

Wood Plastic Composites – Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern

W. Stadlbauer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

63/2010

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Wood Plastic Composites – Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern

Dr. Reinhard Forstner
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Mag. Erik Sehnal, DI Mathias Daniel
Cincinnati Extrusion

DI Klaus Feichtinger, Georg Weigerstorfer, Roland Huber
EREMA - Engineering Recycling Maschinen
und Anlagen GmbH

Mag. Michael Theurl, DI Michael Oberloier, Rudolf Müller
Theurl Leimholzbau

Dr. Wolfgang Stadlbauer, DI (FH) David Wimmer, Franz
Hartl, Ing. Karl Moser, Ing. Andreas Gösweiner
TCKT

Wels, März 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Kurzfassung	5
Abstract	6
1. Projektabriss	7
1.1 Ausgangssituation / Motivation.....	7
1.2 Inhalte und Zielsetzung.....	8
1.3 Beschreibung der angewandten Methodik.....	9
1.3.1 Ausloten des Eigenschaftsportfolios.....	9
1.3.2 Technologieentwicklung.....	10
1.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	11
1.5 Ausblick.....	11
2. Einleitung.....	12
2.1 Allgemeines	12
2.2 Überblick über die allgemeine Marktsituation	13
3. Ziele des Projektes	17
4. Stand der Technik	19
4.1 Ergebnisse der Literaturrecherche	19
4.2 Herstellung der Refinerfasern (Refiner-Pulping-Prozess).....	20
4.3 Allgemeine Anwendung von Refinerfasern.....	21
4.4 Aufbereitung und Verarbeitung von WPC.....	22
4.4.1 Extrusionsverfahren.....	23
4.4.2 Spritzguss.....	27
4.4.3 Palltruder.....	27
4.4.4 Heiz-Kühlmischer.....	28
4.4.5 KAG Erema (Schneidverdichter).....	29
5. Inhalte und Ergebnisse des Projektes.....	31
5.1 Verwendete Methoden und Daten.....	31
5.2 Voruntersuchungen zur Ermittlung des Eigenschaftsprofils.....	34
5.2.1 Herstellung der Prüfkörper.....	34
5.2.2 Ergebnisse und Diskussion.....	39
5.3 Evaluierung des Eigenschaftspotentials.....	50
5.3.1 Variation des Basispolymeres.....	50
5.3.2 Faserlängenvergleich Refinerfasern.....	53
5.4 Vergleich verschiedener Verarbeitungsverfahren.....	56
5.4.1 Schneidverdichter.....	56
5.4.2 Extruder.....	58
5.5 Faserlängenabbau.....	61

5.6 Technologische Lösung für eine kontinuierliche Faserdosierung.....	70
5.7 Verfahrensvergleich.....	72
5,7,1 Technologischer Vergleich.....	72
5,7,2 Wirtschaftlicher Vergleich.....	75
6. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie.....	77
7. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen.....	79
8. Ausblick / Empfehlungen	80
Literaturverzeichnis.....	81
Abbildungsverzeichnis	83
Tabellenverzeichnis.....	86

Kurzfassung

Der holzähnliche Werkstoff WPC- Wood Plastic Composites - bestehend aus Holzspänen und 15 bis 80 % thermoplastischem Kunststoff - verarbeitet mit Fertigungstechnologien der Kunststoffbranche, hat sich am europäischen Markt fest etabliert. Im Hinblick auf die jährlich stark steigenden Absatzmengen am größten WPC Markt in Nordamerika werden dieser Werkstoffgruppe auch am heimischen Kunststoffmarkt starke Zuwachsraten prognostiziert. Während der amerikanische WPC Markt von Polyethylen PE und auch Polyvinylchlorid PVC dominiert wird, werden in Europa die umweltfreundlicheren Polyolefine und hier vor allem Polypropylen PP bevorzugt. Eines der größten Schwächen dieser Werkstoffrezepturen ist die stark sinkende Schlagzähigkeit mit steigendem Holzgehalt. Teilweise geht der Trend neuer WPC- Anwendungen daher wieder in Richtung sinkender Holzanteile, um anspruchsvolle Produkte mit ausreichender Zähigkeit anbieten zu können.

Ziel der Entwicklung der Holzkunststoffmaterialien muss es aber sein, im Hinblick auf eine steigende stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, den Holzanteil weiter zu erhöhen. Die dabei notwendige Steigerung der Funktionalität des Holzes im Verbund ist durch den Einsatz von langen Holzfasern, so genannten Refinerfasern möglich. Die derzeitige Holzform ist verfahrenstechnisch bedingt auf länglich/kubische Holzpartikel beschränkt.

Im Rahmen dieses Projektes wurden durch die Zusammenarbeit von Maschinenherstellern, WPC Produzenten und wissenschaftlichen Einrichtungen neue wirtschaftliche Technologien sowohl für die Extrusion als auch für den aufstrebenden Markt des WPC-Spritzgusses untersucht, um Refinerfasern als Verstärkungsfasern in Kunststoffverbunde einsetzen zu können.

Nach erfolgter Eigenschaftsauslotung der WPC Compounds mit Refinerfasern in den verschiedenen Verarbeitungsprozessen im ersten Projektjahr wurden im zweiten Jahr des Projektes Versuche zur technologischen Lösung mit der Direktdosierung der Fasern in den Extruder durchgeführt. Dabei hat sich das Eigenschaftsprofil der WPC Compounds mit Direktdosierung nicht wesentlich von jenem der Extrusionsversuche mit pelletierten Fasern unterschieden. Die wirtschaftlichen Gründe sprechen aber auf jeden Fall für den Einstufenprozess.

Es wurde ein neues, revolutionäres Verfahren zur Förderung und Dosierung dieser bislang als nicht dosierbar eingestuft Fasern entwickelt und eine Prototypenanlage wurde erfolgreich in Betrieb genommen.

Abstract

Wood Plastic Composites (WPC), the wood like materials consisting of wood shavings and 15 to 40 % thermoplastic resin which are processed by manufacturing technologies of the plastics industry, have been strongly established in the European market. The prediction for this material group is a strong increase in the Austrian polymer market, regarding to the annual increasing sales volume in the biggest WPC market in North America in the next years. Whereas the American WPC market is dominated by Polyetyhylen (PE) and Polyvinylchloride (PVC) the more environmental friendly polyolefins mainly Polypropylene are preferred in Europe. One of the weaknesses of these material formulations is the serious decrease in impact strength with increasing wood content. Thus new WPC applications tend into the direction of lower wood content to offer ambitious products with sufficient toughness.

In the view of an increasing material-oriented use of renewable raw materials the aim of the development of wood plastic composites must be the increase of the wood content. Thereby the necessary enhancement of the functionality of the wood in the compound is only possible by the use of long fibres of wood, the so called "Refiner" fibres. At present the wood form is procedural limited to oblong/cubic particles. Aim of this project is to investigate new economic technologies for the possibilities of Refiner fibres as reinforcement fibres for extruded and injection moulded WPC. This is implemented by cooperation of machine manufacturers, a WPC producer, and a scientific facility.

In the first year the specification of refiner fiber compounds in different processes was tested, which is the basis for the technological approach to realize the direct extrusion technology. The expected specification profile of the gained WPC compounds from the direct extrusion process did not differ significantly to the one of an extrusion compound with pelletized fibers. From the economical point of view the single-step-process is the favourite one.

A new and unique process for feeding and dosing of this fibers has been developed and a prototype was implemented in an fibre-extrusion line

1. Projektabriss

1.1 Ausgangssituation/Motivation

„**Wood Plastic Composites WPC**“ sind Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe, welche die vorteilhaften Eigenschaften des Holzes (dessen Anteil beträgt je nach Anwendung und Verarbeitungsverfahren bis zu 85 %) mit denen von Kunststoffen vereinen und mit den nahezu abfallfreien und wirtschaftlichen Verarbeitungsmethoden der Kunststoffindustrie hergestellt und in komplexe Produkte umgeformt werden können.

In den letzten Jahren haben sich die WPC's am europäischen Nischenmarkt etabliert. Im Hinblick auf die jährlich stark steigenden Absatzmengen am größten WPC Markt in Nordamerika werden dieser Werkstoffgruppe auch am heimischen Kunststoffmarkt starke Zuwachsraten prognostiziert (1, 2, 3). Während der amerikanische WPC Markt von Polyethylen PE und auch Polyvinylchlorid PVC dominiert wird, werden in Europa generell fast ausschließlich die umweltfreundlicheren Polyolefine, und hier vor allem Polypropylen PP, bevorzugt. Das größte Hindernis der PP- WPC's in der Marktentwicklung ist aber deren wesentlich geringere Schlagzähigkeit gegenüber Holz und Kunststoff. Neueste Entwicklungen am Markt zeigen bereits, dass für die Herstellung anspruchsvoller Produkte der Trend wieder in Richtung geringerem Holzanteil geht, um eine ausreichende Schlagzähigkeit der WPC's zu erhalten (6).

Aus technischen Gründen (Förderung und Dosierung) werden bei der WPC-Herstellung derzeit nur Holzspäne verwendet. Diese besitzen ein aspect-ratio (d.h. Längen- zu Dicken-Verhältnis) von maximal 5, wodurch man nicht von Fasern sprechen kann (siehe Abbildung 1). Speziell für die Verbesserung der Schlagzähigkeit ist jedoch der Einsatz von Holzfasern (hier vor allem Refinerfasern) notwendig, da nur diese in der Lage sind, die schlagartig eingebrachte Energie im Werkstoffverbund zu absorbieren und damit die Schlagzähigkeit merklich zu erhöhen. Neben diesen technischen Gründen spricht aber auch der nicht unbeträchtliche Preisvorteil für den Einsatz von Refinerfasern.

Für die Methoden in der Kunststoffverarbeitung (wie Extrusion und Spritzguss) stellen aber die Refinerfasern (so wie auch viele andere Fasern, speziell die meisten Naturfasern) ein großes Problem dar, da sie normalerweise „verfilzen“ und dadurch ein „Gewölle“ bilden, wodurch sie nicht mehr förder- und dosierbar sind (siehe Abbildung 2)



Abb. 1: „Klassische“ Holzfasern für die WPC-Verarbeitung



Abb. 2: Refinerfasern

1.2 Inhalte und Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel und Inhalt dieses Projektes ist die Verwendung von „wirklichen“ Holzfasern (d.h. Fasern, welche ein Aspect ratio > 50 aufweisen) als Rohstoff für Wood Plastic Composites, um einerseits die technische Performance dieser Werkstofffamilie entscheidend zu verbessern (vor allem hinsichtlich Schlagzähigkeit) und andererseits auch die Kostensituation zu optimieren.

Das generelle Ziel aller Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Wood-Plastic-Composites (WPC) ist es, im Hinblick auf eine steigende stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, den **Holzanteil auf hohem Niveau** zu erhalten, bzw. weiter zu erhöhen, ohne dabei einen Verlust an signifikanten Materialeigenschaften in Kauf zu nehmen. Trotz einer sinkenden Menge des Kunststoffes im Verbund sollten dabei ausgewählte Eigenschaften gesteigert werden. Dies ist nur durch eine steigende Funktionalisierung des Holzes möglich. Das größte Potential dabei besitzt die Verwendung von langen Holzfasern, so genannten **Refinerfasern** als Verstärkungsmaterial. Deren Einsatz für WPC in Extrusion und Spritzguss ist aufgrund **des großen Volumens und dem Verfilzen der Fasern („Gewöllebildung“)**, wodurch die Fasern nicht förder- und dosierbar sind, zurzeit noch nicht möglich.

Im Rahmen dieses Projektes wurden durch die Zusammenarbeit von Maschinenherstellern, WPC-Produzenten und eines F&E-Institutes mit langjähriger Erfahrung im WPC-Bereich neue wirtschaftliche Technologien für die Dosierung und Verarbeitung von Holzfasern mit anschließender Formgebung entwickelt, um hochwertige WPC Produkte mit gesteigerten Eigenschaften bei geringerem Thermoplasteinsatz zu erhalten.

Das Hauptziel des Projektes war dabei:

„die deutliche Eigenschaftsverbesserung der WPC durch wirtschaftliche Verwendung von langen Holzfasern“

Dieses Ziel wurde durch die Erfüllung mehrerer Einzelziele erreicht. Diese sind:

- Entwicklung einer neuen Direktextrusionstechnologie für Refinerfasern als wirtschaftliche Form der WPC Produktion
- Erarbeiten einer alternativen Verarbeitungstechnologie zur WPC Granulatherstellung für Extrusion und Spritzguss
- Maximieren des Holzanteils nach Eigenschaftsprofil und Verarbeitbarkeit
- Optimieren des Direktextrusionsprozesses und des Spritzgussprozesses
- Schaffung des technologischen und werkstofflichen Basiswissens für die Herstellung von marktfähigen Produkten plus wirtschaftliche Bewertung beider Verfahren

1.3 Beschreibung der angewandten Methodik

Die Methodik dieses Projektes beruhte auf einer strukturierten und zielgerichteten Miteinbeziehung aller Projektpartner in allen Arbeitsschritten. Dabei stellte die Multidisziplinarität des Projektteams aus wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Partnern eine ideale Kombination für eine wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung dar. Es wurden periodische Arbeitssitzungen abgehalten, um alle Projektpartner auf den gleichen Informationsstand zu bringen. Die darauffolgenden Diskussionen trugen erheblich zum positiven Projektabschluss bei.

1.3.1 Ausloten des Eigenschaftsportfolios

In umfangreichen Vorversuchen wurde das unter Verwendung von Refinerfasern erzielbare Eigenschaftsspektrum von WPC`s mit unterschiedlichen Faseranteilen evaluiert. Neben dem Einfluss des Faseranteiles wurde auch das Polymer (PP-Homo- und Copolymere mit verschiedenen Viskositäten) und der Herstellprozess (Knetter, Compounder) variiert. Es wurden sowohl die mechanischen Eigenschaften der Composites als auch die Faserschädigung durch den Herstellprozess ermittelt. Durch diese Voruntersuchungen war es möglich, innerhalb kürzester Zeit und mit geringen Materialmengen eine große Anzahl an Materialdaten zu generieren.

Die generelle Methodik für diese Voruntersuchungen wird durch folgende Abbildung symbolisiert:

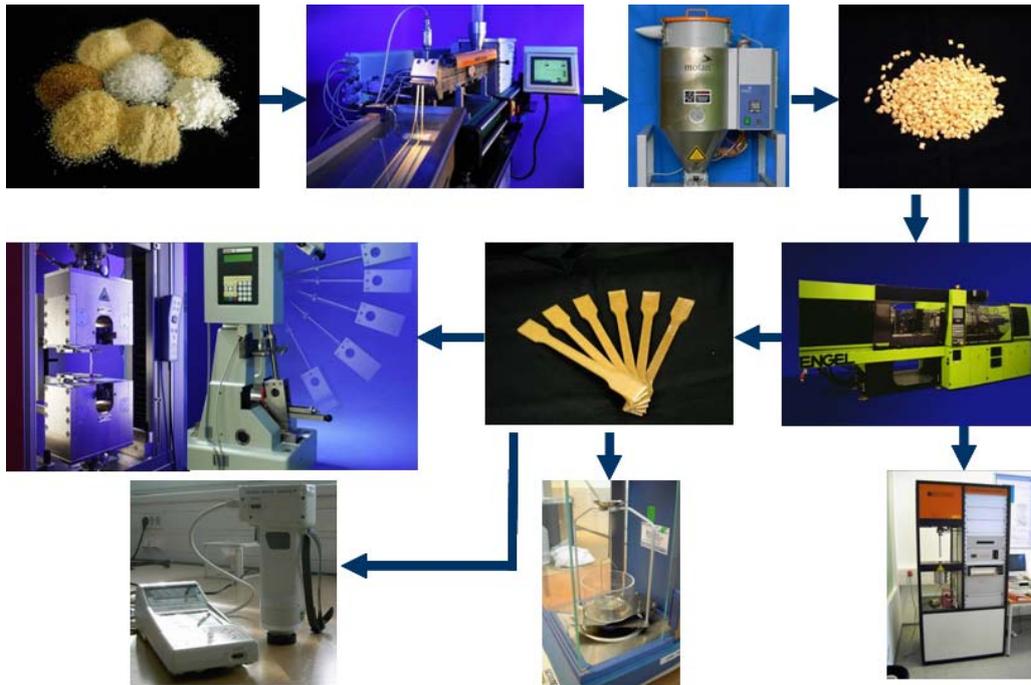


Abb 3: Schematische Darstellung der für die Ermittlung des Eigenschaftspotentials von Refinerfasern angewandten Methodik (4)

Ausgehend von den ausgewählten Rohstoffen wurde mittels unterschiedlicher Mischprozesses (z.B. Knetter, Compounder,...) ein Granulat oder direkt eine Prüfplatte hergestellt. Das beim Compoundieren anfallende Granulat wurde mittels Spritzgießprozess in Universalprüfkörper umgeformt, welche anschließend für die Materialprüfung (mechanisch, thermisch und rheologisch) verwendet wurden

1.3.2 Technologieentwicklung:

Zur Lösung des Problems der Förderung und Dosierung der Refinerfasern wurden mehrere Wege evaluiert:

- Pelletieren der Fasern
- Diskontinuierlicher Mischprozess (Knetter)
- Kontinuierliche Förderung durch Verwendung einer in der Recyclingindustrie angewendeten Technologie

Sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen hat sich die dritte Technologieoption als die geeignetste erwiesen.

1.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Refinerfasern weisen in Polypropylen-basierenden Compositewerkstoffen ein sehr ausgewogenes Eigenschaftsportfolio auf und sind daher als aktive Verstärkungsfasern aus technischer Sicht sehr gut geeignet.

Die bis dato nicht mögliche Förderung und Dosierung dieser Fasern wurde nun im Rahmen dieses Projektes durch eine enge und sehr konstruktive Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern (F&E-Institut, 2 Maschinenhersteller, 1 potentieller WPC-Hersteller) gelöst und die für die weiterführenden Untersuchungen notwendige Demonstrationsanlage beim F&E-Institut entwickelt und aufgebaut. Mit dieser Anlage ist einerseits die Direktextrusion von Profilen unter Verwendung von Refinerfasern möglich, andererseits kann sie auch als Compounder zur Herstellung von Granulat für den Extrusions- und Spritzgießprozeß fungieren.

In diesem Projekt wurde gezeigt, dass eine Direktdosierung für die Extrusion von Refinerfasern möglich ist. Erste Demonstrationsobjekte und Profile wurden bereits hergestellt, welche die technologische Umsetzung beweisen. Die beteiligten Firmenpartner sind mit der kommerziellen Umsetzung beschäftigt und möchten ehest möglich diese Technologie auf den Markt etablieren.

Die ersten Testläufe mit dieser Anlage bestätigen die Ergebnisse der sehr umfangreichen Vorversuche und demonstrieren das Potential dieser Faser sehr eindrucksvoll. Neben den Refinerfasern wurden bereits auch Hanf- und Flachsfasern ersten positiven Testläufen unterzogen.

1.5 Ausblick

Die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Anlagentechnologie besitzt das Potential, viele derzeit als nicht dosier- und förderbar eingestufte Natur- und synthetische Fasern für Compositewerkstoffe verarbeitbar zu machen. Durch den Einsatz von „echt faserartigen“ Rohstoffen können sich neue Eigenschaftsbereiche für Naturfasercomposites eröffnen, wodurch diese noch stärker wettbewerbsfähig gegenüber Glasfasern werden.

2. Einleitung

2.1 Allgemeines

Bereits zu Beginn der Entwicklung von Kunststoffen wurde versucht, durch Beimischen von anderen Stoffen die Eigenschaften gezielt zu verändern bzw. die Rezepturen zu verbilligen. Dabei wurden von Anfang an neben den „klassischen“ anorganischen Füllstoffen (Kreide, Talkum,...) auch Naturfasern als Zusatzstoffe verwendet.

Schon Baekeland – der Erfinder des ersten „Kunststoffes“ - begann ab Beginn des 20. Jahrhunderts sein von ihm erfundenes „Bakelite“ (Phenolharzkondensat) mit Holzfasern zu verstärken. Auch anorganische Bindemittel wurden früher mit Holzfasern verstärkt oder gefüllt, so z.B. das Steinholz oder Xylolith, ein auf Basis Magnesiumoxid beruhender Werkstoff für Fußböden, welcher im 19. und Beginn des 20. Jahrhundert breite Verwendung gefunden hat (5).

Mit dem Aufkommen der synthetischen anorganischen Fasern (Glas, später dann Aramid, Carbon, Kevlar,...) verloren die Naturfasern immer mehr an Bedeutung, da diese Fasern hervorragende mechanische Eigenschaften und eine sehr gute Prozessfähigkeit aufweisen. Erst durch das zunehmende Umweltbewusstsein in den letzten zwei Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts und durch manche technische Nachteile der synthetischen Fasern gewannen die natürlichen Fasern wieder mehr Interesse. Aber erst in den letzten Jahren entwickelte sich eine wirkliche industrielle Nachfrage nach Naturfasern, speziell durch die Automobilindustrie. Aktuell werden in der deutschen Automobilindustrie ca. 20.000 Tonnen Naturfasern (ohne Holz und Baumwolle) pro Jahr eingesetzt, in ganz Europa ungefähr 25.000 Tonnen. Den größten Anteil daran haben der Flachs, gefolgt von Hanf, Jute, Kenaf und Sisal. Das Potential in diesem Segment wird auf ca. 50.000 Tonnen im Jahr 2005 geschätzt (7).

Die Wood Plastic Composites (WPC) stellen nun eine Sonderform der Naturfaser-Verbundwerkstoffe dar. Man versteht darunter Werkstoffe aus Holz (Späne und/oder Mehl) und Kunststoff, welche durch das Einmischen der Holzbestandteile in die Kunststoffschmelze hergestellt werden.

Definition (ÖNORM B 3030): „Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoff (WPC)“

„Werkstoff, der aus vorwiegend lignozellulosehaltigen Teilchen (z.B. Holz, verholzten Pflanzen, Agrofaser) sowie aus thermoplastisch verarbeitbaren Polymeren als Matrix durch einen formgebenden Prozeß zu einem Verbundwerkstoff hergestellt wird. Die dabei erzielbaren Massenteile am fertigen Produkt an Lignozellulosematerial liegen in der Regel zwischen 25% und 85%,“



Abb. 5: Sockelleiste (10)



Abb. 6: Decking (11)

Von den weltweit ca. 200 produzierenden Firmen im WPC- Bereich ist die absolute Anzahl der Anbieter folgend verteilt:

- USA 53%
- Europa 39%
- Asien 7%
- Afrika und Australien je 1%

Dabei entfallen aber vom weltweiten WPC- Umsatz alleine 22% auf die Firma Trex, gefolgt mit 8% von der Firma Timbertech und 7% von Fibertech, jeweils aus der USA. (12)

Eine genaue Aufteilung der WPC- Marktsituation von Nordamerika ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

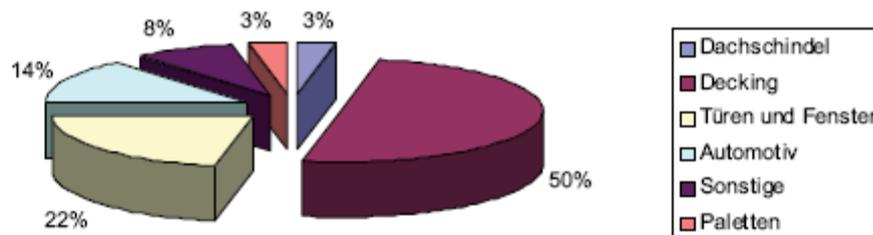


Abb. 7: Marktsituation USA (5)

Die Jahresproduktion von Nordamerika lag im Jahr 2005 bei ca. 700.000 t

In Europa schätzen die Experten die derzeitige WPC- Produktion auf etwa 100.000 t/Jahr (2006) (siehe Abbildung 9). Dabei wird für das Jahr 2010 von einer Steigerung der Produktion in den USA auf ca. 1.600.000 t, in Europa auf ca. 270.000 t ausgegangen.

In Europa ist die Aufteilung von Outdoor- zu Indooranwendungen bei 50% : 50%, in Nordamerika liegt sie bei 75% : 25%.

In Abbildung 9 ist die europäische WPC- Marktprognose in Tonnen bis in das Jahr 2013, in Abbildung 10 die Umsatz- Länderaufteilung, ersichtlich (7).

	Japan	Europa	Deutschland	Nordamerika
1998	-	-	-	-
1999	14.000	-	-	-
2000	22.000	3.000	-	135.000
2002	-	15.000	-	-
2003	30.000	30.000	-	600.000
2004	-	-	5.000	-
2005	-	-	10.000	700.000

Abb. 8: WPC- Jahresproduktion in ausgewählten Ländern (in t) (7)

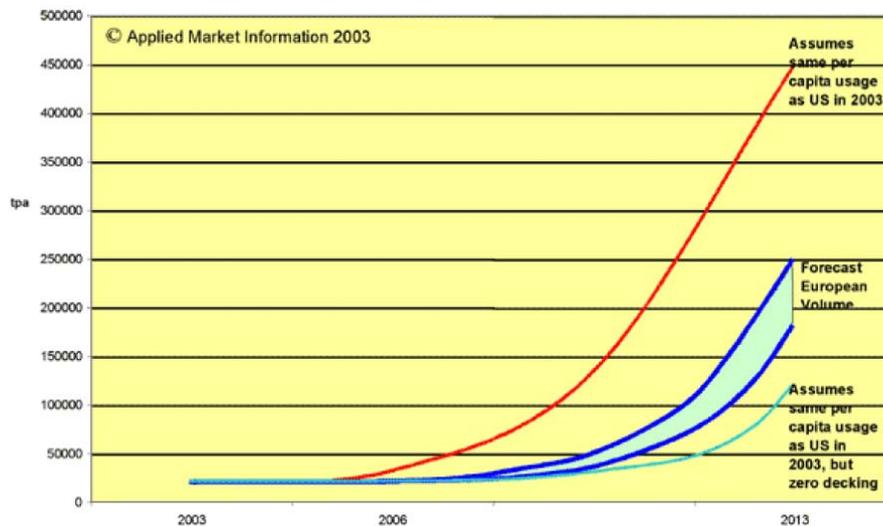


Abb. 9: Marktprognose für WPC in Europa (1)

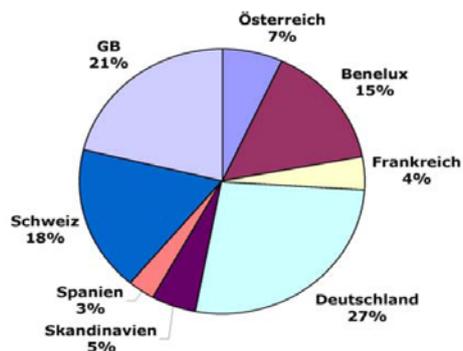


Abb. 10: Umsatzverteilung des WPC- Marktes in Europa (1)

Über die Verwendung von Refinerfasern in der Kunststoffverarbeitung wird derzeit sehr wenig publiziert. Der Hauptgrund liegt dabei in der schlechten Förder- und Dosierfähigkeit. Zur Gewinnung der Refinerfasern werden thermo-mechanische oder auch chemische Refiner/Pulping- Prozesse verwendet, wie es in der Faserplattenindustrie seit Jahrzehnten üblich ist.

3. Ziele des Projektes

Das Projekt „Wood Plastic Composites- Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern“ führt zu einem Innovationssprung dieser Werkstoffklasse und belebt damit dessen Marktpotential. Dabei ist dieser Innovationssprung sowohl in den Bereichen „Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ der überwiegende Hauptbestandteil der WPC's sind Holzfasern, als auch in dem Bereich „Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen“, durch die Neuentwicklungen und Verbesserungen der Produktionstechniken, angesiedelt.

Durch die intensive Beteiligung mehrerer Unternehmen an diesem Projekt wurde eine Kostenrechnung der holzfaserverstärkten Kunststoffverbunde bei der Grundlagenuntersuchung von den Rohstoffen bis zum Demonstrationsobjekt bei allen Entwicklungsrichtungen benötigt und mit einbezogen.

Das generelle Ziel aller Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Wood-Plastic-Composites (WPC muss es sein, im Hinblick auf eine steigende stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, den **Holzanteil auf hohem Niveau** zu erhalten, bzw. weiter zu erhöhen. Trotz einer sinkenden Menge des Kunststoffes im Verbund sollten dabei ausgewählte Eigenschaften gesteigert werden. Dies ist nur durch eine steigende Funktionalisierung des Holzes möglich. Das größte Potential dabei besitzt die Verwendung von langen Holzfasern, so genannten **Refinerfasern** als Verstärkungsmaterial. Deren Einsatz für WPC in Extrusion und Spritzguss ist aufgrund **des großen Volumens und dem Verfilzen der Fasern („Gewöllebildung“)**, wodurch die Fasern nicht förder- und dosierbar sind, zurzeit noch nicht möglich.

Im Rahmen dieses Projektes wurden durch die Zusammenarbeit von Maschinenherstellern, WPC- Produzenten und wissenschaftlichen Einrichtungen neue wirtschaftliche Technologien für die Dosierung und Verarbeitung mit anschließender Formgebung entwickelt, um hochwertige WPC Produkte mit gesteigerten Eigenschaften bei geringerem Thermoplasteinsatz zu erhalten.

Das Hauptziel des Projektes war:

die deutliche Eigenschaftsverbesserung der WPC durch wirtschaftliche Verwendung von langen Holzfasern

Dieses Ziel wurde durch die gemeinsame Erfüllung mehrerer Einzelziele erreicht. Diese sind:

- Entwicklung einer neuen Direktextrusionstechnologie für Refinerfasern als wirtschaftlichste Form der WPC Produktion

- Erarbeiten einer alternativen Verarbeitungstechnologie zur WPC Granulatherstellung für Extrusion und Spritzguss
- Maximieren des Holzanteils nach Eigenschaftsprofil und Verarbeitbarkeit
- Optimieren des Direktextrusions- und Spritzgussprozesses
- Schaffung des technologischen und werkstofflichen Basiswissens für die Herstellung von marktfähigen Produkten plus wirtschaftliche Bewertung beider Verfahren

Der gezielte Weg von den Rohstoffen Refinerfasern, Polyolefinen und Additiven bis zum fertigen Produkt wurde dabei über zwei technologische Verfahren untersucht, einer Weiterentwicklung des Standes der Technik, der Direktextrusion und über eine neuartige WPC-Granulatherstellungstechnologie unter Verwendung einer adaptierten Recyclingtechnologie. Diese beiden Verfahren bildeten den Schwerpunkt der technologischen Innovation in der Förderung und Verarbeitung von Refinerfasern. Diese beiden Technologien traten zum Teil in Konkurrenz, konnten sich aber letztendlich auch durch eine verfahrenstechnische Kombination ergänzen.

Eine so deutliche Erhöhung der Faserlänge in der WPC Rezeptur stellte vor allem auch an die formgebenden Verfahren neue Herausforderungen, die durch Variation des Holzgehaltes und der Prozessparameter über das Eigenschaftsprofil systematisch untersucht wurden.

Die Hauptfrage, die in diesem Projekt „Wood Plastic Composites – Refinerfasern“ geklärt wurde, war also zusammenfassend, dass **die Verwendung von Refinerfasern in Holzkunststoffverbunden technisch möglich, wirtschaftlich rentabel und auch ökologisch sinnvoll ist.**

4. Stand der Technik

4.1 Ergebnisse der Literaturrecherche:

Für die aktuelle Ist-Analyse wurde eine intensive Patentrecherche mit Fokus auf die Dosierung von Refinerfasern in kunststoffverarbeitenden Maschinen durchgeführt. Gesucht wurde mit Hilfe von Espacenet, Science Direct, diversen Netcrawlern. Für die Dosierung von Fasern wurde zur Ideengenerierung eventueller Lösungsansätze zusätzlich in den Bereichen der Lebensmittelverarbeitung, der Medizintechnik und Landwirtschaftstechnik nach prinzipiellen Systemlösungen gesucht.

Im Zuge dieser Recherche sind vor allem Patente für die Refinerfaserherstellung in der Faserplattenindustrie zu finden, aber so gut wie nichts in Bezug auf Refinerfaserdosierung in kunststoffverarbeitenden Maschinen.

Es wurde dabei mit folgenden Key Words gesucht:

- Feeder and Extruder
- Feeder and WPC
- Feeder and Extruder and WPC
- Refiner
- Refiner and WPC
- Refiner and Fibre
- Refiner Fibre and Feeder
- Wood Plastic Composite and Refiner
- Wood Plastic Composites

Im Zuge der Literaturrecherche wurde in Science Direct ein Artikel gefunden mit dem Titel: „Processing wood-plastic composites places new demands on feeders“ (12). In diesem Paper wird auf die unterschiedliche Verfahrensart der Zudosierung der WPC`S und Additiven mittels üblicher Dosiereinheiten (Firma: K-tron) eingegangen. Es werden aber keine technischen Lösungen für Langfasern behandelt.

In Bezug auf Verarbeitung von Refinerfasern konnte ein Bericht aus dem Jahre 2003 gefunden werden. Dabei wird von Seiten des Fraunhoferinstituts, WKI- Braunschweig kurz auf den zukünftigen Forschungsschwerpunkt der Refinerfaserdosierung in der Extrusionstechnik eingegangen (14). Aktuellere Informationen von diesem Forschungsprojekt waren nicht mehr recherchierbar.

4.2 Herstellung der Refinerfaser (Refiner- Pulping- Prozess)

Zur Erzeugung des Ausgangsmaterials, der Hackschnitzel, wird zuerst das Rundholz von der Rinde befreit. Dieser Prozess erfolgt in Trommel- und Rotierentrindern. Anschließend werden die geschälten Baumstämme in Trommelhackern oder Scheibenhackern zu Hackschnitzeln zerkleinert und in Rollensieben sortiert. Der nächste Schritt ist die Reinigung in Wasserbädern.

Der eigentliche Zerkleinerungsprozess der Hackschnitzel (Refiner – Pulping- Prozess) beginnt mit dem Vorkocher bei 70°C. Von dort werden die Hackschnitzel mit einer Förderschnecke in den Hauptkocher geleitet, der bei 170°C und 8 bar Überdruck die Hackschnitzel aufkocht. Durch diese beiden Prozesse wird das Holz plastifiziert und als zähe elastische Masse durch eine Zuführschnecke in den Refiner gedrückt. Der Refiner besteht aus zwei Mahlscheiben mit spezieller Oberflächenkontur, mit der die Holzmasse zu Kleinstfasern verarbeitet wird. Die Fasern werden durch den entweichenden Überdruck aus dem Refiner durch eine dünne Rohrleitung, der Blowline gepresst.

Für die MDF Platten Herstellung benötigte Bindemittel werden in der Blowline der feuchten Faser beigemischt. Anschließend werden die beleimten Fasern getrocknet, um danach in die Plattenform gepresst werden zu können.

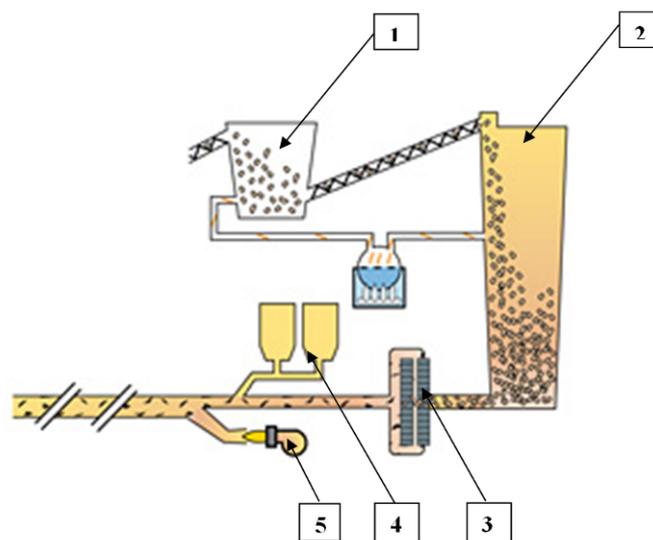


Abb. 11: Refiner- Pulping- Prozess: (1) Vorkocher, (2) Hauptkocher, (3) Refiner, (4) Beleimung, (5) Trockner

4.3 Allgemeine Anwendung von Refinerfasern

Neben der klassischen Verwendung von Refinerfasern in der Faserplattenindustrie findet sie immer mehr Nachfrage in der Dämmstoffindustrie. In diesem Bereich liegt der Schwerpunkt in flexible oder druckfeste Dämmmatten aber auch im Bereich des Einblasdämmstoffes (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Letzteres wird im Prinzip gleich angewendet wie die derzeit bekannte Zellulosefaser. Holzfaser Einblasdämmstoff kann Feuchtigkeit aufnehmen ohne Dämmwirkung zu verlieren. Die hohe spezifische Wärmespeicherkapazität von 2100 J/kg bewirkt eine sehr günstige Phasenverschiebung, welche im sommerlichen Wärmeschutz das Raumklima angenehm beeinflusst. Bei der Herstellung der Holzfaser wird 4% Ammoniumphosphat als Brandhemmer und 2% Borsäure als Schädlingschutz beigemischt und in einem Luftstrom getrocknet (15).

Holzfaser(weich)platten eignen sich zur Wand- oder Dachdämmung oder als Trittschallschutz unter Fußböden. Sie bestehen aus Restholz und unbehandelten Sägeabfällen. Zum Schutz vor Feuchtigkeit sind die Dämmplatten meist mit einem wachsähnlichen Material paraffiniert oder mit einem natürlichen Bitumenzusatz versehen. Die Dämmwerte der Platten liegen im Bereich 0,45 W/mK bis 0,50 W/mK (8).

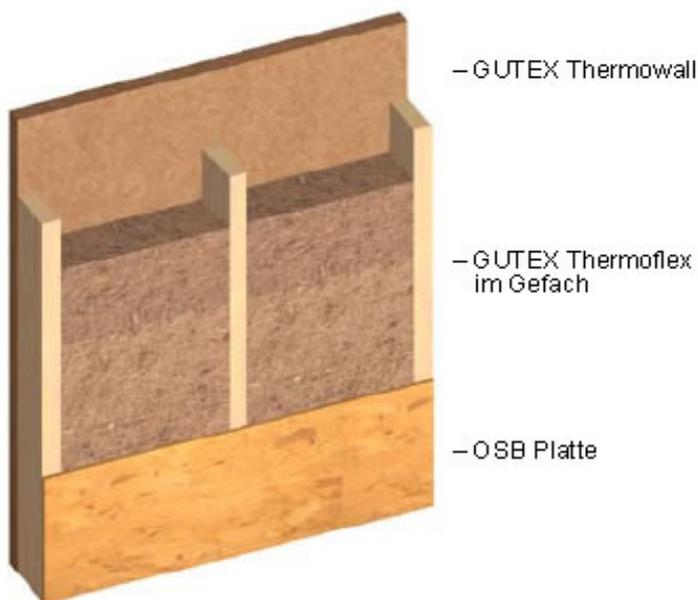


Abb. 12: Innenwandanwendungen von Refinerfaserplatten (15)

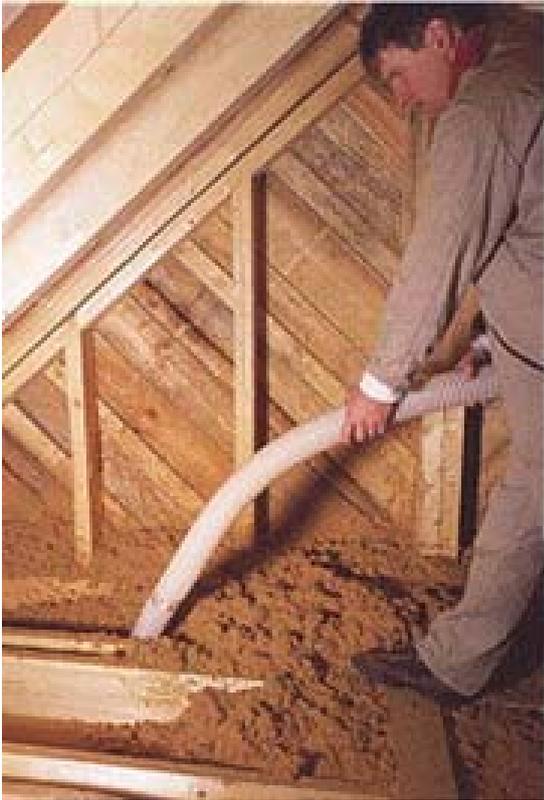


Abb. 13: Einblasen von Refinerfaser (16)

4.4 Aufbereitung und Verarbeitung von WPC

Die in der Holzindustrie üblichen Produktionsverfahren zur Herstellung von MDF- Platten mittels Refinerfasern unterscheiden sich grundlegend von den Verfahren zur WPC- Produktion. Die Plattenherstellung führt zu quasi zweidimensionalen Plattenwerkstoffen wobei die Produktionsgeschwindigkeit sehr hoch ist.

Dem gegenüber kann man in der WPC Produktion nahezu beliebig komplexe dreidimensionale Formen produzieren. Die Produktionsgeschwindigkeiten liegen aber deutlich unter jenen der MDF- Plattenherstellung (0,5 bis 6 m/min versus 300 m/min).

Grundlegend lässt sich die Verarbeitung von WPC in einstufige (direkte) oder zweistufige Prozesse einteilen (siehe Abbildung 14).

Unter Direktverarbeitung versteht man die Zusammenfassung der Arbeitsschritte der Aufbereitung und Verarbeitung ohne zwischenzeitliches Erstarren und Wiederaufschmelzen des Materials. Die Vorteile der Direktverarbeitung liegen vor allem in der geringeren thermischen Belastung des Materials, der geringeren Herstellkosten (besonders bei der Direktextrusion) und in der höheren Flexibilität in der Produktion.

Bei der zweistufigen Verarbeitung werden im ersten Verarbeitungsschritt Compounds aus den Basismaterialien (Kunststoff, Holzfasern, Additive) entweder mit einem Compounder, Heiz- Kühl- Mischer oder Palltruder® hergestellt. Die Granulatherstellung erfolgt dabei durch das Plastifizieren der thermoplastischen Komponenten und dem Vermischen mit den Holzfasern. Die Weiterverarbeitung erfolgt danach entweder durch eine Extrusions- oder Spritzgussanlage.

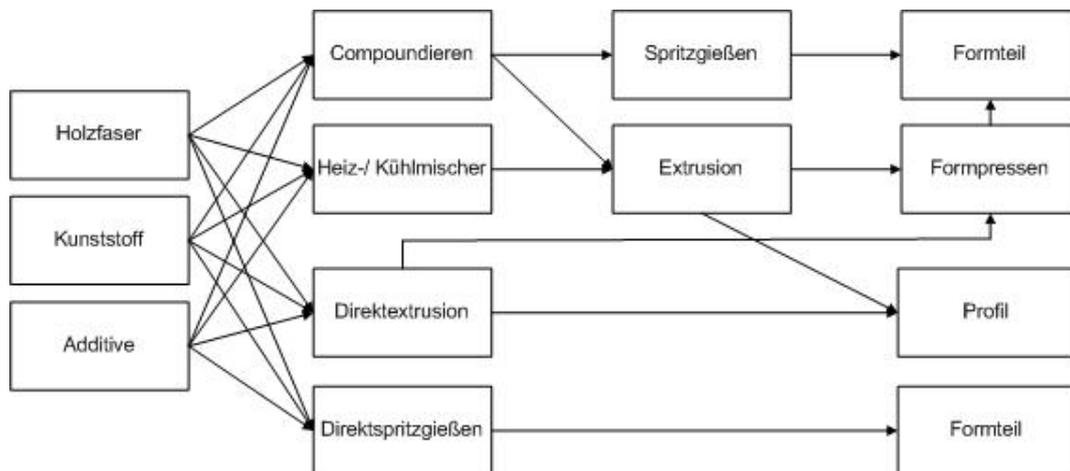


Abb. 14: Verarbeitungsprozesse und -verfahren von WPC

4.4.1 Extrusionsverfahren

Die Extrusion ist ein kontinuierliches Verfahren zur Erzeugung von Hohlkammer- und Vollprofile sowie von Granulat für die Weiterverarbeitung. Dabei wird das Polymer - Holz-Fasergemisch mit 100 bis 300 bar durch eine Düse gepresst und erstarrt anschließend in der nachfolgenden Kalibrierung.

Man unterscheidet grundlegend die Direktextrusion (einstufiger Prozess, bei dem das Mischen der einzelnen Komponenten und anschließend die Profilerzeugung in einem erfolgt) sowie die Zweistufenextrusion (dabei wird in einem Vorschritt das Granulat erzeugt, welches dann in einem eigenen Extruder zum Profil extrudiert wird).

Bei der Direktextrusion wird eine Verarbeitung von unbehandelten und nicht getrockneten Fasern (ca. 10% Feuchtegehalt) angestrebt. Der Vorteil der Verarbeitung von unbehandelten (Aufbereitung nur durch Ballenöffner) und ungetrockneten Faser liegt in der Einsparung von zusätzlicher Energie- und Gerätekosten für das Pelletieren und Trocknen des Materials. Nachteile der Direktextrusion im Vergleich zur Extrusion eines fertigen Compounds stellen die niedrigere Prozessleistung, geringere Homogenität des Materials und die meist geringere Qualität des Endproduktes dar.

Bei der Extrusion von WPC werden heute fünf unterschiedliche Typen von Extrusionsverfahren eingesetzt:

- Konisch gegenlaufender Doppelschneckenextruder
- Konisch gleichlaufender Doppelschneckenextruder
- Paralleler Doppelschneckenextruder
 - Gleichlaufend
 - Gegenlaufend
- Einschneckenextruder

a) Konisch gegenlaufender Doppelschneckenextruder:

Der konische, gegenläufige Doppelschneckenextruder hat aktuell den größten Marktanteil bei der WPC- Produktion und eignet sich insbesondere zur Direktextrusion von linearen Profilen.

Die Vorteile dieser kompakten Bauweise liegen besonders in der kontinuierlichen Kompression des Materials bei deren gleichzeitiger thermischer Schonung (gute Eignung für hohe Füllgrade). Von Nachteil ist die relativ schlechte Mischwirkung dieses Verfahrens.

Die einzelnen Bestandteile wie Holz, Kunststoff und Additive werden dem Extruder über einzelne Dosieraggregate zudosiert. Die Dosierung der Refinerfasern erfolgt dabei derzeit aber nur in Form von Pellets, da es in Rohfaserform sehr schnell zu Verstopfungsproblemen oder Brückenbildungen in den Dosieraggregaten oder den Stopfwerken kommt. Anschließend ist der Aufbau einer konischen Doppelschnecke dargestellt (siehe Abbildung 15) sowie der Verweilzeitvergleich vom konischen Doppelschneckenextruder zum parallelen Doppelschneckenextruder (siehe Abbildung 16).



Abb. 15: Konische Doppelschnecke, Type: Fiborex Extruder, Cincinnati (6)

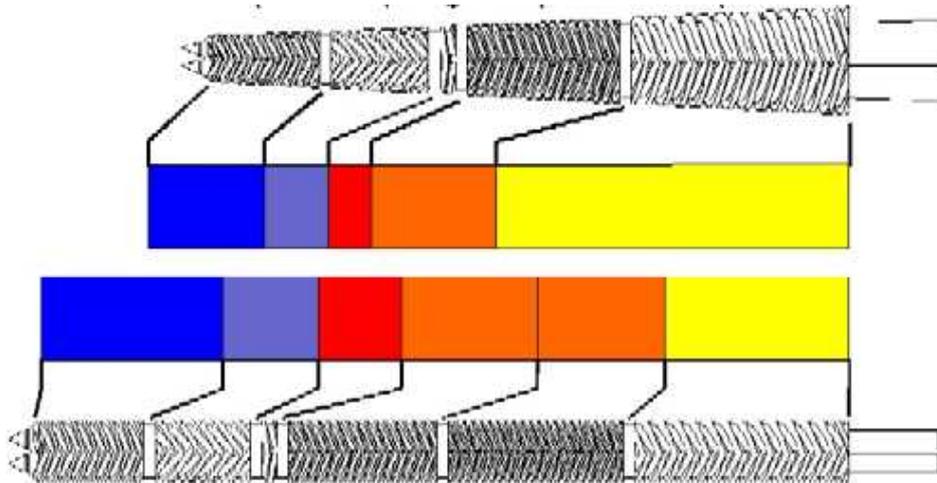


Abb. 16: Vergleich der Verweilzeit des Materials bei gleicher Ausstoßleistung; Konischer Doppelschneckenextruder (siehe oben), Paralleler Doppelschneckenextruder (siehe unten) (6) ; Zone Gelb: Einzugszone, Orange: Aufschmelzzone, Rot: Drosselzone, Hellblau: Entgasungszone, Dunkelblau: Verdichtungszone

b) Konisch gleichlaufender Doppelschneckenextruder

Diese neue Art von Extrudern basiert auf einem konischen, gleichsinnig drehenden Doppelschneckenextruder und vereint somit die Vorteile eines parallel gleichlaufenden Doppelschneckenextruders mit jenen der konischen Schneckenausführung.

Die Vorteile dieser Bauart sind zusammengefasst:

- großes Einzugsvolumen durch konischen Aufbau
- kurze Verweilzeit des Materials
- hoher Druckaufbau gegenüber parallelen Gleichläufern
- sehr gute Mischwirkung besonders gegenüber konischen Gegenläufern
- geringe Zwickelkräfte bei unaufgeschlossenem Material und daher geringerer Verschleiß
- Möglichkeit der Verwendung von Mischteilen wie sie aus parallelen Doppelschneckenextrudern bekannt sind

Aufgrund der Tatsache, dass diese Bauart noch sehr neu ist (Erstpräsentation K-Düsseldorf, 2007, Firma MAS, Pucking,) müssen mit Sicherheit zu den bereits vorhandenen Erfahrungswerte im Bereich der WPC- Produktion noch weitere Informationen besonders für Refinerfaser gesammelt werden (siehe Abbildung 17).

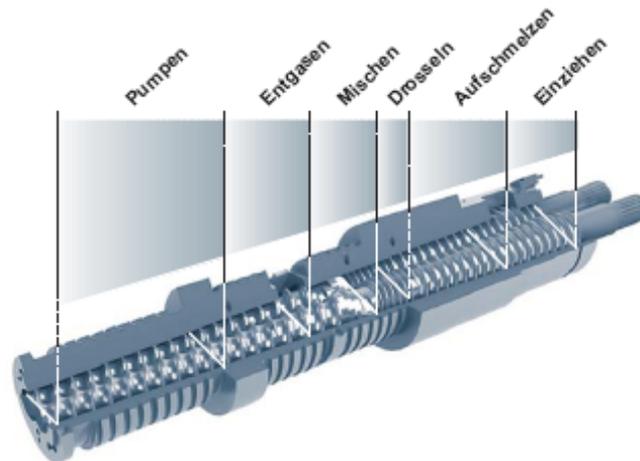


Abb. 17: Schnecken Aufbau, Konisch gleichlaufender Doppelschneckenextruder (18)

c) Paralleler, gleichlaufender Doppelschneckenextruder:

Das Hauptaufgabengebiet vom gleichlaufenden Doppelschneckenextruder liegt vor allem in der Compoundierung und anschließender WPC- Granulatproduktion. Vorteile dieser Bauart sind die gute Mischwirkung und hohe Produktionsgeschwindigkeit. Hinzu kommt noch der geringe Bauartunterschied zu klassischen Extrudern in der Kunststoffindustrie.

Von Nachteil ist die längere Verweildauer des Materials im Extruder, durch das eine längere thermische Einwirkung auf die Holzmaterialien stattfinden kann. (18)

d) Paralleler, gegenlaufender Doppelschneckenextruder:

Der parallele gegenläufige Doppelschneckenextruder stellt mit seinen Vor- und Nachteilen ebenfalls ein Bindeglied zwischen gleichlaufenden, parallelen und konischen, gegenlaufenden Doppelschneckenextrudern dar

Bedeutendster Vorteil: Wirtschaftlichkeit,

Nachteile: lange Verweilzeit, schlechte Mischwirkung

e) Einschneckenextruder:

Einschneckenextruder werden bei der WPC- Herstellung nur dort verwendet, wo als Rohstoff fertiges Granulat eingesetzt wird. Im Vergleich zum gegenläufigen Doppelschneckenextruder weist diese Extruderform eine deutlich höhere Materialscherung sowie eine erhöhte Verweilzeit des Materials auf. Daher ist der Einschneckenextruder nicht für hochgefüllte Werkstoffmischungen geeignet (nicht mehr als 60 wt% Holz).

4.4.2 Spritzguss

Das Spritzgießen dient insbesondere zur Herstellung von komplexen Formen und ist ein diskontinuierliches Verfahren.

Beim normalen Spritzguss (Zweistufenverfahren) wird praktisch immer mit Granulatzugabe gearbeitet. Direktes Spritzgießen (IMC- Technologie) ist dagegen am Markt kaum vertreten, da es unflexibel, schwer zu handhaben und mit hohen Investitionsleistungen verbunden ist (7).

Die WPC- Füllgrade liegen beim Spritzgießen deutlich niedriger als bei der Extrusion. Üblich sind dabei 30 bis maximal 60%. Bei höheren Füllgraden wird die Viskosität des Materials zu hoch und es kommt daher zu Problemen im Bereich von Angusskanälen und dünnwandigen Bauteilgeometrien.

Wie bei der Extrusion muss auch im Spritzguss eine optimal abgestimmte Massentemperatur gewählt werden, um ein optimales Fließverhalten des Materials zu gewährleisten und gleichzeitig eine thermische Schädigung der Faser auszuschließen. Zusätzlich gilt es einer möglichen Entmischung des Kunststoff –Faseranteiles entgegenzuwirken, da es sonst zu negativen Auswirkungen auf das optische Erscheinungsbild und die mechanischen Eigenschaften der WPC- Endproduktes kommen kann (7)

4.4.3 Palltruder®

Das Palltruder System produziert trockenes Granulat aus Naturfasern und Thermoplasten. Dieses kann danach für die weiteren Verarbeitungsprozesse wie Extrusion, Spritzguß aber auch für das Formpressen verwendet werden. Der maximale Feuchtegehalt der zudosierten Naturfasern liegt bei 8%, jene des produzierten Granulates bei max. 1%.

Bei diesem Verfahren erfolgt die Zudosierung der Komponenten wie Holzmehl, Fasern, Kunststoffe in Form von Spänen, Schnitzel oder Pulver sowie Additive immer in kontinuierlicher und gleichmäßiger Form. Durch die Friktionswärme und mechanischem Druck, erzeugt durch die Druckscheibe mit dem Druckstück, wird die Materialmischung durch die Matrize gepresst. Durch diesen Prozess werden die Holzfasern in den plastifizierten Kunststoff eingearbeitet. Abschließend wird das Material durch die außen umlaufenden Messer abgeschnitten und einer Schneidmühle zugeführt. Die während des Prozesses auftretenden Dämpfe (Feuchtigkeit des Holzes usw.) werden abgesaugt.

Bei diesem Verfahren kommt es zu einer starken Beanspruchung der Fasern und größeren Inhomogenitäten. Der Vorteil liegt in der einfachen Handhabung des Prozesses.

Der Aufbau der Anlage ist in Abbildung 18 und 19 dargestellt.

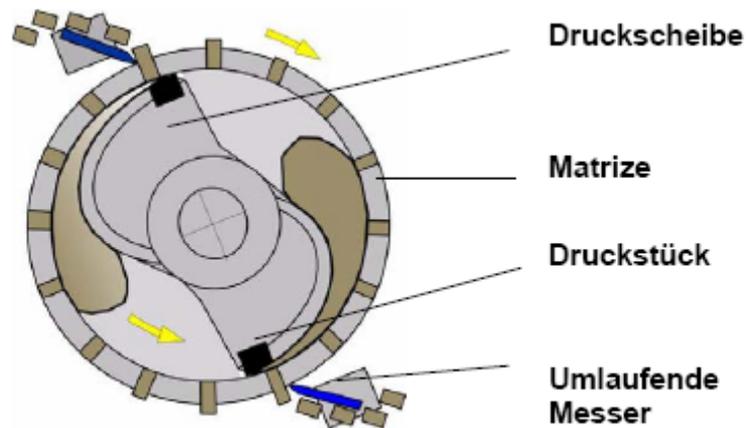


Abb. 18: Palltruder® (19)

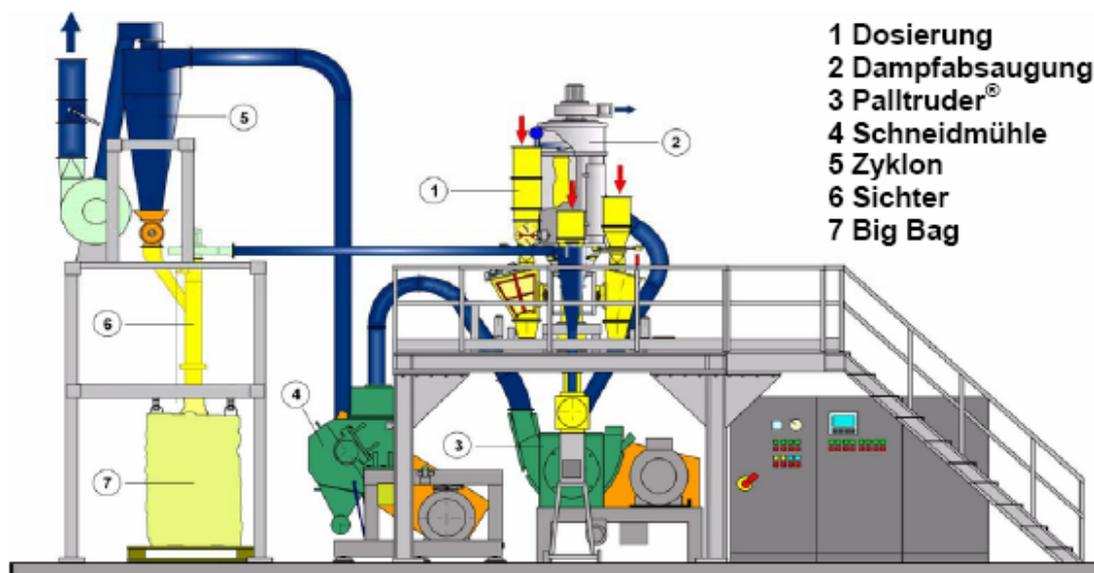


Abb. 19: Palltruder® Anlage

4.4.4 Heiz- Kühlmischer

Ein weiteres Verfahren für die Compoundierung stellt der Heiz- Kühlmischer dar, der vor allem für die PVC- Produktion verwendet wird. Grundlegend wird in der Kunststoffindustrie zwischen kontinuierlichen Mixchern und Chargenmischern unterschieden. Aufgabe des Heiz- Kühlmischers ist es, Kunststoffe, Füllstoffe wie Holzfasern und Additive homogen zu verteilen und die Mischung dabei in einen möglichst staubfreien, trockenen und rieselfähigen Zustand zu überführen. Im Chargenbetrieb werden die Komponenten 5 bis 10 Minuten vermischt und dabei auf ca. 110 bis 130°C erhitzt. Um eine Agglomeratbildung des Materials zu verhindern, wird es nach Beendigung des ersten Prozessschrittes einem Kühlmischer zugeführt und darin auf 40°C abgekühlt. (19)



Abb. 20: Heiz- Kühlmischer, Henschel (20)

4.4.5 KAG Erema (Schneidverdichter)

Bei diesem für den Kunststoffrecycling- Bereich entwickelten System handelt es sich um eine Kombination aus Schneidverdichter und Extruder mit nachfolgender Heißabschlaggranulierung. Dieses kontinuierliche Verfahren wird es vor allem zum Recyceln von unterschiedlichen Kunststoffabfällen wie Randstreifenabfälle, Folienabfällen und Kunststoffflakes und dergleichen verwendet.

Die Beschickung der Anlage erfolgt entweder direkt über eine Rohrleitung (Randstreifenabfall), Förderband (Folien, Flakes) oder Rolleneinzug (Folien) in den Schneidverdichter. Der Schneidverdichter ist eine rotierende, mit Schneidkanten besetzte Scheibe, die das zu verarbeitende Material zerkleinert, erwärmt (z.B. bei PP auf ca. 130°C) und vorverdichtet. Im seitlich angeflanschten Extruder wird das vorverdichtete Material aufgeschmolzen und mittels Heißabschlag granuliert.

Dieses System lässt sich für die Verarbeitung von Holzfasern in Matrixpolymer mittels Förderband unter Beachtung von diversen Modifikationen relativ einfach adaptieren.

Der Aufbau der Anlage ist in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt.



Abb. 21: KAG- Anlage, Erema (21)

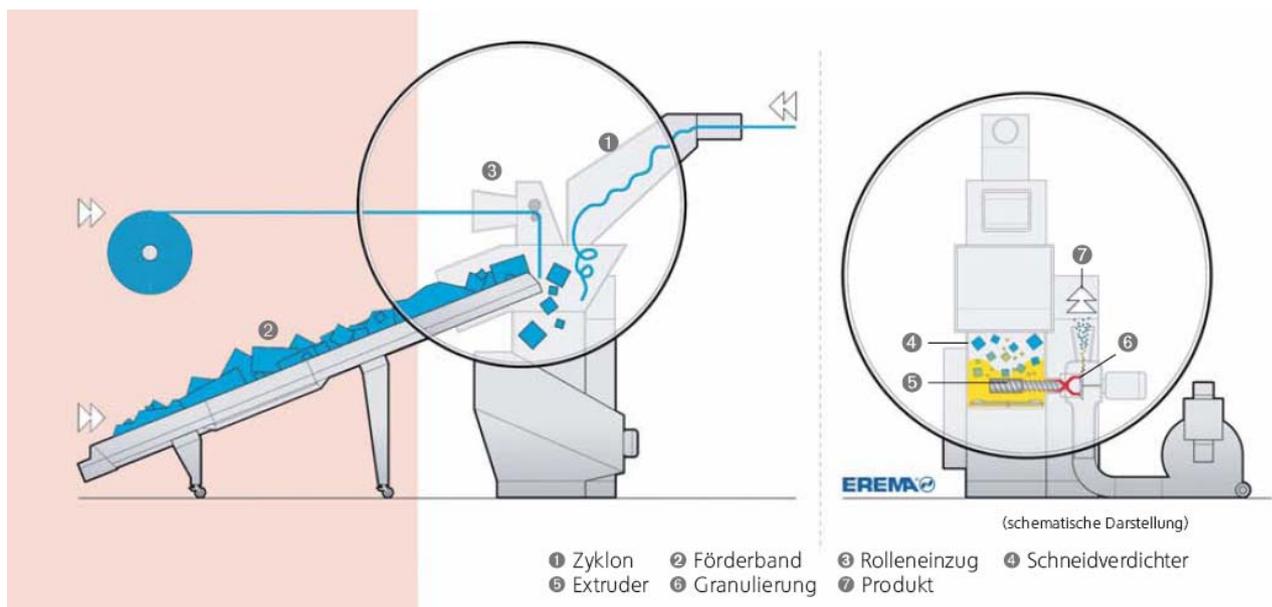


Abb. 22: KAG- Anlage, Erema (21)

5. Inhalte und Ergebnisse des Projektes

5.1 Verwendete Methoden und Daten

Die Methodik dieses Projektes beruhte auf einer strukturierten und zielgerichteten Miteinbeziehung aller Projektpartner in allen Arbeitsschritten. Dabei stellte die Multidisziplinarität des Projektteams aus wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Partnern eine ideale Kombination für eine wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung dar.

Bereits am Start in Arbeitspaket 1, dem Ermitteln des Standes der Technik und den aktuellen Marktanforderungen wurde intensiv zusammengearbeitet. Unter Führung des antragstellenden, anwendungsorientierten Forschungsinstitutes wurde der Stand der Technik der WPC's aktualisiert und die aktuelle Marktsituation aus der Sicht jedes einzelnen Partners analysiert und mit einbezogen. Dies führte aufgrund der Verteilung der Projektpartner auf verschiedene Branchen, vom innovativen Leimholz- Erzeuger der den aktuellen Holz und WPC Markt kennt bis zum führenden WPC-Extruderhersteller der den WPC-Markt von Seiten der Produzenten kennt, zu einem umfassenden Datenmaterial. Zusammen mit der Recherche der wissenschaftlichen Fortschritte im Holzkunststoffbereich konnten die aktuellen Entwicklungen abgeschätzt und bewertet werden. Ein Schwerpunkt der Recherche war dabei die Situation von langen Holzfasern am Markt sowie in wissenschaftlichen Untersuchungen. Die in der Spanplattenindustrie in großen Mengen eingesetzten Refinerfasern wurden darüber hinaus auch hinsichtlich deren Marktsituation und aktuellen Verfahrenstechnik recherchiert. Aus der Bewertung der aktuellen Situation wurde der notwendige Handlungsbedarf ermittelt und somit der detaillierte Versuchsplan erstellt.

Dies war der Startpunkt für die großen Arbeitspakete, zuerst der Entwicklung und Analyse der Prozesse und Verfahren und mit den ersten erfolgreichen Compounds die Potentialbewertung und Optimierung. Da das zweite Arbeitspaket auf zwei parallele Verfahren schwerpunktmäßig auf zwei verschiedene Partnern aufgeteilt war, beginnend in der Lösung der Problematik der Dosierung der Refinerfasern in einen Extruder und mittels Recyclingtechnologie, standen schnell erste Granulate, wenn auch noch mit geringem Refinerfasergehalt für die Analyse zur Verfügung. Die Erfahrungen im Umgang mit den Refinerfasern wurde ständig ausgetauscht und führten so zu einer schnelleren und zielgerichteten Entwicklung bei der gravimetrischen Zuführung der Fasern in den Mischprozess mit Polyolefinen. Die Dosierlösung für die Direktextrusionstechnologie nahm sich dabei vorerst Anleihen an der Verarbeitung in der Spanplattenindustrie, während im Bereich des Kunststoffrecyclings der Umgang mit voluminösen Gütern mit undefinierter Form Stand der Technik ist. Für den renommierten Partner in der Recyclingtechnologie war vor allem die normalerweise beim Recycling nicht aufwendige, sehr hohe Dispergierwirkung der Fasern im Polymer der Hauptschwerpunkt der Technologieentwicklung. Neben der gravimetrischen Dosierung bei der Direktextrusion stellte auch die hohe Volumenkontraktion von den losen Fasern zum homogenen kompaktierten Granulat / Profil einen Schwerpunkt in der Untersuchung dar. Diese erfolgte beim Verfahren in zwei Stufen, über eine neue effektive Zwangsdosierung in den

Extruder und ein modifiziertes konisches Extruderschneckenpaar, in der die endgültige Kompression und homogene Verteilung der Fasern erfolgt. Diese homogene Verteilung der Fasern war zusammen mit der Faserschädigung und Orientierung hauptverantwortlich für die mechanischen und thermischen Eigenschaften des WPC-Materials. Dadurch wurden bereits bei den ersten Extrusions- und Granulatherstellungstests die Materialeigenschaften ermittelt und mit den Verfahrensparametern in Beziehung gesetzt. Im Laufe der Entwicklung und Optimierung beider Verfahren ergaben sich dadurch zwei Parameter- Materialeigenschaftsmatrizes, die alle verfahrens- und materialtechnische Möglichkeiten und auch Grenzen der Verarbeitung von Refinerfasern in WPC enthielten. Diese dienten als Grundlage für die weitere Entwicklung und zugleich auch als praxisorientiertes Steuerungselement der Verarbeitung von Refinerfasern in Polyolefinen mittels Extrusion und neuartiger Recyclingtechnologie.

Nach der Planung und Entwicklung der neuartigen Zwangsdosierung und Schneckengeometrie und ersten Tests beim Extruderhersteller wurde die bestehende Extrusionslinie beim Antragsteller, die sich auf dem neuesten technologischen Stand zur WPC Extrusion befindet, entsprechend der durch die Eigenschaftsmatrix erhaltenen potentiellen Richtungsvorgabe zur Pilotanlage adaptiert.

Nach dem Ausloten der technologischen Grenzen ging der Schwerpunkt der Arbeiten auf die Optimierung der Rezeptur in Richtung Potentialbewertung über. Diese Variationen von Polymeren und Additiven in Kombination mit dem Fasergehalt wurden herangezogen, um sich ein umfangreiches Bild der Rezeptur- Eigenschaftsbeziehung der WPC's mit Refinerfasern zu machen und dienten noch der zusätzlichen Erweiterung der Verfahrensmatrix. Ein wichtiger Punkt dabei bildete die Analyse der Orientierung der langen Fasern nach der Verarbeitung, um die zusätzliche Verstärkung der mechanischen Eigenschaften der WPC durch die Steigerung der Faserlänge des Holzes zu quantifizieren. Die Optimierung dieser neuartigen WPC- Rezepturen erfolgte also neben den mechanischen Werten auch über Faserlängen- und Orientierungen sowie rheologischen Messungen und führte in der weiteren Arbeit zur Auswahl potentieller Rezepturen für das Demonstrationsobjekt, einem Hohlkammerprofil. Erste Ergebnisse der Analysen flossen sofort in die Verfahrensweiterentwicklung um diese in Richtung maximalem Potential- maximalem Refinerfasergehalt zu optimieren. Die gesamte Analyse und Auswertung von den ersten Faserverteilungen über Auswertungen der Struktur- und Fließbeziehungen erfolgte beim wissenschaftlichen Partner, der dafür sorgte, dass diese Ergebnisse nach gemeinsamer Diskussion kontinuierlich in die weitere Entwicklung einfließen. Dabei wurde das gesamte Refinerfaser-WPC System nach mehreren Dimensionen optimiert – sowohl hinsichtlich verfahrenstechnischer Grenzen als auch materialtechnisch- verarbeitungstechnischer Möglichkeiten. Bei der Materialoptimierung wurden neben der Variation im Fasergehalt auch auf verschiedene WPC- übliche Additive zurückgegriffen, neben Verarbeitungshilfsmitteln, natürlich auch Haftvermittler, um das gesamte Potential der Fasern auszuschöpfen. Dabei entstand eine umfangreiche Rezeptur-Eigenschaftsmatrix für den Spritzguss sowie der Extrusion, die als Grundlage für die Herstellung eines in allen Verfahrensschritten optimal ausgewählten Demonstrationsobjektes in beiden Verfahren diente. Mit diesen konnten klare Aussagen über die in der Praxis mögliche Verstärkung durch die Refinerfasern gemacht werden.

Der ständige Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen den Partnern im Arbeitspaket 4 wurde während des gesamten Projektes als eine Säule des Entwicklungsstarts gewissenhaft betrieben. Relativ bald im Projekt erfolgen bereits erste Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beider Technologienentwicklungen. Besonderes Augenmerk dabei wurde auf den Materialdurchsatz gelegt, da aufgrund der geringen Schüttdichte der Refinerfasern ein relativ hoher Volumendurchsatz bewältigt werden musste. Gerade in der Extrusionstechnologie ist der Durchsatz ein entscheidender Wirtschaftlichkeitsfaktor. Hier wurde auch die Möglichkeit der Kombination beider Technologieentwicklungen mit betrachtet, zuerst die Agglomeration der Fasern mit dem Polymer in der Recyclingtechnologie zu Granulat, das dann mit hohem Durchsatz zu Profilen extrudiert werden konnte. Neben den technologischen Kosten wurden auch die Materialkosten, vor allem die Kosten für die Fasern, analysiert und gemeinsam gegenüber den Standard- WPC bewertet. Die gemeinsam mit der Technologieadaptierung erhaltenen Werkstoffdaten wurden während des Projektes für die Detailplanung ausgewertet und am Ende des Projektes noch einmal hinterleuchtet. Daraus ergaben sich weiterführende Untersuchungen um am Ende des Projektes eine umfassende wissenschaftliche und wirtschaftliche Grundlage dieser neuartigen WPC-Klasse mit Refinerfasern zu erhalten.

In diesem Projekt wurde gezeigt, dass eine Direktdosierung für die Extrusion von Refinerfasern möglich ist. Erste Demonstrationsobjekte und Profile wurden bereits hergestellt, welche die technologische Umsetzung beweisen. Die beteiligten Firmenpartner sind mit der kommerziellen Umsetzung beschäftigt und möchten ehest möglich diese Technologie auf den Markt etablieren.

5.2 Voruntersuchungen zur Ermittlung des Eigenschaftsprofils

Für die ersten Voruntersuchungen wurden die Holzfasern (Refinerfasern) mit den klassischen Holzspänen, welche derzeit für die Erzeugung von Wood-Plastic-Composites eingesetzt werden, hinsichtlich ihrer Eignung als aktiver Verstärkungstoff verglichen. Dazu wurden mehrere Herstellungsverfahren für die Prüfkörper gewählt, um den Einfluss verschiedener Verfahren auf die Faserschädigung und auf die mechanischen Eigenschaften der Compounds abschätzen zu können.

Das faserschonendste Verfahren ist dabei die Herstellung der Sandwichelemente, da hier die Fasern keiner mechanischen Belastung unterzogen werden, sondern nur zwischen den einzelnen Polymerfilme eingestreut und anschließend verpresst werden. Der zweitschonendste Prozess sollte die Herstellung von Knetplatten sein; hier werden zwar die Fasern während des Knetens mechanisch geschädigt, jedoch beim anschließenden Pressvorgang nicht mehr. Beim Compoundieren findet eine dreifache Faserschädigung statt, zuerst beim Pelletieren (Herstellung von dosierfähigen Faserpellets), anschließend beim Compoundieren (mischen) und schlussendlich beim Spritzgießen der Probekörper.

.2.1 Herstellung der Prüfkörper:

Dazu wurden die für die Untersuchungen notwendigen Prüfkörper mit folgenden Verfahrenstechniken hergestellt:

1. Compoundieren

- a. Pelletieren
- b. Compoundieren
- c. Spritzguss (Universalprüfkörper ISO 3167)

2. Knetterplatten

- a. Knetter
- b. Platten pressen und Herausfräsen der Prüfkörper ISO 3167; 80x10x4 mm)

3. Sandwichplatten

- a. Flachfolie
- b. Platten pressen und Herausfräsen der Prüfkörper ISO 3167; 80x10x4 mm)

1.a) Pelletieren

Beim Pelletieren werden die zu verarbeitenden Fasern mit Hilfe der Kollerscheiben durch die Matrize gepresst. Der komprimierte Faserstrang wird anschließend durch die beiden darunterliegenden Messer abgeschnitten. Das Kompressionsverhältnis der Matrizen gibt das Verhältnis des Durchmessers zur Lochlänge an.



Abb. 23: Pelletierpresse mit Kollergang und Matrize

1.b) Compounder

Die Compoundherstellung erfolgte auf dem parallelem gleichlaufenden Doppelschneckenextruder Thermo Prism TSE 24 HC. Die Compounds wurden durch eine Zwei- oder Dreilochdüse extrudiert, im Wasserbad abgekühlt und anschließend in der Schneidmühle abgeschlagen.

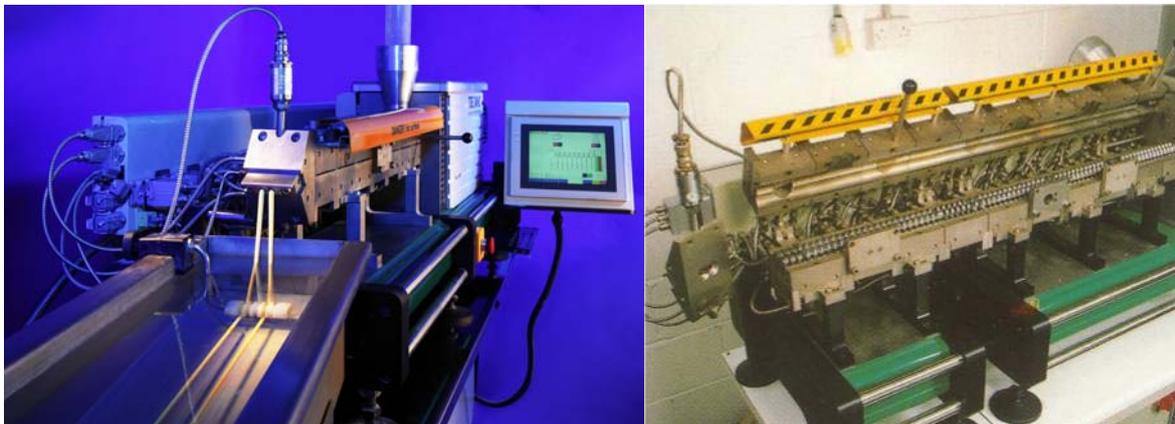


Abb. 24 und 25: Compounder mit geöffnetem Schaft

1.c) Spritzguss

Die im Trockentrichter vorgetrockneten Compounds wurden auf der Spritzgussmaschine zu Universal-Probekörpern (Typ 1A, ISO 3167) verarbeitet (siehe Abbildung 27). Die Spritzgussparameter wurden individuell auf den Compound eingestellt.



Abb. 26: Spritzgießmaschine mit Detailansicht der Spritzeinheit

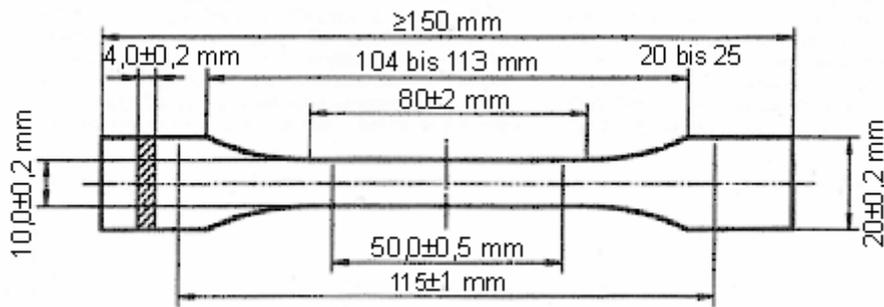


Abb. 27: Normprüfkörper nach DIN EN ISO 3167

2.a) Knetter

Beim Knetprozess wird der Compound zwischen zwei Knetterwalzen in einem beheizten Zylinder aufgeschmolzen, geknetet und zeitabhängig im plastifizierten Zustand entleert.



Abb. 28: Knetter mit geöffneter Knetkammer

Für die Ermittlung der optimalen Knetdauer sowie Art der verwendeten Refinerfaser (Pellets vs. Rohfaser) wurden Vorversuche durchgeführt

Zum Kneten wurden die Komponenten abgewogen und immer in der gleichen Reihenfolge zugeführt. Zuerst wurde das Basispolymer (PP 2, siehe Tabelle 2) inklusive dem Haftvermittler bei 210°C vollständig aufgeschmolzen und anschließend die Fasern (30 wt%) dazugegeben. Bei einem Chargengewicht von jeweils 40 g ergab das je nach Faseranteil eine Plattendicke von ca. 3 mm Stärke Um eine minimale Faserschädigung bei guter Homogenität zu erreichen, wurde der Compound so lange geknetet bis das Drehmoment einen konstanten Wert erreichte.

2.b) Presse

Nach dem Knetprozess kam die Masse in das vorgewärmte Tauchkantenwerkzeug und wurde in der Heizpresse bei 210°C für einige Minuten bis zur Tauchkante vorgepresst. Anschließend wurde die Masse solange gepresst bis sie seitlich aus dem Werkzeug auszutreten begann. Danach wurde das Werkzeug in die Kühlpresse unter 20 bar Druck bis auf ca. 40°C abgekühlt. Aus den Knetplatten wurden Probenstreifen mit der Dimension 80x10 mm mittels Probensäge herausgearbeitet.

3.a) Flachfolie

Für die Sandwichplattenherstellung wurden Flachfolien auf einer Flachfolienanlage hergestellt. Dabei wurden Compounds aus PP 2 mit/ohne Haftvermittler verwendet.



Abb. 29: Flachfolienanlage

3.b) Sandwichherstellung

Anstatt den Compound zu kneten wurden die Platten Schicht für Schicht aufgebaut. Dabei wurden PP-Flachfolien (PP 2 mit/ohne Haftvermittler) und Refinerfaser aufeinander geschichtet. Die beiden Deckschichten waren jeweils die Polymerfolie. Die Rohfasern wurden aus der komprimierten Ballenform so fein wie möglich aufgefasert und gleichmäßig in jeder Schicht verteilt.

Aus der gewonnenen Sandwichplatte wurden Probenstreifen mit der Dimension 80x10 mm mittels Probensäge herausgearbeitet. Die Dicke der Sandwichplatten lag zwischen 3 – 3,2 mm.

5.2.2 Ergebnisse und Diskussion

a) Faserlängenabbau

Zur Bestimmung des Faserlängenabbaues wurden Proben aus den einzelnen Prozessschritten untersucht (Matrix: PP 2 + 3% Haftvermittler). Gemessen wurden vor allem die längsten vorhandenen Fasern in einer Probe. Das Ergebnis lässt dadurch keinen Rückschluss auf die Quantität der Faserlängen zu (Tabelle 1).

Tabelle 1: Faserlängenabbau

Probennummer	Faserlänge/Durchmesser [μm]				
	Rohfaser	Pellet	Strang	Granulat	Spritzguss
RF 30%	5500/70	4500/550	1900/70	1800/160	2780/640
	6400/220	6500/500	2900/250	3040/170	3300/180
	8400/260	7900/240	3200/280	4470/230	3300/350
	20000/1000	8400/500	6430/200	4700/190	4500/590
Aspect Ratio	20 – 80	13 – 30	11 – 28	11 – 20	4 – 15
RF 50%	5500/70	4500/550	2500/320	600/80	560/130
	6400/220	6500/500	3100/260	3400/550	650/50
	8400/260	7900/240	4700/120	4530/250	3170/290
	20000/1000	8400/500	5200/290	4700/580	5410/400
Aspect Ratio	20 – 80	13 – 30	11 – 39	6 – 18	3 – 12
RF 70%	5500/70	4500/550	4960/490	3780/220	500/38
	6400/220	6500/500	5770/400	4220/480	2690/300
	8400/260	7900/240	6240/480	4420/560	3700/340
	20000/1000	8400/500	7180/520	4780/350	4240/500
Aspect Ratio	20 – 80	13 – 30	12 – 13	8 – 18	8 – 13
Standardholz (SH) 30%	860/200	/	/	720/390	690/410
	1040/140	/	/	900/320	840/300
	1220/170	/	/	1200/290	1150/280
	1360/200	/	/	1350/450	1250/410
Aspect Ratio	4 – 7	/	/	2 – 5	2 – 5

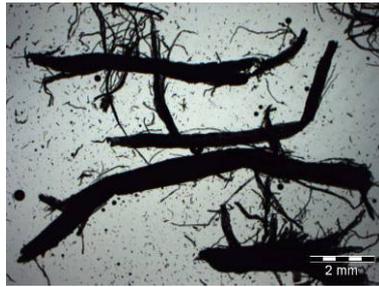
Die in Tabelle 1 abgebildeten Ergebnisse zeigen den deutlichen Faserlängenabbau der Refinerfasern bis zum Compoundierprozess. Das Abschlagen des Granulates durch die

Schneidmühle sowie der Spritzgussprozess führen nur mehr zu einer geringen Faserverkürzung (Abb. 30). Die unterschiedlichen Massenanteile der Refinerfasern haben keinen Einfluss auf die Faserverkürzung.

Anders verhält es sich bei den Standard-Holz-Partikeln. Mit einem Aspect Ratio der Rohfaser von 4 – 7 ist durch den Verarbeitungsprozess kein nennenswerter Faserlängenabbau feststellbar. Durch die Probenpräparation kam es zum Teil zu kreisrunden Luft einschlüssen (Abb. 31)



Rohfaser



Pellet



Strang

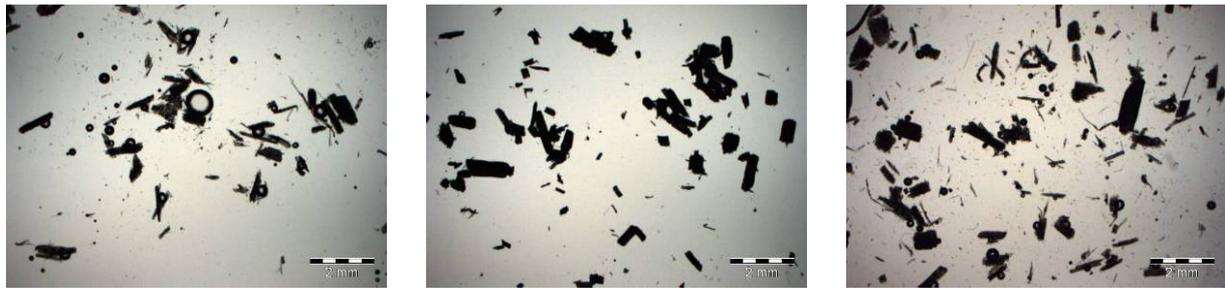


Granulat



Spritzguss

Abb. 30: Faserschädigung bei den Refinerfasern durch die Verarbeitungsschritte



Rohfaser

Granulat

Spritzguss

Abb. 31: Faserschädigung bei den Standard-Holz-Partikeln durch die Verarbeitungsschritte

b) Mechanische Werkstoffkennwerte für Compoundermischungen

In den folgenden Abbildungen werden mechanische Kennwerte von durch Compoundieren hergestellte Werkstoffe mit unterschiedlichen Fasergehalten und Faserarten dargestellt. Als Basispolymer wurde dabei PP 2 verwendet, der Haftvermittleranteil betrug bei allen Mischungen 3%.

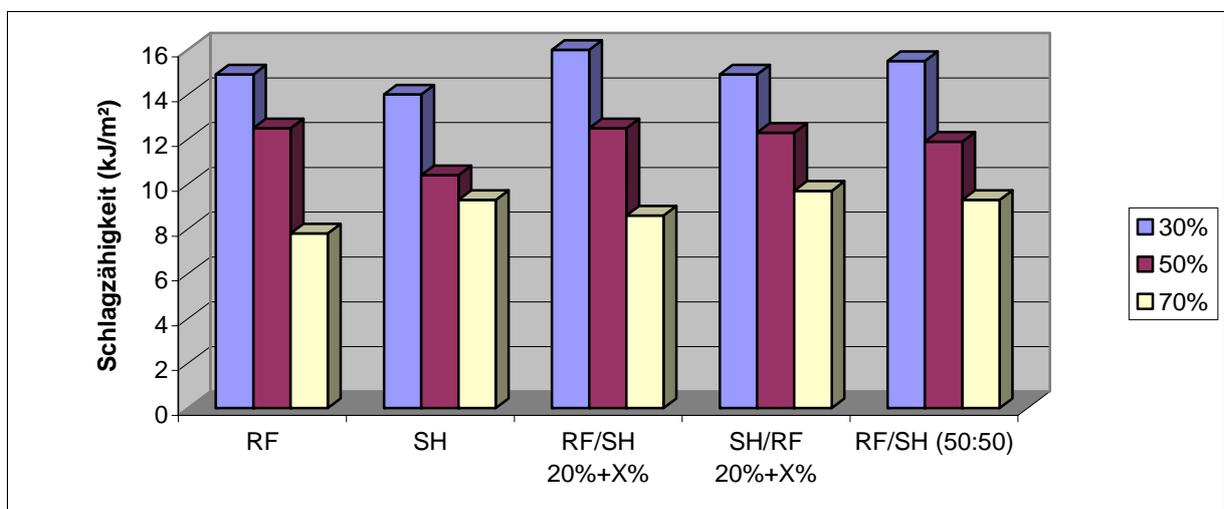


Abb. 32: Schlagzähigkeitswerte der Fasercompounds (Compounder) (RF - Refinerfaser, SH – Standardholzspäne)

Die Ergebnisse aus Abbildung 32 zeigen bei gleichem Fasergewichtsprozent einen sehr konstanten Verlauf der Schlagzähigkeit über die unterschiedlichen Fasermischungen.

Daraus wird ersichtlich, dass durch den Verarbeitungsprozess verkürzte Refinerfasern gleiche Werte wie kurzfasrige Compounds mit Standard-Holz-Spänen und deren Mischungen erreichen.

Durch die hohe Steifigkeit der Holzfasern steigt mit Zunahme des Faseranteils die Sprödigkeit der Mischung, welche eine Verringerung der Schlagzähigkeit zur Folge hat.

Abbildung 33 zeigt einen annähernd konstanten Verlauf des Biegemoduls bei gleichem Fasergewichtsanteil wobei die Werte der Refinermischungen mit 70 % niedrigere Werte liefern als vergleichsweise die 50 %igen Mischungen.

Das lässt darauf schließen, dass es bei dieser Mischung aufgrund des hohen Faseranteils durch Agglomeratbildung in der Schmelze zu vermehrten Bindungsfehlern zwischen Matrix und Fasern kommt. Dieses Verhalten zeigte sich bereits beim Compoundieren, wo eine kontinuierliche Strangbildung nicht möglich war (Stranglänge 50 bis 200 mm). Die Stränge wurden per Hand der Schneidmühle zugeführt.

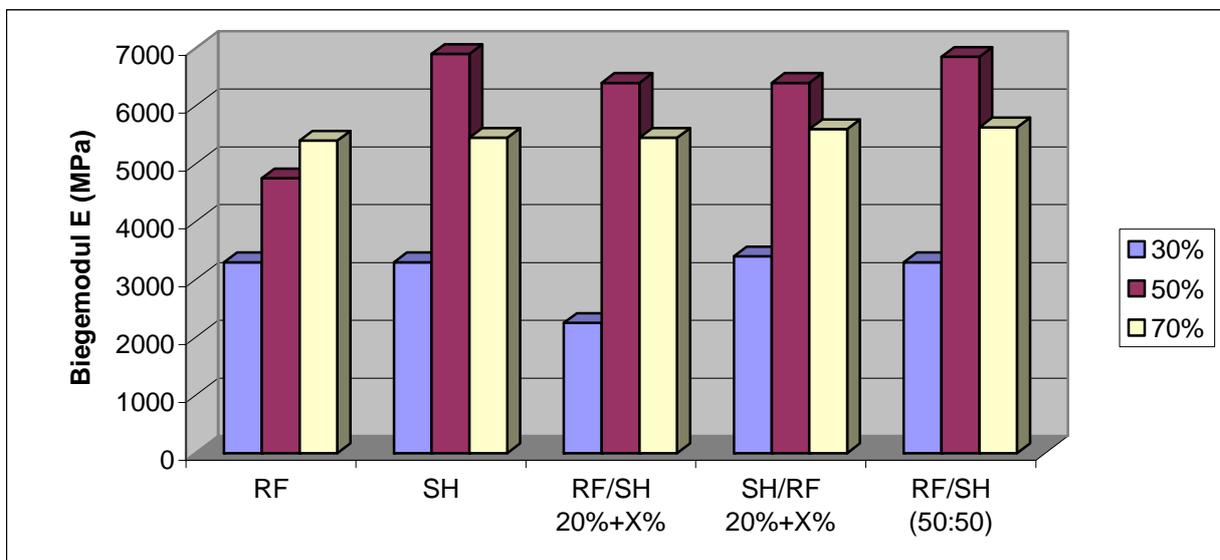


Abb. 33: Biegemodul der Fasercompounds (Compounder) (RF und SH sind vertauscht)

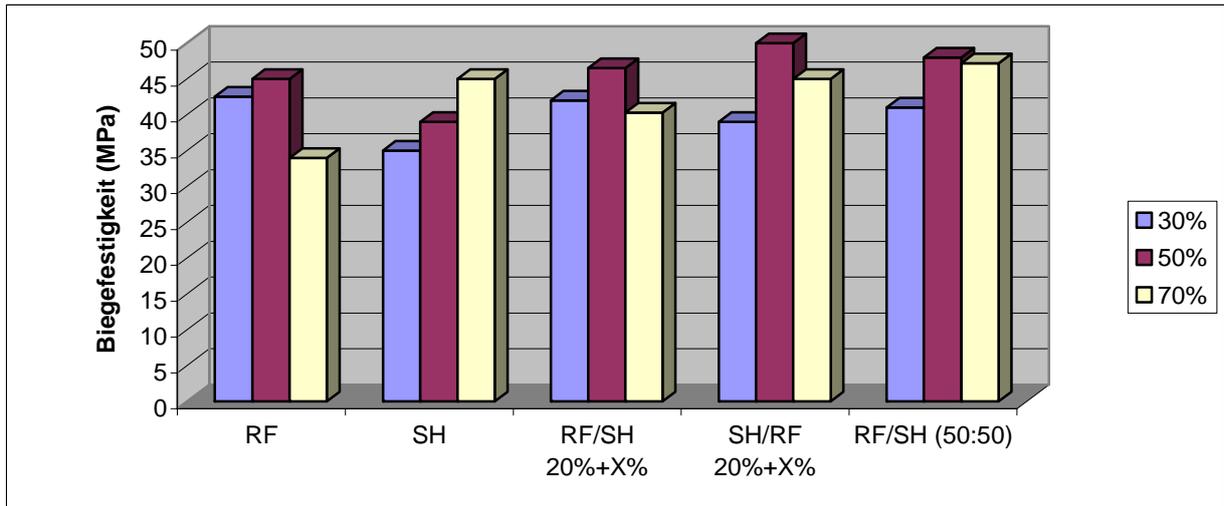


Abb. 34: Biegefestigkeit der Fasercompounds (Compounder)

Die Biegefestigkeit in Abbildung 34 zeigt, dass bis auf eine Ausnahme, das Maximum bei 50 wt% liegt. Einzig allein die Werte vom Stand-Holz-Span erreichen das Maximum erst bei 70 wt%. Vergleicht man die Werte mit jenem von reinem PP 2 (33,45 MPa), dann erhält man durch die Steifigkeit der Holzfasern durchgehend höhere Werte. Aufgrund von Agglomeratbildung kommt es bei der Refinermischung mit 70 wt% aber zu einer Verminderung der Zugfestigkeit. Der Biegemodul lässt ebenfalls dieselbe Tendenz wie beim Zugmodul erkennen. Die Absolutwerte liegen auf demselben Niveau.

Aus Abbildung 35 erkennt man, dass die Wärmeformbeständigkeit (HDT-A) mit steigendem Fasergehalt generell zunimmt. Vergleicht man die unterschiedlichen Fasermischungen so sind die Absolutwerte bei einem gegebenen Fasergehalt sehr ähnlich. Gegenüber dem reinen PP 2 (55,8°C) kommt es bei Mischungen mit 70 wt% Fasergehalt zu einer Steigerung von bis zu 150%.

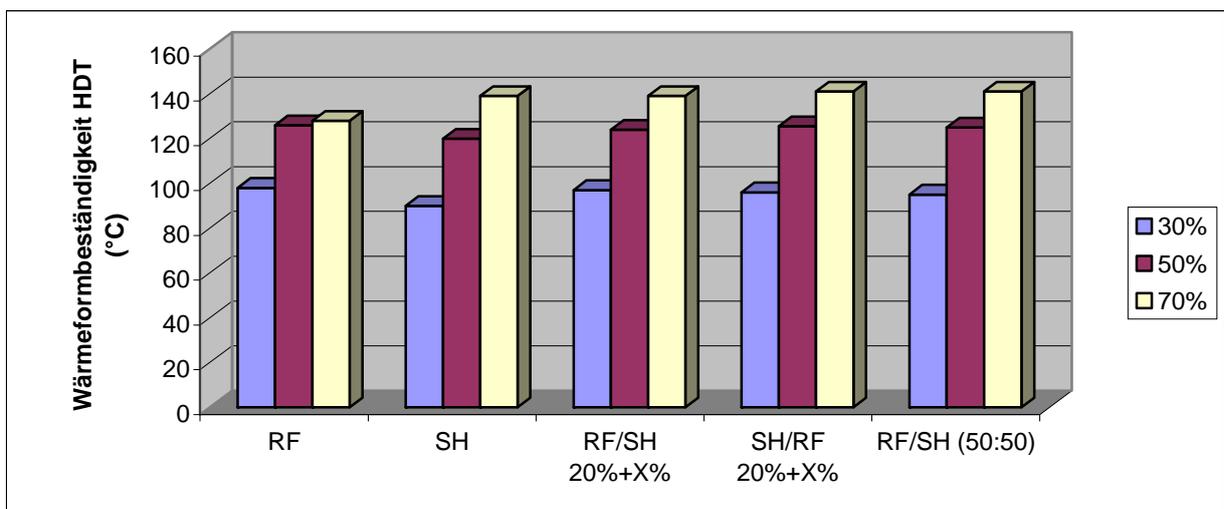


Abb. 35: Wärmeformbeständigkeit nach HDT für die Fasercompounds (Compounder)

c) Mechanische Werkstoffkennwerte für Knetermischungen

Auch hier wurde wie beim Punkt b) Compounder die gleiche Standardrezeptur verwendet, nämlich 3% Haftvermittler und PP 2.

Vergleicht man die Werte in Abbildung 36 mit jenen in Abbildung 32, so erkennt man, dass die Absolutwerte beim Kneten deutlich unter jenen der Compoundermischungen liegen. Eine der Ursachen für diese Tatsache ist sicherlich die wesentlich bessere Kompaktierung und Faserausrichtung bei der Prüfkörperherstellung mittels Spritzgießverfahren, wie es beim Compoundierverfahren angewendet wird.

Bei den hergestellten Knetterplatten waren auch speziell bei den Proben mit 70 Massenprozenten Agglomeratbildungen zu beobachten.

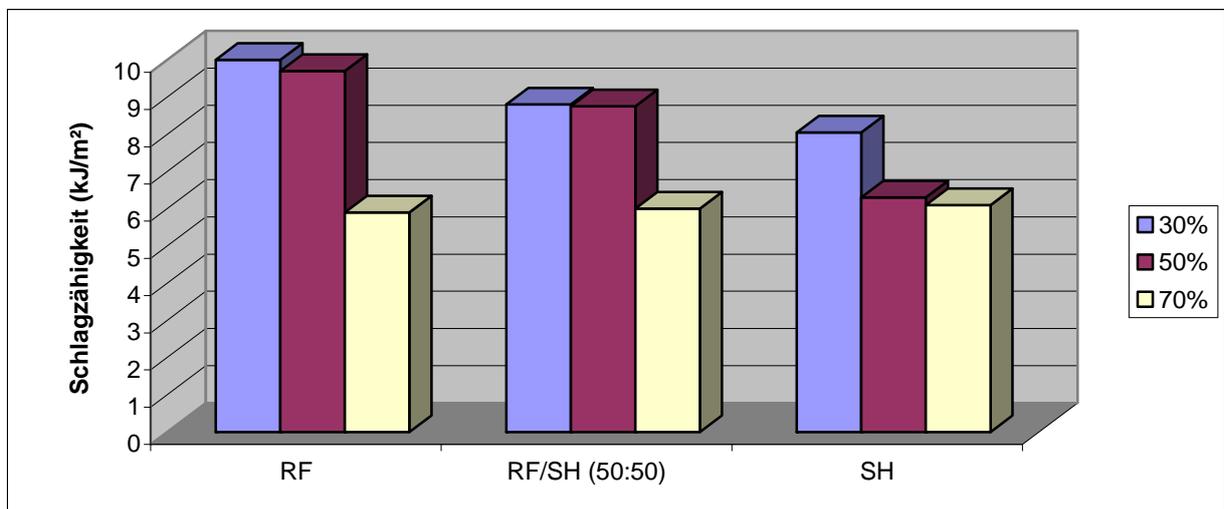


Abb. 36: Schlagzähigkeit der Fasercompounds (Knetter)

Abbildung 37 zeigt den Anstieg des Biegemodul bei höheren Massenprozenten an Fasern. Dieser Trend ist analog zu Abbildung 33, mit dem Unterschied der verminderten Absolutwerte.

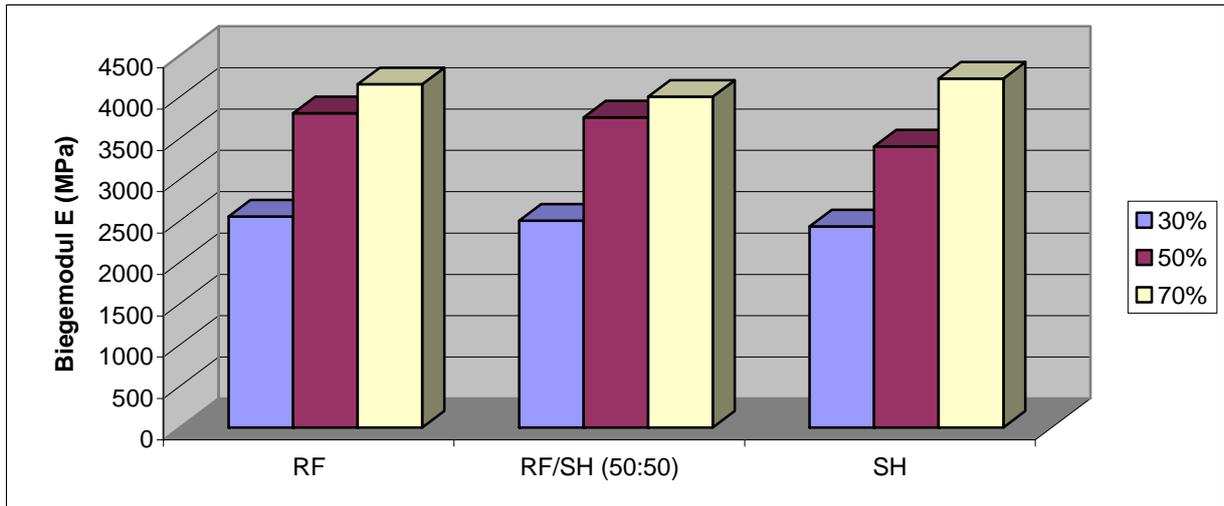


Abb. 37: Biegemodul der Fasercompounds (Knetter)

Bei der Biegefestigkeit in Abbildung 38 sieht man das Maximum der Werte bei 50 Massenprozenten. Die Werte der Refinermischungen sind vergleichbar mit den Ergebnissen von den Standardholzspänen.

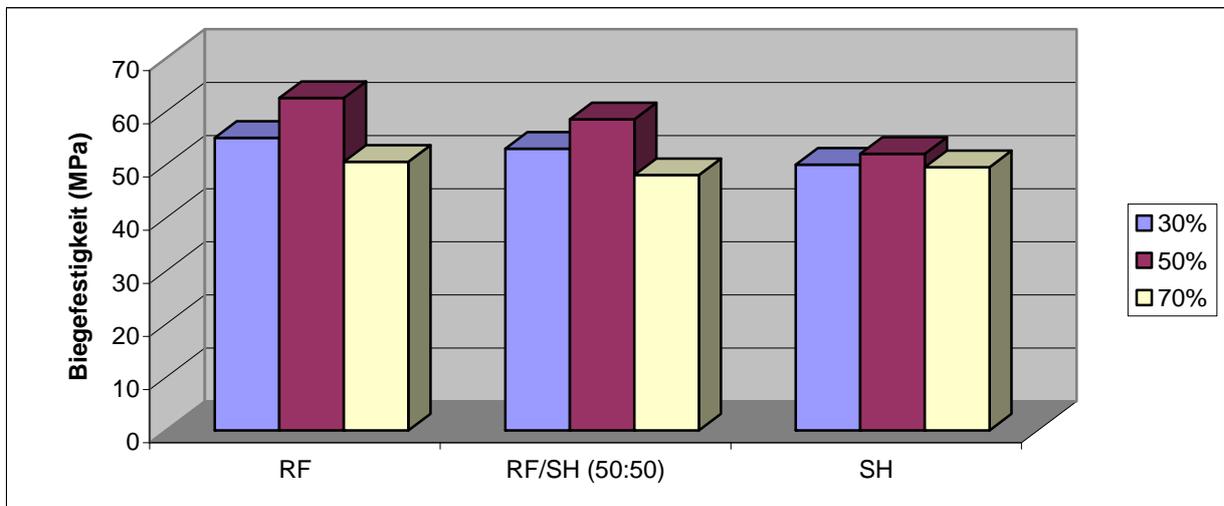


Abb. 38: Biegefestigkeit der Fasercompounds (Knetter)

Ein Grund für die verminderten Werkstoffkennwerte beim Knetprozess gegenüber dem Spritzgussprozess ist neben der geringen Probenkompaktheit die beliebige Orientierung der Fasern im Compound. Von Vorteil ist, dass der Compound beim Kneten gegenüber dem Compound- Spritzgussprozess thermisch weniger belastet wird.

d) Vergleich zwischen Sandwich- und. Knetter-Verfahren:

In Abb. 39 werden die Schlagzähigkeitswerte der Sandwichplatten mit jenen der Knetterplatten verglichen (PP 2 mit 30% Refinerfasern, mit und ohne Haftvermittler).

Man erkennt, dass die Schlagzähigkeit der Sandwichplatte mit Haftvermittler deutlich unter jener des Kneters liegt. Auffallend ist, dass beim Sandwich die Probe mit Haftvermittler geringere Schlagzähigkeitswerte erreicht als jene Probe mit Haftvermittler.

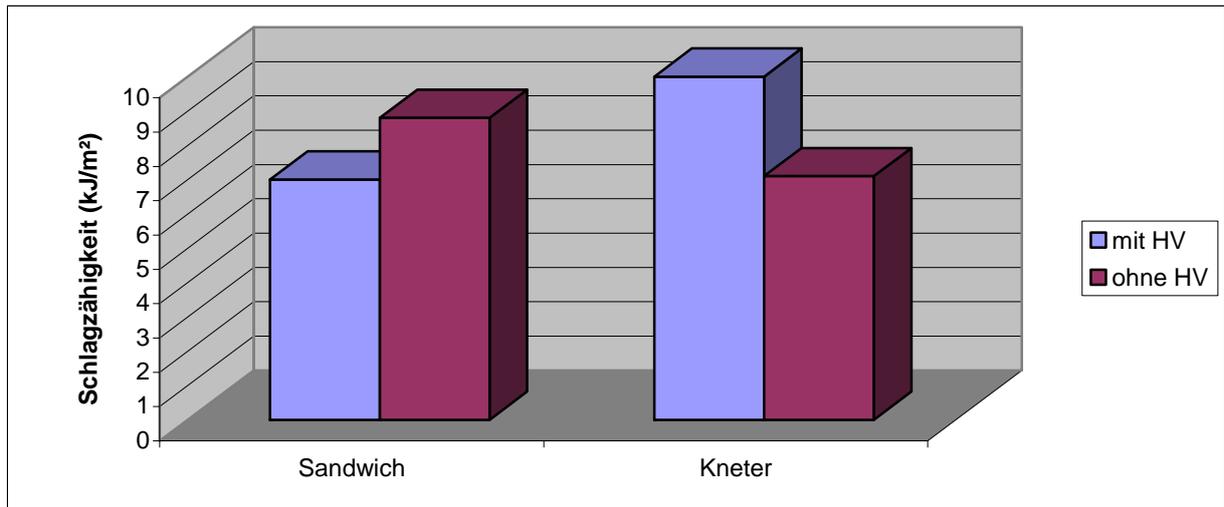


Abb. 39: Schlagzähigkeit – Vergleich Sandwich- und Knettermethode

Die Ergebnisse in Abbildung 40 zeigen einen sehr konstanten Wert des Biegemodules über alle Plattenmischungen. Der Unterschied zwischen den Platten mit und ohne Haftvermittler ist sehr gering und liegt innerhalb der Standardabweichung.

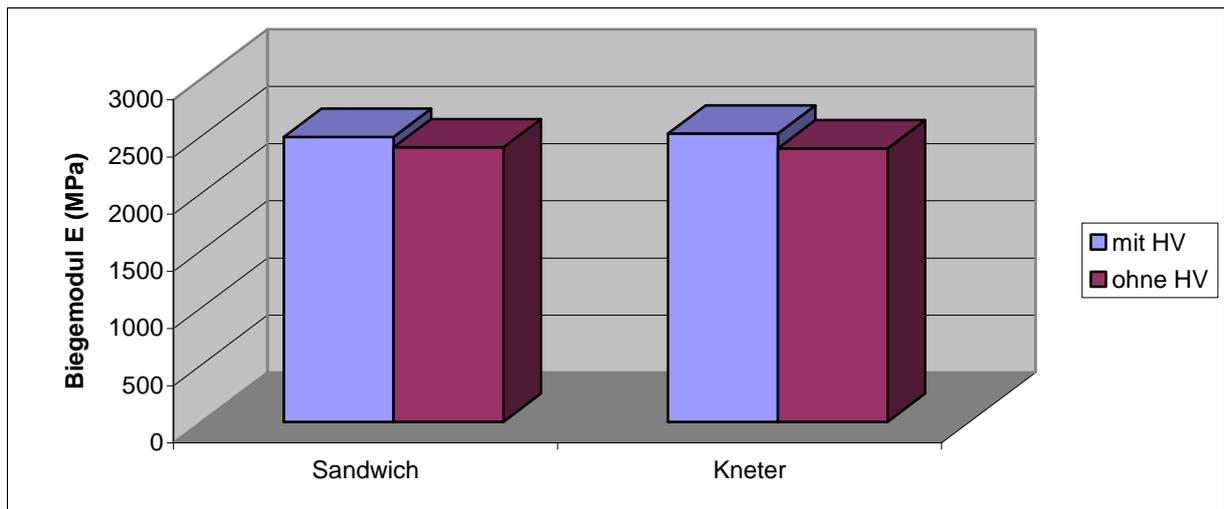


Abb. 40: Biegemodul – Vergleich Sandwich- und Knettermethode

Die Ergebnisse der Biegefestigkeit in Abbildung 41 folgen demselben Trend wie beim Biegemodul in Abbildung 40.

Anhand der Ergebnisse aus den Abbildungen 39 – 40 ist ersichtlich, dass man durch die Sandwichplattenherstellung, bei der es zu keiner Faserschädigung kommt, keine höheren mechanischen Werkstoffkennwerte erzielen kann.

e) Zusammenfassung der Voruntersuchungen

Ziel dieser Voruntersuchungen war die Auslotung der Eigenschaftsmatrix von holzfaserverstärkten thermoplastischen Compounds unter Verwendung von Refinerfasern und deren Mischungen mit handelsüblichen Holzpartikeln.

Zusätzlich wurde die Faserschädigung während der Verarbeitungsschritte wie dem Pelletieren, Compoundieren, Spritzgießen und Kneten untersucht.

Die mechanische Schädigung der Holzfasern durch die einzelnen Verarbeitungsschritte wurde mittels Lichtmikroskopie analysiert. Die Fasern wurden dazu aus dem Matrixwerkstoff Polypropylen mittels Xylol extrahiert.

Die Untersuchung des Faserlängenabbaues der Refinerfaser über die gesamten Verfahrensschritte ergab, dass der Großteil der Faserschädigung bereits beim Pelletieren und Compoundieren auftritt. Die nachfolgenden Verfahren wie Strangabschlagen und Spritzguss haben nur einen geringen Einfluss auf die Faserlänge.

Dem gegenüber ist der Faserlängenabbau von Standard-Holzpartikeln über die Prozesskette vernachlässigbar gering.

Die mechanische Charakterisierung der mittels Compounder hergestellten Fasermischungen hat folgende Ergebnisse gezeigt:

Mit steigendem Holzfasergehalt sinkt die Schlagzähigkeit, dem gegenüber steigt der Biege- und Zugmodul sowie die Biege- und Zugfestigkeit und die Wärmeformbeständigkeit.

Durch den hohen Faserlängenabbau bei den Verfahrensschritten konnten die Refinerfasern, gegenüber den Holzpartikeln keine höheren mechanischen oder thermischen Werkstoffkennwerte erzielen.

Aufgrund des starken Abbaus der Faserlängen durch die Verarbeitungsschritte, bis zum Spritzgussteil wurde versucht, mittels Knetprozess die Faserschädigung so weit wie möglich zu minimieren, um das Potential der Faserverstärkung auszuloten.

Die mechanischen Prüfergebnisse zeigen aber im Vergleich bei den Knetproben durchgehend geringere Kennwerte gegenüber den Compoundproben.

Durch die Herstellung von Sandwichplatten wurde der Einfluss der Faserschädigung bei Refinerfasern im Prozess umgangen. Die mechanische Analyse der Platten ergab jedoch nahezu gleiche Werte wie jene der Knetplatten.

Zusammenfassend kann man anhand der annähernd gleichen Ergebnisse zwischen Refinerfaser und Standard-Holzpartikeln von keinem werkstofftechnischen Vorteil für die Langfasern sprechen. Zusätzlich muss derzeit der Verarbeitungsschritt des Pelletierens in der betriebswirtschaftlichen Bilanz berücksichtigt werden. Aus diesem Grund liegt der Vorteil der Refinerfasern momentan nur in den wesentlich geringeren Anschaffungskosten.

Der Einsatz der Refinerfasern ist daher wirtschaftlich nur sinnvoll, wenn der Zwischenschritt des Pelletierens vermieden werden kann und eine Direktdosierung der Fasern möglich ist!

5.3 Evaluierung des Eigenschaftspotentials

Nach den Voruntersuchungen wurden noch der Einfluss des Polymers und der Faserlänge von Refinerfasern auf die Eigenschaften der Compounds untersucht.

5.3.1 Variation des Basispolymeres:

Die Untersuchungen wurden mit 3 unterschiedlichen Basispolymeren (jedoch alle auf Basis Polypropylen) durchgeführt, welche sich sowohl in ihrem chemischen Aufbau (d.h. Homo-

und Copolymeren) als auch in ihren mechanischen und rheologischen Eigenschaften unterschieden. In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten Eigenschaften dieser Polymere angeführt.

Tabelle 2: Eigenschaften der verwendeten Polypropylene

	PP1	PP2	PP3
Type	Copolymer	Homopolymer	Copolymer
MFR (230°C/2,16 kg)	22	8	2,5
Dichte (kg/m ³)	920	908	900
Zugmodul (MPa)	1850	1500	850
Zugfestigkeit (MPa)	35	33,5	30
Schlagzähigkeit (23°C, kJ/m ²)	102		
Kerbschlagzähigkeit (23°C, kJ/m ²)	4	4	8

Zur Herstellung der Polymer-Faser-Mischungen wurden 2 unterschiedliche Verfahren verglichen, nämlich der batchweise Knetprozess und das kontinuierliche Compoundierverfahren.

In Abbildung 41 sieht man die Abhängigkeit der Schlagzähigkeit bezogen auf das Matrixpolymer. Grundlegend erkennt man, dass die 30%- Mischungen sowie die Mischungen mit Haftvermittler höhere Werte erreichen. Die Schlagzähigkeit korreliert sehr gut mit der Ausgangsviskosität der Polymere, je niedrigviskoser das Polymer ist, desto geringer ist auch die Schlagzähigkeit (gilt für Mischungen sowohl mit als auch ohne Haftvermittler). Diese Abhängigkeit ist aber bei den hochgefüllten (50% Faseranteil) Mischungen nicht mehr so stark ausgeprägt. Das zeigt die „Dominanz“ der Fasern in diesen Proben, das bedeutet, das Matrixmaterial hat bei den 50 wt% Mischungen durch die zu häufig vorkommenden Faser-Agglomeraten, keinen Einfluss mehr auf die Schlagzähigkeit.

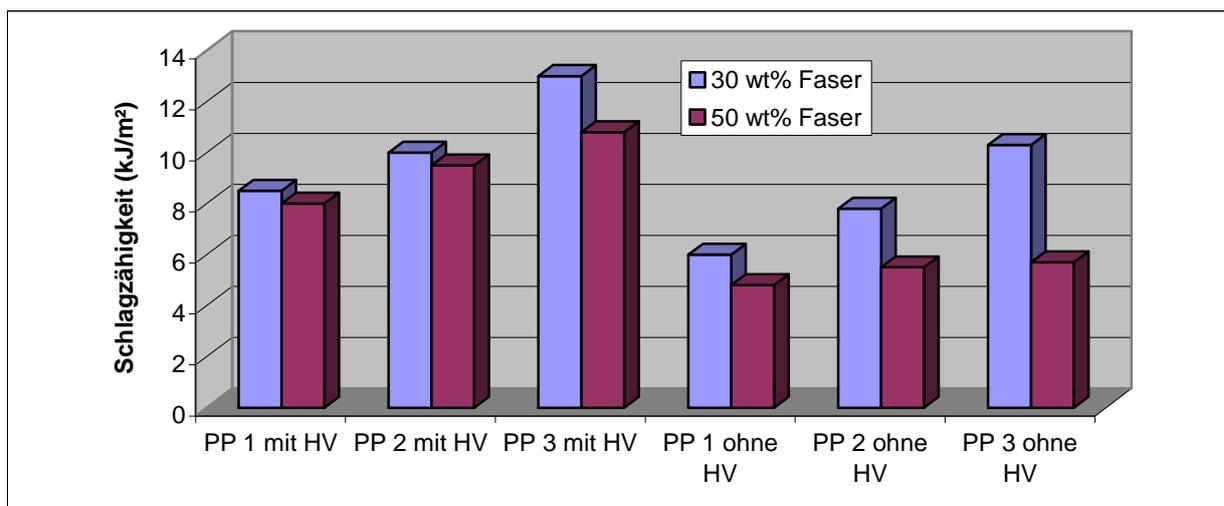


Abb. 41: Vergleich der Schlagzähigkeit von PP-Refinerfasercompounds, hergestellt mittels Kneters; mit und ohne Haftvermittler

Aus der Abbildung 42 sieht man, dass die 50 wt%- Mischungen mit Haftvermittler die höchsten Biegemodulwerte zeigen und dass auch hier – ähnlich wie bei der Schlagzähigkeit - eine Korrelation mit den Matrixeigenschaften besteht. Sehr deutlich ist auch der positive Einfluss des Haftvermittlers speziell bei den hochgefüllten Formulierungen erkennbar.

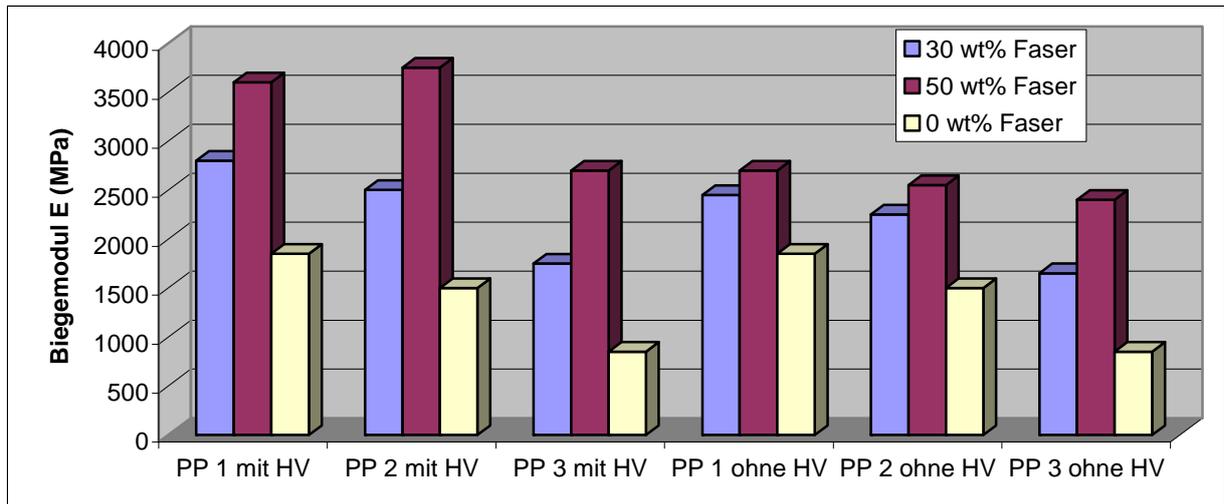


Abb. 42: Vergleich Biegemodul von Refinerfasern-PP-Compounds hergestellt mittels Knetter

Aufgrund der allgemein guten mechanischen Werkstoffkennwerte des Matrixwerkstoff PP 2 und der hohen Schlagzähigkeitskennwerte von PP 3 wurden Fasercompounds mit diesen Materialien nochmals im Compoundierverfahren hergestellt um die maximal möglichen mechanischen und thermischen Werkstoffkennwerte auszuloten.

Die Ergebnisse der Schlagzähigkeit aus Abbildung 43 folgen grundlegend dem Trend aus den Ergebnissen des Knetversuches. Durch den Compoundierprozess zeigt sich gegenüber dem Knetprozess eine Steigerung der Schlagzähigkeit von 15 – 20%, bei gleichzeitiger Minimierung der Standardabweichung.

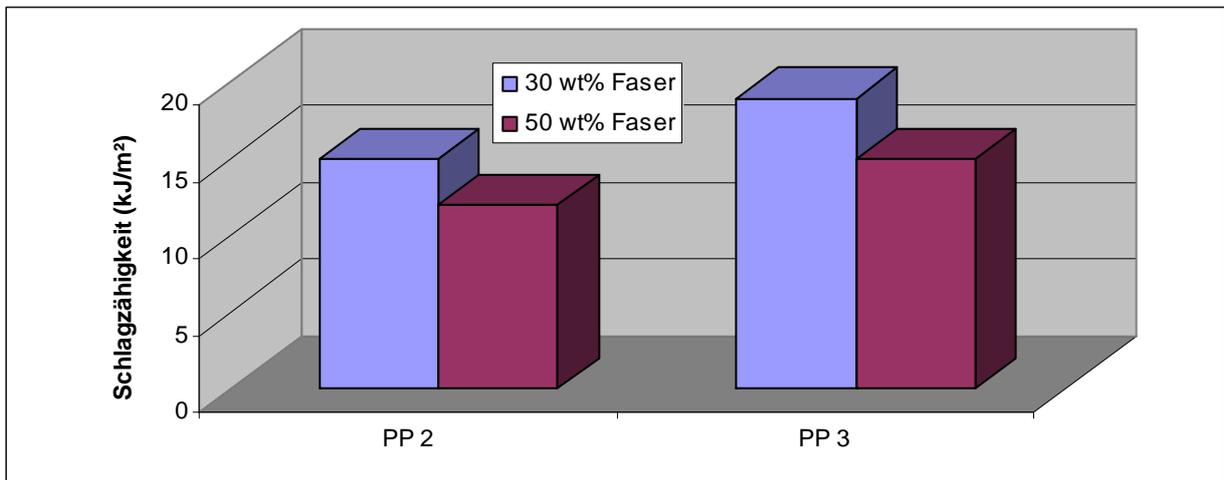


Abb. 43: Vergleich der Schlagzähigkeit von Refinerfasern-PP-Compounds hergestellt mittels Compounds,

Die Ergebnisse aus der Biegemodulprüfung in Abbildung 44 zeigen ebenfalls um ca. 18 – 25% höhere Werte als jene aus dem Knetprozess. Den höchsten Absolutwert erreicht dabei das Material mit dem Matrixwerkstoff PP 2 mit 50 wt%.

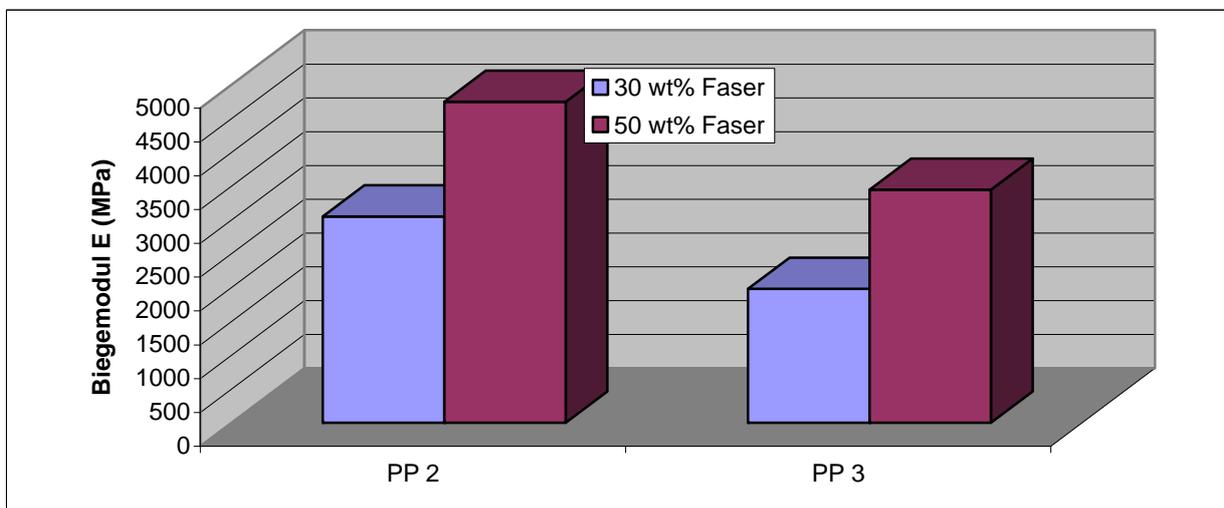


Abb. 44: Vergleich Biegemodul von Refinerfaser-PP-Compounds hergestellt mittel Compounder

5.3.2 Faserlängenvergleich Refinerfaser

Im Projektverlauf wurden zwei Chargen Refinerfasern mit unterschiedlicher Faserlänge ausgetestet. Bei der ersten Charge betrug die Faserlänge ca. 5 – 8 mm (maximal 20 mm), das Aspect Ratio lag bei 20 – 80 (**RF – lang**)

Bei der Anlieferung der zweiten Charge (**Definition: Refinerfaser- kurz**), handelte es sich um wesentlich feinere Fasern mit einer max. Faserlänge von 2 – 4 mm (Ausnahmen: max. 10 mm) und einem Aspect Ratio von 32 - 80.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Fasergeometrien wurde vorab eine Untersuchung der wichtigsten mechanischen und thermischen Werkstoffkennwerte durchgeführt, um zu evaluieren, ob sie einen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften zeigen. Die Probenherstellung erfolgte dabei mittels Compounder- und Spritzgussprozess.

Aus Abbildung 45 erkennt man die deutliche Zunahme der Schlagzähigkeit durch die Verwendung der Refinerfaser- kurz. Der erreichte Absolutwert liegt dabei bei 19 kJ/m², das bedeutet eine Steigerung von ca. 30 %.

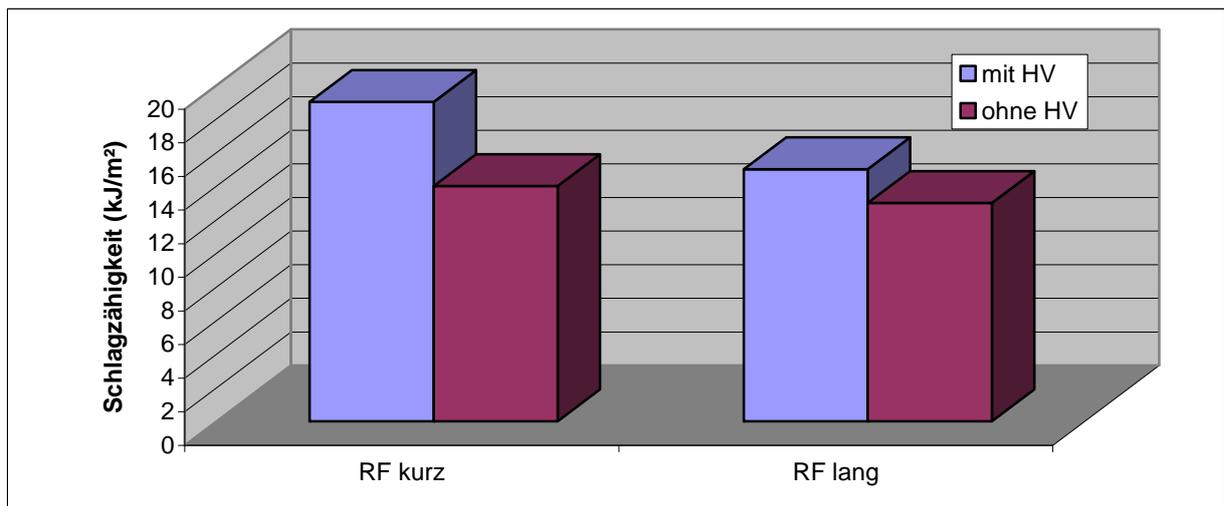


Abb. 45: Vergleich Schlagzähigkeit Refinerfaser, 30 wt%

Die Auswertung des Biegemoduls in Abbildung 46 zeigt annähernd gleich hohe Werte beider Refinerfaserarten. Aufgrund der geringen Differenz der Werte im 10% - Bereich kann von keinem signifikanten Unterschied gesprochen werden.

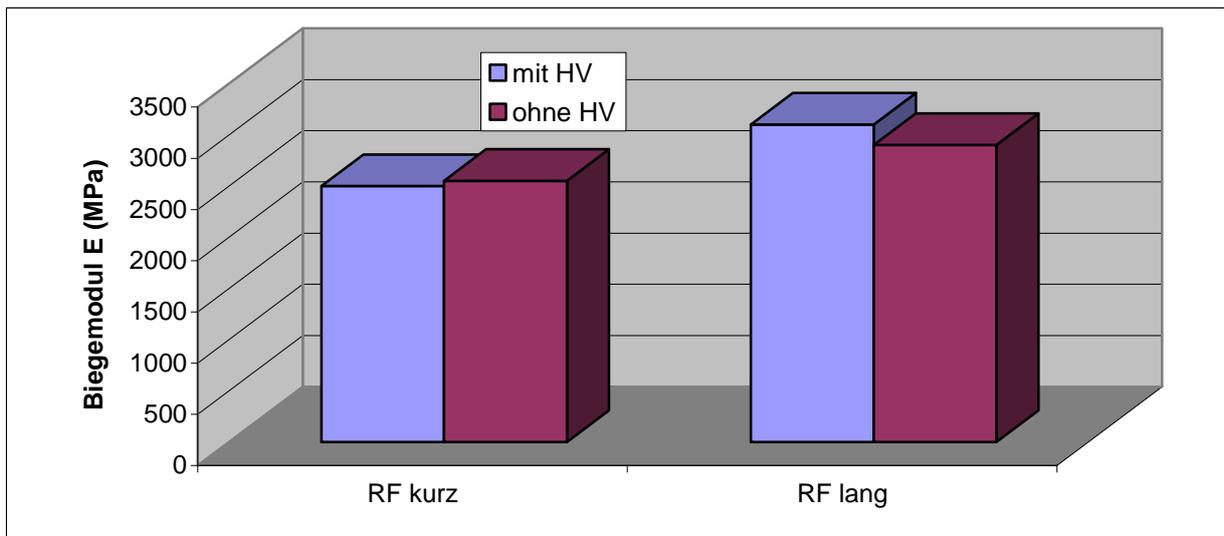


Abb. 46: Vergleich Biegemodul Refinerfaser, 30 wt%

Auch die Biegefestigkeit (Abbildung 47) zeigt ebenfalls idente Werte zwischen beiden Refinerfaserarten. Die Werte der Proben ohne Haftvermittler liegen rund 8 – 10 % unter den Werten von denen mit HV.

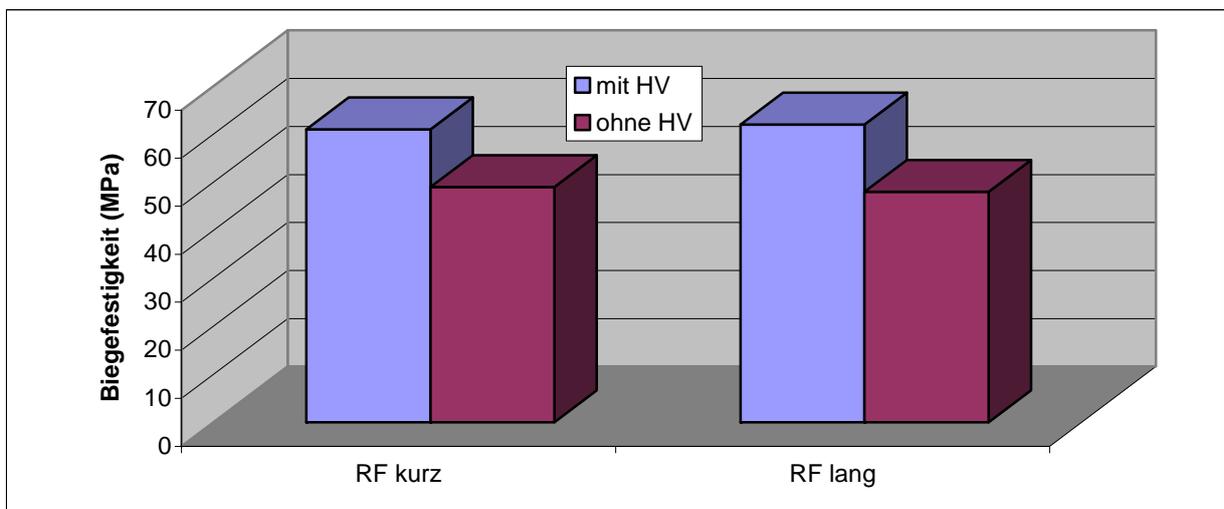


Abb. 47: Vergleich Biegefestigkeit Refinerfaser, 30 wt%

Die Untersuchung der Wärmeformbeständigkeit (Abbildung 48) zeigt idente Temperaturen bei den unterschiedlichen Faserarten. Die Differenz der HDT- Werte bei den kurzen Refinerfasern mit und ohne Haftvermittler ist wie bei den Biegemodulwerten vernachlässigbar. Das zeigt den geringen Einfluß des Haftvermittlers auf die Wärmeformbeständigkeit.

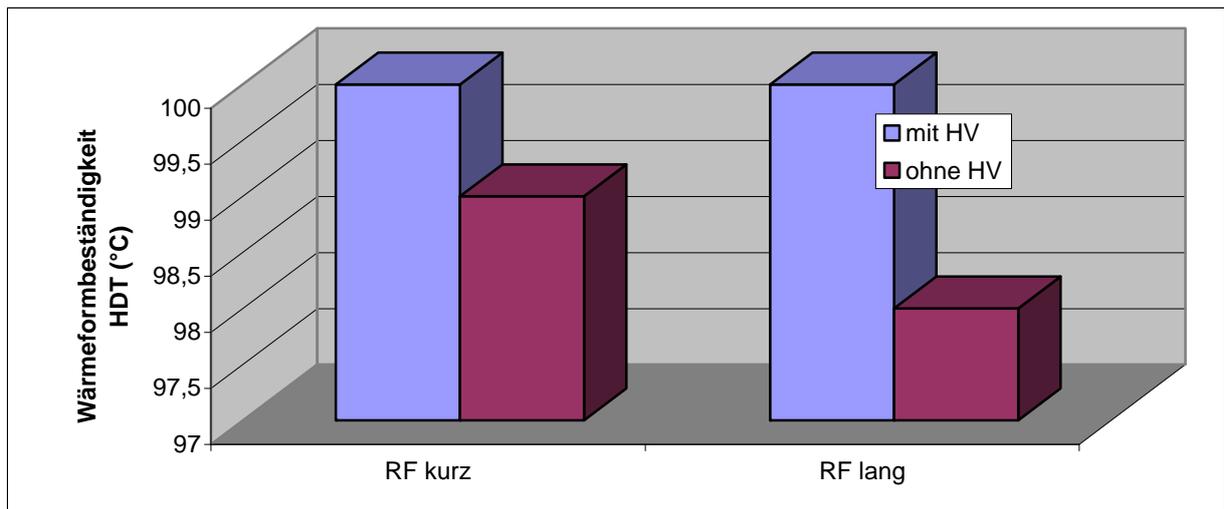


Abb. 48: Vergleich Wärmeformbeständigkeit Refinerfaser, 30 wt%

Aus den ermittelten Ergebnissen kann die Aussage abgeleitet werden, dass bis auf die erhöhte Schlagzähigkeit der Refinerfaser- kurz (+30%), kein erheblicher Unterschied zwischen beiden Refinerfaserarten besteht. Das zeigt den geringen Einfluss der Fasergeometrie und Aspect Ratio auf die mechanischen und thermischen Werkstoffkennwerte.

5.4 Vergleich verschiedener Verarbeitungsverfahren

Der Vergleich zwischen Kneeter und Compounder und Sandwich wurde bereits im vorigen Kapitel behandelt.

5.4.1 Schneidverdichter

Für die Ermittlung der Werkstoffkennwerte mittels Schneidverdichter- Verfahren wurden Werkstoffmischungen mit je 30, 50 und 70 wt% Refinerfaser- kurz mit und ohne Haftvermittler verwendet. Die einzelnen Materialmischungen wurden dabei im Chargenprozess hergestellt. Eindosiert wurde zuerst die Flachfolie, gefolgt von den Refinerfasern. Aufgrund der Verfahrensart kann es, verglichen mit dem Compounder, zu etwas höheren Schwankungen des Fasergehaltes kommen. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Dichte der einzelnen Komponenten und der daraus folgenden leichten Inhomogenitäten beim Mischen im Schneidverdichter.

Die Ergebnisse aus Abbildung 49 zeigen wiederum die Verringerung der Schlagzähigkeit mit steigendem Fasergehalt. Vergleicht man die Schlagzähigkeit der 30 wt%- Mischung (mit HV) mit jener vom Compoundier- Verfahren in Abbildung 28, so liegen die Absolutwerte auf ähnlich hohem Niveau. Dabei muss aber darauf geachtet werden, dass beim

Compoundierverfahren die Refinerfaser- lang verwendet wurde, welche bei gleichem Verarbeitungsverfahren eine um rund 20% geringere Schlagzähigkeit aufweisen.

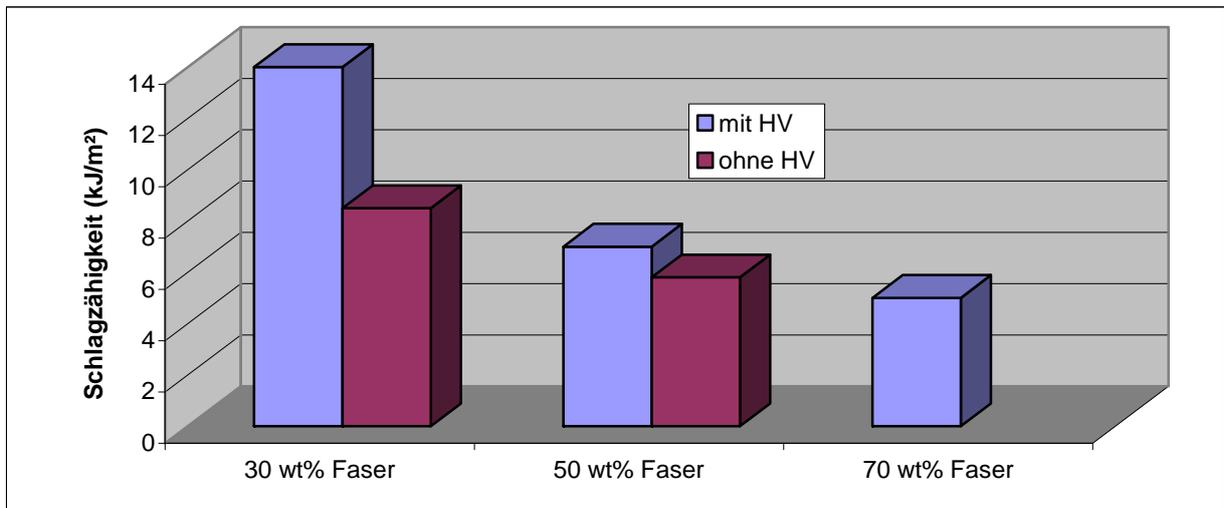


Abb. 49: Vergleich Schlagzähigkeit, Schneidverdichter, RF- kurz

Der Biegemodul aus Abbildung 50 zeigt den stetigen Zuwachs mit steigendem Refinerfasergehalt. Vergleicht man den Biegemodulwert der 30 wt% Mischung mit jenem aus Abbildung 29 (Compounderprozess) so erkennt man durch den Schneidverdichter- Prozess eine Minimierung um ca. 500 MPa. Das entspricht einer Verringerung von ca. 15%.

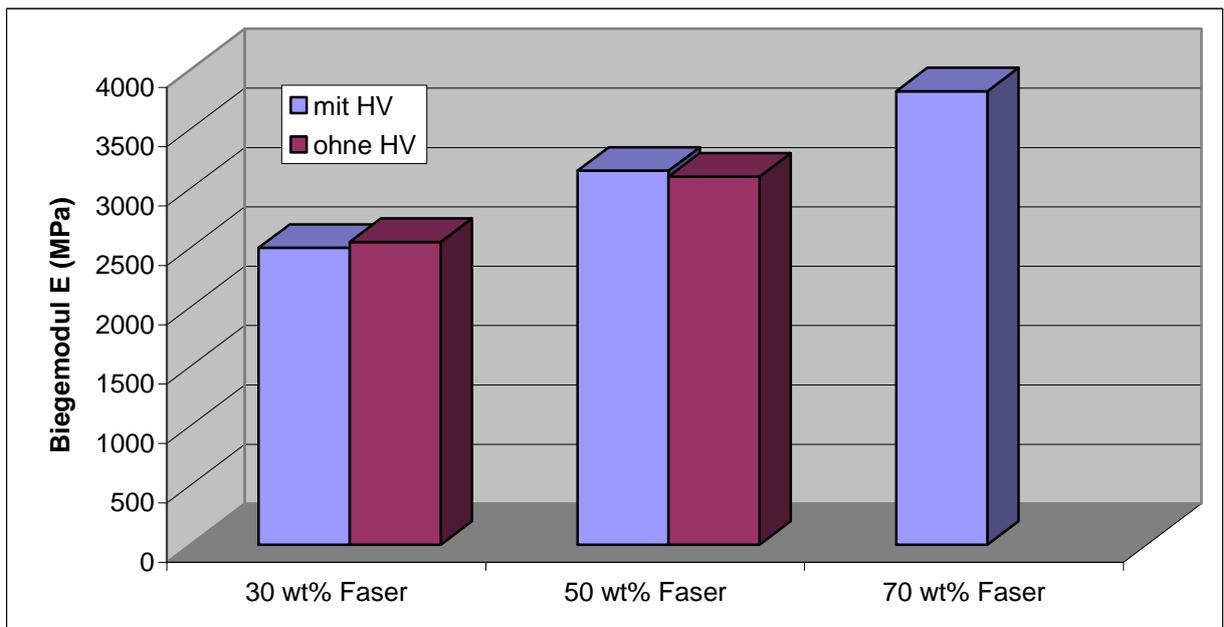


Abb. 50: Vergleich Biegemodul, Schneidverdichter, RF- kurz

Aus Abbildung 51 ist ersichtlich, dass die Biegefestigkeit bei 30 wt% und 50 wt% Fasergehalt vergleichbar groß sind, während bei der 70wt% – Mischung aufgrund von Agglomeratbildung der Fasern ein Abfall der Biegefestigkeit beobachtet werden kann.

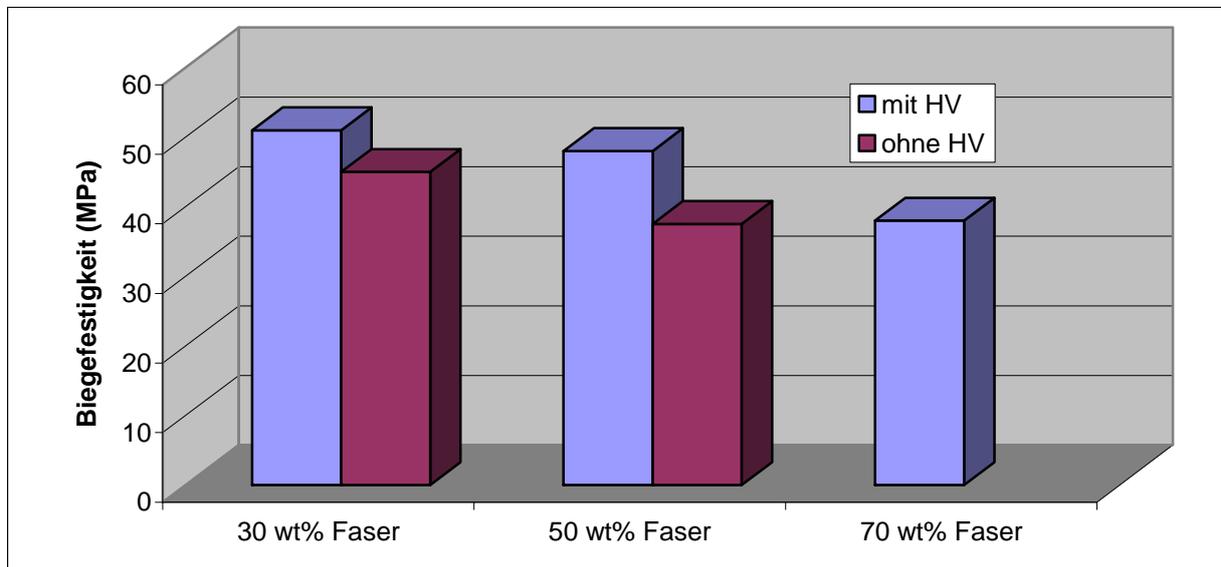


Abb. 51: Vergleich Biegefestigkeit, Schneidverdichter, RF- kurz

5.4.2 Extruder

Im Extrusionsprozess wurden die Materialien mit höherem Fasergewichtsanteil (wt%) an Refinerfaser- lang untersucht.

Aufgrund der Tatsache, dass die eingesetzten Refinerfaserpellets im Extruder nicht vollständig geöffnet werden konnten, kam es bei der Verarbeitung zum Hohlkammerprofil zu vermehrter Agglomeratbildung der Refinerfasern. Dieses Verhalten spiegelt sich in den größeren Standardabweichungen bei verminderten Werkstoffkennwerten, verglichen mit dem Spritzgussprozess wider. Die Probekörperentnahme erfolgte aus dem Mittelteil des extrudierten Hohlkammerprofil.

Die Ergebnisse der Schlagzähigkeit aus Abbildung 52 folgen dem üblichen Trend aus den bereits ermittelten Ergebnissen. Das bedeutet, die Sprödigkeit des Materials nimmt mit steigendem Gewichtsanteil an Refinerfasern zu. Verglichen mit den geringen Absolutwerten ist die Standardabweichung aufgrund der Agglomeratbildung verhältnismäßig groß.

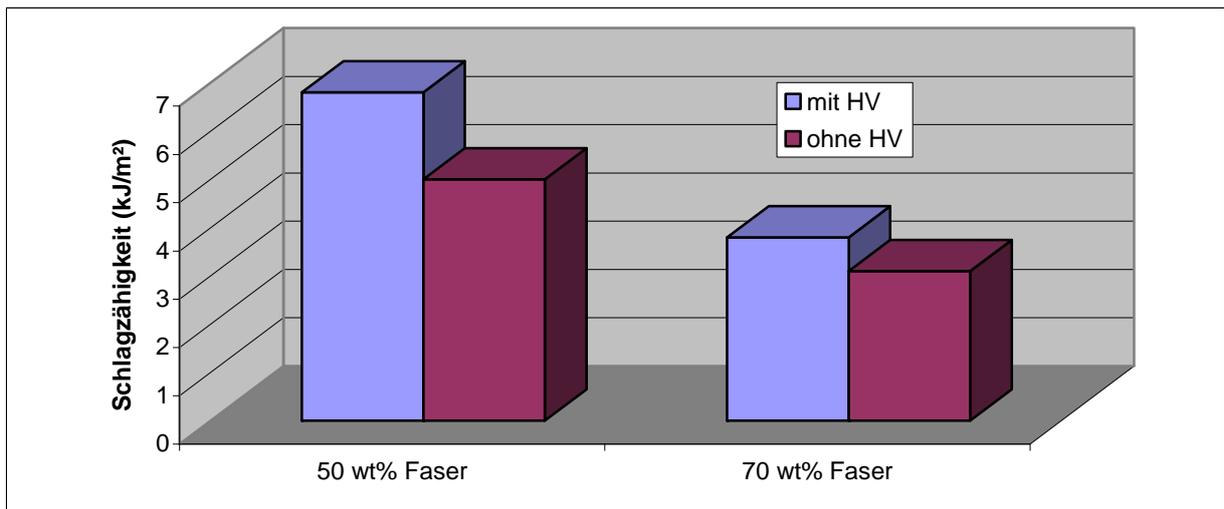


Abb. 52: Vergleich Schlagzähigkeit, Extruder, RF- lang

Die Biegemodulwerte (Abbildung 53) zeigen ident hohe Absolutwerte über alle Materialmischungen. Das Material mit 50 wt%, ohne HV, zeigt minimal höhere Biegemodulwerte als jene mit HV. Ein möglicher Grund für dieses Ergebnis ist, dass es bei der Produktion des Materials mit HV zur Brückenbildung im Stopfwerk gekommen ist, und demzufolge die Werkstoffkennwerte minimiert wurden (geringerer Fasergehalt).

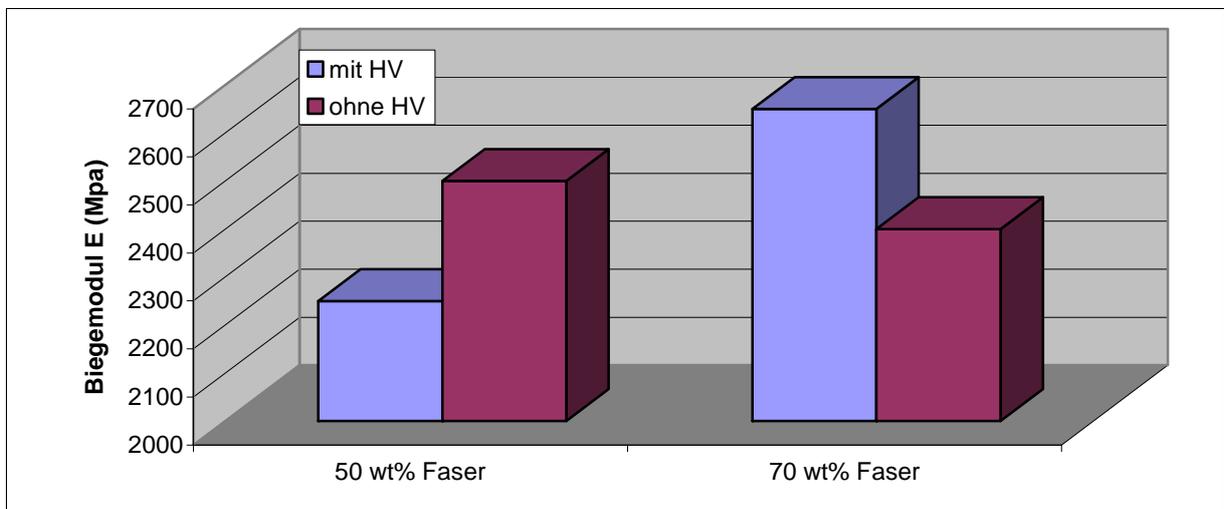


Abb. 53: Vergleich Biegemodul, Extruder, RF- lang

Vergleicht man die Biegefestigkeit aus Abbildung 54, so liegen die Maximalwerte der 50 und 70 wt% Refinerfaser mit HV auf ca. 40 MPa. Stellt man diese ermittelten Werte jenen des Schneidverdichters aus Abbildung 36 gegenüber, so erkennt man beim Extruder- Verfahren eine Verminderung die Biegefestigkeiten um ca. 20%. Bei dem Vergleich der Prüfergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Probekörperherstellung beim Schneidverdichterprozess mit-

tels Spritzguss erfolgt was grundlegend zu einer besseren Ausrichtung der Fasern und daher zu höheren Werkstoffkennwerte führt.

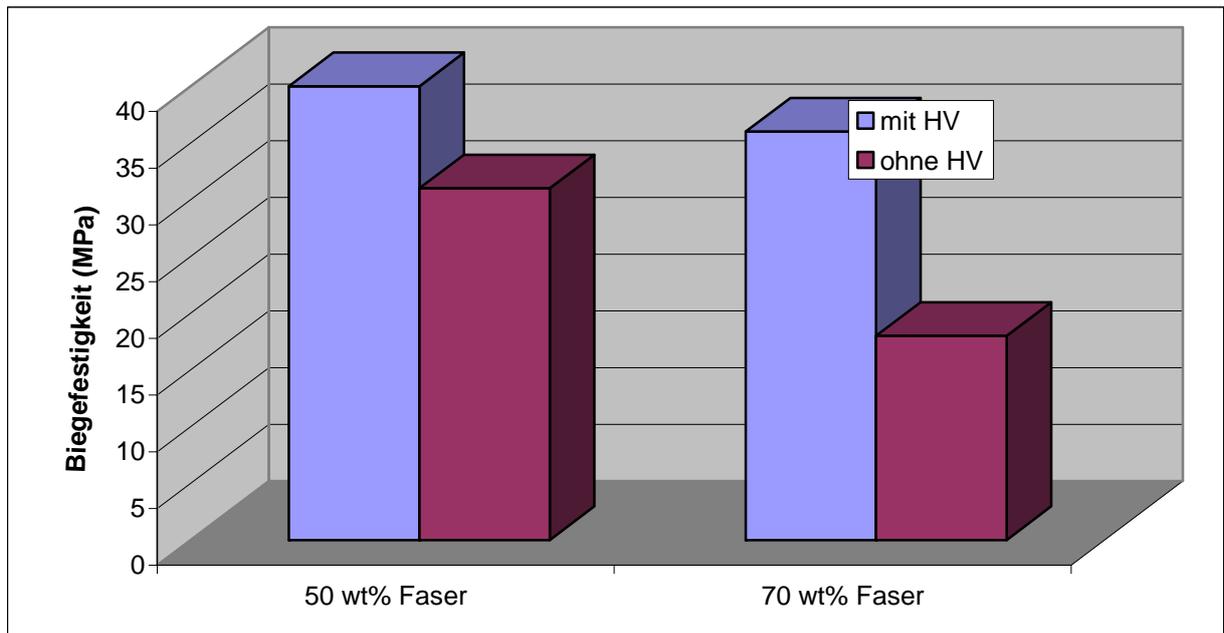


Abb. 54: Vergleich Biegefestigkeit, Extruder, RF- lang

5.5 Faserlängenabbau

Zur Bestimmung des Faserlängenabbaues durch den Herstellungsprozeß wurden Proben aus den jeweiligen Prozessschritten entnommen (Matrix: PP 2 + 3% Haftvermittler). Gemessen wurden vor allem die längsten vorhandenen Fasern in einer Probe. Die Ergebnisse lassen aus diesem Grund keinen genauen Rückschlüsse auf die Quantität der Faserlängen-Häufigkeit zu (Tabelle 3). Je nach Prozessschritt wurden die Refinerfaser- kurz mit den Refinerfasern- lang verglichen.

Dabei wurden entlang der Verarbeitungsschritte Proben entnommen, das Polymer (Polypropylen) wurde mit kochendem Xylol gelöst, die Fasern abfiltriert und nach dem Trocknen vermessen.

Tabelle 3: Faserlängenabbau nach Verfahrens- und Prozessschritten

	Faserlänge/Durchmesser [μm]				Endprodukt
	Rohfaser	Pellets	Strang	Granulat	Spritzguss
Compounder RF- lang	5500/70	4500/550	2500/320	600/80	560/130
	6400/220	6500/500	3100/260	3400/550	650/50
	8400/260	7900/240	4700/120	4530/250	3170/290
	20000/1000	8400/500	5200/290	4700/580	4410/400
Aspect Ratio	20 - 80	13 - 30	11 - 40	6 - 18	3 - 12
Compounder RF- kurz	Rohfaser	Pellets		Granulat	Spritzguss
	1150/35	1100/36		610/30	550/30
	1700/35	1500/25		1800/28	830/45
	1900/35	2500/30		1800/40	1300/25
4000/50	3000/38		2150/35	2280/35	
Aspect Ratio	32 - 80	30 - 80		20 - 65	18 - 65
Extruder RF- lang	Rohfaser	Pellets			Profilkörper
	5500/70	4500/550			390/30
	6400/220	6500/500			570/20
	8400/260	7900/240			820/40
20000/1000	8400/500			1700/60	
Aspect Ratio	20 - 80	13 - 30			13 - 30
Extruder RF- kurz	Rohfaser	Pellets			Profilkörper
	1150/35	1100/36			560/50
	1700/35	1500/25			680/35
	1900/35	2500/30			880/28
4000/50	3000/38			1300/45	
Aspect Ratio	32 - 80	30 - 80			11 - 30

Faserlänge/Durchmesser [μm]					
					Endprodukt
Schneidverdichter RF- kurz	Rohfaser			Granulat	Spritzguss
	1150/35			330/20	320/20
	1700/35			440/30	380/25
	1900/35			600/42	600/45
	4000/50			620/25	720/30
Aspect Ratio	32 - 80			20 - 25	16 - 25
Kneiter RF- lang	Rohfaser				Probenplatte
	5500/70				480/40
	6400/220				780/100
	8400/260				1100/45
	20000/1000				1200/60
Aspect Ratio	20 - 80				4 - 12

Die in Tabelle 3 abgebildeten Ergebnisse zeigen, dass der deutlichste Faserlängenabbau der Refinerfasern beim Compoundierschritt stattfindet. Das Abschlagen des Granulates durch die Schneidmühle sowie der Spritzgussprozess führen nur mehr zu einer geringen Faserverkürzung.

Die beiden längeren Werte je Verarbeitungsschritt (Compounder RF-lang) sind als wirkliche Maximallängen zu betrachten. Im Schnitt liegt die Faserlängenverteilung im Endprodukt (Spritzguss) im Schnitt bei 500 bis 1500 μm . Allgemein betrachtet hat das Verarbeiten von Materialien mit unterschiedlichem Faseranteil keinen erkennbaren Einfluss auf die Faserlängenverkürzung.



Rohfaser



Pellet



Strang



:Granulat



Spritzguss

Abb. 55: Faserlängenkürzung bei den einzelnen Stationen des Compoundierprozesses unter Verwendung von RF-lang



Abb. 56: Faserlängenabbau Compounder, RF- lang; von links: Rohfaser, Pellet, Strang, Granulat, Spritzguss; oben: Spritzguss- Prüfkörper

Betrachtet man den Faserlängenabbau der Refinerfaser- kurz (Compounder), so erkennt man durch das Compoundieren einen wesentlich geringeren Faserlängenabbau als bei der Refinerfaser- lang. Durch die einzelnen Verarbeitungsschritte kommt es nur zu einer Halbierung der Faserlänge. Zusätzlich ist der Verlust des Aspect Ratio ebenfalls geringer als bei den Refinerfaser- lang. Vergleicht man die Absolutlängen beider Refinerfaserarten (RF-lang, RF-kurz) im Endprodukt, so ist der Faserlängenunterschied minimal (siehe nächste Abbildung).



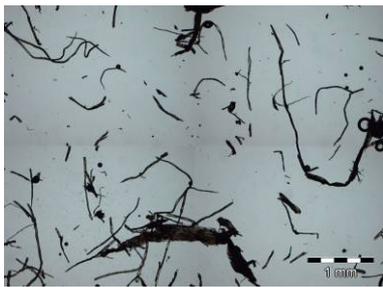
Rohfaser



Pellet



Strang



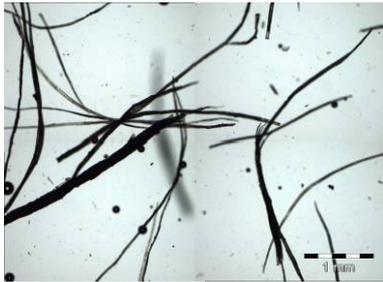
Spritzguss

Abb. 57: Faserlängenverkürzung bei den einzelnen Stationen des Compoundierprozesses unter Verwendung von RF-kurz



Abb. 58: Faserlängenabbau Compounder, RF- kurz; Prozessschritte von links: Rohfaser, Pellet, Spritzguss;

Vergleicht man den Faserlängenabbau der unterschiedlichen Refinerfaser beim Extrusionsprozess, so ergeben sich im Endprodukt trotz der unterschiedlichen Faserarten annähernd gleich hohe Absolutwerte bei annähernd gleichem Aspect Ratio- Verhältnis. Durch das Extrudieren kann es teilweise zu Agglomeratbildung der Fasern kommen. Grund dafür könnte das Verkleben der Fasern durch den Ligninaustritt aufgrund der hohen Verarbeitungstemperaturen sein sowie die zu geringe Mischwirkung des verwendeten gegenläufigen, konischen Doppelschneckenextruders (siehe Abbildung 59).



: Rohfaser



Pellet



Profil

Abb. 59: Faserlängenkürzung bei den einzelnen Stationen des Extrusionsprozesses unter Verwendung von RF-lang



Rohfaser



Pellet



Profil - Fasern nicht agglomeriert



:Profil - Fasern agglomeriert

Abb. 60: Faserlängenkürzung bei den einzelnen Stationen des Extrusionsprozesses unter Verwendung von RF-kurz

Bei der Verarbeitung mittels Schneidverdichter wurden nur kurze Refinerfasern verwendet. Vergleicht man die Ergebnisse mit jenen aus dem Extrusionsprozess, so erkennt man ebenfalls die annähernd identen Faserlängen im Endprodukt. Auffallend war bei der Verwendung

der Refinerfaser- kurz die Häufigkeit der Agglomeratbildung. Grund dafür könnte wiederum sein, dass es im Schneidverdichter durch das Zerkleinern und Erwärmen des Materiales auf ca. 130°C, wie beim Extrusionsverfahren zum Ligninaustritt in der Refinerfasern kommt (siehe Abbildungen 61 und 62).



Rohfaser



Pellet



Granulat



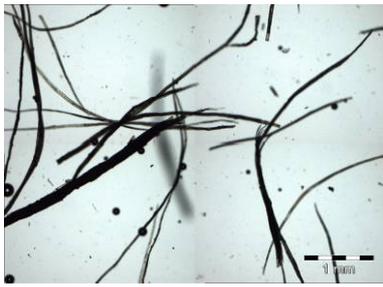
Spritzguss

Abb. 61: Faserlängen Kürzung bei den einzelnen Stationen des Schneidverdichterprozesses unter Verwendung von RF-kurz



Abb. 62: Faserlängenabbau Schneidverdichter; RF- kurz; links: Rohfaser, rechts: Spritzguss mit zum Teil agglomerierten Fasern; Prüfkörper oben: Fasern nicht agglomeriert, Prüfkörper unten: Fasern agglomeriert

Die Verarbeitung mittels Kneten führt bei den Refinerfasern- lang trotz der schonenden Verarbeitung zu erheblichen Faserverkürzungen (siehe Abbildung 63). Vergleicht man die Faserlängen mit jenen des Spritzgussprozesses (RF- lang), so ist die Faserschädigung beim Kneten auf ähnlich hohem Niveau (Tabelle 2). Während des Knetprozesses war festzustellen, dass der Faserlängenabbau bereits in den ersten 60 Sekunden nach der Einbringung der Rohfaser erfolgte. Ein längeres Kneten des Materials verkürzte die Faserlängen nur minimal und wirkte sich nicht auf die mechanischen und thermischen Werkstoffkennwerte aus. Durch die hohe Scherenergie bis zum Plastifizieren der Schmelze wird vermutlich dieses massive Faserkürzung hervorgerufen.



Rohfaser



Pellet



Platte

Abb. 63: Faserlängenkürzung bei den einzelnen Stationen des Kneterprozesses unter Verwendung von RF-lang

Die Ergebnisse aus dem Vergleich des Faserlängenabbaues kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass trotz des Verwendens unterschiedlicher Refinerfaserarten, die Absolutlängen der Fasern im Endprodukt sehr ähnlich sind. Dieses Verhalten erkennt man beim Vergleich des Faserlängenabbaues von Refinerfaser- kurz bezogen auf die unterschiedlichen Verarbeitungsverfahren des Compoundierens, der Extrusion und des Schneidverdichters. Die durchschnittlichen Faserlängen der RF- kurz bewegen sich, gemessen am Endprodukt, jeweils im Bereich von 500 bis 1200 µm. Bei den RF- lang bewegt man sich, im Endprodukt im Bereich von 500 bis 1500 µm.

5.6 Technologische Lösung für eine kontinuierliche Faserdosierung

Im ersten Projektjahr wurden umfangreiche Vorversuche mit dem Schneidverdichter durchgeführt um das Potential dieser Technologie für den Extrusionsprozeß zu evaluieren. Dabei wurde festgestellt, dass mit Hilfe dieser Technologie – welche eigentlich für die Agglomeration von Folienabfällen entwickelt worden ist – die Refinerfasern sehr konstant durch die Austragsschnecke gefördert werden können.



Abb. 64: Vorversuche zur Dosierung



Abb. 65: Schneidverdichter

Das Prozessfenster war bei diesen Versuchen nicht besonders groß, wichtiger waren aber folgende Erkenntnisse:

- Der Prozess weist ein überraschend konstantes Förderverhalten auf
- Die Faserkompaktierung ist in einem weiten Bereich variierbar
- Moderate Faserschädigung, welche vergleichbar ist mit jener bei der Pelletierung.

Im zweiten Projektjahr wurden der Schneidverdichterprozeß und die Profilextrusion zusammengeführt und Demonstrationsobjekte (Extrusionsprofile) hergestellt. Damit wurde das Projektziel – die Entwicklung einer neuen Technologie zur Direktextrusion von WPC-Profilen unter Verwendung von Refinerfasern – erreicht.



Abb. 66: Profilextrusion mit dem Schneidverdichter und durch Direktextrusion hergestelltes Profil

Mehrere Langzeitversuche (jeweils mehr als 6 Stunden) bestätigten die Prozessstabilität, d.h. der Schneidverdichter garantiert auch über längere Zeiträume ein konstantes Faserförderungsverhalten. Auch war es möglich, durch die Direktextrusion Profile mit sehr gut ausgeprägter Konturgenauigkeit über einen längeren Zeitraum hinweg herzustellen.



Abb. 67: Profilquerschnitt

Abb. 68: Mit Direktextrusion hergestellte Refinerfaserprofile

5.7 Verfahrensvergleich

5.7.1 Technologischer Vergleich:

Für den Vergleich wurden Materialien mit je 50 Massenprozent Fasergehalt ausgewählt. Mit Ausnahme des Schneidverdichterprozesses wurden nur die Refinerfaser- lang verwendet. In Abbildung 69 sind die Schlagzähigkeitswerte über die unterschiedlichen Verfahren dargestellt.

Den höchsten Absolutwert erreicht das Compounderverfahren, gefolgt vom Knetprozess. Ein Grund für die geringeren Schlagzähigkeitswerte speziell beim Extruderverfahren und Schneidverdichterverfahren liegt in der Agglomeratbildung der Fasern im Endprodukt. Die Ursache dafür liegt in der wesentlich geringeren Mischwirkung eines Einschneckenextruders (Schneidverdichter) bzw. eines gegenläufigen Doppelschneckenextruders gegenüber einem Compounder oder einem Knetter. Auch wurden beim Extruderverfahren die Proben aus einem Hohlkammerprofil genommen, dagegen beim Compoundier- und Schneidverdichterprozess Prüfkörper mittels Spritzgießprozess hergestellt und beim Kneterverfahren wurden Platten gepresst. Durch den wesentlich geringeren Druckaufbau im Extrusionswerkzeug ist hier die Materialkompaktierung erheblich geringer. Auch sind die Fließgeschwindigkeiten beim Spritzgießen wesentlich höher im Vergleich zur Extrusion, so dass die Faserorientierung deutlicher ausgeprägt ist. Ein direkter Vergleich der Materialkennwerte ist daher nicht zulässig.

Wenn man berücksichtigt, dass durch die Verwendung der RF- kurz beim Schneidverdichterverfahren der Wert um 30% (bezieht sich nur auf Schlagzähigkeitswerte) verringert betrachtet werden muss, so liegen die Absolutwerte des Schneidverdichters verglichen mit jenen des Extruders auf dem selbem Niveau. Vergleicht man die Schlagzähigkeitswerte der Extrusion mit Direktdosierung (KAG-Extruder) mit jenen der Extrusion oder Schneidverdichter-Experimenten sind die Ergebnisse im vergleichbaren Bereich.

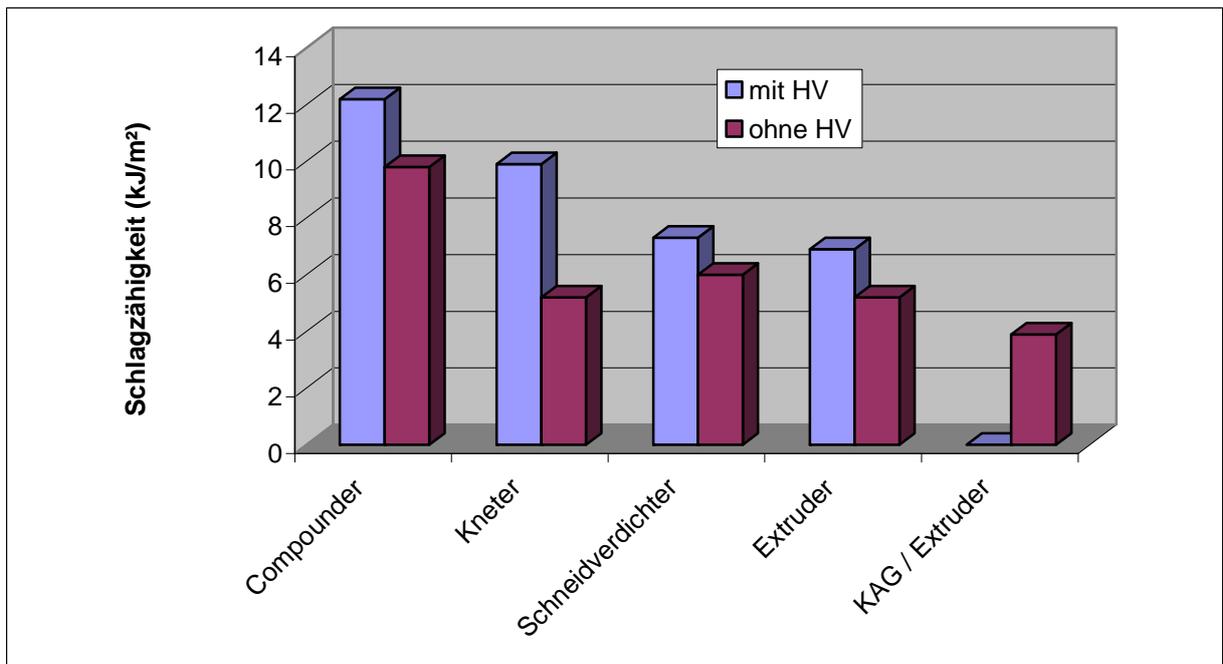


Abb. 69: Verfahrensvergleich- Schlagzähigkeit

Vergleicht man die Biegemodulwerte vom Compounder und Schneidverdichter in Abbildung 70, so erkennt man trotz gleicher Anzahl der benötigten Plastifizierungsvorgänge des Materials sowie gleicher Prüfkörperherstellung eine Differenz der Absolutwerte von rund 1600 MPa. Jene des Extruders liegen um rund 900 MPa unter denen vom Schneidverdichter. Die Biegemodulwerte der Extrusion mit Direkt dosierung (KAG-Extruder) sind vergleichbar mit jenen aus den Knetter-, Schneidverdichter- und Extruderexperimenten.

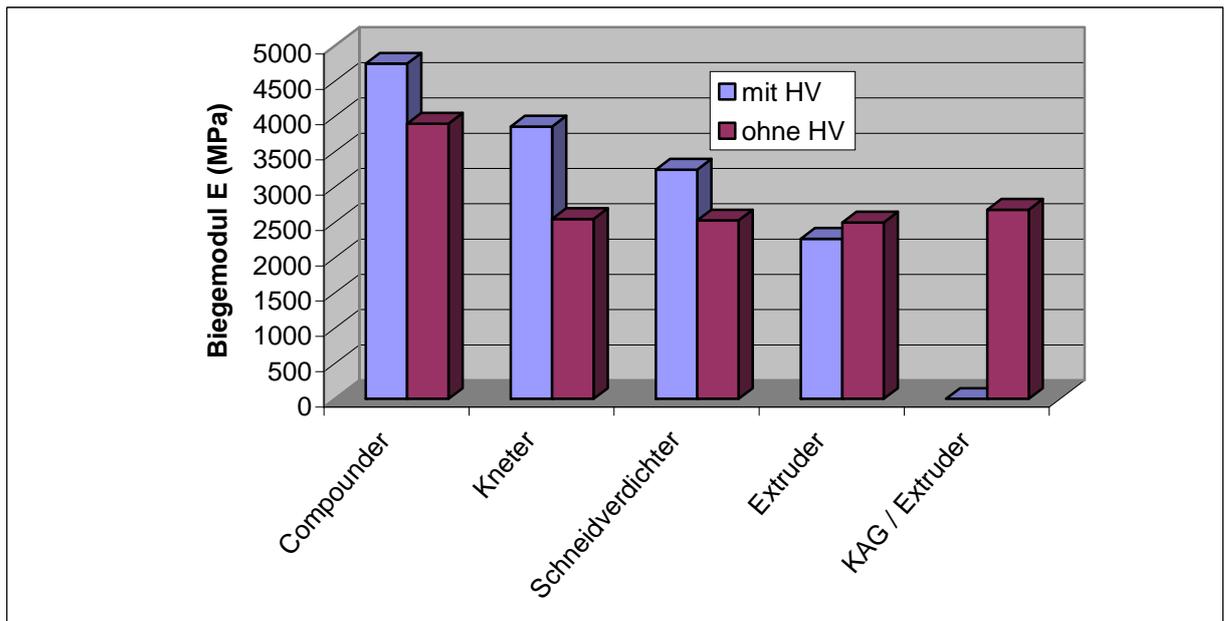


Abb. 70: Verfahrensvergleich- Biegemodul

Aus den Ergebnissen des Verfahrensvergleiches erkennt man, dass das Compoundieren im Vergleich zum Schneidverdichter, trotz des Zwischenschrittes des Pelletierens, bessere Werkstoffkennwerte liefert.

Eine Korrelation der Faserlängenverkürzung in Bezug auf die ermittelten Werkstoffkennwerte ist unter anderem aufgrund der unterschiedlichen Probekörperherstellung (Faserorientierung, Materialdichte, Agglomeratbildung), und unterschiedlichen Verwendung der Refinerfaserart nicht möglich.

Vergleicht man Werkstoffkennwerte vom Schneidverdichter mit denen des Extruders, so liegen die höheren Werte bis auf die Schlagzähigkeit bei der Direktextrusion.

Die hohen Werkstoffkennwerte des Knetens zeigen zwar das Potential dieses Verfahrens unter Laborbedingungen, aber aufgrund des Chargenprozesses und des geringen Chargengewichtes ist es nicht für eine großindustrielle Anwendungen geeignet.

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, daß die Refinerfaser als Verstärkungsmaterial in Kunststoffen verbesserte Eigenschaften bringt .

5.7.2 Wirtschaftlicher Vergleich

Bedingt durch die zeitlich verzögerte Realisierung der Technikumsanlage zur Direktextrusion von Wood Plastic Composites unter Verwendung von Refinerfasern anstatt Holzspänen konnte das Verfahren bis zum Projektende nicht mehr optimiert werden. Jedoch ergaben auch die ersten Versuche und deren Analysen, dass das neue Verfahren unter Verwendung dieser Rohstoffe gegenüber „Standard-WPC“ wirtschaftlich wettbewerbsfähig ist.

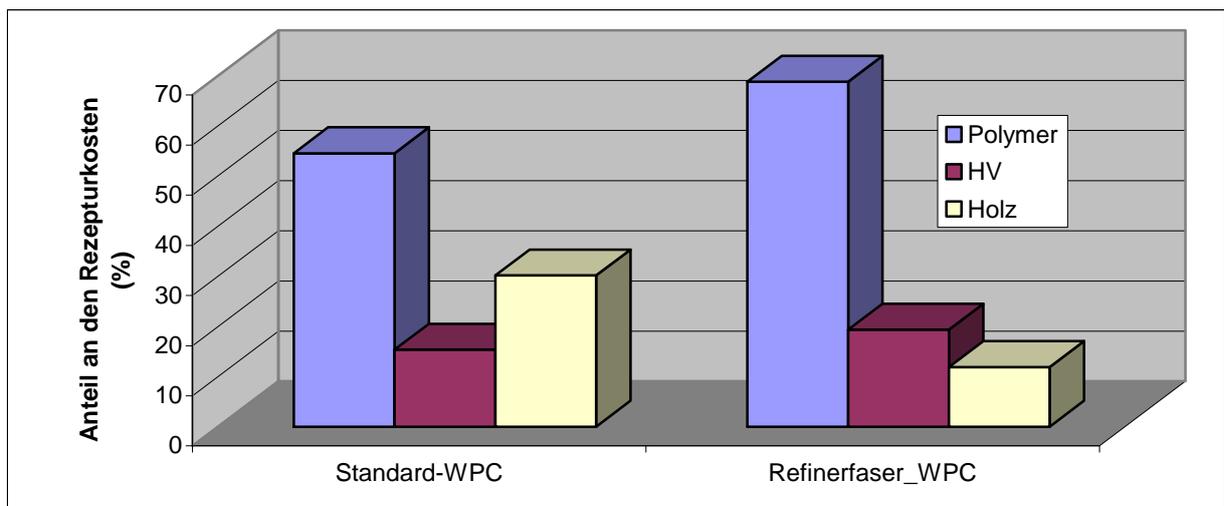


Abb. 71: Relativer Anteil der einzelnen Rezepturbestandteile an den Rezepturkosten für eine 70/27/3-Rezeptur

Aus Abbildung 71 sieht man sehr deutlich, dass sich der Kostenvorteil der Refinerfasern sehr dramatisch in der Verteilung der Kosten der einzelnen Rezepturkomponenten niederschlägt. Während beim Standard-WPC die Holzspäne noch fast 30% der Rezepturkosten betragen, fallen sie beim Refinerfaser-WPC auf ca. 10% ab. Dementsprechend erhöht sich der Polymeranteil an den Gesamtkosten.

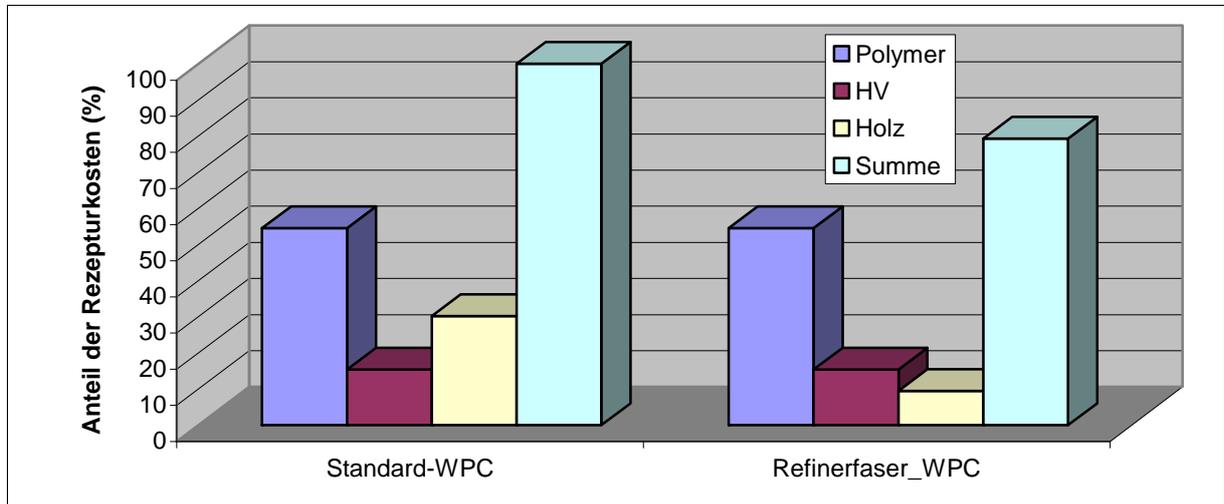


Abb. 72: Vergleich der Zusammensetzung der Rezepturkosten für eine 70/27/3-Rezeptur, wobei die Standard-WPC-Rezeptur die Basis bildet

Durch die Verwendung von Refinerfasern können die Rohstoffkosten von WPC bei einer Rezeptur mit 70% Holzanteil um fast 25% gesenkt werden. Die ersten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Produktionskosten nicht wesentlich höher sind als bei den traditionellen Holzspänen, wodurch durch diese neue Technologie sich neben den technischen Vorteilen auch ein wirtschaftlicher Vorteil abzeichnet.

6. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Das Projekt „Wood Plastic Composites- Neues Eigenschaftsprofil durch Refinerfasern“ führt zu einem Innovationssprung dieser Werkstoffklasse und belebt damit dessen Marktpotential. Dabei ist dieser Innovationssprung sowohl in den Bereichen „Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ der überwiegende Hauptbestandteil der WPC's sind Holzfasern, als auch in dem Bereich „Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen“, durch die Neuentwicklungen und Verbesserungen der Produktionstechniken, angesiedelt.

Beitrag der Projektergebnisse zur Erreichung der Leitziele des Impulsprogrammes:

- *Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung:* Das Projekt orientiert sich am Prinzip der Dienstleistung, des Service und Nutzens, da die gewünschten und innovativen Endprodukte gleichsam als Dienstleistung des Holzes für den Menschen durch die immanente Kraft der Photosynthese bereits gratis vorproduziert und angeboten werden. Diese positiven Holzeigenschaften werden nun mit den Vorteilen der auch ökologisch akzeptierten Kunststofffamilie, der Polyolefine, kombiniert, nämlich der Wasserbeständigkeit und abfallfreien Verarbeitungstechnik, wodurch neue Werkstoffe mit einem hohen Dienstleistungspotential geschaffen werden können.
- *Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen:* Das Projekt „Wood plastic composites - Refinerfasern“ hat eine Technologie zur Förderung und Dosierung von Refinerfasern und anderen schwer förderbaren Naturfasern (Flachs, Hanf, Jute,...) entwickelt, wodurch diese für die Verstärkung von Polymeren technologisch verwendbar werden. Dem Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen wird Wood plastic composites durch seine prinzipielle Ausrichtung auf eben diese Stoffgruppe gerecht. Durch den dominanten Anteil von nachwachsenden Rohstoffen (bis mehr als 90%) kombiniert mit formgebenden, nahezu abfallfreien Verarbeitungstechnologien können den erneuerbaren Rohstoffen völlig neue Anwendungsfelder erschlossen werden und reine Kunststoffprodukte nahezu vollständig durch Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen substituiert werden, ohne die Fertigungsvorteile der Kunststoffindustrie zu verlieren.
- *Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit:* Durch die stoffliche Verwertung von Natur- und Holzfasern erfolgt ein Upgrading derselben, auch die erzeugten Produkte können nach ihrer Verwendung wieder einer stofflichen Verwertung (Rezyklierung) zugeführt werden, da sie nur aus thermoplastischen Kunststoffen und Fasern bestehen. Durch den Einsatz von Thermoplasten (im Gegensatz zu Duroplasten bei Spanplatten etc.) ist sowohl mehrfache stoffliche Verwertung genau so möglich wie bedenkenlose thermische Verwertung.

- *Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge:* Was die komplexen Fragen der Technikfolgenabschätzung zum gegenständlichen Projekt Wood plastic composites - Refinerfasern betrifft, handelt es sich systembedingt um eine relativ fehlertolerante und mit wenig Technik-Risiken behaftete Vorgangsweise, die auf langbewährte Verarbeitungstechnologien und möglichst hohem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen aufbaut. Im Gegensatz zu den großen Chemiebetrieben kann es im Pflanzenreich kaum zu Störfällen kommen.
- *Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität:* Durch das Projekt Wood plastic composites – Refinerfasern soll die wertvolle und auch sinnstiftende Arbeit, die durch die Holzwirtschaft in Österreich gegeben ist erhalten werden und andererseits die Substitution von reinen Kunststoffprodukten durch Produkte aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen ermöglicht werden. Damit werden langfristig auch in diesem Bereich der Wirtschaft die Arbeitsplätze erhalten und das Ende der petrochemischen Ära aktiv und nicht reaktiv vorbereitet und mitgestaltet.

7. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die multidisziplinäre Zusammenstellung des Projektteams als Grundpotential für das Gelingen dieses Vorhabens beinhaltete bereits die wichtigsten Zielgruppen. Beginnend beim WPC-Produzenten und Verkäufer aus der Holzbranche im Team der einerseits die Holzrohstoffseite abdeckt und die Bedingungen am Markt genauestens kennt bis zum Maschinenhersteller mit Spezialgebiet WPC-Extrusion der die technischen Problemstellungen abdeckt und dem antragstellenden Institut als anwendungsorientierte Forschungseinrichtung mit Spezialgebiet WPC's und naturfaserverstärkte Polymere waren bereits die wichtigsten Stationen in der Umsetzung von Wood Plastic Compounds involviert. Zusätzlich liefert ein Recyclingmaschinenhersteller, dessen tägliches Geschäft es ist durch Flexibilität und Kundenähe innovative Technologien im Markt zu etablieren wichtige technologische und marktspezifische und vor allem neue Eingaben in die WPC- Entwicklung und Etablierung.

Somit kann man davon ausgehen, dass durch diese Konstellation die Bedürfnisse der wichtigsten Zielgruppen für die Umsetzung der Ergebnisse von Anfang an aktiv mit einbezogen wurden.

Der wesentliche potentielle Nutzen der Zielgruppen also den Projektpartner liegt in der Direktdosierung von Refinerfasern für WPC's. Diese führte zu einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit dieses Materials wie auch der an diesem Innovationssprung beteiligten Firmen. Diese Steigerung bewirkte ein erhöhtes Marktpotential und somit eine erhöhte Nachfrage sowohl nach den Rohstoffen, den Verarbeitungsmaschinen und natürlich den daraus hergestellten Halb- und Fertigerzeugnissen. Diese innovative Entwicklung hat das Potential die Wood Plastic Composites am Markt sowie die Stellung der daran beteiligten Firmen nachhaltig zu stärken.

8. Ausblick/ Empfehlungen

In diesem Projekt wurde gezeigt, dass eine Direktdosierung für die Extrusion von Refinerfasern möglich ist. Mithilfe dieser Technologie wurden erste Demonstrationsobjekte und Profile bereits hergestellt, welche die großtechnische Verarbeitbarkeit von Refinerfasern beweist. Im nächsten Schritt sind die beteiligten Firmenpartner mit der kommerziellen Umsetzung beschäftigt, da sie diese Technologie ehest möglich auf den Markt etablieren möchten.

Auch die wirtschaftliche Bewertung dieser neuen Technologie hat gezeigt, dass der Einsatz von Refinerfasern neben technischen Vorteilen auch ökonomisch sinnvoll ist.

Literaturverzeichnis

- (1) Applied Market Information, „Wood Plastic Composites – On the Cusp we take-off in Europe“, Bristol 2003
- (2) Pritchard G, Hackwell B, The Market for Wood Plastic Composites in Europe, 2nd Wood Fibre Polymer Composites Symposium, Bordeaux, France, 2005
- (3) Eder A., Strobl S., Schwarzbauer P., Worldwide Market Report on Wood Plastic Composites, Revised Edition, Kompetenzzentrum Holz GmbH, Linz 2007, p 5 ff
- (4) Burgstaller C., Internes Seminar TCKT GmbH, Wels 2010
- (5) Stadlbauer W., Sehnal E., Weiurmayer L., Wood Plastic Composites – Neue Wertschöpfung aus Holzspänen, Fabrik der Zukunft Endbericht 2006, p. 14 ff
- (6) Cincinatti Extrusion, Wood Plastic Composites, a sustainable future, Wien 2002
- (7) Vogt D., Karus M., Ortmann S., Studie – Naturfasereinsatz in Verbundwerkstoffen in der deutschen Automobilindustrie, nova-Institut GmbH, Hürth 2004, p 7 ff
- (8) www.boisinterueur.de (abgerufen 01.06.2008)
- (9) EIN-Engineering Homepage (Stand 2008)
- (10) Fasalex, www.fasalex.com, Zugriff: 01.06.2008
- (11) WPC Decking, www.wpcdecking.com.au, Zugriff: 24.06.2008
- (12) M. Daniel (Cincinatti Extrusion), persönliche Mitteilung 2009
- (13) Processing Wood Plastic Composites places new demands on feeders, Plastic Additives and Compounding, Elsevier, July/August 2007, p. 36 ff
- (14) Pressemitteilung 18. März 2003 WKI Braunschweig, www.wki.fraunhofer.de, Zugriff 10.06.2008
- (15) Gutex, www.gutex.com, Zugriff: 03.06.2008
- (16) Homepage Holzbau, www.holzbau.at, Zugriff 10.06.2008
- (17) Klammer G., Kunststoffverarbeitung mit einem konischen gleichlaufenden NCT-Extruder, Extrusion am Puls der Zeit, Im Fokus: Energie, Wirtschaftlichkeit und Qualität; KC-Cluster, Wels 2008
- (18) Stieglitz H., Oswald P., Reflections on the extrusion of Woodcomposite materials by a machine manufacturer, 6th Global Wood and Nature Fibre Composites Symposium, Institut für Werkstofftechnik, Kassel 2006
- (19) Kreis H., Compounding natural raw materials with polyolefins in a high-speed mixer, 6th Global wood and natural fibre composites symposium, Institut für Werkstofftechnik, Kassel, 2006
- (20) Henschel, www.reimelt-henschel.de, Zugriff: 10.06.2008

(21) Automatisches Randstreifen-Aufbereitungssystem KAG, www.ereama.at, 2008

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	„Klassische Holzfasern für die WPC-Verarbeitung	8
Abbildung 2	Refinerfasern	8
Abbildung 3	Schematische Darstellung der für die Ermittlung des Eigenschaftspotentials von Refinerfasern angewandten Methodik	10
Abbildung 4	WPC – Anwendungen	13
Abbildung 5	Sockelleiste	14
Abbildung 6	Decking	14
Abbildung 7	Marktsituation USA	14
Abbildung 8	WPC – Jahresproduktion in ausgewählten Ländern (in t)	15
Abbildung 9	Marktprognose für WPC in Europa	15
Abbildung 10	Umsatzverteilung des WPC-Marktes in Europa	16
Abbildung 11	Refiner-Pulping-Prozess	20
Abbildung 12	Innenwandanwendungen von Refinerfaserplatten	21
Abbildung 13	Einblasen von Refinerfasern	22
Abbildung 14	Verarbeitungsprozesse und –verfahren von WPC	23
Abbildung 15	Konische Doppelschnecke Type Fibrex Extruder Cincinnati	24
Abbildung 16	Vergleich der Verweilzeit des Materials bei gleicher Ausstoßleistung Konischer Doppelschneckenextruder und paralleler Doppelschnecken- Extruder	25
Abbildung 17	Schnecken Aufbau, konisch gleichlaufender Doppelschneckenextruder	26
Abbildung 18	Palltruder	28
Abbildung 19	Palltruder Anlage	28
Abbildung 20	Heiz-Kühl-Mischer, Henschel	29
Abbildung 21	KAG-Anlage, Erema	30
Abbildung 22	KAG-Anlage, Erema	30
Abbildung 23	Pelletierpresse mit Kollergang und Matrize	35
Abbildung 24	Compounder	35
Abbildung 25	Compounder mit geöffnetem Schaft	35
Abbildung 26	Spritzgießmaschine mit Detailansicht Spritzeinheit	36
Abbildung 27	Normalprüfkörper nach DIN EN ISO 3167	36

Abbildung 28	Kneter mit geöffneter Knetkammer	37
Abbildung 29	Flachfolienanlage	38
Abbildung 30	Faserschädigung bei den Refinerfasern durch die Verarbeitungsschritte	40
Abbildung 31	Faserschädigung bei den Standard-Holz-Partikeln durch die Verarbeitungsschritte	41
Abbildung 32	Schlagzähigkeitswerte der Fasercompounds (Compounder)	41
Abbildung 33	Biegemodul der Fasercompounds (Compounder)	42
Abbildung 34	Biegefestigkeit der Fasercompounds (Compounder)	43
Abbildung 35	Wärmeformbeständigkeit nach HDT für die Fasercompounds (Compounder)	44
Abbildung 36	Schlagzähigkeit der Fasercompounds (Kneter)	45
Abbildung 37	Biegemodul der Fasercompounds (Kneter)	45
Abbildung 38	Biegefestigkeit der Fasercompounds (Kneter)	46
Abbildung 39	Schlagzähigkeit – Vergleich Sandwich- und Knetermethode	47
Abbildung 40	Biegemodul – Vergleich Sandwich- und Knetermethode	47
Abbildung 41	Vergleich der Schlagzähigkeit von PP-Refinerfasercompounds Hergestellt mittels Kneter	50
Abbildung 42	Vergleich Biegemodul von Refinerfasern-PP-Compounds hergestellt mittels Kneter	51
Abbildung 43	Vergleich der Schlagzähigkeit von Refinerfasern-PP-Compounds hergestellt mittels Compounder	51
Abbildung 44	Vergleich Biegemodul von Refinerfasern-PP-Compounds hergestellt mittels Compounder	52
Abbildung 45	Vergleich Schlagzähigkeit Refinerfaser, 30 wt%	53
Abbildung 46	Vergleich Biegemodul Refinerfaser, 30 wt%	53
Abbildung 47	Vergleich Biegefestigkeit Refinerfaser, 30 wt%	54
Abbildung 48	Vergleich Wärmeformbeständigkeit Refinerfaser, 30 wt%	54
Abbildung 49	Vergleich Schlagzähigkeit Schneidverdichtert, RF-kurz	55
Abbildung 50	Vergleich Biegemodul Schneidverdichter, RF-kurz	56
Abbildung 51	Vergleich Biegefestigkeit, Schneidverdichter, RF-kurz	57
Abbildung 52	Vergleich Schlagzähigkeit, Extruder, RF-lang	58
Abbildung 53	Vergleich Biegemodul, Extruder, RF-lang	58

Abbildung 54	Vergleich Biegefestigkeit, Extruder, RF-lang	59
Abbildung 55	Faserlängenverkürzung bei den einzelnen Stationen des Compoundierprozesses unter Verwendung von RF-lang	62
Abbildung 56	Faserlängenabbau Compounder, RF-lang	62
Abbildung 57	Faserlängenverkürzung bei den einzelnen Stationen des Compoundierprozesses unter Verwendung von RF-kurz	63
Abbildung 58	Faserlängenabbau Compounder, RF-kurz	64
Abbildung 59	Faserlängenverkürzung bei den einzelnen Stationen des Extrusionsprozesses unter Verwendung von RF-lang	65
Abbildung 60	Faserlängenverkürzung bei den einzelnen Stationen des Extrusionsprozesses unter Verwendung von RF-kurz	65
Abbildung 61	Faserlängenverkürzung bei den einzelnen Stationen des Schneidverdichterprozesses unter Verwendung von RF-kurz	66
Abbildung 62	Faserlängenabbau Schneidverdichter, RF-kurz	67
Abbildung 63	Faserlängenverkürzung bei den einzelnen Stationen des Kneter- Prozesses unter Verwendung von RF-lang	68
Abbildung 64	Vorversuche zur Dosierung	69
Abbildung 65	Schneidverdichter	69
Abbildung 66	Profilextrusion mit dem Schneidverdichter und durch Direktextrusion hergestelltes Profil	70
Abbildung 67	Profilquerschnitt	71
Abbildung 68	Mit Direktextrusion hergestellte Refinerfaserprofile	71
Abbildung 69	Verfahrensvergleich – Schlagzähigkeit	72
Abbildung 70	Verfahrensvergleich – Biegemodul	73
Abbildung 71	Relativer Anteil der einzelnen Rezepturbestandteile an den Rezepturkosten für eine 70/27/3-Rezeptur	74
Abbildung 72	Vergleich der Zusammensetzung der Rezepturkosten für eine 70/27/3-Rezeptur, wobei die Standard-WPC-Rezeptur die Basis bildet	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Faserlängenabbau	39
Tabelle 2	Eigenschaften der verwendeten Polypropylene	49
Tabelle 3	Faserlängenabbau nach Verfahrens- und Prozessschritten	60