

Jann Stoff

Textile Biocomposites im Automobilbau

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2010 Diplomica Verlag GmbH
ISBN: 9783956365850

Jann Stoff

Textile Biocomposites im Automobilbau

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit textilen Biocomposites. Dabei werden textile Preforms aus endlosfaserverstärkten Naturfasern über die Flechttechnologie aufgebaut.

In Vorversuchen kommt es zu eingehenden Untersuchungen und einer genaueren Materialauswahl. Dabei werden neben reinen Flachsfasern auch sogenannte commingled yarns auf Prozessfähigkeit untersucht. Bei commingled yarns handelt es sich um Fasern, die aus Flachsfasern und PP-Fasern aufgebaut sind. Auch Harzsysteme werden genauer untersucht, wobei der Fokus auf das Epoxydharz MGS RIM 135 und ein biobasiertes Epoxydharz PTP-L gelegt wird. Während der Vorversuche zeigt sich, dass eine genauere Untersuchung der commingled yarns nicht möglich ist, da die erzielte Laminatqualität nicht ausreicht, um die mechanischen Eigenschaften genauer zu untersuchen. Daher kommt es nur zu einer Kennwertermittlung von Flachsfaserlaminaten in Verbindung mit den beiden Epoxydharztypen. Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können werden analog Glasfasergeflechte mit den gleichen Harzsystemen aufgebaut, um eine gute Vergleichbarkeit von Faser, aber auch Harz zu gewährleisten.

Der Hauptteil der Arbeit befasst sich mit der Kennwertermittlung und soll zeigen, welche mechanischen Eigenschaften Flachsfasern besitzen, außerdem wird ein Vergleich zwischen Flachs- und Glasfaser gezogen. Dazu werden Prüflamine hergestellt und durch diverse Prüfverfahren genau getestet.

Parallel dazu sollen Laminatuntersuchungen die Flachsverbunde genauer betrachten, um eine Aussage über die Laminatqualität geben zu können.

Abstract

The present work deals with textile biocomposites. This textile preforms are composed of continuous fiber reinforced natural fibers, processed by weaving.

In preliminary tests it comes to detailed investigations and a more accurate choice of materials. These are in addition flax fibers also as commingled yarns, which were investigated for process capability. Commingled yarns are fibers, which are composed of flax fibers and PP fibers. Also resin systems are examined in detail, the focus is placed on the epoxy resin MGS RIM 135 and a bio-based epoxy resin PTP-L. The preliminary tests show that a closer examination of the commingled yarns is not possible because the laminate quality achieved is not sufficient for the mechanical properties to investigate. Consequently there is only a determination of parameters of flax fiber laminates in conjunction with the two types of epoxy resin. In order to compare the results better analog glass fiber braids are constructed with the same resin systems to ensure good comparability of fiber but also of the resin. The bulk of the work deals with the determination of parameters and is intended to show the mechanical properties flax fibers have. Moreover a comparison between flax fiber and glass fiber will be drawn. These laminates will be manufactured and tested in various tests. In parallel, laminate investigations consider the flax composites more accurately, to give a statement on the laminate quality.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung und Abstract	I
Inhaltsverzeichnis	II
Nomenklatur	V
Abkürzungen	VI
Vorwort und Danksagung	VII
1. Einführung	1
2. Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit	4
3. Stand der Technik	5
3.1 Allgemeines	5
3.2 Faserverbundwerkstoffe im Automobilbau	6
3.3 Naturfaserverstärkte Kunststoffe im Automobilbau	8
3.4 Endlosfaserverstärkung aus Naturfasern	10
4. Materialien, Maschinen, Methoden	12
4.1 verwendete Materialien	12
4.1.1 Fasern	12
4.1.1.1 Einführung Naturfaser	12
4.1.1.2 Flachsfaser	13
4.1.1.2.1 Allgemeines	13
4.1.1.2.2 Herstellung	14
4.1.1.2.3 verwendete Flachsfaser	15
4.1.1.3 Glasfaser	16
4.1.2 Matrixsysteme	16
4.1.2.1 Matrix allgemein	16
4.1.2.1.1 Epoxydharz	18
4.1.2.1.2 Verwendetes Epoxydharz	18
4.1.2.1.2.1 Verarbeitung	18
4.1.2.1.2.2 Eigenschaften	19
4.1.2.2 PTP-L	19
4.1.2.2.1 Reaktionsmechanismus	20
4.1.2.2.2 Eigenschaften	21
4.2 verwendete Maschinen	22
4.2.1 Umspulanlage	22
4.2.2 Flechtmaschine	23
4.2.2.1 64-Klöppel-Flechtmaschine	23
4.2.2.2 176-Klöppel-Flechtmaschine	24
4.2.3 Roboter	25
4.2.4 Prüfmaschinen	25
4.2.4.1 Impactor	25
4.2.4.2 Universalprüfmaschine	26
4.2.5 Sonstige Geräte	27
4.3 Methoden	27
4.3.1 Flechttechnik	27
4.3.1.1 Prinzip der Flechttechnik	27
4.3.1.2 Moderne Flechttechnik	28
4.3.2 Bauteilherstellung	32
4.3.2.1 Fertigungsverfahren	32
4.3.2.1.1 VARI	32

4.3.2.1.2	Versuchsaufbau	34
4.3.3	Laminatuntersuchungen	34
4.3.3.1	Faservolumengehalt	35
4.3.3.1.1	Dichtebestimmung (Gaspyknometer)	35
4.3.3.1.2	Faservolumengehalt über das Gewicht	35
4.3.3.2	Porosität	36
4.3.3.3	Faser-Matrix-Haftung	36
4.3.3.3.1	Einführung	36
4.3.3.3.2	Rasterelektronenmikroskop	37
4.3.4	Prüfkörperherstellung	38
4.3.4.1	Umspulen	38
4.3.4.2	Herstellung Prüfkörpergeflecht	38
4.3.4.3	Prüfkörperherstellung	39
4.3.5	Tests	40
4.3.5.1	Zugprüfung	40
4.3.5.2	IPSS	41
4.3.5.3	Druckprüfung	42
4.3.5.4	ILS	45
4.3.5.5	CAI	47
5.	Vorversuche	50
5.1	Verarbeitung	50
5.1.1	Commingled Yarns	50
5.1.2	Flachsfaser	52
5.2	Laminatherstellung	54
5.2.1	Aushärtung commingled yarns	54
5.2.2	Infiltration Flachsfaser	56
5.2.2.1	Ergebnisse der Infiltration	57
5.2.2.1.1	Oberflächenqualität	58
5.2.2.1.2	Imprägnierung der Faser	60
5.2.2.1.3	Faserabbau	62
5.3	Fazit Vorversuche	63
6.	Versuchsdurchführung	65
6.1	Umspulen	66
6.2	Flechten	67
6.3	Infiltration	68
6.3.1	Infiltration Flachsfaser	68
6.3.2	Infiltration Glasfaser	69
6.4	Prüfkörperherstellung	70
6.5	Tests	70
6.5.1	Impacten	70
6.5.2	Kennwertermittlung	72
7.	Ergebnisse	73
7.1	Verarbeitung	73
7.2	Laminatuntersuchungen	75
7.2.1	Faservolumengehalt	75
7.2.2	Porosität	76
7.2.3	Faser-Matrix-Bindung	77
7.3	Experimentell ermittelte Kennwerte	80
7.3.1	experimentelle Kennwerte der Zugprüfung	80
7.3.2	experimentelle Kennwerte der Druckprüfung	82
7.3.3	experimentelle Kennwerte der ILS-Prüfung	83
7.3.4	experimentelle Kennwerte der IPSS-Prüfung	84
7.3.5	experimentelle Kennwerte der der CAI-Prüfung	85

7.4	Normierte Testergebnisse	87
7.4.1	Normierte Ergebnisse der Zugprüfung	88
7.4.2	Normierte Ergebnisse der Druckprüfung	89
7.4.3	Normierte Ergebnisse der CAI-Prüfung	90
7.5	spezifische Kennwerte (gewichtsbezogen)	90
7.5.1	spezifische Kennwerte der Zugprüfung	91
7.5.2	spezifische Kennwerte der Druckprüfung	92
7.5.3	spezifische Kennwerte der CAI-Prüfung.....	93
7.5.4	Spezifische Kennwerte der IPSS-Prüfung.....	94
7.6	Kraft-Weg-Diagramm.....	95
7.7	Spannungs-Dehnungs-Diagramm.....	96
8.	Diskussion	98
8.1	Chemische Untersuchung	98
8.2	Verarbeitung	99
8.3	Infiltration	101
8.4	Prüfverfahren.....	102
8.5	Kennwerte	103
9.	Ausblick	107
10.	Zusammenfassung der Arbeit	108
11.	Literaturangaben	110
12.	Anhang	113
12.1	Flechtprotokolle.....	113
12.2	Infiltrationsprotokolle.....	115
12.3	Schnittplan	119

Nomenklatur

b	Breite (Prüfkörper) [mm]
E	Energie (potentielle)
E_c	Druckfestigkeit [MPa]
E_g	Elastizitätsmodul gemessen [GPa]
E_n	Elastizitätsmodul normiert [GPa]
E_t	Zugfestigkeit [MPa]
ε	Dehnung [mm]
ε_x	Längsdehnung [mm]
ε_y	Querdehnung [mm]
$\Delta \varepsilon$	Dehnung bei ΔP [mm]
$F; F_m$	maximale Kraft [kN]
g	Erdbeschleunigung [9,81 m/s ²]
G_{12}	Schubmodul [GPa]
h	Dicke (Prüfkörper) bzw. Höhe [mm]
m	Masse [kg]
$P_u; P_r$	maximale Kraft [kN]
ΔP	$P_u/2 - P_u/10$
σ_{tu}	Zugfestigkeit [MPa]
σ_{cu}	Druckfestigkeit [MPa]
$\sigma_{r(E)}$	Druckfestigkeit CAI [MPa]
σ_g	Spannung gemessen [MPa]
σ_n	Spannung normiert [MPa]
t_n	Dicke (Prüfkörper) [mm]
T	Interlaminare Scherfestigkeit [MPa]
T_{12M}	Schubfestigkeit [MPa]
T_{12}'	Schubfestigkeit bei $Y = 0,005$
T_{12}''	Schubfestigkeit bei $Y = 0,001$
w	Breite (Prüfkörper) [mm]
φ	Faservolumengehalt [Vol.%]
Y	Differenz aus Quer- und Längsdehnung ($\varepsilon_x - \varepsilon_y$) [mm]
Y_{12}'	$\varepsilon_x - \varepsilon_y = 0,005$
Y_{12}''	$\varepsilon_x - \varepsilon_y = 0,001$

Abkürzungsverzeichnis

AITM	Airbus Test Method
CAI	Compression after Impact
CFK	Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe
CO ₂	Kohlendioxid
DMS	elektrischer Dehnmessstreifen
EP-Harze	Epoxydharze
FVK	Faserverstärkte Kunststoffe
GFK	Glasfaserverstärkte Kunststoffe
IFB	Institut für Flugzeugbau
ILS	Interlaminare Scherfestigkeit
IPSS	In-Plane-Shear-Stress (Schubspannung)
KFZ	Kraftfahrzeug
LKW	Lastkraftwagen
NFK	Naturfaserverstärkter Kunststoff
PP	Polypropylen
PTP	Polymer aus Tryglyceriden und Polycarbonsäureanhydriden
PUR	Polyurethan
RT	Raumtemperatur
RTM	Resin Transfer Moulding
HTS	High tensile strength
tex	Maßzahl zur Feinheit von Faser [g/1000m]
UP-Harze	Ungesättigte Polyester-Harze
VARI	Vacuum Assisted Resin Infusion
WPC	Wood Plastic Composite

Vorwort und Danksagung

Die Ihnen vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Diplomarbeit an der Fachhochschule Rosenheim im Studiengang Kunststofftechnik. Die Erstellung der Diplomarbeit erfolgte am Institut für Flugzeugbau zwischen März und September 2010 in Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt Dipl.-Ing. Frank Härtel, der für die Betreuung der Diplomarbeit am Institut für Flugzeugbau verantwortlich war und zu jeder Zeit mit Rat und Tat zur Verfügung stand und eine feste Unterstützung für mich war.

Ich wünsche ihm für die angestrebte Promotion und den weiteren Lebensweg alles Gute.

Weiterhin möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Schemme bedanken, der als Erstprüfer die Betreuung der Diplomarbeit seitens der FH übernommen hat. Auch Prof. Dipl.-Ing. Karlinger gebührt mein Dank für die Übernahme der Zweitprüfung.

Allen Mitarbeitern des Instituts für Flugzeugbau danke ich für die Unterstützung in der Durchführung dieser Arbeit.

1. Einführung

Faserverstärkte Kunststoffe werden aufgrund ihrer verschiedenen Eigenschaften heute in vielen Anwendungsgebieten eingesetzt. Betrachtet man die Automobilbranche, ist auffallend, dass der Marktanteil der FVK seit Jahren stetig steigt. Gerade das hohe Leichtbaupotential und die mit den Fasern verbundenen hohen spezifischen Festigkeiten und Steifigkeiten sind nur einige Gründe dafür, dass faserverstärkte Kunststoffe vermehrt zum Einsatz kommen. Der hohe öffentliche Druck auf die Automobilhersteller, Autos zu entwickeln, die einen möglichst geringen Verbrauch aufweisen, führt zu einem Umdenken bei den Herstellern. Auch der Trend in Richtung Elektroauto und die damit verbundene Steigerung des Gewichts eines KFZ durch die Akkus, die notwendig sind, um die Energie für den Fahrbetrieb zu speichern, sorgen dafür, dass die Hersteller gezwungen sind, an anderer Stelle Gewicht einzusparen. Die Faserverbunde mit ihrem hohen Leichtbaupotential spielen daher in den Überlegungen und Entwicklungen eine immer größere Rolle.

Eine sich zunehmend etablierende Werkstoffgruppe in diesem Sektor der Verbundwerkstoffe sind die naturfaserverstärkten Kunststoffe, welche sich durch ihre sehr preiswerte Herstellung und die Unbedenklichkeit der Verstärkungsfasern auszeichnen [1]. Gerade in Verbindung mit den steigenden Rohölpreisen und der Politik, die mit staatlichen Restriktionen gegenüber der Umwelt ökologische Entwicklungen vorantreibt, kommt es zu diesem Bedeutungsgewinn.

Angesichts immer knapper werdender Ressourcen und zunehmender Umweltbelastungen müssen über Energieeinspareffekte durch Leichtbauweisen hinaus jedoch zunehmend auch Aspekte der Rohstoffgewinnung und stofflichen Verwertung nach dem Ende von Produktlebenszeiten betrachtet werden [2]. Gerade bei einer Verwendung von Kunststoffen auf petrochemischer Basis sind Produktion, Nutzung und Entsorgung im Bezug auf Gesichtspunkte der Umweltverträglichkeit meist problematisch. Bei konventionellen Faserverbundbauteilen ist eine Entsorgung nur mit sehr großem technischem Aufwand möglich. Werden Pflanzenfasern wie z. B. Flachs, Hanf oder Ramie (Zellulosefasern) in polymere Matrices eingebettet, so können Faserverbunde hergestellt werden, die durch rohstoffliches Recycling (z. B. durch Pyrolyse zu Methanol), durch „CO₂-neutrale“ thermische Verwertung oder u. U. durch Kompostierung umweltverträglich im Stoffkreislauf geführt werden können [2]. Durch Naturfaser-Verbundwerkstoffe ist ein erhebliches CO₂-Einsparpotential möglich, wie einige Studien bisweilen eindrucksvoll belegen konnten. So kann über jedes Kilogramm Naturfaser, das Glasfasern in Verbundwerkstoffen substituiert, über den gesamten Lebensweg, also einschließlich des Anbaus und der Entsorgung bzw. Recycling 1,4 kg CO₂ eingespart werden [3]. Gerade in der heutigen Zeit, in der sich die Industrienationen dazu verpflichten haben, ihre CO₂-Ausstöße deutlich zu reduzieren, ergeben sich durch NFK erhebliche Einsparpotentiale. Auch bei der thermischen Verwertung haben die Naturfasern im Vergleich zu Glasfasern durchaus Vorteile: Bei einer Verbrennung von Glasfasern ergibt sich das Problem der Schlackenbildung, während Naturfasern als weitgehend reine Zellulose gut und auch sauber verwertet werden können. Auch bei einer stofflichen Verwertung überzeugen die Naturfasern. Grundsätzlich kommt es beim Recycling von Glasfasern zu einem Brechen in immer kürzere Glasfasern, womit eine geringere Verstärkung verbunden ist. Naturfasern hingegen brechen praktisch nicht und können damit ohne größeren Qualitätsverlust neu verarbeitet werden.

NFK besitzen neben all diesen Aspekten durchaus gute technische und ökonomische Eigenschaften und verfügen darüber hinaus über Wettbewerbsvorteile. Das Hauptanwendungsgebiet liegt derzeit in eher untergeordneten Baugruppen, wie Türinnenverkleidungen oder ähnlichen Bauteilen, welche nur sehr geringen Belastungen ausgesetzt sind. Dabei kommen primär relativ kurze Naturfasern zum Einsatz, die nur sehr geringe mechanische Eigenschaften besitzen. Dabei können auch Naturfasern Eigenschaften aufweisen, die einen Einsatz auch für höher belastete Bauteile möglich machen würden bzw. auch schon zulassen. Kurz zusammengefasst verfügen Naturfasern generell über folgende Vor- und Nachteile.

Einige Gründe bzw. Vorteile für den Einsatz der NFK:

- Zunehmende Preisattraktivität
- Ökologische Vorteile (neutraler CO₂-Kreislauf, Nachhaltigkeit)
- Hohe Versorgungssicherheit (europäische Fasern)
- Hohe Festigkeit (vergleichbar mit Glasfaser)
- Hohe Dämpfungseigenschaften, gutmütiges Bruchverhalten
- Gute Verarbeitung
- Gewichtsersparnis

Nachteile:

- Feuchtigkeitsaufnahme und –Abgabe der Fasern
- Schwankende Qualitäten
- geringe Akzeptanz

Beim Betrachten der Werkstoffeigenschaften von Bioverbunden zeigt sich schon heute, dass bei gleichem Faservolumengehalt die Eigenschaften von GFK annähernd erreicht werden können. Unter Berücksichtigung der Dichte fällt auf, dass die Dichte von Naturfasern deutlich unter der Dichte von Glasfasern liegt. Somit lassen sich bei gleichem Bauteilgewicht bessere mechanische Eigenschaften erzielen oder bei gleichen mechanischen Eigenschaften ein deutlich geringeres Bauteilgewicht (10 – 40 %) realisieren. Folgende Abbildung zeigt Biegeeigenschaften einiger Bioverbunde im Vergleich mit GFK und soll nochmals darlegen, dass naturfaserverstärkte Kunststoffe durchaus an GFK heranreichen können.

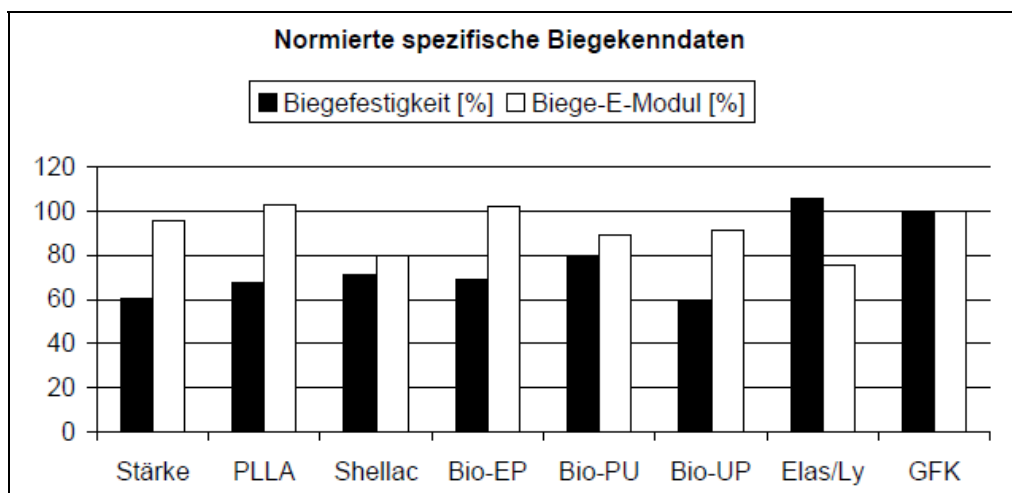


Abb. 1: Vergleich GFK – NFK [4]