Abschlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Untersuchung der Verarbeitungsparameter und Eigenschaften eines innovativen lederartigen Holz-BioTPS-Komposites

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Materialeigenschaftenuntersuchung beim Recycling eines lederähnlichen BioTPS-Holz Werkstoffes

Teilvorhaben 2 : Holz-TPE

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1: 2222NR011A

Teilvorhaben 2: 2222NR011B

Laufzeit:

01.05.2023 bis 15.07.2024

Monat der Erstellung:

07/2024

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzbericht 1

1. Aufgabenstellung 1
2. Planung und Ablauf des Vorhabens 1
3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse 2
   a) Arbeitspakete und Meilensteine 2
   b) Zusammenfassung 3

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse 4

1. Erzielte Ergebnisse 4

Arbeitspaket 1: Rahmenbedingungen für Produktherstellung 4

Arbeitspaket 2: Entwicklung recyclingggerechter Werkstoff inkl. Validierung 4

Arbeitspaket 3: Entwicklung Recyclinggerechtes Produktprototypes (Lüftungsgitter) 11

Arbeitspaket 4: Berichterstattung und Abschluss 12

2. Verwertung 13
   a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen 13
   b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende 13
   c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende 13
   d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit 13
3. Erkenntnisse von Dritten 14
4. Veröffentlichungen 15

ANHANG 16

Teilvorhaben 1:Materialeigenschaftenuntersuchung beim Recycling eines lederähnlichen BioTPS-Holz Werkstoffes 16

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens 16
2. Bearbeitete Arbeitspakete 16
3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens 19

Teilvorhaben 2: Holz-TPE 20

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens 20
2. Bearbeitete Arbeitspakete 20
3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens 24

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Ziel des Projektvorhabens ist die Entwicklung eines innovativen Werkstoffes, welcher mithilfe eines Verbundes aus Industrierestholzspänen (Holz) und einem teilbiobasierten thermoplastischen Elastomer Compound BioTPS (Bio-Thermoplastisches Styrolelastomer) hergestellt werden soll. Dieser Werkstoff ist ausgesprochen elastisch und stoßdämmend und weist bei bestimmter Behandlung eine lederähnliche Haptik auf. Aufgrund dieser Eigenschaften könnte dieses innovative Material bei verschiedenen Anwendungen (z.B. bei Fahrradgriffen) Voll-TPE-Kunststoff ersetzen bzw. dessen Anwendungsbereich erweitern. Ziel ist es einen möglichst hohen biogenen (Holz-)Anteil im Compound zu verarbeiten. Damit auch komplexe Verarbeitungsparameter untersucht werden können, wurde im Projekt als Endprodukt ein Lüftungsgitter für Küchen gewählt. Durch die lederartige Haptik und Optik, welche durch Holz generiert wird (Mehrwert von Holz im Produkt) könnte der Werkstoff zukünftig echtes Leder ersetzen und wäre, aufgrund der TPS – Basis des Werkstoffes recyclingfähig. Mit der Entwicklung des Holz-TPS würde also ein ökologisch Vorteilhafter Werkstoff entstehen, was für die ökologische Nachhaltigkeit von Unternehmen und deren Umweltmanagement wichtig ist.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

In Vorstudien zeigte sich eine ausgezeichnete Mischbarkeit von Holz und TPS ohne Additivzusatz, wodurch großes Potential gegenüber anderen Kunststoff-Holz-Gemischen gesehen wird. Ein weiterer Vorteil liegt in der Ressourcenschonung: der Anwendung eines teilbiobasierten TPS (BioTPS) und der Kombination mit industriellen Restholzspänen, welche aktuell thermisch genutzt werden. Um die Verarbeitungsmöglichkeiten des Composites bei variabler Zusammensetzung zu untersuchen, wurden zunächst Extrusion und Spritzguss erprobt. Als Ziel-Spritzgussteil wurde ein komplexes Bauteil mit schmalen Stegen und großen Spalten gewählt um die Fließparameter, Formungs- und Entformungsverhalten sowie Oberflächenveränderung während des Spritzgusses bei verschiedenen Composit-Zusammensetzungen zu analysieren. Ist die Verarbeitung des Composites im Labor- und Industriemaß erprobt, ergeben sich eine Vielzahl Möglichkeiten das Komposit zu verschiedenen Anwendungen zu verarbeiten. Die physikalischen und thermischen Werkstoffeigenschaften sowie weitere Studien auf Haut- und Berührungsverträglichkeit sollen mit Blick auf die potenzielle Anwendung als veganes Leder ermittelt werden. Im Sinne des Design4Recycling wird zudem die Recyclingfähigkeit untersucht (z.B. durch Analyse der Sortierfähigkeit und mehrfaches Einschmelzen und Verarbeiten). Der Spritzguss eines komplexen Bauteils erlaubt zudem die Verwendung des Komposites auch bei Bauteilen wie Lüftungsgittern, wodurch die Überführung in die Praxis möglich wird.

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

a) Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 1: Rahmenbedingungen für Produktherstellung	05/2023 bis 06/2023	Die Rahmenbedingungen für die Produktherstellung sind nach dem ersten gemeinsamen Projekttreffen am 10.05.2023 an der Hochschule Ansbach besprochen und erstellt worden. Dabei wurden die verschiedenen Rezepturen und auch der zu testender Anteil an Holz in den Compounds bestimmt.
AP 2: Entwicklung recyclinggerechter Werkstoff inkl. Validierung 2.1 Rezepturentwicklung 2.2. Upscaling 2.3 Internes Recycling 2.4 Post-Consumer-Recycling, Sortierung, Aufbereitung	06/2023 bis 01/2024	Die Arbeitspakete 2.1 und 2.2 sind bis zum Projekttreffen 11.12.2023 bearbeitet worden. Bei der Rezepturentwicklung stellten sich vier verschiedene Rezepturen heraus, die anschließend im Upscaling-Prozess verwendet wurden. Die Arbeitspakete 2.3 und 2.4 sind aufgrund der Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 3.1 und 3.2 bis zum 30.06.2024 erstellt worden.
AP 3: Entwicklung Recyclinggerechtes Produktprototypes (Lüftungsgitter) 3.1 Entwicklung Lüftungsgitter Prototyp 3.2 Eruieren Recyclingoptionen für Prototyp	01/2024 bis 04/2024	Die Arbeitspakete 3.1 sind bis zum Projekttreffen 19.02.2024 bearbeitet worden. Das Arbeitspaket 3.2 ist bis zum 30.06.2024 erstellt worden.
AP 4: Berichterstattung und Abschluss	03/2024 bis 04/2024	Die Berichterstattung und der Abschluss erfolgten bis zum 30.06.2024.

Meilensteine (M) (lt. Planung im Antrag)	Fälligkeit (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
M 1 Probephase für Eingrenzung der Rezeptauswahl	08/2023	Die Eingrenzung der Rezeptauswahl wurde am 26.06.2023 erreicht.
M 2 Referenz Holz-Bio-TPS-Compounds mit definierten Eigenschaften…	11/2023	Der Meilenstein 2 Referenz-Compound wurde am 11.12.2023 erreicht.
M 3 Recyclingpotential und Alterung durch werkstoffliches Recycling des Holz-Bio-TPS-Compounds	01/2024	Der Meilenstein 3 Recyclingpotential und Alterung durch werkstoffliches Recycling des Holz-Bio-TPS-Compounds wurde am 15. April 2024 erreicht
M 4 Holz-BioTPS-Compounds werden im Sortierprozess erkannt und können werkstofflich erkannt werden	02/2024	Der Meilenstein 4 Holz-Bio-TPS Compounds im Sortierprozess werkstofflich erkannt wurde am 15. April 2024 erreicht
M 5 Prototyp eines Lüftungsgitter	02/2024	Der Prototyp des Lüftungsgitter wurde beim Projekttreffen am 19.02.2024 erfolgreich vorgestellt.

b) Zusammenfassung

Das Ziel des Projekts einen innovativen Werkstoff aus Industrieholzspänen und einen teilbiobasierten TPE zu entwickeln, wurde erreicht. Um das Ziel-Spritzguss-Objekt Sockellüftungsgitter realisieren zu können, wurden 25 Gew.-% Holzanteil in die Compounds verarbeitet. Das interne Recycling konnte mit fünf Recyclingzyklen und keiner wesentlichen Veränderungen der Materialeigenschaften analysiert werden. Das Post-Consumer-Recycling konnte aufgrund der schwierigen Sortierung von Kunststoffen mit der Dichte< 1 g/cm3 im Schwimm-Sink-Verfahren nicht nachgebildet werden. Somit ist ein internes Recycling des entwickelten Compounds möglich, ein Recycling im dualen System aber nicht.

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket 1: Rahmenbedingungen für Produktherstellung

Im ersten Arbeitspaket wurden die Rahmenbedingungen zu logistischen Fragen, rechtlichen Rahmenbedingungen und ein Pflichten- und Lastenheft erstellt, bei welchem u.a. die Auswahl der Polymere sowie Fragen rund um die Holzspäne geklärt wurden. Bei dem ersten Treffen, dem sog. „Kick-Off“ lernten sich die Mitarbeiter der Fa. Allod und der Hochschule Ansbach kennen und konnten erste Gespräche über Materialauswahl und Holzanteil führen. Des Weiteren war die Fa. Mesko anwesend, um bereits hier wichtige Details für den Spritzguss der Lüftungsgitter zu klären. Zudem wurden Maschineneinstellungen und Soll-Werte für die Compounds abgefragt. Es ergab sich aus diesem Treffen bereits, dass vier verschiedene Compounds hergestellt werden, die für die Versuche an der Hochschule und für den Spritzguss zur Verfügung stehen. Der Holzanteil für die Vorversuche liegt zwischen 40% und 50%. Die Fa. Schüller hatte zu diesem Zeitpunkt bereits Holzspäne an die Fa. Allod geliefert.

Arbeitspaket 2: Entwicklung recyclinggerechter Werkstoff inkl. Validierung

AP 2.1 Rezepturentwicklung

Die Firma Allod hat im ersten Materialscreening folgende Materialien in die engere Auswahl gebracht:

- Polyethylen PE
- Polypropylen-Polyethylen-Copolymer Co-PP-PE
- Polystyrol PS
- Acrynitril-Butadien-Styrol-Copolymer ABS
- Acrynitril-Styrol-Acrylat-Copolymer ASA

Darauf sind die Materialien mit verschieden Holzanteilen (0,5mm Siebung) versetzt worden und die Materialeigenschaften wurden analysiert.

Holzanteil	PE			Co-PP-PE			PS		
	Zugdehnung	Zugfestigkeit	E-Modul	Zugdehnung	Zugfestigkeit	E-Modul	Zugdehnung	Zugfestigkeit	E-Modul
[%]	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]
0	16	20,8	860	13	24,5	1140	5	26,4	2400
10	13	19,7	3340	9	21,7	1380	5	25	2900
30	8	19,3	1590	6	19,8	1640	5	26,6	4120
50	4	15	/	4	18,3	2860	4	26,1	/

Tab. 1: Materialuntersuchungen zum Rohstoff

Es zeigte sich, dass PS im Vergleich zu PE und Co-PE-PP sowohl bei der Zugfestigkeit als auch beim E-Modul bei steigendem Holzanteil einen deutlich höheren Wert erzeugte, währenddessen die Zugdehnung einen geringeren Wert aufwies. Sowohl bei PE mit 50% Holzanteil als auch bei PS mit 50% Holzanteil konnte das E-Modul nicht gemessen werden. Außerdem wurde festgestellt, dass sowohl bei PE und bei Co-PP-PE eine gute Verarbeitung möglich war, die Fließfähigkeit aber bei Co-PP-PE besser als bei PE war. Bei PS war die Verarbeitung schwieriger.

Die Materialien ASA und ABS wurden nach den ersten Versuchen bereits als nicht weiter verarbeitbar festgestellt. Es kam durch die zu hohe Schmelztemperatur zur Rauchentwicklung. Bei ASA bildete sich sofort und bei der Verarbeitung von ABS bei einem Holzanteil von 30% verkohltes Holz. Daraufhin wurden beide Materialen nicht mehr weiter in Betracht gezogen, da ein möglichst hoher Holzanteil im Ziel-Spritzguss-Objekt zu erreichen ist. Durch die Zugabe von SEBS wurde eine verbesserte Schlagzähigkeit des Materials erwartet.

Nach dem erfolgreichen ersten Projektreffen wurden vier verschiedene Rezepturen entwickelt, die in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt wird.

	PE-50-TPE1	**Co-PE-PP-50-TPE2**	**PS-50-TPE2**	**PE-50-TPE2**
PE [%]	33			33
Copolymer PE-PP [%]		33		
PS [%]			33	
Industrieholzabfall [%]	50	50	50	50
TPE [%]	17	17	17	17

Tab. 2: Compound-Rezepturen für die Vorversuche

Für die Bezeichnung der Materialien wurde folgender Code angewendet:

PE, Co-PE-PP, PS usw. entspricht der Matrix, die folgende Zahl spiegelt den Holzanteil [%] wider. Der Unterschied zwischen TPE1 und TPE2 ist, dass bei TPE1 ein SEBS mit langkettigen Molekülen und bei TPE2 ein SEBS mit kurzkettigen Molekülen verwendet wurde.

An der Hochschule Ansbach wurden die gefertigte Materialauswahl zunächst auf die Feuchtigkeit bei 80°C im Trockenschrank getestet.

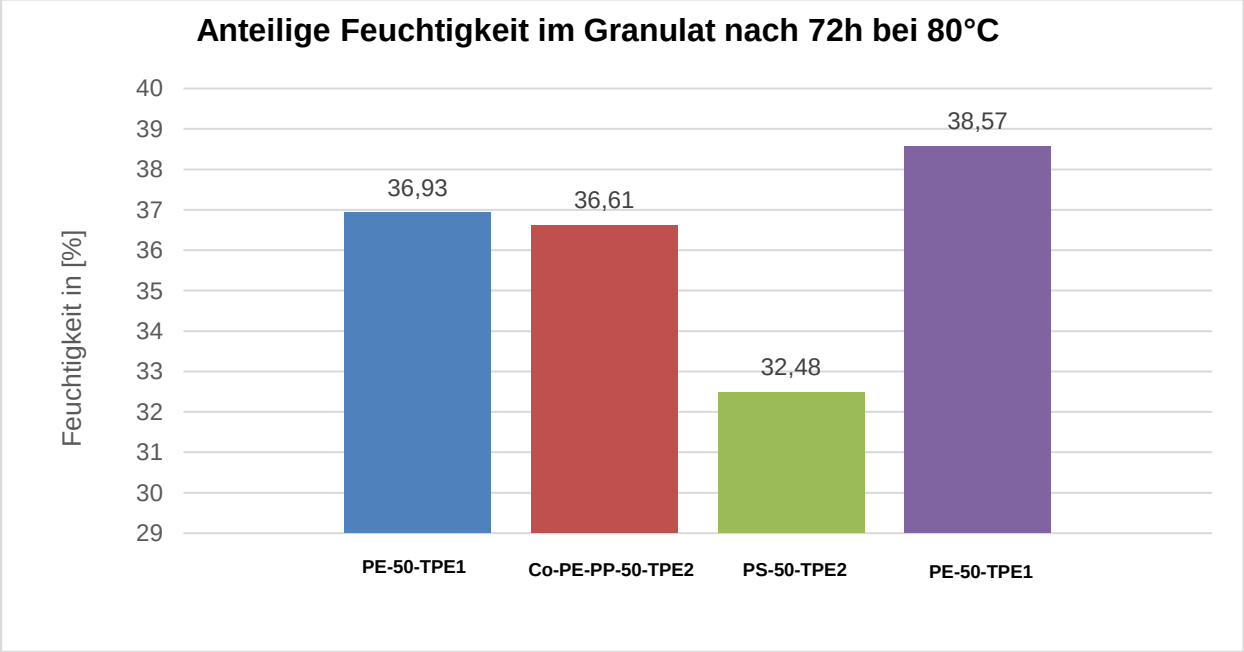

Abb. 1: Gravimetrische Bestimmung der Feuchtigkeit bei 80°C im Trockenschrank der Granulate

Die Feuchtigkeit des Granulats war bei PS mit 32,48% am geringsten. Sowohl bei PE-TEP1 und PE-PP-TEP2 lag die Feuchtigkeit bei ca. 37%. Der höchste Wassergehalt wurde bei PE-TEP2 gemessen. Die hohen Messwerte wurden auch durch die Haptik bestätigt.

Anschließend wurden die Granulate im Auflichtmikroskop bei einer 500fachen Vergrößerung genauer betrachtet.

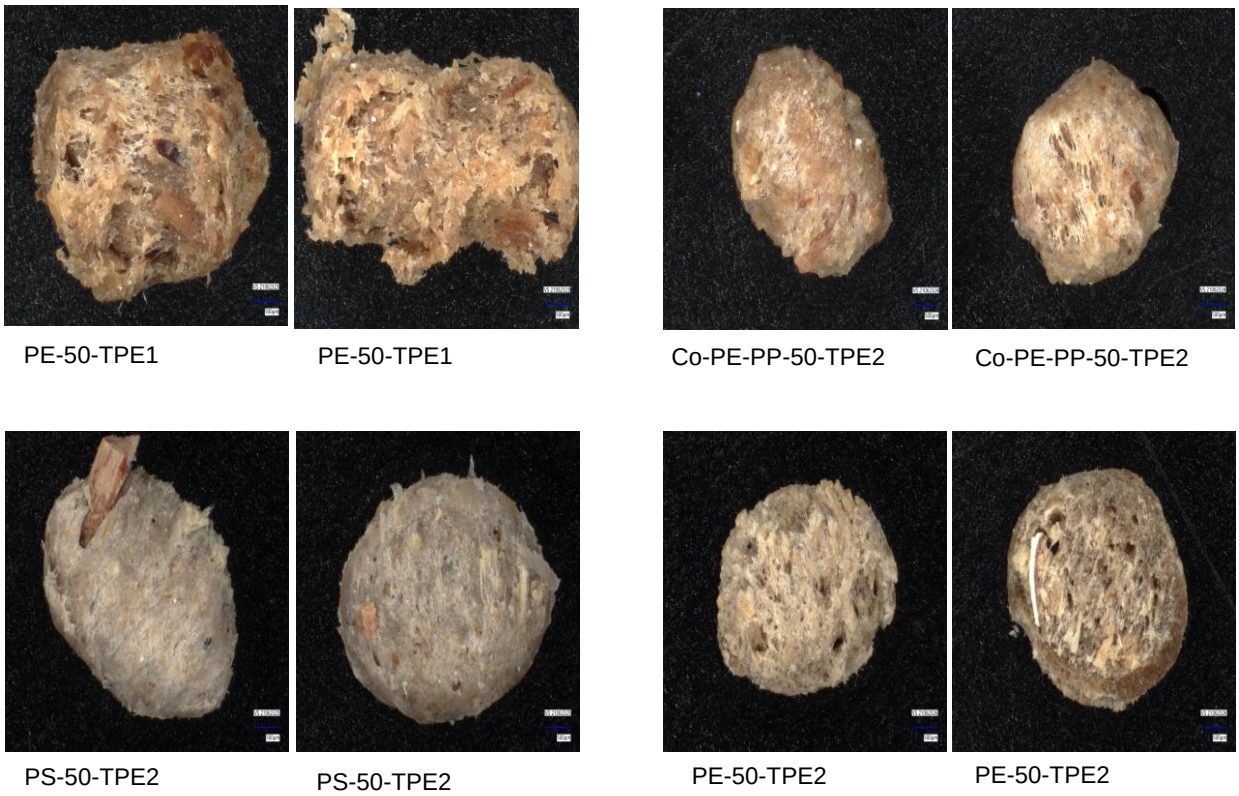

Abb. 2: Darstellung der Granulat-Oberflächen mittels Auflichtmikroskops bei 500facher Vergrößerung

Dabei wurde festgestellt, dass PE mit langkettiger SEBS eine deutlich rauere Oberfläche als die anderen Granulate aufweist.

Weitere Materialeigenschaften wurden bei der Fa. Allod analysiert. Neben Streckdehnung, -Spannung und E-Modul wurde auch die Schlagzähigkeit gemessen.

	Streckdehnung	**Streckspannung**	**E-Modul**	**Schlagzähigkeit**
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kJ/m²]
PE-50-TPE1	8	8	1150	7,5
Co-Pe-PP-TPE2	5	8,1	1240	7,0
PS-50-TPE2	8	5,1	718	9,0
PE-50-TPE2	6	8,4	921	6,5

Tab. 3: Materialeigenschaften der Compounds mit 50 Gew.-% Holzanteil

Es stellte sich heraus, dass bei PS-50-TPE2 sowohl die Streckspannung als auch das E-Modul deutlich geringer war als bei den restlichen Compounds. Außerdem war die Schlagzähigkeit bei PS-50-TPE2 höher.

Beim Projektreffen am 26.06.2023 wurden die Vorversuche bemustert. Dabei wurde von der Fa. Mesko die geringe Festigkeit festgestellt, die für die Herstellung des Sockellüftungsgitters unabdingbar ist. Außerdem wurde bei den Compounds sehr starker säuerlicher Geruch festgestellt, der besonders im Wohnbereich unangenehm ist. Es wurde vereinbart, dass der Holzanteil auf 20 – 30 Gew.-% reduziert wird, um eine bessere Festigkeit zu erreichen und den Störgeruch zu minimieren.

Die Compounds aus der ersten Versuchsreihe sind bei der anschließenden Versuchsreihe mit der jeweiligen Matrixpolymer verdünnt worden und mit 30 Gew.-%, 25 Gew.-% und 20 Gew.-% Holz (0,5mm Siebung) versetzt worden. Dabei veränderte sich auch der TPE-Anteil im Compound. Bei 30 Gew.-% Holz war der TPE-Anteil 10 %, bei 25 Gew.-% 8,3 % und bei 20 Gew.-% Holz 7,3 % TPE. Um diese mit den Vorversuchen zu vergleichen, wurden die Materialeigenschaften untersucht.

	Streckspannung	Streckdehnung	E-Modul	Schlagzähigkeit
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
PE-30-TPE2	12,6	9	1160	13,5
PE-25-TPE2	14,1	11	1070	kein Bruch
PE-20-TPE2	15,3	12	1080	kein Bruch
Co-PE-PP-30-TPE2	14,8	8	1390	15,9
Co-PE-PP-25-TPE2	15,8	8	1180	17,4
Co-PE-PP-20-TPE2	17,1	9	1270	kein Bruch
PS-30-TPE2	9,0	6	1330	9,6
PS-25-TPE2	13,0	5	2260	8,3
PS-20-TPE2	16,1	5	2250	8,3

Tab. 4: Materialeigenschaften der Vorversuche mit 20 Gew.-% und 25 Gew.-% Holzanteil

Sowohl bei Co-PE-20-TPE2 als auch bei PE-25-TPE2 und PE-25-TPE war die Schlagzähigkeit am größten. Um das Ziel den Spritzguß des Sockellüftungsgitters zu erreichen, wurde sich für das Upscaling auf ein Holzanteil von 20 – 25 Gew.-% geeinigt. Außerdem wurde auf die Polymermatrix Polystyrol aufgrund der geringeren Schlagzähigkeit beim Upscaling verzichtet.

Arbeitspaket 2.2: Upscaling

Ziel dieses Arbeitspakets war die Ermittlung der Rezepturen, die im großen Maßstab angewendet werden können und deren Eigenschaften zu ermitteln. Daraus wurden von der Fa. Allod neue Rezepturen mit dem Holzanteil 20 und 25 Gew.-% erstellt. Außerdem wurden der Matrix-Polymer Co-PE-PP zusätzlich einmal 2% Silikonbatch und 2% grauer Masterbatch hinzugefügt. Der graue Masterbatch wurde zur Einfärbung des Gitters eingesetzt, damit das Sockellüftungsgitter dem originalen Sockellüftungsgitter farblich gleichgesetzt werden kann. Durch die Zugabe des Silikonbatch wurde versucht eine höhere Schmierung des Systems bei der Verarbeitung zu erzielen.

	Holzanteil	TPE	Zusatz
	berechnet	berechnet	
	[%]	[%]	
Co-PE-PP-25-TPE2	25	13,3	
Co-PE-PP-20-TPE2	20	14,1	
PE-25-TPE2	25	13,3	
PE-20-TPE2	20	14,1	
Co-PE-PP-25-TPE2-S	25	13,3	2% Silikonbatch
Co-PE-PP-25-TPE2-G	25	14,1	2% Grau-Masterbatch

Tab. 5: Rezepturen für das Upscaling

Die anschließende Untersuchung der Materialeigenschaften wurde bei der Fa. Allod durchgeführt.

	Streckspannung	Streckdehnung	E-Modul	Schlagzähigkeit
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
Co-PE-PP-25-TPE2	23,6	10	1100	23,6
Co-PE-PP-20-TPE2	22,7	11	1460	30,9
PE-25-TPE2	19,3	10	1390	14,6
PE-20-TPE2	18,6	11	1080	19,9
Co-PE-PP-25-TPE2-S	22,6	11	1370	23,8
Co-PE-PP-25-TPE2-G	23,0	11	1770	20,4

Tab. 6: Materialeigenschaftsuntersuchungen bei Upscaling

Es zeigte sich, dass das Compound Co-PE-PP-20-TPE2 die größte Schlagzähigkeit aufwies. Sowohl bei PE-25-TPE2 als auch mit 20 Gew.-% Holzanteil lag die Schlagzähigkeit unter 20. Bei den Compounds mit den Zusätzen kam es zu keiner wesentlichen Verschlechterung der Materialeigenschaften.

Im Antrag dieses Projekts wurde eine teilbiobasierten TPEs als Matrix angeführt. Aufgrund fehlender Lizenzen war es der Fa. Allod nicht möglich die Matrix-Polymere auf biobasiertem Ursprung zu

beschaffen. Die Hochschule Ansbach hatte in Rücksprache mit der Fa. Allod die Möglichkeit biobasiertes Polymer zu kaufen. Man einigte sich das biobasierte Äquivalent von Co-PE-PP zu untersuchen. Dabei wurden folgende Materialeigenschaften festgestellt.

	Streckspannung	**Streckdehnung**	**E-Modul**	**Schlagzähigkeit**
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
Co-PE-PP-25-TPE2 -B	23,8	13	1890	24,7

Tab. 7: Materialeigenschaften des biobasierten Co-PE-PP

Das biobasierte Co-PE-PP wies die gleichen Materialeigenschaften wie die konventionelle Variante auf. Bei dem für das Sockellüftungsgitter wichtige Kriterium Schlagzähigkeit zeigte das biobasierte Compound einen vergleichbaren Wert. Aufgrund der geringen zu beschaffenden Menge war ein Upscaling-Versuch nicht umzusetzen, so dass die Fa. Mesko ein Sockellüftungsgitter aus diesem Compound nicht spritzgießen konnte.

Es wurde beim Projekttreffen am 21.09.2023 bei der Fa. Mesko beschlossen, für den Spritzguss der Sockellüftungsgitter das Compound Co-PE-PP-25-TPE2 einzusetzen. Zusätzlich wird eine Charge mit Co-PE-PP-25-TPE2-G hergestellt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war zu einem das Ziel eines hohen Holzanteils, die guten Werte der Schlagzähigkeit und die vergleichbaren Werte mit einer Matrix-Polymer mit biobasiertem Ursprung.

Arbeitspaket 2.3: Internes Recycling

Aufgrund der Entscheidung das Upscaling mit Co-PE-PP-25-TPE2 zu bemustern, wurde für das interne Recycling dieses Compound gewählt. Die Testung fand bei der Hochschule Ansbach statt. Die Prüfkörper wurden aus dem Mahlgut gespritzt und dabei insgesamt fünfmal rezykliert. Nach jedem rezyklieren wurden die Prüfkörper im Labor auf ihre mechanischen Eigenschaften getestet.

	Streckspannung	**Streckdehnung**	**E-Modul**	**Schlagzähigkeit**
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
Neuware (Allod)	23,6	10	1100	23,6
Neuware (HS Ansbach)	23,3	10	1750	
1. Recyclingzyklus	24,7	10	1640	41,7
2. Recyclingzyklus	24,2	10	1800	39,9
3. Recyclingzyklus	23,7	9	1760	41,5
4. Recyclingzyklus	23,9	10	1920	40,7
5. Recyclingzyklus	24,0	10	1810	40,7

Tab. 8: Materialeigenschaften von Co-PE-PP-25-TPE2 bei unterschiedlichen Recyclingzyklen

Die unterschiedlichen Recyclingzyklen wurden dabei mit Neuware-Prüfkörpern der Fa. Allod und der Hochschule Ansbach verglichen. Die unterschiedlichen Werte bei den Prüfkörpern der Fa. Allod und

der Hochschule Ansbach entstanden durch die unterschiedlichen Prüfeinheiten an beiden Standorten.

Die Materialeigenschaften nach fünf Recyclingzyklen zeigten auf, dass sich bei der Streckspannung und Streckdehnung keine Unterschiede zu erkennen waren. Bei E-Modul und Schlagzähigkeit waren die Werte bereits ab den ersten Recyclingzyklus höher und blieben dann konstant.

Arbeitspaket 2.4: Post-Consumer-Recycling, Sortierung, Aufbereitung

Im Arbeitspaket 2.4 wurde das Post-Consumer-Recycling betrachtet. Zu einem wurde das Thema Pfandsystem bewertet. Nach Rücksprache mit der Fa. Schüller war dieses nicht umsetzbar. Aufgrund einer Küchenlebensdauer, bzw. -nutzung von ca. 15 – 20 Jahren war das Pfandsystem nicht darstellbar.

Bei der Sortierung der Kunststoffe war die Bestimmung der Dichte der erste Schritt. Die gängigen Kunststoffe mit Recyclingcode und das Compound Co-PE-PP-25-TPE2 wurden mit dem Gaspyknometer getestet und die Dichte ermittelt.

Kunststoff	Material-Recycling-Code	Dichte [g/cm³]
PET	1	1,38
PE-HD	2	0,94-0,97
PVC	3	1,38-1,40
PE-LD	4	0,915-0,935
PP	5	0,90-0,915
PS	6	1,05
Co-PE-PP-25-TPE2	Ohne	0,768

Tab. 9: Dichte von recyclebaren Kunststoffen

Co-PE-PP-25-TPE2 hatte die geringste Dichte, gefolgt von PP und PE-LD. Die Dichte PVC und PET war hingegen mit >1,35 g/m^3 am höchsten. Aufgrund der Ergebnisse war davon auszugehen, dass Co-PE-PP-25-TPE2 mit der geringsten Dichte sich im Schwimm-Sink-Verfahren von den anderen Kunststoffen trennen lässt.

Bei Schwimm-Sink-Verfahren spiegelten sich die Ergebnisse aus dem Pyknometer nicht mehr wider. Die zwei schweren Fraktionen PET und PVC konnten mittels dieses Verfahrens gut abgetrennt werden. Die Sortierung von PE-HD, PE-LD, PS und dem Co-PE-pp-25-TPE2 konnte nicht realisiert werden.

Als ein weiteres Verfahren der Sortierung wurde das Verfahren mittels NIR (Nah-Infrarot-Spektroskopie) untersucht.

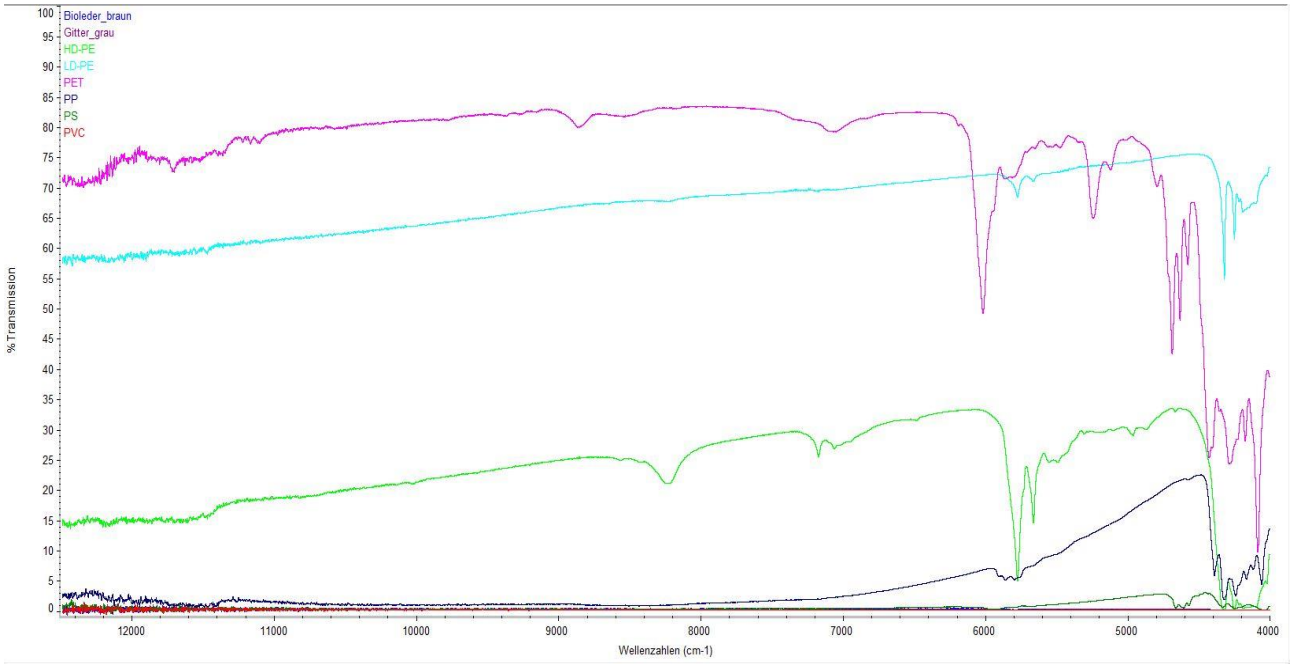

Abb. 3: NIR-Messung der recyclebaren Kunststoffe

Die transparenten Kunststoffe (PE-LD, PE-HD) konnten mittels NIR detektiert und damit auch aussortiert werden. Bei undurchsichtigen Kunststoffen konnte die NIR-Sortierung nicht stattfinden, da die IR-Strahlen die Probe nicht passieren konnten. Eine Sortierung mittels NIR war somit nicht möglich.

Ein Recycling im dualen System konnte aufgrund der nicht möglichen Sortierung somit nicht verwirklicht werden.

Arbeitspaket 3: Entwicklung Recyclinggerechtes Produktprototypes (Lüftungsgitter)

Nach dem die Upscaling-Versuche mit Erfolg abgeschlossen wurde, haben sich die Projektpartner auf zwei verschiedene Compounds für das Sockellüftungsgitter geeinigt. Dabei wurde der Co-Compound PE-PP mit 25% Holzanteil für den Spritzguss benutzt. Beim zweiten Compound wurde zusätzlich ein Grau-Masterbatch hinzugefügt, um besonders in der Optik dem originalen Sockellüftungsgitter übereinzustimmen.

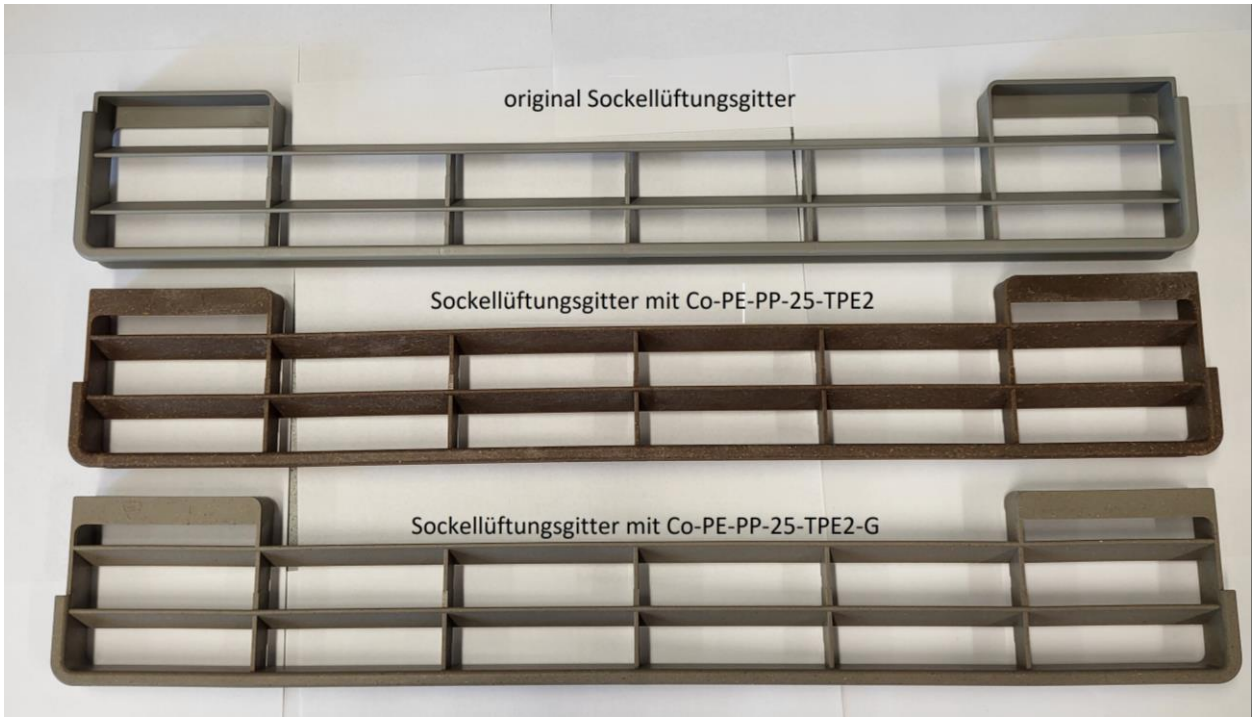

Abb. 4: Vergleich Sockellüftungsgitter

Der Spritzguss erfolgte ohne größere Probleme, es konnten Sockellüftungsgitter hergestellt werden, die vergleichbar mit dem Ausgangsprodukt sind.

Arbeitspaket 4: Berichterstattung und Abschluss

Im Arbeitspaket 4 wurden die Ergebnisse dokumentiert und der Abschlussbericht geschrieben. Gleichzeitig fand ein reger Austausch mit dem Projektpartnern zu den Ergebnissen statt.

- **Verwertung**

a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Aufgrund der geringen Projektlaufzeit und dem Ende der Arbeitsverträge der wissenschaftlichen Mitarbeiter wurde auf Erfindungen/Schutzrechtanmeldungen verzichtet.

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten werden gut eingeschätzt. Es wurden von der Fa. Allod bereits erste Muster verschickt, für Produkte, die ein Holz-TPE-Material substituieren können. Das Ramp-Up der Mengen findet aber langsamer statt, als erwartet.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten:

Das Hervorheben der Eigenschaften und des Verarbeitungsverhaltens verschiedener Holz-TPE-Mischungen in Extrusion und Spritzguss fand statt und die Ergebnisse waren hinsichtlich des gewünschten hohen Holzanteils erfolgsversprechend.

Auch die Untersuchung der Recyclingfähigkeit des Holz-BioTPS-Compounds konnte erfolgreich behandelt werden. Dies konnte beispielhaft für internes Recycling durch mehrfaches Einschmelzen der Compounds und Analyse der thermischen Schädigung durch mehrfache Belastung simuliert werden. Auch der Weg des Post-Consumer-Recyclings wurde durch die Nachstellung von üblichen Sortier- und Aufbereitungsmethoden für Abfälle analysiert und nachvollzogen. Damit ist die generelle Eignung des Compounds für das interne Recycling untersucht worden. Das Post-Consumer-Recycling konnte aufgrund fehlender Sortierung nicht realisiert werden.

Technische Arbeitsziele

Die Entwicklung des Werkstoffes (Holz-BioTPE), sowie die Verarbeitungsparameter des Compounds im Labor- und Industriemaßstab und die Prüfung der Eigenschaften des Holz-BioTPSCompounds sind positiv getestet worden. Dabei ist das Ziel, einen möglichst hohen biogenen (Holz-)Anteil im Compound zu realisieren berücksichtigt worden.

Die Konstruktion und Erprobung des Holz-BioTPE-Werkstoffes an einem Prototyp konnte erfolgreich vollzogen werden. Hierzu konnte ein komplexer Produktprototyp mithilfe des Holz-BioTPE erstellt und charakterisiert werden. Als Prototyp ist ein Lüftungsgitter bei Küchenmöbeln produziert worden, das aufgrund seines komplexen Spritzgusses als beispielhaftes Produkt ausgesucht wurde.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Wissenschaftlich:

Durch den Erfolg des Projektes kann ein Werkstoff basierend auf nachwachsenden Rohstoffen und industriellen Reststoffen hergestellt werden. Dies spart pro Tonne Holz ca. 1,8 Tonnen CO_2 ein und ermöglicht die längere Nutzung und sogar eine Aufwertung von Holzabfällen. Am Markt sind Kombinationen von TPE und Holz bisher weitgehend unbekannt, wodurch sich ein großes

Forschungsfeld eröffnet. Der Mehrwert des Holz-Zusatzes liegt neben den optischen und haptischen Eigenschaften in der Möglichkeit, anteilig Kunststoff zu ersetzen. Die Nutzung von einem TPE als Kunststoffbasis birgt den Vorteil, dass der Werkstoff bei niedrigeren Temperaturen verarbeitet werden kann. Basierend auf diesen Effekten (Erhöhung der Steifigkeit, niedrige Verarbeitungstemperatur, gute Mischbarkeit von TPE mit Holz – alles ohne Zusatz von Additiven) ist die Kombination von TPE und Holz sehr vielversprechend. Durch die Analyse und den Einbezug des Recyclingweges wird sichergestellt, dass der Werkstoff dem werkstofflichen Recycling zugeführt werden kann und damit in bestehende Systeme integriert werden kann. Aufgrund der Berücksichtigung des Recyclingweges und der Rohstoffauswahl (biobasiert) wird ein nachhaltiges Produkt geschaffen. Die Entwicklung eines komplexen Spritzgussbauteils erlaubt zudem eine Analyse zum Verhalten des Werkstoffes beim Spritzguss (Oberfläche, Schmelzverhalten und Füllung des Werkzeuges) und ebnet damit den Weg für die weitere Verarbeitung zu anderen Formen (z.B. Griffe oder Ummantelungen). Ein komplexes Bauteil wie ein Gitter bietet einen hohen wissenschaftlichen Anspruch, da Formungs- und Entformungsverhalten im Spritzguss nicht trivial sind und so wertvolle Daten für die Verarbeitung gesammelt werden können, die über die einfachen Formen wie Griffe hinausgehen.

Wirtschaftlich:

Übliche Wood-Polymer-Composites (WPCs) werden aus Polypropylen (PP), Polyethylen (PE) oder Polyvinylchlorid (PVC) und Holz mit einer Vielzahl Additiven verarbeitet. Meist beschränkt sich ihre Anwendung auf Terrassendielen, Blumentöpfe u.ä. Anwendungen. Das Holz-TPE weist eine komplett andere Eigenschaft auf, wodurch die Anwendungsgebiete von WPC erweitert werden können. Die Anwendung als veganes Leder ist sehr lukrativ, erfordert jedoch langjährige Entwicklung, deren Grundstein mit diesem Projektvorhaben gegeben wurde. Insbesondere die Anforderungen zur Haptik und Berührungsverträglichkeit sind herausfordernd, gleichzeitig ist es aber notwendig die Verarbeitung zu überprüfen. Es eignet sich der Spritzguss eines komplexen Bauteils zur Entwicklung eines Prototyps. Hierfür wurde ein Lüftungsgitter für die Küchenindustrie gewählt. Solche Gitter werden zu ca. 250 000 Stk. jährlich in Küchen verbaut. Üblicherweise werden diese Gitter aus Aluminium oder PP hergestellt. Aluminium wirkt hochwertiger, ist jedoch teurer und als Küchengitter ein eher unnötiger Einsatz einer begrenzen Ressource. Das Lüftungsgitter diente dabei primär als Lernanwendung für viele folgende Anwendungsmöglichkeiten, kann aufgrund des erfolgreichen Prototyps direkt in der Produktion angewendet werden. So kann der Werkstoff deutschlandweit zu 250 000 Stk. jährlich als Gitter in der Küchenmöbelindustrie verarbeitet werden. Als folgende potentielle Anwendungen werden Werkzeuggriffe, E-Bike-Griffe und Automobilinterieur (Lenkrad, Schaltknüppel, Griffe/Schalter) angestrebt. Hier ist das wirtschaftliche Potential immens – z.B. E-Bikes wurden 2020 zu 1,95 Mio. Stk. verkauft (d.h. ca. 4 Mio. Stk. Holz-BioTPS-Griffe) und es gibt in dieser Sparte wenig bis keine Bio-Kunststoff/Bio-Komposit Entwicklung (Ausnahme bildet Kork als reines Biomaterial).

- **Erkenntnisse von Dritten**

Im Oktober 2023 konnte die Hochschule Ansbach an einem Gemeinschaftsstand der Wirtschaftsförderung des Landkreises Ansbach an der FAKUMA (größte Fachmesse für Kunststoffe in Süddeutschland) teilnehmen. Die Messebesucher zeigten großes Interesse an den Compounds, so dass weitere Industrieprojekte möglich wären.

- **Veröffentlichungen**

Veröffentlichungen konnten in dem kurzen Zeitraum und mangels weiterführende Mitarbeiterverträge nicht realisiert werden.

ANHANG

Teilvorhaben 1: Materialeigenschaftenuntersuchung beim Recycling eines lederähnlichen BioTPS-Holz Werkstoffes

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Das Ziel dieses Teilvorhabens soll der erste Schritt bei der Entwicklung eines Holz-TPS-Verbundes sein, welcher ausgesprochen elastisch stoßdämmend und federnd wirkt und bei bestimmter Behandlung eine lederähnliche Haptik aufweist. Aufgrund dieser Eigenschaften könnte dieses innovative Material bei verschiedenen Anwendungen (z.B. bei Fahrradgriffen) Voll-TPE-Kunststoff ersetzen bzw. dessen Anwendungsbereich erweitern. Durch die lederartige Haptik und Optik, welche durch Holz generiert wird (Mehrwert von Holz im Produkt) könnte der Werkstoff echtes Leder ersetzen und ist, aufgrund der TPE – Basis des Werkstoffes recyclingfähig. Die Anwendung des Werkstoffes für Griffe und andere haptische Flächen wird als sehr vielversprechend gesehen, z.B. könnte im Automobilbereich für exklusives Interieur (Lederverkleidung, Tasten, Lenkrad, Schaltknüppel) der neuartige Werkstoff angewendet werden. So könnten nach eigener Schätzung ca. 1.500t Leder pro Jahr durch den Werkstoff ersetzt werden. Der Werkstoff wäre zudem recyclingfähig wie ein Thermoplast, kann also wiederverwendet werden. Mit der Entwicklung des Holz-TPE kann also ein ökologisch vorteilhafter Werkstoff entstehen, was für die ökologische Nachhaltigkeit von Unternehmen und deren Umweltmanagement wichtig ist. Zudem weist der Holz-TPE-Werkstoff eine andere Haptik auf als übliche Lederimitate, da die Oberflächenstruktur nicht durch die Verarbeitung des Werkstoffes entsteht, sondern durch das Holz als Inhaltstoff. Die physikalischen und thermischen Werkstoffeigenschaften sowie weitere Studien auf Haut- und Berührungsverträglichkeit werden mit Blick auf die potenzielle Anwendung als veganes Leder ermittelt. Der Spritzguss eines komplexen Bauteils erlaubt zudem die Verwendung des Komposites auch bei Bauteilen wie Lüftungsgittern, wodurch die Überführung in die Praxis möglich ist.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 2.3: Internes Recycling

Aufgrund der Entscheidung das Upscaling mit Co-PE-PP-25-TPE2 durchzuführen, wurde für das interne Recycling dieses Compound gewählt. Die Testung fand bei der Hochschule Ansbach statt. Die Prüfkörper wurden aus dem Mahlgut gespritzt und dabei insgesamt fünfmal rezykliert. Nach jedem rezyklieren wurden die Prüfkörper um Labor auf ihre mechanischen Eigenschaften getestet.

	Streckspannung	Streckdehnung	E-Modul	Schlagzähigkeit
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
Neuware (Allod)	23,6	10	1100	23,6
Neuware (HS Ansbach)	23,3	10	1750	
1. Recyclingzyklus	24,7	10	1640	41,7
2. Recyclingzyklus	24,2	10	1800	39,9
3. Recyclingzyklus	23,7	9	1760	41,5
4. Recyclingzyklus	23,9	10	1920	40,7
5. Recyclingzyklus	24,0	10	1810	40,7

Tab. 3: Materialeigenschaften von Co-PE-PP-25-TPE2 bei unterschiedlichen Recyclingzyklen

Die unterschiedlichen Recyclingzyklen wurden dabei mit Neuware-Prüfkörpern der Fa. Allod und der Hochschule Ansbach verglichen. Die unterschiedlichen Werte bei den Prüfkörpern der Fa. Allod und der Hochschule Ansbach entstanden durch die unterschiedlichen Prüfeinheiten an beiden Standorten.

Die Materialeigenschaften nach fünf Recyclingzyklen zeigten auf, dass sich bei der Streckspannung und Streckdehnung keine Unterschiede zu erkennen waren. Bei E-Modul und Schlagzähigkeit waren die Werte bereits ab den ersten Recyclingzyklus höher und blieben dann konstant.

Arbeitspaket 2.4: Post-Consumer-Recycling, Sortierung, Aufbereitung

Im Arbeitspaket 2.4 wurden das Post-Consumer-Recycling betrachtet. Zu einem wurde das Thema Pfandsystem bewertet. Nach Rücksprache mit der Fa. Schüller ist dies nicht umsetzbar. Aufgrund einer Küchenlebensdauer, bzw. -nutzung von ca. 15 – 20 Jahren ist das Pfandsystem nicht darstellbar.

Bei der Sortierung der Kunststoffe ist die Bestimmung der Dichte der erste Schritt. Die gängigen Kunststoffe mit Recyclingcode und das Compound Co-PE-PP-25-TPE2 wurden mit dem Gaspyknometer getestet und die Dichte ermittelt.

Kunststoff	Material-Recycling-Code	Dichte [g/cm³]
PET	1	1,38
PE-HD	2	0,94-0,97
PVC	3	1,38-1,40
PE-LD	4	0,915-0,935
PP	5	0,90-0,915

PS	6	1,05
Co-PE-PP-25-TPE2	Ohne	0,768

Co-PE-PP-25-TPE2 hatte die geringste Dichte, gefolgt von PP und PE-LD. Die Dichte PVC und PET war hingegen mit >1,35 g/m^3 am höchsten. Aufgrund der Ergebnisse war davon auszugehen, dass Co-PE-PP-25-TPE2 mit der geringsten Dichte sich im Schwimm-Sink-Verfahren von den anderen Kunststoffen trennen lässt.

Bei Schwimm-Sink-Verfahren spiegelten sich die Ergebnisse aus dem Pyknometer nicht mehr wider. Die zwei schweren Fraktionen PET und PVC konnten mittels dieses Verfahrens gut abgetrennt werden. Die Sortierung von PE-HD, PE-LD, PS und dem Co-PE-PP-25-TPE2 konnte nicht realisiert werden.

Als ein weiteres Verfahren der Sortierung wurde das Verfahren mittels NIR (Nah-Infrarot-Spektroskopie) untersucht.

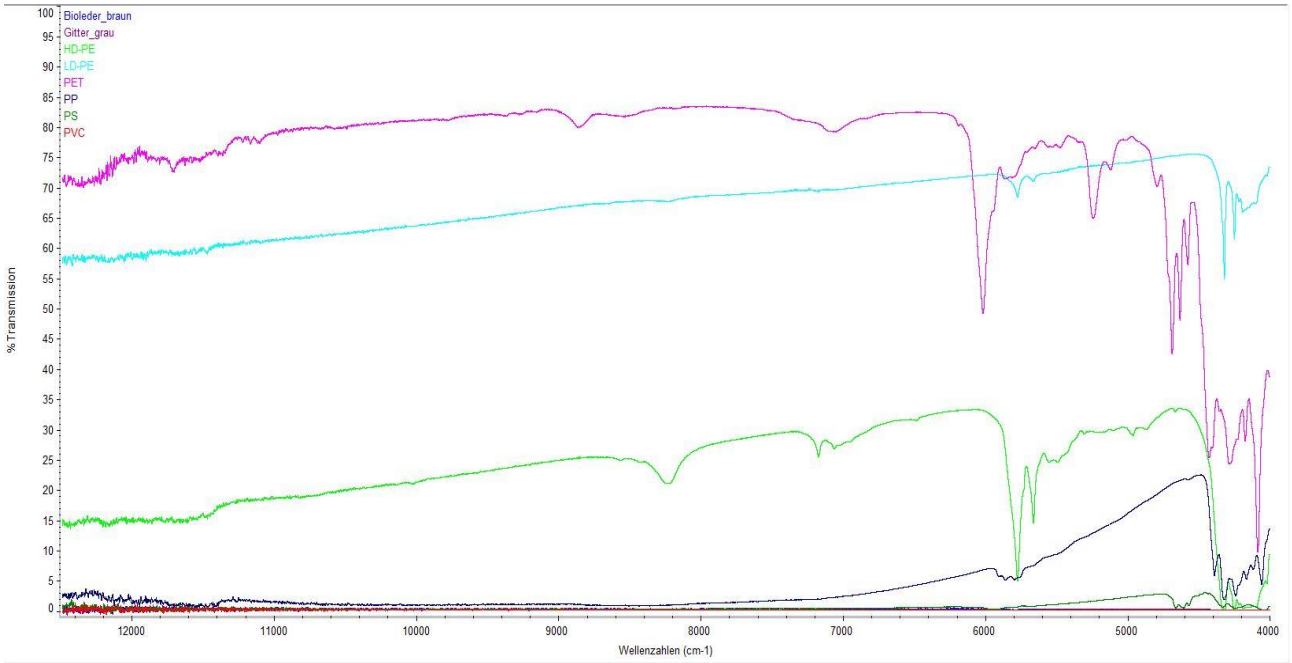

Abb. 5: NIR-Messung der recyclebaren Kunststoffe

Die transparenten Kunststoffe (PE-LD, PE-HD) konnten mittels NIR detektiert und damit auch aussortiert werden. Bei undurchsichtigen Kunststoffen konnte die NIR-Sortierung nicht stattfinden, da die IR-Strahlen die Probe nicht passieren konnten. Eine Sortierung mittels NIR war somit nicht möglich.

Ein Recycling im dualen System konnte aufgrund der nicht möglichen Sortierung somit nicht verwirklicht werden.

Zusätzlich wurden mit Co-PE-PP-25-TPE2 Hautverträglichkeits- und Zytotoxizitätstest von Fa. Senetics durchgeführt. Nach DIN EN ISO 10993-23:2021 hat das Compound Co-PE-PP-25-TPE25 keine irritierende Wirkung auf das verwendete 3D-Hautmodell und ist als „nicht irritierend“ einzustufen. Der durchgeführte Test auf Zytotoxizität nach DIN EN ISO 10993-5:2009-10 zeigt zytotoxisches Potential des Extraktes von Co-PE-PP-25-TPE2 auf L929-Zellen. Es entspricht daher nicht den Anforderungen der DIN EN ISO 10993-5:2009-10 und gilt als zytotoxisch.

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Das für den Prototyp benutzte Co-PE-PP-25-TPE2 ist im internen Firmenrecycling verwendbar. Nach 5 Recyclingversuchen konnte bei den Materialeigenschaften ähnliche Werte wie bei neuer Ware erzielt werden. Beim Post-Consumer-Recycling ist dabei die Sortierung des Holz-TPE-Compounds schwierig bzw. nicht möglich. Durch das im dualen System angewandte Schwimm-Sink-Verfahren war eine Trennung der Fraktionen mit einer Dichte <1 g/cm^3 nicht möglich. Zusätzlich wurde die Sortierung im NIR-Verfahren untersucht. Dies scheiterte aufgrund der Undurchlässigkeit der IR-Strahlen durch das nicht transparente Compound. Das Compound gilt als nicht hautirritierend aber als zytotoxisch.

Teilvorhaben 2: Holz-TPE

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Das Ziel des Teilvorhabens Holz-TPE ist die Substituierung von Kunststoff durch Holz, welches aktuell meist thermisch verwertet wird. Somit wird ein Werkstoff basierend auf nachwachsenden Rohstoffen und industriellen Reststoffen entwickelt. Zusätzlich hat die Nutzung von einem TPE als Kunststoffbasis den Vorteil, dass der Werkstoff bei niedrigeren Temperaturen verarbeitet werden kann. Basierend auf diesen Effekten (Erhöhung der Steifigkeit, niedrige Verarbeitungstemperatur, gute Mischbarkeit von TPE mit Holz – alles ohne Zusatz von Additiven) ist die Kombination von TPE und Holz sehr vielversprechend. Die Entwicklung eines komplexen Spritzgussbauteils erlaubt zudem eine Analyse zum Verhalten des Werkstoffes beim Spritzguss (Oberfläche, Schmelzverhalten und Füllung des Werkzeuges) und ebnet damit den Weg für die weitere Verarbeitung zu anderen Formen (z.B. Griffe oder Ummantelungen). Ein komplexes Bauteil wie ein Gitter bietet einen hohen wissenschaftlichen Anspruch, da Formungs- und Entformungsverhalten im Spritzguss nicht trivial sind und so wertvolle Daten für die Verarbeitung gesammelt werden können, die über die einfachen Formen wie Griffe hinausgehen.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

AP 2.1 Rezepturentwicklung

Die Firma Allod hat im ersten Materialscreening folgende Materialien in die engere Auswahl gebracht:

- Polyethylen PE
- Polypropylen-Polyethylen-Copolymer Co-PP-PE
- Polystyrol PS
- Acrynitril-Butadien-Styrol-Copolymer ABS
- Acrynitril-Styrol-Acrylat-Copolymer ASA

Darauf sind die Materialien mit verschieden Holzanteilen (0,5mm Siebung) versetzt worden und die Materialeigenschaften wurden analysiert.

Holzanteil	PE			Co-PP-PE			PS		
	Zugdehnung	Zugfestigkeit	E-Modul	Zugdehnung	Zugfestigkeit	E-Modul	Zugdehnung	Zugfestigkeit	E-Modul
[%]	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]
0	16	20,8	860	13	24,5	1140	5	26,4	2400
10	13	19,7	3340	9	21,7	1380	5	25	2900
30	8	19,3	1590	6	19,8	1640	5	26,6	4120
50	4	15	/	4	18,3	2860	4	26,1	/

Tab. 4: Materialuntersuchungen zum Rohstoff

Es zeigte sich, dass PS im Vergleich zu PE und Co-PE-PP sowohl bei der Zugfestigkeit als auch beim E-Modul bei steigendem Holzanteil einen deutlich höheren Wert erzeugte, währenddessen die Zugdehnung einen geringeren Wert aufwies. Sowohl bei PE mit 50% Holzanteil als auch bei PS mit 50% Holzanteil konnte das E-Modul nicht gemessen werden. Außerdem wurde festgestellt, dass sowohl bei PE und bei Co-PP-PE eine gute Verarbeitung möglich war, die Fließfähigkeit aber bei Co-PP-PE besser als bei PE war. Bei PS war die Verarbeitung schwieriger.

Die Materialien ASA und ABS wurden nach den ersten Versuchen bereits als nicht weiter verarbeitbar festgestellt. Es kam durch die zu hohe Schmelztemperatur zur Rauchentwicklung. Bei ASA bildete sich sofort und bei der Verarbeitung von ABS bei einem Holzanteil von 30% verkohltes Holz. Daraufhin wurden beide Materialen nicht mehr weiter in Betracht gezogen, da ein möglichst hoher Holzanteil im Ziel-Spritzguss-Objekt zu erreichen ist. Durch die Zugabe von SEBS wurde eine verbesserte Schlagzähigkeit des Materials erwartet.

Nach dem erfolgreichen ersten Projektreffen wurden vier verschiedene Rezepturen entwickelt, die in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt wird.

	PE-50-TPE1	**Co-PE-PP-50-TPE2**	**PS-50-TPE2**	**PE-50-TPE2**
PE [%]	33			33
Copolymer PE-PP [%]		33		
PS [%]			33	
Industrieholzabfall [%]	50	50	50	50
TPE [%]	17	17	17	17

Tab. 5: Compound-Rezepturen für die Vorversuche

Für die Bezeichnung der Materialien wurde folgender Code angewendet:

PE, Co-PE-PP, PS usw. entspricht der Matrix, die folgende Zahl spiegelt den Holzanteil [%] wider. Der Unterschied zwischen TPE1 und TPE2 ist, dass bei TPE1 ein SEBS mit langkettigen Molekülen und bei TPE2 ein SEBS mit kurzkettigen Molekülen verwendet wurde.

An der Hochschule Ansbach wurden die gefertigte Materialauswahl zunächst auf die Feuchtigkeit bei 80°C im Trockenschrank getestet.

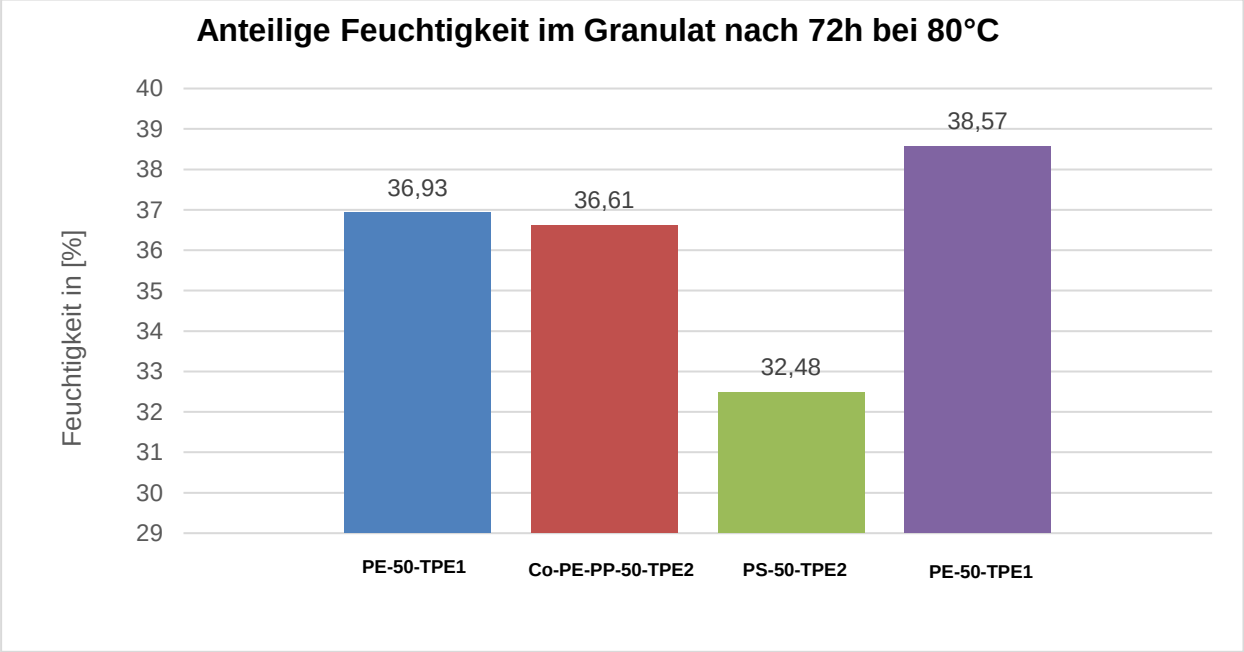

Abb. 6: Gravimetrische Bestimmung der Feuchtigkeit bei 80°C im Trockenschrank der Granulate

Die Feuchtigkeit des Granulats war bei PS mit 32,48% am geringsten. Sowohl bei PE-TEP1 und PE-PP-TEP2 lag die Feuchtigkeit bei ca. 37%. Der höchste Wassergehalt wurde bei PE-TEP2 gemessen. Die hohen Messwerte wurden auch durch die Haptik bestätigt.

Anschließend wurden die Granulate im Auflichtmikroskop bei einer 500fachen Vergrößerung genauer betrachtet.

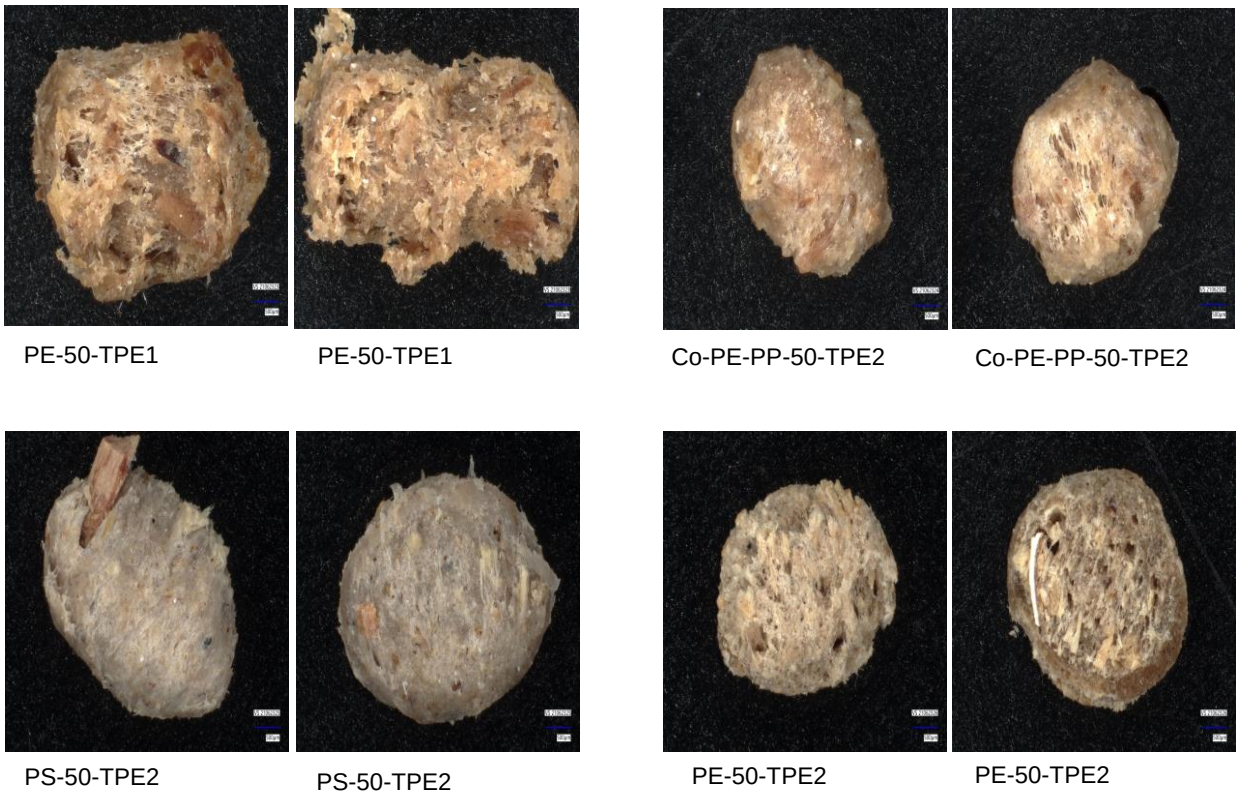

Abb. 7: Darstellung der Granulat-Oberflächen mittels Auflichtmikroskops bei 500facher Vergrößerung

Dabei wurde festgestellt, dass PE mit langkettiger SEBS eine deutlich rauere Oberfläche als die anderen Granulate aufweist.

Weitere Materialeigenschaften wurden bei der Fa. Allod analysiert. Neben Streckdehnung, -Spannung und E-Modul wurde auch die Schlagzähigkeit gemessen.

	Streckdehnung	**Streckspannung**	**E-Modul**	**Schlagzähigkeit**
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[%]	[N/mm²]	[N/mm²]	[kJ/m²]
PE-50-TPE1	8	8	1150	7,5
Co-Pe-PP-TPE2	5	8,1	1240	7,0
PS-50-TPE2	8	5,1	718	9,0
PE-50-TPE2	6	8,4	921	6,5

Tab. 3: Materialeigenschaften der Compounds mit 50 Gew.-% Holzanteil

Es stellte sich heraus, dass bei PS-50-TPE2 sowohl die Streckspannung als auch das E-Modul deutlich geringer war als bei den restlichen Compounds. Außerdem war die Schlagzähigkeit bei PS-50-TPE2 höher.

Beim Projektreffen am 26.06.2023 wurden die Vorversuche bemustert. Dabei wurde von der Fa. Mesko die geringe Festigkeit festgestellt, die für die Herstellung des Sockellüftungsgitters unabdingbar ist. Außerdem wurde bei den Compounds sehr starker säuerlicher Geruch festgestellt, der besonders im Wohnbereich unangenehm ist. Es wurde vereinbart, dass der Holzanteil auf 20 – 30 Gew.-% reduziert wird, um eine bessere Festigkeit zu erreichen und den Störgeruch zu minimieren.

Die Compounds aus der ersten Versuchsreihe sind bei der anschließenden Versuchsreihe mit der jeweiligen Matrixpolymer verdünnt worden und mit 30 Gew.-%, 25 Gew.-% und 20 Gew.-% Holz (0,5mm Siebung) versetzt worden. Dabei veränderte sich auch der TPE-Anteil im Compound. Bei 30 Gew.-% Holz war der TPE-Anteil 10 %, bei 25 Gew.-% 8,3 % und bei 20 Gew.-% Holz 7,3 % TPE. Um diese mit den Vorversuchen zu vergleichen, wurden die Materialeigenschaften untersucht.

	Streckspannung	Streckdehnung	E-Modul	Schlagzähigkeit
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
PE-30-TPE2	12,6	9	1160	13,5
PE-25-TPE2	14,1	11	1070	kein Bruch
PE-20-TPE2	15,3	12	1080	kein Bruch
Co-PE-PP-30-TPE2	14,8	8	1390	15,9
Co-PE-PP-25-TPE2	15,8	8	1180	17,4
Co-PE-PP-20-TPE2	17,1	9	1270	kein Bruch
PS-30-TPE2	9,0	6	1330	9,6
PS-25-TPE2	13,0	5	2260	8,3
PS-20-TPE2	16,1	5	2250	8,3

Tab. 4: Materialeigenschaften der Vorversuche mit 20 Gew.-% und 25 Gew.-% Holzanteil

Sowohl bei Co-PE-20-TPE2 als auch bei PE-25-TPE2 und PE-25-TPE war die Schlagzähigkeit am größten. Um das Ziel den Spritzguß des Sockellüftungsgitters zu erreichen, wurde sich für das Upscaling auf ein Holzanteil von 20 – 25 Gew.-% geeinigt. Außerdem wurde auf die Polymermatrix Polystyrol aufgrund der geringeren Schlagzähigkeit beim Upscaling verzichtet.

Arbeitspaket 2.2: Upscaling

Ziel dieses Arbeitspakets war die Ermittlung der Rezepturen, die im großen Maßstab angewendet werden können und deren Eigenschaften zu ermitteln. Daraus wurden von der Fa. Allod neue Rezepturen mit dem Holzanteil 20 und 25 Gew.-% erstellt. Außerdem wurden der Matrix-Polymer Co-PE-PP zusätzlich einmal 2% Silikonbatch und 2% grauer Masterbatch hinzugefügt. Der graue Masterbatch wurde zur Einfärbung des Gitters eingesetzt, damit das Sockellüftungsgitter dem originalen Sockellüftungsgitter farblich gleichgesetzt werden kann. Durch die Zugabe des Silikonbatch wurde versucht eine höhere Schmierung des Systems bei der Verarbeitung zu erzielen.

	Holzanteil	TPE	Zusatz
	Berechnet	berechnet	
	[%]	[%]	
Co-PE-PP-25-TPE2	25	13,3	
Co-PE-PP-20-TPE2	20	14,1	
PE-25-TPE2	25	13,3	
PE-20-TPE2	20	14,1	
Co-PE-PP-25-TPE2-S	25	13,3	2% Silikonbatch
Co-PE-PP-25-TPE2-G	25	14,1	2% Grau-Masterbatch

Tab. 5: Rezepturen für das Upscaling

Die anschließende Untersuchung der Materialeigenschaften wurde bei der Fa. Allod durchgeführt.

	Streckspannung	Streckdehnung	E-Modul	Schlagzähigkeit
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
Co-PE-PP-25-TPE2	23,6	10	1100	23,6
Co-PE-PP-20-TPE2	22,7	11	1460	30,9
PE-25-TPE2	19,3	10	1390	14,6
PE-20-TPE2	18,6	11	1080	19,9
Co-PE-PP-25-TPE2-S	22,6	11	1370	23,8
Co-PE-PP-25-TPE2-G	23,0	11	1770	20,4

Tab. 6: Materialeigenschaftsuntersuchungen bei Upscaling

Es zeigte sich, dass das Compound Co-PE-PP-20-TPE2 die größte Schlagzähigkeit aufwies. Sowohl bei PE-25-TPE2 als auch mit 20 Gew.-% Holzanteil lag die Schlagzähigkeit unter 20. Bei den Compounds mit den Zusätzen kam es zu keiner wesentlichen Verschlechterung der Materialeigenschaften.

Im Antrag dieses Projekts wurde eine teilbiobasierten TPEs als Matrix angeführt. Aufgrund fehlender Lizenzen war es der Fa. Allod nicht möglich die Matrix-Polymere auf biobasiertem Ursprung zu

beschaffen. Die Hochschule Ansbach hatte in Rücksprache mit der Fa. Allod die Möglichkeit biobasiertes Polymer zu kaufen. Man einigte sich das biobasierte Äquivalent von Co-PE-PP zu untersuchen. Dabei wurden folgende Materialeigenschaften festgestellt.

	Streckspannung	**Streckdehnung**	**E-Modul**	**Schlagzähigkeit**
	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	DIN EN ISO 527	in Anlehnung an DIN EN ISO 179-1
	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]	[kJ/m²]
Co-PE-PP-25-TPE2 -B	23,8	13	1890	24,7

Tab. 7: Materialeigenschaften des biobasierten Co-PE-PP

Das biobasierte Co-PE-PP wies die gleichen Materialeigenschaften wie die konventionelle Variante auf. Bei dem für das Sockellüftungsgitter wichtige Kriterium Schlagzähigkeit zeigte das biobasierte Compound einen vergleichbaren Wert. Aufgrund der geringen zu beschaffenden Menge war ein Upscaling-Versuch nicht umzusetzen, so dass die Fa. Mesko ein Sockellüftungsgitter aus diesem Compound nicht spritzgießen konnte.

Es wurde beim Projekttreffen am 21.09.2023 bei der Fa. Mesko beschlossen, für den Spritzguss der Sockellüftungsgitter das Compound Co-PE-PP-25-TPE2 einzusetzen. Zusätzlich wird eine Charge mit Co-PE-PP-25-TPE2-G hergestellt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war zu einem das Ziel eines hohen Holzanteils, die guten Werte der Schlagzähigkeit und die vergleichbaren Werte mit einer Matrix-Polymer mit biobasiertem Ursprung.

Arbeitspaket 3: Entwicklung Recyclinggerechtes Produktprototypes (Lüftungsgitter)xx

Nach dem die Upscaling-Versuche mit Erfolg abgeschlossen wurde, haben sich die Projektpartner auf zwei verschiedene Compounds für das Sockellüftungsgitter geeinigt. Dabei wurde der Co-Compound PE-PP mit 25% Holzanteil für den Spritzguss benutzt. Beim zweiten Compound wurde zusätzlich ein Grau-Masterbatch hinzugefügt, um besonders in der Optik dem originalen Sockellüftungsgitter übereinzustimmen.

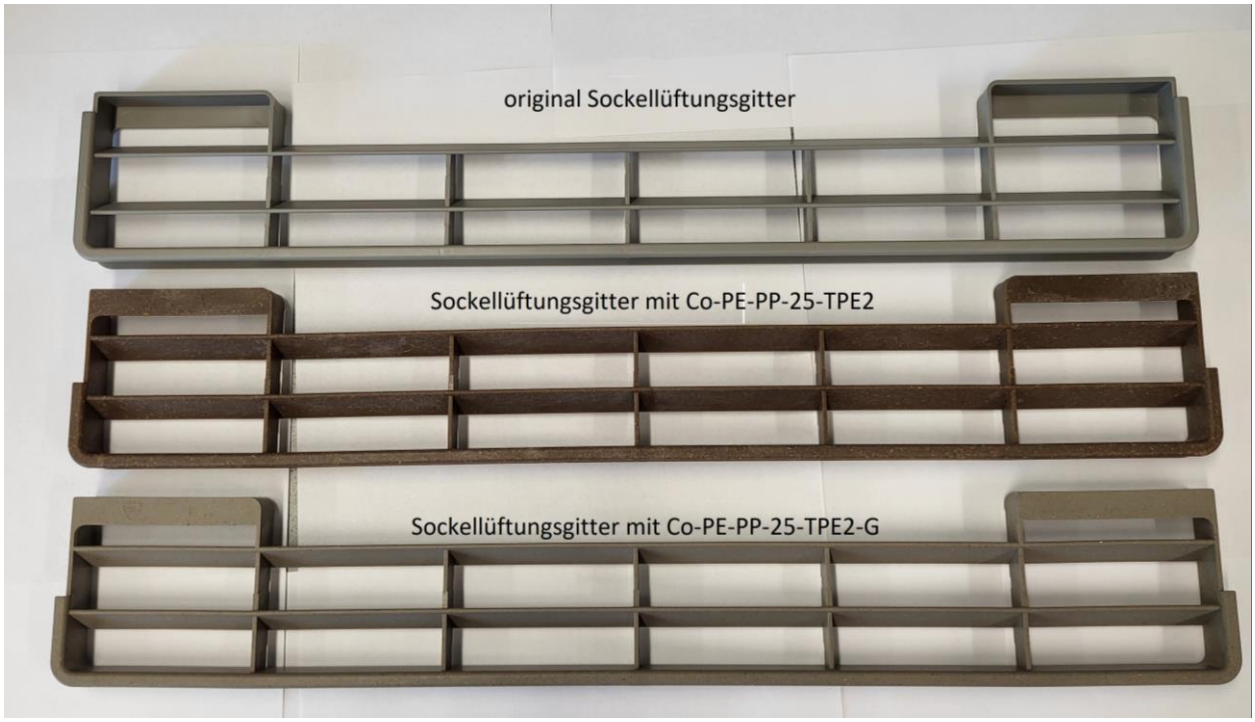

Abb. 8: Vergleich Sockellüftungsgitter

Der Spritzguss erfolgte ohne größere Probleme und es konnten Sockellüftungsgitter hergestellt werden, die vergleichbar mit dem Ausgangsprodukt sind.

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Nachdem bei den Vorversuchen bereits mit einem hohen Holzanteil bei den Matrix-Polymeren PE und Co-PE-PP sehr gute Materialeigenschaften erzielt wurden, konnten diese aufgrund des komplexen Ziel-Spritzgussteisl in den Upscaling-Prozess übernommen werden. Durch Zugabe eines graugefärbten Master-Batches (Co-PE-PP-25-TPE2-G) und einen Holzanteil von 25 Gew-% wurde ein Prototyp spritzgegossen, der mit dem Originalen-Bauteil vergleichbar ist. Somit konnte das Verständnis über die die Verarbeitung biobasierter Füllstoffe im Zuge des Projekts bei der Fa. Allod deutlich vertieft werden. Ziel ist es, eine breitere Platzierung der Produktpalette bei der Fa. Allod zu erreichen. Außerdem wird eine ISCC+ Zertifizierung für eine Diversifizierung der Rohstoffquellen im Anschluss an das Projekt in Betracht gezogen, so dass die Fa. Allod biobasierte Rohstoffe in Zukunft einkaufen kann.