

# GAK *Gummi* FASERN *Kunststoffe*

Fachmagazin für die Polymerindustrie

Fakuma 2021: Vorschau

Startup Spotlight

Mikroplastik

2K-Spritzgießen mit TPU

Naturfaserverstärkte Kunststoffe



Die Zukunft im Blick - seit 1894.

[www.luvomaxx.de](http://www.luvomaxx.de)  
[www.luvomaxx.com](http://www.luvomaxx.com)



**LEHVOSS**  
Group

# Nachhaltige NFK-Verbunde für Interieur-Anwendungen

I. Orlob, K. Ganß, T. Reußmann

*Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) werden als Leichtbaumaterial seit vielen Jahren in der Automobilindustrie eingesetzt. Aktuelle Zielstellungen zur weiteren Gewichtsreduktion bei Bauteilen und zur Verbesserung der Nachhaltigkeit erfordern optimierte Werkstoffe und Konzepte zur stofflichen Verwertung von Recyclingmaterialien. Im nachfolgenden Beitrag werden Werkstoffe und Verfahren zur Herstellung nachhaltiger NFK-Verbunde mit optimierten Eigenschaften vorgestellt. Die Untersuchungen basieren auf dem Einsatz von PES-Recyclingfasern in Halbzeugen aus Naturfaser-Polypropylen-Mischungen, die im Formpressverfahren verarbeitet werden können. Die erreichbaren Eigenschaften und die Vorteile der modifizierten Fasermatten werden im Vergleich zu etablierten Halbzeugen dargestellt und diskutiert.*

*Natural fiber-reinforced plastics have been used as lightweight materials in the automotive industry for many years. Current objectives for further weight reduction in components and improvement of sustainability require optimized materials and the development of concepts for the material reuse of recycling materials. In the following, materials and processes for the production of sustainable NFRP composites with optimized properties are presented. The investigations are based on the use of recycled PES fibers in semi-finished products made from natural fiber-polypropylene blends that can be processed by compression molding. The achievable properties and the advantages of the modified fiber mats are presented and discussed in comparison with established semi-finished products.*

## 1 Einleitung

Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und CO<sub>2</sub>-Minimierung sind Schlagworte unserer Zeit. Die politischen Forderungen nach einer optimalen Ausnutzung von natürlichen Ressourcen sowie das Bestreben der Industrie zum nachhaltigen Wirtschaften und zu geschlossenen Kreisläufen machen auch beim Produkt Auto nicht halt. Neben diesen Top-Themen kommt in der Automobilindustrie

die Notwendigkeit des Leichtbaus hinzu, denn dieser steht im direkten Zusammenhang mit der Verringerung des Kraftstoffverbrauches und der CO<sub>2</sub>-Minimierung [1].

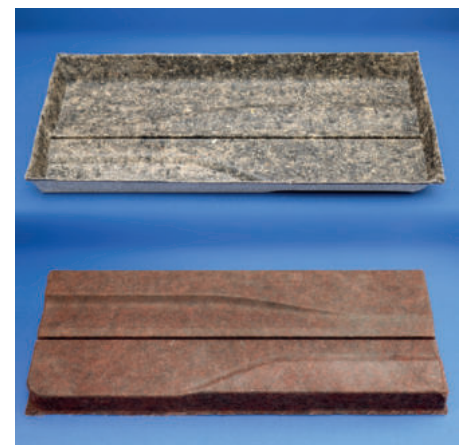
Leichtbaumaterialien haben am Markt nur eine Chance, wenn sie eine Gewichtsreduzierung ermöglichen, ohne dass gravierende Nachteile hinsichtlich Sicherheit, Leistungsfähigkeit, Verarbeitbarkeit und der Kosten auftreten. Neue Leichtbaumaterialien auf Basis von Hochleistungsfasern sind meist teuer, so dass Gewichtsreduktion und Wirtschaftlichkeit oft im Zielkonflikt zueinander stehen. Ein höherer Produktpreis pro Kilogramm Gewichtseinsparung wird allenfalls im höherklassigen Fahrzeugsegment akzeptiert [2].

Naturfasermatten werden seit vielen Jahren im Automobilbau verarbeitet [3–5]. Für die Herstellung dieser Verbundwerkstoffe kommen bevorzugt Bastfasern wie Flachs, Hanf oder Kenaf zum Einsatz. Der nachhaltige Anbau der Naturfasern und der geringe Energiebedarf beim Faseraufschluss führen zu niedrigen Herstellungskosten und einer günstigen CO<sub>2</sub>-Bilanz im gesamten Produktlebenszyklus. Speziell in der Automobilindustrie wird naturfaserverstärktes Polypropylen in vielen Innenraumbauteilen wie Türverkleidungen, Armaturentafelträgern

oder Kofferraumverkleidungen eingesetzt (Abb. 1).

Die üblichen Flächengewichte derartiger Materialien bewegen sich in einem Bereich von 1.600–1.800 g/m<sup>2</sup>. Der Trend geht zu einer Minimierung der Flächengewichte, wobei die OEMs Zielgrößen unter 1.400 g/m<sup>2</sup> anstreben. Weiterhin sollen möglichst niedrige Verbunddichten realisiert werden. Aufgrund der Eigenschaften der Naturfasern fallen bei einer Reduzierung des Bauteilgewichtes der Biege-E-Modul (Steifigkeit) und vor allem die Schlagzähigkeit im Verbund deutlich ab,

**Abb. 1:** Demonstrationsbauteil mit Recyclinganteilen und Dekormaterial



Dipl.-Ing. Ines Orlob  
Wissensch. Mitarbeiterin  
orlob@titk.de

Dipl.-Ing. Katrin Ganß  
Wissensch. Mitarbeiterin

Dr.-Ing. Thomas Reußmann  
Abteilungsleiter

Textil- und Werkstoff-Forschung, Thüringisches  
Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V.,  
Rudolstadt  
www.titk.de

Alle Abbildungen und Tabellen wurden, sofern nicht anders angegeben, freundlicherweise von den Autoren zur Verfügung gestellt.

was sich negativ auf das Crashverhalten der Bauteile auswirkt. Des Weiteren geht mit der Flächengewichtsminimierung ein früheres Versagen (Lochbildung) bei der 3D-Umformung einher. Durch gezielte Materialkombinationen z. B. mit Synthefasern wie Polyester (PES) können diese Defizite ausgeglichen werden.

Aus früheren Untersuchungen [6-8] ist bekannt, dass das Impactverhalten durch die Substitution mit Fasern höherer Festigkeit oder höherer Dehnung positiv beeinflusst werden kann. Beispiele für derartige Synthefasern sind PAN- oder PES-Fasern, mit denen ein deutlicher Effekt auf das Impactverhalten belegt wurde, wobei bisher ausschließlich Neuware zum Einsatz kam.

Synthefasern können auch als Sekundärfasern aus verschiedenen Produktionsabfällen (Filamentherstellung, Teppichproduktion, Abfälle aus der Verarbeitung technischer Textilien etc.) anfallen oder aus sekundären Rohstoffen des PET-Flaschenrecyclings ersponnen werden. Der Vorteil der Nutzung von Sekundärfasern besteht in der Verarbeitung von kostengünstigen Werkstoffen zur Eigenschaftsoptimierung. Das Potenzial der unterschiedlichen PES-Sekundärfasern (sPES) für eine Zumischung in Naturfaser-matten wurde systematisch untersucht und deren Eignung als Modifizierungsfaser bewertet.

## 2 Experimentelles

### 2.1 Ausgangsmaterialien

Für die Untersuchungen kamen verschiedene Fasermaterialien zum Einsatz. Als Matrixmaterial wurden PP-Stapelfasern mit einer Feinheit von 7 dtex und einer Schnittlänge von 60 mm verwendet. Die eingesetzten Flachsfasern hatten eine durchschnittliche mittlere Faserlänge von 56 mm. PES-Sekundärfasern fallen je nach Produktionskette in unterschiedlicher Form und Qualität an. Im Wesentlichen konnten drei Hauptgruppen identifiziert und folgende Fasermaterialien für die Untersuchungen beschafft werden:

- Reißfasern aus Gewebeabfällen (Bezeichnung: VP 3046)

- Reißfasern aus Webkantenabfällen (Bezeichnung: VP 3048)
- Stapelfasern aus Flaschenrecycling (Bezeichnung: Grisuten R)

Die charakteristischen Fasereigenschaften sind in **Tabelle 1** aufgeführt. Die Reißfasern haben zwar eine vergleichbare mittlere Faserlänge wie die Stapelfasern (45 bis 60 mm), aber herstellungsbedingt eine wesentlich breitere Faserlängenverteilung. Hinsichtlich Feinheit und Faserfestigkeit weist ein Material (VP 3048) signifikant höhere Werte auf (höherfeste Type). Die Stapelfasern aus dem Flaschenrecycling zeigten im Vergleich zu den Reißfasern hohe Dehnungswerte. Auf der Grundlage der ermittelten Kennwerte wurde das Material VP 3048 für die grundlegenden Untersuchungen ausgewählt. In vergleichenden Versuchen kamen auch die Materialien VP 3046 und Grisuten R zum Einsatz.

### 2.2 Verbundherstellung und Prüfung

Aus den Fasermaterialien wurden zunächst Fasermischungen hergestellt (NF/PP : 50/50, NF/sPES/PP : 30/20/50, NF/sPES/PP : 20/30/50 Gew.-%) und zu Nadelvliesen mit Flächenmassen von 200 und 400 g/m<sup>2</sup> verarbeitet. Die Weiterverarbeitung der Mischvliese zu Verbundwerkstoffen erfolgte im zweistufigen Formpressverfahren. Dazu wurden die Vliese entsprechend der Zielflächenmasse geschichtet, in einer Vorheizstation aufgeheizt, ins Werkzeug transferiert und im kalten Werkzeug (30 °C) verpresst.

Während der Plattenherstellung wurde ein unterschiedliches Verarbeitungsverhalten der Vliesvarianten sichtbar. Bei den reinen Flachs/PP-Verbunden war eine Flächenzunahme von ca. 3% zu beobachten. Die Verbunde unter Verwendung von Sekundärfasern VP 3046 und Grisuten R zeigten eine dem FI/PP-Vlies vergleichbare Flächenzunahme. Beim Einsatz der hochfesten Reißfaser (VP 3048) wurde ein deutlicher Schrumpf sichtbar, der vom Gehalt der sPES-Fasern beeinflusst wird. Auf Grund des Herstellungsprozesses sind hochfeste Fasern meist stark verstreckt. Diese Faserstreckung stellt sich bei Temperaturerhöhung zurück und äußert sich in einem markanten Schrumpfverhalten, welches zu Maß- und Flächenmasseänderungen beim Verpressen führt.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Mechanische Eigenschaften der NFK-Verbunde mit unterschiedlichen sPES-Fasern

Zunächst sollte geklärt werden, wie sich die Substitution der Naturfaser durch sPES-Fasern in den mechanischen Eigenschaften widerspiegelt. Dazu wurden Platten mit einer Soll-Flächenmasse von 1.600 g/m<sup>2</sup> hergestellt, wobei die Naturfasern durch ausgewählte Sekundärfasern (VP 3048, VP 3046 oder Grisuten R) mit einem Masseanteil von 20% ersetzt wurden. Durch die Modifikation mit den sPES-Fasern nahmen die Festigkeit und der E-Modul bei der Zugprüfung ab (**Abb. 2**).

Tab.1: Charakteristische Eigenschaften der Fasermaterialien

	sPES-Fasern		
	VP 3046	VP 3048	Grisuten R
Quelle	Gewebeabfälle	Webkanten	Flaschenrecycling
Dichte in g/cm <sup>3</sup>	1,34	1,34	1,34
Feinheit in dtex	5,7	9,8	6,7
Mittlere Faserlänge in mm	46	60	58
Minimale Faserlänge in mm	11	15	52
Maximale Faserlänge in mm	120	123	66
E-Modul (0,5 bis 0,7 % Dehnung) in cN/tex	276	532	324
Feinheitsbezogene Reißkraft in cN/tex	32,5	62	32,9
Dehnung bei F <sub>max</sub> in %	34,3	34,8	96
Avivage in %	1,29	0,87	n.b.

Abb. 2: Kennwerte aus dem Zugversuch

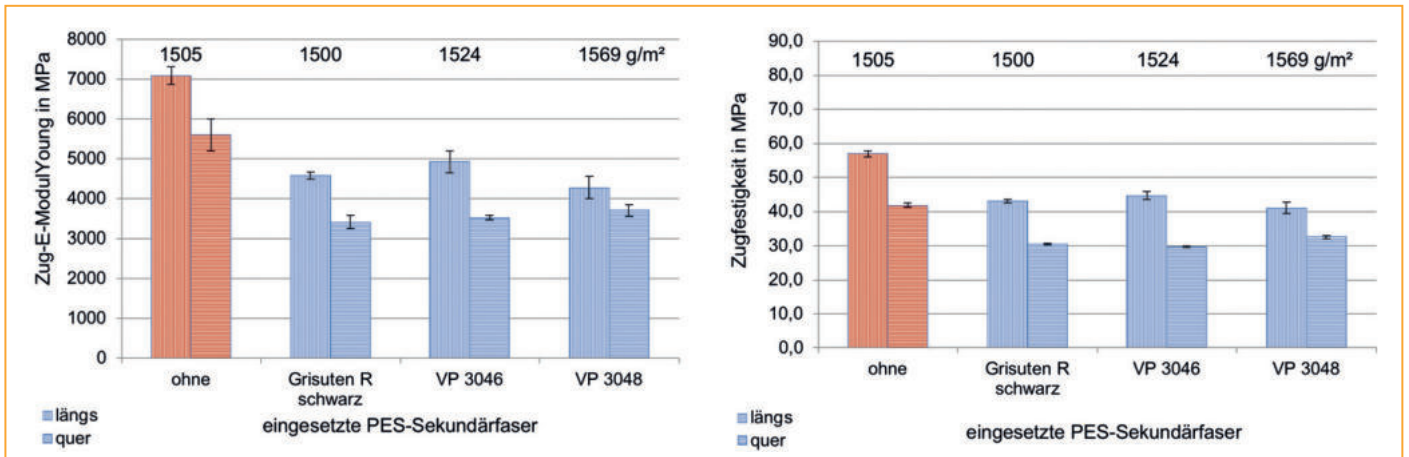


Abb. 3: Ergebnisse von Durchstoßprüfungen

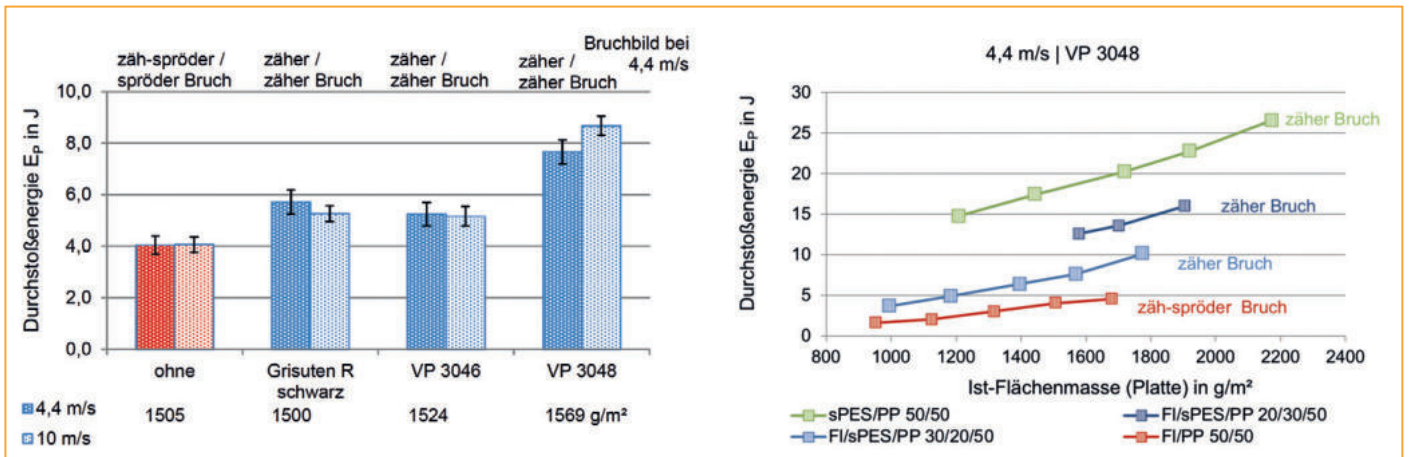
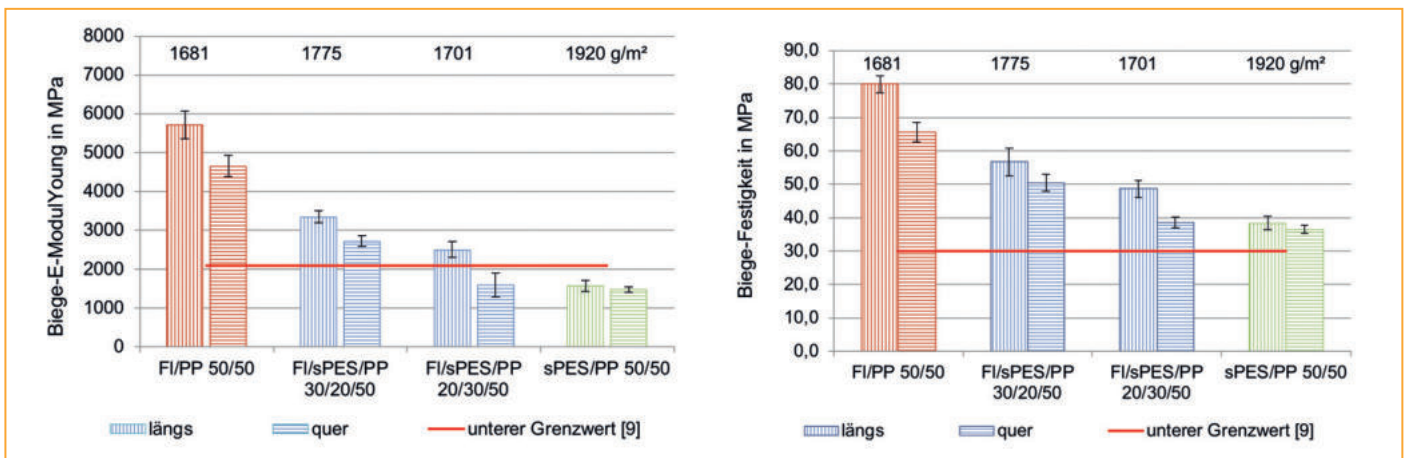


Abb. 4: Mechanische Kennwerte der Biegeprüfung



Ein Unterschied hinsichtlich der verwendeten sPES-Fasertypen konnte nicht festgestellt werden. Im Gegenzug ließ sich das Durchstoßverhalten durch den Einsatz von Polyester-

fasern signifikant verbessern (Abb. 3, links). Die Durchstoßenergie nahm durch den Einsatz der Sekundärfasern zu, wobei der Einsatz der hochfesten Reißfaser (VP 3048) das Durch-

stoßverhalten am deutlichsten begünstigt. Weiterhin änderte sich das Bruchbild von einem zäh-spröden zu einem zähen Bruch bei 4,4 m/s Prüfgeschwindigkeit (Abb. 3, rechts).

### 3.2 Ermittlung der Grenzen des Modifizierungspotenzials unter Verwendung der Reißfaser VP 3048

Im Zusammenhang mit der Zielstellung nach einer weiteren Gewichtsreduzierung stellte sich die Frage, mit welchen Flächenmassen und Zusammensetzungen die Mindestanforderungen der OEM-Lieferbedingungen, wie bspw. nach [9], noch erfüllt werden. Aus diesem Grund wurden Platten mit unterschiedlichen Flächenmassen aus Zweikomponenten-Mischungen (FI/PP und sPES/PP) sowie in verschiedenen Mischungsverhältnissen (FI/sPES/PP 30/20/50 und 20/30/50) hergestellt. In **Abbildung 4** sind die Ergebnisse der Biegeprüfung aufgeführt. Das Kennwerte-Niveau unterscheidet sich je nach Mischung stark. Für den Flachs/PP-Verbund wurden die höchsten Kennwerte der Biege-Steifigkeit und -Festigkeit ermittelt, welche deutlich über den Vorgaben liegen. Der Einsatz der sPES-Fasern führte zu einem signifikanten Steifigkeitsverlust, so dass bei einem sPES-Masseanteil von 30% die unteren Grenzwerte nicht mehr erreicht wurden. Ein vergleichbarer Abfall war auch bei der Biege-Festigkeit zu verzeichnen, wobei die Mindestanforderungen noch erfüllt werden.

Das Durchstoßverhalten der Naturfaserverbunde in Abhängigkeit von der Flächenmasse ist in **Abbildung 3** (rechts) dargestellt. Die Durchstoßenergie der FI/PP-Verbunde war am niedrigsten und sank erwartungsgemäß mit abnehmenden Flächenmassen. Durch den Einsatz von hochfesten sPES-Fasern kann dem Verlust des Energieaufnahmevermögens mit sinkender Flächenmasse entgegengewirkt werden. Allerdings wird eine Verringerung der Flächenmassen unter 1.400 g/m<sup>2</sup> ohne konstruktive Gegenmaßnahmen als kritisch erachtet, da dann die normativen Vorgaben bzgl. Zugfestigkeit und Biegesteifigkeit nicht mehr erreicht werden.

### 3.3 Umformverhalten

Für die Prüfung des Umformverhaltens wurde eine im TITK vorhandene Prüfvorrichtung genutzt. Die vorkonsolidierten Naturfaserhalbzeuge wurden mit Hilfe einer Heizpresse über den Schmelzbereich des Matrixmaterials erwärmt und anschließend

Abb. 5: Umgeformte Probekörper

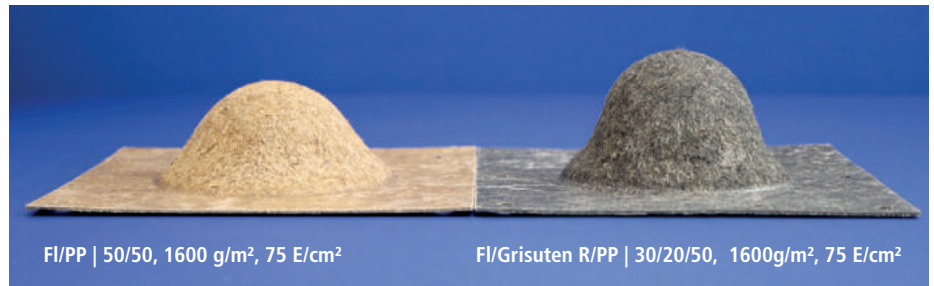
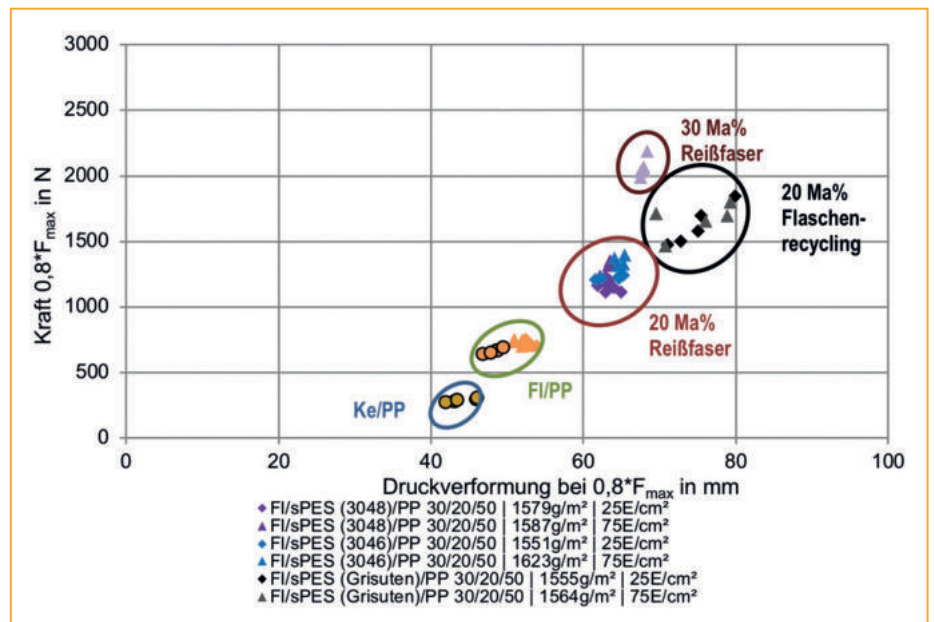


Abb. 6: Umformverhalten von Naturfaserhalbzeugen

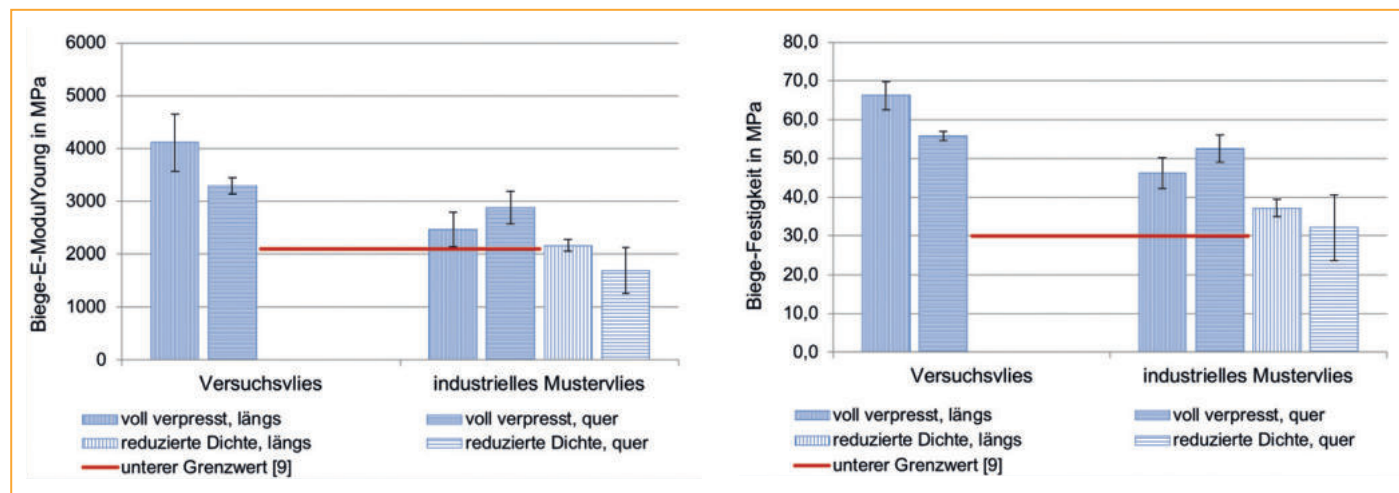


mit einem Stempel in einer Universalprüfmaschine umgeformt. Die Charakterisierung erfolgte über die Ermittlung des Kraft-Dehnungsverhaltens beim Umformvorgang. Als Abbruchkriterium wurde ein Kraftabfall von 20 % nach  $F_{max}$  definiert. Zwei typisch umgeformte Probekörper sind in **Abbildung 5** zu sehen, wobei die unterschiedlichen maximalen Verformungswege deutlich zu erkennen sind. Für FI/PP (Versuchsvlies) betrug der Verformungsweg 52 mm, in der Probe mit Grisuten R lag dieser bei 75 mm.

In **Abbildung 6** wurden die Maximalkräfte und dazugehörigen Verformungen der Einzelmessungen aufgetragen. Dadurch kann die Wirkung verschiedener Parameter abgeschätzt werden. So konnten die Referenzmaterialien (Ke/PP und FI/PP) nur geringfügig umgeformt werden. Die unterschiedlichen sPES-Fasern beeinflussen das Umformver-

halten positiv, so dass für alle modifizierten Varianten höhere Umformwege ermittelt wurden. Während sich die beiden eingesetzten Reißfasertypen nicht voneinander unterschieden, konnten für die Proben mit Grisuten R die höchsten Verformungswege ermittelt werden, was auf die hohe Faserdehnung und definierte Schnittlänge des sPES zurückgeführt wird. Demgegenüber konnte kein markanter Einfluss der Vernadlungsdichte und Flächenmasse auf den Verformungsweg ermittelt werden. Größere Unterschiede gab es in den gemessenen Verformungskräften. So mussten für die höher vernadelten Verbundvarianten wie auch für höhere Flächenmassen in der Regel höhere Kräfte aufgewendet werden, um gleiche Verformungswege zu realisieren. Generell lässt sich aber festhalten, dass durch den Einsatz der Sekundärfasern deutlich höhere Umformgrade erreicht werden konnten.

Abb. 7: Eigenschaften von Platten aus industriell gefertigten Vliesen



### 3.4 Industrielle Umsetzung

Im Hinblick auf die praktische Umsetzung wurde bei einem Industriepartner unter Verwendung der Reißfaser VP 3046 eine größere Menge Vlies mit 1.600 g/m<sup>2</sup> Flächenmasse hergestellt. Hierbei kam ein aerodynamisches Vlieslegeverfahren zum Einsatz. Über den aerodynamischen Legeprozess konnten die Fasern im Vergleich zur Krempel weniger gut aufgelöst und homogenisiert werden und bildeten Faser-Agglomerate, was sich auch in den mechanischen Eigenschaften widerspiegelte. Wie in **Abbildung 7** zu sehen ist, erreichen die Biege-Kennwerte von Platten aus dem industriell gefertigten Mustervlies nicht die Werte des gekrempelten Versuchsvlieses. Insbesondere konnten die Anforderungen entsprechend der Lieferbedingungen [9] nach einer Absenkung der Verbunddichten nur teilweise erfüllt werden. Durch geeignete Maßnahmen, wie die Verarbeitung der Recyclingmaterialien auf der Krempel und einen möglichst hohen Verdichtungsgrad der Verbunde lassen sich höhere Kennwerte erzielen.

## 4 Fazit

Naturfasermatten werden seit langem in der Automobilindustrie eingesetzt. Dabei geht der Trend zur Minimierung der Flächengewichte, wodurch es auch zu Eigenschaftsverlusten kommt. Durch eine teilweise Substitution von Naturfasern mit geeigneten PES-Sekundärfasern ist es möglich, das Eigenschaftsspektrum der NFK gezielt zu

beeinflussen. Insbesondere das Impactverhalten kann signifikant gesteigert werden. Allerdings ist die Fasersubstitution auch mit einem Abfall der Biege-Steifigkeit verbunden, wobei die Normvorgaben aber noch eingehalten werden.

Es konnte gezeigt werden, dass sich unter Nutzung von geeignetem Sekundärfasermaterial Bauteile mit hohem Umformgrad im Pressverfahren herstellen lassen. Auf den vorliegenden Erkenntnissen aufbauend können somit nachhaltige Interieur-Bauteile hergestellt werden, die eine Erhöhung der stofflichen Recyclingrate zulassen und ein verbessertes Crash- und Umformverhalten aufweisen.

## 5 Dank

Wir danken der EuroNorm GmbH für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens 49MF170072, das mit einer Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie im Rahmen der „FuE-Förderung gemeinnütziger externer Industrie Forschungseinrichtungen – Innovationskompetenz“ (INNO-KOM) – Modul: Marktorientierte Forschung und Entwicklung (MF) – durchgeführt werden konnte.

## 6 Literatur

[1] D. Nassehi, B. Wiedemann, Nachhaltigkeit ist Top-Thema der Automobilindustrie, <http://ap-verlag.de/nachhaltigkeit-ist-top-thema-der-automobilindustrie/26758/>, zuletzt aufgerufen

am 20.9.2021.

[2] H. Eickenbusch, O. Krauss, Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung, Studie der VDI-GME, März 2014, S. 152. [https://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/news\\_bilder/News\\_GME/Studie\\_Werkstoffinnovationen\\_fuer\\_nachhaltige\\_Mobilitaet\\_und\\_Energieversorgung.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/news_bilder/News_GME/Studie_Werkstoffinnovationen_fuer_nachhaltige_Mobilitaet_und_Energieversorgung.pdf), zuletzt aufgerufen am 17.12.2020.

[3] M. Karus, M. Kaup, Naturfasern für die europäische Automobilindustrie, <http://nova-institut.de/pdf/studie-naturf-auto.pdf>, zuletzt aufgerufen am 20.9.2021.

[4] U. Riedel, J. Nickel, Konstruktionswerkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (BioVerbunde), *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.* 32 (2001), 493-498.

[5] E. Baur, Formpressteile aus naturfaserverstärkten Kunststoffen, *Kunststoffe* 99 (2009), 36-43.

[6] K.-P. Mieck, T. Reußmann, Fest und schlagzäh, *Kunststoffe* 89/12 (1999), 102-105.

[7] K.-P. Mieck, T. Reußmann, C. Hauspurg, Zusammenhänge zum Schlagzähigkeits- und Durchstoßverhalten thermoplastischer Natur-/Langfaserverbunde, *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.* 31 (2000), 169-174.

[8] A. F. K. Malfatti, L. Steuernagel, D. Meiners, Verbesserung der Charpy-Schlagzähigkeit naturfaserverstärkter Kunststoffe durch Erhöhung der Faser-Matrix-Haftung, *Z. Kunststofftech.* 12 (2016), 64-78.

[9] TL 7 289 355.6: Technische Liefervorschrift, BMW, Stand November 2014