

Hergebruik van thermoplastisch afval in onderdelen van composiet

Circulaire economie



Lectoraat Kunststoftechnologie

research @ University of
Applied Sciences

Windesheim



Colofon

Titel: Hergebruik van thermoplastisch afval in onderdelen van composiet

Publicatienummer: LKT-RE-107450-1901

Datum: Juni 2019

Auteur: Dr.Ir. N.P.Boks

Met medewerking van: Aucke Bergsma, Omrin (Heerenveen)
Dr. Ir. Remco Willemse, Sekisui Alveo (Roermond)
Ir. Ward Steijn, Lantor (Veenendaal)

Betrokken studenten: Bram Snel, Ron Smit, Stijn Otten, Lars Zielhuis, Willize ter Maaten & Kevin Bezuijen hebben de experimenten uitgevoerd op basis waarvan dit document is geschreven.

ISBN

978-90-77901-98-4

Deze publicatie van Windesheim valt onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationale-licentie. Dit betekent dat de kennis uit deze publicatie hergebruikt mag worden als basis voor de ontwikkeling van nieuwe kennis mits de naam van de auteur en/of Windesheim hierbij vermeld wordt.



Inhoudsopgave

1. Inleiding	2
1.1. Afvalstromen kunststof	3
1.2. Andere reststromen kunststof	4
1.3. Toepassingen voor kunststoffen uit reststromen	4
1.4. Doel van deze pilot.....	5
2. PUR-schuim als bindmiddel	6
2.1. Materiaal en Methodes.....	6
2.2. Resultaten.....	8
3. PE-schuim als bindmiddel	11
3.1. Materiaal en Methodes.....	11
3.2. Resultaten.....	12
4. Conclusies.....	15
5. Aanbevelingen.....	16
6. Geraadpleegde bronnen	16

1. Inleiding

Kunststoffen worden veel gebruikt in veel verschillende toepassingen. Dit komt omdat het een heel diverse klasse van materialen is. Er zijn veel verschillende soorten kunststoffen die meestal in drie groepen worden onderverdeeld: thermoplasten, thermoharders en elastomeren/rubbers.

Thermoplasten zijn materialen die bij verhoging van temperatuur weer gesmolten en opnieuw tot producten gevormd kunnen worden. Het gaat om materialen waarbij de polymeerketens onderling niet chemisch met elkaar verbonden zijn. Bij thermoharde kunststoffen zijn de ketens wel chemisch onderling met elkaar verbonden en is vloeien bij hogere temperaturen onmogelijk geworden. De groep elastomeren heeft kenmerken van thermoplasten (mogelijkheid van vloeien en hervormbaarheid bij verwarmen) mits deze (nog) niet gecrosslinked zijn. In geval de crosslinking heeft plaatsgehad lijken deze materialen meer op thermoharde materialen met dat verschil dat de netwerkdichtheid vaak kleiner is.

Kunststoffen zijn over het algemeen niet sterk en stijf genoeg om te gebruiken in situaties waar grote belastingen een rol spelen. Om die reden worden ze vaak versterkt met vezels (bijvoorbeeld glas of carbon) en ontstaan composietmaterialen (de “vezelversterkte kunststoffen”). In veel van deze gevallen wordt een combinatie gezocht van een thermoharde kunststof, additieven en vezels om tot de juiste eigenschappen van een product te komen.

Composietmaterialen kunnen op verschillende wijzen worden opgebouwd. Een bekende variant is die waarbij een weefsel van vezels geïmpregneerd wordt met een kunststof tot een zogenoemde lamel. Vervolgens worden lamellen op de gewenste manier gestapeld tot een laminaat. Een andere variant is die waarbij 2 huiden (bijvoorbeeld twee laminaten) worden gecombineerd met een ander, licht, materiaal (bijvoorbeeld een schuim) tot een sandwichconstructie. Vezelversterkte kunststoffen zijn goed te combineren met een breed scala aan andere materialen om zodoende lichte, maar sterke en stijve constructies te maken.

Om een composietconstructie licht te maken, worden nu vaak schuimen van PU, PET, PS, PVC en fenol toegepast. Ongeschuimd hebben deze materialen een dichtheid van ca. 1 – 1.4 kg/l, maar door gebruik van geschikte blaasmiddelen en goede procescontrole is het mogelijk om schuimen van deze materialen te maken met een verscheidenheid aan dichtheden. Zodoende kunnen composietconstructies gemaakt worden met de gewenste gewichtsspecificaties. In veel gevallen wordt virgin, nog niet eerder gebruikt, materiaal gekozen om op te schuimen tot een geschikt lichtgewicht kernmateriaal. Er zijn echter ook voorbeelden van gerecycled PET dat in schuimvorm wordt ingezet in de composietindustrie [1,2].

In de kunststofverwerkende industrie ontstaan ook reststromen van geschuimd materiaal die mogelijk toepasbaar zijn als kern in composiet. Daarnaast produceren huishoudens ook kunststofafval waar een deel van gerecycled kan worden. Er is echter een deel dat nog niet gerecycled kan worden. Deze fractie, de zogenaamde ‘mix-plastics’ of DKR 350, is opgebouwd uit een dermate grote verscheidenheid aan kunststofsoorten en andere vervuilingen dat hiermee geen op zichzelf staande producten kunnen worden gemaakt. Als gevolg wordt deze reststroom nu vaak verbrand. Echter, de Nederlandse overheid heeft als doel voor 2030 in Nederland alle Energie-AfvalverbrandingsCentrales (EAC's) te ontmantelen. Hierdoor wordt de noodzaak voor het vinden van alternatieven voor verbranden urgenter.

In deze pilot wordt daarom gekeken naar de mogelijkheden om kunststofreststromen toe te passen in schuimkernen voor composietmaterialen.



1.1. Afvalstromen kunststof

Kunststoffen zijn niet meer weg te denken uit de maatschappij van tegenwoordig. Volgens onderzoek van het CPB zal het wereldwijde gebruik per jaar van virgin kunststoffen stijgen van 320 Mton in 2017 naar 1,1 Gton in 2050 [3]. Wanneer gekeken wordt naar de verhouding thermoplast vs. thermoharder, dan valt op dat ca. 80% van de toegepaste kunststoffen in de categorie thermoplast vallen. De meest voorkomende materialen in deze groep zijn PE, PP, PET en PS. Dit zijn typische materialen die veel toegepast worden in verpakkingen (o.a. folies, zakken/tassen, doppen en flessen) of wegwerpservies. Daarnaast is PVC een veelgebruikte thermoplast in o.a. de bouw waarbij gedacht kan worden aan diverse buizen (voor waterafvoer, elektriciteitsbuizen) en dakgoten. Verder worden kunststoffen gebruikt in diverse andere consumentenproducten zoals huishoudelijke apparaten, (tuin)meubilair en speelgoed. Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende sectoren waarin kunststoffen vooral worden toegepast.

* Niet opgegeven

Sector	%
Verpakkingen	40
Bouw en constructie	20
Transport	9
Land- en tuinbouw	3
Elektronische apparaten	*
Overig	*
Totaal	100

Tabel 1 Kunststofgebruik per sector [4].

Uit Tabel 1 is te concluderen dat de meeste kunststoffen gebruikt worden als verpakkingsmateriaal. Ander onderzoek laat zien dat de totale hoeveelheid kunststofverpakkingsmateriaal dat als afval werd aangeboden in 2015 ca. 477 kton bedroeg en naar verwachting blijft groeien. Uiteindelijk komt ca. 42% van deze afvalstroom terecht in de stroom restafval [5].

Om hergebruik van kunststoffen mogelijk te maken, is het nodig om voor gescheiden afvalstromen te zorgen. Een bekend voorbeeld hiervan is PET. Frisdrankflessen worden gescheiden ingezameld via supermarkten, waardoor een reststroom met redelijk constante kwaliteit ontstaat. Het is dan mogelijk om deze materialen voor nieuwe toepassingen te gebruiken.

Een ander voorbeeld van gescheiden afvalstromen is te vinden in gemeenten die stimuleren om inwoners plastic, metaal en drinkkartons (PMD), GFT en papier/karton apart te houden van het restafval. Ondanks alle inspanningen van de afvalverwerkers om een goede nascheiding te realiseren, blijft er bij de afvalverwerkers een reststroom aan kunststofafval over die bekendstaat als een mixstroom DKR-350 [6].

Het aandeel mixstroom in de eerder genoemde afvalstroom wordt geschat 56.5 kton [5] en bestaat uit een mengsel van gebruikt PE, PP, PS en PET met een maximale hoeveelheid van 10 massaprocent aan verontreinigingen (met name papier/karton, metaal, PVC, glas, etc.). De samenstelling van de 4 genoemde kunststoffen kan echter variëren. Niet alleen in percentages, maar ook in grade (kwaliteit) van de gebruikte plastics. Een dergelijk zeer gevarieerde stroom kunststoffen is daarnaast moeilijk te mengen en tot nieuw granulaat te verwerken. Voor deze reststroom mixed plastics is het dus niet makkelijk om een geschikte toepassing te vinden om als grondstof voor te dienen.

1.2. Andere reststromen kunststof

In de vorige sectie is vooral aandacht gegeven aan kunststof afval dat uiteindelijk bij de afvalverwerkers terechtkomt. Er is echter ook nog een reststroom te definiëren die veel minder scherp in beeld te krijgen is. Dit is de materiaalstroom die ontstaat als afval in het proces om van kunststof producten te maken.

Vaak kunnen kunststofverwerkende bedrijven producten die afgekeurd zijn, of restmateriaal uit het productieproces (bijvoorbeeld aanspuittakken bij het spuitgieten) zelf weer vermalen en inzetten in het reguliere productieproces. Op deze manier dragen producenten al goed bij in het recyclen van kunststof.

Het wordt lastiger als een producent halffabricaten van thermoplastische kunststof levert en een andere partij deze halffabricaten verwerkt tot eindproduct. Hierbij kan goed gedefinieerd kunststofafval ontstaan, waar een oplossing voor gezocht moet worden. Een mogelijke oplossing kan zijn om het restmateriaal dat bij de eindproducent ontstaat te vermalen en terug te sturen naar de toeleverancier van het halffabricaat. Op deze manier kan het restmateriaal (net als de eerder genoemde aanspuittakken) theoretisch weer worden ingezet in de productie van de halffabricaten of andere producten.

Dit soort reststromen kunnen, en worden, deels door de producenten al verwerkt in hun producten. Het blijft echter onduidelijk hoe groot de reststroom van niet gebruikte kunststoffen is. Dit soort informatie is niet vrij beschikbaar. Of het hergebruiken van deze stroom economisch rendabel is, moet voor iedere combinatie van afval en potentiële toepassing uitgezocht worden. In de huidige maatschappij, waar duurzaamheid een steeds grotere rol speelt, wordt het voor bedrijven echter steeds interessanter om te onderzoeken of materiaalstromen die nu als afval worden geclassificeerd als grondstof voor andere producten kunnen dienen.

1.3. Toepassingen voor kunststoffen uit reststromen

Het vinden van toepassingen voor reststromen kunststof is een uitdaging. Zoals eerder bleek, bestaat de mixstroom plastics bij afvalverwerkende bedrijven uit verschillende thermoplasten van verschillende kwaliteiten. Daarnaast is deze stroom doorgaans vervuild met o.a. etensresten en ander organisch materiaal, waardoor veel bewerking- en scheidingstappen nodig zijn om de kwaliteit van de stroom kunststof te kunnen garanderen. Vanzelfsprekend kunnen allerlei was- en scheidingstappen uitgevoerd worden, maar daarmee gaan de kosten van het materiaal ook omhoog en dit is vaak onwenselijk.

Een voordeel dat deze stroom echter wel heeft, is dat ze bestaat uit materialen die over het algemeen een relatief lage dichtheid hebben. Dus het zou een mogelijkheid kunnen zijn om toepassingen voor deze afvalstromen te zoeken waarbij een licht gewicht wenselijk is. Eén voorbeeld hiervan zijn de kernmaterialen van constructie delen die uit composiet worden gemaakt. In dit soort materialen worden vezelversterkte kunststofharsen gecombineerd met schuimen om een lichtgewicht constructieonderdeel te maken.

Hierbij ontstaat echter wel het probleem dat de verschillende kunststoffen verschillend smeltgedrag hebben en dat door de verscheidenheid van grades het ook zeer kostbaar wordt om de stroom om te smelten en goed te mengen tot één uniform materiaal dat tot een schuim verwerkt kan worden. Om de



mixstroom te gebruiken zonder extra was-, scheiding- en/of compoundeerstappen te verwerken is het nodig om deze via een ander lichtgewicht materiaal aan elkaar te binden.

Hierbij kan een andere reststroom, die bij de kunststofverwerkende industrie ontstaat, mogelijk uitkomst bieden. Sommige schuimen die gemaakt zijn van thermoplasten en ver gedegradeerde materialen laten zich niet zo makkelijk meer verwerken. Dit komt mede door de mogelijkheid van chemische reacties die er voor zorgen dat het kunststof op moleculair niveau gecrosslinked zijn geraakt. Hierdoor bestaat de kans dat materialen die eerder thermoplastisch gedrag vertoonden, nu minder makkelijk in de smelt te brengen zijn met verwerkingsproblemen tot gevolg. Wanneer tijdens het verwerken het materiaal een niet te groot percentage gels (gecrosslinked materiaal) bevat, is het wellicht mogelijk om met behulp van temperatuur een geschuimd materiaal te laten binden aan thermoplastisch restafval en daarbij een lichtgewicht kernmateriaal te produceren.

1.4. Doel van deze pilot

De hoeveelheid mixed plastics maakt een groot deel uit van de totale hoeveelheid kunststofverpakkingsafval en kent nog geen goede mogelijkheid om hergebruikt te worden. Het is dus interessant om te onderzoeken of voor deze reststroom een toepassing in producten gegeven kan worden in plaats van het te storten of te verbranden.

Het doel van deze pilot is om te onderzoeken of de stroom thermoplastische mixplastics, met een relatief lage dichtheid, uiteindelijk een toepassing kan vinden in de schuimkern van composiet delen. Hoewel de reststroom mixplastics PE en PP bevatten, is de dichtheid nog steeds groter dan de dichtheid van een schuimkern voor een composiet onderdeel. Om de dichtheid te verlagen en de verschillende thermoplasten aan elkaar te binden, is ervoor gekozen om te onderzoeken of schuim hiervoor geschikt is. Het resultaat van deze pilot is een proof of principle van het binden van de reststroom mixplastics in een matrix van schuim. Hiervoor worden twee schuimen onderzocht: een thermoharde PUR schuim en een thermoplastisch schuim dat als afval tijdens de productie is ontstaan.



Figuur 1 Schematische weergave van mixplastics (bonte kleuren) die zijn gebonden via een schuim van PUR (virgin) of PE-restschuim (geel gekleurd).

2. PUR-schuim als bindmiddel

PUR is een veelvuldig toegepast schuim in bijvoorbeeld isolatiemateriaal, matrassen, kussenvullingen etc. Het is het product van de reactie van een polyalcohol en een polyisocyaanaten. Door de verhouding van deze componenten goed te kiezen kan de reactie, en daarmee de porositeit van het schuim, gestuurd worden. Door aan de basiscomponenten een hoeveelheid mixplastics toe te voegen, is het misschien mogelijk een schuim te maken waarin de mixplastics homogeen verdeeld zijn.

2.1. Materiaal en Methodes

De afvalstroom mixplastics is ter beschikking gesteld door afvalverwerker Omrin in Leeuwarden en bestaat voor 86.6% uit PE, PP, PS en PET (Zie Tabel 2; analyses uitgevoerd door Omrin).

Materiaal	Massa%
Gemengde kunststoffen (PE, PP, PS, PET)	86,63
Materialen/steen > 100 g	0,00
Papier en karton	1,32
Metalen < 100 g	0,49
PET-flessen, transparant	4,22
PVC, niet verpakking	0,00
Reststoffen (bijv. glas, samengestelde papier/kartonnen materialen, composteerbaar afval en andere materialen)	6,73

Tabel 2 Samenstelling stroom mixplastics als aangeleverd door Omrin.

De mixplastics zijn eerst aan de lucht gedroogd en bij -20 °C bewaard om bacteriegroei zoveel mogelijk te remmen. Voordat het materiaal in gebruik is, is het verkleind tot bruikbare flakes.

De componenten voor PUR schuim werden geleverd door Wilsor Kunstharsen in Biddinghuizen. PUR schuim werd gemaakt met behulp van een mengsel van isocyanaten (25-50% difenylmethaandiisocyaanaten, 25-50% difenylmethaan-4,4'-diisocyaanaten en 2.5-10% difenylmethaan-2,4'-diisocyaanaten) en een polyol mengsel (met < 10 w% 1-methoxy-2-propanol).

Produceer van de samples werd gedaan door in een LDPE container 20 ml polyol mengsel en een hoeveelheid mixplastics aan elkaar toe te voegen. Vervolgens is hier 20 ml van het isocyaanaten mengsel aan toegevoegd en is het geheel goed gemengd. Na 30 minuten is het ontstane schuim uit de container genomen.

Om de uithardingsreactie te beïnvloeden is aan sommige polyol mengsels 2 ml water toegevoegd en in sommige samples is daarnaast 2ml extra isocyaanatenmengsel gebruikt. De verhoudingen van de componenten is steeds zo gekozen dat de effectieve gewichtsfracties mixplastics in het schuim ca. 0,19; 0,32; 0,37 of 0,42 bedragen.



Een volledig schema van de gebruikte verhoudingen van componenten is weergegeven in Tabel 3.

Mixplastics (g)	Polyol (g)	Isocyaanaat (g)	Water (g)
9,5	20	20	0
19,0	20	20	0
23,8	20	20	0
28,6	20	20	0
10,0	20	20	2
20,0	20	20	2
25,0	20	20	2
30,0	20	20	2
10,5	20	22	2
21,0	20	22	2
26,2	20	22	2
31,6	20	22	2

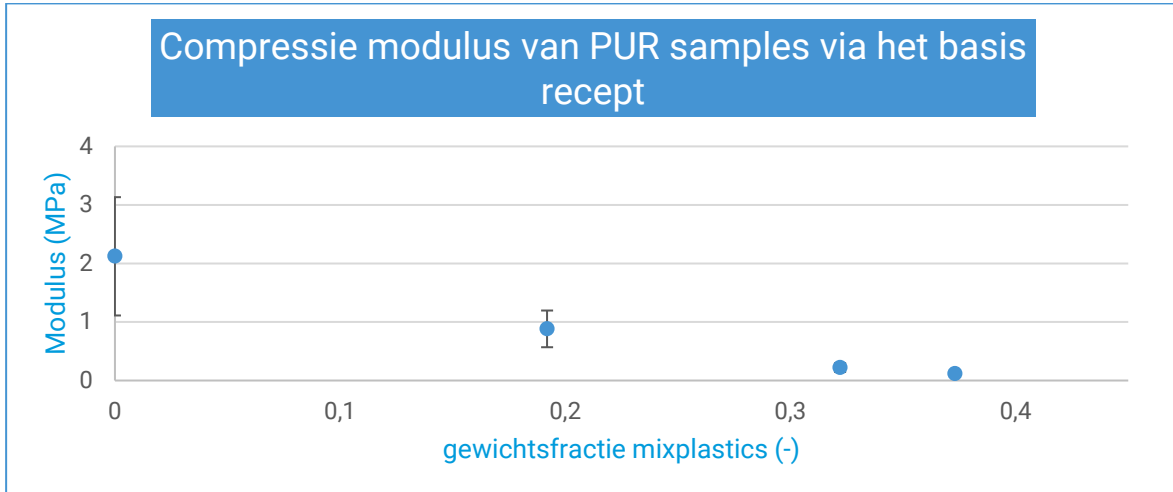
Tabel 3 Samenstelling samples.

De schuimen zijn op druk belast. Hiertoe zijn samples van 30x30x80 mm gemaakt en in een trekbank (Testometric, M500-100CT) met een loadcell van 100 kN geplaatst. Om de belasting van het bekken van de trekbank evenwichtig te verdelen over het sample, is een verdeelplaatje van 2mm dik staal gebruikt. Vervolgens is het monster met een compressiesnelheid van 50 mm·min⁻¹ ingedrukt om de compressiemodulus te bepalen.

De schuimen met mixplastics zijn verder indicatief gekarakteriseerd door middel van een driepunt buigproef. Uit de geproduceerde schuimen zijn proefstukken van 30x30x90 mm gezaagd. Een proefstuk is vervolgens op twee houders gelegd en in het midden handmatig belast met een drukmeter (Chatillon LG-100N). De druk die bij breuk geobserveerd is, is omgerekend tot de kracht bij breuk.

2.2. Resultaten

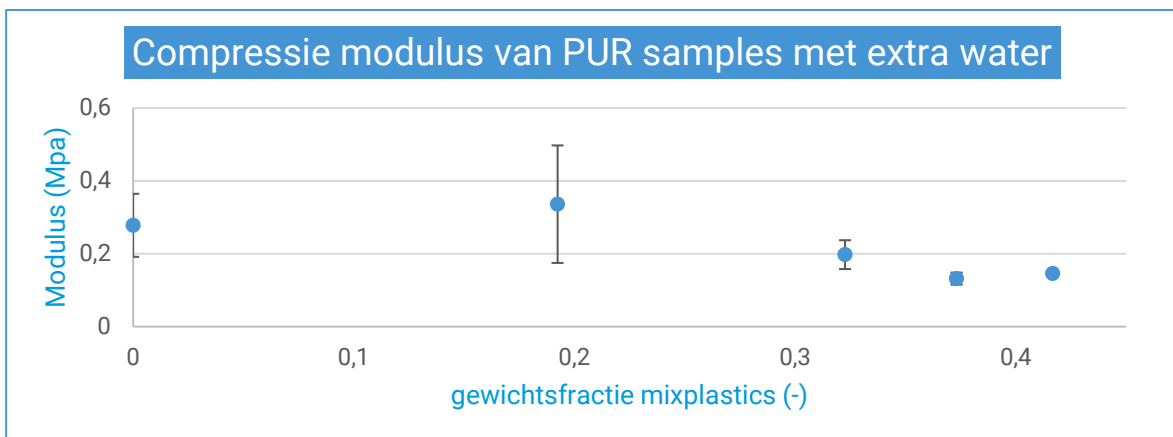
In Figuur 3 is te zien wat de invloed van het aandeel mixplastics is op de compressiemodulus van het PUR schuim als dat gemaakt wordt volgens de basis recept dat door de leverancier is opgegeven (isocyaan:polyol = 10:10).



Figuur 3 Invloed van mixplastics op de compressiemodulus van PUR schuim.

Te zien is in Figuur 3 dat de aanwezigheid van mixplastics er voor zorgt dat de compressiemodulus van het schuim vermindert van ca. 2,1 MPa bij ongevuld PUR tot ca. 0,1 MPa bij PUR met 37% mixplastics. De verklaring voor deze observatie kan gevonden worden in het feit dat de mixplastics als 'losse onderdelen' verspreid zijn over het totaal aan PUR en zodoende het vormen van een PUR-netwerk verhinderen en het geheel slapper maken.

De eigenschappen van het PUR schuim zijn te beïnvloeden door extra water toe te voegen aan het reactiemengsel (zie Figuur 4).

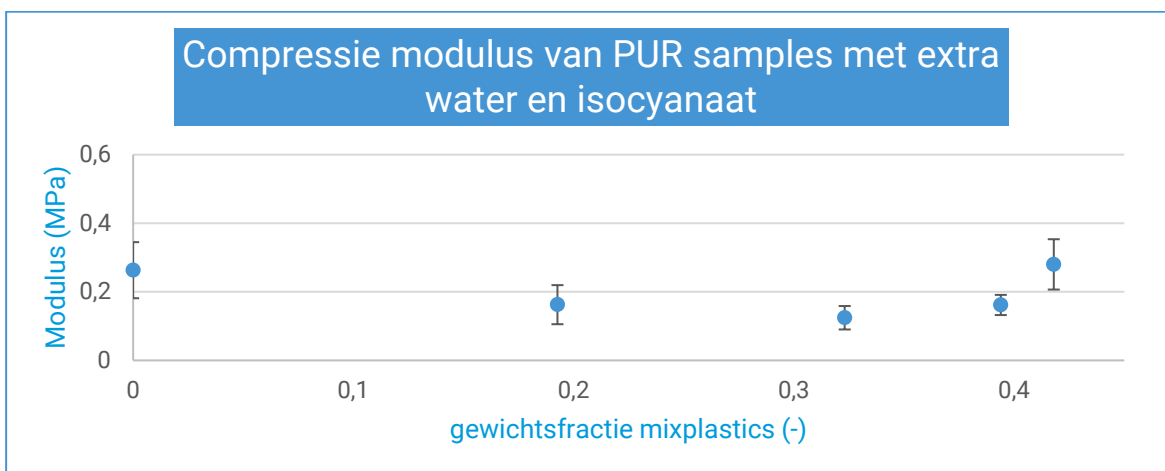


Figuur 4 Invloed van mixplastics op compressiemodulus bij gebruik van water in het basis reactiemengsel.

Wanneer extra water aan de polyol wordt toegevoegd voordat de isocyanaten erbij worden gevoegd, heeft het resulterende PUR schuim een veel lagere compressiemodulus (ca. 2,1 MPa zonder water en ca. 0,3 MPa bij gebruik van water). Dit komt overeen met de eerdere observatie dat schuimen die met extra water worden gemaakt meer uitzetten en een lagere dichtheid hebben. Tijdens de reactie ontstaan meer gassen, waardoor het schuim luchtiger en slapper wordt. Dit resulteert in een lagere

modulus. Wat in Figuur 4 ook te zien is, is dat de invloed van het percentage mixplastics aanwezig is, maar minder groot lijkt te zijn dan zonder gebruik van water. Hoewel het er op lijkt dat de modulus van het schuim eerst groter wordt bij gebruik van 19% mixplastics, moet ook opgemerkt worden dat de spreiding in deze gegevens groot is. De algemene trend lijkt echter te zijn dat de modulus van het schuim daalt van 0,3 MPa zonder gebruik van mixplastics naar een waarde van ca. 0,1 MPa bij een fractie mixplastics van 0,42. Echter, gezien het beperkt aantal samples dat getest, de grote variatie in spreiding en de relatief lage waarde voor de compressiemodulus, is het niet mogelijk om vast stellen dat deze significant beïnvloed wordt door het percentage mixplastics.

Ook is gekeken naar de compressiemodulus van schuimen die gemaakt zijn met extra water én extra isocyaanaat. Deze resultaten staan weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Invloed van mixplastics op compressiemodulus bij gebruik van extra water en extra isocyaanaat in het basis reactiemengsel.

Het valt gelijk op dat de samples die gemaakt zijn met extra isocyaanaat ook allemaal een lage compressiemodulus hebben, vergeleken met de schuimen die volgens het basis recept zijn verkregen. Dit kan komen doordat de samples met extra isocyaanaat ook extra water bevatten. In Tabel 4 zijn de compressiemoduli weergegeven van de samples zonder mixplastics.

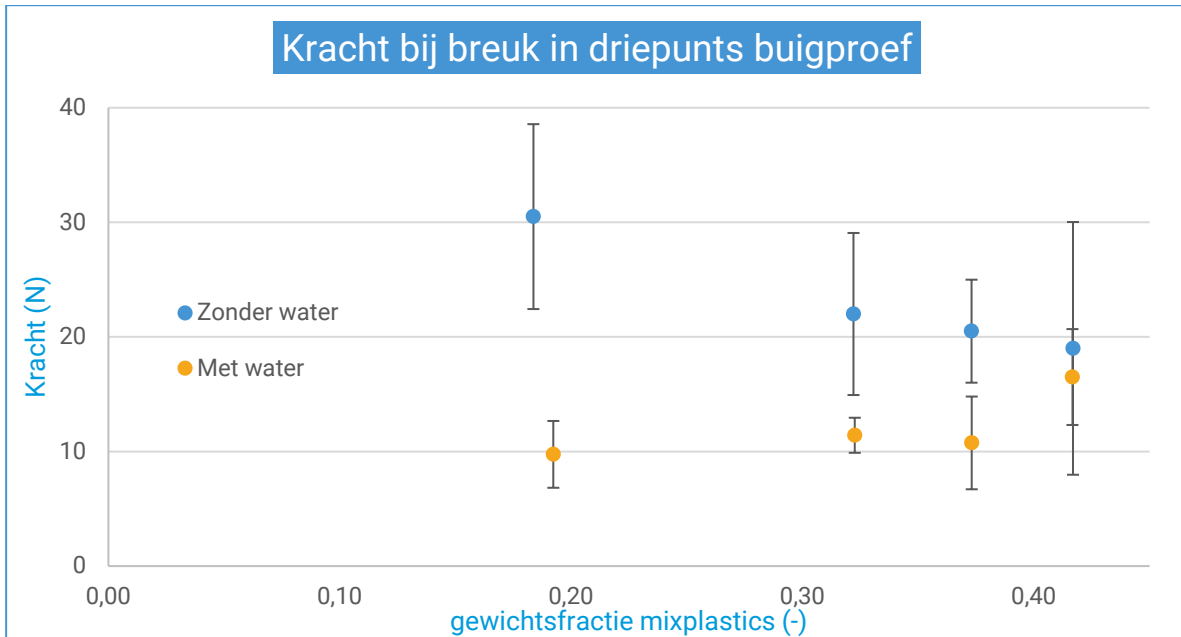
Polyol (g)	Isocyaanaat (g)	Water (g)	Compressiemodulus (MPa)
20	20	0	2,1
20	20	2	0,3
20	22	2	0,3

Tabel 4: Compressiemodulus van de verschillende schuimen zonder mixplastics.

Uit deze tabel lijkt geconcludeerd te kunnen worden dat met name de hoeveelheid water bepalend is voor de verlaging van de modulus. Wanneer naast water ook extra isocyaanaat wordt toegevoegd, lijkt de modulus daar niet gevoelig voor te zijn.

Als Figuur 4 met Figuur 5 vergeleken wordt, ziet het verloop van de modulus met het percentage mixplastics er wat anders uit. Waar in Figuur 4 sprake lijkt te zijn van een dalende trend, lijkt dat niet zo te zijn in Figuur 5. Het kan zijn dat het percentage isocyaanaat hier verantwoordelijk voor is. Tegelijkertijd moet worden opgemerkt dat, net als bij Figuur 4, het aantal samples beperkt is, er de waarden voor de moduli laag zijn en de spreiding relatief groot. Ook hier is het daarom niet mogelijk om uitspraken te doen over de significantie van het percentage mixplastics op de compressiemodulus in combinatie met de invloed van extra isocyaanaat.

Uit deze gegevens blijkt dat een meer geschuimde kern, met een lagere compressiemodulus gerealiseerd kan worden als het PUR schuim gemaakt wordt in aanwezigheid van extra water. Extra isocyaanaat toevoegen lijkt geen effect te hebben op de compressiemodulus, maar zorgt wel voor een verhoging in de kosten. In de volgende grafiek (Figuur 6) is daarom alleen gekeken naar de invloed van mixplastics naar de buigsterkte van schuimen die gemaakt zijn zonder en met extra water.



Figuur 6: Kracht bij breuk in een driepunt buigproef.

Uit Figuur 6 is op te maken dat bij de samples die gemaakt zijn volgens het basis recept, meer kracht nodig is om het sample te breken. Deze kracht bij breuk neemt af naarmate het percentage mixplastics toeneemt. Het omgekeerde is te zien bij de samples die met extra water zijn geproduceerd. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de samples zonder water een hogere dichtheid hebben en dat daardoor de kracht bij breuk hoog is bij gebruik van weinig mixplastic. Naarmate het percentage thermoplastisch materiaal toeneemt, is de onderlinge samenhang van het schuim verminderd (de vlokken van het materiaal binden niet chemisch aan het PUR), waardoor het materiaal verzwakt. Wanneer wel extra water wordt gebruikt bij het maken van de samples blijkt dat het toevoegen van de mixplastics juist een versterkend effect kan hebben. Bij ca. 42 w% mixplastics is het effect van water toevoegen tijdens productie teniet gedaan.

Dit onderzoek laat zien dat de reststroom mixplastics zonder verdere voorbewerkingsstappen batchgewijs ingebed kan worden in een matrix van PUR-schuim. Door te variëren met de componenten van het schuim en het percentage mixplastics kunnen eigenschappen beïnvloed worden. Hierdoor bestaat de mogelijkheid om met de juiste verhouding van materialen een geschuimde kern te ontwikkelen die als vervanging van virgin PET-schuim dient in composiet sandwich panelen. Het nadeel van deze opzet is dat virgin materialen gebruikt worden om een PUR-schuim als bindmiddel voor de mixplastics te realiseren. Daarom wordt in het volgende hoofdstuk onderzocht of schuim dat als restmateriaal uit een productieproces ontstaat ook als bindmiddel voor de stroom mixplastics kan dienen.

3. PE-schuim als bindmiddel

In het kader van duurzaamheid en de circulaire economie is het gebruik van een virgin materialen niet ideaal. Het is daarom interessant om te onderzoeken of reststromen van geschuimd materiaal hergebruikt kunnen worden.

Dit is dan ook aanleiding geweest voor Sekisui Alveo om aan het lectoraat kunststoftechnologie te vragen of er mogelijkheden zijn voor een toepassing voor geschuimd PE-restmateriaal. Sekisui Alveo produceert dit schuim door middel van een extrusieproces. In een volgende stap wordt op specificaties van de klant het schuim op maat gesneden en door middel van frezen voorzien van de juiste inkepingen. Hierbij ontstaat een fijn schuimstof als afval waar nog geen goede oplossing voor is gevonden.

Omdat het schuim gemaakt is van het thermoplastische PE zou het wellicht als bindmiddel gebruikt kunnen worden om de stroom mixplastics aan elkaar te smelten. Het kan dan dienen als vervanging van het PUR schuim en zo dienen als lichtgewicht kern voor composiet onderdelen.

3.1. Materiaal en Methoden

De afvalstroom mixplastics is ter beschikking gesteld door afvalverwerker Omrin in Leeuwarden en bestaat voor 86.6% uit PE, PP, PS en PET. Het materiaal is eerst aan de lucht gedroogd en bij -20 °C bewaard om bacteriegroei zoveel mogelijk te remmen. Voordat het materiaal is gebruikt, is het verkleind tot bruikbare flakes.

De reststroom PE schuim is ter beschikking gesteld door Sekisui Alveo. Het betreft een deels gecrosslinked en geschuimd PE.

Om een kernmateriaal te produceren zijn de mixplastics en het PE-schuim vervolgens handmatig, droog, gemengd waarbij het percentage mixplastics altijd minimaal 40% en maximaal 80% bedroeg.

Als mal voor de samples zijn metalen kokers (lxbxh is 60x60x250mm en 100x100x250mm) gebruikt. De kokers zijn aan de onderzijde afgesloten door het aanlassen van een metalen plaat die voorzien is van een gat om verwijderen van de samples mogelijk te maken (zie Figuur 7).



Figuur 7: Gebruikte kleine metalen kokers (60x60x250mm), gebruikte platen om de koker aan de binnen zijde af te dichten en de gebruikte gewichten die bovenop de gevulde kokers worden geplaatst.

Om de samples te produceren is eerst een metalen plaat in de mal gebracht om het gat in de bodem van de koker af te dekken. Vervolgens is de binnenzijde van de mal bedekt met een non-woven polyester mat (Soric® XF, Lantor b.v., Veenendaal) om plakken van het materiaal aan de mal te voorkomen (zie Figuur 8). Het mengsel PE/mixplastics werd toegevoegd en afgedekt met een laag Soric®. Vervolgens is op het geheel een gewicht geplaatst dat voor druk zorgt tijdens het opwarmen.



Figuur 8: Weergave van het vulproces van de kokers.

De gevulde kokers zijn in een conventionele oven geplaatst en gedurende verschillende tijden (20-75 minuten) en temperaturen (190-220 °C) verwarmd om de thermoplastische componenten te laten smelten en aan elkaar te binden.

In iteratieve stappen (zie Tabel 5) is onderzocht bij welke combinatie tijd/temperatuur en samenstelling van PE-schuim/mixplastics kernen geproduceerd kunnen worden.

Experimentenreeks	Temperatuur (°C)	Opwarmtijd (min)	Koker (lxbxh mm)	Mixplastics (gewicht%)
1	190 en 220	30	60x60x250	40
2	220	30	60x60x250	40 en 60
3	200	40-65	100x100x250	40-70

Tabel 5: Overzicht uitgevoerde experimenten.

3.2. Resultaten

De experimenten die met de smalle koker (lxbxh = 60x60x250mm) zijn gedaan bij 190 °C en 220 °C zijn met name bedoeld om te onderzoeken of met het principe van smelten kernen gemaakt kunnen worden. Deze temperaturen zijn gebaseerd op de smelttemperatuur van PE. Normaalgesproken heeft PE een smelttemperatuur van ca. 130 °C en wordt deze verwerkt (bijvoorbeeld door middel van spuitgieten) bij temperaturen ca. 200 °C. Het streven in dit onderzoek is om de geschuimde PE niet te veel te laten smelten zodat het de schuim-eigenschappen nog behoudt. Tegelijkertijd moet een voldoende aandeel in de mixplastics voldoende week worden om via het smeltproces en lichte druk aan het schuim gebonden te worden.

Het Soric® materiaal blijkt goed te werken als liner tijdens het productieproces. Echter, wanneer de liner niet wordt vastgemaakt aan de koker, vindt verschuiving van het materiaal plaats en ontstaat een kern die geen goed gedefinieerde afmetingen heeft, maar waar een zogenoemd harmonica-effect zichtbaar is (zie Figuur 9).



Figuur 9: Harmonica effect bij een sample geproduceerd bij 190 °C.

Verder bleek uit deze experimenten dat bij 220 °C de liner bleef plakken aan het mengsel PE-schuim/mixplastics. Als alternatief voor het Soric® materiaal als liner, is ook gekeken naar polyesterfolie. Het gebruikte polyester smolt en bleef aan de binnenwand van de koker plakken, waardoor de schuimkern niet meer vrijkwam. Wanneer het onwenselijk is dat de liner aan de te produceren kern blijft vastplakken, is verder onderzoek naar een geschikt alternatief voor het Soric®.

Wanneer gekeken wordt naar de variatie in samenstelling van het kernmateriaal bleek dat zowel bij 40% als bij 60% er optisch een evenwichtige verdeling van mixplastics aanwezig was en het PE-schuim zodanig samengesmolten was deze de functie als bindmiddel goed vervuld. Dit was bij beide temperaturen het geval waarmee geconcludeerd kon worden dat de gekozen verwerkingstemperaturen een goede bandbreedte geven voor het productieproces. Ook de opwarmtijd speelt een rol. Een controle test met 60% mixplastics bij 190 °C en een opwarmtijd van 20 minuten (in plaats van 30 minuten) gaf als resultaat een kern waarbij de verschillende onderdelen niet voldoende samenhang vertoonden.

Uit deze eerste screening test komen de volgende deelconclusies naar voren:

- Handmatig mengen van de componenten levert een optisch homogene verdeling van componenten
- Een goede verwerkingstemperatuur ligt tussen 190 °C en 220 °C
- De opwarmtijd moet minimaal 20 minuten bedragen
- De liner moet vastgemaakt worden aan de koker
- Het is mogelijk om met 60% mixplastics en 40% PE-schuim een hanteerbare kern te produceren

Veelgebruikte schuimkernen in balken van composiet hebben echter grotere dwarsdoorsnedes dan 60x60 mm. Om die reden is in vervolg experimenten gebruik gemaakt van een koker met een dwarsdoorsnede van 100x100 mm.

Omdat de grotere koker meer inhoud bevat, zal het langer duren voordat de temperatuur in de kern van de koker groot genoeg is om alle verschillende componenten aan elkaar te binden. In eerste instantie is daarom gekozen voor een opwarmtijd van 40 minuten bij een temperatuur van 200 °C. Dit bleek echter niet voldoende. Pas bij een minimale opwarmtijd van 60 minuten bleken de componenten weer

voldoende aan elkaar gesmolten te zijn. Daarnaast bleek dat bij 70% mixplastics er te weinig bindmiddel aanwezig was waardoor de onderlinge samenhang te zwak was.

Met deze kennis is het een overweging om een hogere temperatuur te gebruiken. Omdat in deze pilot de focus vooral ligt op het evalueren van het samenbinden van mixplastics en PE-schuim is het onwenselijk om de temperatuur te verhogen. Immers, bij een hogere temperatuur blijft de Soric® liner aan het kernmateriaal plakken en wordt evaluatie gehinderd. Daarnaast speelt er nog een factor mee die tot nu toe niet aan de orde is geweest, namelijk de dichtheid van de kern. Bij het smelten van materialen is het normaal dat deze uitzetten. Dat is in het geval van kunststoffen ook zo. Echter, een bepaalde druk van buitenaf is nodig om er voor te zorgen dat de gesmolten componenten aan elkaar verbonden worden. Deels wordt dit verwezenlijkt door het feit dat er gekozen is voor een metalen koker. Maar dit betekent wel dat materialen een vrije beweging naar de bovenzijde hebben. Om dit tegen te gaan is een gewicht op de koker nodig. Echter, het gewicht moet niet te groot worden, omdat deze anders de kern te veel comprimeert.

Via deze iteratieve stappen zijn samples geproduceerd waarbij het harmonica-effect uit Figuur 9 zo klein mogelijk is. In Figuur 10 zijn voorbeelden te zien van een samples met 60% mixplastics.



Figuur 10: Voorbeelden van PE-schuimsamples met 60% mixplastics. Links zoals verkregen na verwijderen uit de koker en rechts is een dwarsdoorsnede te zien.

In een eerste setup is ervoor gekozen om twee afdekplaatjes van 70x70 mm met een respectievelijk gewicht van 31 en 81 gram op de Soric® afdeklaag toe te passen. Als aangenomen wordt dat de Soric® laag de druk evenredig overbrengt op de onderliggende kernlaag, betekent dit een druk van 0.1 kPa in het geval van het afdekgewicht van 81 gram. In Figuur 11 is te zien welke invloed deze afdekgewichten hebben op de vorm van de geproduceerde schuimen.



Figuur 11: Invloed afdekgewicht op de vorm van de schuimen.

In de onderstaande tabel (Tabel 6) is weergegeven wat de dichtheden van de geproduceerde kernlagen zijn bij toepassen van de afdekgewichten.

Afdekgewicht (g)	Dichtheid kernlaag (kg/m ³)	Buigsterkte F (N)
31	205 ± 8	149 ± 38
81	261 ± 23	289 ± 20

Tabel 6: Gemiddelde dichtheid en buigsterkte van geproduceerde kernen. 60% mixplastics, temperatuur = 200 °C, opwarmtijd = 65 minuten. Waarden zijn gemiddelden van 3 samples.

Hoewel het gewicht van de gebruikte afdekplaatjes relatief laag is, blijft de dichtheid van de geproduceerde kernen wel hoger dan van regulier gebruikte kernen. Zo hebben veelgebruikte PET-kernen die als taai/slagvaste schuimen dienen een dichtheid van 80 kg/m³. En PUR-schuimen in sandwich panelen die niet bedoeld zijn voor constructie zelfs een dichtheid van 35 kg/m³. Om dezelfde dichtheden te halen zullen dus in deze opzet of het aandeel geschuimd PE vergroot moeten worden of onderzoeken of het produceren van de kernlagen zonder afdekgewicht een optie is. In Tabel 6 is ook zichtbaar dat de gevonden buigsterkte lager is bij een lagere dichtheid van de kern. De gevonden buigsterkte is echter wel een factor 10 groter dan bij de samples die eerder met PUR zijn geproduceerd.

4. Conclusies

In deze pilot is onderzocht of het mogelijk is om de reststroom mixplastics in te zetten in de schuimkern van composiet onderdelen.

Op basis van bovenstaande resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. Het is mogelijk om met gebruik van virgin isocyaanaat en virgin polyol een PUR schuim te ontwikkelen waarin mixplastics optisch homogeen zijn verdeeld.
2. Samples waarbij extra water wordt toegevoegd, vertonen meer uitzetting waardoor het mogelijk is om de dichtheid van een PUR/plastic schuim te beïnvloeden.
3. Wanneer polyol en isocyaanaat in gelijke verhouding wordt gebruikt, zorgt een toename van het aandeel mixplastics voor een daling in de compressiemodulus.
4. Toevoegen van extra water zorgt voor een verlaging van de compressiemodulus van het schuim. Vervolgens lijkt toevoegen van mixplastics voor een verdere verlaging van de modulus te zorgen.
5. Toevoegen van extra water en extra isocyaanaat zorgt voor een verlaging van de compressiemodulus. Vervolgens heeft toevoegen van mixplastics geen eenduidig effect op de modulus.
6. In PUR/plastic schuimen waarbij water gebruikt wordt, is tot een hoeveelheid van 42w% mixplastics de buigsterkte lager dan wanneer water niet wordt toegepast.
7. Het is mogelijk om in plaats van PUR een reststroom PE-schuim te gebruiken om de stroom mixplastics te binden.
8. De samples met het PE-schuim leverden een grotere buigsterkte op dan de samples met PUR.
9. De dichtheid van de varianten met PE-schuim is nog te groot vergeleken met de nu gebruikte schuimen in composiet delen.

De eindconclusie van deze pilot is dan ook dat het mogelijk is om de mixplastics te verwerken in een schuim. Dit schuim kan gebaseerd zijn op virgin materialen, maar ook een reststroom van PE-schuim kan worden toegepast en op deze manier bijdragen om meer afval/reststromen een nieuwe toepassing te geven. Afhankelijk van de toepassing, als de eisen aan het gewicht van constructiedelen van minder groot belang zijn, zouden deze schuimdelen ingezet kunnen worden in composiet sandwich panelen.

5. Aanbevelingen

Uit deze pilot blijkt dat het technisch mogelijk is om mixplastics te verwerken in schuimen. Om toepassingen als kernmateriaal in composiet onderdelen mogelijk te maken zal echter nog verder onderzoek nodig zijn naar het verbeteren van de dichtheid en mechanische eigenschappen van de schuimen en zodoende dit type kernmateriaal.

De samples zijn nu allemaal batchgewijs op laboratoriumschaal geproduceerd. Er zal dan ook nog onderzoek nodig zijn om het economisch rendabel opschalen van de productiemethode mogelijk te maken. Zo zal in ieder geval onderzocht moeten worden of schuimkernen in een continuproces geproduceerd kunnen worden.

Wanneer mixplastics gebonden worden door middel van het smelten van een PE-schuim, zal onderzocht moeten worden of een liner noodzakelijk is en of het Soric® materiaal dan het beste alternatief is.

6. Geraadpleegde bronnen

- [1] <https://www.insidecomposites.com/multidensity-foam-core-from-100-recycled-pet/>
(Laatste bezoekdatum: 22-05-2019)
- [2] [https://www.compositesworld.com/products/new-generation-recyclable-pet-foam-core\(2\)](https://www.compositesworld.com/products/new-generation-recyclable-pet-foam-core(2))
(Laatste bezoekdatum: 22-05-2019)
- [3] Verrips, A en anderen (2017), *De circulaire economie van kunststof*:
<https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Achtergronddocument-13sept2017-De%20circulaire-economie-van-kunststof.pdf> (Laatste bezoekdatum: 22-05-2019)
- [4] <http://www.rethinkplastics.nl/mens-en-maatschappij/gebruik-van-plastics/> (Laatste bezoekdatum: 22-05-2019)
- [5] Partners for Innovation (2018) Verpakkingsafval als Grondstof ; <https://www.kidv.nl/8132>
(Laatste bezoekdatum: 22-05-2019)
- [6] <https://www.nedvang.nl/wp-content/uploads/2019/03/Mix-kunststoffen-DKR-350.pdf>
(Laatste bezoekdatum: 22-05-2019)



Lectoraat Kunststoftechnologie

Het lectoraat Kunststoftechnologie stimuleert innovatie op het gebied van kunststofverwerking en -producten in het midden- en kleinbedrijf. Vanuit de onderzoeksprojecten, uitgevoerd door docenten van de technische opleidingen bij de Hogeschool Windesheim in samenwerking met bedrijven, vloeien nieuwe kennis en inzichten naar het Hoger Onderwijs én het bedrijfsleven.

Hergebruik van thermoplastisch afval in onderdelen van composiet

In dit lectoraatsonderzoek is onderzocht op welke wijze mix-plastics kunnen worden gebonden tot een schuimachtige massa. Achterliggende gedachte is om enerzijds een oplossing te hebben voor het hergebruiken van de mix-plastics en anderzijds hiermee een opvulling te realiseren in composietproducten van hergebruikt materiaal in plaats van nieuw (virgin) schuim om hiermee een hogere mate van circulariteit te krijgen. De mix-plastics zijn niet met conventionele verwerkingstechnieken te recyclen door de heterogeniteit en hoge vervuilingsgraad. Twee methoden van het binden van de mix-plastics tot een schuimachtige massa zijn onderzocht: mengen met een schuimende polyurethaan en mengen met extra PE-bedrijfsafval en vervolgens consolideren door te smelten. Het onderzoek toont dat beide methoden mogelijkheden bieden voor het gebruiken van mix-plastics om hiermee een schuimachtige massa te maken die in nieuwe composietproducten kan worden ingezet.

SEKISUI



 **LANTOR**