PHBV
8. Milieu-impact

2. THEORETISCH KADER

In het theoretisch kader worden de begrippen uit de probleemstelling verder toegelicht. Hiermee wordt de samenhangende theorie rond het vraagstuk verduidelijkt en vooronderstellingen beschreven. Hierdoor wordt het onderzoek in een kader geplaatst en krijgt het onderzoek een richting. Onder elk beschreven begrip volgt een conclusie van de gevonden informatie. Deze conclusies vormen een theoretische basis voor de uitvoering van het onderzoek

2.1. DE DEFINITIE VAN INNOVATIEF

De woorden innovatie en innovatief worden vaak gebruikt om uit te drukken dat een product of een dienst vernieuwend is. Het woord is een modewoord geworden waar verschillende bronnen een andere definitie aan koppelen. Hieronder staan een aantal van deze definities vermeld gevolgd door een samenvattende definitie die voor dit project van toepassing is.

Definities voor innovatie

- Invoering van een nieuwigheid (Van Dale, 2019);
- Het succesvol toepassen van nieuwe technologieën en resultaten van onderzoek en ontwikkeling in nieuwe producten, diensten en processen die succesvol op de wereldmarkt kunnen worden afgezet (Ensie, 2017);
- Alle activiteiten die zijn gericht op vernieuwing in een bedrijf (CBS, 2019);
- Het toepassen van nieuwe technologieën in producten, diensten of processen (Management Impact, 2018).

Definities voor dit project (conclusie)

Innovatie – Het toepassen van nieuwe technologieën in producten, diensten of processen lettend op de kansen in de beoogde marktafzetting.

Innovatief – Tot stand gekomen door het toepassen van nieuwe technologieën in producten, diensten of processen lettend op kansen in de beoogde marktafzetting.

2.2. SHOWCASEPRODUCT

Een showcaseproduct is geen officieel Nederlands woord, maar wordt in spreektaal steeds vaker gebruikt. Ook in de Engelse taal is het geen bestaand woord, maar bestaan de woorden wel los van elkaar. In het Nederlands betekent showcase een vitrine (Mijnwoordenboek.nl, 2019).

Een vitrine is een glazen kast voor het tentoonstellen van voorwerpen (Van Dale Uitgevers, 2019). Hiermee zou een showcase dus een plek zijn voor objecten om ten toon te stellen aan anderen. Een showcaseproduct is dan een samengesteld woord waarvan de betekenis is: 'Een product om ten toon te stellen aan anderen'.

Gezien een showcaseproduct geen officieel Nederlands woord is, is samen met de opdrachtgever de definitie vastgelegd. Hierdoor kan het woord gedurende het onderzoek gebruikt worden. Bij gebruik van het woord showcaseproduct wordt de volgende definitie bedoeld:

'Een showcaseproduct is een product dat in een spreekwoordelijke etalage gezet wordt om aan anderen te laten zien wat er mogelijk is bij het bedrijf of organisatie. Vaak worden met deze producten bijzondere features gepresenteerd om zich te onderscheiden met de concurrentie.'

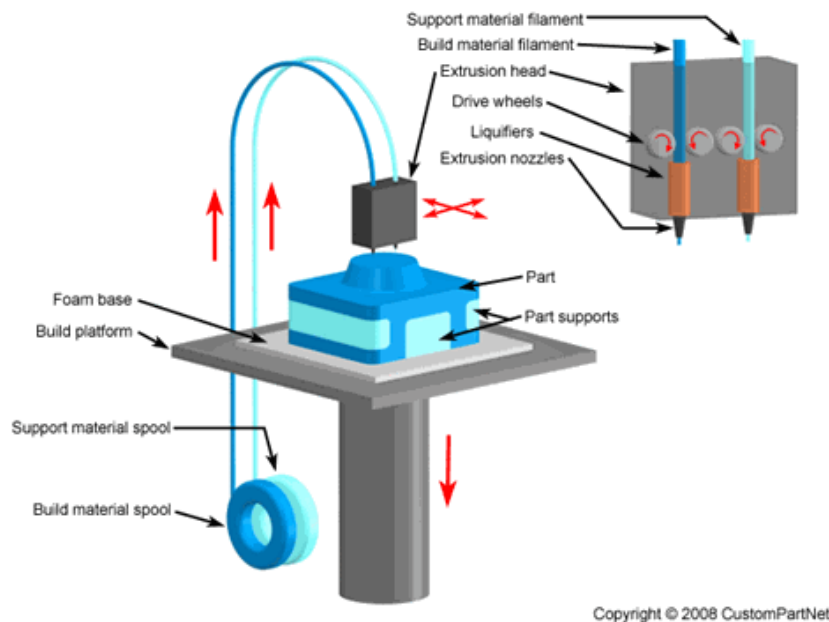
Voor dit onderzoek wordt er een showcaseproduct voor het lectoraat ontworpen van ge-3D-print vezelversterkt PHBV. Hierin wordt het showcaseproduct gebruikt om de eigenschappen van het materiaal over te brengen en te vergelijken met andere materialen.

Definitie voor dit project (conclusie)

Showcaseproduct – Een product dat door het lectoraat Biobased Bouwen en betrokken organisaties wordt geëtaleerd aan andere organisaties om de eigenschappen en milieuvoordelen te tonen van vezelversterkt PHBV ten opzichte van andere kunststoffen.

2.3. FDM 3D-PRINTEN

FDM staat voor Fused Deposition Modeling, een techniek voor 3D-printen die is gebaseerd op extruderen (zie Figuur 1). Het materiaal wordt verhit en via een nozzle naar buiten geduwd. Dit materiaal wordt in 2D-patronen neergelegd en vervolgens laag voor laag opgebouwd tot een 3D-model. Deze techniek voor 3D-printen is de meest gebruikte methode bij printers voor consumenten. Bij deze methode worden voornamelijk de materialen ABS en PLA gebruikt (Wijk & Wijk, 2015).



Figuur 1 - Schematische weergave van FDM 3D-printen (CustomPartNet, 2008).

Tabel 1

Voor- en nadelen van FDM 3D-printen t.o.v. andere 3D-print technieken

Voordelen	Nadelen
Goedkoop en goed verkrijgbaar	Heeft een lage resolutie vergeleken met andere technieken
Veel verschillende soorten filament te verkrijgen	Lage bindingskracht tussen de lagen. Dit resulteert in slechte mechanische eigenschappen van het object
Verskillende afwerkingen door filament te vullen met andere materialen	Kan gemakkelijk vervormen door gewicht van de bovenste lagen of door krimp
Loshalen van de 3D-print is gemakkelijk	Kan geen lange overhangende delen printen zonder support
Het printen met meerdere kleuren in een model is mogelijk	
Heeft een goede oppervlakteafwerking	

Deze techniek wordt vaak toegepast voor het printen van prototypes omdat het goedkoop is en een model geprint kan worden terwijl de gebruiker tegelijkertijd iets anders kan doen. Zie Tabel 1 voor een overzicht van de voor- en nadelen van FDM 3D-printen t.o.v. andere technieken.

Om deze methode voor productie van onderdelen te gebruiken moet worden gelet op:

- De vormvrijheid bij het ontwerpen. Als een model met support geprint moet worden, moet iemand dit ook verwijderen. Deze extra handeling maakt het onderdeel duurder.
- De toleranties die gehaald kunnen worden
- De mechanische eisen die worden gesteld aan het onderdeel
- De visuele eisen die worden gesteld aan het onderdeel

Conclusie

FDM 3D-printen is een productietechniek waarmee unieke vormen te produceren zijn. Hierdoor is het mogelijk om ontwerpen te realiseren die met traditionele productietechnieken zoals spuitgieten niet te produceren zijn. Deze vormvrijheid is ideaal om toe te passen bij bijzonder interieur en architectuur maar ook bij producten met een organische vormgeving. Hier tegenover staan wel een aantal beperkingen in de productie die met name te maken hebben met de mechanische en visuele prestaties van het ontwerp. Hiermee moet tijdens het ontwerpen rekening worden gehouden.

2.4. TOEPASSINGEN VAN FDM 3D-PRINTEN IN DE BOUW

DUS Architects

Het architectenbureau DUS Architects werkt met FDM 3D-printers voor het maken van prefab onderdelen in de bouw. Hierbij hebben ze de volgende ontwerpen gerealiseerd:

1. Een 'Urban Cabin' waarbij de wanden en het dak volledig ge-3D-print zijn. Dit brengt mogelijkheden voor unieke designs en goede isolatie door holle wanden.
2. Een ge-3D-print herenhuis aan de Amsterdamse grachten. Dit project is nog niet volledig af, maar wel in een vergevorderd stadium.
3. Interieur voor de Loft Store in Tokyo. Een heel groot deel van het interieur is gemaakt d.m.v. 3D-printen. Hierdoor zijn unieke designs mogelijk en kunnen custom-made producten worden gemaakt zonder grote investeringen.
4. Een ge-3D-printe anti-graffiti gevel voor ProRail

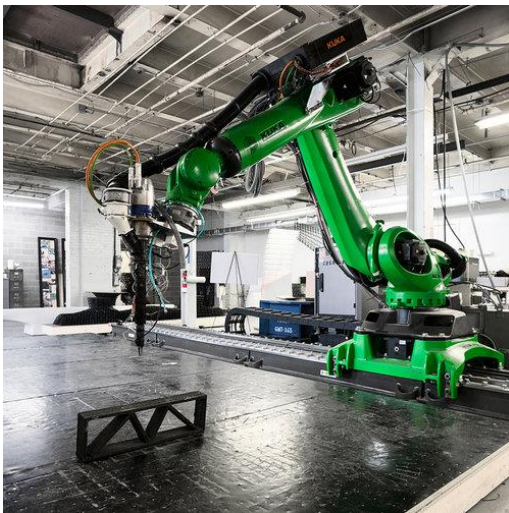
Door gebruik te maken van 3D-printen kan DUS Architects unieke vormgeving realiseren in meubilair en gebouwen. De 3D-printer wordt voornamelijk gebruikt om één of enkele exemplaren van het ontwerp te maken. Dit is ideaal voor bijzondere projecten, maar minder geschikt voor het bouwen van bijvoorbeeld rijtjeshuizen of appartementen.

Lab3d

Twee Nederlandse ontwerpers zijn met hun bedrijf Lab3d bezig om gebouwen in prefab onderdelen te printen. Hiervoor ontwikkelen ze innovatieve methodes om de prefab onderdelen met elkaar te verbinden zoals de muur met kozijn in Figuur 2. De visie van het bedrijf is om hoge resolutie printen in de bouw te brengen. Tegenwoordig wordt er in de bouw alleen nog maar op lage resolutie geprint. Dit zorgt voor snellere productietijd, maar hierdoor is het niet mogelijk allerlei features te integreren. Met hoge resolutie printen is het bijvoorbeeld mogelijk om de isolatie, waterleidingen en raamkozijnen te integreren. Dan duurt het printen langer, maar hoeven deze onderdelen niet later met de hand aangelegd te worden (Krassenstein, 2015).



Figuur 2 - Ge-3D-printe muur met kozijn (Lab3d, 2015).



Figuur 3 - De C-fab van Branch Technology (Branch Technology, 2017)

Branch technology

Het bedrijf Branch technology maakt geen gebruik van een 3D-printer met XY-tafel maar met een robotarm zoals is te zien in Figuur 3. Een tweedehands robotarm is namelijk een stuk goedkoper voor het printen van grote constructies. Ook dit bedrijf ontwikkeld hiermee unieke vormen die in dit geval veelal zijn geïnspireerd door de natuur. Er is interieur, straatmeubilair en kunst mee gerealiseerd. Er zijn ook ontwerpen voor gebouwen gemaakt, maar deze zijn nog niet gebouwd.

Conclusie

In de bouwsector wordt steeds meer gebruik gemaakt van 3D-printen, maar voornamelijk van Paste Extrusion Deposition (PED) 3D-printers die bijvoorbeeld holle wanden van beton kunnen printen. Een handvol innovatieve bedrijven gebruiken ook FDM 3D-printers in de bouw. Deze bedrijven kiezen voor deze techniek om de grote vormvrijheid in kleine series, de mogelijkheid om meer functies te integreren of om arbeidsintensief en repetitief werk te laten uitvoeren door robots.

2.5. EIGENSCHAPPEN EN BIODEGRADATIE VAN PHBV

PHBV is een kunststof van de familie polyhydroxyalkanoaten (PHA's). Deze kunststoffen worden geproduceerd met behulp van micro-organismen. Dit wordt gedaan door bepaalde bacteriën te voeden tot er genoeg van deze bacteriën zijn. Vervolgens wordt de voeding gereduceerd of stopgezet om een onbalans te creëren die stress veroorzaakt onder de bacteriën. Om te overleven zullen de micro-organismen de stoffen om zich heen gebruiken en omzetten naar voorraden polymeren (PHBV) in de cel. In een ideale situatie kan een cel voor 80% tot 90% bestaan uit deze polymere voorraden. Als de cel de maximale hoeveelheid PHBV heeft bereikt wordt het proces stopgezet en wordt de PHBV uit de cellen gewonnen (TianAn Biologic Materials Co. Ltd., 2012).

PHBV is naast biobased ook biologisch afbreekbaar in grond of water, waar het door microben wordt omgezet in koolstofdioxide en water. Hierdoor is het geschikt voor thuis composteren of voor regio's waar industrieel composteren niet mogelijk is. PHBV kan ook afbreken door een anaeroob dissimilatieproces waarbij methaangas vrijkomt (TianAn Biologic Materials Co. Ltd., 2012).

Materiaaleigenschappen

PHBV is een thermoplastisch kunststof met veel mechanische en fysische eigenschappen die overeenkomen met de materialen PLA, PP of PE. De voornaamste verschillen zijn dat PHBV en PLA biodegradeerbaar zijn en een hogere stijfheid hebben. Zie Tabel 2 voor een overzicht van de voornaamste eigenschappen.

Tabel 2

De materiaaleigenschappen PHBV t.o.v. PLA, PP en PE

	PHBV ¹	PLA ²	PP ²	PE ²	
Dichtheid	1250	1290	916	957	kg/m ³
Melt Flow Index (MFI)	8 - 15	14,1	53,7	4,19	g/10min
Vloeigrens	31 – 36	36,3	32,8	25,9	MPa
Treksterkte	39	46,8	79,7	27,0	MPa
Rek bij breuk	3,8	6,0	292	638	%
Elasticiteitsmodulus	1600 - 2100	2790	1470	968	MPa
Buigmodulus	2200 - 2900	3870	1400	1190	MPa
DSC smeltpunt	166	156	160	129	°C
Izod Impact	55 - 70	- ³	- ³	2-3	J/m

¹ Gegevens uit de datasheet van ENMAT Y1000P te vinden in Bijlage 2 (TianAn Biologic Materials Co. Ltd., 2018)

² Gegevens zijn gemiddelde waarden van verschillende compounds van de materialen (Matweb, 2019)

³ Waarden verschillen veel bij verschillende compounds, daarom wordt er geen gemiddelde vermeld.

Het granulaat ENMAT Y1000P is beschikbaar voor verkoop en zal gedurende dit onderzoek gebruikt worden voor het maken van testbatches, materiaaltests en prototypes.

Biologische afbreekbaarheid

Er is veel onderzoek gedaan naar de biologische afbreekbaarheid van PHBV en gerelateerde kunststoffen. Eén van deze onderzoeken heeft, zowel op laboratoriumschaal als op pilotschaal, de degradatie van PHBV getest onder omstandigheden van composteren volgens ISO 14855-2 en ISO 16929.

Volgens dit onderzoek beginnen bacteriën aan de wand van de film met het afbreken van het materiaal. Gedurende dit proces ontstaan er spleten en onregelmatigheden op de film. Hierdoor heeft de film meer oppervlak waar bacteriën aan kunnen hechten en gaat het proces nog sneller. Het verloop van dit proces is te zien in Figuur 4.

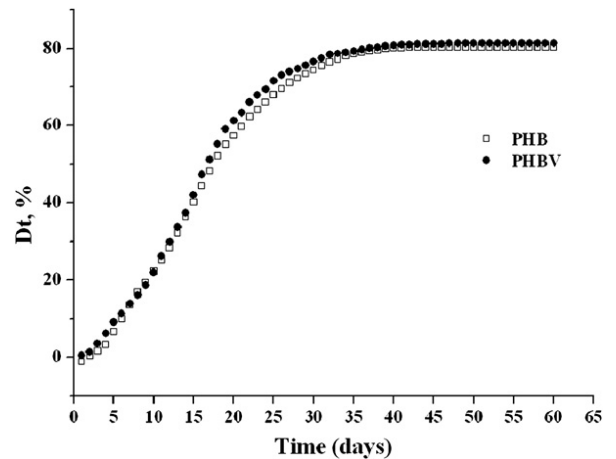
Na 39 dagen is 81% van de film gedegradéerd en na 12 weken konden er geen deeltjes van 2mm of groter worden gevonden. Volgens ISO 16929 is het PHBV dan voor 100% afgebroken (Weng, Wang, Wang, & Wang, 2010).

Composteerbaarheid

Vaak wordt de term biodegradeerbaar en composteerbaar door elkaar gebruikt om aan te duiden dat een materiaal degradeert in natuurlijke omgeving. Dit is echter niet altijd het geval. Een biodegradeerbaar materiaal is niet altijd composteerbaar. Het verschil zit in industrieel of thuis composteren welke bij verschillende temperaturen gebeuren. Industrieel composteren gebeurt vaak op een veel hogere temperatuur (55 tot 60 °C) dan thuis composteren. Om een onderscheid te maken en duidelijkheid te scheppen naar de consumenten, zijn er tegenwoordig keurmerken beschikbaar om het verschil aan te duiden. Het keurmerk kan worden uitgegeven aan een product, dus niet aan een materiaal, omdat de vorm en wanddikte bepalend zijn voor het degradatieproces. De producten worden getoetst volgens EN13432:2000 om te bepalen of deze thuis composteerbaar of industrieel composteerbaar zijn (TÜV, 2019).

Conclusie

Het materiaal PHBV heeft goede mechanische eigenschappen en lijkt daarmee het meeste op PLA. PHBV is wat minder stijf en heeft een goede weerstand tegen impact in vergelijking met andere kunststoffen. Een van de bijzondere eigenschappen van PHBV is de goede biodegradeerbaarheid. Deze eigenschap kan in een product worden gebruikt om milieuvervuiling tegen te gaan door snelle composteerbaarheid. Hierdoor zullen planten en dieren minder last hebben van rondzwerfend plastic en wordt de koolstofketen flink verkort t.o.v. fossiele plastics. Het is wel van belang om vast te stellen of een product deze eigenschappen nodig heeft en daarop in te spelen. Hiervoor kan worden gekeken naar productvoorbeelden die beoordeeld zijn volgens de norm EN13432:2000 om ontwerprichtlijnen op te stellen.



Figuur 4 - Degradatie van PHB en PHBV over tijd (Weng, Wang, Wang, & Wang, 2010)

2.6. NATUURVEZELVERSTERKT PHBV

Vezelversterkte kunststoffen, ook composieten genoemd, zijn een mengsel van twee of meer materialen. Vaak is het een mengsel van een kunststof met een vezel om betere materiaaleigenschappen te creëren. Een composiet zal de meeste van zijn fysische, thermische en mechanische eigenschappen behouden, in tegenstelling tot metalen legeringen. De grootste voordelen van een composiet is dat het materiaal een hoge sterkte en stijfheid heeft bij een lage dichtheid vergeleken met kunststof zonder vezels (Campbell, 2010).

Een natuurvezelversterkt kunststof is een composiet welke versterkt is met vezels van een natuurlijke oorsprong. Hierbij kan gedacht worden aan vlas, hennep of cellulose.

Bestaand of onderzocht natuurvezelversterkt PHBV

PHBV met vezels van agrarische residuen

Er is onderzoek gedaan naar PHBV wat is versterkt met vezels van agrarische residuen. Hierbij zijn composieten gemaakt met vezels uit maïs, tarwe en soja of een combinatie van die vezels. De resultaten van dit onderzoek laten zien dat PHBV composieten met 30% biovezels een toename in stijfheid hebben van $\geq 240\%$ vergeleken met het virgin PHBV. De treksterkte en buigsterkte blijven nagenoeg gelijk of nemen zelfs licht toe.

Daarentegen nemen de weestand tegen impact en rek bij breuk flink af.

Hetzelfde onderzoek heeft ook composieten getest met 40% biovezel. Deze composieten werden nog stijver en vertoonden een verdere terugname in de weerstand tegen impact en rek bij breuk. Wat verder opviel is dat de trek- en buigsterkte van deze composieten lager is dan die van virgin PHBV (Ahankari, Mohanty, & Misra, 2011).

PHBV met Cellulose Nanokristallen (CNC) en Cellulose Nanovezels (CNF)

Een ander onderzoek heeft composieten van PHBV met cellulosevezels onderzocht. Hiervoor zijn twee verschillende cellulose structuren gebruikt. Bij beide vezelsoorten wordt een oplossing gemaakt waarbij de cellulose wordt blootgesteld aan een hoge stroming zodat er een bepaalde structuur wordt gevormd met de cellulose vezels. Dit proces lijkt veel op het proces dat Cosun gebruikt voor het verwerken van BetaFib. Als de vezels klaar zijn voor gebruik worden deze nat gemengd met PHBV poeder. Vervolgens wordt het mengsel gedroogd op 60°C gedurende 24 uur en gesmolten met een compounder om te mengen en te extruderen tot composieten staven of granulaat.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de stijfheid toeneemt maar de treksterkte afneemt naarmate er meer cellulose aan het PHBV wordt toegevoegd. Dit lijkt te worden veroorzaakt door de slechte binding tussen de hydrofiele cellulose en hydrofobe PHBV. De hogere stijfheid van de composiet resulteert ook in een vermindering van de rek bij breuk.

Wat opvalt bij de CNC composiet met $1\%_{\text{massa}}$ aan cellulose vezels, is dat de weerstand tegen impact beter is in vergelijking met het virgin PHBV. Echter bij composieten met meer CNC-vezels nam de weerstand tegen impact juist af. Bij composieten met CNF-vezels nam de weerstand tegen impact sneller af bij het gebruik van meer vezels (Jun, et al., 2017).

PHBV met vingergrasvezels

Er is ook onderzoek gedaan naar composieten met vezels van vingergras. In vergelijking met de vezels die zijn gebruikt bij de vorige composietsoorten, zijn deze vezels significant groter. Dit onderzoek laat zien dat een composiet met $20\%_{\text{massa}}$ vezels gelijkwaardige treksterkte heeft als het virgin materiaal. Bij een composiet met $25\%_{\text{massa}}$ verbeteren zowel de stijfheid als de treksterkte t.o.v. virgin materiaal. Als er meer vezel wordt toegevoegd ($30\%_{\text{massa}}$ of $40\%_{\text{massa}}$) nemen de trek- en buigsterkte af. De stijfheid van het materiaal neemt wel verder toe (Nagarajan, Misra, & Mohanty, 2013).

Conclusie

Er zijn meerdere samenstellingen aan composieten gemaakt met PHBV als bindend thermoplast. Vanwege de verwerking worden over het algemeen korte vezels gebruikt waardoor het materiaal voornamelijk stijver wordt. De treksterkte verbeterd nauwelijks of neemt zelfs af bij het gebruik van korte vezels. Dit heeft voornamelijk te maken met de slechte hechting tussen de hydrofiele vezels en het hydrofobe PHBV. Voor deze applicatie is het voornamelijk van belang dat het materiaal goed verwerkbaar is en na 3D-printen weinig krimp vertoont. Om dit te realiseren kunnen vezels gebruikt worden. In een ideale situatie zijn dit hydrofobe natuurvezels.

2.7. GESCHIKTE NATUURVEZELS VOOR FDM 3D-PRINTEN VAN PHBV

Een van de grote problemen bij het 3D-printen van PHBV is de grote krimp die het materiaal vertoont bij het afkoelen. Volgens J. Donkers (persoonlijke communicatie, 28 februari 2019) heeft ColorFabb allerlei printinstellingen geprobeerd om er goede prints mee te krijgen, maar het materiaal gedraagt zich dusdanig dat deze instellingen te weinig invloed uitoefenen.

Het toevoegen van vulstoffen zoals talk aan kunststof kan krimp verminderen. Waar zuiver PP een krimp heeft van 2% zal in diezelfde situatie PP met 40% talk slechts 1,2% krimpen. Vulstoffen zoals talk hebben invloed op de materiaaleigenschappen maar zorgen niet altijd voor interessante verbeteringen. Het gebruik van vezels zal wel interessante eigenschappen toe kunnen voegen aan materialen terwijl het ook krimp vermindert. Hierbij moet goed op de aspectratio van de dimensies van de vezel worden gelet. Een vezel met een hoge aspectratio zal sneller in de richting van de extrusie uitlijnen. Hierdoor ontstaat anisotrope krimp waarbij de krimp haaks op de extrusierichting groter is dan in de krimp in de extrusierichting (Plastrubition, 2012).

BetaFib MCF

Voor dit project is er contact geweest met de R&D afdeling van Royal Cosun over een cellulose microvezel met de handelsnaam BetaFib. Dit is een cellulose microvezel die in vloeistoffen bij bepaalde verhouding een onderlinge verbinding aangaat die de sterkte van carbon zou kunnen bereiken. Volgens B. van Ingen (persoonlijke communicatie, 27 februari 2019) zijn er drie grote problemen die overwonnen moeten worden om BetaFib te mengen met PHBV:

1. BetaFib houdt erg veel vocht vast (ongeveer 80% van BetaFib is vocht)
2. Als BetaFib gedroogd wordt klontert het samen en is het onbruikbaar als microvezel
3. BetaFib is enorm hydrofiel terwijl PHBV hydrofoob is. Dit zorgt voor een slechte onderlinge hechting. Dit kan alleen verholpen worden als er een goede hulpstof wordt gevonden voor goede hechting.

Het advies vanuit Cosun is om een vezel te zoeken die minder vocht vasthoudt en een betere hechting heeft met PHBV. Hierdoor zullen de bovengenoemde problemen omzeild worden terwijl de krimp van PHBV wordt verminderd. Royal Cosun zal wel bij het project betrokken blijven door het delen van informatie en testsamples van natuurvezels.

Beschikbare natuurvezels

Er zijn inmiddels veel verschillende natuurvezels beschikbaar op de markt. Van deze vezels is belangrijk dat het formaat straks kleiner is dan 100 micron. Dit is nodig om verstopping in de extrusiekop van de 3D-printer te voorkomen. Daarnaast is het van belang dat er weinig water door de vezels wordt vastgehouden of dat het vocht via een makkelijk proces uit de vezel te halen is voordat het wordt gemengd met PHBV. In Tabel 3 is een overzicht gemaakt van beschikbare natuurvezels. Hierbij staat het formaat van de vezel en de natuurlijke vochtherwinning vermeld.

Tabel 3*Beschikbare natuurvezels*

Nr.	Vezel	Vezellengte ¹	Vezeldiameter ¹ (µm)	Natuurlijke vochttherwinning ² (%)
1.	Kokosvezel	35 cm	12-25	13
2.	Katoen	10-65 mm	11-22	7-8
3.	Vlas	Tot 90 cm	12-16	12
4.	Hennep	N/A	16-50	12
5.	Jute	1-4 m	17-20	13,75
6.	Ramie	Tot 190 cm	25-30	7,5-8

¹ Het formaat van de vezels (FAO, 2009)² De natuurlijke vochttherwinning van de vezels (ASTM International, 2004)**Conclusie**

De meeste natuurvezels zijn uit zichzelf hydrofiel en zullen een slechte hechting hebben met PHBV. Dit valt mogelijk op te lossen door een hulpstof toe te voegen die de onderlinge hechting verbeterd of door een hydrofobe natuurvezel te gebruiken. Om dit toe te passen moet meer onderzoek worden gedaan naar een geschikte vezel. De keuze voor de vezel die tijdens dit onderzoek gebruikt zal worden, wordt gemaakt in de analysefase.

Om een product gemaakt van vezelversterkt PHBV te vergelijken met andere kunststoffen moet de milieu-impact gemeten worden. Om dit te doen zijn een grote variëteit aan tools en databases beschikbaar. Om een goede tool te kunnen gebruiken is het belangrijk om vast te stellen wat er gemeten moet worden. Die waardes vormen uiteindelijk de product footprint.

Product Environmental Footprint (PEF)

De Europese Unie ontwikkelt een standaardmethode om een product footprint te ontwikkelen. Hierdoor kunnen de producten die volgens deze methodiek worden getoetst eerlijk vergeleken worden. De PEF is een toetsingsmethode die is gebaseerd op het uitvoeren van een LCA. Hierbij worden alle stadia van de levenscyclus van het product bekeken om de milieu-impact te bepalen. De PEF is een methode die nog in ontwikkeling is. Van 2013 tot 2016 is er een pilot gedaan om de standaardmethode te testen en verbeteren. Deze pilot is positief verlopen en is verlengd tot 2019 (AISE, 2014).

LCA tools

Er zijn momenteel veel verschillende tools om een LCA studie mee uit te voeren. Een groot aantal tools zijn betaald en vereisen veel oefening om mee te werken. Er zijn ook enkele gratis tools beschikbaar. Een van deze tools is OpenLCA ontwikkeld door GreenDelta. Voor het gebruik van deze tool zijn veel instructies te vinden waarvoor OpenLCA ook een eigen YouTube kanaal gebruikt. OpenLCA kan gebruik maken van verschillende databases met informatie over bijvoorbeeld materialen en processen en wordt ondersteund door de Europese Joint Research Commission (GreenDelta, 2018).

Zwerfafval

Een van de grote problemen van het gebruik van fossiele kunststoffen is het zwerfafval wat ontstaat. Dit afval kan ontstaan door verliezen bij het winnen van grondstoffen, produceren van kunststoffen en verwerken tot eindproduct. Het grote gevaar is dat plastic producten in de natuur belanden en daarbij de flora en fauna schade toebrengen. Vervolgens blijft het afval lang in de natuur en wordt het afgebroken tot steeds kleiner plastic. Uiteindelijk blijft er microplastic over welke door dieren worden geconsumeerd. Door het verloop van de voedselketen zullen deze plastics uiteindelijk in alle organismen terechtkomen. Deze vorm van impact wordt met de huidige LCA tools niet berekend (CE Delft, 2017).

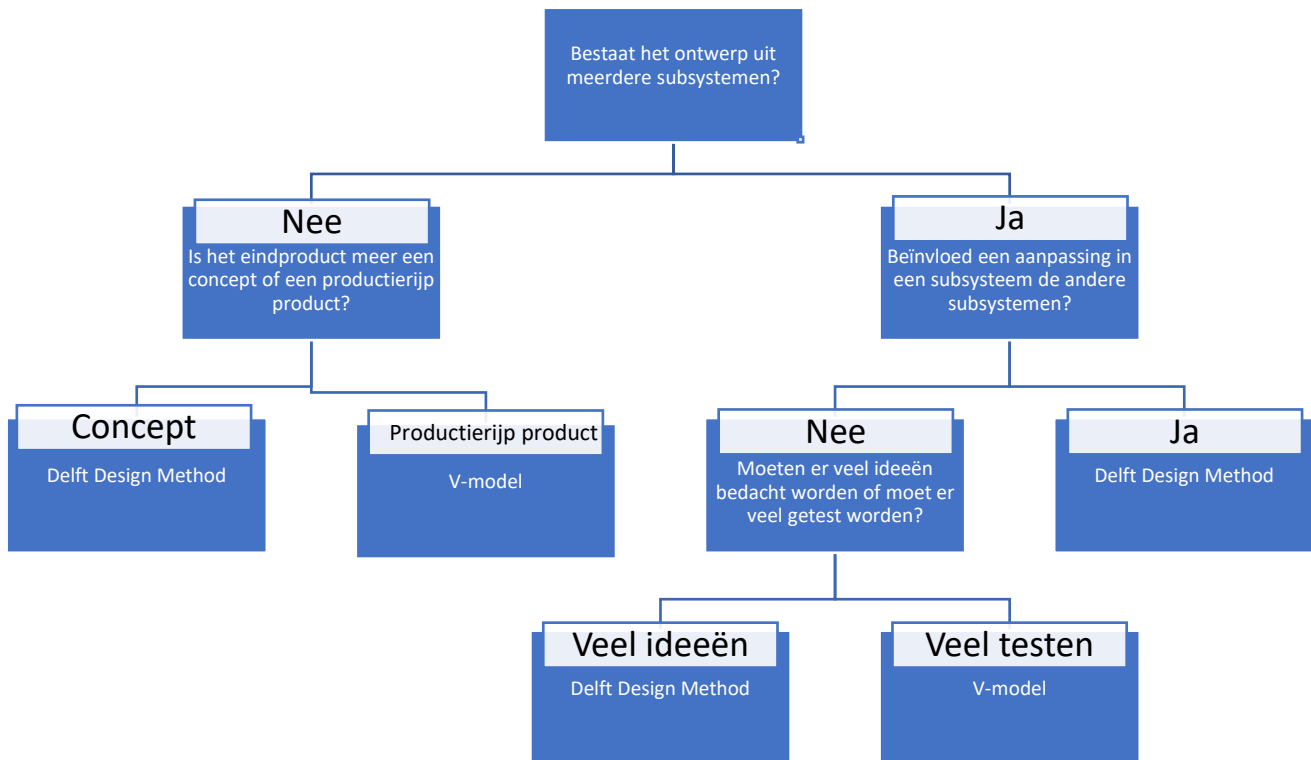
Conclusie

Om de vergelijking te kunnen maken van een specifiek product van vezelversterkt PHBV t.o.v. andere kunststoffen kan de tool van OpenLCA gebruikt worden. Hierbij is het wenselijk dat de richtlijnen van de PEF gevolgd worden zodat een vergelijking met andere PEF's mogelijk is. Verder is het belangrijk dat er rekening gehouden wordt met afvalstromen in het proces. Deze worden nu in een LCA niet meegenomen, maar hierover kan een verwachting worden uitgesproken aan de hand van onderzoek naar de biologische afbreekbaarheid van het product.

3. METHODE

3.1. KEUZE VOOR DE METHODIEK

Om de juiste methode te kiezen moet worden gekeken naar de opdracht die moet worden uitgevoerd. Hierbij is het belangrijkste waar op gelet moet worden de verdeling van subsystemen. Bijna alle ontworpen producten bestaan uit subsystemen, maar de mate van integratie bepaald de methode die gebruikt moet worden. In Figuur 5 wordt een keuzehulp weergegeven voor het maken van een keuze tussen de Delft Design Method en het V-model.



Figuur 5 - Keuzehulp voor het kiezen van de ontwerpmethodiek

Voor dit project gelden mogelijk 2 situaties. Het kan zowel uit meerdere subsystemen bestaan als slechts 1 systeem. Echter moeten er in beide situaties veel ideeën bedacht worden en blijft het ontwerpen aan de conceptkant van het ontwerpproces. Om deze reden wordt er gekozen voor de Delft Design Method.

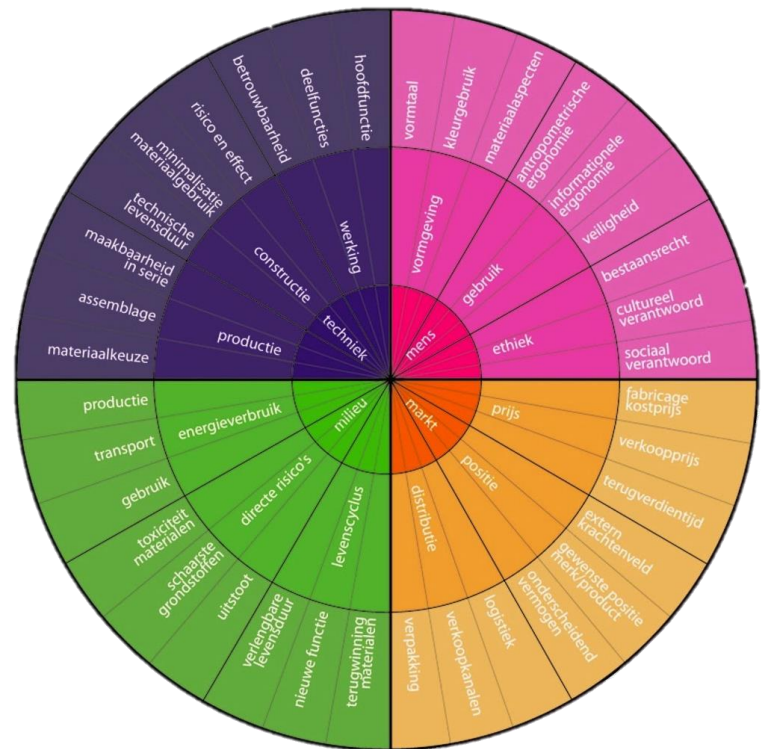
De ontwerpmethodiek voor dit project wordt de Delft Design Method. Deze methode wordt gekozen omdat er een innovatief product ontwikkeld moet worden dat niet direct bestaat uit verschillende subsystemen (Boeijen, Daalhuizen, Zijlstra, & Schoor, 2013).

Naast de Delft Design Methode wordt tijdens het ontwerpproces gebruik gemaakt van het integrale zonmodel. Dit model dekt praktisch alle aspecten af om rekening mee te houden bij het ontwerpen. Hierdoor wordt voorkomen dat de ontwerper een blinde vlek krijgt (Timmers & van der Waals, 2012).

Integrale zonmodel (zonnewiel)

In de Figuur 6 is te zien hoe het integrale zonmodel eruit ziet. Het is een cirkel welke over vier kwadranten is verdeeld. Elk van deze kwadranten is weer onderverdeeld in kleinere stukjes (het 2^e niveau) welke weer zijn onderverdeeld in nog kleinere stukjes (het 3^e niveau). Door tijdens het ontwerpen rekening te houden met al deze aspecten, kan een evenwichtig integraal ontwerp gemaakt worden. Het ondersteunt de ontwerper tijdens het proces om blinde vlekken te voorkomen.

Binnen dit project is echter niet de mogelijkheid om met alle aspecten evenveel rekening te houden. Daarvoor is de opdracht te complex binnen deze tijd. In de tabel hieronder is de verdeling van de aandacht per aspect tot het 3^e niveau aangeduid.



Figuur 6 - Het integrale zonmodel (Timmers & van der Waals, 2012)

Tabel 4

De verdeling van de focus op de verschillende aspecten van het zonnewiel

Techniek	33%	Productie	19%	Maakbaarheid in serie	5%
				Assemblage	1%
				Materiaalkeuze	14%
				Risico en effect	1%
				Minimalisatie materiaal	5%
				Technische levensduur	1%
				Hoofdfunctie	2%
				Deelfuncties	3%
				Betrouwbaarheid	1%
Mens	17%	Constructie	7%	Vormtaal	2%
				Kleurgebruik	2%
				Materiaalaspecten	5%
				Antropometrische ergonomie	1%
				Informationele ergonomie	2%
				Veiligheid	1%
				Bestaansrecht	2%
				Cultureel verantwoord	1%
				Sociaal verantwoord	1%
		Werking	7%		
		Vormgeving	9%		
		Gebruik	4%		
		Ethiek	4%		

Markt	25%	Prijs	4%	Kostprijs	2%
				Verkoopprijs	1%
		Positie	18%	Terugverdiëntijd	1%
				Extern krachtenveld	6%
				Positie	2%
				Onderscheidend vermogen	10%
		Distributie	3%	Logistiek	1%
				Verkoopkanalen	1%
				Verpakking	1%
		Milieu	25%	Energie- verbruik	5%
Transport	2%				
Gebruik	1%				
Directe risico's	10%			Toxiciteit materialen	3%
				Schaarste grondstoffen	2%
				Uitstoot	5%
Levenscyclus	10%			Verlengbare levensduur	2%
				Nieuwe functie	3%
				Terugwinning	5%

In Tabel 4 is te zien dat er een aantal aspecten zijn waar meer op gefocust wordt. Deze aspecten zijn in Tabel 5 opgesomd met een uitleg waarom deze aspecten meer aandacht krijgen.

Tabel 5

Onderbouwing voor de focus van dit onderzoek

Maakbaarheid in serie	Dit aspect krijgt meer aandacht omdat 3D-printen een relatief nieuwe techniek is voor het produceren van onderdelen. Door op dit deel listen te stapelen kan een onderdeel in serie geproduceerd worden met 3D-printers.
Materiaalkeuze	Het materiaal PHBV is erg nieuw en kan nog niet worden toegepast in 3D-printers. Daarom zal dit onderdeel relatief veel aandacht krijgen. Er zullen tests moeten worden uitgevoerd om het materiaal printbaar te krijgen.
Minimalisatie materiaal	De mechanische eigenschappen van ge-3D-printe onderdelen zijn minder goed dan onderdelen die gespuits zijn. Hier moet onderzoek naar gedaan worden om te garanderen dat de mechanische eigenschappen voldoen.
Materiaalaspecten	In de vormgeving moeten de materiaalaspecten duidelijk naar voren komen. Dit product wordt namelijk ontwikkeld om PHBV te promoten.
Extern krachtenveld	Dit onderdeel zal voornamelijk in de innovatiefase aan bod komen. Hier wordt de verdere markt verkend om te zien wat er speelt en waar een innovatie gemaakt kan worden.
Onderscheidend vermogen	Dit onderdeel zal voornamelijk in de innovatiefase aan bod komen. Hierbij is het belangrijk dat de innovatie zich onderscheid van al bestaande materialen en/of producten.
Uitstoot	Samen met de andere aspecten van directe risico's en levenscyclus worden uitstoot en terugwinning meegenomen in een LCA en later vergeleken met andere kunststoffen voor hetzelfde product. Hiermee kan voor hetzelfde product een duidelijke vergelijking gemaakt worden
Terugwinning	

3.2. DOEL VAN DE FASERINGEN

Bij de Delftse ontwerpmethodiek worden er verschillende fases doorlopen om een product te ontwerpen. In Tabel 6 staan in chronologische volgorde de faseringen genoemd met het doel van elke fase. De zogeheten 'materialisatiefase' is vervangen voor de 'prototypefase'. Dit is gedaan omdat het voor deze opdracht niet vereist is om een productdocumentatiepakket op te leveren en de productie op te starten. De prototypefase zal zich richten op de productie van het prototype.

Tabel 6

Het doel van elke fase in het onderzoek

	Fase	Doel
1.	Innovatiefase	Het zoeken naar mogelijke marktkansen om tot een ontwerpvraagstuk te komen
2.	Analysefase	Het zoeken van relevante informatie bij het probleem om tot een onderbouwd pakket van eisen wensen en een ontwerpvisie te komen
3.	Ideefase	Het genereren van ideeën om deze te combineren tot 4 integrale ideeën waaruit een keuze wordt gemaakt voor 2 concepten
4.	Conceptfase	Het aantonen van de haalbaarheid van de concepten en een keuze maken voor het eindontwerp
5.	Prototypefase	Het eindontwerp zoverre detailleren dat deze rijp is voor het produceren van een prototype

3.3. BESCHRIJVING MEETINSTRUMENTEN EN ANALYSEMETHODEN

3.3.1. MEETINSTRUMENTEN PRODUCTONTWERP

Fase	Meetinstrumenten en analysemethoden	Omschrijving
Innovatiefase	Probleemstelling innovatiefase	- Verduidelijking van het probleem en zoekplan
	Resultaten van het zoekplan	- Weergeeft de resultaten van het zoekplan
	Trendanalyse	- Deskresearch naar actuele en relevante trends
	SWOT-analyse	- Sterktes en zwaktes van het bedrijf
	Innovatiekansen	- Combinaties van sterktes en trends leiden tot innovatiekansen
	Ontwerpvragestuk	- De innovatiekansen leiden tot een ontwerpvragestuk
Analysefase	Probleemstelling	- Verduidelijking van het probleem
	Procesboom	- Onderzoek naar levenscyclus van het product
	Onderzoeken naar analysevragen	- Verzamelen van relevante informatie
	Pakket van eisen en wensen	- Specificaties waar het ontwerp aan moet voldoen
	Ontwerpvisie	- Visie over het te ontwerpen product
	Definitieve probleemstelling	- Antwoorden op de deelvragen van de probleemstelling
	Zoekvelden voor de ideefase	- Een zoekplan voor het bedenken van ideeën
Ideefase	Ideeën op deelproblemen	- Ideeën genereren zonder te letten op realisme
	COCD-box	- Ideeën ordenen en opwerken op realisme
	Opgewerkte ideeën	- Ideeën die aannemelijk haalbaar zijn
	Morfologische kaart	- Ordening van de aannemelijk haalbare ideeën
	4 Integrale ideeën	- Combinatie van de deelideeën tot één totaaloplossing
	Keuzematrix	- Keuzematrix op basis van het pakket van eisen en wensen
	Onderbouwd voorstel voor 2 concepten	- Onderbouwing voor de keuze van de concepten
Conceptfase	Conceptuitwerking integrale zonmodel	- Onderbouwing van de haalbaarheid op de aspecten uit het zonnewiel uitgewerkt tot het 3 ^e niveau
	Kostprijschatting	- Schatting van de kosten van de productie
	Materiaalspecificaties	- Resultaten van het materiaalonderzoek
	Onderzoek maakbaarheid in serie	- Onderzoek en iteratie op printbaarheid van het ontwerp
	Vormstudie	- Onderzoek en iteratie op vormgeving van het ontwerp
	LCA	- Onderzoek naar de levenscyclus en milieubelasting
	Eerste prototypes	- Testprints van het ontwerp
	Onderbouwd voorstel voor eindontwerp	- Onderbouwing voor de keuze van het definitieve ontwerp
Prototype fase	Iteratie uitwerking integrale zonmodel	- Verbetering in het integraal ontwerp
	Iteratie in vormgeving	- Verbetering in vormgeving
	Iteratie in productie	- Verbetering in produceerbaarheid
	Iteratie in constructie	- Verbetering in constructie
	Iteratie in LCA	- Verbetering in milieubelasting
	Prototype als showcase voor lectoraat	- Een prototype dat het lectoraat tentoon kan stellen
	Infographic LCA	- Infographic die milieubelasting van PHBV vergelijkt met andere kunststoffen

3.3.2. MEETINSTRUMENTEN MATERIAALONDERZOEK

Naast de tussenproducten die per fase zijn beschreven, zal gedurende de analysefase en conceptfase een aantal materiaaltests uitgevoerd worden. Deze materiaaltests bestaan uit 3 delen zoals is te zien in Tabel 7.

Tabel 7

Uitvoer van de tests ingedeeld op fases van het onderzoek

Nr.	Test	Uitvoer
1.	FDM 3D-printen met PHBV	Initiële test met virgin PHBV – Analysefase Tests met vezelversterkt PHBV – Conceptfase
2.	Bereiden van testbatches vezelversterkt PHBV	Conceptfase
3.	Testen van mechanische eigenschappen	Conceptfase

Deze tests zullen worden uitgevoerd om inzicht te krijgen in de eigenschappen van dit materiaal in deze nieuwe toepassing. Hierbij zal het onderzoek zich beperken tot een test met één soort natuurvezel.

FDM 3D PRINTEN MET PHBV

Het doel van deze test is om de kwaliteit van 3D-prints testen bij verschillende batches PHBV filament. Hiervoor worden twee modellen geprint die zullen testen op verschillende onderdelen.

Warp-index test

Bij deze test wordt het warpen van het materiaal getest. Daarvoor wordt een standaard test gebruikt die is ontwikkeld om een getal te geven aan de hoeveelheid warp die het model ondergaat. Dit getal heet de warp-index. In het kort wordt de test als volgt uitgevoerd:

1. Een standaardmodel, het gordijn, wordt uitgeprint;
2. 5 individuele lagen op een vaste afstand worden met een permanent marker gemarkeerd. Het model wordt gescand op ware grootte en de lagen worden gemeten m.b.v. Adobe Illustrator;
3. De warp-index wordt berekend met de formule: $Warp_z = \frac{\text{laagdoorbuiging}}{\text{laaglengte}} \times 1000$
Deze index wordt per gemarkeerde laag berekend zodat er 5 indexen uitkomen;
4. De index van elke laag wordt in een grafiek gezet welke vergeleken kan worden met andere tests.

Zie *Bijlage A. Warp Test* voor een uitgebreide omschrijving van de test en voor het verkrijgen van het standaardmodel 'het gordijn'.

3D Benchy test

Bij deze test wordt een standaardmodel van een boot gebruikt (zie Figuur 7) waarin features als overhang, zichtbaarheid van de lagen en oppervlakedetails worden getest. Deze test wordt erg veel gebruikt voor het testen en kalibreren van 3D-printers. Er is dan ook enorm veel vergelijkingsmateriaal over te vinden.

Uitgebreide informatie over het testen met de 3D-Benchy is te vinden op:
<http://www.3dbenchy.com/>



Figuur 7 - Het 3D-model van de Benchy (3D Benchy, 2015)

BEREIDEN VAN TESTBATCHES MET PHBV

Er is testmateriaal beschikbaar van PHBV van de leverancier TyanAn Biopolymer onder de handelsnaam ENMAT Y1000P. De technische datasheet en verwerkingsgids staan in *Bijlage B. Technische datasheet PHBV*.

Vezelversterkt PHBV

Er is nog geen testmateriaal beschikbaar van vezelversterkt PHBV. Hiervoor zullen testbatches bereid worden van één specifieke natuurvezel die nog gekozen moet worden. Deze vezel zal gekozen zijn aan het eind van de analysefase.

Bereiding van de testbatches

De bereiding van de testbatches wordt gedaan bij het Biopolymeer Applicatie Centrum (BAC) aan de Lovensdijkstraat 61, 4818 AJ Breda. Hier zijn de faciliteiten beschikbaar om testbatches te mengen en tot granulaat, filament of trekstaven te verwerken. Dit kan gedaan worden in batches variërend van 100 gram tot enkele kilogrammen.

TESTEN VAN MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN

Om de testbatches met elkaar te vergelijken en het eindproduct te vergelijken met andere kunststoffen, worden de mechanische eigenschappen getest. Ook deze tests zullen bij het BAC in Breda worden uitgevoerd.

Soortelijke massa

Het volume en gewicht van een trekstaaf zal gemeten worden om de dichtheid van de materialen te bepalen.

Trektest

Er zullen trekstaven gespuitsiet worden van de testbatches om de mechanische eigenschappen van het materiaal te achterhalen d.m.v. een trektest. Tijdens het uitvoeren van een trektest wordt een spanning-rek diagram gemaakt die de treksterkte, vloeigrens, elasticiteitsmodulus en rek bij breuk meet.

Impact test

Er zal een impact test uitgevoerd worden om de weerstand tegen impact te meten.

Hardheid test

Er zal een hardheidstest uitgevoerd worden om de hardheid van het materiaal te meten.

De gemeten materiaaleigenschappen

1. Dichtheid
2. Treksterkte
3. Vloeigrens
4. Elasticiteitsmodulus
5. Rek bij breuk
6. Weerstand tegen impact
7. Hardheid

3.3.3. BESCHIKBARE EXPERTS

Naast de genoemde meetinstrumenten en analysemethoden die in dit hoofdstuk zijn genoemd, zijn er ook een aantal experts betrokken bij dit project welke regelmatig geraadpleegd worden voor advies. In Tabel 8 staan de contactpersonen die geraadpleegd kunnen worden. De opdrachtnemer laat zich niet beperken tot het raadplegen van deze experts, maar zal ook andere informatiebronnen zoeken als dat nodig is gedurende het project.

Tabel 8

Contactpersonen met hun functies, expertise en contactfrequentie

Contactpersoon	Functie	Expertisegebieden	Contactfrequentie
Susanne Koppejan	Bedrijfsbegeleider & Docent-onderzoeker lectoraat biobased bouwen	3D-modelleren Vormgeving Ergonomie Kunststof consumentenproducten	Minstens één keer per week
Willem Böttger	Lector Biobased Bouwen	Biobased materialen Biobased composieten Produceeren met biobased materialen	1 á 2 keer per maand
Gert-Jan Visse	Projectleider Biopolymeer Applicatiecentrum	Biobased polymeren Faciliteiten BAC PHA's (PHBV)	1 á 2 keer per maand
Koen van Beurden	Onderzoeker biopolymeren onderzoeksgroep	Biopolymeren Compounderen 3D-printen	2 keer per maand
Jon Donkers	Polymeerchemicus bij ColorFabb	Polymeren 3D-printen	1 á 2 keer per maand
Bart van Ingen	Onderzoeker bij Royal Cosun	Cellulosevezels (BetaFib) Vezelversterkte polymeren	Ongeveer 1 keer per maand
Jack in 't Groen	Sales Benelux & Applicatieontwikkeling bij Witcom	Kunststof compounding Chemisch koppelen van vezels	Op aanvraag indien nodig

4. ONDERZOEKSRESULTAAT

In dit hoofdstuk staan de resultaten van het onderzoek beschreven in verschillende paragrafen. De paragrafen zijn onderverdeeld in de fases van het ontwerpproces zoals beschreven in paragraaf 3.2. In elke paragraaf worden de resultaten van die fase weergegeven. Voor uitgebreidere informatie en tussenstappen in het ontwerpproces wordt verwezen naar de bijlages.

4.1. RESULTATEN INNOVATIEFASE

4.1.1. ZOEKVELDEN VAN DE INNOVATIEFASE

Om de markt te verkennen op mogelijke innovaties voor FDM 3D-printen van vezelversterkt PHBV in de bouwsector, zijn er een aantal zoekvelden gemaakt. De zoekvelden zijn onderverdeeld in de kwadranten van het zonnewiel om blinde vlekken te voorkomen. In Tabel 9 worden de zoekvelden per kwadrant weergegeven met de methode om het zoekveld te beantwoorden.

Tabel 9

Zoekvelden voor de innovatiefase met gebruikte methode en bron

ZOEKVELDEN	METHODE	BRON
1. Zien bedrijven in de bouwsector kansen in 3D-printen en PHBV?	Gestructureerd interview	Aannemers in regio Zeeland
2. Wat zijn de algemene trends en ontwikkelingen in de bouwsector?	Deskresearch	(Rabobank, 2019)
3. Wat zijn de huidige trends in de markt die relevant zijn voor 3D-printen in de bouwsector?	Trendanalyse	(TRENDEXPLORER, 2019) & (TrendRede, 2019)
4. Wat zijn de huidige trends in de markt van nieuwe productietechnieken in de bouwsector?	Trendanalyse	
5. Wat zijn de huidige trends in de markt die relevant zijn voor biobased bouwen?	Trendanalyse	
6. Wat zijn de huidige trends in de markt van biodegradeerbare producten in de bouwsector?	Trendanalyse	
7. Wat zijn de sterktes en zwaktes van 3D-printen in de bouw?	SWOT-analyse	Zoekveld 1 t/m 6
8. Wat zijn de sterktes en zwaktes van PHBV in de bouw?	SWOT-analyse	Zoekveld 1 t/m6
9. Welke innovatiekansen zijn er voor FDM 3D-printen in de bouwsector?	Sterktes aan kansen koppelen	Zoekveld 7
10. Welke innovatiekansen zijn er voor het gebruik van vezelversterkt PHBV in de bouwsector?	Sterktes aan kansen koppelen	Zoekveld 8

4.1.2. ALGEHELE TRENDANALYSE

Om de zoekvelden voor de innovatiefase te beantwoorden is er een algehele trendanalyse gemaakt. Hiervoor is gezocht naar grote trends die wereldwijd voorkomen; zogeheten megatrends. Onder deze trends zijn macro-trend geplaatst met daaronder micro-trends gerelateerd aan 3D-printen, biobased bouwen of biodegradeerbare materialen in de bouwsector. De microtrends zijn innovaties die bijdragen aan de groei van de macro-trend. Door op deze manier trends onder elkaar te rangschikken, ontstaat er een overzicht aan trends en innovaties. Dit overzicht is gebruikt om de zoekvelden van de innovatiefase te beantwoorden en is te vinden in *Bijlage C. Trendanalyse*.

4.1.3. RESULTATEN VAN DE ZOEKVELDEN VOOR DE INNOVATIEFASE

1. Zien bedrijven in de bouwsector kansen in 3D-printen en PHBV?

Er zijn twintig bouwbedrijven benaderd in de regio Zeeland om een gericht interview in te vullen. Vijf bedrijven hebben een uitgebreide reactie gegeven op de vragen. De context die de bouwbedrijven toegeschreven kregen en de ingevulde interviews zijn te lezen in *Bijlage D. Gestructureerde interviews met bouwbedrijven*.

De meeste ondervraagde bedrijven hebben nog geen directe toepassing voor 3D-printen. Dit komt voornamelijk omdat het te duur is of niet sterk genoeg is. Biobased materialen worden al wél steeds vaker toegepast. Toch zullen de meeste bouwbedrijven nog kiezen voor traditionele materialen en methodes omdat deze zich meermaals bewezen hebben. Bijna alle bedrijven zijn huiverig om nieuwe dingen te proberen omdat het rendement op een project vaak heel klein is. Als er tijdens experimenteren met nieuwe materialen of methodes iets misgaat, kan een project verlies draaien. Veel bedrijven zien wel iets in biologisch afbreekbare verpakkingsmaterialen. Er blijven namelijk altijd resten achter op een bouwplaats en met een andere verpakking loopt het bedrijf geen risico.

Een meer gedetailleerde omschrijving van deze analysevraag is te vinden in *Bijlage E. Informatie zoekvelden: Zien bedrijven in de bouwsector kansen in 3D-printen en PHBV?*

2. Wat zijn de algemene trends en ontwikkelingen in de bouwsector?

Er ontstaat een woningtekort doordat er minder woningen worden opgeleverd dan er nodig zijn. Dit heeft te maken met het arbeidsintensieve bouwproces en een tekort aan werknemers. Ook is er een achterstand in de verduurzaming van bedrijfsgebouwen. Dit kan worden opgelost door innovatieve technieken of materialen te gebruiken die het bouwproces makkelijker of sneller maken. Veel aannemers durven het nog niet aan om hun aanpak te wijzigen door nieuwe technieken te gebruiken. Dit komt omdat er dan een risico wordt genomen die vaak niet wordt gedekt door verzekeringen omdat het om een nieuwe techniek gaat. De aannemer zal er dan voor kiezen om het risico te vermijden zodat er een stabiel rendement uit het project gehaald wordt (Rabobank, 2019).

3. Wat zijn de huidige trends in de markt die relevant zijn voor 3D-printen in de bouwsector?

3D-printen wordt, niet alleen in de bouw, in toenemende mate toegepast voor het produceren van unieke producten. Deze producten hebben bijvoorbeeld een uniek design dat past bij de wensen van de klant of zijn speciaal op maat voor een persoon gemaakt. Deze trend vertaalt zich in de bouw veelal in gevelelementen, interieurontwerp en meubilair dat is afgestemd op de wensen van de klant in vormgeving of ergonomie. Deze vrijheid in vormgeving wordt ook toegepast in ge-3D-printe raamwerken voor betonconstructies. Hierdoor kunnen betonnen objecten gemaakt worden met minder beperkingen in vormvrijheid.

Verder wordt 3D-printen steeds meer toegepast voor het produceren van vervangende onderdelen. Hiervoor worden allerlei initiatieven opgestart vanuit bedrijven en door consumenten zelf. Zo worden er vervangende onderdelen geprint voor oldtimers waarvan die onderdelen lastig verkrijgbaar zijn. Ook worden er platforms opgezet waar consumenten zelf 3D-modellen kunnen uploaden zodat er een database aan vervangende onderdelen ontstaat voor een grote variëteit aan consumentenproducten.

Een andere opkomende trend waar 3D-printen een grote rol in kan spelen is het on-demand leveren van producten of halffabricaten. Er zijn bedrijven begonnen met het opzetten van een netwerk waarin producenten, afnemers en vervoerders aan elkaar gekoppeld worden zodat een volledig geautomatiseerd systeem ontstaat. Hierbij wordt een product pas gemaakt op bestelling, maar is het hele proces in het systeem direct aangemeld en is er direct zicht op levertijden. Dit zorgt voor een efficiënte markt.

4. Wat zijn de huidige trends in de markt van nieuwe productietechnieken in de bouwsector?

In de bouwsector worden steeds meer innovaties op de markt gebracht die het bouwproces versnellen of makkelijker maken. Dit gaat veelal nog om kleinere innovaties en geen grote veranderingen in de aanpak van het bouwen van een object. Een bouwplaats is ook lastiger te automatiseren omdat die meestal voor korte tijd bestaat in tegenstelling tot een fabriek. Een van de trends die hierdoor de afgelopen jaren is gegroeid, is het maken van prefab gebouwen. Dit zijn gebouwen die modulair worden opgebouwd uit delen die van tevoren geproduceerd zijn op productielocaties buiten de bouwplaats. Gebouwen die op deze manier worden opgebouwd zijn vaak goedkoper en sneller om te bouwen.

Verder is in die kleinere innovaties een trend te zien dat arbeidsintensief en repetitief werk wordt overgenomen door geautomatiseerde systemen. Hierbij kan gedacht worden aan het metselen van muren door industriële robots of robots die autonoom isolatiemateriaal of plafondplaten aan kunnen leggen. Hierbij kunnen taken volledig of gedeeltelijk worden overgenomen door mensen.

Verder is er een startende trend te zien in hulpstukken voor bouwvakkers om hun werk beter uit te voeren. Een interessant hulpstuk in deze categorie is een exoskelet voor bouwvakkers die ervoor zorgt dat de gebruiker veel zwaardere objecten kan tillen, zwaar werk langer vol kan houden, een grotere reikwijdte krijgt en tools in zijn 'ledematen' geïntegreerd heeft. Bouwvakkers kunnen hierdoor meer verschillende taken uitvoeren en meer werk op een dag verrichten terwijl dit minder schadelijk is voor hun gezondheid.

5. Wat zijn de huidige trends in de markt die relevant zijn voor biobased bouwen?

Biobased bouwen wordt in de markt steeds meer geaccepteerd en toegepast. Zo zijn er adviesbureaus opgericht die ondernemers, aannemers en huiseigenaren kunnen ondersteunen in het verduurzamen van gebouwen. Steeds vaker is het geluid dat biobased materialen niet duurzaam genoeg zijn, maar dat ook hier meer circulair nagedacht moet worden. Dit wordt steeds meer gedaan door te zoeken naar afvalstromen en grondstoffen te winnen uit deze afvalstromen.

Er zijn een aantal productcategorieën te vinden waar biobased materialen al veel worden toegepast. Deze categorieën zijn dakbedekking, gevelelementen, (akoestisch) isolatiemateriaal, stenen en tegels, verf en coatings, wand- en plafondplaten, vloerbedekking en afwerking. Er zijn dus nog veel categorieën waar biobased materialen nog weinig of niet worden toegepast.

Wat opvalt is dat er niet veel te vinden is over biobased thermoplastische kunststoffen in de bouw terwijl er veel kunststof wordt gebruikt in deze sector. Voor gevelelementen of vloerbedekking worden al regelmatig biobased composieten gebruikt, maar die hebben meestal een thermoharder als bindmiddel. Dit maakt dat er nog innovatiemogelijkheden zijn in producten in de bouw met thermoplastische kunststoffen.

6. Wat zijn de huidige trends in de markt van biodegradeerbare producten in de bouwsector?

Een belangrijke trend is dat er steeds bewuster wordt omgegaan met het gebruik van kunststoffen. Men is steeds actiever bezig met het scheiden en recyclen van kunststoffen en er ontstaan steeds meer opruimacties om het plastic in de omgeving op te ruimen.

In de bouwsector zal het ook voorkomen dat (kunststof) onderdelen op de grond vallen en tussen het zand verloren raken. Deze objecten blijven hierdoor wel in de omgeving achter. Het zou een goed voornemen zijn om de objecten die veel achterblijven te produceren van biodegradeerbare materialen. Als er dan objecten achterblijven zullen deze binnen afzienbare tijd zijn afgebroken.

7. Wat zijn de sterktes en zwaktes van 3D-printen in de bouw?

Voor dit onderzoek wordt er geen ontwerp gemaakt van een consumentenproduct vanuit een bedrijf. Het is juist de taak om kansen te zoeken vanuit de productietechniek 3D-printen en het materiaal PHBV. Daarom is er een SWOT-analyse uitgevoerd voor FDM 3D-printen in de bouwsector. De volledige SWOT-analyse is te vinden in *Bijlage F. SWOT-analyse 'FDM 3D-printen in de bouwsector' & 'PHBV in de bouwsector'*.

8. Wat zijn de sterktes en zwaktes van PHBV in de bouw?

Ook vanuit het materiaal PHBV is een SWOT-analyse gemaakt. De volledige SWOT-analyse is te vinden in *Bijlage F. SWOT-analyse 'FDM 3D-printen in de bouwsector' & 'PHBV in de bouwsector'*.

9. Welke innovatiekansen zijn er voor FDM 3D-printen in de bouwsector?

Door het koppelen van sterktes van 3D-printen aan kansen in de markt zijn er 10 innovatiekansen gevonden voor FDM 3D-printen gerelateerd aan de bouw. De drie meest interessante zijn hieronder weergegeven. De overige innovatiekansen zijn te lezen in *Bijlage G. Innovatiekansen voor 3D-printen en PHBV in de bouwsector*.

1. Producten die in middelgrote serie gemaakt worden laten 3D-printen via een on-demand systeem om levertijden en voorraden te beperken.
2. Prefab ge-3D-printe huiselementen met geïntegreerde functies zoals isolatie en infrastructuur voor gas, water en elektriciteit.
3. Mallen voor prefab betonconstructies.

10. Welke innovatiekansen zijn er voor het gebruik van PHBV in de bouwsector?

Door de sterktes van PHBV te koppelen aan kansen in de markt zijn er 14 innovatiekansen gevonden voor PHBV gerelateerd aan de bouw. De drie meest interessante zijn hieronder weergegeven. De overige innovatiekansen zijn te lezen in *Bijlage G. Innovatiekansen voor 3D-printen en PHBV in de bouwsector*.

1. Tegelkruisjes en niveleersystemen van biobased thermoplastisch kunststof (composiet)
2. Isolatiefixatie van biodegradeerbare materialen die na verloop van tijd afbreekt als het gebouw is afgewerkt
3. Verpakkingsmaterialen als beschermklipjes en hoekstukken van biologisch afbreekbare materialen

4.1.4. TUSSENTIJDSE CONCLUSIE

Tijdens het marktonderzoek naar toepassingen voor ge-3D-print vezelversterkt PHBV in de bouw zijn een aantal toepassingsgebieden gevonden. Binnen het kader van dit onderzoek zijn dit geen geschikte toepassingsgebieden. Dat komt omdat de grote innovatiekansen die er liggen voor biodegradeerbare materialen een andere productiemethode vereisen dan FDM 3D-printen. Daarvoor zijn productiemethodes nodig die grotere series kunnen produceren. De grote innovatiekansen voor FDM 3D-printen in de bouwsector zijn innovaties waarvan de ontwerptijd niet past binnen de beschikbare tijd van dit onderzoek. Ook lijkt het materiaal PHBV niet geschikt voor deze toepassingen vanwege de biologische afbreekbaarheid.

Naast het ontbreken van geschikte toepassingsgebieden voor ge-3D-print vezelversterkt PHBV, is er onder bouwbedrijven en aannemers geen interesse voor deze combinatie van materiaal en productiemethode. Dit heeft met een aantal redenen te maken.

1. Bouwmaterialen moeten zeer degelijk zijn omdat een gebouw een lange levensduur moet hebben. Bouwbedrijven gebruiken hiervoor degelijke materialen die zich meermaals bewezen hebben in voorgaande bouwprojecten. Vanwege het lage rendement op bouwprojecten durven aannemers het niet aan om risico's te nemen en nieuwe technieken uit te proberen. Als er iets misloopt met experimenteren draait en project al snel verlies.
2. Bouwbedrijven hebben geen vertrouwen in de mechanische sterkte en duurzaamheid van ge-3D-printe onderdelen.
3. Een aantal ondervraagde bouwbedrijven gaven aan negatieve associaties te hebben bij de termen 'biobased' en 'biologisch afbreekbaar'. Er heerst een vrees dat deze materialen zwakker en minder duurzaam zijn dan bekende bouwmaterialen. Door deze vrees durven nog weinig bedrijven te werken met biobased materialen.
4. 3D-printen en biobased materialen zijn momenteel nog te dure technieken om in de bouw toe te passen.

Door het ontbreken van geschikte innovatiekansen en vraag vanuit de bouwsector is ervoor gekozen geen showcaseproduct te ontwikkelen voor de bouw. Het lectoraat en colorFabb willen echter wel een showcaseproduct om de mogelijkheden van FDM 3D-printen met PHBV te kunnen tonen. Met een product als voorbeeld kunnen bedrijven zien dat biobased materialen niet per definitie zwakker of minder duurzaam zijn. Dit kan een deel van de ‘biobased vrees’ wegnemen waardoor mogelijk nieuwe innovatiekansen ontstaan in een later stadium.

Vanwege de uitkomst van de innovatiefase is ervoor gekozen om een andere richting op te gaan. Het doel is namelijk een showcaseproduct te hebben van een product die de eigenschappen van PHBV kan overbrengen en de mogelijkheden van 3D-printen laat zien. Daarvoor wordt een showcaseproduct ontworpen gericht op de consumentenmarkt. Hiermee is in overleg met de opdrachtgever de hoofdvraag aangepast.

“Wat is het ontwerp van een innovatief showcaseproduct gemaakt uit FDM ge-3D-print natuurvezelversterkt PHBV voor een toepassing in de consumentenmarkt om de verschillen in materiaaleigenschappen en milieu-impact met andere kunststoffen te tonen?”

Om hier een geschikte innovatie bij te vinden is er een stap terug gezet in het proces door een iteratie te doen van de innovatiefase.

4.1.5. ITERATIE OP INNOVATIE: VAN BOUWSECTOR NAAR CONSUMENTENMARKT

Tijdens het onderzoeken van de zoekvelden van de innovatiefase is er een algehele trendanalyse gemaakt. Vanwege tijdsoverwegingen is besloten om die trendanalyse niet opnieuw te maken. In de trendanalyse zijn veel trends en innovaties gevonden die niet aan de bouw gerelateerd zijn. Door nu de trends in de consumentenmarkt te koppelen aan de sterktes van PHBV en FDM 3D-printen zijn er innovatiekansen gevonden voor de consumentenmarkt. Hiermee zijn zoekveld 9 en 10 opnieuw beantwoord.

9. Welke innovatiekansen zijn er voor FDM 3D-printen in de consumentenmarkt?

Door het koppelen van sterktes van 3D-printen aan kansen in de consumentenmarkt zijn er 10 innovatiekansen gevonden voor FDM 3D-printen. De drie meest interessante zijn hieronder weergegeven. De overige innovatiekansen zijn te lezen in *Bijlage H. Innovatiekansen voor een consumentenproduct van ge-3D-print PHBV*.

1. Ge-3D-print bijenhotel met interessante vormgeving (evt. open source)
2. Ge-3D-printe klant specifieke urnen
3. Unieke klimgrepen van ge-3D-print thermoplastisch kunststof voor indoor sportklimmen (composiet)

10. Welke innovatiekansen zijn er voor het gebruik van PHBV in de consumentenmarkt?

Door de sterktes van PHBV te koppelen aan kansen in de consumentenmarkt zijn er 14 innovatiekansen gevonden voor PHBV gerelateerd aan de bouw. De drie meest interessante zijn hieronder weergegeven. De overige innovatiekansen zijn te lezen in *Bijlage H. Innovatiekansen voor een consumentenproduct van ge-3D-print PHBV*.

1. Bijenhotel; Deze kunnen opgehangen worden in de natuur zonder lang achter te blijven. Hiermee kunnen leefgebieden van wilde bijen verbonden worden
2. Composteerbare festivaltenten
3. Composteerbaar vislood

4.1.6. INNOVATIEVOORSTEL: GE-3D-PRINTE BIODEGRADEERBARE BIJENHOTELS

Als innovatie is er gekozen voor ge-3D-printte biodegradeerbare bijenhôtels. Het kopen of maken en het plaatsen van bijenhôtels is een groeiende trend. Veel mensen zoeken aansluiting bij het gedeelde narratief om een goed bijdrage te doen voor biodiversiteit en milieu. Met een bijenhotel wordt handig ingespeeld op deze trend.

Een andere reden voor het kiezen voor deze innovatie is dat de biodiversiteit in Nederland onder druk staat. Met name veel insecten verdwijnen wat als gevolg heeft dat insecteneters, zoals bepaalde soorten vogels, ook verdwijnen. Voornamelijk de intensieve landbouw wordt hiervoor verantwoordelijk gehouden. Om de afname in biodiversiteit tegen te gaan is er met natuurorganisaties, wetenschappelijke instanties en de agrarische sector een Deltaplan Biodiversiteitsherstel gemaakt (NERN, 2019).

De bijenhôtels die nu in de handel zijn, zijn veelal gemaakt van verschillende soorten hout en riet. Veel van deze commerciële bijenhôtels zijn van slechte kwaliteit en worden niet gebruikt door bijen. Er zijn een aantal richtlijnen waar een bijenhotel aan moet voldoen voordat bijen er ook daadwerkelijk gebruik van maken (EIS Kenniscentrum Insecten, 2019).

Voor een bijenhotel als showcaseproduct voor het lectoraat is het belangrijk dat er meerdere functies vervuld worden. Het bijenhotel moet goed ontworpen en gemaakt worden zodat bijen er daadwerkelijk gebruik van maken. Het ontwerp moet als showcase kunnen dienen voor 3D-printen en voor PHBV. Daarvoor krijgt het bijenhotel een unieke vormgeving om de mogelijkheden van 3D-printen aan te tonen.

4.2. RESULTATEN ANALYSEFASE

In deze paragraaf zijn de resultaten van de analysefase beschreven voor het ontwerpproces van een ge-3D-print bijenhotel van vezelversterkt PHBV. De analysefase begint met het maken van een procesboom. De procesboom is te lezen in *Bijlage I. Procesboom* en is gebruikt als basis om vragen te formuleren voor de analyse-, idee- en conceptfase.

4.2.1. RESULTATEN VAN DE ANALYSEVRAGEN

Elke analysevraag resulteert in een conclusie en een aantal eisen en wensen waar het product aan moet voldoen. In deze paragraaf worden alleen de conclusies benoemd van de analysevragen. Verdiepende informatie is te vinden in *Bijlage J. Uitwerking van de analysevragen*. Hier staan per deelvraag ook de eisen en wensen vermeld zodat te herleiden valt waarom een bepaalde eis of wens in het pakket van eisen en wensen is geplaatst.

1. Waar moet een bijenhotel aan voldoen om als nesthulp te dienen voor wilde bijen?

Een bijenhotel moet aan een aantal voorwaarden voldoen om goede nesthulp te bieden aan wilde bijen. Deze voorwaarden hebben niet alleen te maken met het bijenhotel, maar ook met de leefomgeving. Een perfect gemaakt bijenhotel zal niet bewoond worden in een gebied waar geen voedsel is voor de bijen. Daarom moet de consument gemotiveerd worden om de leefomgeving voor de bijen verder te verbeteren (Breugel, 2017).

2. Is ge-3D-print PHBV geschikt voor bijen om hun nesten in te maken?

PHBV lijkt net als andere polymeren ongeschikt als nestmateriaal vanwege de slechte vochtthuishouding. Dit verhoogt de kans op besmetting door bacteriën en schimmels. Als een oplossing bedacht wordt om de vochtthuishouding te reguleren zijn er geen bezwaren om PHBV als nestmateriaal te gebruiken (Breugel, 2017).

Er zijn geen bezwaren om PHBV als materiaal te gebruiken voor de behuizing van het bijenhotel.

3. Wat zijn concurrerende bijenhôtels die in Nederland te koop zijn?

Degelijke bijenhôtels worden alleen door specifieke verkopers verkocht. De meeste modellen die in gangbare winkels te vinden zijn, zijn slecht afgewerkt waardoor dit geen geschikte broedplaats is voor wilde bijen. Van twee goede verkopers is het aanbod bekeken. Hierbij valt direct op dat er een flink gat zit tussen de bijenhôtels voor consumenten en de grote, dure hotels voor bedrijven.

Om op consumenten te richten zullen bijenhôtels gemaakt worden die niet groter zijn dan 20cm bij 20cm bij 20cm. Een dergelijk ge-3D-print bijenhotel zal €30,- tot €40,- moeten kosten. Dit komt neer op een kostprijs tussen de €8,26 en €11,02. De kostprijs mag niet minder zijn dan €5,50. Omdat het hier een showcaseproduct betreft worden deze kostprijzen aangehouden als wens, niet als eis. De kostprijs is van ondergeschikt belang omdat er geen plannen zijn de bijenhôtels daadwerkelijk te vermarkten.

4. Welke instellingen beïnvloeden de printkwaliteit van zuiver PHBV?

PHBV laat zich lastig 3D-printen door de krimp die de eerste laag van het bouwplatform af pelt. Om PHBV te kunnen printen is het dus belangrijk dat de adhesie tussen het bouwplatform en de eerste laag goed is. De beste adhesie werd bereikt door gebruik te maken van ruwe kunststof vellen (BuildTak) van Dremel die je op het bouwoppervlak pakt. Een plexiglas plaat die is geschuurd met korrel 150 werkte als tweede beste bouwoppervlak. Glas, schilderstape, kapton tape, ABS slurry en haarlak werken slecht als bouwoppervlak. Een geperforeerde plaat geeft wisselende resultaten.

De extrusie temperatuur van de nozzle moet tussen 185°C en 205°C liggen. Dit is voornamelijk afhankelijk van de extrusiesnelheid en kan ook per printer variëren. Er is geen verschil in kwaliteit te zien bij verschillende printbed temperaturen. Het is wel opgevallen dat snelle koeling van het model belangrijk is. Daarom kan beter een koud printbed gebruikt worden.

PHBV laat zich beter printen op lage snelheden. Een goede 3D Benchy met PHBV duurt al snel 1 uur en 20 minuten. Met andere materialen duurt het ongeveer een uur om een Benchy te printen.

5. Wat zijn de voornaamste problemen die optreden bij het 3D-printen van PHBV?

1. Het losraken van de raft, brim of eerste laag van de het bouwplatform door de krimp die het materiaal krom trekt. Hierdoor ontstaat een afpelbelasting op de hechting tussen de eerste laag en het platform.
2. Het splijten van lagen in het model. Dit wordt veroorzaakt door de grote krimp van het materiaal en kan worden opgevangen door te zorgen voor goede vloeïng en een beetje overextrusie.
3. Het trekken van draden bij het terugtrekken van de printkop. Dit lijkt te worden veroorzaakt door de stroperigheid van het materiaal bij afkoelen.
4. Matige detaillering van het model in vergelijking tot bijvoorbeeld PLA. Dit lijkt te worden veroorzaakt door de stroperigheid waardoor makkelijk draden worden getrokken.

6. Welke natuurvezels zijn geschikt om vezelversterkt PHBV te maken voor 3D-printen?

Voor het maken van de testbatches vezelversterkt PHBV is het interessant om te testen met vlasvezel of kokosvezel. Deze vezels zijn gekozen vanwege de kleine diameter en de lage vochtherwinning. De vezels zullen wel vermaalt moeten worden tot de vezels kleiner zijn dan 0,100 mm. In de analysefase zijn geen bedrijven gevonden die natuurvezels kunnen leveren in deze formaten.

Het zou voornamelijk interessant zijn om de verschillen te testen tussen vlas- en kokosvezel. Vlas heeft namelijk een veel hogere E-modulus en treksterkte dan kokosvezel. Kokosvezel is hierdoor veel rekbaarder dan vlasvezel en komt qua modulus dichterbij PHBV.

7. Welke additieven zijn geschikt voor het optimaliseren van de printbaarheid en/of de mechanische eigenschappen van vezelversterkt PHBV voor 3D-printen?

Calciumcarbonaat, talk en mica zijn interessant voor dit project om het materiaal sterker te maken, beter tegen hitte bestand te maken en sneller af te laten koelen en bovenal om de krimp te verminderen. Met name om de krimp te verminderen zijn deze materialen interessant. Bij Nylon 6/6 kan door het toevoegen van mineralen de krimp verminderd worden in een range van 30% met calciumcarbonaat tot 85% met mica (Mráz, 2015).

Het is daarom erg interessant om de krimp verminderende eigenschappen van mica in PHBV te onderzoeken. Tijdens de analysefase zijn leveranciers gevonden die dergelijke mineralen kunnen leveren die kleiner zijn dan 0,100mm.

4.2.2. PAKKET VAN EISEN EN WENSEN

Het pakket van eisen en wensen (hierna PvE/W genoemd) is een document met eisen en wensen waar het product aan moet voldoen. De eisen en wensen die hierin zijn opgenomen zijn grotendeels voortgekomen uit de resultaten op de analysevragen. Een klein deel van de eisen en wensen is vanuit het lectoraat gekomen en kunnen worden beschouwd als eisen van de opdrachtgever. Het volledige PvE/W is te vinden in *Bijlage K*.

Pakket van eisen en wensen. De belangrijkste eisen zijn hieronder weergegeven. De nummers van de genoemde eisen komen overeen met de nummers van de eisen in het volledige PvE/W.

Belangrijkste eisen

Eis 1 t/m 8 zijn belangrijke eisen voor het nestmateriaal om te garanderen dat dit geschikte nesthulp biedt aan solitaire bijen. Alle voorwaarden voor het nestmateriaal zijn afkomstig uit het boek *Gasten van bijenhôtels* (Breugel, 2017).

1. Het bijenhotel heeft nestgangen met verschillende diameters van 2,5mm tot 8mm
2. De nestgangen zijn aan de achterzijde gesloten
3. Nestgangen hebben geen scherpe randen en/of rafels en vertonen geen spleten
4. Een nestgang met een diameter van 2,5mm heeft een minimale diepte van 4cm
5. Een nestgang met een diameter van 8mm heeft een minimale diepte van 6cm
6. De nestgangen zijn niet langer dan 20cm
7. De ingangen van de nestgangen worden beschermd tegen harde wind om te voorkomen dat het in de nestgangen gaat tochten
8. De ingangen van de nestgangen worden beschermd tegen inregenen

13. Het product kan niet gerealiseerd worden met andere productiemethodes dan 3D-printen
14. Het product is gemaakt van vezelversterkt PHBV
15. Aan de vormtaal is visueel waarneembaar dat het product is ge-3D-print
16. Het is visueel waarneembaar dat er (natuur)vezels en/of andere additieven zijn gebruikt in het materiaal
29. De materialen die gebruikt worden zijn onschadelijk voor de omgeving als het product achterblijft in de natuur

Belangrijkste wensen

8. Voor het bijenhotel worden verschillende materialen gebruikt om een grotere variëteit aan bijensoorten te helpen
13. Aan de vormtaal is visueel waarneembaar dat het product een hulpmiddel is voor bijen
20. Het bijenhotel kan met onderhoud en/of nieuwe inrichting weer één of twee jaar mee na de normale gebruiksperiode van twee jaar

4.2.3. ONTWERPVISIE

Het showcaseproduct van een bijenhotel zal ontworpen worden om een goede nesthulp te bieden aan solitaire bijen. Voorop staat dat de nestmaterialen voldoen aan de voorwaarden die bijen stellen aan hun nest. Dit om te garanderen dat het bijenhotel succesvol nesthulp kan bieden. Zo wordt er een kleine maatschappelijke bijdrage geleverd aan het verbeteren van biodiversiteit. Naast die focus is het van belang dat het bijenhotel een showcase wordt voor ge-3D-print PHBV. Het product zal visueel herkenbaar zijn als een ge-3D-print hulpmiddel voor bijen. Om dit te realiseren wordt een kenmerk voor bijen en een kenmerk voor 3D-printen meegenomen in het ontwerp. Om het ontwerp ook met PHBV te kunnen produceren, zal worden gezocht naar oplossingen om PHBV beter geschikt te maken voor 3D-printen. Door dit tijdens het ontwerpproces te doen kan de kennis en inzicht in het materiaal op het ontwerp worden toegepast. Hierbij is het van belang dat extra toegevoegde materialen in het duurzaamheidskader van dit project passen.

4.2.4. ZOEKVELDEN VOOR DE IDEEFASE

1. Hoe kan je verschillende nestmaterialen gebruiken met eenvoudige assemblage?
2. Welke nestmaterialen kunnen gebruikt worden?
3. Hoe kan je de vochthuishouding reguleren in kunststof nestbuisjes?
4. Hoe kan je het bijenhotel beschermen tegen harde wind en inregenen?
5. Hoe kan je het bijenhotel een leuk algemeen ontwerp meegeven dat uitstraalt dat het product een hulpmiddel is voor bijen?
6. Hoe kan je het bijenhotel een ontwerp meegeven waardoor je visueel kan waarnemen dat het product ge-3D-print is?
7. Hoe kan je de nestbuisjes fixeren in het bijenhotel?
8. Hoe kan je de nestgangen onbereikbaar maken voor Nederlandse vogelsoorten?
9. Hoe kan je het bijenhotel een nieuwe functie geven aan het eind van zijn levensduur?

4.3. RESULTATEN IDEEFASE

4.3.1. IDEEGENERATIE

In de ideefase zijn ideeën gegenereerd op basis van de zoekvelden omschreven in paragraaf 4.2.4 *Zoekvelden voor de ideefase*. Voor elk zoekveld zijn doodles getekend op A3 papier om vervolgens de ideeën tegen elkaar af te wegen.

Ordering

Om de ideeën te ordenen en integrale ideeën samen te stellen zijn eerst ontwerpgeesten bedacht voor vier integrale ideeën. De ontwerpgeesten voor elk van de ideeën zijn:

Integraal idee 1 – Vrolijk, cartoonstijl, eenvoudig

Integraal idee 2 – Stijlvol, interactief, eenvoudig

Integraal idee 3 – Natuurlijk, voorjaar, strak

Integraal idee 4 – Natuurlijk, cartoonstijl, stijlvol

Uit elk van de zoekvelden is een deeloplossing gekozen voor het integrale idee. De deeloplossing zijn vanuit de ontwerpgeest van het integrale idee. Dit is gedaan d.m.v. een morfologische kaart.

4.3.2. MORFOLOGISCHE KAART

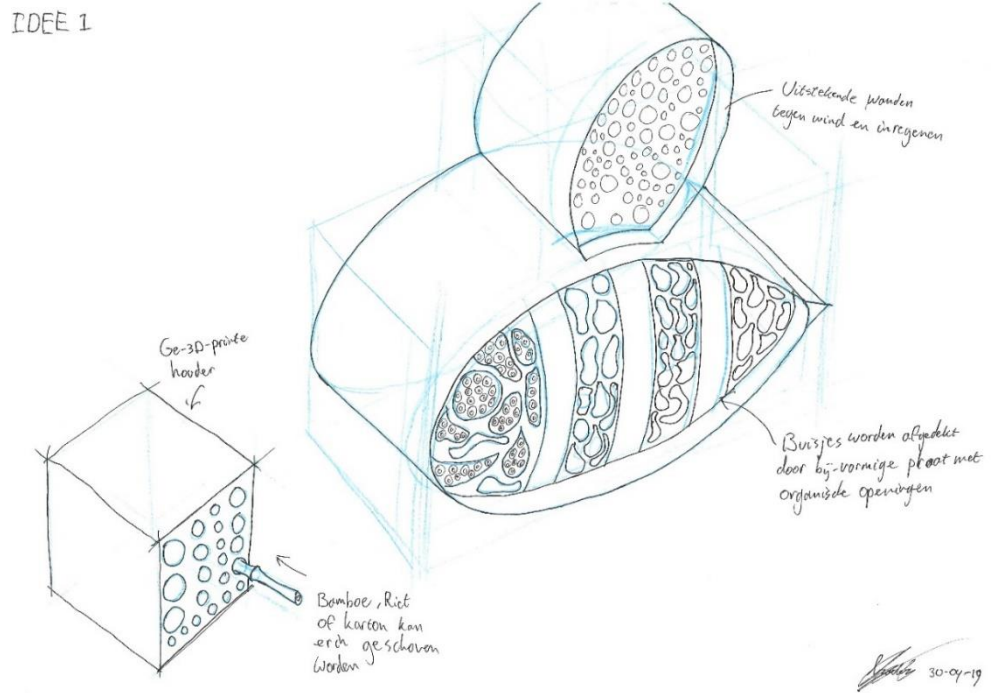
Alle deelideeën zijn bij het zoekveld weergegeven in de morfologische kaart. Voor elk integraal idee is er per deelvraag ten minst één deelidee gekozen. De keuzes per integraal idee zijn aangegeven in de morfologische kaart met gekleurde vakken en een nummer. Het nummer op de morfologische kaart komt overeen met het nummer van het integraal idee zoals weergegeven in paragraaf 4.3.1 Ideeëngeneratie. Een overzicht van de morfologische kaart is te zien in Figuur 8. Om per integraal idee te kunnen volgen waar de deelideeën uit voortkomen is de morfologische kaart op A3 formaat toegevoegd in *Bijlage R. Morfologische kaart*.

1. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	2. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	3. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	4. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	5. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	6. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	7. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	8. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	9. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	10. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	12. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	13. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	14. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	15. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	16. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	17. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	18. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	19. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	20. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
21. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	22. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	23. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	24. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	25. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	26. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	27. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	28. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	29. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	30. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
31. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	32. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	33. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	34. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	35. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	36. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	37. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	38. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	39. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?	40. Hoe kan je verschillende materialen gebruiken met eenzelfde aanpak?
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

Figuur 8 - Een overzicht van de morfologische kaart

4.3.3. INTEGRAAL IDEE 1 – ZON

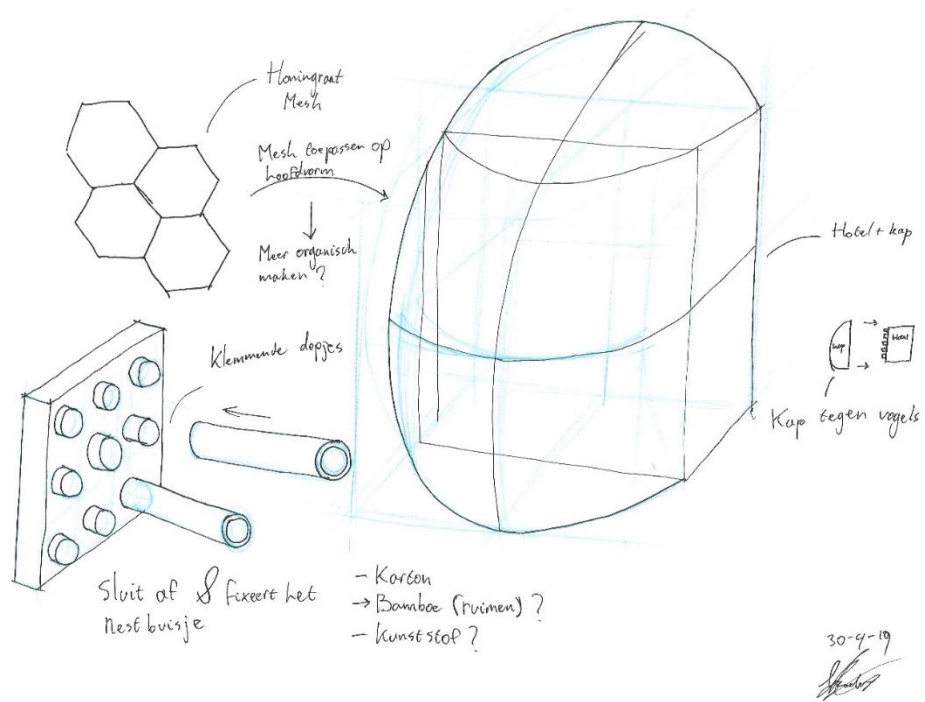
Het eerste integrale idee heeft als hoofdvorm een bij in cartoonstijl. De integrale ideetekening is te zien in Figuur 9.



Figuur 9 – Integrale ideetekening van integraal idee 1 'Zon'

4.3.4. INTEGRAAL IDEE 2 – HEX

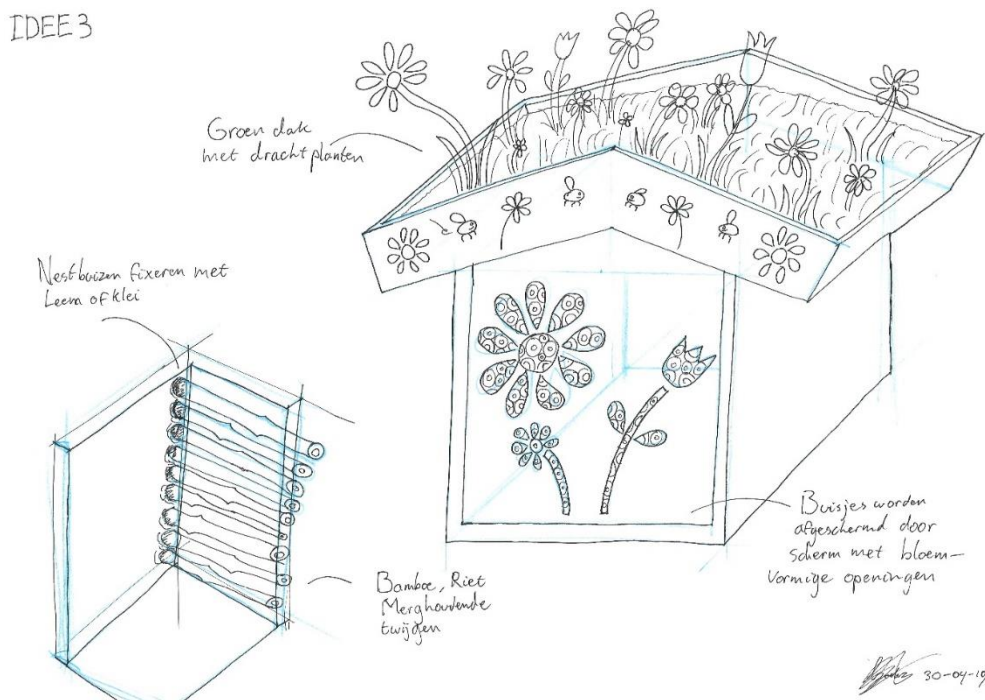
Het tweede integrale idee heeft een simpelere hoofdvorm en verwijst naar bijen door de honingraatstructuur voor de nestmaterialen. Deze honingraatstructuur moet bijen binnenlaten en vogels buiten houden. De integrale ideetekening is te zien in Figuur 10.



Figuur 10 - Integrale ideetekening van integraal idee 2 'Hex'

4.3.5. INTEGRAAL IDEE 3 – DRACHT

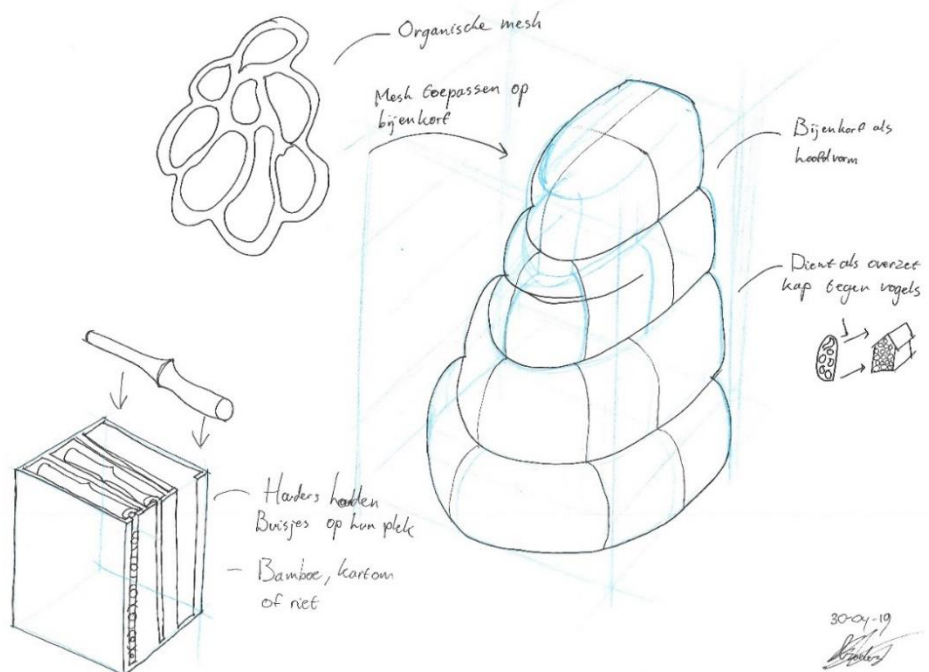
Het derde integrale idee heeft verwijzingen naar drachtplanten om te refereren naar bijen. De integrale ideetekening is te zien in Figuur 11.



Figuur 11 - Integrale ideetekening van integraal idee 3 'Dracht'

4.3.6. INTEGRAAL IDEE 4 – SKEP

Het vierde integrale idee heeft de hoofdvorm gebaseerd op een skep, een rieten mand die voeger veel als bijenkorf werd gebruikt. De cartoonstijl bijenkorf die de meeste mensen als archetype zouden tekenen is gebaseerd op een skep. Hierdoor zullen de meeste mensen een associatie krijgen met bijen als ze een dergelijke bijenkorf zien. De integrale ideetekening is te zien in



Figuur 12 - Integrale ideetekening van integraal idee 4 'Skep'

4.3.7. KEUZEMATRIX

De integrale ideeën zijn getoetst aan de hand van het pakket van eisen en voldoen aan het hele eisenpakket voor zover dat meetbaar is in deze fase. Vervolgens zijn de ideeën getoetst aan de hand van het pakket van wensen. Hieruit is een keuzematrix ontstaan waarin punten zijn toegekend aan het integraal idee met betrekking tot die specifieke wens. Enkel de wensen waarin de integrale ideeën een verschillende hoeveelheid punten krijgen zijn meegenomen in de verkorte wegingsmatrix. Hierdoor blijft de matrix overzichtelijk en is goed te zien waarin de ideeën zich van elkaar onderscheiden. De verkorte wegingsmatrix is te zien in Tabel 10. De volledige keuzematrix waarin alle wensen zijn opgenomen is toegevoegd in *Bijlage L. Volledige keuzematrix*.

Tabel 10
De verkorte wegingsmatrix

Nr.	Wens	Idee 1	Idee 2	Idee 3	Idee 4
2	Alle nestgangen groter dan 5mm zijn dieper dan 10cm	5	5	8	5
4	Het bijenhotel heeft nestgangen langer dan 15cm	1	1	5	1
5	Het bijenhotel kan volledig worden geprint	6	1	1	1
6	Het product heeft geen verdere assemblage nodig	8	8	2	2
7	Het product wordt als bouw pakket geleverd	2	10	2	6
8	Voor het bijenhotel worden verschillende materialen gebruikt om een grotere variëteit aan bijensoorten te helpen	2	8	10	10
11	Er zijn nestgangen aanwezig in riet	1	1	10	1
12	Het product is beschikbaar in verschillende kleurvarianten	1	1	1	1
13	Aan de vormtaal is visueel waarneembaar dat het product een hulpmiddel is voor bijen	10	2	6	10
19	Het product concurreert met bijenhôtels voor consumenten van bijenhotelkopen.nl en natuurmonumenten	8	10	8	10
20	Het bijenhotel kan met onderhoud en/of nieuwe inrichting weer één of twee jaar mee	6	10	2	10
N/A	Score voor vormgeving in overleg met Susanne Koppejan	6	8	4	10
Totaal		56	65	59	67

Er is voor gekozen om integraal idee 4 verder uit te werken. Door de vormgeving die lijkt op een skep zal het ontwerp direct doen denken aan een cartoonstijl bijenkorf. Daarnaast dient de organische mesh als showcase voor de mogelijkheden in vormgeving met 3D-printen.

4.4. RESULTATEN CONCEPTFASE

In de conceptfase wordt het concept uitgewerkt tot een haalbaar ontwerp. Hiervoor wordt gewerkt volgens de indeling van het integrale zonmodel om blinde vlekken te voorkomen. Het concept wordt eerst uitgewerkt op technisch vlak. Daarna volgen de kwadranten mens, markt en milieu.

4.4.1. KWADRANT TECHNIEK

WERKING

Hoofdfunctie

De hoofdfunctie van het bijenhotel is het bieden van nesthulp voor solitaire bijen. Om dit te realiseren wordt in het bijenhotel gebruik gemaakt van verschillende nestmaterialen. Dit zijn bamboe, riet en hout. In het hout worden nestgangen geboord van verschillende diameters van 2,5mm t/m 9mm in maatverschillen van 0,5mm.

Deelfuncties

De deelfuncties zijn op te delen in deelfuncties voor nesthulp en deelfuncties als showcaseproduct.

Nesthulp

Een van de deelfuncties voor het aanbieden van nesthulp is het aanbieden van diepe nestgangen zodat solitaire bijen veel nestcellen kunnen aanleggen in het bijenhotel. Dit wordt gerealiseerd door smalle nestgangen aan te bieden op de plaatsen waar deze in het ontwerp minder lang kunnen zijn. De ruimte waar lange nestcellen geplaatst kunnen worden, worden gebruikt voor de brede nestgangen.

Een andere deelfunctie is het beschermen van het bijenhotel tegen invloeden van buitenaf. Het bijenhotel krijgt een dak met geulen om regenwater af te voeren. Ook wordt er een gaasstructuur aangebracht voor de ingangen van de nestgangen. Dit gaas zal het ergste spatwater en wind tegenhouden en maakt de nestgangen onbereikbaar voor vogels.

Showcaseproduct

De deelfuncties voor het showcaseproduct zijn de mogelijkheden laten zien van 3D-printen met PHBV en het laten zien van mogelijkheden met 3D-printen van bioplastics algemeen. Dit wordt gedaan door een 3D-print filament te gebruiken met een blend van PHBV en mica. Hiermee wordt de krimp en het kromtrekken drastisch verminderd zodat een object succesvol geprint kan worden. Daarnaast wordt aan de gaasconstructie voor de nestgangen een unieke vormgeving meegegeven. Dit laat de vormvrijheid zien van 3D-printen.

CONSTRUCTIE

Minimalisatie materiaalgebruik

Voor het 3D-printen van het bijenhotel is besloten dat hierbij zo min mogelijk support gebruikt mag worden. Modellen waar veel support bij nodig is, hebben meer tijd nodig om te printen en verbruiken meer materiaal. Om dit te testen is het eerste conceptmodel van de gaasconstructie voor het bijenhotel in Ultimaker Cura geslicet. Zonder support werd er 24g materiaal verbruikt en bedroeg de printtijd 5 uur en 15 minuten. Met support werd er 47g materiaal verbruikt en bedroeg de printtijd 10 uur en 32 minuten. Het model zodanig ontwerpen dat er geen support nodig is kan het verbruikte materiaal en de cyclustijd halveren.

Technische levensduur

De technische levensduur van het bijenhotel is twee jaar. Het bijenhotel is langer te gebruiken dan dat, maar de nestmaterialen zullen verder verslechteren. Uiteindelijk zullen bijen het hotel vanzelf niet meer bewonen. Het PHBV zal binnen die twee jaar niet zodanig degraderen dat het bijenhotel onbruikbaar is. Dit is alleen te garanderen zolang het hotel niet in de grond of water wordt gestopt. Daar leven de bacteriën die de degradatie van PHBV faciliteren. Zolang het bijenhotel tegen een wand of paal in de lucht hangt, zal het hotel zeer langzaam degraderen.

PRODUCTIE

Maakbaarheid in serie

Om het ontwerp in serie te produceren is er een FDM 3D-printer nodig met een bouwvolume van 200x200x200 mm. Verder moet de 3D-printer beschikken over een goede ventilator die het product afkoelt tijdens het printen. Bij voorkeur heeft de printer een open behuizing om het koelen te bevorderen. Het is niet nodig om een verwarmd bed op de printer aanwezig te hebben. De gedetailleerde instellingen voor het printen van het ontwerp staan in *Bijlage M. Gedetailleerde printinstellingen voor productie*.

Materiaalkeuze

Het bijenhotel is voor de materiaalkeuze in te delen in twee delen. Het nestmateriaal en de behuizing.

Nestmateriaal

Er wordt gebruik gemaakt van 2 verschillende nestmaterialen: eikenhout en bamboe.

Voor het houten nestblok zullen eiken balken gebruikt worden met een formaat van 5cm × 10cm × 150cm. De balk wordt in blokken gezaagd van elk 14,5cm. Er kunnen dus 10 nestblokken uit een balk worden gehaald.

De bamboe wordt aangeleverd in stengels van 244cm. Hieruit worden 25 nestbuizen van 9,5cm gehaald. Een mogelijke goedkope vervanger voor bamboe is de Japanse Duizendknoop. Deze is goed bruikbaar als nestmateriaal, maar kan momenteel niet via bestaande verkoopkanalen ingekocht worden.

De Japanse Duizendknoop is een invasieve exoot die inheemse soorten verdringt en schade aanbrengt aan gebouwen, leidingen en wegen (WUR, 2019).

De stengels van de plant zijn, net zoals bamboe, opgebouwd uit holle compartimenten. Deze holle compartimenten zijn geschikt als nestmateriaal en blijven gedroogd jaren goed (Breugel, 2017).

De Japanse Duizendknoop kan gebruikt worden als nestmateriaal, maar mag de verspreiding van de soort niet faciliteren. Het is hiervoor belangrijk dat alleen gedroogde, dode stengels worden gebruikt als nestmateriaal. Volgens een onderzoeker van Wageningen Universiteit & Research, gespecialiseerd in de bestrijding van invasieve exoten, kunnen uit de dode stengels geen nieuwe planten ontstaan (C.J. van Dijk, persoonlijke communicatie, 23 mei 2019). Dit maakt de Japanse Duizendknoop geschikt om te gebruiken als nestmateriaal, mits het materiaal goed gedroogd is.

Omdat de Japanse Duizendknoop een invasieve exoot is, zijn veel gemeentes actief bezig met het bestrijden van deze plant. Dit wordt gedaan door de plant met wortels uit te graven en af te voeren met het restafval of naar een BVOR-gecertificeerde composteerder. In Amsterdam komt de plant op ruim 300 plekken voor en de gemeente trekt 8,2 miljoen euro uit voor de bestrijding (AT5, 2019).

De verwijderde kunnen ontdaan worden van hun stengels. De stengels worden dan gedroogd en op maat gezaagd. De overige plantenresten zullen alsnog afgevoerd moeten worden met het restafval of naar een BVOR-gecertificeerde composteerder.

Materiaal voor de behuizing

Het materiaal voor de behuizing van het bijenhotel is, zoals vastgelegd aan het begin van het onderzoek, vezelversterkt PHBV. In de analysefase is deskresearch gedaan naar natuurvezels en andere additieven om krimp in PHBV te verminderen. Hieruit kwam naar voren dat het interessant is om blends te testen van PHBV met vlasvezel of kokosvezel of het mineraal mica.

Tijdens de conceptfase is er gezocht naar mogelijke leveranciers van vezels. Hierbij is een belangrijke eis dat de vezels korter zijn dan 100 micron om problemen met verstoppingen van de 3D-printer te voorkomen. Door deze eis is het niet gelukt om binnen de gestelde tijd geschikte natuurvezels te vinden en te testen in een blend.

In de huidige markt is mica beschikbaar in verschillende formaten. Voor het testen van mica in de blends zijn er moskoviet mica schilfers gebruikt geleverd door Keramikos BV. De schilfers zijn met een hakmolen verder vermalen en gezeefd op 120 mesh. Hierdoor zijn alle mica deeltjes kleiner dan 125 micron.

Compounderen

Er zijn drie blends gemaakt van PHBV versterkt met mica. Hiervoor is gebruik gemaakt van een Collin Teach-line ZK 25T compoundeermachine. De instellingen van de temperatuurzones zijn te vinden in *Bijlage N. Instellingen van temperatuurzones van de compoundeer- en extrudeermachines*. Van elke blend is een mengsel gemaakt van 200g. Deze is met de compoundeermachine gemengd en geëxtrudeerd. Vervolgens is de extrusie vernalen tot pellets. De pellets zijn tot de verwerking bewaard in een oven op 60°C. De mengverhoudingen van de blends en de bevindingen van het compounderen zijn te vinden in Tabel 11.

Tabel 11

PHBV/mica blend samples en bevindingen tijdens compounderen

SAMPLE NAAM	AANDEEL MICA (% _{MASSA})	BEVINDINGEN TIJDENS COMPOUNDEREN
PM10	10%	De draad die uit de compoundeermachine komt heeft een dikkere consistentie dan zuiver PHBV. Dit maakt het verwerken van het materiaal eenvoudiger. De afgekoelde draad voelt stijver aan dan zuiver PHBV
PM20	20%	De extrusie heeft een iets dikkere consistentie en voelt stijver aan dan PM10. De afgekoelde draad voelt ruw aan.
PM30	30%	De extrusie heeft een dikkere consistentie en voelt stijver aan dan PM20. De afgekoelde draad heeft een ruw oppervlak en is zeer bros. De verwerking van het materiaal lijkt lastiger te gaan dan PM10 en PM20 door de dikke en brosse consistentie.

Extruderen

Van een deel van de blends is 3D-print filament geëxtrudeerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van een Collin Teach-line E 16T extrudeermachine. Hierop zat een matrijs met een rond gat met een diameter van 3mm. Door de draad op een constante snelheid door te voeren, kan een redelijk consistente draad worden geëxtrudeerd die dunner is dan 3mm. Voor dit filament is gericht op een dikte van ongeveer 1,75mm. De bevindingen van het extruderen van de blends zijn te lezen in Tabel 12.

Tabel 12

Bevindingen tijdens extruderen van 3D-print filament

SAMPLE NAAM	BEVINDINGEN TIJDENS EXTRUDEREN
PM10	Door de dikkere consistentie dan zuiver PHBV is het materiaal makkelijker te verwerken tot een consistente extrusie. Het materiaal is kort na verwerking makkelijk op een rol te draaien als het nog niet ver is gekristalliseerd.
PM20	De verwerking gaat ongeveer even goed als PM10.
PM30	De extrusie is erg dik en enigszins korrelig. Tijdens het extruderen is de draad twee keer gebroken. Het materiaal is duidelijk lastiger op een rol te draaien dan PM10 en PM20 omdat de draad stijver is.

Mechanische eigenschappen testen

Een ander deel van de blends is gebruikt om trekstaven van te spuitgieten. De maattekening van deze trekstaven is te vinden in *Bijlage O. Maattekening trekstaaf*.

Met de trekstaven zijn trekproeven uitgevoerd om de mechanische eigenschappen van de blends te testen. Van elke blend zijn 10 trekstaven gespuitsgiet en getest. Ook is het gewicht van de trekstaven gewogen. Door deze te delen door het volume van de trekstaaf is ook de dichtheid van het materiaal bepaald. Deze meetgegevens hebben geresulteerd in een overzicht van mechanische eigenschappen van PHBV/mica blends te zien in Tabel 13. De gegevens van zuiver PHBV zijn afkomstig uit de datasheet van ENMAT Y1000P (TianAn Biologic Materials Co. Ltd., 2018).

Tabel 13

De mechanische eigenschappen van zuiver PHBV en drie PHBV/mica blends

Blend	Dichtheid (kg·m ⁻³)	Treksterkte (MPa)	Deviatie (MPa)	Rek bij breuk (%)	Deviatie (%)
PHBV	1250	39	N/A	3,8	N/A
PM10	1243	34,7	1,8	3,5	1,4
PM20	1314	33,0	2,9	2,6	1,1
PM30	1407	32,3	1,5	1,8	1,1

3D-print eigenschappen testen

Het doel van het verminderen van de krimp in PHBV is om het materiaal beter geschikt te maken voor 3D-printen. In de analysefase is getest met het 3D-printen van zuiver PHBV door herhaaldelijk 3D Benchy's te printen. In de conceptfase is hetzelfde model geprint met elk van de blends.

Voor het printen met elk van de 3 blends is gebruik gemaakt van een Makerbot Replicator 2 met een plexiglas printbed opgeschuurd met korrel 150. Het 3D-model van de 3D Benchy is geslicet met Makerbot Desktop software. Voor de printinstellingen zijn de richtlijnen gevolgd voor het printen van een 3D Benchy. Overige belangrijke instellingen die niet door die richtlijnen worden gegeven, zijn te vinden in Tabel 14.

Tabel 14

Instellingen Makerbot Replicator 2 voor Benchy's

Bed temperatuur	30 °C
Extruder temperatuur	200 °C
Fan	Auto – hoog
Printsnelheid raft	15 mm/s
Printsnelheid eerste laag	20 mm/s
Printsnelheid algemeen	40 mm/s
Duur van de print	1 uur 25 minuten



Figuur 13 – 3D-Benchy's van PM10 (links), PM20 en PM30 (rechts).

In Figuur 13 zijn de resultaten te zien van de 3D Benchy's van elk van de 3 blends. Geen van de Benchy's is volledig af geprint. Dit heeft te maken met de inconsistenties in het 3D-print filament. Het filament is op kleine schaal handmatig geëxtrudeerd. Hierdoor is het filament op sommige plekken een afwijkende dikte. De extruder kan dan geen grip krijgen op het filament en de 3D-printer zal geen kunststof meer extruderen.

In de delen van de prints die gelukt zijn, is duidelijk te zien dat er minder krimp en warp plaatsvindt. Dit is vooral duidelijk te zien als er een vergelijking wordt gemaakt tussen de bodem van de Benchy's. Hierbij vertonen alle blends met mica minder warp dan zuiver PHBV. PM20 lijkt de minste warp te vertonen. Dit is te zien in Figuur 14.



Figuur 14 - De warp op de bodem van de 3D-Benchy's (v.l.n.r. zuiver PHBV, PM10, PM20 en PM30).

3D-print warp testen

In het onderzoeksvoorstel is vastgelegd dat er een test wordt uitgevoerd om de warp-index van het materiaal vast te stellen. Deze index koppelt dan een getal aan de warp van het materiaal bij 3D-printen. Tijdens het uitvoeren van deze tests bleek dat het 3D-model incorrect geslicet wordt door de slicer software. Er is geprobeerd om het model te slicen met Makerbot Desktop, Z-Suite en Simplify3D. Alle slicer programma's gaven hetzelfde resultaat waar een deel van het model ontbreekt. Een afbeelding van het 3D-model voor en na het slicen in Makerbot Desktop is te zien in *Bijlage P. Afbeeldingen van slicen 3D-model voor Warp-index*.

Om alsnog een indicatie te krijgen van het verschil in warp tussen de verschillende blends is een andere test uitgevoerd. Hiervoor is een lang trapeziumvormig profiel geprint waarna de warp is opgemeten. De maattekening voor het profiel is te vinden in *Bijlage Q. Maattekening trapeziumvormig profiel*.

Het trapeziumvormige profiel wordt zonder extra adhesiehulp (zoals een raft of brim) en zonder support geprint. De overige belangrijke printinstellingen zijn te vinden in Tabel 15.

Tabel 15

Printinstellingen voor de warp test

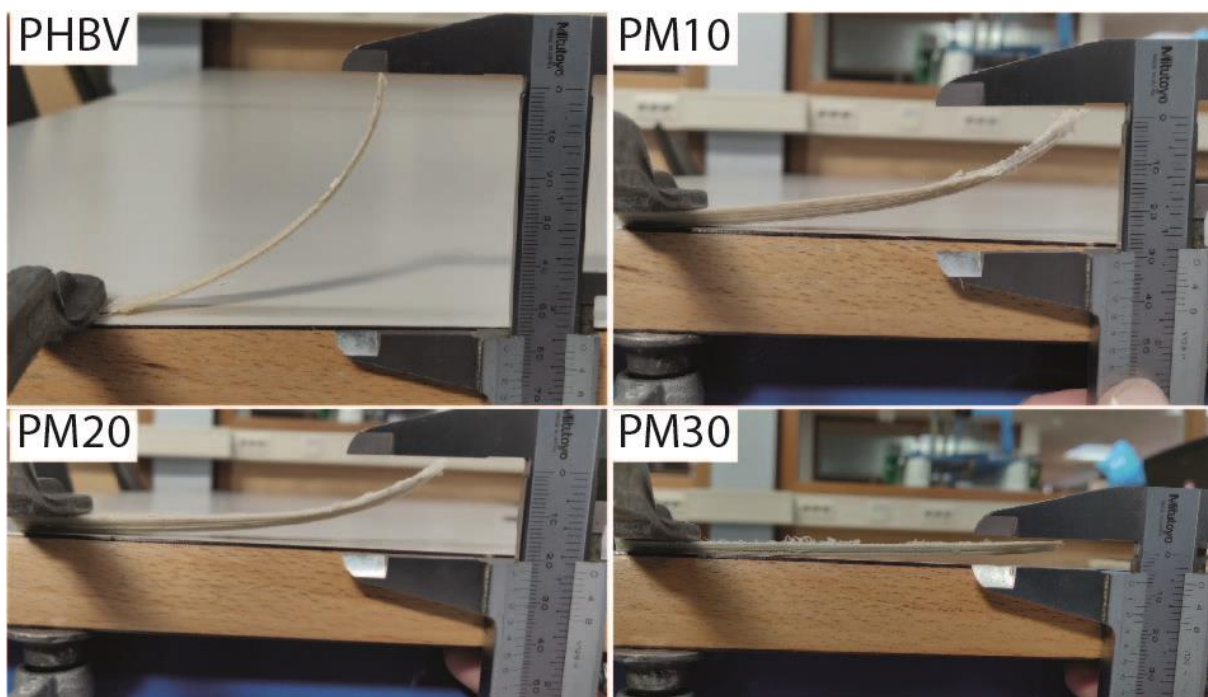
Extrusietemperatuur	195°C
Bed temperatuur	25°C
Infill density	50%
Aantal wanden	3
Extrusiesnelheid eerste laag	15mm/s
Extrusiesnelheid	40mm/s

Tabel 16

Gemeten warp per blend

Blend	Warp hoogte
Zuiver PHBV	58mm
PM10	31mm
PM20	23mm
PM30	7mm

Tijdens het printen kregen de prints van elke blend te maken met warp. De printer is telkens stopgezet als het testobject loskwam van het bouwoppervlak. Vervolgens is de print aan een kant op een tafel vastgezet en is de hoogte van de warp opgemeten aan de andere kant van het profiel. De resultaten hiervan zijn te vinden in Tabel 16. Wat opvalt is dat PM30 significant minder krimp vertoont dan PM20. Bij de warp van de 3D-Benchy's leek PM20 juist minder krimp te vertonen dan PM30. De afbeeldingen van de meting per testobject zijn te zien in Figuur 15.



Figuur 15 - De afbeeldingen van de metingen van de warp test

Conclusie materiaal voor behuizing

Voor het ontwerp van het bijenhotel zal de blend PM20 als materiaal gebruikt worden. Dit materiaal vertoont forse vermindering van krimp t.o.v. zuiver PHBV. Daarnaast heeft het gebruik van PM20 in tegenstelling tot PM30 niet geleid tot verstopping van de extruder van de 3D-printer.

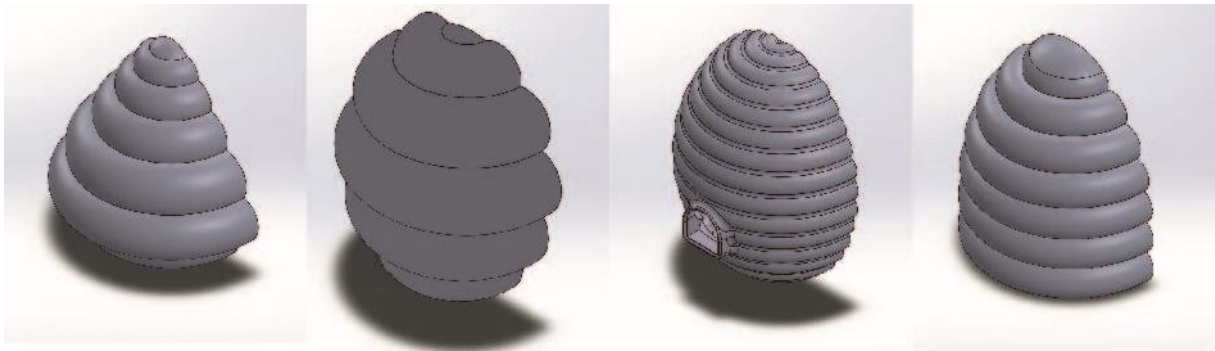
4.4.2. KWADRANT MENS

VORMGEVING

Als showcaseproduct is het belangrijk dat de vrijheid in vormgeving wordt getoond met 3D-printen als productietechniek. De gaasconstructie om vogels te weren van de nestgangen is hiervoor het onderdeel dat die mogelijkheden in vormgeving aantoont. In de ideefase is bedacht om hiervoor de cartoonstijl bijenkorf als hoofdvorm te gebruiken. Vervolgens wordt daar een organisch gevormde gaasconstructie van gemaakt.

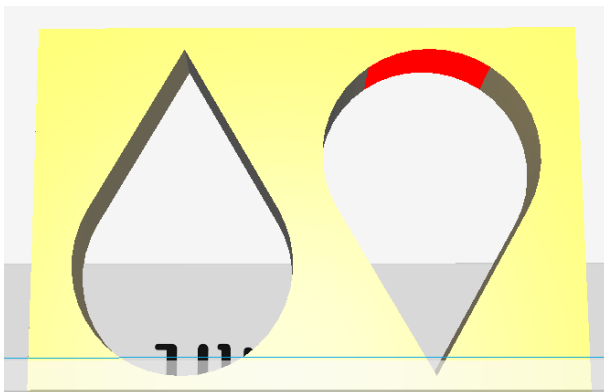
Ontwikkeling van de gaasconstructie

Allereerst zijn een aantal hoofdvormen gemaakt van een cartoonstijl bijenkorf. Hiervoor is aan een aantal studenten van Engineering gevraagd om een aantal archetypen bijenkorven te tekenen. Deze archetypes zijn gebruikt ter inspiratie voor het ontwikkelen van hoofdvormen. Een aantal hoofdvormen zijn weergegeven in Figuur 16.



Figuur 16 - Een aantal variaties aan hoofdvormen voor een archetype bijenkorf of skep.

Vanuit deze hoofdvormen zijn gaasconstructies gemaakt om te dienen als vogelwerende kap voor het bijenhotel. Dit resulteerde in enorm complexe modellen waarvan de vormgeving te druk was. Daarom is besloten om de hoofdvorm van een bijenkorf uit het ontwerp te halen.

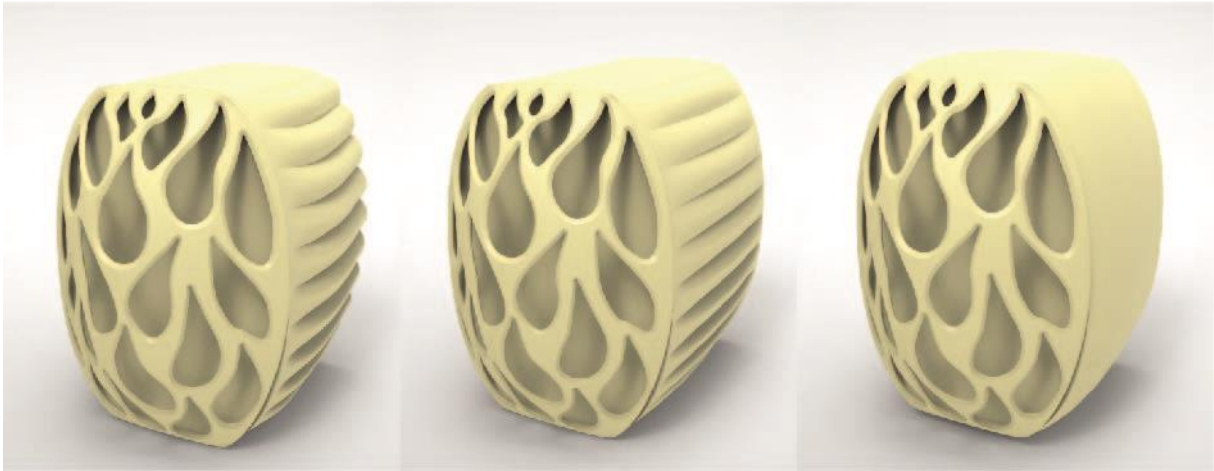


Figuur 17 - Twee druppelvormige gaten met tegengestelde oriëntatie in de slicer software. De rode delen zijn niet zonder support te printen.

Om te garanderen dat de organische mesh goed geprint kan worden zonder ondersteunend filament (support), is het belangrijk dat het model geen sterk overhangende delen heeft. Hiervoor zijn in de wereld van 3D-printen al slimme listen bedacht. Een goed voorbeeld is het gebruik van druppelvormige gaten. Een druppelvorm met de punt naar boven gericht heeft geen sterk overhangende delen. Een rond gat heeft dat wél. In Figuur 17 is een voorbeeld te zien van druppelvormige gaten met tegengestelde oriëntatie. De rechter druppel heeft sterk overhangende delen die zijn aangegeven in rood. In tegenstelling tot het linker gat, kan dit niet zonder support geprint worden.

De druppelvorm is gebruikt als basis voor de gaten in de gaasconstructie van de vogelwerende kap. Het onderdeel is hierdoor zonder support te 3D-printen en heeft een interessante organische vormgeving gekregen.

Voor de kast waar de nestmaterialen inliggen, zijn ook een aantal variaties ontworpen. Drie variaties zijn te zien in Figuur 18. Hierbij is geprobeerd om elementen van een bijenkorf in de kast van het hotel te verwerken. Ook is er een variant gemaakt die juist heel rustig is om de aandacht op de vogelwerende kap te focussen.



Figuur 18 - Drie variaties voor de kast van het bijenhotel. Bij de twee linker modellen is het bijenkorfelement in de kast opgenomen.

In samenspraak met de opdrachtgever is ervoor gekozen om het meest rechter model uit Figuur 18 te gebruiken voor het showcaseproduct. Door de rustige uitstraling van de kast wordt de aandacht naar de kap getrokken op de voorgrond.

4.4.3. KWADRANT MARKT

PRIJS

De kostprijs van het bijenhotel is €22,77. In Figuur 19 is de kostprijsopbouw in te zien. De manuren voor afkorten, zagen en schuren zitten bij de kostprijs van het onderdeel inbegrepen. De manuren voor het assembleren zijn als onderdeel aan de lijst toegevoegd.

Voor het berekenen van deze kostprijs is rekening gehouden met een seriegrootte van 10 stuks.

Onderdelenlijst									
Nr.	Onderdeel	Subassembly	Inkoop /maak	Productiemethode(s)	Materiaal	Afwerking	Kostprijs	Aantal	Totaal
1	Behuizing bijenhotel	Frame bijenhotel	maak	FDM 3D-printen	PHBV/mica (80/20)	raft verwijderen	€ 34,00	0,1075	€ 3,66
2	Organische kap	Frame bijenhotel	maak	FDM 3D-printen	PHBV/mica (80/20)	raft verwijderen	€ 34,00	0,1075	€ 3,66
3	Houten nestblok	n.v.t.	maak	Afkorten, gaten boren	Eikenhout	Schuren	€ 5,02	1	€ 5,02
4	Holle nestbuisjes	Bundel nestbuisjes	maak	Afkorten, bundelen	Bamboe	n.v.t.	€ 0,02	200	€ 4,94
5	Assemblage	n.v.t.	n.v.t.	Manuren	n.v.t.	n.v.t.	€ 50,00	0,1	€ 5,00
							Totale kostprijs € 22,27		

Figuur 19 - De onderdelenlijst van het bijenhotel

POSITIE

Een van de wensen is dat het bijenhotel concurreert met bijenhotels van bijenhotelkopen.nl en Natuurmonumenten. Hiervoor moet het bijenhotel een kostprijs hebben van maximaal €11,- om binnen het prijssegment te komen van deze leveranciers. De berekende kostprijs wordt ruim twee keer zoveel als de wens, waardoor dit product niet kan concurreren met andere bestaande bijenhotels.

4.4.4. KWADRANT MILIEU

TOXICITEIT VAN DE MATERIALEN

Bij het verwerken van fijne deeltjes mica moeten voorzorgsmaatregelen worden genomen om te voorkomen dat men de deeltjes inademt. Mica kan net als andere stofvormende materialen problemen aan de luchtwegen veroorzaken. Verder zijn er geen toxische eigenschappen bekend van mica (Kremer Pigmente, 2009).

Alle overige gebruikte materialen zijn biobased. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat één van deze materialen toxisch is.

BIOLOGISCHE AFBREEKBAARHEID VAN DE MATERIALEN

PHBV, eikenhout en bamboe zijn allen aantoonbaar biologisch afbreekbaar. Deze zullen binnen afzienbare tijd afbreken wanneer dit wordt achtergelaten in de natuur. Hoe lang dit proces duurt is erg lastig in te schatten en bied geen meerwaarde aan het product. Het kan wél meerwaarde bieden als het product een kiemplantkeurmerk of een OK compost keurmerk heeft. Daarvoor moet bewezen worden dat het product binnen de gestelde voorwaarden van het keurmerk afbreekt.

Voor mica zijn geen aanwijzingen gevonden dat de deeltjes in de natuur afgebroken worden. Er zijn echter ook geen aanwijzingen dat dit niet gebeurt en daardoor schade aanricht aan het milieu. Omdat mica een mineraal is dat in de natuur veel voorkomt, is de verwachting dat dit geen negatief effect heeft op het milieu.

VERLENGBARE LEVENSDUUR

Het bijenhotel is zonder extra hulpmiddelen uit elkaar te halen. Hierdoor biedt het de mogelijkheid aan de gebruiker om nieuwe nestmaterialen in het hotel aan te brengen. De nestmaterialen gaan ongeveer twee jaar mee.

NIEUWE FUNCTIE

Als de gebruiker geen nieuwe nestmaterialen aan wil brengen, bestaat de mogelijkheid om het bijenhotel een nieuwe functie te geven. Hiervoor zijn geen extra functies toegevoegd in het ontwerp. Het is aan de gebruiker om hier op een creatieve manier een nieuwe functie aan te geven.

TERUGWINNING EN AFDANKING

Omdat het product demontabel is zonder extra hulpmiddelen kunnen de nestmaterialen en de kunststof delen van elkaar gescheiden worden.

De nestmaterialen kunnen afgedankt worden via het gft-afval. De materialen mogen ook in de natuur achtergelaten worden.

De behuizing van het bijenhotel is biologisch afbreekbaar, maar het is vooralsnog onduidelijk hoe lang het degradatieproces duurt en of fijne mica deeltjes schade aan kunnen richten in de natuur.

Ook als het product in aanmerking komt voor een kiemplant keurmerk, wordt aangeraden om het af te danken via het restafval. Het keurmerk geeft namelijk aan dat het product composteert in 12 weken. In de praktijk wordt gft-afval slechts 1 tot 2 weken gecomposteerd waardoor stukjes biopolymeer achterblijven (Milieu Centraal, 2014).

De kunststof delen van het product mogen niet via het plastic afval afgedankt worden. Dit vervuult de keten en verzwakt de gerecyclede kunststof.

LCA VERGELIJKING MET ANDERE MATERIALEN

In het onderzoeksvoorstel is voorgesteld om een LCA te maken van het ontwikkelde product. Vervolgens kan dan een vergelijking gemaakt worden tussen de milieubelasting van hetzelfde ontwerp bij gebruik van verschillende materialen.

Het uitvoeren van een complete LCA zou te veel tijd kosten om binnen het kader van dit onderzoek uit te voeren. Milieukunde studenten, die bekend zijn met het maken van LCA's en de software daarvoor, zijn hier een geheel semester mee zoet volgens M.H.J. Dorlandt (persoonlijke communicatie, 5 april 2019).

5. CONCLUSIE

Het ontwerp van een innovatief showcaseproduct van ge-3D-print natuurvezelversterkt PHBV is een uniek vormgegeven bijenhotel. Voor de versterking van het materiaal wordt 20%_{massa} muscoviet mica aan het PHBV toegevoegd. Dit is hoofdzakelijk om de krimp in het materiaal te verminderen zodat het geschikt is om te gebruiken voor 3D-printen.

5.1. BELANGRIJKSTE CONCLUSIES PER FASE

In de innovatiefase bleek dat er onder lokale aannemers nauwelijks draagvlak is voor het gebruiken van 3D-printen en biobased materialen. Een aantal aannemers heeft geëxperimenteerd met 3D-printen en het gebruiken van biobased materialen. Daarbij werd aangegeven dat die technieken en materialen te duur zijn om te gebruiken.

Ook werden er geen geschikte innovatiekansen gevonden voor 3D-printen van vezelversterkt PHBV in de bouwsector. Er zijn wel innovatiekansen voor PHBV in de bouwsector. Deze moeten dan gezocht worden in producten met een tijdelijke bestemming of verpakkingsmaterialen. Dit vergt andere productiemethodes dan FDM 3D-printen.

Er zijn ook innovatiekansen gevonden voor 3D-printen in de bouwsector. Een hele interessante kans is het 3D-printen van prefab onderdelen zoals gevelementen. Door functies te integreren in de prefab onderdelen kan afwerking achteraf verminderd worden waardoor manuren worden uitgespaard. Dit kan productie versnellen en kosten verlagen. Echter zal er veel ingenieurswerk verricht moeten worden voordat dit gerealiseerd kan worden.

Er is voor gekozen om ook buiten de bouwsector te zoeken naar mogelijke innovaties voor het showcaseproduct. Hieruit bleek dat het een interessante innovatie is om biologisch afbreekbare bijenhôtels te ontwikkelen. Veel consumenten voelen een gedeeld narratief om bij te dragen aan het verbeteren van het milieu en de biodiversiteit. Het grootste deel van het aanbod aan bijenhôtels is van dermate slechte kwaliteit dat bijen er geen gebruik van maken.

In de analysefase is onderzoek gedaan naar de voorwaarden voor leefomgeving en nesthulp voor solitaire bijen. Hieruit is een lijst met eisen en wensen ontstaan waar de nestmaterialen aan moeten voldoen. Verder is getest welke parameters belangrijk zijn bij het printen van zuiver PHBV. Hierbij is belangrijk dat een bouwoppervlak van plexiglas of BuildTak gebruikt wordt, goede koeling wordt toegepast en de extrusiesnelheid niet sneller is dan 40mm/s. Ook is gekeken naar natuurvezels en additieven die de krimp van het materiaal verminderen. Muscoviet mica is gevonden als materiaal met sterk krimp verminderende eigenschappen in een polymeer matrix.

In de ideefase zijn deelideeën gegenereerd op tien zoekvelden. Hieruit zijn integrale ideeën gevormd en is er gekozen om met integraal idee Skep verder te gaan. Een bijenhotel met een archetype bijenkorf als hoofdvorm en een organische mesh om vogels af te weren en als showcase te dienen voor 3D-printen.

In de conceptfase is het ontwerp aangetoond op haalbaarheid. Hierbij is gelet op de vormgeving die ten dienste staat voor het tonen van de mogelijkheden met 3D-printen.

In de conceptfase is ook getest met blends van PHBV en mica. Er zijn geen bestaande leveranciers gevonden die vlasvezel of kokosvezel kunnen leveren waarvan de deeltjes kleiner zijn dan 100 micron. Muscoviet mica is wel beschikbaar in verschillende gradaties deeltjesgrootte. Er is getest met drie verschillende blends PHBV met muscoviet mica. Alle blends vertoonden minder krimp dan zuiver PHBV. De dichtheid, stijfheid en brosheid namen toe bij de blends met een hoger percentage mica. De treksterkte neemt een beetje af. Voor FDM 3D-printen vertoont PHBV met 20%_{massa} mica de beste eigenschappen. Bij 30%_{massa} mica ontstonden regelmatig verstoppingen in de extruder van de 3D-printer.

6. DISCUSSIE

Het vinden van innovaties is een proces dat erg beïnvloed wordt door de trends op dat moment. Bij herhaling van dit onderzoek kan het voorkomen dat er hele andere innovaties gevonden worden. Dat is afhankelijk van de ontwikkeling van trends na de uitvoering van dit onderzoek. Om het onderzoek alsnog valide en betrouwbaar te maken is het belangrijk dat de innovaties aansluiten op de huidige markt. Om dat te realiseren is gelet op de actualiteit van de trends.

In de innovatiefase is gebleken dat er weinig draagkracht is onder aannemers om 3D-printen en biobased of biologisch afbreekbare materialen te gebruiken. Veel aannemers vinden deze technieken en materialen te duur en er bestaan zorgen over de betrouwbaarheid. Voornamelijk de betrouwbaarheid is een punt waar alle aannemers over struikelen. Het brengt forse risico's mee om bij bouwprojecten te experimenteren met nieuwe materialen en technieken. Deze hebben zich nog niet bewezen in de bouwsector en er is een kans dat het experiment niet succesvol is. Vanwege het lage rendement op bouwprojecten, draait de aannemer al snel verlies als er een tegenvaller is. Daarom zullen de meeste aannemers geen extra risico's willen nemen bij het uitvoeren van hun projecten.

Veel aannemers gaven aan weinig vertrouwen te hebben in biobased en biologisch afbreekbare materialen. Voornamelijk bij degradatie van materialen vragen de aannemers zich af of dit sporen achterlaat. Een tegel nivelleersysteem dat afbreekt mag absoluut geen verkleuringen veroorzaken in de voegen. Vanwege de angst voor onbetrouwbare materialen is de vraag hiernaar zeer gering in de bouwsector. Veel bedrijven geven aan dat ze biologisch afbreekbare verpakkingsmaterialen wél aanmoedigen.

Voor het verminderen van krimp in PHBV is mica een geschikte toevoeging. Echter is het niet met zekerheid te zeggen dat mica geen schade aanricht aan het milieu als dit achterblijft in de natuur. Vooralsnog is er van uitgegaan dat het geen schade toebrengt aan de natuur omdat het materiaal in de natuur veelvuldig voorkomt. Echter zou het materiaal zich kunnen gedragen als microplastics als het niet degradeert. Het lost namelijk niet op in water en zou daardoor achter kunnen blijven in levende organismen bij inname.

Bij het testen van mechanische eigenschappen van PHBV/mica blends viel op dat het niet mogelijk was om met de beschikbare apparatuur de E-modulus en vloeigrens te bepalen. De apparatuur gaf zeer fluctuerende waardes en zelfs negatieve waardes voor de E-modulus. Om de stijfheid van de materialen te bepalen zullen de mechanische eigenschappen opnieuw getest moeten worden met een trekbank en extensometer. De extensometer maakt het mogelijk om accuraat de e-modulus en vloeigrens te bepalen.

Bij het bepalen van de dichtheid van de blends viel ook op dat het composiet een hogere dichtheid heeft bij een hoger aandeel mica. Dit komt omdat mica een hogere dichtheid heeft dan PHBV. Verder viel ook op dat sample PM10 een lagere dichtheid heeft dan zuiver PHBV. Dit kan veroorzaakt zijn door meetfouten of afrondingsfouten. Van de zuivere PHBV zijn geen trekstaafjes gespuutgiet om te testen en de gegevens komen uit de datasheet van de leverancier. Daarom kunnen er verschillen zitten tussen de waardes.

7. AANBEVELINGEN

Lectoraat Biobased Bouwen

De aanbevelingen voor het lectoraat biobased bouwen zijn om goed rekening te houden met de draagkracht voor biobased en biologisch afbreekbare materialen. Voordat een aannemer overtuigd is om nieuwe technieken of materialen toe te passen, zullen de zorgen bij de aannemer weggenomen moeten worden. Dit is alleen te bereiken door praktijkvoorbeelden te laten zien om de betrouwbaarheid aan te tonen.

PHBV zal voor het lectoraat biobased bouwen voorlopig nog geen interessant materiaal zijn. De biologische afbreekbaarheid maakt dat dit materiaal alleen voor tijdelijke toepassingen kan worden gebruikt. Als duurzaam bouw materiaal zal PHBV ongeschikt zijn. Dat wil niet zeggen dat PHBV voor het lectoraat niet interessant is om verder te onderzoeken. Binnen de bouw zijn tal van tijdelijke toepassingen te vinden. Het is aan te bevelen verder onderzoek te doen naar toepassingen voor PHBV i.c.m. andere productietechnieken dan FDM 3D-printen.

Voor verder onderzoek naar vezelversterkt PHBV kan gekeken worden naar andere natuurvezels. Om dit in een 3D-print omgeving toe te passen moeten de vezels kleiner zijn dan 100 micron. Binnen het kader van dit onderzoek zijn er geen leveranciers gevonden die dit direct kunnen leveren. Er zijn wel enkele microvezels in ontwikkeling waarmee getest kan worden. Voordat dergelijke vezels getest kunnen worden, zal eerst gezocht moeten worden naar mogelijke leveranciers.

3D-printen kan voor biobased bouwen ook zeer interessante mogelijkheden bieden. Vooral de mogelijkheid om functies te integreren in prefab onderdelen kan veel tijd en geld besparen. Door hier bepaalde functies te integreren hoeft er minder werk geleverd te worden bij bijvoorbeeld het aanleggen van leidingen. Dit kan uiteindelijk manuren uitsparen die ergens anders ingezet kunnen worden. In de praktijk zijn al enkele bedrijven bezig met het ontwikkelen van dergelijke producten. Het lectoraat

colorFabb

Het is aangetoond dat muscoviet mica de krimp in PHBV kan verminderen. Een composiet met 20% mica lijkt de meest geschikte blend waar een compromis is gevonden tussen de krimp en verwerkbaarheid van het materiaal. Hierbij is het belangrijk in acht te nemen dat mica niet biobased en biologisch afbreekbaar is. Er zijn echter geen aanwijzingen dat mica schade aan zal brengen aan het milieu bij afdanking.

Voor colorFabb is het raadzaam om zelf testen uit te voeren met het 3D-printen van PHBV met mica. colorFabb kan dan zelf beoordelen of de eigenschappen van het materiaal goed genoeg zijn om het te vermarkten. Eventueel kan er geëxperimenteerd worden met het toevoegen van andere vezels of additieven om de materiaaleigenschappen te beïnvloeden. Een mooie kans zou zijn om te testen met calciumcarbonaat gewonnen uit mosselschelpen.

Een eigenschap waar nog geen oplossing voor is, is het lange kristallisatieproces van PHBV. Dit proces zorgt ervoor dat het PHBV na verloop van tijd steeds brosser wordt. Als het verbrossen geremd kan worden, vertoont het materiaal interessante mechanische eigenschappen.

Royal Cosun

In het theoretisch kader is de BetaFib vezel van Royal Cosun onderzocht als mogelijke natuurvezel om te mengen met PHBV. Er is toen besloten om andere vezels te onderzoeken omdat BetaFib lastig te verwerken is in een composiet. Daarvoor moet een oplossing bedacht worden om het overtollige water uit de vezels te halen zonder dat deze gaan samenklonteren. Daarnaast verwacht Royal Cosun dat de onderlinge hechting met PHBV niet goed zal zijn.

Het is aan te raden om samen met het lectoraat Biobased Bouwen onderzoek te doen naar de mogelijkheden voor chemische binding van BetaFib en PHBV. Ook kan er onderzoek gedaan worden naar mogelijkheden om het overtollige vocht uit de vezel te krijgen. Deze onderzoeken vereisen gevorderde kennis van chemie.

8. BIBLIOGRAFIE

- 3D Benchy. (2015, april). *Features main image*. Retrieved from 3D Benchy: http://www.3dbenchy.com/wp-content/uploads/2015/04/3DBenchy_page_features_main_image.png
- Ahankari, S., Mohanty, A., & Misra, M. (2011, March). Mechanical behaviour of agro-residue reinforced poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), (PHBV) green composites: A comparison with traditional polypropylene composites. *Composites Science and Technology, Volume 71*(Issue 5), 653-657. Retrieved februari 19, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353811000352>
- AISE. (2014). *Product Environmental Footprint (PEF)*. Retrieved from International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products: <https://www.aise.eu/our-activities/sustainable-cleaning-78/product-environmental-footprint.aspx>
- ASTM International. (2004, maart). *Standard Table of Commercial Moisture Regains for Textile Fibers*. Retrieved maart 4, 2019, from ASTM International: <http://database.texnet.com.cn/db-stan/view--413.html>
- AT5. (2019, mei 17). *Gemeente trekt ruim acht miljoen uit voor bestrijden verwoestende plant*. Retrieved mei 22, 2019, from AT5: <https://www.at5.nl/artikelen/194130/gemeente-trekt-ruim-acht-miljoen-uit-voor-bestrijden-verwoestende-plant>
- Boeijen, A. v., Daalhuizen, J., Zijlstra, J., & Schoor, R. v. (2013). *Delft Design Guide*. Amsterdam: BIS Publishers.
- Branch Technology. (2017, juni 9). *NASA Centennial Challenge*. Retrieved from Branch Technology: <https://www.branch.technology/projects-1/2017/6/9/nasa-3d-printed-habitat-challenge>
- Breugel, P. v. (2017). *Gasten van bijenhôtels* (Tweede, herziene druk ed.). Leiden: EIS Kenniscentrum Insecten en andere ongewervelden & Naturalis Biodiversity Center.
- British Plastics Federation. (2019). *Plastics additives*. Retrieved april 24, 2019, from British Plastics Federation: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/additives/Default.aspx>
- Campbell, F. (2010). *Introduction to composite materials*. Retrieved februari 19, 2019, from ASM International: https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/05287g_sample_chapter.pdf
- CBS. (2019). *Begrippenlijst*. Retrieved maart 4, 2019, from Centraal Bureau voor de Statistiek: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen?tab=i#id=innovatie>
- CE Delft. (2017). *Indicatie bijdrage productgroepen aan plasticvervuiling*. Delft: CE Delft. Retrieved from <https://www.ce.nl/publicaties/download/2396>
- CustomPartNet. (2008). *Fused Deposition Modeling (FDM)*. Retrieved februari 18, 2018, from Custom Part Net: <https://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png>
- EIS Kenniscentrum Insecten. (2018, maart 5). *Groot aanbod slechte bijenhôtels*. Retrieved april 25, 2019, from Bestuivers.nl: <https://www.bestuivers.nl/beheer/artikelen/id/1456/groot-aanbod-slechte-bijenhôtels#.WqePp-wbOHt>
- EIS Kenniscentrum Insecten. (2019). *Bijenhôtels*. Retrieved april 8, 2019, from bestuivers.nl: <http://www.bestuivers.nl/bijenhôtels>
- EIS Kenniscentrum Insecten. (2019). *Nestelplaatsen*. Retrieved april 16, 2019, from Bestuivers.nl: <http://www.bestuivers.nl/wilde-bijen/nestelplaatsen>

- Ensie. (2017, mei 03). *Management begrippenlijst 'Innovatie'*. Retrieved maart 4, 2019, from Ensie: <https://www.ensie.nl/management-begrippenlijst/innovatie>
- FAO. (2009). *15 Natural Fibers- International Year of Fibers 2009*. Retrieved maart 1, 2019, from Natural Fibers 2009: <http://www.naturalfibres2009.org/en/fibres/>
- GreenDelta. (2018). *Supporters*. Retrieved from OpenLCA: <https://www.openlca.org/supporters/>
- HQC Inc. (2019). *Improving your products: Talc filled polypropylene*. Retrieved april 24, 2019, from HQC Inc.: <https://www.hqcinc.com/blog/talc-filled-polypropylene/>
- Jun, D., Guomin, Z., Mingzhu, P., Leilei, Z., Dagang, L., & Rui, Z. (2017, Juli 15). Crystallization and mechanical properties of reinforced PHBV composites using melt compounding: Effect of CNCs and CNFsDu. *Carbohydrate Polymers, Volume 168*, 255-262. Retrieved februari 19, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861717303417>
- Krassenstein, E. (2015, july 2). *Lab3d Prints The Side of a Prototype Building, Including Insulation, Piping, Window Frames & More*. Retrieved maart 8, 2019, from 3Dprint.com: Lab3d Prints The Side of a Prototype Building, Including Insulation, Piping, Window Frames & More
- Kremer Pigmente. (2009, september 14). *53100 - Mica Fine*. Retrieved from Kremer-pigmente: https://www.kremer-pigmente.com/media/pdf/53100_SHD_ENG.pdf
- Lab3d. (2015, july). *ge-3D-printe muur met kozijn*. Retrieved from 3d.print.com: <https://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/07/parallel1.png>
- Management Impact. (2018, april 3). *Wat is innovatie? De definitie en de betekenis*. Retrieved maart 4, 2019, from Management Impact: <https://www.managementimpact.nl/innovatie/artikel/2018/04/wat-innovatie-de-definitie-en-de-betekenis-10115000>
- Matweb. (2019). *Material group search: Thermoplastic*. Retrieved maart 8, 2019, from Matweb.com: <http://www.matweb.com/Search/MaterialGroupSearch.aspx?GroupID=64>
- Mijnwoordenboek.nl. (2019, februari 18). *Van Engels naar Nederlands*. Retrieved februari 18, 2019, from Mijnwoordenboek: <https://www.mijnwoordenboek.nl/vertaal/EN/NL/showcase>
- Milieu Centraal. (2014). *Kiemplantlogo*. Retrieved juni 2, 2019, from keurmerkenwijzer: <https://keurmerkenwijzer.nl/keurmerken/kiemplantlogo/>
- Mraz, S. (2015, oktober 1). *Mineral Fillers Improve Plastics*. Retrieved april 24, 2019, from Machine Design: <https://www.machinedesign.com/materials/mineral-fillers-improve-plastics>
- Nagarajan, V., Misra, M., & Mohanty, A. (2013, March). New engineered biocomposites from poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV)/poly(butyleneadipate-co-terephthalate) (PBAT) blends and switchgrass: Fabrication and performance evaluation. *Industrial Crops and Products, Volume 42*, 461-468. Retrieved februari 19, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669012003287>
- NERN. (2019). *Deltaplan Biodiversiteitsherstel*. Retrieved april 8, 2019, from The Netherlands Ecological Research Network: <https://www.nern.nl/deltaplan-biodiversiteitsherstel>
- Plastribution. (2012, april 28). *Shrinkage Industry Knowhow*. Retrieved maart 1, 2019, from Plastribution: https://www.plastribution.co.uk/wp-content/uploads/2014/04/Shrinkage-Industry_know-how.pdf

- Pritchard, G. (1998). *Plastics Additives: An A-Z Reference*. Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Rabobank. (2019). *Cijfers en Trends: Bouw*. Retrieved maart 25, 2019, from Rabobank: <https://www.rabobank.nl/bedrijven/cijfers-en-trends/bouw/>
- SpecialChem. (2019). *Calcium Carbonate Ground*. Retrieved april 24, 2019, from SpecialChem the material selection platform: <https://polymer-additives.specialchem.com/product-categories/additives-fillers-calcium-carbonates-ground>
- TianAn Biologic Materials Co. Ltd. (2012). *What's PHBV?* Retrieved februari 18, 2019, from TianAn Enmat: <http://www.tianan-enmat.com/>
- TianAn Biologic Materials Co. Ltd. (2018, december 12). *Technical Data Sheet & Processing Guide - ENMAT PHBV Resin (Y1000P)*. Ningbo City: TianAn Biologic Materials Co. Ltd. Retrieved februari 18, 2019, from TianAn ENMAT.
- Timmers, J., & van der Waals, M. (2012). *Het ontwerpproces in de praktijk*. Amsterdam: Pearson Education Benelux.
- TRENDEXPLORER. (2019). *Trendsearch*. Retrieved maart 20, 2019, from TRENDONE: <https://tool.trendexplorer.com/en/trendsearch>
- TRENDONE GmbH. (2019). *Trend Universe*. Retrieved maart 20, 2019, from TRENDONE: <https://www.trendone.com/en/trend-universe/mega-trends.html>
- TrendRede. (2019, januari 15). *TrendRede 2019*. Retrieved maart 11, 2019, from trendrede.nl: <http://trendrede.nl/wp-content/uploads/2015/10/Trendrede-2019.pdf>
- TÜV. (2019). *OK compost & seedling*. Retrieved from TUV-at.be: <http://www.tuv-at.be/nl/certificaten/ok-compost-seedling/>
- Van Dale. (2019). *betekenis 'innovatie'*. Retrieved maart 04, 2019, from Van Dale gratis woordenboek: <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/innovatie#.XH0uW4hKiUk>
- Van Dale Uitgevers. (2019). *Gratis Woordenboek Nederlands*. Retrieved februari 18, 2019, from Van Dale: <https://www.vandale.nl/gratis-woordenboek/nederlands/betekenis/vitrine#.XGqQpOhKiUk>
- Weng, Y.-X., Wang, Y., Wang, X.-L., & Wang, Y.-Z. (2010, Augustus). Biodegradation behavior of PHBV films in a pilot-scale composting condition. *Polymer Testing, Volume 29*(Issue 5), 579-587. Retrieved februari 18, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941810000565>
- Wijk, A. v., & Wijk, I. v. (2015). *3D Printing With Biomaterials*. Amsterdam: IOS Press BV. Retrieved februari 18, 2019, from <http://www.biobasedplastics.nl/wp-content/uploads/2015/02/3D-printing-with-biomaterials.pdf>
- WUR. (2019). *Japanse Duizendknoop - Wat kun je er aan doen?* Retrieved mei 20, 2019, from Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/artikel/Japanse-duizendknoop-Wat-kun-je-eraan-doen.htm>

low-bondage warp-index

1) warp:

Everybody who is printing 3D knows the problem. You want to print a bigger object, let's say more than 15 cm in x-y-plane, but it's not allowed to be because its ends might come off the the printplatform. A straight line is not straight, in any case not on a 3D printer. The line is bended, always bended upwards.

2) preventing warp:

We know about a lot of methods to minimize warp. These have not only been developed by the rewrap scene, also by the company Stratasys that invented the FDM procedure almost 25 years ago (1989, by S. Scott Crump). Therefore Stratasys printers have a heated print chamber. That means all objects are printed in a hot printroom and slowly cooled down. This heated environment is separated in a very complex way from the printhead guidance and has been simplified or replaced by the rewrap scene. They created the heated print platform (bed). With this you unfortunately can not completely nullify the warping effect, but at least reduce it considerably and that only in the lower z-axis values, because the heat of the bed does not affect the print in higher regions. Before the heated bed became a kind of standard, the scene managed the warp with brims, special stable rafts or constructive tricks to avoid occurring warp e.g. with slim slots to divide the object;
source: (BFB forum, ABS object, Kaipa; Mon, 2010-04-26 14:12)
<http://elco.crsndoo.com/bfb/www.bitsfrombytes.com:8080/jpy/forum/post/no-warp-construction-techniques>

3) warping will not end

In any case the warp will still keep us busy over a long time as it also bothers especially the filament producers. Meanwhile all the manufacturers claim that his filament has "low" or "near to zero warp". However, often these are only empty marketing phrases and nobody is able to exactly define the warp.

4) measure the warp

To measure the warp is not that easy. You cannot just apply a ruler and read out any index! It is a common misunderstanding to use the provided shrinkage values given by the polymer-producers, as indication for the expected warp. The values for the shrinkage of a plastic –however– cannot be used 1:1 as indicator for the warp of a 3d printed plastic, because layer-wise printing is a complex thermal process, depending on more than a dozen of parameters. Also, unfortunately the reasons for warping are not that easy to explain here, but Kai Parthy developed a method that enables everybody to determine the warp-index with a regular 3d-printer (also without

heated bed, what would also be the best way to a standard that everyone could replicate). The measured values will provide an index (which moves between zero and seldom more than 10, like school grades: 0 = good, 10 = bad.) This index states whether this filament tends to warp strong or not (under same conditions).

5) warp index - necessity?

Now everybody can test and check any filament whether the specifications given by the producers are correct. (mostly it is described like: filament with low warp, but what does LOW warp mean? Nobody would say: with much warp ;) Main issue is that you need to have a flat bed scanner. **Important note, this test does not describe how to print with less warp!** No, the main topic is, to create a repeatable standard test to determine which material will achieve best print results because of the lowest warp tendency. Which material is more suitable for bigger objects and which is improper.

6) warp-index: where would it end up for experts ?

Some modifications of the warp-test concerning the technical constraints as:

- printhead speed, layer-thickness
- printbed temperatur
- total time to print a layer

are already done. The results are schematically shown in the graphs of the white paper page 3.

7) the warp-index

In simple steps: how does it work?

- print a warp-test-object (downloadable)
- draw with a thick line with a permanent marker at the Z-levels that are relevant for the measurement of the (2D)scan.
- scan the object (at least 1200 x 1200 DPI) and
- measure the flexion of these layers with a graphics software (e.g. inkscape) to 1/100 mm
- the values of the flexion based on the measured layer length will give an index which can be easily compared to other values (0 is good, 10 is bad).

Because the calculated index is found from an almost unhindered warp, it might also be called
>> **low bondage warp-index** << .

8) some background / testobject: „curtain“

- *curtain* was designed to be able to print a large object in one run with most of the -now and in the future- available materials, on a cold print platform
- a further idea behind the curtain-form was, to create an object, where the area to be measured, has a very low contact and adhesion area to the platform,
- each curtain-layer has the same length at each Z-height, for the same amount of thermal energy applied to each layer

9) why a cold print plattform?

- cold conditions (20 – 25°C) are a common denominator, printable on each printer
- other, hot conditions are not reproducible at different printer setups
- yes a little thermal radiation caused by a big hotend heater will have a small influence at the curtains warp

10) incidentally

- there are several filaments that have a particularly low warp when they are printed in a cold environment,
- so please do not always heat up the bed - no, many amorphous polymers want to be printed cool and rapidly cooled
- a self stiffening effect will prevent here warp

11) credits

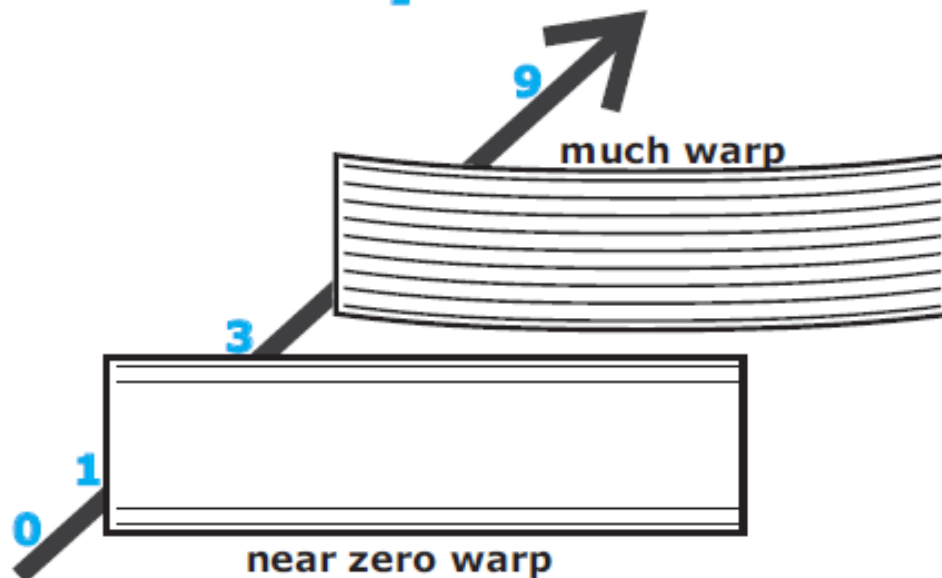
My special thanks applies to Joerg Draheim/innovativaggregat for more than 5 years with best help in 3D-printing-know-how and hard and software consulting.

>>> *low-bondage warp-index* <<<
by Kai Parthy 2015

download:

standard warp-curtain; z=50mm;
https://www.dropbox.com/sh/m96toce40er54b7/AAB5onvMN_7l76zwE-d1eezHa?dl=0

how to measure a precise warp value ?

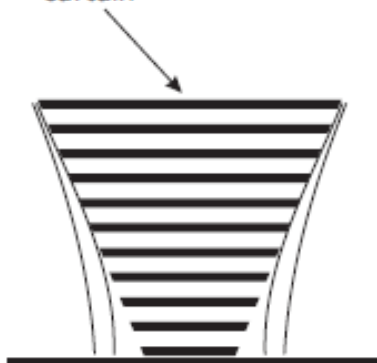


for benchmarking 3d printing filaments

Kai Parthy / 2015

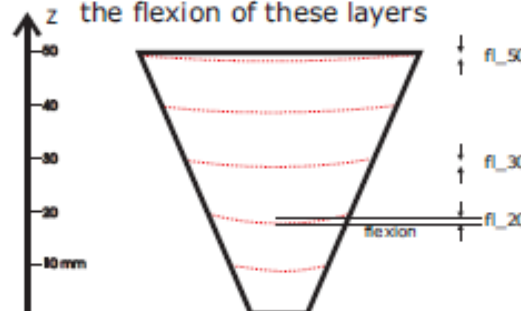
step A

print the warp-specimen "curtain"



step B

highlight five layers with a permanent marker, scan the print on a flatbed scanner and measure the flexion of these layers



step C

calculate five warp values and generate the average

$$\text{warp}(z) = \frac{\text{layer flexion}}{\text{layer length}} \times 1000$$

Z	layer-L	flexion	warp
50	66,844	0,085	1,27
40	56,509	0,099	1,75
30	46,636	0,102	2,19
20	37,320	0,120	3,22
10	27,256	0,178	6,53

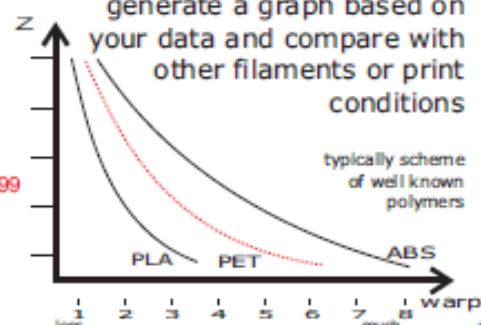
warp₅₀ = 1,27

∅ warp_{index} = 2,99

warp₁₀ = 6,53

step D

generate a graph based on your data and compare with other filaments or print conditions



how to measure the *low bondage* warp-index

test conditions

This method to find a precise warp-index is associated with technical constraints. No special 3d-printer, also no heated platform is required. **For the method please do not use tricks to prevent warp.**

The warp-index will help you to determine, if the material that you want to use, is printable in large format and you may compare it with other materials.

Warp is one fundamental indicator for filaments, but further significant properties are:

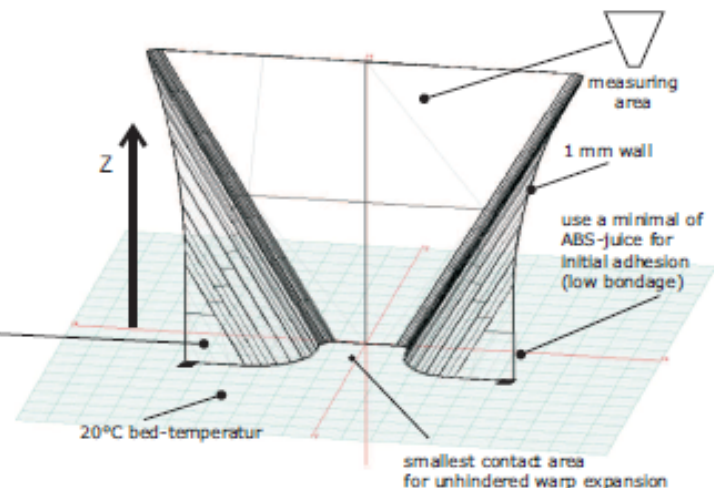
- thermal stability,
- elongation at break,
- tensile strenght,
- melt viscosity,
- cristaline or amorph,
- transparency,
- conductivity,
- filled with organic or anorganic fillers
- roughness
- and much more.

These properties do not correspond automatically.

test-object: warp-curtain (download)

print parameters:

- 0 % filling, 0 solid at top, 0 bottom
- 1 perimeter > ~ 1 mm wall
- 0.25 layer
- object object fan off
- platform and environment unheated (20 - 25°C)
- 0.4 - 0.5 nozzle
- printspeed: 30 mm/sec



Warp-Index for filament-rating, necessary for your material-choosing

warp-index / technical constraints / nomenclature

it's proposed to fill your identified values in that formation

warp - index	technical constraints
w-50 = 1.27	
w-10 = 6.53	
w = 2.99	(20°/20°C/1:1/0.25/0.4/v-30/1h/1:1)

20°/20°C = platform temp. / environment temp.

1:1 = for bigger printers scale the warp-curtain by whole numbers

0.25/0.4 = layer-thickness / diameter of nozzle

v-30 = print speed mm/s

1h = scan curtain within 1h and 2d (days) later for comparison

1:1 = one test object / 1:3 = print 3 curtains for simulating bigger objects

w-50 = warp at 50mm

w-10 = warp at 10mm

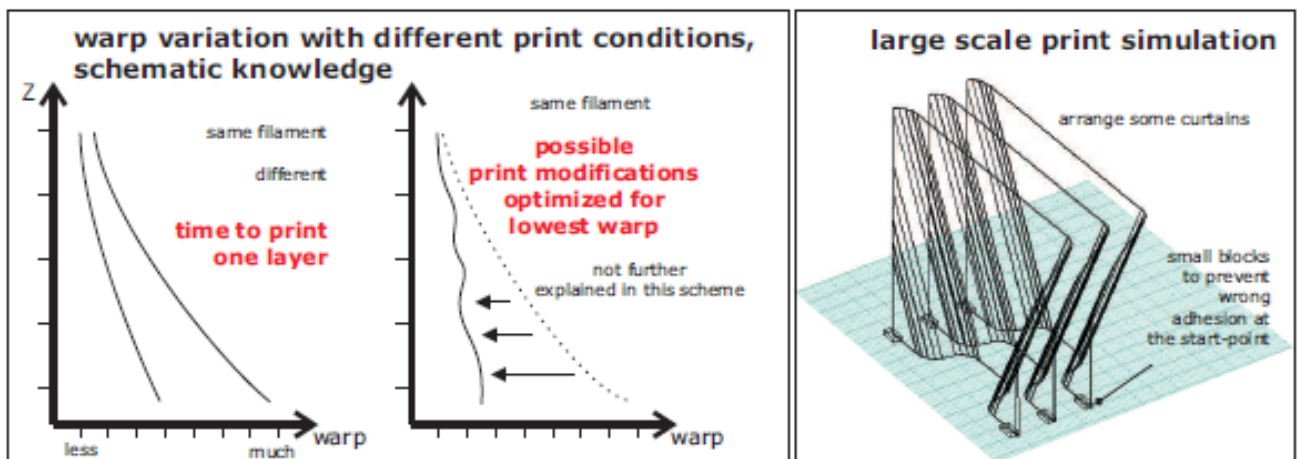
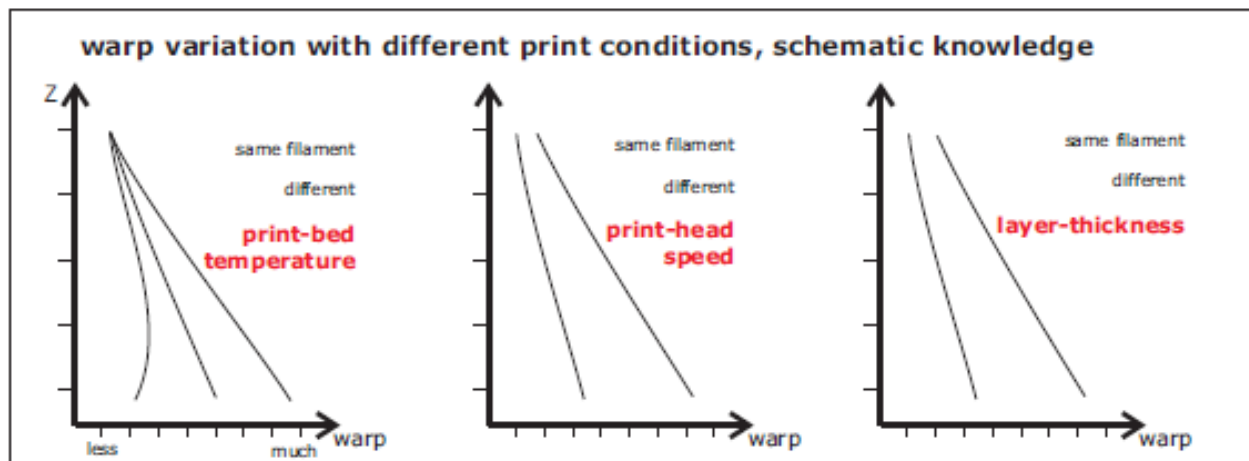
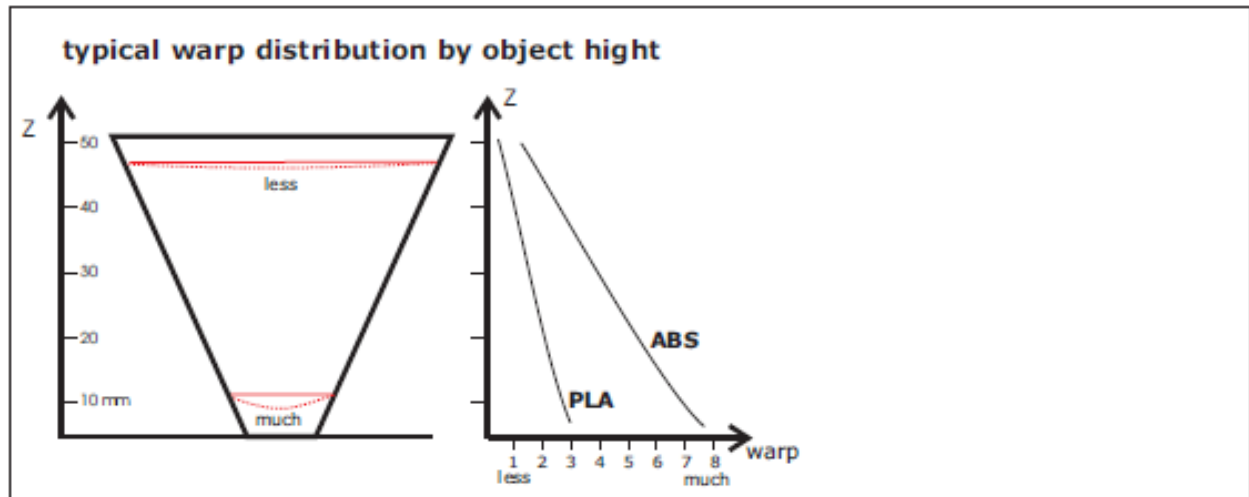
w = warp-index (average)

range; 1= very good; 10 and more = extrem wrong

Kai Parthy / 2015

warp-index / variations of boundary conditions expert section

Playing with boundary conditions, a lot of associations of print parameters and resulting warp, are possible to display in the graphs as shown below.
Visualizing the warp in charts will help to find more ways to minimize warp (with the help of future slicing softwares)
For example: slicing routines could contain different printing parameters for z-height - inserted in graphic manner by the user.



Technical Data Sheet & Processing Guide

Product Name: ENMAT PHBV resin
Product Code: Y1000P

Revision date: 2018/12/04

ENMAT™ Thermoplastics Resin Y1000P

ENMAT Y1000P is a thermoplastics resin that can be used as a primary composition in the following applications:

- Injection molding
- Thermoforming
- Blown films
- Extrusions

Typical Material Properties

Specific Gravity	1.25
Melt Flow Index	8-15
Yield Stress (MPa)	31-36
Tensile Strength (MPa)	39
Elongation at Break (%)	3.8
Young's Modulus(MPa)	1600-2100
Flexural Modulus (MPa)	2200-2900
Vicat Softening Temperature (°C)	166
Izod Impact (J/m)	55-70
Heat Deflection Temperature (°C)	157-165
DSC Melting Point (°C)	175-180

PHBV and ENMAT Pelletized Products - Injection Molding Guide

This information is intended for use only as a guide for the injection molding of Tianan ENMAT™ Y1000P pelletized products. It contains generalized concerns for safety, process conditions, and tooling.

Since injection molding covers a wide arena of applications and polymers, an experimental approach using these products at your facility will have to be completed to determine what tooling and mode

Technical Data Sheet & Processing Guide

Product Name: ENMAT PHEV resin
Product Code: Y1000P

Revision date: 2018/12/04

of operation will work best. Testing of the molded products is also recommended in order to make sure it meets customer requirements.

1.0 Safety and Handling Precautions

All safety precautions normally followed in the handling and processing of melted thermoplastics should be followed for Tianan ENMAT™ Y1000P.

As with most thermoplastics, melt processing and the variability of those conditions may result in minor decomposition. Crotonic acid, cyclic dimer, carbon monoxide, tetrahydrofuran are minor decomposition products and will increase in levels if the melt temperature exceeds approx. 185 °C. The use of monomer fume hoods or exhausts near melt processing equipment is typically recommended.

Tianan ENMAT™ Y1000P resin is considered non-hazardous according to DOT (US Department of Transportation) shipping regulations.

When handling Tianan ENMAT™ Y1000P resin at room temperature, avoid direct skin and eye contact along with conditions that promote dust formation. For further information consult the supplied MSDS.

As with any melted thermoplastic waste, melted Tianan ENMAT™ Y1000P resin waste should be allowed to cool before being placed into any waste container to minimize fire risks.

2.0 Pellet Storage and Blending Recommendation

Tianan ENMAT™ Y1000P resin should be stored in an environment designed to minimize moisture uptake. Product should also be stored in a cool place at temperatures below 122°F (50°C).

Product should be kept sealed until ready for loading into the blending and/or drying system.

Bulk resin that is stored in closed silos and hoppers for extended periods (more than 6 hrs) should be kept purged with dry air or nitrogen to minimize moisture pickup.

In the case of outside storage, the unopened container should be brought into the production area and allowed to equilibrate for a minimum of 24 hours before opening to prevent excessive condensation.

Technical Data Sheet & Processing Guide

Product Name: ENMAT PHEV resin
Product Code: Y1000P

Revision date: 2018/12/04

3.0 Resin Properties

Tianan ENMAT™ Y1000P resin is specifically designed for Injection Molding applications. Typical processing temperature settings are given in the table below:

Feed Temperature	140°C	* Note: It is extremely important to heat the mold cavity to at least 60°C to ensure the parts crystallize to their maximum amount in the mold.
Compression Section	150°C	
Metering Section	160°C	
Adapter	165°C	
Die	165°C	
Screw Speed	40-50 rpm	
Mold Temperature *	50-60°C	

4.0 Drying

Tianan ENMAT™ Y1000P resin can be successfully dried using most standard drying systems. Recommended conditions are provided for standard desiccant based column dryers.

It is recommended that Tianan ENMAT™ Y1000P resin should be dried to a maximum of 250 ppm of moisture as measured by a Karl Fischer method.

A moisture level lower than 250 ppm will not adversely affect the stability of Tianan ENMAT™ Y1000P resin, but will increase the viscosity stability over time at elevated temperatures. Processes that have unusually long residence times or result in melt temperatures greater than 170°C should only process Tianan ENMAT™ Y1000P resin at moisture levels less than 50 ppm for maximum retention of molecular weight and physical properties.

Material is supplied in foil-lined bags. Keep the package sealed until ready for use and promptly dry and reseal any unused material.

Typical Tianan ENMAT™ Y1000P Resin, Raw Material Drying Conditions.

Typical desiccant dryer regeneration temperatures should not exceed 100°C for Tianan ENMAT™ Y1000P resin.

To prevent issues with pellet bridging, sticking or melting, the drying system should be verified to ensure temperature control is adequate during operation as well as during regeneration cycles since valve leakage is common in many systems.

Technical Data Sheet & Processing Guide

Product Name: ENMAT PHEV resin
Product Code: Y1000P

Revision date: 2018/12/04

Installation of a water-cooled after-cooler may be necessary to prevent the drying air temperature from exceeding the recommended set point when drying.

5.0 Melt Processing

Prior to introducing Tianan ENMAT™ Y1000P resin into any melt processing system, the system should be properly cleaned and purged to prevent any polymer cross contamination.

Ensure that the feeding and blending equipment is thoroughly cleaned and free from dust and contamination.

Ensure that all potential “dead space” areas such as elbows transitions and slide gates have all dust and granules completely removed. The purging procedures below are recommended for optimal removal of other polymers.

5.1 Tianan ENMAT™ Y1000P Resin Purging Procedure

Following PET, PA, or HDPE or other thermoplastics in your system:

1. Purge with low MFI (<1) PP at normal PET/ PA operating temperatures. Purge 10-30 minutes as necessary. Let system empty as much as possible. Clean out hopper as much as possible.
2. Introduce a high melt flow PP (5-8 MFR) and change to normal Tianan ENMAT™ Y1000P resin operating temperatures.
3. Purge 10-30 minutes as necessary. Let system empty as much as possible.
4. Stop injection molder and completely clean all hoppers, elbow, slide gates, dryers, hopper loaders bins, hopper loader filters and material conveying lines of residual PET, PA or HDPE and PP. Load Tianan ENMAT™ Y1000P resin into material handling system.
5. Transition to Tianan ENMAT™ Y1000P resin and purge following again until melt is clear of any contamination.
6. At the completion of the run, purge all Tianan ENMAT™ Y1000P resin from the extrusion system, using a moderate to low melt index PP, immediately after completion of the production run.

Notes:

Technical Data Sheet & Processing Guide

Product Name: ENMAT PHBV resin
Product Code: Y1000P

Revision date: 2018/12/04

1. It is critical that all drying and conveying/receiving systems be free of any PET or PP and is vacuumed to ensure that there is no remaining polymer dust, before adding Tianan ENMAT™ Y1000P resin.

PET or Nylons will not melt at Tianan ENMAT™ Y1000P resin operating temperatures and will block screens if it is present in the system.

2. The brand of PP used for purging is unimportant, as long as it does not thermally cross-link.

5.2 Injection Mold Machine Recommendations

Tianan ENMAT™ Y1000P resin will injection mold on most conventional equipment. However, it is important to ensure the machine is completely purged of other materials as described above. Additionally, the mold must be heated to at least 60°C to ensure maximum crystallinity and easy ejection of the final part from the mold. If difficulties are encountered with part ejection, even with the mold heated, it is advisable to add a mold release agent such as stearic acid and its derivatives, eucicamide or other known mold release agents. Sodium derivatives should be avoided since these may accelerate degradation of the polymer.

All information on this Data Sheet is based on the present state of our knowledge with no guarantee of any kind whatsoever, whether implied or expressed, since conditions of use are outside our control. Each customer should establish his own rules and take proper steps appropriate to the circumstances within his control and must take responsibility for observing existing laws and regulations. This Data Sheet does not form part of the conditions of sale of our products and is of a general nature.

Some typical injection molded articles are illustrated below:

Technical Data Sheet & Processing Guide

Product Name: ENMAT PHBV resin
Product Code: Y1000P

Revision date: 2018/12/04



BIJLAGE C. TRENDANALYSE

In deze bijlage worden relevante trends voor dit project behandeld. De trends zijn gevonden via de TrendRede en TrendOne. Enkel de relevante trends zijn behouden in de categorieën: bouw, biobased in de bouw, biodegradatie in de bouw, 3D-printen in de bouw en nieuwe productietechnieken in de bouw. Vervolgens is nagedacht over de mogelijke toepassingsgebieden die ontstaan door deze trends. Voor de gevonden trends met hun toepassing uit de TrendRede zie Tabel 17.

Tabel 17

Relevante trends uit de TrendRede en hun mogelijke toepassingsgebieden (TrendRede, 2019)

Nr.	Trend	Toepassing
1.	Gedeeld narratief – een verhaal om aan vast te houden	Mensen kunnen zich vinden in een gedeeld narratief over duurzaamheid en verbetering van het milieu. Biobased en biodegradeerbare materialen kunnen daaraan bijdragen als deze met goed verhaal worden verkocht.
2.	Het systeem vermenschlijken – minder protocollen en meer onderling contact	Het verminderen van systeempijn gebeurt deels door het systeem te vermenschlijken. Hierbij is arbeidsintensief en repetitief werk iets wat niet past bij het vermenschlijken van het systeem. De mensen moeten juist minder als robots maar meer als mens gaan werken. 3D-printen kan hier in de bouw aan bijdragen.
3.	Het bindweefsel – meer burgerinitiatieven	Vanuit de burgers is er minder vertrouwen naar rijksinstanties en de overheid. Als er iets moet gebeuren neemt men tegenwoordig liever het heft in eigen handen. Voor 3D-printen in de bouw kan dat betekenen dat men zelf reserveonderdelen gaat maken of makkelijker zelf iets kan bouwen.
4.	Ruimte – gezamenlijke ruimte om echt te ontmoeten en relaties aan te gaan	In openbare ruimtes negeren vele mensen elkaar door het hectische leven. Er komt echter een groeiende vraag naar echte ontmoetingen en relaties. Hiervoor kan biobased en 3D-printen in de bouw een oplossing bieden voor bijvoorbeeld tijdelijke ontmoetingsplaatsen als een soort pop-up meetplaats. Hierin kan vormgeving een ondersteunende rol bieden. (Vormvrijheid printen)
5.	Ambacht als antwoord – ambacht wordt steeds meer gewaardeerd	3D-printen in de bouw biedt de mogelijkheid om meer authenticiteit en uniciteit in het ontwerp te brengen. Hierdoor is unieke vormgeving nodig zonder grote investering en door CAD/CAM is het proces ook druk verlagend (minder arbeidsintensief)
6.	Eerste-stap-tolerantie – Belonen van het zetten van een stap in de goede richting	Veel mensen en bedrijven hangen bepaalde idealen aan maar leven deze in de praktijk niet na. Als een onderwerp flink ter sprake komt wordt er geprotesteerd en geroepen op sociale media, maar een actie ondernemen is vaak te moeilijk. Er komt meer tolerantie voor kleine bijdragen en de eerste stap in de goede richting. Voor biobased en biodegradeerbare materialen is dit nodig om meer kennis en awareness te creëren.
7.	Van rigide naar rekbaar – Meer vrijheid door achterhaalde methodiek	Methodieken raken verouderd en zijn straks niet meer toe te passen in de toekomstige maatschappij. Nieuwe methodieken bestaan nog niet, dus wordt de ruimte geboden aan hen die zoeken naar creatieve oplossingen. Dit biedt goede kansen voor biobased en biodegradeerbare materialen in de bouw als ook voor nieuwe productietechnieken zoals 3D-printen.
8.	Improvisatietalent – Meer creatieve inbreng	Er is steeds meer behoefte aan improvisatietalent om de eenheidsworst tegen te gaan. Er is meer inzet nodig uit het creatieve denkvermogen en hiermee kunnen mooie ontwerpen gemaakt worden. 3D-printen kan in deze ontwerpen zorgen voor het realiseren van vormen die voor andere productietechnieken te complex zijn. Het voorkomt belemmering in de creatieve geest.
9.	Het grotere plaatje – bewustzijn voor herkomst van producten	Consumenten moeten inzien dat voedsel of producten niet iets is wat onbeperkt in de supermarkt verkrijgbaar is. Daarvoor is bewustwording voor het hele plaatje nodig. Biobased en biodegradeerbare materialen kunnen bijdragen aan het bewustzijn van producten. De consument leert dan de herkomst kennen en weet wat er werkt en welke keuze beter is voor het milieu en daarmee het eigen welzijn.

Bij TrendOne zijn trends onderverdeeld in mega-trends, macro-trends en micro-trends. Hierbij zijn micro-trends het niveau van losse innovaties of groepjes innovaties. Deze innovaties kunnen gebruikt worden als inspiratie en een middel om strategie te bepalen. Om deze micro-trends te filteren op relevantie voor dit onderzoek, zijn de trends van hoog naar laag gefilterd. In Tabel 18 zijn de relevante mega-trends omschreven met gerelateerde macro-trends. Bij deze macro-trends zijn relevante micro-trends gevonden via een betaalde tool van TRENDONE, de TRENDEXPLORER. Deze zijn geplaatst in Tabel 19.

Tabel 18

Relevante megatrends met gerelateerde macro-trends (TRENDONE GmbH, 2019)

<i>Nr.</i>	<i>Megatrend</i>	<i>Beschrijving</i>	<i>Macro-trends</i>
1.	Individualisatie	Meer mogelijkheden in zelfontwikkeling en personalisatie van producten en diensten.	Maatwerk Diversiteit in levensstijl Prestatiecultuur
2.	Industrie 4.0	De connectie van producten processen en systemen om een automatische made-to-order productie te realiseren.	3D-printen Robotica Slimme materialen
3.	Duurzaamheid	Het concept duurzaamheid heeft steeds meer invloed in wereldwijde debatten en beslissingen van klanten worden steeds meer gemaakt vanuit een ethisch perspectief.	Circulaire economie Schone technologieën Ethisch consumeren Afvalvermindering
4.	Beschavingswantrouw		Totale transparantie Ethische merken
5.	Verstedelijking	De helft van de wereldpopulatie leeft in stedelijk gebied. Het is de verwachting dat dit cijfer stijgt naar 75% in 2050.	Flexibel ruimtegebruik Private steden Slimme steden Mensgerichte steden

Tabel 19

Relevante macro-trends met gerelateerde micro-trends (TRENDEXPLORER, 2019)

Nr.	Macro-trend	Beschrijving	Micro-trends
1.	Maatwerk	Het verlangen om je te onderscheiden uit zich steeds meer in de personalisatie van producten, diensten en ervaringen.	Breipatronen met 3D-printen
2.			Customized 3D-printed earbuds
3.			Gratis bestanden voor ge-3D-printe brilglazen
4.			3D-print objecten die van kleur veranderen
5.			Maatwerk auto's m.b.v. 3D-printen
6.			Made-to-order meubilair
7.			Bouwstenen voor laboratoriumapparatuur
8.			Luxexcel ge-3D-printe optische lenzen
9.			Platform voor 3D-print onderdelen
10.			Ge-3D-printe huizen
11.			Meubilair en sierraden vormgegeven door DNA
12.	Diversiteit in levensstijl	Door het verlangen je te onderscheiden ontstaan nieuwe stijlen. Waar vroeger een subcultuur werd vervangen door de andere, blijven deze nu vaak voortbestaan en worden ze flexibel gecombineerd met andere stijlen.	3D-printen van vervangende onderdelen voor klassieke auto's
13.			DIY recycling van plastic
14.			Perfekte stoel
15.	Prestatiecultuur	Steeds meer mensen willen prestatie leveren. Velen doen dat door lang te werken en hun leven efficiënt in te richten. Hierbij past de term zelf-optimalisering heel goed.	Geen relevante microtrends gevonden
16.	3D-printen	Er wordt steeds meer gebruik gemaakt van 3D-printen als productietechniek vanwege de ongelimiteerde vrijheid voor het ontwerp. Wordt voornamelijk toegepast in luchtvaarttechniek, tool en prototype productie en medische technologie.	Filament van afvalhout
17.			Ge-3D-printe elektrische motorfiets
18.			Mobiele container voor 3D-printen op bouwplaatsen (Dura Vermeer)
19.			Elektrisch geleidend PEEK voor FDM 3D-printen
20.			3D-printen met cellulose (Singapore UTD)
21.			Gelijkvloerse woning printen in een dag (ICON – Vulcan printer))
22.			Automatisch gegenereerde 3D-modellen (desktop metal inc.)
23.			Vrije vormen in beton door geprinte basisstructuur (clever countour gmbh)
24.			Slimme kunststof objecten zonder elektronica (Uni of Washington)
25.			Ge-3D-printe reserve-onderdelen voor vrachtwagens (mercedes)

26.			3D-printen voor massaproductie (Voodoo)
27.			Ge-3D-print passief huis (PassivDom)
28.			Goedkoop huis met 3D-printer (Apis Cor)
29.			3D-printer voor ruimtevaart (Made In Space inc.)
30.			Ge-3D-printe stukken koraalrif (Fabien Cousteau Ocean Learning Centre)
31.			Metalen structuren voor bouwplaatsen (mesh mould metal)
32.			UPS en SAP bouwen aan print on demand netwerk
33.			Composteerbare elektronica voor 3D-printen (KIT)
34.			Ge-3D-printe vogelnesten (Printed Nests)
35.			Galvaniseren van 3D-print onderdelen
36.			Zelf het ontwerp van een product aanpassen en pas betalen als printen gelukt is (kwamb.io)
37.			MakerBot wil een soort iTunes voor 3D modellen (Sesame Workshop)
38.	Robotica	Het vervangen van mensen door robots werd voornamelijk in de industrie toegepast, maar breid zich nu uit naar functies waarbij ook interactie met mensen nodig is. In de bouwsector loopt de automatisering achter t.o.v. de industrie. Hier worden arbeidsintensieve repetitieve taken nog vaak door mensen uitgevoerd.	Artificiële huid voor robots om samenwerking met mensen te verbeteren. (Blue Danube Robotics)
39.			Exoskelet voor achturige werkdag (Sarcos Corp)
40.			HRP-5P robot kan bouwwerkzaamheden uitvoeren (AIST Tokyo)
41.			'Factory on the Fly' is een verplaatsbaar robot system voor bewerkingen op de bouwplaats
42.			Robot-assistenten op de bouwplaats voor draagwerkzaamheden, lassen en plaatsen van plafondplaten. (Shimizu Corp.)
43.			Walmart patenteert robot bijen
44.			Robotvis detecteert vervuiling (TU madrid en Florence)
45.			3DyourMAP is een service voor het printen van een omgeving die door drones is gescant
46.			Robot metselt zelfstandig muren (construction robotics)
47.	Slimme materialen	Slimme materialen die zich aanpassen aan de omgeving en toepassing zijn in opkomst. Hierbij	Gebreide vezels als bouw materiaal door vlas te verkalken (Bastian Beyer)
48.			Dakpannen die stikstofdioxides uit de lucht halen (Erlus AG)

49.		kan bijvoorbeeld gedacht worden aan materialen die zichzelf helen.	Een copolymeer met zelfhelende eigenschappen in verf (Clemson Uni)
50.			Transparante ge-3D-printe gevel elementen met goede bescherming tegen het weer en integratie van functies zoals optimaliseren van akoestiek en luchtcirculatie (TU Munchen)
51.			Zelfhelend beton (TU Delft)
52.			Bouwmaterialen van schimmels
53.			Gevelelementen als basis voor verschillende organismen om te vestigen (UPC Barcelona)
54.			Aerogel als isolerend bouw materiaal
55.			Antibacterieel plastic
56.	Circulaire economie	Het voorkomen van verlies in materialen door nieuwe toepassingen te zoeken voor afgedankte producten of materialen of gebruik te maken van reststromen.	Fietspad van gerecycled plastic afval (KWS)
57.			Drijvend park gemaakt van gerecycled plastic (Recycled Island Foundation)
58.			Bioplastics maken uit afval (UBQ materials)
59.			Gerecyclede producten uit kauwgom (Gumdrop Ltd)
60.			Betonnen buizen als microflats (James Law Cybertecture)
61.			Meubilair van afval (Pentatonic)
62.			Door wind aangedreven bal die landmijnen laat ontploffen met lage kosten (Design Academy Eindhoven)
63.			Biodegradeerbare regenponcho's (Equilicuá)
64.	Schone technologieën	Technologieën die bijdragen aan lagere emissies en niet gebruik maken van schaarse grondstoffen zijn steeds meer op de markt te vinden.	Een luchtfilter toren die smog uit de lucht filtert. De smog wordt gebruikt om ringen van te maken. (Rosegaarde)
65.			Een fiets die smog uit de lucht filtert (Rosegaarde)
66.	Ethisch consumeren	Consumenten houden in toenemende mate rekening met de ethische aspecten in het maken van keuzes voor merken en producten.	Er zijn verschillende bedrijven met eetbare 'plastic' verpakkingen op de markt gekomen
67.			Vaudé is het eerste outdoor merk in Europa dat DIY reparaties aanmoedigt
68.			Duurzame en maatschappelijk verantwoorde dieren speeltjes (Honest Pet Products)
69.			Composteerbare tent voor festivalgangers (Comp-A-Tent)
70.			
71.	Afvalvermindering	Het bewustzijn dat er enorm veel voedsel en materialen verspild	Verkoop van slecht uitziend groente en fruit neemt toe door bewustwording.

72.		worden zorgt voor bewustere aankopen. Slecht uitziend fruit wordt toch gekocht en men accepteert geen onnodige verpakkingsmaterialen.	Mensen nemen steeds vaker zelf bakjes e.d. mee om minder verpakkingsmateriaal te verbruiken
73.	Totale transparantie	Steeds meer bedrijven leggen hun processen bloot en laten de herkomst van hun grondstoffen aan de consument zien. Deze transparantie wordt nu gebruikt als 'unique selling point', maar zal in de nabije toekomst de norm zijn.	Nike's 'Making' app laat de materialendatabase van Nike zien met de effecten op het milieu
74.			Ge-3D-printe objecten traceren door een 'PrinTracker' een softwareprogramma die een 3D-printer kan traceren aan de hand van kenmerken van het geprinte object
75.			Ge-3D-printe objecten traceren door een unieke QR-code mee te printen in het object
76.	Ethische merken	Consumenten hebben minder vertrouwen in de welwillendheid van grote bedrijven. Bedrijven reageren daarop door mee te gaan met de generieke gedachtegang van het grote publiek en zichzelf te positioneren als morele autoriteiten.	Nestlé optimaliseert water bevoorrading
77.			Adidas ontwikkelt een 100% biodegradeerbare schoen
78.	Flexibel ruimtegebruik	Appartementen zullen steeds meer flexibel worden gebouwd zodat kamers uitgewisseld kunnen worden. Hierdoor kan een appartement geschikt raken voor studenten, starters, gezinnen of gepensioneerden.	Pop-up huizen tegen het woningtekort (Viva-house)
79.			Slimme opslag door meubilair naar het plafond te verplaatsen (Bumblebeespaces)
80.			Lumishell mobiel prefab huis
81.			Uitvouwbare huizen
82.			Tetris prefab huis (block building)
	Private steden	Straten, pleinen, dorpen en zelfs hele steden zouden privaat bezit kunnen worden in de toekomst. In de toerismesector is dit een groeiende trend. Ook bedrijven dragen hier steeds meer aan bij door te zorgen voor goede faciliteiten om competente werknemers aan te trekken en te behouden.	
83.	Slimme steden	Steden worden steeds slimmer ingedeeld. Een van deze slimmigheden is lokale productie om de transportroutes rustiger te maken en emissies te verminderen.	Hoge flats met veel groen zorgt voor 10.000m ² aan bos en draagt bij aan een koelere omgeving
84.			Slimme wegen die het verkeer detecteren en daarmee ongelukken signaleren en doorgeven aan de hulpdiensten
85.			Verf die afkoelt onder invloed van licht
86.			Fietspad van gerecycled toiletpapier
87.			Transportsystemen via tunnels om files te verminderen

88.	Mensgerichte steden	De kwaliteit van leven wordt steeds belangrijker bij het inrichten van steden. Hierdoor worden steden minder autovriendelijk en wordt alles meer op de inwoner gericht.	'Fleetlights' zijn drones die straatverlichting vervangen
89.			Zonnepanelen die lijken op normale dakpannen
90.			Mangrovebomen als natuurlijke kustbescherming
91.			Lichtgevend cement om fietsongelukken te voorkomen
92.			Dakbedekking met algen creëert schaduw, energie en zuurstof door fotosynthese
93.			Glow-in-the-dark voetpad in plaats van straatverlichting
94.			Een zwembad in het midden van de Thames → natuurlijke bron veilig en aantrekkelijk
95.			Gedeelde moestuinen in appartementencomplex of andere gedeelde woonruimtes
96.			Verticale (moes)tuinen om meer te planten op minder oppervlak
97.			Verticale (moes)tuinen voor indoor gebruik om verse gewassen te hebben en de luchtkwaliteit te verbeteren

BIJLAGE D. GESTRUCTUREERDE INTERVIEWS MET BOUWBEDRIJVEN

De gestructureerde interviews zijn naar aannemers en bouwbedrijven gestuurd in de regio Zeeland. In totaal zijn 20 bedrijven per mail aangeschreven. Na het versturen van de mails zijn de bedrijven opgebeld om te verzoeken de interviews te beantwoorden. Vijf bedrijven hebben gereageerd op de interviews. In de volgende paragraaf is de context te lezen die de aannemers toegestuurd kregen. Vervolgens zijn de vijf ingevulde vragenlijsten te zien.

CONTEXT VAN HET ONDERZOEK GERICHT OP AANNEMERS

Voor mijn afstudeertraject voer ik een onderzoek uit naar innovaties in de bouwsector. Hiervoor werk ik vanuit het lectoraat biobased bouwen waar een onderzoek loopt om duurzame alternatieven te ontwikkelen voor kunststof producten. Mijn deel in dit onderzoek gaat over 3D-printen met een nieuw biobased en biologisch afbreekbaar materiaal. Tijdens dit onderzoek zal ik zoeken naar toepassingen voor dit materiaal met deze productiemethode in de bouw. Als ik een kansrijke toepassing heb gevonden zal ik dit product ook uitwerken tot er een gedetailleerd ontwerp is met een prototype.

Omdat ik zelf geen achtergrond heb in de bouw maar naar dit onderzoek kijk als ingenieur/productontwerper zal ik een heel andere kijk hebben dan iemand die veel ervaring heeft in de bouw. Daarom wil ik heel graag input hebben van mensen met verschillende achtergronden in de bouw.

Uitleg en voorbeelden

3D-printen in de bouwsector lijkt momenteel misschien onrealistisch en lastig toe te passen. Misschien duurt het nog jaren voordat we een gebouw goed uit een 3D-printer kunnen krijgen. Maar momenteel verbeterd de techniek in 3D-printen op een snel tempo en kunnen er mooie en bruikbare producten gemaakt worden met deze techniek. Dit hoeven geen hele gebouwen te zijn maar kunnen ook onderdelen of halffabricaten zijn. Voornamelijk in toepassingen waar kleine hoeveelheden (vaak tot 1000 stuks) van een bepaald onderdeel gemaakt moeten worden is 3D-printen ideaal. Hierbij kan je denken aan:

1. **Prefab ge-3D-printe gevelelementen:** *Er zijn al een paar aannemers en architectenbureaus bezig met de ontwikkeling hiervan. Een heel groot voordeel is dat functies zoals leidingen voor water en elektriciteit direct mee geprint kunnen worden. Ook is het mogelijk om een gevel unieke vormen te geven die met huidige technieken niet mogelijk zijn.*
2. **Ge-3D-printe meubilair met unieke designs naar wens van de klant:** *Dit wordt door enkele architectenbureaus en productontwerpers al gedaan. Een stoel kan per stuk individueel een uniek ontwerp krijgen. Ook is het mogelijk om de ergonomie van de stoel direct af te stemmen op de eindgebruiker.*
3. **Ge-3D-printe raamwerken voor betonnen constructies met vrije vormen:** *Deze raamwerken maken het mogelijk hele organische vormen te maken met beton.*

Naast 3D-printen gaat mijn onderzoek specifiek over een nieuw soort kunststof: PHBV. Dit kunststof is biobased en biodegradeerbaar. Die eigenschap zou in de bouw van pas kunnen komen in kleine kunststof onderdelen die men vaak verliest en die in de grond kunnen verdwijnen. Zelf heb ik als voorbeeld aan de volgende toepassingen kunnen denken:

4. **Tegelkruisjes van PHBV welke vanzelf afbreken als deze in de natuur belanden.**
5. **Pluggen van PHBV welke vanzelf afbreken als deze in de natuur belanden.**

Ik heb deze voorbeelden gegeven om een beeld te geven van wat er mogelijk is aan toepassingen voor deze productietechniek of materialen. Op de volgende pagina staan een aantal vragen. Ik zou u willen vragen deze te beantwoorden. Als een vraag onduidelijk is of u meer informatie wilt mag u altijd contact met mij opnemen.

Alvast bedankt voor de moeite!

ANTWOORDENVEL 1: DUVEKOT BOUW (MIDDELBURG)

Ingevuld door: Jacco Duvekot (Eigenaar/Directeur)

Graag de vragen naar waarheid invullen. Als u van mening bent dat 3D-printen of biologisch afbreekbare producten in de bouw geen succes zal worden mag u dat ook laten weten. Voor mij is het dan juist interessant om te weten waarom u hier geen toekomst in ziet. Dit kan mij erg helpen met de keuzes die ik maak in mijn onderzoek en de aanbevelingen die ik doe aan het einde van mijn onderzoek.

1. *Waar richt uw bedrijf zich voornamelijk op?*

Ons bedrijf is vrij breed georiënteerd. Onderhoud, renovatie, restauratie, nieuwbouw. Vooral in kleinschalige projecten.

2. *3D-printen heeft als voordeel dat je unieke vormen kan maken en is geschikt voor kleine tot middelgrote oplages van onderdelen of producten. Ziet u hier in uw branche toepassingen voor?*

We hebben wel eens geëxperimenteerd met ornamenten voor de restauratie. Dat waren houten houtsnijwerken van 30 cm hoog die hersteld moesten worden. We hebben deze gescand en zouden deze dan printen maar de printkosten waren zo hoog in dit formaat dat ze we maar gerepareerd hebben. In klein model van 10 cm konden we ze zelf 3d printen maar groter was toen onbetaalbaar.

3. *Verder heeft 3D-printen als voordeel dat kleinschalige productie in-house kan gebeuren voor onderdelen die regelmatig nodig zijn. Hierdoor is het mogelijk om van die onderdelen een kleine voorraad te hebben en ze pas te printen als het nodig is. Ziet u hier mogelijke toepassingen voor binnen uw bedrijf of branche?*

We hebben wel eens wat geprint maar de sterkte is veel laag. Het ziet er leuk uit maar valt snel uit elkaar.

Het materiaal waar mijn onderzoek zich op richt is PHBV, een kunststof dat ontstaat met behulp van bacteriën die o.a. uit rioolwater te halen zijn. Hierdoor is het biobased. Daarnaast is het materiaal ook biodegradeerbaar waardoor het in de grond verdwijnt na verloop van tijd.

4. *Zijn er naar uw weten onderdelen die per ongeluk achter kunnen blijven op de bouwplaats en zo mogelijk in de grond en omgeving terecht komen?*

Biobased is altijd een beetje risicovol in de bouw. We bouwen dure projecten en als je dan een risico moet nemen nieuwe materialen die zich nog niet bewezen hebben wordt dat een veel te groot risico. Biobased klinkt ook dat het snel gaat rotten en daar zitten we meestal niet op te wachten in de bouw. We hebben wel eens vlasdakplaten gebruikt in een project en die bleken niet sterk genoeg. Dat heeft heel veel geld gekost. Dat doen we dus niet meer. Producten die achter kunnen blijven in de bouw moeten meestal lang meegaan. Als iets van tijdelijke bekisting is mogelijk in de beton maar veel anders kan ik niet verzinnen. Als het mogelijk is moet de sterkte wel gelijk zijn. Voor tegelkruisjes kan ik me wat voorstel dat deze niet sterk moeten zijn maar als deze weggroten en je krijgt verkleuring in je voegen dan heb je een echt probleem. 3d printen van tegelkruisjes kan ook niet omdat dat veel te duur is.

5. *Kunt u aan andere toepassingen denken waar het van pas komt dat een materiaal vanzelf afbreekt?*

Ik kan geen andere toepassingen verzinnen van afbreekbare materialen. Misschien de verpakking van bouwmaterialen?

Nog een afsluitende vraag

6. *Kunt u een voorbeeld geven van een recente innovatie die u bent tegengekomen? (mag van alles zijn, zolang het iets met bouwen te maken heeft)*

Een "grote" innovatie die bij ons veel gebruikt wordt is de verbetering van de communicatie via smartphones. De afstand tussen bouwplaats-kantoor-klant wordt hierdoor een stuk kleiner. Berichten, foto's, doorsturen van werkinstructies, werkbonden af laten tekenen etc. Deze techniek is namelijk nu zover dat het voor iedereen zonder verdere kennis te gebruiken is.

ANTWOORDENVEL 2: AANNEMERSBEDRIJF FRAANJE BV ('S-HEER ARENSKERKE)

Ingevuld door: Danny van Die (Bedrijfsleider)

Graag de vragen naar waarheid invullen. Als u van mening bent dat 3D-printen of biologisch afbreekbare producten in de bouw geen succes zal worden mag u dat ook laten weten. Voor mij is het dan juist interessant om te weten waarom u hier geen toekomst in ziet. Dit kan mij erg helpen met de keuzes die ik maak in mijn onderzoek en de aanbevelingen die ik doe aan het einde van mijn onderzoek.

1. *Waar richt uw bedrijf zich voornamelijk op?*

Aannemingsbedrijf Fraanje is werkzaam in de burgerlijke en utiliteitsbouw. Binnen ons bedrijf werken we met 6 business units.

- Klantenwerk (+ S&O en Nazorg)
- Bedrijfspanen
- Utiliteitsbouw
- Appartementen
- Projectmatige woningbouw
- Rianthuis

Vanuit deze business units kunnen we de hele markt bedienen van de particulier die een verbouwing wil tot de nieuwbouw van bv een flatgebouw.

Zie voor meer informatie op www.fraanje.com of www.rianthuis.nl

2. *3D-printen heeft als voordeel dat je unieke vormen kan maken en is geschikt voor kleine tot middelgrote oplages van onderdelen of producten. Ziet u hier in uw branche toepassingen voor?*

Wij zien hier zeker mogelijkheden in.

Interessant is ook om eens te googlen op Marjet Rutte

3. *Verder heeft 3D-printen als voordeel dat kleinschalige productie in-house kan gebeuren voor onderdelen die regelmatig nodig zijn. Hierdoor is het mogelijk om van die onderdelen een kleine voorraad te hebben en ze pas te printen als het nodig is. Ziet u hier mogelijke toepassingen voor binnen uw bedrijf of branche?*

Persoonlijk ben ik van mening om geen voorraad te hebben, immers voorraad kost geld. Ik geloof meer in just in time leveringen.

Het materiaal waar mijn onderzoek zich op richt is PHBV, een kunststof dat ontstaat met behulp van bacteriën die o.a. uit rioolwater te halen zijn. Hierdoor is het biobased. Daarnaast is het materiaal ook biodegradeerbaar waardoor het in de grond verdwijnt na verloop van tijd.

4. *Zijn er naar uw weten onderdelen die per ongeluk achter kunnen blijven op de bouwplaats en zo mogelijk in de grond en omgeving terecht komen?*

In de bouw zal dat voornamelijk verpakkingsmaterialen zijn.

5. *Kunt u aan andere toepassingen denken waar het van pas komt dat een materiaal vanzelf afbreekt?*

Dit zullen dan voornamelijk materialen zijn die voor een tijdelijke bestemming bedoeld zijn of wegwerpartikelen. Zoals bv verpakkingsmiddelen of bekers, bordjes, bestek, rietjes

Nog een afsluitende vraag

6. *Kunt u een voorbeeld geven van een recente innovatie die u bent tegengekomen? (mag van alles zijn, zolang het iets met bouwen te maken heeft)*

28-03-2019 was er op TV een gast in de talkshow bij Jinek (Ned.1) Hij had het over ruimte afval. In dit gesprek kwam ook 3D printen ter sprake. Nasa heeft plannen om op de maan 3D te gaan printen.

Parametrisch ontwerpen

Over het algemeen zie je dat de digitalisatie een steeds grotere vlucht gaat nemen, daaraan gekoppeld zie je ook de robotisering zijn intrede doen in ons leven.

Voor de bouwwereld geloof ik erin dat we naar een soort bol.com omgeving gaan waar de klant online zijn woning kan samenstellen (parametrisch ontwerpen) zodra de klant zijn woning in het winkelmandje heeft gedaan drukt hij op bestellen. Waarna de orders automatisch bij de diverse partners binnen komen. In de fabriek worden de verschillende modules gemaakt. De verschillende onderdelen gaan vervolgens op transport naar de bouwplaats en plug and play gemonteerd.

Dit laatste gebeurt al door diverse aannemers en zal door steeds meer aannemers gevolgd worden.

Het online bestellen van een woning is nu nog vooral beperkt tot de standaard kopers opties. Bij het pragmatisch ontwerp kan de koper niet alleen kiezen tussen standaard optie maar kan hij bv zelf een uitbouw uittrekken op de maat die hij wil (natuurlijk wel binnen ingegeven kaders). Dit ben ik nog niet tegengekomen maar dit gaat eraan komen.

Ingevuld door: Albert Maljaars (Aannemer)

Graag de vragen naar waarheid invullen. Als u van mening bent dat 3D-printen of biologisch afbreekbare producten in de bouw geen succes zal worden mag u dat ook laten weten. Voor mij is het dan juist interessant om te weten waarom u hier geen toekomst in ziet. Dit kan mij erg helpen met de keuzes die ik maak in mijn onderzoek en de aanbevelingen die ik doe aan het einde van mijn onderzoek.

1. Waar richt uw bedrijf zich voornamelijk op?

Nieuwbouw en verbouw van particuliere woningen en utiliteitsgebouwen, restauratie en onderhoudswerk voor de overheid.

2. 3D-printen heeft als voordeel dat je unieke vormen kan maken en is geschikt voor kleine tot middelgrote oplages van onderdelen of producten. Ziet u hier in uw branche toepassingen voor?

Nee niet meteen. Alleen als stukproductie voordeliger is dan traditioneel maken met een bekisting wordt het in onze branche interessant. Bij seriematige woningbouw zal het veel sneller interessant zijn

3. Verder heeft 3D-printen als voordeel dat kleinschalige productie in-house kan gebeuren voor onderdelen die regelmatig nodig zijn. Hierdoor is het mogelijk om van die onderdelen een kleine voorraad te hebben en ze pas te printen als het nodig is. Ziet u hier mogelijke toepassingen voor binnen uw bedrijf of branche?

Misschien, maar dan alleen als een 3 d printer hele kleine oplages kan draaien en zonder omstellen vanuit een vooraf eenmalig ingesteld geheugen allerlei verschillende produkten kan maken.

Het materiaal waar mijn onderzoek zich op richt is PHBV, een kunststof dat ontstaat met behulp van bacteriën die o.a. uit rioolwater te halen zijn. Hierdoor is het biobased. Daarnaast is het materiaal ook biodegradeerbaar waardoor het in de grond verdwijnt na verloop van tijd.

4. Zijn er naar uw weten onderdelen die per ongeluk achter kunnen blijven op de bouwplaats en zo mogelijk in de grond en omgeving terecht komen?

Zeker. Met name bevestigingsmiddelen, wiggetjes, puin, specieresten snippers isolatiemateriaal etc. liggen aan het eind van de bouw onder de steiger. Dit wordt lang niet allemaal opgeruimd.

5. Kunt u aan andere toepassingen denken waar het van pas komt dat een materiaal vanzelf afbreekt?

Mijn advies is om te kijken naar grotere problemen. Wiggetjes, vulplaatjes, tegelkruisjes etc. zijn een heel klein probleem en een heel geringe milieubelasting. Misschien minder spannend omdat je er geen 3d printer voor nodig hebt, maar wel een hele grote milieubelasting is verpakkingsmateriaal. Zowel plastic als karton, piepschuim en folies tussen tegels etc. want dat gaat ook meestal in dezelfde afvalstroom mee. Ga eens op een bouwplaats in de afvalcontainers kijken. Met name tijdens de afbouwfase beland er enorm veel in de afvalcontainers.

Nog een afsluitende vraag

6. *Kunt u een voorbeeld geven van een recente innovatie die u bent tegengekomen? (mag van alles zijn, zolang het iets met bouwen te maken heeft)*

De mooie in dak systemen die er tegenwoordig zijn voor zonnepanelen. Nog even geduld, maar wel een super innovatie is de waterstof zonnepaneel:

https://www.installatiejournaal.nl/energie/nieuws/2019/03/nieuwe-zonnepanelen-produceren-direct-groene-waterstof-1019354?vakmedianet-approve-cookies=1&_ga=2.1403057.1862879080.1554142565-755325927.1546711282

ANTWOORDENVEL 4: BOUWBEDRIJF GOEDBLOED (VEERE)

Ingevuld door: Willem Goedbloed (Directeur)

Graag de vragen naar waarheid invullen. Als u van mening bent dat 3D-printen of biologisch afbreekbare producten in de bouw geen succes zal worden mag u dat ook laten weten. Voor mij is het dan juist interessant om te weten waarom u hier geen toekomst in ziet. Dit kan mij erg helpen met de keuzes die ik maak in mijn onderzoek en de aanbevelingen die ik doe aan het einde van mijn onderzoek.

1. *Waar richt uw bedrijf zich voornamelijk op?*
Verbouw, onderhoud, renovatie, aanbouwen
2. *3D-printen heeft als voordeel dat je unieke vormen kan maken en is geschikt voor kleine tot middelgrote oplages van onderdelen of producten. Ziet u hier in uw branche toepassingen voor?*
Nee
3. *Verder heeft 3D-printen als voordeel dat kleinschalige productie in-house kan gebeuren voor onderdelen die regelmatig nodig zijn. Hierdoor is het mogelijk om van die onderdelen een kleine voorraad te hebben en ze pas te printen als het nodig is. Ziet u hier mogelijke toepassingen voor binnen uw bedrijf of branche?*

Nee

Het materiaal waar mijn onderzoek zich op richt is PHBV, een kunststof dat ontstaat met behulp van bacteriën die o.a. uit rioolwater te halen zijn. Hierdoor is het biobased. Daarnaast is het materiaal ook biodegradeerbaar waardoor het in de grond verdwijnt na verloop van tijd.

4. *Zijn er naar uw weten onderdelen die per ongeluk achter kunnen blijven op de bouwplaats en zo mogelijk in de grond en omgeving terecht komen?*

Nee

5. *Kunt u aan andere toepassingen denken waar het van pas komt dat een materiaal vanzelf afbreekt?*

Nee

Nog een afsluitende vraag

6. *Kunt u een voorbeeld geven van een recente innovatie die u bent tegengekomen? (mag van alles zijn, zolang het iets met bouwen te maken heeft)*

nvt

Ingevuld door: Joost Pluijlaar (Technisch Directeur)

Graag de vragen naar waarheid invullen. Als u van mening bent dat 3D-printen of biologisch afbreekbare producten in de bouw geen succes zal worden mag u dat ook laten weten. Voor mij is het dan juist interessant om te weten waarom u hier geen toekomst in ziet. Dit kan mij erg helpen met de keuzes die ik maak in mijn onderzoek en de aanbevelingen die ik doe aan het einde van mijn onderzoek.

1. Waar richt uw bedrijf zich voornamelijk op?

Woningbouw, renovatie, utiliteitsbouw, restauratie en onderhoud

2. 3D-printen heeft als voordeel dat je unieke vormen kan maken en is geschikt voor kleine tot middelgrote oplages van onderdelen of producten. Ziet u hier in uw branche toepassingen voor?

Waar nu het maken van een mal voor prefab betonnen onderdelen zoals balkonplaten, gevelelementen ed een kleine oplage heel duur maakt zou indien het mogelijk is om deze elementen te printen interessant kunnen worden.

3. Verder heeft 3D-printen als voordeel dat kleinschalige productie in-house kan gebeuren voor onderdelen die regelmatig nodig zijn. Hierdoor is het mogelijk om van die onderdelen een kleine voorraad te hebben en ze pas te printen als het nodig is. Ziet u hier mogelijke toepassingen voor binnen uw bedrijf of branche?

Niet direct voor de bouw maar wellicht interessant voor de installatiebranche zoals een onderdeel voor een bepaald type kraan. Geen levertijd en transport meer.

Het materiaal waar mijn onderzoek zich op richt is PHBV, een kunststof dat ontstaat met behulp van bacteriën die o.a. uit rioolwater te halen zijn. Hierdoor is het biobased. Daarnaast is het materiaal ook biodegradeerbaar waardoor het in de grond verdwijnt na verloop van tijd.

4. Zijn er naar uw weten onderdelen die per ongeluk achter kunnen blijven op de bouwplaats en zo mogelijk in de grond en omgeving terecht komen?

Ik weet uit ervaring dat er veel materiaalresten achterblijven in de grond of wegwaaien. Het betreft hier resten steen, specie, beton, hout, pur-schuim, isolatiemateriaal, schroeven, pluggen en verpakkingsmateriaal. Behalve voor het verpakkingsmateriaal is het niet wenselijk dat de overige zaken ook biodegradeerbaar zijn! Dan zou het gebouw langzaam kunnen oplossen...

Alleen voor verpakkingsmateriaal lijkt het mij wel een prima oplossing. Niet om het allemaal dan maar in de grond te begraven maar wanneer er toch wat achterblijft of wegwaait vergaat het tenminste.

5. Kunt u aan andere toepassingen denken waar het van pas komt dat een materiaal vanzelf afbreekt?

Nee, er zullen ongetwijfeld toepassingen zijn maar ik kan ze op dit moment zo niet bedenken. Ik denk wel dat het in de hoek moet zoeken van tijdelijke zaken rond de bouw: verpakkingen, hulpconstructies ed.

Nog een afsluitende vraag

1. *Kunt u een voorbeeld geven van een recente innovatie die u bent tegengekomen? (mag van alles zijn, zolang het iets met bouwen te maken heeft)*

Niet echt innovatief maar in de bouw wordt steeds meer gebruik gemaakt van prefab onderdelen. Wij bouwen zelf woningdelen in de fabriek volledig af en voegen die delen op de bouw samen. Op die manier blijft het restmateriaal en de verpakking in de fabriek.

BIJLAGE E. INFORMATIE ZOEKVELDEN: ZIEN BEDRIJVEN IN DE BOUWSECTOR KANSEN IN 3D-PRINTEN EN PHBV?

Tijdens de innovatiefase is er rondvraag gedaan bij 5 bedrijven in de bouwsector met vestigingen in zeeland. Hierbij is gevraagd of zij kansen zien in 3D-printen en biobased en biologisch afbreekbare kunststoffen. Afsluitend is ook gevraagd naar recente innovaties waar het bedrijf mee te maken heeft gehad. In deze paragraaf zijn de antwoorden van de bedrijven samengevat.

3D-printen

Een van de ondervraagde bedrijven heeft weleens geëxperimenteerd met 3D-printen voor het restaureren van ornamenten. Dit liep toen staak omdat de printkosten vaak te hoog waren en het goedkoper was om met de hand te restaureren. Ook voor onderdelen is er het een en ander geprint. Er konden mooie modellen gemaakt worden, maar de sterkte was meestal onvoldoende voor de toepassing.

Een ander bedrijf geeft aan dat het maken van mallen voor prefab betonnen onderdelen een interessante toepassing is voor 3D-printen. Dan kunnen er unieke vormen gerealiseerd worden in kleine oplages.

Biobased materialen

De meeste bedrijven zien biobased materialen voornamelijk als een risico. De materialen zijn vaak nieuw ontwikkeld en hebben zich nog niet bewezen over een langere tijd. In de bouw wordt vaak met dure projecten gewerkt waar een klein rendement op zit. Als er gebruik wordt gemaakt van nieuwe (biobased) materialen en methodes, is dat een risico voor het rendement. Een van de ondervraagde bedrijven gaf aan ooit vlasdakplaten te hebben gebruikt. Deze bleken uiteindelijk niet sterk genoeg en dus moest alles vervangen worden. Dat heeft heel veel geld gekost en doordat het rendement op dit soort projecten niet zo hoog is, wordt er al snel verlies geleden. Dit bedrijf heeft aangegeven nooit meer die vlasdakplaten te gebruiken en is erg voorzichtig als het gaat om nieuwe (biobased) materialen.

Biologisch afbreekbare materialen

De ondervraagde bedrijven gaven allemaal aan dat er regelmatig afval in de grond of natuur komt tijdens het bouwen. Dit kan variëren van kleine wiggetjes, pluggen en tegelkruisjes tot grote stukken piepschuim, folies en ander verpakkingsmateriaal. De meeste bedrijven gaven aan om juist te kijken naar biologisch afbreekbaar verpakkingsmateriaal. Pluggen en tegelkruisjes zijn maar een heel klein deel van het probleem. Verpakkingsmaterialen blijven in veel grotere hoeveelheden achter.

Verder wordt ook gewaarschuwd dat veel van de hulpmiddelen onder geen beding mogen oplossen. Bij tegelkruisjes mag bijvoorbeeld geen verkleuring optreden in de voegen.

Voorbeelden van recente innovaties in de bouw

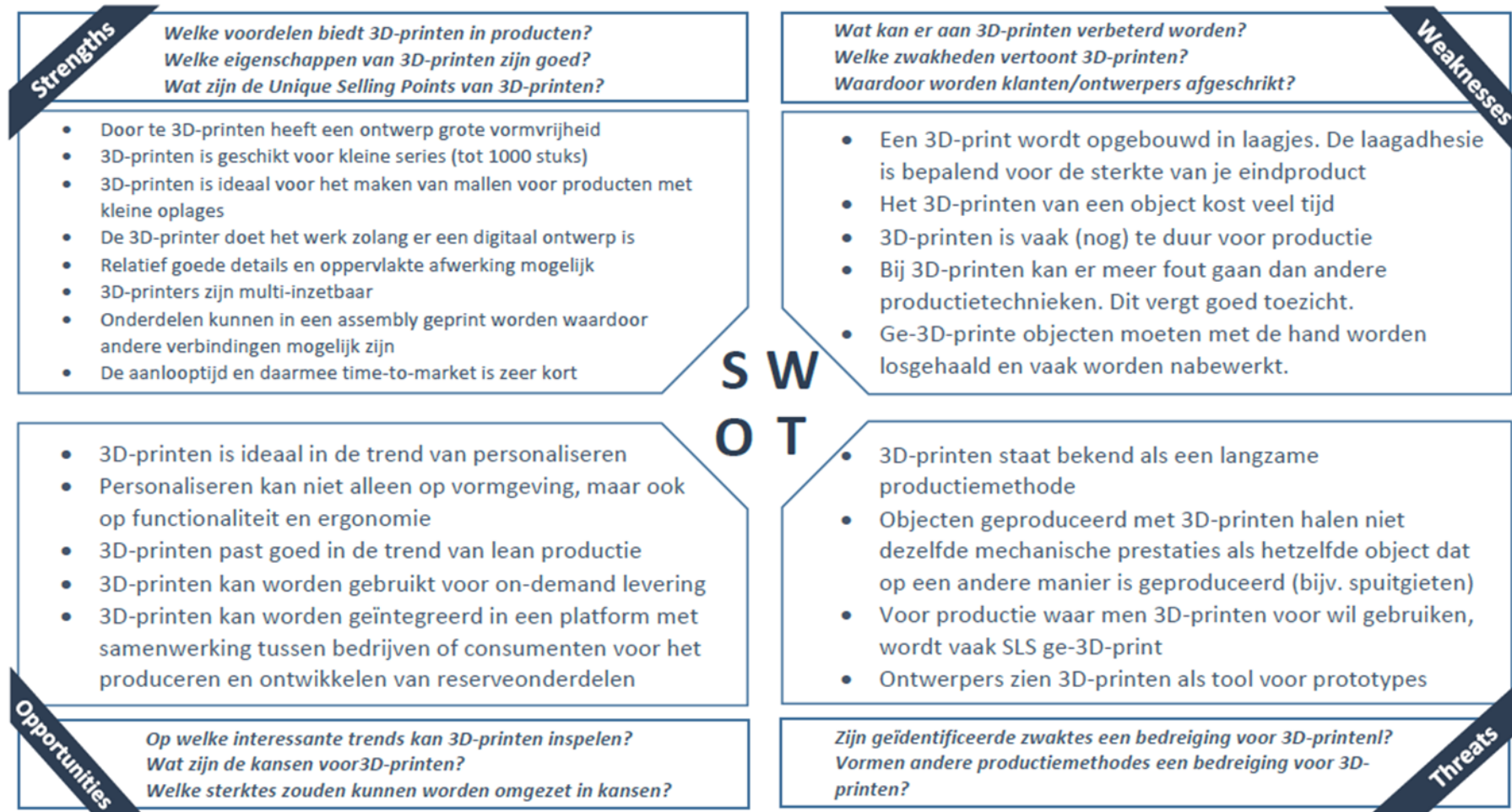
1. Communicatie via smartphones maakt het veel eenvoudiger om iets met de klant af te stemmen, voortgang op locatie te laten zien, werkbonden af te tekenen, etc. Dit is vooral handig om de afstand tussen bouwplaats, kantoor en klant te verminderen;
2. Parametrisch ontwerpen van gebouwen. Deze trend is er nog niet, maar zal volgens een werknemer van Fraanje zeker gaan komen. Hierbij wordt het voor een klant mogelijk om online zijn woning samen te stellen. Als de woning in het winkelmandje gedaan wordt komen de orders automatisch bij betrokken partners binnen die de verschillende onderdelen gaan produceren. Vervolgens wordt het op de bouwplaats plug-and-play gemonteerd;
3. Mooie in-dak systemen voor zonnepanelen en over een tijdje het waterstof zonnepaneel met hoge rendementen;
4. Het gebruik van prefab woningdelen die in een fabriek volledig worden afgebouwd. Dit is makkelijker in elkaar zetten op locatie en veel afval en restmateriaal blijft in de fabriek.

SWOT Analyse FDM 3D-printen

Deze template wordt gebruikt om sterktes en zwaktes te ontdekken, kansen te vinden en bedreigingen te minimaliseren. De uitkomsten van deze analyse worden gebruikt om de strategie te bepalen voor de innovatie voor een showcaseproduct van ge-3D-print vezelversterkt PHBV.



- Voor meer informatie over dit model, bekijk: <https://www.toolshero.nl/strategie/swot-analyse/>

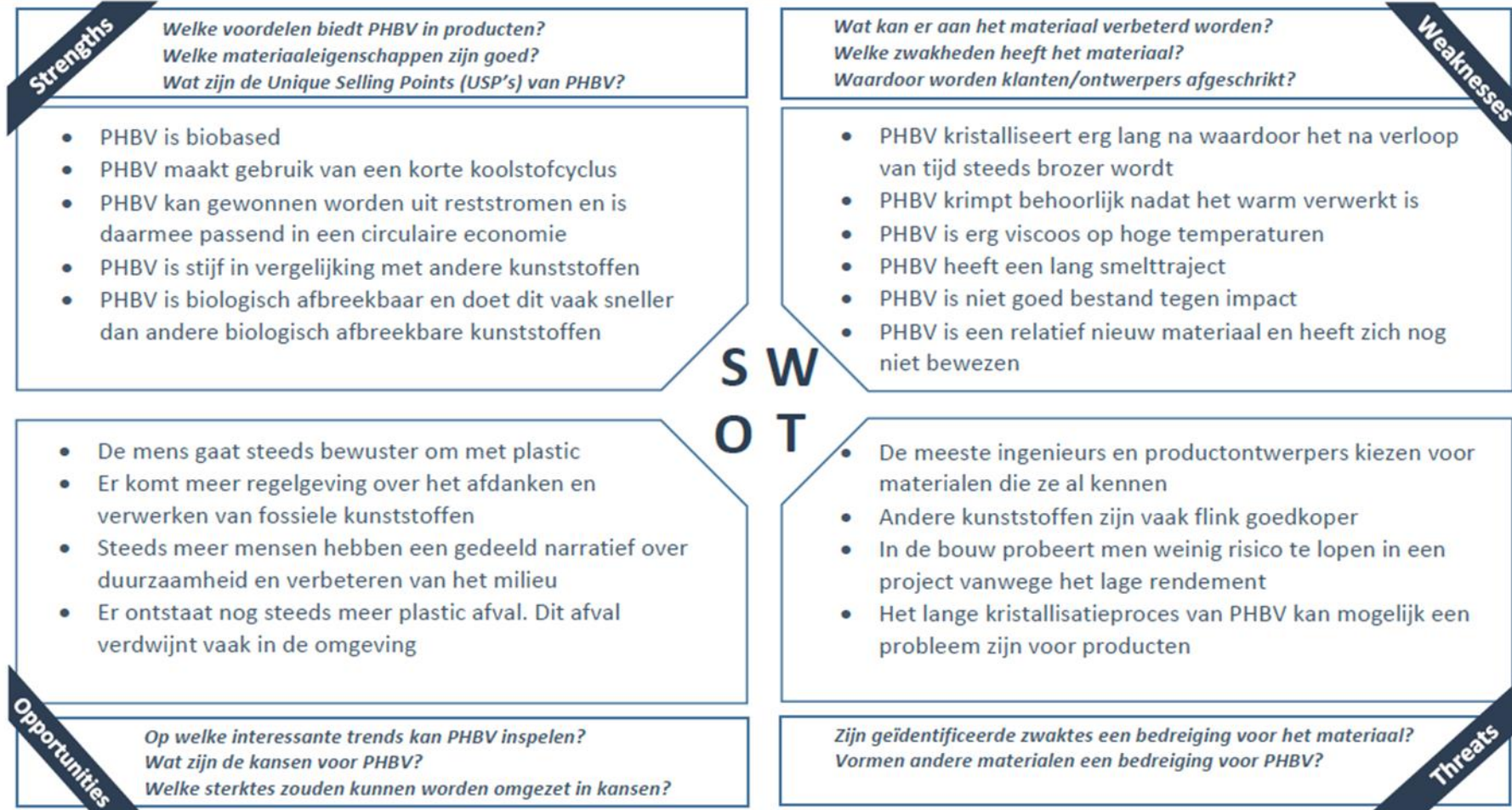


Deze template is gratis aan te passen, te printen en te delen omdat we geloven in de kracht van het delen van kennis. Mocht u willen bijdragen aan onze missie, help ons dan door het ToolsHero logo, de links en deze tekst ongewijzigd te laten.

SWOT Analyse PHBV

Deze template wordt gebruikt om sterktes en zwaktes te ontdekken, kansen te vinden en bedreigingen te minimaliseren. De uitkomsten van deze analyse worden gebruikt om de strategie te bepalen voor de innovatie voor een showcaseproduct van ge-3D-print vezelversterkt PHBV.

- Voor meer informatie over dit model, bekijk: <https://www.toolshero.nl/strategie/swot-analyse/>



Deze template is gratis aan te passen, te printen en te delen omdat we geloven in de kracht van het delen van kennis. Mocht u willen bijdragen aan onze missie, help ons dan door het ToolsHero logo, de links en deze tekst ongewijzigd te laten.

Innovatiekansen voor 3D-printen in de bouw

1. IKEA achtige bouwpakketten met ge-3D-printe verbindingstukken zodat schroeven overbodig zijn
2. Een lijn meubilair met een aantal basis eigenschappen die verder volledig naar de wens van de klant is Gevelementen met geïntegreerde functies en een design dat naar de wens van de klant is aan te passen;
3. Een database met CAD-modellen van veelgebruikte onderdelen op een bouwplaats zodat deze lokaal geprint kunnen worden als de voorraad op is;
4. 3D-printen gebruiken voor het maken van hulpstukken naar inzicht door bouwvakkers een model te laten maken met een eenvoudig modelleerprogramma;
5. Producten die in middelgrote serie gemaakt worden laten 3D-printen via een on-demand systeem om levertijden en voorraden te beperken.
6. Prefab ge-3D-printe huiselementen met geïntegreerde functies zoals isolatie en infrastructuur voor gas, water en elektriciteit.
7. Op maat gemaakte ge-3D-printe kniebeschermers van een biobased thermoplastisch kunststof.
8. Op maat gemaakte veiligheidshelmen.
9. Mallen voor prefab betonconstructies.
10. Prefab isolerende delen voor wanden en daken.

Innovatiekansen voor PHBV in de bouw

1. Wandcontactdozen van biobased thermoplastisch kunststof (composiet)
2. Koppelstukken voor water of elektriciteitsleidingen van biobased thermoplastisch kunststof (composiet)
3. Lasdozen van biobased thermoplastisch kunststof (composiet)
4. Kozijnen van biobased thermoplastisch kunststof (composiet)
5. Tegelkruisjes en nivelleersystemen van biobased thermoplastisch kunststof (composiet)
6. Schroeven, moeren en bouten van biodegradeerbare materialen
7. Carrosserie- en borgringen van biodegradeerbare materialen
8. Isolatiefixatie van biodegradeerbare materialen
9. Tegelkruisjes van biodegradeerbare materialen
10. Kabelschoenen van biodegradeerbare materialen
11. Kroonstenen van biodegradeerbare materialen
12. Verpakkingsmaterialen in de vorm van folies
13. Verpakkingsmaterialen als beschermlijpjes en hoekstukken
14. Verpakkingsmaterialen van PHBV ter vervanging van piepschuim

Innovatiekansen voor 3D-printen

4. Unieke klimgrepen van ge-3D-print thermoplastisch kunststof voor indoor sportklimmen (composiet)
5. Ergonomisch meubilair
6. Ergonomische computermuizen afgestemd op de gebruiker
7. Ge-3D-printe beeldjes van huisdieren (d.m.v. 3D scannen)
8. Ge-3D-printe memorials van overleden personen bijvoorbeeld een assieraad
9. Ge-3D-printe klant specifieke urnen
10. Ge-3D-printe grafkisten
11. Ge-3D-printe auto-onderdelen
12. Ge-3D-printe auto-onderdelen voor tunen of detailing (klant specifiek ontworpen)
13. Ge-3D-printe merchandise voor automerken
14. Ge-3D-printe spelletjes

Slabberjan	Regenwormen	Schaken	Dammen
------------	-------------	---------	--------

15. Relatiegeschenken

USB-stick	Sleutelhanger	Zonnebril
Pennen	Pasjeshouder/businesskaarhouder	Douche timer
Pepermuntdoosje	Jojo	Mokken
Geodriehoek	Wijgeschenk set (met opener, kurk, etc.)	Geluidsversterker (boxje zonder elektronica) voor telefoons

16. Ge-3D-print vogelhuisje met interessante vormgeving (evt. open source)
17. Ge-3D-print bijenhotel met interessante vormgeving (evt. open source)

Innovatiekansen voor biodegradeerbaar kunststof

Composteerbare:

4. Festivaltenten
5. Festivalartikelen
6. Tentharingen
7. Regenponcho's
8. Hondenspeeltjes
9. Feederkorven (voor vissen)
10. Vislood
11. Visdraad
12. Verpakkingen voor visartikelen
13. Gripzakjes
14. Hondenpoepzakjes
15. Verpakkingen in de supermarkt (snoep, broodjes, blikjes en flesjes)
16. Golf Tee's
17. Bloempotten
18. Plantenbinders en stokken
19. Plantenstokken of zaadkaartjes met voedingsstoffen
20. Plantenstokken of zaadkaartjes met zuur/base voor kleurverandering van de bloem
21. Eenjarige tuindecoratie
22. Vogelhuisje (printed nest); het huisje vergaat langzaam terwijl de vogels het bekleden als compleet nest
23. Bijenhotel; Deze kunnen opgehangen worden in de natuur zonder lang achter te blijven. Hiermee kunnen leefgebieden van wilde bijen verbonden worden
24. Grafkisten
25. Urnen

BIJLAGE I. PROCESBOOM

Levensfase	Activiteit	Specificatie	Aantekeningen
Ontstaan	Ontwerpen	Door Lennart Zoeter in 16 weken tijd	
	Productierijp maken	Specificeren d.m.v. technisch documentatiepakket	Prototypefase
		PHBV filament realiseren met betere eigenschappen voor 3D-printen	Welke natuurvezels zijn geschikt voor PHBV in een 3D-print omgeving? (analyse)
			Welke natuurlijke additieven zijn geschikt voor PHBV in een 3D-print omgeving? (analyse)
		Testen met zuiver PHBV	Welke instellingen beïnvloeden de printkwaliteit van zuiver PHBV? (analyse)
			Wat zijn de problemen die optreden bij printen met PHBV? (analyse)
	Produceren van enkele showcaseproducten	Produceren d.m.v. FDM 3D-printen	Met 3D-printers in de werkplaats van de HZ (prototypefase)
		Zichtbaar door een 3D-printer geproduceerd	Hoe kan je het ontwerp zo vormgeven dat dit zichtbaar is ge-3D-print? (ideefase)
		Assembleren van nestmaterialen in de hotels	Hoe worden de nestmaterialen in de bijenhotels gefixeerd? (ideefase)
	Controleren	Ontwerp controleren met PvE/W	Aan het eind van de ideefase, conceptfase en prototypefase
		Visuele inspectie na 3D-printen	Controleren op afwijkingen van het ontwerp (prototypefase)
		Visuele inspectie van de nestmaterialen	Controle van de nestmaterialen op eisen en wensen (prototypefase)
		Visuele inspectie na assemblage	Controle op het gehele product met PvE/W (prototypefase)

Levensfase	Activiteit	Specificatie	Aantekeningen
Ontstaan	Verpakken	Interactieve unbox ervaring	Hoe kan je een leerzame ervaring maken van het unboxen? (ideefase)
	Omverpakken	n.v.t.	n.v.t.
	Opslaan	n.v.t.	n.v.t.
Verspreiden	Prijs vaststellen	Kostprijs	Wat is de prijs van concurrerende bijenhotels? (analyse)
	Adverteren	Showcase	
	Vervoeren	n.v.t.	n.v.t.
	Uitpakken	Interactieve en leerzame unboxing	Hoe kan je een leerzame ervaring maken van het unboxen? (ideefase)
	In schap plaatsen	In showcase plaatsen	Heeft het lectoraat vitrines of een verzamelplaats voor showcaseproducten?
	Adviseren	Adviseren in gebruik	Is er een lichtplan voor lineaire profielen in een datacenter?
		Adviseren in onderhoud	Is onderhoud nodig?
			Wat is de levensduur van het armatuur? (concept)
	Verkopen/aankopen	n.v.t.	
Gebruik	In huis halen	Plaatsing op locatie	Voorlichting geven over voorwaarden voor locatie Unboxing (ideefase)
	Opbergen	n.v.t.	
	In gebruik nemen	Interactie met eindgebruiker (de bij)	Waar moet het bijenhotel aan voldoen om succesvol nesthulp te bieden? (analyse)
		Interactie met eindgebruiker (mens)	Hoe wordt het bijenhotel geplaatst? (concept)
			Aanmoedigen andere leefomstandigheden te verbeteren. Unboxing (ideefase)
	Onbedoeld gebruik	Vandalisme	Het ontwerp zal niet vandalismebestendig zijn.
		Laten vallen tijdens plaatsing	Droptest is hier niet betrouwbaar in vanwege laagadhesie bij 3D-printen Gevoelsmatig realiseren (prototypefase)

Levensfase	Activiteit	Specificatie	Aantekeningen
Gebruik	Onbedoeld gebruik	Zware weersomstandigheden	Hoe kan het bijenhotel op zijn plaats blijven bij zware windstoten? (concept)
			Hoe kan het bijenhotel niet bezwijken bij hagel? (concept)
	Repareren	Levensduur verlengen	Kan het nestmateriaal vervangen worden? (concept)
	Onderhoud	Geen, tenzij nestmateriaal vervangen wordt	
Verdwijnen	Hergebruik	Levensduur verlengen	
		Nieuwe functie geven	Hoe kan je het bijenhotel een nieuwe functie geven na de levensduur? (ideefase)
	Recyclen	Recyclebare materialen	PHBV kan niet worden gerecycled via het huidige recyclesysteem
	Vernietigen	Niet recyclebare materialen	De niet-recyclebare materialen zijn biobased en biodegradeerbaar
		Bij het afval gooien	Mag dit bij het GFT-afval? (conceptfase / prototypefase)
		In de natuur achterlaten	Wat gebeurt er met elk individueel materiaal als dit in de natuur terecht komt? (conceptfase / prototypefase)

1. Waar moet een bijenhotel aan voldoen om als nesthulp te dienen voor wilde bijen?

Van de solitaire bijen maakt ongeveer 10% (dit zijn ongeveer 35 soorten) gebruik van boorgangen. Door andere vormen van nesthulp ook toe te passen kunnen al snel 70 bijensoorten geholpen worden. Er zijn een aantal belangrijke voorwaarden voor de nesten van bijen:

- Het nest wordt een flink deel van de dag door de zon beschenen
- Er is een groot aanbod aan bestaande gangen (in hout, stengels of steen) en mogelijkheden om gangen zelf uit te knagen (vermolmd hout en stengels met merg)
- Er zijn hellingen van leem of zand voor soorten die hun nest in de grond aanleggen
- Er is vochtige klei of leem in de buurt aanwezig voor het afdichten van de nestgangen
- Er zijn voldoende drachtplanten beschikbaar met bloeiperiodes van april t/m september

Er hoeft niet aan alle voorwaarden te worden voldaan om bijen aan te trekken, maar met meer variatie in nesthulp en omgevingsfactoren worden meer soorten bijen geholpen (Breugel, 2017).

Nestgangen

Nestgangen zijn simpelweg holle buisjes van diverse diameters. De diameters kunnen uiteenlopen van 1,5mm tot 12mm, maar de gangen van 2,5mm tot 8mm worden het meest gebruikt. De nestgangen moet aan de achterkant gesloten zijn. Gangen die aan twee kanten open zijn, worden niet gebruikt. Over het algemeen kunnen in diepere gangen meer broedcellen worden aangemaakt. De diepte van een gang moet minimaal 2cm zijn bij een diameter van 1,5mm en 6cm bij een diameter van 8mm. Gangen dieper dan 20cm hebben geen nut omdat bijen dan niet helemaal achteraan beginnen met de eerste broedcel (Breugel, 2017).

Materialen

Nestgangen in bijenhotels kunnen gemaakt worden met verschillende materialen. De materialen die hieronder besproken worden zijn allemaal gebruikt door bijen om hun nest in te bouwen.

Hout

Houten nestblokken worden veel gebruikt voor het bieden van nesthulp. Hierbij is het belangrijk dat de nestgangen zo glad mogelijk geboord zijn. Rafelige randen en splinters kunnen de vleugels van bijen beschadigen. Vaak zullen gerafelde en gespleten boorgangen niet bewoond worden. Het is daarom aan te raden om nestgangen dwars op de nerf te boren en gebruik te maken van hard hout (Breugel, 2017).

Bamboe

Bamboe bevat vaak los mergweefsel wat door sommige bijensoorten wordt gebruikt als nestmateriaal. De knopen in het bamboe vormen zelf een natuurlijke afdichting van de nestgang. Als er stukken bamboe worden gebruikt zonder knoop aan het uiteinde, moet de nestgang worden afgesloten met een stukje kurk of klei (Breugel, 2017).

Riet

Rieten daken worden vaak door solitaire bijen gebruikt om nesten in te maken. Het riet moet goed gesneden worden zodat het niet splijt en de toegangen open zijn. Een bundel riet kan erg aantrekkelijk zijn voor vogels omdat zij deze makkelijk open kunnen pikken. Er dient daarom rekening te worden gehouden met fixatie en bereikbaarheid van de rietstengels (Breugel, 2017).

Karton

Er worden regelmatig kartonnen buisjes gebruikt voor het aanbieden van nesthulp. Ook deze worden soms door vogels uit het hotel getrokken, maar vaak kunnen de vogels de inhoud niet aan. Het is hierom nog belangrijker dat deze buisjes niet gestolen kunnen worden door vogels (Breugel, 2017).

Polycarbonaat

Er zijn regelmatig nesten aangetroffen in polycarbonaat kanaalplaten. Voornamelijk soorten die goed kunnen improviseren zullen van dit soort gelegenheden gebruik maken. Het maakt dan niet uit of de gangen rond of vierkant zijn. Vooral de rosse metselbij kan hier goed mee overweg (Breugel, 2017).

Slakkenhuisjes

Er zijn drie Nederlandse bijensoorten die uitsluitend gebruik maken van lege slakkenhuisjes om hun nest in te bouwen (EIS Kenniscentrum Insecten, 2019). De soorten die hier gebruik van maken zijn sterk gebonden aan kalkrijke gebieden (Breugel, 2017).

Steen

Er worden in de praktijk regelmatig boorgangen gemaakt in steen als nesthulp. Er zijn enkele bijensoorten die gangen uitknagen in mergel of zandsteen, maar van nature zijn die mogelijkheden in Nederland beperkt. Als er acute woningnood ontstaat zullen veel bijensoorten deze nestgangen alsnog gebruiken, maar geven daar niet de voorkeur aan (Breugel, 2017).

Doorzichtige nestbuisjes

Voor educatieve doeleinden wordt soms gebruik gemaakt van doorzichtige nestgangen welke bekeken kunnen worden van buitenaf zonder het nest te verstoren. Deze buisjes zijn vaak gemaakt van glas of kunststof en zijn lang niet altijd succesvol als nesthulp. Naar alle waarschijnlijkheid komt dit door de slechte vochthuishouding in dit soort buisjes. Hierdoor krijgen schimmels en ziekten meer kans om te overleven en het nest te laten mislukken. De praktijk eert ook dat vroege bijen (tot eind mei) betere nestresultaten boeken dan late bijen (vanaf eind mei). Dit zal te maken hebben met de warmte i.c.m. de slechte vochthuishouding (Breugel, 2017).

Eisen

1. Het bijenhotel heeft nestgangen met verschillende diameters van 2,5mm tot 8mm
2. De nestgangen zijn aan de achterzijde gesloten
3. Nestgangen hebben geen scherpe randen en/of rafels en vertonen geen spleten
4. Een nestgang met een diameter van 2,5mm heeft een minimale diepte van 4cm
5. Een nestgang met een diameter van 8mm heeft een minimale diepte van 6cm
6. De nestgangen zijn niet langer dan 20cm
7. Nestgangen zijn gefixeerd om te voorkomen dat deze uit het bijenhotel kunnen vallen
8. Nestgangen zijn onbereikbaar voor Nederlandse vogelsoorten
9. Het bijenhotel heeft duidelijke instructies voor de plaatsing daarvan rekening houdend met de voorwaarden die bijen stellen aan hun nestlocatie
10. Het bijenhotel wordt geleverd met een mix aan zaden voor drachtplanten
11. De ingangen van de nestgangen worden beschermd tegen harde wind om te voorkomen dat het in de nestgangen gaat tochten
12. De ingangen van de nestgangen worden beschermd tegen inregenen

Wensen

1. Het bijenhotel heeft nestgangen met verschillende diameters van 1,5mm tot 12mm waarvan de meeste gaten 2,5mm tot 8mm in doorsnee zijn
2. Alle nestgangen groter dan 5mm zijn dieper dan 10cm
3. Alle nestgangen kleiner dan 5mm zijn dieper dan 5cm
4. Voor het bijenhotel worden verschillende materialen gebruikt om een grotere variëteit aan bijensoorten te helpen
5. Bij gebruik van kunststof nestgangen wordt een systeem toegepast om de vochthuishouding te verbeteren

2. Is ge-3D-print PHBV geschikt voor bijen om hun nesten in te maken?

Bij de antwoorden van analysevraag 1 zijn de materialen polycarbonaat en glas in ieder geval besproken. In de praktijk blijkt dat bijen hun nesten wel maken in gangen van deze materialen, maar dat een nest minder succesvol is. Dit gebeurt zeker bij bijen die later dan eind mei nesten maken. Dit heeft hoogstwaarschijnlijk te maken met een slechte vochtregulatie i.c.m. hoge temperaturen. Hierdoor kan het nest makkelijker verstoord worden door schimmels of bacteriën.

PHBV is een ander materiaal dan glas, maar zal voor een nest hoogstwaarschijnlijk dezelfde eigenschappen bieden als andere polymeren zoals polycarbonaat en plexiglas. Er worden op de markt allerlei nestgangen aangeboden van deze transparante materialen om nesthulp te bouwen. De voornaamste reden dat deze buizen worden gebruikt is om het gedrag van de bijen te observeren. Door deze buizen kan men bekijken hoe de bijen hun nesten opbouwen en voor hun nakomelingen zorgen. Deze manier van het bieden van nesthulp is dus voornamelijk voor het bestuderen van de bijen en niet voor het verbeteren van de bijenpopulatie.

Ge-3d-printe nestgangen

Verder is de vraag of ge-3D-printe nestgangen ook gebruikt zullen worden door bijen. De wanden van ge-3D-print materiaal zijn niet altijd glad en vormen daardoor mogelijk een belemmering voor de bijen. Om dit te testen zijn twee bijenhotels gemaakt met een aantal ge-3D-printe nestgangen. De nestgangen zijn gemaakt van PLA omdat het niet mogelijk was deze te printen van PHBV. De bijenhotels bevatten naast ge-3D-print PLA ook hout, merghoudend bamboe en riet. Het doel van de test is om te zien of bijen ook nestelen in de ge-3D-printe nestgangen. Dit wordt getest door het aantal nesten te tellen per materiaalsoort.



Figuur 20 - Een van de bijenhotels gericht op het zuiden

Een van de bijenhotels (te zien in Figuur 20) is geplaatst in de tuin van de auteur. Er zijn drachtplanten in de buurt aanwezig en meerdere bijensoorten gezien. Op de dag van het plaatsen zijn de gehoornde metselbij en de rosse metselbij in de tuin gezien. Dit zijn beide soorten die gebruik maken van dit soort nesthulp. Er was inmiddels ook veel andere activiteit van honingbijen en meerdere soorten hommels.

Het andere bijenhotel is geplaatst in een nabijgelegen park. Ook daar is veel activiteit van bijen en hommels gezien.



Figuur 21 - Bovenaan zijn meerdere nestgangen te zien van wit ge-3D-print PLA. Verder is er gebruik gemaakt van hout, bamboe en riet.

In Figuur 2 is de variëteit aan materialen en diameters goed te zien. Bij dat bijenhôtel is gebruik gemaakt van wit PLA. Het andere bijenhôtel heeft nestgangen van zwart PLA. Gezien bijen van warmte houden zou de kleur van het materiaal verschil kunnen maken. Een donker materiaal warmt sneller op in de zon dan een licht materiaal.

Uitvoer van de test

Minimaal een keer per week worden de bijenhôtels bezocht en de nesten geteld. Hierbij wordt ook geturfd of het nest in het hout, het riet, de bamboe of het PLA zit. Verder wordt de weerssituatie en activiteit van bijen- en hommelse soorten op dat tijdstip omschreven.

Conclusie

PHBV lijkt net als andere polymeren ongeschikt als nestmateriaal vanwege de slechte vochthuishouding. Als een oplossing bedacht wordt om de vochthuishouding te reguleren zijn er geen bezwaren om PHBV als nestmateriaal te gebruiken. Of ge-3D-printe nestgangen ook door bijen bewoond worden, zal verder worden onderzocht met de twee bijenhôtels die als test geplaatst zijn.

Eisen

13. Bij een volledig kunststof bijenhôtel worden papieren inserts mee geleverd.
14. Bij een volledig kunststof bijenhôtel worden instructies mee geleverd voor onderhoud van het hotel waarbij het welzijn van de bijen prioriteit krijgt.

Wensen

6. Het bijenhôtel is volledig ge-3D-print.

3. Wat zijn concurrerende bijenhôtels die in Nederland te koop zijn?

In Nederland zijn bijenhôtels steeds meer in opkomst. Deze worden door veel mensen zelf gemaakt en geplaatst. De mensen die hier de tijd in steken kunnen goede nesthulpen maken voor de bijensoorten in Nederland. Er worden tegenwoordig ook veel kant-en-klare bijenhôtels aangeboden in webshops en tuincentra. Deze bijenhôtels zijn verkrijgbaar in allerlei vormen en maten waarbij dit vaak gecombineerd wordt met een 'insectenhotel'. Een groot deel van deze bijenhôtels zijn van slechte kwaliteit.

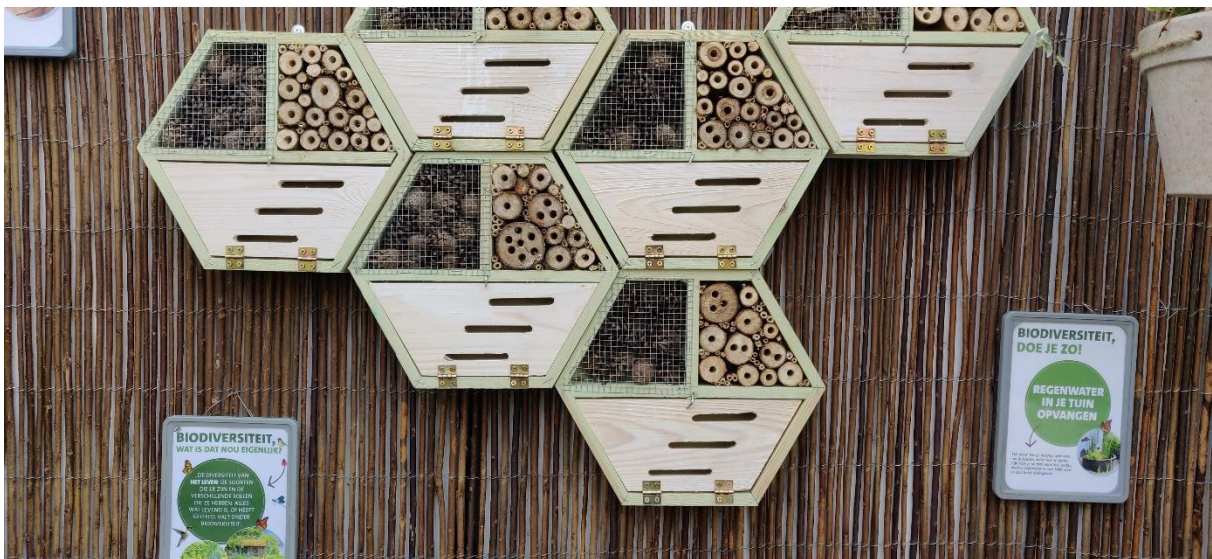
De bijenhôtels van slechte kwaliteit kunnen er leuk uitzien in de tuin, maar trekken in de praktijk nauwelijks bijen aan. Veel van deze hotels hebben nestgangen met een verkeerde diameter, nestgangen die aan beide kanten open zijn, nestgangen die niet in een blok hout maar in een plankje gemaakt zijn of er worden dennenappels, houtblokjes en spleetkastjes aangeboden waar bijen geen gebruik van maken. Vaak wordt dit verkocht als een insectenhotel, maar die extra materialen zonder nestgangen worden ook daar andere insecten bijna niet gebruikt (EIS Kenniscentrum Insecten, 2018).

Intratuin Halsteren

Bij de Intratuin in halsteren zijn drie modellen bijenhôtels aangetroffen te zien in Figuur 22 en Figuur 23.



Figuur 22 - Twee verschillende insectenhôtels met dennenappels, spleetkastje, houtkrullen en houtblokken met rafelige nestgangen



Figuur 23 - Een insectenhotel met dennenappels, spleetkastje en rafelige nestgangen in hout en riet

Alle bijenhôtels die zijn aangetroffen bij de Intratuin Halsteren, zijn nutteloos. Er werd nesthulp geboden in de vorm van spleetkastjes, dennenappels en houtkrullen. Deze invulling van een bijenhôtel wordt hooguit door enkele spinnen gebruikt. Het hout en riet was erg ruw en bevatte veel splinters en onregelmatigheden in en aan de rand van de nestgangen.

De bouwkwaliteit van de aangeboden insectenhôtels was matig. Er is slechte kwaliteit geïmpregneerd hout gebruikt, de kastjes zijn niet netjes geassembleerd en de scharnieren bewogen nauwelijks. Alle drie de modellen werden aangeboden tegen een prijs van €19,99.

Overige winkels

Er zijn in Nederland veel meer winkels die bijenhôtels aanbieden. Hierbij kan gedacht worden aan de Boerenbond, GroenRijk of de Action. Deze winkels zullen meestal ook insectenhôtels aanbieden van slechte kwaliteit. Het doel van deze hôtels is meer om de tuin te versieren dan de bij daadwerkelijk te helpen. Bij deze verkooppunten zijn bijenhôtels gevonden variërend van €4,95 t/m €39,99. Hierbij zijn de duurdere modellen vaak 50cm bij 40cm en 18cm diep. Ook bij de dure modellen is sprake van slechte kwaliteit nestgangen en onzinnige materialen zoals houtkrullen, mos en dennenappels.

Bijenhôtelkopen.nl

Een verkooppunt van kwalitatief goede bijenhôtels is de webshop van bijenhôtelkopen.nl. Deze bijenhôtels zijn goedgekeurd door Nederland Zoemt, een project van LandschappenNL, Naturalis Biodiversity Centre, IVN natuureducatie en Natuur & Milieu. Door dit keurmerk kunnen consumenten ook zien dat de bijenhôtels die hier verkocht worden van goede kwaliteit zijn.

Maat	Naam	Formaat (cm)	Vulling	Prijs
1.	BeeLittle	28 × 28 × 15,5	Hout en bamboe	€29,65
2.	BeeHappy	43 × 43 × 15,5	Hout en bamboe	€59,00
3.	Andrena	70 × 70 × ?	Dennenappels, hout en bamboe (hangend model)	€299,-
4.	Nomada	70 × 70 × ?	Dennenappels, hout en bamboe (staand model, met twee robuuste palen van Douglas hout)	€349
5.	Melitta	190 × 250 × 125	Bamboe en verschillende soorten hout	€1895,- excl. BTW en plaatsing
6.	Melitta met groen dak	190 × 250 × 125	Bamboe en verschillende soorten hout Met begroeiing op het dak	€1995,- excl. BTW en plaatsing
7.	Eucera	260 × 250 × 125	Bamboe en verschillende soorten hout	€2980,- excl. BTW en plaatsing

Bijenhôtelkopen.nl richt zich met model 1 en 2 op de consument die een bijenhôtel in zijn tuin wil hangen. Daarnaast worden ze ook geadverteerd als mogelijk relatiegeschenk voor bedrijven. Model 3 en 4 richt zich op consumenten met meer bestedingsruimte die zelf geen tijd hebben om een hôtel te bouwen of op bedrijven om te plaatsen in de bedrijfstuin.

Modellen 5 t/m 7 zijn echt gericht op grote projecten met wilde bijen. Deze hôtels bieden zoveel plaats dat deze eigenlijk alleen geschikt zijn voor grote tuinen, stukken natuurgebied of biodiverse landbouw waar veel drachtplanten aanwezig zijn.

Natuurmonumenten

Een andere verkoper van kwalitatief goede bijenhôtels is Natuurmonumenten. Er wordt niet geadverteerd dat deze hotels zijn goedgekeurd door Nederland Zoemt. Verder richt Natuurmonumenten zich op kleinere en betaalbaardere bijenhôtels voor consumenten. Er wordt minder gericht op bedrijven.

Maat	Naam	Formaat (cm)	Vulling	Prijs
1.	Pinta	20 × 17 × 11	Bamboe	€7,95 €7,15 voor leden
2.	Santiago	19 × 12,5 × 10	Bamboe	€7,95 €7,15 voor leden
3.	Sun	16 × 16 × 8	Hout en bamboe	€15,45 €13,90 voor leden
4.	Suvan	25 × 25 × 8	Hout en bamboe	€23,95 €21,50 voor leden
5.	Sol	28 × 25,7 × 11	Hout en bamboe	€29,95 €26,95 voor leden
6.	Suraj	33,6 × 33,6 × 8	Bamboe en verschillende soorten hout	€41,95 €37,50 voor leden
7.	Soleil	37,5 × 39,5 × 11	Bamboe en verschillende soorten hout	€69,95 €62,95 voor leden

Kostprijs en verkoopprijs

Om echt op consumenten te richten is het van belang om onder €69,95 te blijven om te concurreren met bestaande hotels. Echter is dit al wel een hotel van groot formaat. De meeste 3D-printers hebben een printbed van 200 × 200 × 200 mm (inhoud van 8 liter). Dit formaat komt erg overeen met het model Sol (nr. 5) van natuurmonumenten. Deze heeft een inhoud van 7,9 liter en een prijs van €29,95.

Het bijenhôtel dat ontworpen wordt zal extra waarde krijgen omdat het ge-3D-print is van een biobased en biodegradeerbaar materiaal. Daarnaast is het doel om een unieke vormgeving mee te geven die laat zien wat er mogelijk is met 3D-printen van PHBV. De inhoud van het bijenhôtel zal maximaal 8 liter zijn, maar mag wat meer kosten door de toegevoegde waarde. Daarom wordt gericht op een verkoopprijs tussen €30,- en €40,-.

Voor de berekening van de verkoopprijs wordt uitgegaan van:

$$\text{verkoopprijs} = \text{kostprijs} * \text{winstmarge} * \text{BTW}$$

Voor de winstmarge wordt uitgegaan van 200%.

$$\text{kostprijs}_{\text{hoog}} = \text{verkoopprijs}_{\text{hoog}} \div \text{winstmarge} \div \text{BTW} = 40,00 \div 1,21 \div 3,00 \approx \text{€}11,02$$

$$\text{kostprijs}_{\text{laag}} = \text{verkoopprijs}_{\text{laag}} \div \text{winstmarge} \div \text{BTW} = 30,00 \div 1,21 \div 3,00 \approx \text{€}8,26$$

Als absolute ondergrens wordt uitgegaan van een verkoopprijs van €19,95. Bij een lagere verkoopprijs zou het bijenhôtel in een laag marktsegment geplaatst worden. Hierdoor komt het product, het materiaal en de productie als goedkoop over.

$$\text{kostprijs}_{\text{onder}} = \text{verkoopprijs}_{\text{onder}} \div \text{winstmarge} \div \text{BTW} = 19,95 \div 1,21 \div 3,00 \approx \text{€}5,50$$

Conclusie

Degelijke bijenhôtels worden alleen door specifieke verkopers verkocht. De meeste modellen die in gangbare winkels te vinden zijn, zijn slecht afgewerkt waardoor dit geen geschikte broedplaats is voor wilde bijen. Van twee goede verkopers is het aanbod bekeken. Hierbij valt direct op dat er een flink gat zit tussen de bijenhôtels voor consumenten en de grote, dure hotels voor bedrijven.

Om op consumenten te richten zullen bijenhôtels gemaakt worden die niet groter zijn dan 20cm bij 20cm bij 20cm. Een dergelijk ge-3D-print bijenhôtel zal €30,- tot €40,- moeten kosten. Dit komt neer op een kostprijs tussen de €8,26 en €11,02. De kostprijs mag niet minder zijn dan €5,50. Omdat het gaat om een

showcaseproduct en er geen plannen zijn het bijenhotel te vermarkten worden de kostprijzen als wens gehanteerd i.p.v. eis.

Eisen

15. Het bijenhotel heeft een maximaal formaat van 200×200×200mm
16. De inhoud van het bijenhotel is maximaal 8 liter

Wensen

7. Het bijenhotel heeft nestgangen langer dan 15cm
8. De verkoopprijs is minimaal €19,95
9. De verkoopprijs van het bijenhotel is maximaal €40,-
10. De kostprijs van het bijenhotel is maximaal €11,-

4. Welke instellingen beïnvloeden de printkwaliteit van zuiver PHBV?

Er is vanuit colorFabb een rol filament geleverd van PHBV gemaakt van het granulaat ENMAT Y1000P. Hiermee zijn een aantal testprints gedaan om te zien hoe het materiaal reageert en welke instellingen veel invloed hebben op de kwaliteit van de print. Om de prints met elkaar te vergelijken is telkens een 3D Benchy geprint.

Eerste tests (Zortrax M200)

De eerste tests zijn uitgevoerd op een Zortrax M200. De 3D modellen zijn geslicet met Z-Suite slicer software. Bij de eerste tests is voornamelijk gespeeld met de extrusie temperatuur. Hierbij viel al snel op dat dit materiaal zich anders gedraagt dan PLA of ABS. Het valt op dat PHBV op hoge temperaturen erg viscoos is en lang kneedbaar blijft terwijl het afkoelt. Hierdoor krimpt het materiaal langzaam en geleidelijk en duurt het vrij lang voor het materiaal stopt met krimpen. Door dit effect komt bij alle tests de eerste laag los van het bouw platform op het moment dat de printer bezig is met een vijfde, zesde of zevende laag aan te leggen.

Uiteindelijk kon een print op een hoge temperatuur volledig af geprint worden. In tegenstelling tot alle voorgaande prints, bleef de eerste laag liggen. Een van de grote verschillen is dat de raft is geprint op 50% van de normale snelheid. Hierdoor lijkt een deel van de krimp opgevangen te worden. Door de hoge temperatuur en het ontbreken van koeling is het model flink ingezakt en is de printkwaliteit erg slecht.



Figuur 24 - Een 3D Benchy geprint van ABS (links), de eerste (midden) en de tweede (rechts) afgeprinte benchy van PHBV

Printkwaliteit verbeteren (Zortrax M200)

Om de printkwaliteit te verbeteren is de extrusie temperatuur verlaagd en is er gespeeld met koeling tijdens het printen. Dit resulteerde in modellen met een betere detaillering en minder engelenhaar in de open delen. Echter bij een extrusietemperatuur lager dan 190 °C kan het materiaal niet geprint worden op normale snelheid.

Een aantal factoren zijn belangrijk gebleken:

- Het model moet goed gekoeld worden, maar te snel afkoelen kan de raft los laten komen. De beste resultaten zijn behaald met de ventilator op auto voor een profiel van PLA
- Een extrusie temperatuur van 190 °C geeft de beste resultaten qua detaillering, maar heeft meer kans op warpen dan bij temperaturen boven de 200 °C
- Er is overextrusie nodig om te voorkomen dat lagen gaan splitten. Een overextrusie van 8% geeft goede resultaten, maar veroorzaakt soms wat engelenhaar.
- Een verwarmd bed van ongeveer 70 °C lijkt het iets beter te doen dan een koel bed, maar het verschil is minimaal
- Het is (nog) niet gelukt om een model zonder raft te printen

- De raft hecht zich alleen goed genoeg aan een geperforeerde plaat. Er is ook geprobeerd op schilderstape en kapton tape te printen. Dit werkte niet.
- Het toevoegen van haarlak op de geperforeerde plaat lijkt averechts te werken.
- De raft moet zo langzaam mogelijk geprint worden. Dit zorgt voor goede vloeïng en geeft het materiaal de kans om te krimpen voor er een nieuwe laag gelegd wordt



Figuur 25 - Drie relatief goede benchy's allemaal geprint op 190°C

De Benchy's in Figuur 4 zijn allemaal geprint op 190 °C met een raft die op 50% van de snelheid gelegd wordt. De meest linker Benchy is geprint met een bed temperatuur van 70 °C met 8% overextrusie, de Benchy in het midden zonder verwarmd bed maar met 8% overextrusie en de Benchy aan de rechterkant is geprint zonder verwarmd bed en met 0% overextrusie. Die laatste vertoont op sommige plekken layer splitting. Dit is op de foto niet zichtbaar.

Tweede serie tests (MakerBot Replicator)

Voor een tweede reeks tests met 3D-printen van PHBV is een andere printer gebruikt. Dit keer is er een MakerBot Replicator gebruikt in plaats van een Zortrax M200. Als slicer is de MakerBot Desktop gebruikt. Het eerste wat hierbij direct veel anders is, is de bouwplaat. Deze is gemaakt van een plexiglas plaat die is opgeschuurd met korrel 150. Bij de eerste test bleef de raft al goed liggen op de plaat zonder om te buigen of los te pellen. Het is nog wel van belang dat de raft langzaam geprint wordt (extrusie snelheid: 7-15 mm/s) en zo snel mogelijk afkoelt.

Tussen de 3D-printers en slicer software zijn niet direct grote verschillen te merken hoewel de MakerBot meer kan spelen met printsnelheden. Het duurde op de Zortrax vaak ongeveer anderhalf uur om een Benchy te printen terwijl de MakerBot een relatief goede Benchy binnen een uur kan printen. Er is wel duidelijk kwaliteitsverschil te zien tussen een snelle en langzame print met dezelfde printer.

Met de MakerBot zijn ook meer mogelijkheden voor andere bouwplatforms. Hierbij is ook getest met een kunststof vel met ruw oppervlak van het merk Dremel en FlashForge. Het is onduidelijk van welk materiaal deze zijn gemaakt, maar het lijkt iets anders te zijn dan de veelgebruikte PEI vellen.

Conclusie

PHBV laat zich lastig 3D-printen door de krimp die de eerste laag van het bouwplatform af pelt. Om PHBV te kunnen printen is het dus belangrijk dat de adhesie tussen het bouwplatform en de eerste laag goed is. De beste adhesie werd bereikt door gebruik te maken van ruwe kunststof vellen (BuildTak) van Dremel die je op het bouwoppervlak pakt. Een plexiglas plaat die is geschuurd met korrel 150 werkte als tweede beste bouwoppervlak. Glas, schilderstape, kapton tape, ABS slurry en haarlak werken slecht als bouwoppervlak. Een geperforeerde plaat geeft wisselende resultaten.

De extrusie temperatuur van de nozzle moet tussen 185°C en 205°C liggen. Dit is voornamelijk afhankelijk van de extrusiesnelheid en kan ook per printer variëren. Er is geen verschil in kwaliteit te zien bij verschillende printbed temperaturen. Het is wel opgevallen dat snelle koeling van het model belangrijk is. Daarom kan beter een koud printbed gebruikt worden.

PHBV laat zich beter printen op lage snelheden. Een goede 3D Benchy met PHBV duurt al snel 1 uur en 20 minuten. Met andere materialen duurt het ongeveer een uur om een Benchy te printen.

Eisen

20. Het ontwerp kan niet gerealiseerd worden d.m.v. spuitgieten, rotatiegieten, vacuümvormen of extruderen
21. Delen in het ontwerp die met een overhang van meer dan 45° geprint worden, zijn niet zichtbaar als het bijenhotel op locatie hangt bij normaal gebruik.

5. Wat zijn de voornaamste problemen die optreden bij het 3D-printen van PHBV?

5. Het losraken van de raft, brim of eerste laag van de het bouwplatform door de krimp die het materiaal krom trekt. Hierdoor ontstaat een afpelbelasting op de hechting tussen de eerste laag en het platform.
6. Het splijten van lagen in het model. Dit wordt veroorzaakt door de grote krimp van het materiaal en kan worden opgevangen door te zorgen voor goede vloeiing en een beetje overextrusie.
7. Het trekken van draden bij het terugtrekken van de printkop. Dit lijkt te worden veroorzaakt door de stroperigheid van het materiaal bij afkoelen.
8. Matige detaillering van het model in vergelijking tot bijvoorbeeld PLA. Dit lijkt te worden veroorzaakt door de stroperigheid waardoor makkelijk draden worden getrokken.

6. Welke natuurvezels zijn geschikt om vezelversterkt PHBV te maken voor 3D-printen?

Tabel 20

Een overzicht van vezels en hun eigenschappen

		E-glas	Katoen	Vlas	Jute	Sisal	Kenaf	Ramie	Hennep	Kokosnoot	Bamboe
											
Chemical composition	α-Cellulose	-	90-95	70-80	57-60	67-78	53-57	65-75	55-67	32-43	55
	Hemicellulose	-	-	12-15	14-17	10-14	14	14-16	16-18	-	20
	Lignine	-	3	2,5-5	10-13	8-11	12	0,8-1,5	6-10	40-45	25
	Pectine	-	1-1,5	1-5,7	1-1,2	10	0,7	4-5	3,8-6,8	-	0,4
	Was	-	0,3-1,5	1,2-1,8	0,3-0,6	2	0,3	0,5-1	1-1,2	-	-
	Extractieresidu	-	1-1,5	4-6	1,2-2,8	-	0,8	4-8	10-13	-	-
	As	-	-	1,5	-	1	4-7	-	2,6	-	1,2
Fysisch	Microvezel/spoed hoek (°)	-	20-30	6-10	7-9	18-22	9-15	6-10	6-10	30-49	2-10
	Diameter (mm)	-	0,02	0,012-0,027	0,02	-	0,018-0,024	-	0,025-0,050	-	-
	Lengte (mm)	-	10-60	5-60	1,5-5	-	2,6-4	20-250	5-55	-	-
	Vochtherwinning (%)	-	8-25	7	12	11	-	12-17	8	10	13
	Dichtheid (g/cm³)	2,60	1,51	1,4	1,3	1,33	1,5	1,5	1,48	1,25	1,4
Mechanisch	Treksterkte (MPa)	2000	400	800-1500	350-600	600-700	350-600	500	550-900	220	450-800
	Elasticiteitsmodulus (GPa)	76	12	60-80	40	38	40	44	70	6	18,5-30
	Specific modulus (GPa cm³/g)	29	8	13-22	27	29	27	29	47	5	13-22
	Rek bij breuk (%)	2,6	3-10	1,2-1,6	2,5-3,5	2-3	2,5-3,5	2	1,6	15-25	1,3

Het doel van toevoegen van natuurvezels aan PHBV

Het voornaamste doel van het toevoegen van vezels aan PHBV is het verbeteren van de kwaliteit van 3D-prints gemaakt met PHBV. Hierbij is het voornamelijk van belang dat de krimp verminderd wordt. Verder valt te verwachten dat de stijfheid van het materiaal toeneemt, de rek bij breuk kleiner wordt en dat de treksterkte gelijk blijft of enigszins afneemt.

Het verhogen van de treksterkte van het materiaal is niet het doel van het toevoegen van natuurvezels. Er valt ook niet te verwachten dat het materiaal sterker wordt omdat er gebruik wordt gemaakt van hele korte vezels. De treksterkte van het materiaal zal dus voornamelijk afhankelijk zijn van de treksterkte van puur PHBV en van de hechting van de vezels aan het PHBV.

Selectiecriteria van de natuurvezel

Om voornamelijk de krimp te verminderen zijn een aantal eigenschappen van de vezels i.c.m. PHBV belangrijk:

1. De vezel heeft een diameter van ten hoogste 0,025mm
De diameter van de vezel is hiermee dun genoeg voor een nozzle van 0,4mm
2. De vezel heeft een lengte van ten hoogste 0,100mm
De lengte van de vezel is hiermee kort genoeg om verstrengeling en uiteindelijk verstopping in de nozzle te voorkomen.
3. De vezel is ten minste net zo sterk als zuiver PHBV (>39 MPa)
Een zwakkere vezel zou resulteren in een composiet met een lagere treksterkte dan puur PHBV.
4. De vezel herwint zo min mogelijk vocht
Hiermee wordt voorkomen dat het mengen van de vezel met PHBV een lastig proces is. Daarnaast blijft het filament dan langer bruikbaar zonder eerst te moeten drogen.
5. De vezel is compatible met PHBV
Een vezel die goed hecht aan het polymeer waar het mee gemengd wordt, resulteert in een sterk composiet. Als de vezel en polymeer niet compatibel zijn, kunnen additieven gebruikt worden om de hechting te verbeteren.

Selectie van de natuurvezel

In Tabel 20 is een overzicht te zien van 10 natuurvezels met bijbehorende chemische samenstelling en de eigenschappen van de vezel. Uit dit overzicht zijn vier vezels gekozen met de laagste vochtherwinning en de kleinste vezeldiameter. Die vier vezel zijn met de selectiecriteria te zien in Tabel 21.

Tabel 21

Selectie van geschikte vezels; de elasticiteitsmodulus wordt ook weergegeven

	Katoen	Vlas	Hennep	Kokosnoot
Diameter (mm)	0,02	0,012-0,027	0,025-0,050	0,012-0,025
Lengte (mm)	10-60	5-60	5-55	-
Vochtherwinning (%)	8-25	7	8	10
Dichtheid (g/cm³)	1,51	1,4	1,48	1,25
Treksterkte (MPa)	400	800-1500	550-900	220
Elasticiteitsmodulus (GPa)	12	60-80	70	6

Van de vier geselecteerde vezels is vlas het sterkste en bevat ook het minste vocht.

Een van de opvallende eigenschappen die ver uiteenloopt is de elasticiteitsmodulus. Deze valt niet onder de selectiecriteria, maar verschilt per vezel erg sterk. De verwachting is dat de vezel het beter blijft zitten als de elasticiteitsmodulus van de vezel gelijkwaardig is aan die van het polymeer. Anders trekt de vezel zich los van het polymeer omdat die zich verschillend elastisch vervormen.

Als de elasticiteitsmodulus van de vezel zo dicht mogelijk bij die van het PHBV moet liggen, zou kokosnootvezel de beste keuze zijn. Een lage elasticiteitsmodulus zal waarschijnlijk wel zorgen voor een minder stijf materiaal dan met een vezel met een hoge elasticiteitsmodulus.

Conclusie

Voor het maken van de testbatches vezelversterkt PHBV zal in ieder geval vlas gebruikt worden. De vlasvezels zullen wel vermaalt moeten worden tot de vezels kleiner zijn dan 0,100 mm. Voor deze vezel is gekozen vanwege de kleine diameter, de lage vochtherwinning en de hoge sterkte en stijfheid.

Als de tijd en middelen het toelaten wordt er ook een batch gemaakt van vezelversterkt PHBV met kokosvezels. Dit kan een interessant composiet zijn om te vergelijken met het vlasvezel composiet. Het grote verschil tussen de twee vezels is de elasticiteitsmodulus. Kokosvezel is hierdoor veel rekbaarder dan vlasvezel en komt qua modulus dichterbij PHBV.

7. Welke additieven zijn geschikt voor het optimaliseren van de printbaarheid en/of de mechanische eigenschappen van vezelversterkt PHBV voor 3D-printen?

Voor het mengen van kunststoffen zijn vele additieven beschikbaar om de eigenschappen van het materiaal aan te passen. Dit wordt veel gebruikt om de materialen betere eigenschappen mee te geven die aansluiten bij de toepassing, voor betere verwerking van het materiaal en om de prijs te verlagen. In deze additieven wordt onderscheid gemaakt uit verschillende groepen (British Plastics Federation, 2019).

Anti namaak

Er zijn additieven die licht op bepaalde manieren kan reflecteren. Dit wordt gebruikt door producenten en merkeigenaren om echte producten te onderscheiden.

Antimicrobieel

Additieven die verslechtering van het materiaal voorkomen door micro-organismen te weren.

Antioxidanten

Additieven die voorkomen dat het materiaal reageert met zuurstof en daardoor verslechterd.

Biodegradeerbare weekmakers

Biodegradeerbare weekmakers worden gebruikt om plastics zachter en minder stijf te maken. Dit kan ook worden gebruikt om de degradeerbaarheid van het product te verbeteren.

Blaasmiddelen

Additieven die gasvorming veroorzaken om zo geschuimde materialen te maken.

Brandvertragende middelen

Additieven die worden gebruikt om de ontvlambaarheid en vuurverspreiding van een materiaal te verminderen.

Geurmiddelen

Additieven die een bepaalde geur aan het materiaal kunnen meegeven.

Impact modificatie

Additieven die de weerstand tegen impact kunnen verbeteren.

Interne smeermiddelen

Additieven die worden gebruikt om het materiaal te smeren en de MFI te verbeteren voor een betere verwerkbaarheid van het materiaal.

Lichtstabilisatoren

Additieven die het materiaal beter bestand maken tegen de degradatie onder invloed van UV-licht.

Pigmenten

Additieven die het materiaal kleur geven.

Vulmiddelen

Additieven die worden gebruikt om compounds te ‘vullen’ waardoor het volume wordt vergroot en de kosten worden verlaagd. Deze additieven hebben vaak ook invloed op de mechanische eigenschappen van het materiaal en worden voornamelijk gebruikt om een materiaal sterker, stijver of harder te maken.

Warmte stabilisatoren

Warmtestabilisatoren worden gebruikt om een polymeer beter bestand te maken tegen hitte. Hierdoor zal een polymeer minder snel ontleden of degraderen bij hoge temperaturen.

Versterking

Additieven om de treksterkte, buigsterkte en stijfheid te verhogen. Vaak gebaseerd op vezels.

Gebruik van vulmiddelen in PHBV

Voor dit project zijn vele van deze additieven (nog) niet interessant. Een groot deel van deze additieven zijn ontwikkeld om een kunststof te beschermen tegen degradatie onder invloed van zuurstof, licht en bacteriën. Bij PHBV is de biologische afbreekbaarheid juist een positieve eigenschap.

Er wordt in ieder geval gebruik gemaakt van versterking d.m.v. natuurvezels. Daarnaast kan er nog een vulmiddel gebruikt worden om de mechanische eigenschappen van het materiaal te beïnvloeden. Het vulmiddel kan mogelijk ook gebruikt worden om van het relatief dure PHBV een goedkoper mengsel te maken.

In een later stadium kan ook gekeken worden naar pigmenten om het materiaal te kleuren.

Vulmiddelen

Een interessante groep vulmiddelen is de groep mineralen. Deze groep vulmiddelen wordt veel gebruikt om de mechanische eigenschappen van polymeren te verbeteren. Veelgebruikte mineralen zijn calciumcarbonaat, talk, silica, wollastoniet, klei, calciumsulfaatvezels (ook bekend als Franklin-vezel), mica, glasparels en aluminiumoxide trihydraat (Mraz, 2015).

Calciumcarbonaat

Calciumcarbonaat is een van de meest gebruikte vulmiddelen voor polymeren. Het toevoegen van Calciumcarbonaat maakt extruderen eenvoudiger en verlaagt de kosten. Het verbetert de hittebestendigheid, stijfheid en hardheid van het materiaal. Daarnaast wordt het ook gebruikt als hulp voor het kleuren van polymeren en het toevoegen van glans (SpecialChem, 2019).

Talk

Talk is ook een veelgebruikt vulmiddel voor polymeren. Het toevoegen van talk wordt vaak gedaan om een materiaal stijver te maken, de kosten te verlagen en de weerstand tegen hitte, kruip, chemicaliën en impact te verbeteren. Het wordt ook vaak gebruikt om de hittegeleiding van een polymeer te verbeteren waardoor cyclustijden bij spuitgieten verkort kunnen worden (HQC Inc., 2019).

Mica

Mica is een mineraal dat soms aan polymeren wordt toegevoegd. Over het algemeen zijn composieten gevuld met mica niet goedkoper dan het onge vulde polymeer en wordt dus niet gezien als kostenbesparend. Het kan de stijfheid en hittebestendigheid verbeteren. Daarnaast is mica erg sterk in het verminderen van krimp en het verlagen van de thermische uitzettingscoëfficiënt (Pritchard, 1998).

Bovenstaande mineralen zijn interessant voor dit project om het materiaal sterker te maken, beter tegen hitte bestand te maken en sneller af te laten koelen en bovenal om de krimp te verminderen. Met name om de krimp te verminderen zijn deze materialen interessant. Bij Nylon 6/6 kan door het toevoegen van mineralen de krimp verminderd worden in een range van 30% met calciumcarbonaat tot 85% met mica (Mraz, 2015).

BIJLAGE K. PAKKET VAN EISEN EN WENSEN

Pakket van Eisen				
nr.	Eis	Kwadrant:		Bron:
1	Het bijenhotel heeft nestgangen met verschillende diameters van 2,5mm tot 8mm	Techniek	Werking	Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
2	De nestgangen zijn aan de achterzijde gesloten			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
3	Nestgangen hebben geen scherpe randen en/of rafels en vertonen geen spleten			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
4	Een nestgang met een diameter van 2,5mm heeft een minimale diepte van 4cm			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
5	Een nestgang met een diameter van 8mm heeft een minimale diepte van 6cm			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
6	De nestgangen zijn niet langer dan 20cm			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
7	De ingangen van de nestgangen worden beschermd tegen harde wind om te voorkomen dat het in de nestgangen gaat tochten			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
8	De ingangen van de nestgangen worden beschermd tegen inregenen			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
9	Het product heeft (voorlopig nog) geen keurmerk voor biodegradeerbaarheid of home composteerbaarheid		Betrouwbaarheid	Eigen eis in samenspraak met
10	De inhoud van het bijenhotel is maximaal 8 liter		Constructie	Minimalisatie materiaalgebruik
11	Het product heeft een technische levensduur van ten minste twee jaar bij normaal gebruik			Technische levensduur
12	Het bijenhotel heeft een maximaal formaat van 200mm x 200mm x 200mm		Productie	Analysevraag 3
13	Het product kan niet gerealiseerd worden door andere productiemethodes dan 3D-printen			Maakbaarheid in serie
14	Het product is gemaakt van vezelversterkt PHBV			Eis vanuit het lectoraat
15	Aan de vormtaal is visueel waarneembaar dat het product is ge-3D-print			Eis vanuit het lectoraat
16	Het is visueel waarneembaar dat er (natuur)vezels en/of andere additieven zijn gebruikt in het materiaal. <i>Voor diameter en diepte nestgang - zie eisen hoofd- en deelfuncties</i>			Eis vanuit het lectoraat
17	Het bijenhotel heeft duidelijke instructies voor de plaatsing daarvan rekening houdend met de voorwaarden die bijen stellen aan hun nestlocatie		Gebruik	Antropometrische ergonomie
18	Nestgangen zijn gefixeerd om te voorkomen dat deze uit het bijenhotel vallen			Informationele ergonomie
19	Nestgangen zijn onbereikbaar voor nederlandse vogelsoorten			Veiligheid
20	Bij gebruik van kunststof nestgangen wordt een systeem toegepast om de vochthuishouding te reguleren		Ethiek	Bestaansrecht
21	De producthandleiding maakt melding over allergiën voor bijensteken en dat deze bijna altijd door honingbijen worden veroorzaakt			Sociaal verantwoord
22	Voor de winning van grondstoffen die worden gebruikt in het bijenhotel, wordt geen gebruik gemaakt van kinderarbeid			Persoonlijke eis in het kader van MVO
23	Het product concurreert met bijenhôtels voor consumenten van bijenhotelkopen.nl en natuurmonumenten		Positie	Extern krachtenveld
24	Het product is voor een groot deel gemaakt uit ge-3D-printe biobased en biodegradeerbare materialen			Onderscheidend vermogen
25	Het bijenhotel wordt geleverd met een mix aan zaden voor drachtplanten		Distributie	Verpakking
26	Het 'unboxen' van het product is interactief en leerzaam op het gebied van solitaire bijen			Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
27	Bij een volledig kunststof bijenhotel worden papieren inserts mee geleverd			Analysevraag 1
				Analysevraag 2

28	Het product heeft geen extra toegevoegde energie bij normaal gebruik		Energie-verbruik	Gebruik	Eigen eis
29	De materialen die gebruikt worden zijn onschadelijk voor de omgeving als het achterblijft in de natuur		Directe risico's	Toxiciteit materialen	Analysevraag 7
30	Bij een volledig kunststof bijenhotel worden instructies meegeleverd voor onderhoud van het hotel waarbij het welzijn van de bijen prioriteit krijgt		Levens-cyclus	Verlengbare levensduur	Analysevraag 2

Pakket van Wensen				Kwadrant:	Bron:
nr.	Wens				
1	Het bijenhotel heeft nestgangen met verschillende diameters van 1,5mm tot 12mm waarvan de meeste gaten 2,5mm tot 8mm in doorsnee zijn	Techniek	Werking	Hoofd functie	Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
2	Alle nestgangen groter dan 5mm zijn dieper dan 10cm			Deelfuncties	Analysevraag 1
3	Alle nestgangen kleiner dan 5mm zijn dieper dan 5cm				Analysevraag 1
4	Het bijenhotel heeft nestgangen langer dan 15cm		Productie	Maakbaarheid in serie	Analysevraag 1
5	Het bijenhotel kan volledig worden geprint				Analysevraag 3
6	Het product heeft geen verdere assemblage nodig			Assemblage	Eigen wens
7	Het product wordt als bouw pakket geleverd				Eigen wens
8	Voor het bijenhotel worden verschillende materialen gebruikt om een grotere variëteit aan bijensoorten te helpen			Materiaal keuze	Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
9	Er zijn nestgangen aanwezig in hout				Analysevraag 1
10	Er zijn nestgangen aanwezig in bamboe				Analysevraag 1
11	Er zijn nestgangen aanwezig in riet				Analysevraag 1
12	Het product is beschikbaar in verschillende kleurvarianten	Mens	Vormgeving	Kleur gebruik	Analysevraag 3
13	Aan de vormtaal is visueel waarneembaar dat het product een hulpmiddel is voor bijen		Gebruik	Informatie ergonomie	Analysevraag 3
14	De instructies voor het plaatsen worden ondersteund met pictogrammen op het product				Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
15	Bij gebruik van kunststof nestgangen wordt een systeem toegepast om de vocht huishouding te reguleren	Markt	Prijs	Bestaansrecht	Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
16	De verkoopprijs is minimaal €19,95				Analysevraag 3
17	De verkoopprijs is maximaal €40,-				Analysevraag 3
18	De kostprijs is maximaal €11,-		Positie	Extern krachtenveld	Analysevraag 3
19	Het product concurreert met bijenhôtels voor consumenten van bijenhotelkopen.nl en natuurmonumenten				Analysevraag 3
20	Het bijenhotel kan met onderhoud en/of nieuwe inrichting weer één of twee jaar mee	Milieu	Levens-cyclus	Verlengbare levensduur	Analysevraag 1 (Breugel, 2017)
21	Het bijenhotel kan na twee jaar gebruikt worden als iets anders			Nieuwe Functie	Analysevraag 3

BIJLAGE L. VOLLEDIGE KEUZEMATRIX

De volledige keuzematrix waarin ook punten zijn toegekend aan de wensen waarin de integrale ideeën zich niet van elkaar onderscheiden.

Nr.	Wens	Idee 1	Idee 2	Idee 3	Idee 4
1	Het bijenhotel heeft nestgangen met verschillende diameters van 1,5mm tot 12mm waarvan de meeste gaten 2,5mm tot 8mm in doorsnee zijn	8	8	8	8
2	Alle nestgangen groter dan 5mm zijn dieper dan 10cm	5	5	8	5
3	Alle nestgangen kleiner dan 5mm zijn dieper dan 5cm	10	10	10	10
4	Het bijenhotel heeft nestgangen langer dan 15cm	1	1	5	1
5	Het bijenhotel kan volledig worden geprint	6	1	1	1
6	Het product heeft geen verdere assemblage nodig	8	8	2	2
7	Het product wordt als bouw pakket geleverd	2	10	2	6
8	Voor het bijenhotel worden verschillende materialen gebruikt om een grotere variëteit aan bijensoorten te helpen	2	8	10	10
9	Er zijn nestgangen aanwezig in hout	10	10	10	10
10	Er zijn nestgangen aanwezig in bamboe	10	10	10	10
11	Er zijn nestgangen aanwezig in riet	1	1	10	1
12	Het product is beschikbaar in verschillende kleurvarianten	1	1	1	1
13	Aan de vormtaal is visueel waarneembaar dat het product een hulpmiddel is voor bijen	10	2	6	10
14	De instructies voor het plaatsen worden ondersteund met pictogrammen op het product	6	6	6	6
15	Bij gebruik van kunststof nestgangen wordt een systeem toegepast om de vocht huishouding te reguleren	0	0	0	0
16	De verkoopprijs is minimaal €19,95	0	0	0	0
17	De verkoopprijs is maximaal €40,-	0	0	0	0
18	De kostprijs is maximaal €11,-	0	0	0	0
19	Het product concurreert met bijenhotels voor consumenten van bijenhotelkopen.nl en natuurmonumenten	8	10	8	10
20	Het bijenhotel kan met onderhoud en/of nieuwe inrichting weer één of twee jaar mee	6	10	2	10
21	Het bijenhotel kan na twee jaar gebruikt worden als iets anders	6	6	6	6
N/A	Score voor vormgeving in overleg met Susanne Koppejan	6	8	4	10
Totaal		106	115	109	117

BIJLAGE M. GEDETAILLEERDE PRINTINSTELLINGEN VOOR PRODUCTIE

Om het ontwerp in serie te produceren is er een FDM 3D-printer nodig met een bouwvolume van 200x200x200 mm. Verder moet de 3D-printer beschikken over een goede ventilator die het product afkoelt tijdens het printen. Bij voorkeur heeft de printer een open behuizing om het koelen te bevorderen. Het is niet nodig om een verwarmd bed op de printer aanwezig te hebben.

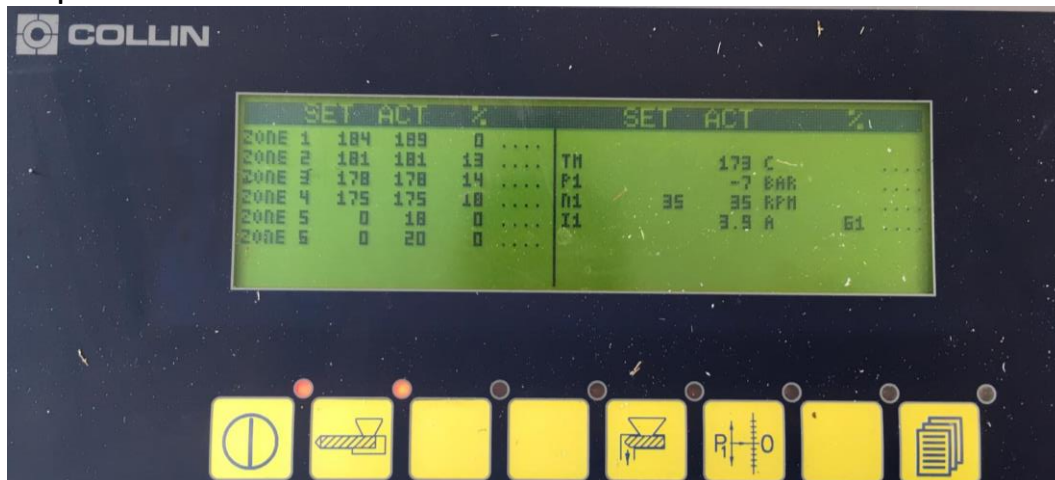
Het bouwoppervlak kan plexiglas zijn opgeruwd met korrel 150. Bij voorkeur wordt een bouwoppervlak gebruikt van BuildTak. Hiermee wordt de beste hechting bereikt.

De print kan het best met een raft geprint worden. De beste resultaten worden bereikt met een raft die langzaam geprint wordt, goed gekoeld is en een grote ruimte heeft tussen de lijnen van de eerste laag.

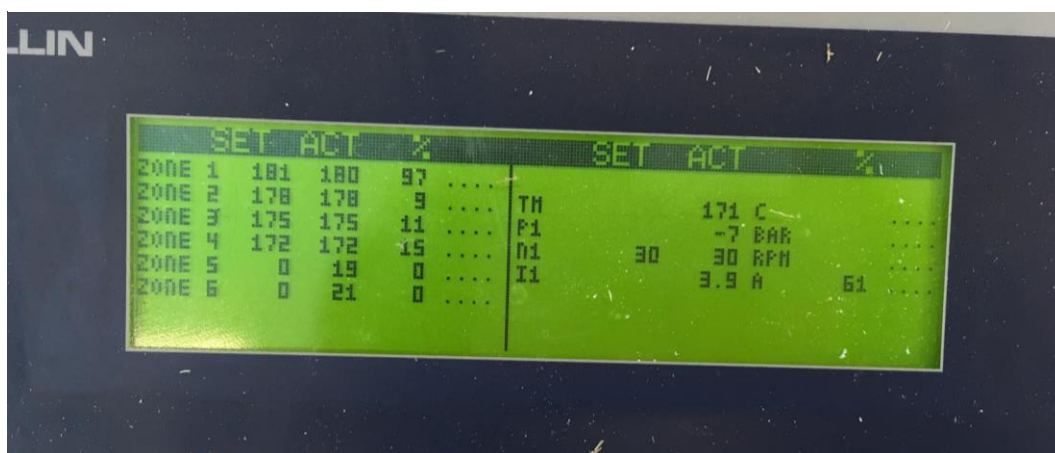
Extrusietemperatuur	195°C
Bed temperatuur	25°C
Infill density	30%
Aantal wanden	3
Extrusiesnelheid raft	10mm/s
Extrusiesnelheid eerste laag	15mm/s
Extrusiesnelheid	40mm/s
Extrusiesnelheid infill	50mm/s

BIJLAGE N. INSTELLINGEN VAN TEMPERATUURZONES VAN DE COMPOUNDEER- EN EXTRUDEERMACHINES

Compounderen

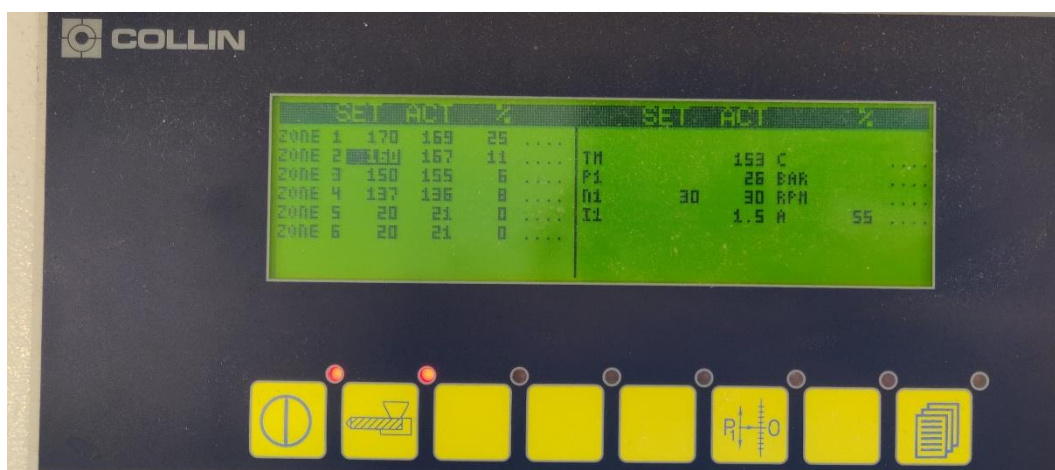


Figuur 26 - Instellingen eerste batch componderen van zuiver PHBV



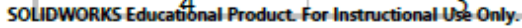
Figuur 27 - Instellingen bij componderen van drie blends PHBV met mica (10%, 20% en 30%).

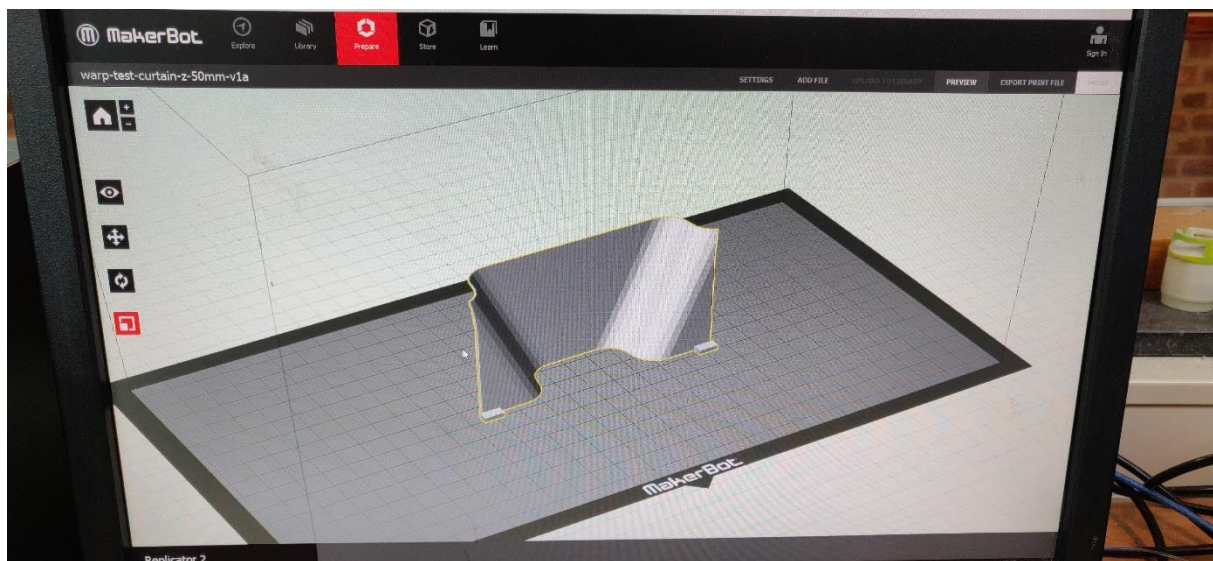
Extruderen



Figuur 28 - Instellingen bij het extruderen van zuiver PHBV en drie blends PHBV/mica (10%, 20% en 30%)

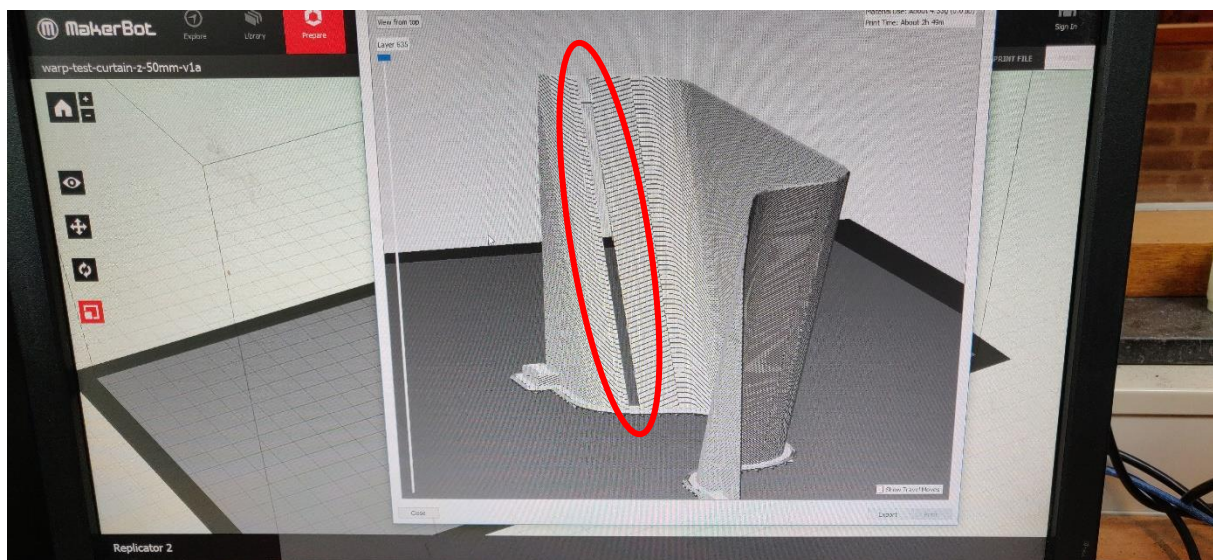
BIJLAGE O. MAATTEKENING TREKSTAAF





Figuur 29 - Het 3D-model van de warp-gordijn

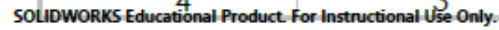
In Figuur 29 is het 3D-model te zien in de slicer software Makerbot Desktop. Het 3D-model is correct en compleet.



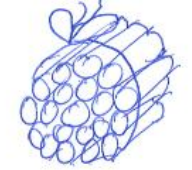
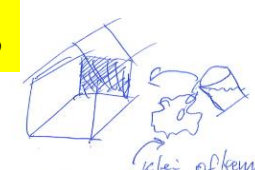
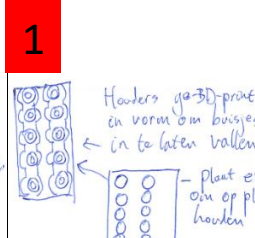
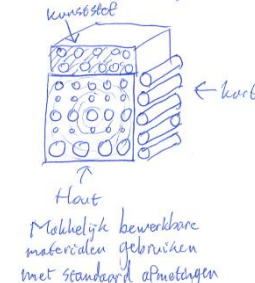
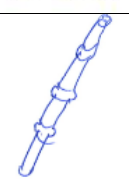
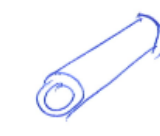
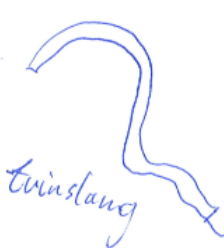
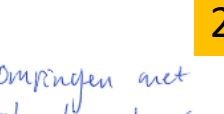
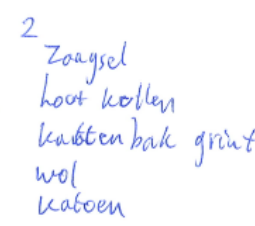
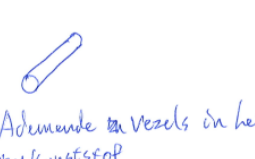
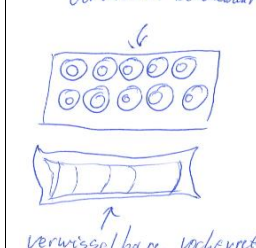
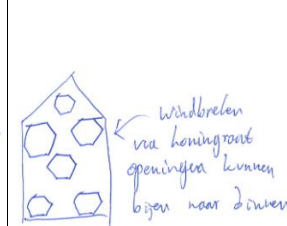
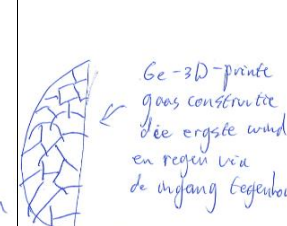
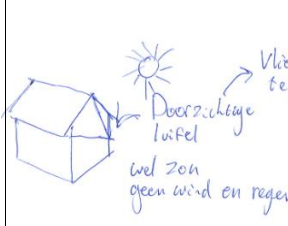
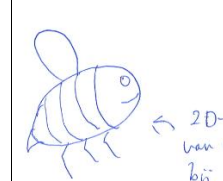
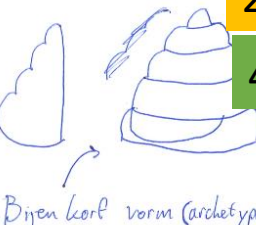
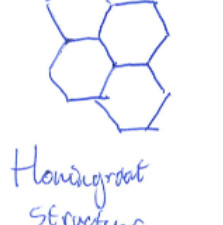
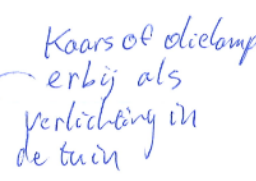
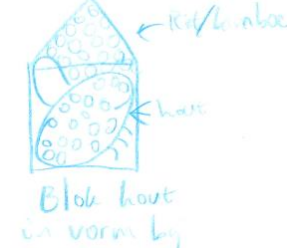
Figuur 30 - Het 3D-model van de warp-gordijn na het slicen. Het ontbrekende deel van het model is rood omcirkelt.

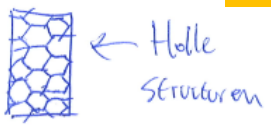
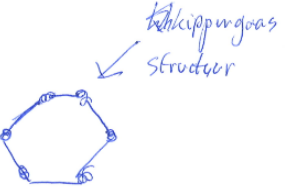
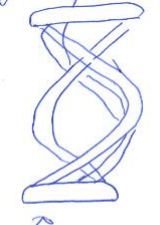
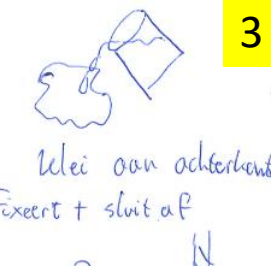
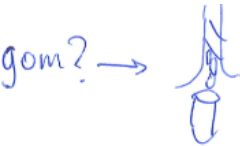
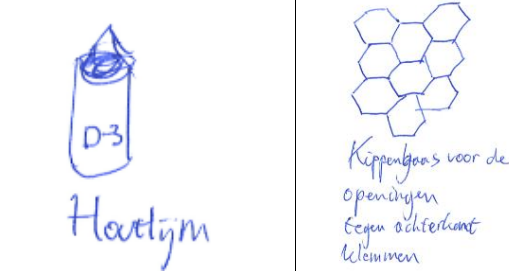
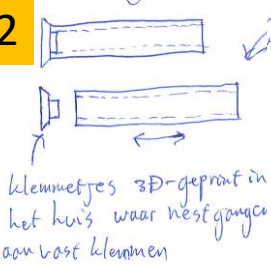
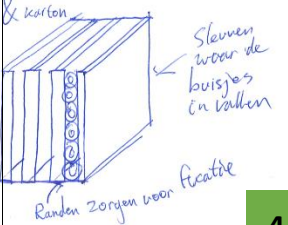
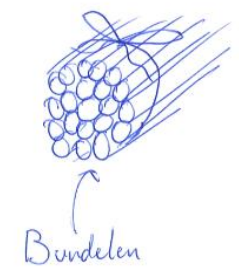
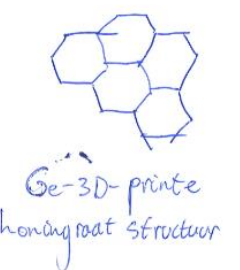
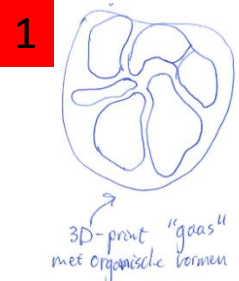
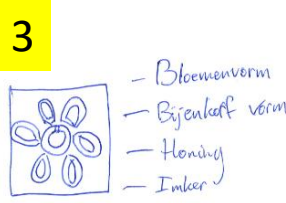
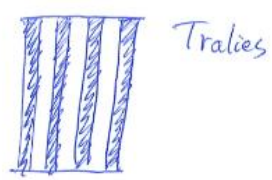
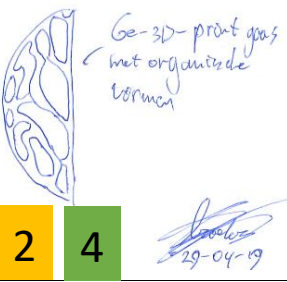
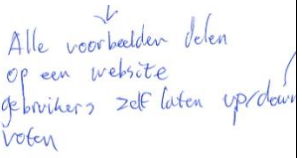
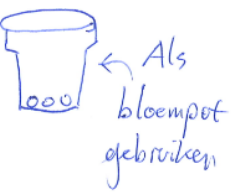
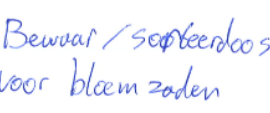
In Figuur 30 is het 3D-model te zien na het slicen. In een deel van het model ontbreekt een stuk over de hele hoogte van het model. Het ontbrekende stuk is rood omcirkelt. Dit probleem deed zich niet alleen voor in Makerbot Desktop, maar ook in Z-Suite en Simplify3D.

BIJLAGE Q. MAATTEKENING TRAPEZIUMVORMIG PROFIEL



BIJLAGE R. MORFOLOGISCHE KAART

1. Hoe kan je verschillende nestmaterialen gebruiken met eenvoudige assemblage?	 DIY de gebruiker zelf laten assembleren	 De nestbuizen bundelen	 3 De behuizing vullen met klei → daar de buisjes in steken	 1 Houters ga 3D-print in vorm van buisjes in te laten vallen - plaat ervoor om op plek te houden	 4 Gleuven waar de nestbuisjes in vallen	 kunststof karton Hout Mogelijk bewerkbare materialen gebruiken met standaard afmetingen	 2 op een dopje plaatsen Achterkant <u>Bamboe</u> ruimen op juiste maat?	 Los erin leggen afschermen aan de voorkant
2. Welke nestmaterialen kunnen gebruikt worden?	 Hout Het liefst harde houtsoorten	 1 2 3 4 Bamboe met en zonder knoest	 1 3 Riet	 3 Fluisehuid	 1 2 4 Kartonnen buisjes	 slakkenhuizen	 2 kunststof buisjes	 twinslang
3. Hoe kan je de vochthuishouding reguleren in kunststof nestbuisjes?	 2 kleine sleuven of gaatjes in de buis	 2 Omringen met absorberend materiaal	 2 Zaagsel hout kollen kubttenbak grint wol katoen	 Ademende vezels in het kunststof	 papieren inserts of ander materiaal dat ademt	 aan de achterkant ventilatiekanalen aanbrengen	 achterkant bereikbaar verwisselbare vechter	NVT 1 3 4
4. Hoe kan je het bijenhotel beschermen tegen harde wind en inregenen?	 1 2 3 4 uitsluitende wanden en dak	 1 2 3 4 Schuif dakje voor de ingangen	 wind en regenbreker voor de ingangen enkel via de smalle gleuven bereikbaar	 windbreken via koningroost openingen kunnen bijen naar binnen	 Ge-3D-printe gaas constructie die ergste wind en regen via de ingang tegenhoudt	 Gaasstructuur zoals printed nest	 Doorschijnende luifel wel zon geen wind en regen Vlieg beij	 organische designs zie printnest
5. Hoe kan je het bijenhotel een leuk ontwerp meegeven dat uitstraalt dat het product een hulpmiddel is voor bijen?	 1 2D-aanzicht van een bije bij	 2 4 Bijen korf vorm (archetype)	 2 met honingraat structuur voor ingang door windbreker	 Honingraat structuur	 winnie de poeh? Beer die houdt het	 koninginnen bij	 Bloemen verwerken in het ontwerp	 Met drocht planten Groen dak
	 Huisje met gezellige sfeer	 Kaars of dielamp erbij als verlichting in de tuin	 Risicoblaas Blok hout in vorm bij					

1. Hoe kan je het bijenhotel een ontwerp meegeven waardoor je kan waarnemen dat het product ge-3D-print is?	2  Holle structuren	 Complexe organische vormen	 Kippengas structuur	 spiraalvormen	1 4  Organische openingen Speeltoek van materiaal wit	 Laagjes zichtbaar worden	3  Ornamenten mee geprint	 Onassembledbare assembly
2. Hoe kan je de nestbuisjes fixeren in het bijenhotel?	3  Klei aan achterkant Fixeert + sluit af	 gom? Hartijm	 Kippengas voor de openingen tegen achterkant klemmen	 Kleine stekjes er tussen steken Zet alles vast klemt	 Velcro-kleefband	2  Klemmetjes 3D-geprint in het huis waar nestgangen aan vast klemmen	 Randen zorgen voor fixatie Sleuven waar de buisjes in vallen	4
	 Bundelen	 fixeren met magneten	 Hete lijm					
3. Hoe kan je de nestgangen onbereikbaar maken voor Nederlandse vogelsoorten?	 Afschermen met kippengas	 Ge-3D-printe honingraat structuur	1  3D-print "gas" met organische vormen	 Vogelverschrikker	 mauw kat op het dak	 Nep kat en katten geluiden?	 Roster met vierkante vormen	 Bijen vorm als openingen
	3  Bloemen vorm Bijenkaft vorm Honing Imker	 Tralies	 Kleine bijen als openingen ongeveer 2x2 cm	 Ge-3D-print gas met organische vormen	2 4  Recyden			
4. Hoe kan je het bijenhotel een nieuwe functie geven aan het eind van zijn levensduur?	1 2 3 4  Wedstrijden organiseren Laat de community hun aandeel brengen en beloon ze	 Alle voorbeelden delen op een website gebruikers zelf laten updaten	 Als bloempot gebruiken	 Recyden	 planten voeding aan kunststof toevoegen Kunstmest	 Bewaar / sorteerdooi voor bloem zaden		

