

Recycling von naturfaserverstärkten Thermoplasten

Leif Steuernagel und Dieter Meiners

1.	Naturfasern – eine Übersicht	492
2.	Materialverhalten während des Recyclings	495
2.1.	Mechanische Eigenschaften recycelter Kunststoffcompounds.....	496
2.2.	Faseranalytik recycelter Kunststoffcompounds.....	497
3.	Zusammenfassung	498
4.	Literatur.....	499

Kunststoffe sind mittlerweile aus ihren Anwendungsbereichen nicht mehr wegzu-denken, seien es Anwendungen des täglichen Lebens bis hin zum Raumfahrtsektor. Allerdings muss die Kunststoffwahl an die Applikation angepasst sein, da der molekulare Aufbau den Anwendungsbereich und die maximale Einsatztemperatur bestimmt.

Allgemein können Kunststoffe aufgrund ihrer chemischen Struktur in drei Gruppen unterteilt werden – Elastomere, Thermoplaste und Duromere. Während sowohl die Elastomere als auch die Duromere vernetzte Systeme darstellen und somit ausschließlich urgeformt werden können, liegen die Polymere in den Thermoplasten als Kettenmoleküle vor, die zwar untereinander verschlauft oder nebeneinander vorliegen, aber keine chemische Verbindung untereinander aufweisen. Die auftretenden Wechselwirkungen sind energetisch derart niedrig, dass sie beispielsweise durch Zufuhr thermischer Energie überwunden werden können und es zu einem Abgleiten der Ketten kommt. Dadurch liegt eine Wärmeverformbarkeit vor und das Kunststoffsystem kann mehrmals umgeformt werden.

Auch beeinflussen der molekulare Aufbau der Kunststoffe und die resultierenden Wechselwirkungen neben den thermischen auch deren mechanische Eigenschaften. Im direkten Vergleich von Duromeren mit Thermoplasten wird sofort nachvollziehbar, dass die Einwirkung einer konstanten Kraft auf ein Produkt im Fall der Thermoplaste mit den niedrigen Wechselwirkungen der Ketten untereinander zu einem molekularen Abgleiten der Ketten führt und damit keine Formstabilität gegeben ist. Im Fall der eng vernetzten Duromere tritt dieser Effekt nicht in diesem Umfang auf. Ein entsprechendes molekulares Verhalten kann auch auf weitere Eigenschaften wie Festigkeit oder Steifigkeit übertragen werden.

Eine Erhöhung der mechanischen Eigenschaften eines Kunststoffes kann durch die Verwendung von Fasern hervorgerufen werden. Derartige Fasern liegen im duromeren Bereich hauptsächlich als Gewebe, Gelege oder Vlies (textile Halbzeuge) vor, das

nachfolgend durch ein niedrigviskoses Materialsystem imprägniert wird. Aufgrund der anschließenden chemischen Reaktion innerhalb des Materialsystems härtet dieses aus, was dazu führt, dass im idealen Fall ein hochvernetztes, mechanisch hoch beanspruchbares Kunststoffsystem erzeugt wird.

Die in das Materialsystem eingebrachten Fasern, welche über entsprechende Haftvermittlungsagenzien auf der Faseroberfläche eine Kraftübertragung im Formstoff gewährleisten, verstärken dadurch das Kunststoffsystem und höhere mechanische Eigenschaften können erhalten werden.

Selbige Grundlage gilt im Bereich der Thermoplastverarbeitung in Extrusion oder Spritzguss, wobei allerdings keine flächigen textilen Halbzeuge, sondern hauptsächlich Endlosfasern Verwendung finden. Auch ist es für die Verstärkungswirkung unumgänglich, dass einerseits eine gute Faser-Matrix-Haftung zwischen thermoplastischer Matrix und der Verstärkungsfaser, andererseits ein ausreichender Fasergehalt gegeben ist, damit die Kraftübertragung über die gesamte Struktur realisiert werden kann.

Zur Sicherstellung hoher mechanischer Kennwerte für thermoplastische Matrix finden industriell derzeit vermehrt Glasfasern Anwendung, wobei – je nach Anwendungsgebiet – auch Kohlenstoff- oder auch Aramid-Fasern verwendet werden können.

Hierbei ist neben dem Leistungspotenzial der Faser auch der Faserpreis ausschlaggebend. Im Bereich des Leichtbaus wird der Kohlenstoff-Faser aufgrund ihrer sehr hohen spezifischen Eigenschaften der Vorzug gegeben, da in diesem Fall das reduzierte Gewicht entsprechend im Hochpreissegment angesiedelt werden kann.

Glasfasern, die um ein Vielfaches günstiger sind als Kohlenstoff-Fasern, haben im Vergleich niedrigere mechanische Eigenschaften und zudem eine höhere Dichte, womit der Leichtbaugedanke nicht mehr im Vordergrund ist.

In den letzten Jahren haben, sowohl im thermoplastischen als auch im duromeren Bereich, Naturfasern Einzug in diverse Industriebereiche, unter anderem auch die Automobilindustrie, gehalten. Auslöser hierfür ist u.a. die Vorgabe, auf ökologischen Gesichtspunkten basierend entsprechend Produkte zu erzeugen, die am *end-of-life* weniger umweltschädlich sind.

Die Verwendung der Naturfasern als Verstärkungskomponente ermöglicht somit die Herstellung eines zu hohen Teilen CO₂-neutralen Werkstoffes, der zusätzlich noch eine, im Vergleich zur Glasfaser geringe Dichte aufweist und somit eine Gewichtsreduktion in der Gesamtmasse zur Folge haben kann.

1. Naturfasern – eine Übersicht

Generell können Naturfasern in drei Untergruppen unterteilt werden, die mineralischen, tierischen und pflanzlichen Ursprung sind und von denen einige Vertreter in Bild 1 aufgeführt sind.

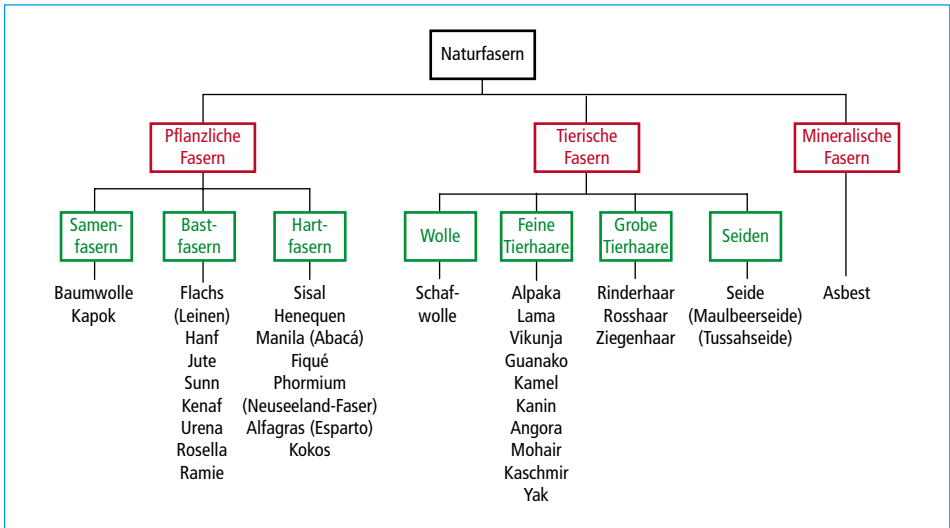


Bild 1: Kategorisierung von Naturfasern

Quelle: Flemming, M.; Ziegmann, G.; Roth, S.: Faserverbundbauweisen – Fasern und Matrices, Springer-Verlag, 1995

Industriell finden pflanzliche Naturfasern Verwendung, wobei hier zwischen einjährigen (z.B. Hanf- und Flachspflanze) und mehrjährigen (Holz) Faserquellen unterschieden werden kann. Gemeinsam sind den pflanzlichen Fasern allerdings die Grundbausteine, aus denen sie aufgebaut sind (Tabelle 1), wobei je nach Faserart unterschiedliche prozentuale Zusammensetzungen enthalten sind.

Tabelle 1: Zusammensetzung pflanzlicher Naturfasern

Faser	Cellulose	Lignin	Hemicellulose	Andere	Feuchtigkeit
	Gew.-Prozent				
Dattelpalme (Gewebe)	46	20	18	11	5
Baumwolle	82,7	0	5,7	1,6	10
Hanf	67	3.3	16.1	3,6	10
Flachs	56 bis 65	2,5 bis 5	16	4	10
Sisal	65,8	9,9	12	2,3	10
Jute	61,0 bis 72,4	11,8 bis 14,2	12,0 bis 13,3	1,8	10
Ramie	68,6 bis 83,0	0,6 bis 0,7	13,1 bis 14,5	8,4	10
Kokos	43	45	<1	4	7

Quelle: Taha, I.: Processing and Characterisation of Selected Discontinuous Natural fibers and Their Polymer Composite, Dissertationsschrift, Technische Universität Clausthal, 2007

Auch ergeben die chemische und strukturelle Zusammensetzung der Naturfaser unterschiedliche mechanische Kennwerte der jeweiligen Faserart (Tabelle 2). Wie der Tabelle zu entnehmen ist, können Naturfasern zwar nicht die Zugfestigkeit der Glasfaser erreichen, liegen aber im E-Modul etwa gleich oder höher.

	E-Modul	Zugfestigkeit	Dichte
	GPa	MPa	g/cm ³
Sisal	10 bis 22	530 bis 640	1,50
Baumwolle	~ 27	200 bis 800	1,55
Jute	~ 60	~ 860	1,30
Hanf	~ 70	~920	1,47
Flachs	85	900	1,40
E-Glasfaser	~ 72	2.000 bis 2.500	2,50

Tabelle 2:

Mechanische Kennwerte ausgewählter Fasern

Vor dem Hintergrund der ebenfalls in der Tabelle aufgeführten Faserdichten könnten somit theoretisch annähernd vergleichbare mechanische Kennwerte im Bereich der faserverstärkten Kunststoffe erzielt werden.

Im Vergleich zur Glasfaser, die chemisch eine dreidimensional vernetzte Struktur darstellt, ist die Naturfaser ein in sich verschachteltes System (Bild 2).

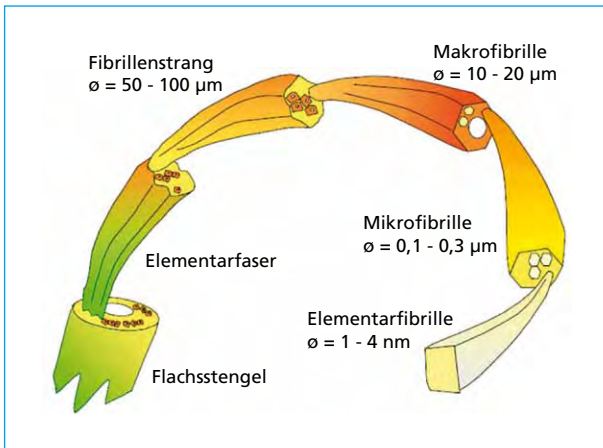


Bild 2:

Struktureller Aufbau einer Naturfaser am Beispiel Flachs

Quelle: Bos, H.L.; van der Oever, M.J.A.; Peters, O.C.J.J.: Tensile and compressive properties of flax fibres for natural fibre reinforced composites, Journal of Materials Science, 37, 2002, S. 1683-1692, bearbeitet

Aus dem Bild wird das Leistungspotenzial der Naturfaser ersichtlich, da bei einer Verarbeitung der Faser unter Einwirkung hoher Scherbelastung, wie es zum Beispiel im Extruder oder der Spritzgussmaschine der Fall ist, die Elementarfaser aufgespleißt wird. Tritt dieser Effekt vor dem Faserbruch ein, können effektivere Fasern erhalten werden, da das notwendige Faserlängen zu -durchmesser-Verhältnis (Aspekt-Verhältnis) höher ist.

Im Fall der synthetisch erzeugten, spröden Glasfaser tritt ausschließlich ein Faserbruch auf. Ein Aufspleißen (Reduktion des Faserdurchmessers) ist hierbei aufgrund des chemischen Aufbaus nicht möglich.

Wie bereits beschrieben, ist für eine hohe mechanische Eigenschaft allerdings auch eine gute Faser-Matrix-Haftung erforderlich. Während die Glasfaser, die wie alle anderen Fasern zu den synthetischen Faserarten gehört, im Produktionsprozess mit einer Beschichtung (Schlichte) versehen wird, liegt im Fall der Naturfaser diese unmodifiziert vor.

Auch weisen Naturfasern nur eine thermische Stabilität bis etwa 250 °C auf, während alle anderen Fasern auch höhere Temperaturen ausgesetzt werden können. Daher ist gerade dieses Temperaturverhalten ausschlaggebend dafür, dass Naturfasern nicht mit allen Thermoplasten verarbeitet werden können und die Naturfaserverstärkung hauptsächlich in Standardkunststoffen wie z.B. Polypropylen eingesetzt wird. Hierbei tritt allerdings eine weitere Herausforderung auf, da diese niedrigschmelzenden Kunststoffe unpolar sind. Naturfasern hingegen sind, aufgrund der chemischen Struktur der Bausteine, polar. Ein Vermischen von Faser und Kunststoffmatrix führt zu niedrigen mechanischen Eigenschaften, da in diesem Fall keine Kompatibilisierung vorhanden ist und somit keine Kraftübertragung von der Matrix auf die Naturfaser stattfinden kann.

Um dennoch gute mechanische Eigenschaften zu erreichen, wird dem Faser-Matrix-Gemisch ein Haftvermittler zugesetzt. Der industrielle Standard ist hierbei das Maleinsäureanhydrid-*gepfropfte*-Polypropylen (MAPP). Bei dieser Verbindung ist das chemisch aktive Maleinsäureanhydrid an einen Polypropylenstrang verknüpft. Durch Reaktion der Anhydrid-Komponente mit den polaren Gruppen der Naturfaser bildet sich eine chemische Verbindung zwischen Haftvermittler und Faser, wobei der Polymerstrang des Haftvermittlers mit der umgebenden Polypropylen-Matrix wechselwirkt und bei Abkühlen der Thermoplastschmelze in diese eingebaut wird.

Allerdings werden die mechanischen Eigenschaften des resultierenden Naturfaserverstärkten Kunststoffverbundes auch von der Art des MAPP-Haftvermittlers bestimmt, da es unterschiedliche Polymerstranglängen und diverse Konzentrationen von Maleinsäureanhydrid an den jeweiligen Polymersträngen gibt.

Somit ist es neben der Angabe der verwendeten Naturfasern auch wichtig, eine Information zum verwendeten Haftvermittler zu erhalten, da beides unerlässlich ist, das Leistungspotenzial des Kunststoffverbundes zu bewerten.

2. Materialverhalten während des Recyclings

In der Literatur ist bekannt, dass die Verarbeitung von naturfaserverstärkten Kunststoffverbunden im Extrusionsprozess in Abhängigkeit des Extruderaufbaus und der Prozessparameter Auswirkungen auf die Naturfaser während des Prozesses und die resultierenden mechanischen Eigenschaften des Extrudates hat [1, 3]. Auch liegen bereits Ergebnisse zu Untersuchungen vor, die den Prozesseinfluss im Spritzguss beleuchten [5]. In allen Fällen ergab die Scherbeanspruchung ein Aufspießen der Naturfasern und daher einen Zugang zu theoretisch höheren mechanischen Eigenschaften. Somit wurden Versuche durchgeführt, sowohl Glasfaser- als auch Naturfaser-verstärkte Thermoplaste einer mehrmaligen Verarbeitung zuzuführen und dadurch das Recycling-Potenzial der Verbunde zu ermitteln.

Hierzu wurden zwei Polypropylencompounds, jeweils zu 40 Gew.-Prozent mit Glas- bzw. Naturfasern versetzt und mittels einer Spritzgussmaschine vom Typ Allrounder 220S 150-60, Arburg GmbH & Co. KG, Lossburg, Probekörper gemäß DIN EN ISO 527, Typ 1BB, hergestellt. Anschließend wurde eine definierte Anzahl an Probekörpern

für mechanische Untersuchungen zurückbehalten und der Rest mit Hilfe einer Mühle granuliert. Dieses Granulat wurde dann wieder im Spritzgussprozess zur Herstellung neuer Probekörper eingesetzt. Dieses Verfahren wurde insgesamt vier Mal durchgeführt.

Die Probekörper wurden dann anschließend auf Zug, Biegung und Impact untersucht sowie die Fasern isoliert und eine entsprechende Faseranalytik zugeführt. Mittels des QICPIC-Analysators, Sympatec GmbH, Clausthal-Zellerfeld, konnten hierbei die jeweiligen Faserlängen bzw. -durchmesser bestimmt werden, aus denen das Aspekt-Verhältnis erhalten werden konnte.

2.1. Mechanische Eigenschaften recycelter Kunststoffcompounds

Wie dem Bild 3 zu entnehmen ist, weisen die Glasfaser-verstärkten Polypropylencompounds weitaus höhere Zugfestigkeiten auf als das für die Naturfaserverstärkung der Fall ist. Diese Verhältnisse treffen für alle relevanten mechanischen Kennwerte zu.

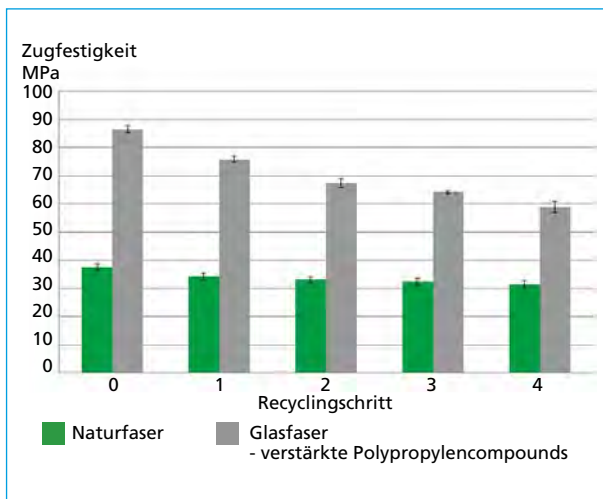


Bild 3:

Ermittelte Zugfestigkeiten in Abhängigkeit des Recyclingschrittes

Um allerdings das Recyclingpotenzial der faserverstärkten Compounds zu betrachten ist es notwendig, die erhaltenen Kennwerte in Relation zu den Kennwerten des Ausgangsmaterials zu setzen.

Im hier dargestellten Fall der Zugfestigkeit wird auffällig, dass diese mit zunehmender Anzahl an Recyclingschritten sinkt. Während die Abnahme im Fall der Naturfaser nach vier Schritten bei 16 Prozent liegt, weisen die Glasfaser-verstärkten Polypropylencompounds einen Abfall um 32 Prozent auf (Bild 4).

Diese Entwicklung könnte darauf zurückgeführt werden, dass durch die Scherbeanspruchung während des Prozesses die Verstärkungsfasern geschädigt werden, so z.B. durch das Einkürzen der Faser wie es für die spröde Glasfaser angenommen werden kann. Der geringere Abfall bei den Naturfasern könnte darauf hinweisen, dass diese flexiblere Faserart eine niedrigere Beeinflussung durch die Scherung erfährt.

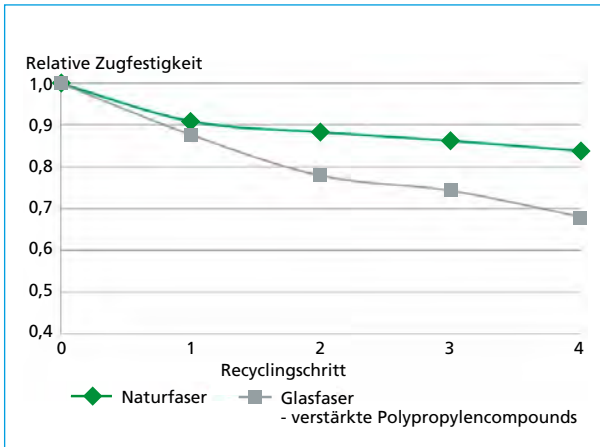


Bild 4:

Relative Zugfestigkeiten in Abhängigkeit des Recyclingschrittes

Im Bereich des Elastizitätsmoduls weist die Glasfaserverstärkung einen Abfall des mechanischen Kennwertes über die Anzahl an Recyclingschritten auf, der ebenfalls im Bereich von 32 Prozent liegt. Im gleichen Testbereich bleibt der Kennwert der NF-Verstärkung annähernd konstant. Auch hier kann der Eigenschaftsverlust durch eine Einkürzung der Glasfaser erklärt werden, allerdings ist das mechanische Verhalten im Fall der Naturfaserverstärkung nicht direkt zuzuordnen.

2.2. Faseranalytik recycelter Kunststoffcompounds

Um die bei den mechanischen Eigenschaften aufgetretenen Verhältnisse interpretieren zu können ist es notwendig, einen detaillierten Überblick der Faserlängen und -durchmesser zu erhalten.

Hierbei ist auffällig, dass durch die sukzessive Wiederverarbeitung des Materials die Faserlängen im Fall der Glasfaserverstärkung reduziert werden, wohingegen der Faserdurchmesser konstant bleibt.

Bei den Naturfasern hingegen tritt bereits nach dem ersten Recyclingschritt ein Aufspießen der Fasern auf, wobei die Fasern auf etwa 35 Prozent ihres Ausgangsdurchmessers verdünnt werden. Die dagegen relativ moderat ausfallende Fasereinkürzung um 20 Prozent ergibt in direkter Konsequenz ein höheres Aspektverhältnis als im Ausgangsmaterial.

Ebenso ist auffällig, dass das Aspektverhältnis bei der Glasfaser kontinuierlich abnimmt.

Aufgrund der Kombination der Ergebnisse aus Kennwertermittlung und Faseranalytik wird die Abhängigkeit des mechanischen Verhaltens vom Faser-Aspektverhältnis offensichtlich, da beide Verläufe dieselbe Tendenz aufzeigen.

Im Gegensatz dazu werden bei der Naturfaser über zwei Recyclingschritte annähernd konstant hohe Aspektverhältnisse erhalten. Erst im dritten Recyclingschritt fällt der Wert auch für die Naturfaser ab (Bild 5).

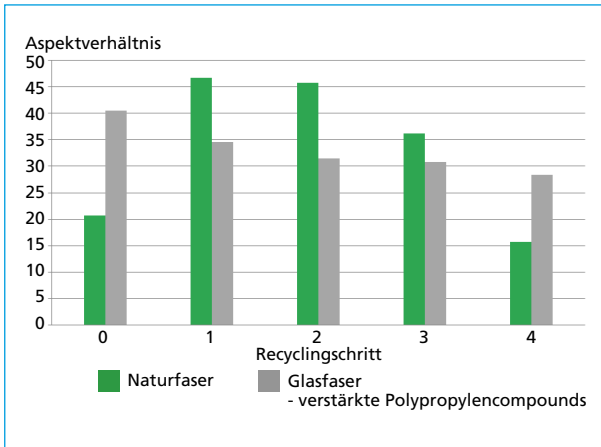


Bild 5:

Aspektverhältnisse in Abhängigkeit des Recyclingschrittes

Aufgrund des um mehr als doppelt so hohen Aspektverhältnisses im Fall der Naturfaserverwendung wäre zu erwarten, dass auch die mechanischen Eigenschaften nach Durchführung eines ersten Recyclingschrittes ansteigen. Die Untersuchungen des mechanischen Verhaltens zeigen allerdings ein anderes Verhalten.

Dies ist damit zu begründen, dass in dem betrachteten Naturfasersystem ein Haftvermittler enthalten ist, der – wie bereits beschrieben – die mechanischen Eigenschaften des Compounds beeinflusst.

Im Ausgangsmaterial, das den Spritzgussprozess erstmalig durchläuft (Recyclingschritt 0) ist die Oberfläche der Naturfaser mit Haftvermittler versehen, der eine Interaktion zwischen Faser und Matrix garantiert. Nach Aufspießen der Naturfasern liegen Fasern mit geringerem Durchmesser vor, die durch das mechanische Zerbrechen des zusammenhaltenden Materials freigesetzt werden. Diese dünneren Fasern besitzen allerdings eine neue aktive Oberfläche, die nicht mit dem Haftvermittler versetzt ist. Daher liegen neben den modifizierten, gute mechanische Eigenschaften ergebenden Faseroberflächen auch unmodifizierte vor, die keine Faser-Matrix-Haftung erlauben.

Somit stellt die erhaltene mechanische Eigenschaft eine Summe über die Compoundprobe, in der neben haftvermittelten auch unbehandelte Naturfasern vorliegen und trotz des hohen Aspektverhältnis können keine hohen Kennwerte erhalten werden.

Aufgrund der Kombination beider Untersuchungen wird die Abhängigkeit des mechanischen Verhaltens vom Faser-Aspektverhältnis offensichtlich, da beide Verläufe dieselbe Tendenz aufzeigen.

3. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag konnte aufgezeigt werden, dass das Eigenschaftspotenzial von Naturfaser-verstärkten Kunststoffen bereits durch die Faserquelle beeinflusst werden kann und daher diese definierter genannt werden muss. Im täglichen Umgang

mit dem Material kann die *Naturfaser* nur eine Obergruppe darstellen und eine Zuordnung der verwendeten Faser im Materialnamen ist unausweichlich. Ebenso hat der zu verwendende Haftvermittler einen starken Effekt auf die resultierenden mechanischen Eigenschaften im Compound, da das Faser-Matrix-Potenzial stark von der chemischen Struktur des Haftvermittler-Systems abhängt.

Weiterhin konnte gezeigt werden, welche Auswirkungen eine hochscherige Verarbeitungstechnik auf das Compoundmaterial hat, wobei sowohl die mechanischen Eigenschaften als auch die jeweils im Material enthaltenen Fasern betrachtet wurden.

Auf Grundlage der genannten Zusammenhänge muss es für zukünftige Untersuchungen das Ziel sein, einerseits vermehrt Forschung auf neuen Haftvermittlungsagenzien zu betreiben, die eben diese freien Oberflächen nach dem Aufspießen haftvermitteln können. Andererseits gilt es, die Prozesstechnik entsprechend der Fasereffekte bei der Verarbeitung von Naturfaser-verstärkten Compounds zu optimieren.

Nur durch die gesamthafte Betrachtung aller Zusammenhänge kann das Anwendungspotenzial und die -breite von derartigen Compounds in der Industrie vorangebracht werden.

4. Literatur

- [1] Beaugrand, J.; Berzin, F.: Lignocellulosic fiber reinforced composites: Influence of compounding conditions on defibrization and mechanical properties, *Journal of Applied Polymer Science* 128(2), 2013, S. 1227-1238
- [2] Bos, H.L.; van der Oever, M.J.A.; Peters, O.C.J.J.: Tensile and compressive properties of flax fibres for natural fibre reinforced composites, *Journal of Materials Science*, 37, 2002, S. 1683-1692, bearbeitet
- [3] El-Sabbagh, A.M.M.; Steuernagel, L.; Meiners, D.; Ziegmann, G.: Effects of Extruder Elements on Fiber Dimensions and Mechanical Properties of Bast Natural Fiber Polypropylene Composites, *Journal of Applied Polymer Science* 131(12), 2014, 40435
- [4] Flemming, M.; Ziegmann, G.; Roth, S.: *Faserverbundbauweisen – Fasern und Matrices*, Springer-Verlag, 1995
- [5] Steuernagel, L.; El-Sabbagh, A.: *Natural Fibre Reinforced Plastics – Effect of Injection Moulding and Primer on Mechanical Properties*, naro.tech – 10. Internationales Symposium Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen, 16.-17. September 2014, Erfurt
- [6] Taha, I.: *Processing and Characterisation of Selected Discontinuous Natural fibers and Their Polymer Composite*, Dissertationsschrift, Technische Universität Clausthal, 2007

Recycling und Rohstoffe



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2

ISBN: 978-3-935317-51-1
Erscheinungsjahr: 2008/2009
Preis: 35,00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 2

ISBN: 978-3-935317-40-5
Erscheinungsjahr: 2009
Hardcover: 765 Seiten
Preis: 35,00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 3

ISBN: 978-3-935317-50-4
Erscheinungsjahr: 2010
Hardcover: 750 Seiten, mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 4

ISBN: 978-3-935317-67-2
Erscheinungsjahr: 2011
Hardcover: 580 Seiten, mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 5

ISBN: 978-3-935317-81-8
Erscheinungsjahr: 2012
Hardcover: 1004 Seiten, mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 6

ISBN: 978-3-935317-97-9
Erscheinungsjahr: 2013
Hardcover: 711 Seiten, mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

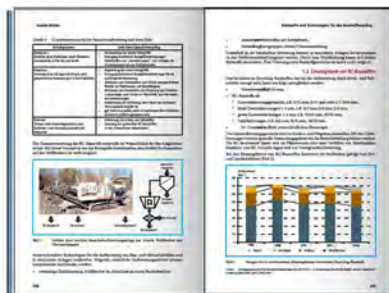
Recycling und Rohstoffe, Band 7

ISBN: 978-3-944310-09-1
Erscheinungsjahr: 2014
Hardcover: 532 Seiten, mit farbigen Abbildungen
Preis: 50,00 EUR

175.00 EUR
statt 320.00 EUR

Paketpreis

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2
Recycling und Rohstoffe, Band 2 bis 7



Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietzwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 8

ISBN 978-3-944310-20-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2015
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Carolin Bienert, Janin Burbott,
Max Müller, Cordula Müller
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.