

# Optimierte Presstechnologie für naturfaserverstärkte Thermoplaste

Prof. Dr.-Ing. D. H. Müller, Dr.-Ing. A. Krobjilowski, BIK Universität Bremen

Dipl.-Ing. R. Schönfeldt, Heywinkel GmbH

## 1. Naturfasern in technischen Anwendungen

Faserverstärkte Kunststoffe mit thermoplastischer Matrix haben sich inzwischen in vielen technischen Bereichen als Konstruktionswerkstoffe etablieren können. Neben klassischen Verstärkungsfasern wie Aramid, Kevlar oder Glasfasern werden dabei zunehmend auch pflanzliche Fasermaterialien wie Flachs oder Hanf eingesetzt.

Eines der Haupteinsatzgebiete für naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe stellt die Automobilindustrie dar. Derzeitig befinden sich in jedem PKW durchschnittlich 5 bis 10 kg Naturfasern, wobei die Hauptanwendungen vor allem Träger von Innenraumkomponenten wie Türinnenverkleidungen oder Hutablagen sind. In diesen Bereichen verdrängen Naturfasern zunehmend glasfaserverstärkte Verbundwerkstoffe [1, 2].

Naturfaserformstoffe werden mit duroplastischen oder thermoplastischen Trägern hergestellt. Die duroplastische Matrix wird z. B. bei Fasermatten mit beleimten Spänen verwendet und auch bei Bastfasern, wie Flachshanf, Kevlar, Jute und Sisal, teilweise mit Acrylat, Epoxydharzen, Polyurethan und auch mit Biopolymeren. Aktuelle Anwendungen sind in Türverkleidungen, wie z. B. bei Typen des BMW und des Audi und Sitzrückwandverkleidungen.

Thermoplastische Träger sind im Wesentlichen Polypropylen, das im Verhältnis zwischen 30 – 70 % mit Flachshanf, Kevlar, Neben den Jute und Sisal gemischt wird. Hier werden im Wesentlichen Hybridvliese erzeugt, teilweise bei höherem Faseranteil auch Granulate und Extrudate aus PP verwendet.

Naturfasern bieten im Gegensatz zu Glasfasern die Möglichkeit einer nahezu rückstandsfreien energetischen Nutzung [3].

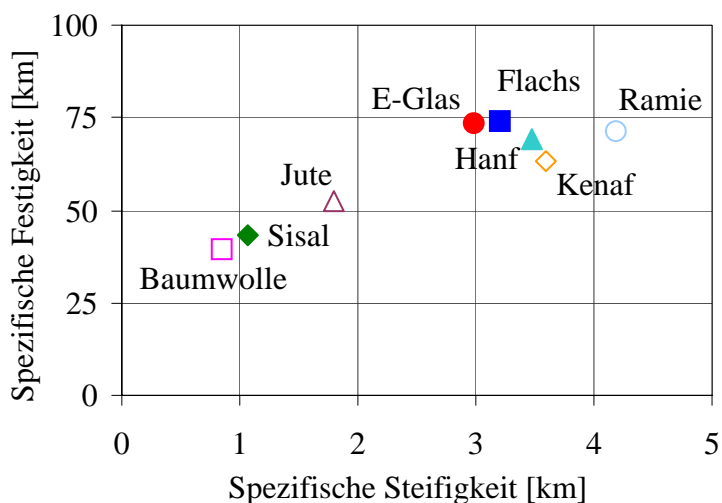


Bild 1: Vergleich der spezifischen Eigenschaften technischer Verstärkungsfasern

ökologisch motivierten Argumenten sprechen aber noch eine Reihe weiterer, technologisch orientierter Aspekte für die Substitution von Glasfasern durch Naturfasern. In erster Linie ist dabei das hohe Leichtbaupotential naturfaserverstärkter Verbundwerkstoffe zu nennen (Bild 1). Hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften erreichen Verbunde mit Naturfaserverstärkung heute bereits das Niveau glasfaserverstärkter Verbunde. In Bezug auf das Bruchverhalten ergeben sich

sogar eindeutige Vorteile, da im Gegensatz zu Glasfaserverbunden keine Faserbruchstücke freigesetzt werden [3].

Wesentliche Vorteile zeigen sich auch bei Stoßbeanspruchung. Dies resultiert aus dem hohen Dehnvermögen und daher großem Arbeitsaufnahmevermögen der Naturfaser und aus der ungefährlichen Bruchfläche, dies insbesondere im Vergleich zu Glasfasern [4].

Mit Thermoplasten als matrixverbundene Naturfasern gibt es die Möglichkeit, Gradientenwerkstoffe herzustellen mit z.B. abnehmender Verpressung und damit Festigkeit zur Mitte hin und dort reduzierter Dichte. Hierdurch können weitere Leichtbaupotentiale erzeugt werden und eine verbesserte akustische Absorption des Materials erreicht werden.

Dadurch lässt sich beispielsweise der Aufwand für zusätzliche geräuschkämmende Maßnahmen verringern, was zu einer sekundären Gewichtsreduzierung führen kann [5], [6], [7].

Abschließend sei noch die klimaregulierende Eigenschaft von Naturfasern, resultierend aus dem Feuchtigkeitstransport, als Vorteil gegenüber Glasfasern angeführt. Nicht unberücksichtigt bleiben schließlich sollen mögliche positive Auswirkungen in Bezug auf Marketing und Image durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe.

## **2. Verarbeitung naturfaserverstärkter Thermoplaste im Formpressverfahren**

Hinsichtlich der Verarbeitung naturfaserverstärkter Thermoplaste (NFT) zählt das Formpressen zu den wichtigsten Verfahren. Als Halbzeuge werden überwiegend Nadelvliese eingesetzt, bei denen zunächst Natur- und Polymerfasern miteinander vermischt, verkrepelt und anschließend mechanisch verfestigt werden. Der Vorteil solcher Nadel- oder Hybridvliese gegenüber anderen Halbzeugen besteht in einer weitgehend homogenen Durchmischung von Polymer- und Verstärkungsfaser sowie einer einfachen Handhabbarkeit. Die eigentliche Formteilherstellung beginnt mit den zugeschnittenen Halbzeugen. Diese werden in der Regel automatisiert aus Magazinen entnommen und auf einem Transportband abgelegt, das sie taktweise durch eine Vorheizstation fördert. Hier wird das Halbzeug in einem ersten Teilschritt, dem Auf- oder Vorheizen, zunächst durch Erwärmung außerhalb des eigentlichen Formwerkzeuges plastifiziert und damit umformbar gemacht. Die erforderliche Vorheiztemperatur hängt vor allem vom eingesetzten Matrixpolymer ab. Für Polypropylen (PP) sind Temperaturen von 200 bis 250°C erforderlich, um eine ausreichend niedrige Viskosität und damit gute Fließeigenschaften zu erzielen. Anschließend wird die plastifizierte Formmasse in einem zweiten Teilschritt, der Formgebung, im Formwerkzeug zum Formteil umgeformt. Diese Umformung ist von gleichzeitigem Abkühlen überlagert, welches schließlich zum Erstarren der Formmasse führt.

Die werkstofflichen Unterschiede zwischen Glas- und Naturfasern sind aber insbesondere im Hinblick auf ihr thermisches Verhalten erheblich. Aufgrund ihres natürlichen Ursprungs reagieren Naturfasern im Vergleich zu Glasfasern oder anderen synthetischen Verstärkungsfasern gegenüber thermischer Einwirkung viel empfindlicher. Bereits ab einer Temperatur von etwa 120°C setzen erste thermisch bedingte Abbauprozesse ein, die zu einem Abbau von Wachsen führen. Ab ca. 180°C muss mit einer Zersetzung von Pektinen gerechnet werden, ab 230°C beginnt die Degradation von Zellulose [8]. Daher muss selbst bei kurzweiligen thermischen Einwirkungen von einer merklichen und vor allem nicht reversiblen Abnahme der Faserfestigkeit ausgegangen werden, was insgesamt zu einer Verschlechterung des mechanischen Eigenschaftsprofils des NFT-Verbundes führen muss. Um die

Fließfähigkeit des Matrixpolymers und damit seine Formbarkeit während der Verarbeitung sicherzustellen, sind jedoch Formmassentemperaturen in mindestens der genannten Größenordnung erforderlich. Wie erwähnt erfordert etwa die Verarbeitung von PP als dem im NFT-Bereich am häufigsten eingesetzten Matrixpolymer Temperaturen im Bereich zwischen 200 und 250°C. Bei der Festlegung der Verarbeitungsparameter muss also einerseits die grundsätzliche Verarbeitbarkeit des Werkstoffes gewährleistet, andererseits jedoch eine thermische Schädigung so weit wie möglich ausgeschlossen werden. Somit erfordert das Vorheizen von NFT eine weitaus sensiblere und schonendere Temperaturführung als bei GMT.

### 3. Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften durch die Prozessparameter

Durch den Kontakt der Halbzeugoberflächen mit den beheizten Pressplatten bildet sich während des Vorheizens über der Halbzeugdicke ein stetiges Temperaturprofil aus, so dass man von einer eindeutigen Zuordnung des Ortes zu Temperatur und Zeit ausgehen kann. Daher muss sich innerhalb des Werkstoffes eine Ebene ausbilden, deren Temperatur mit der Schmelztemperatur des Polymers übereinstimmt. Diese Ebene sollte sich im Halbzeug als eine Schmelzfront darstellen, die plastifiziertes und nicht plastifiziertes Polymer voneinander trennt. Bild 2 zeigt eine solche Schmelzfront, die eine klare Grenzebene zwischen aufgeschmolzenem und nicht aufgeschmolzenem Polymer darstellt. Die Untersuchungen ha-

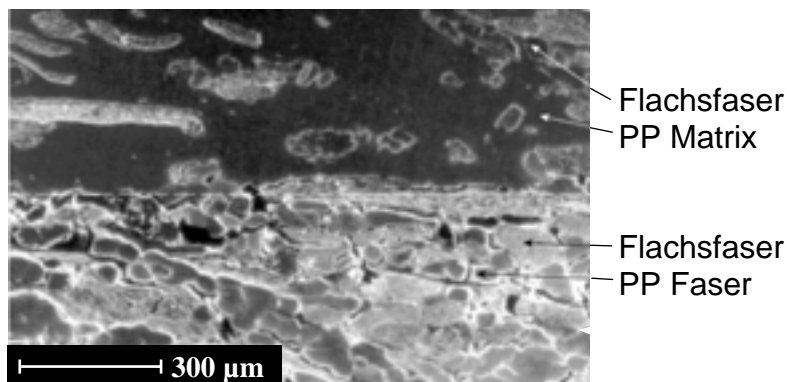


Bild 2: REM-Aufnahme einer Schmelzfront im Halbzeug während des Vorheizens

ben ergeben, dass sich grundsätzlich eine solche Front ausbildet, die im Verlauf des Vorheizens in Richtung der Zuschnittmitte wandert. Mit dem Vorschreiten der Schmelzfront einher geht außerdem eine Dickenabnahme des Halbzeuges, da die Dichte in den plastifizierten Bereichen ansteigt. Das Polymer bildet nun eine homogene Matrix, die die Naturfasern vollständig umschließt und vor-

handene Poren und Zwischenräume ausfüllt. Es zeigte sich, dass die Zuschnittdicke solange abnimmt, bis das Polymer im Inneren des Zuschnittes vollständig plastifiziert ist.

Wie erläutert setzen bei Naturfasern bereits bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen erste Degradationsprozesse ein, die zu einer Abnahme der Faserfestigkeit führen. Die daher zu erwartende Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften des NFT-Verbundes bei höheren Verarbeitungstemperaturen konnte in den Untersuchungen eindeutig nachgewiesen werden. Bild 3 zeigt den Einfluss der Formmassentemperatur während des Vorheizens auf die Zugfestigkeit verschiedener Verbundwerkstoffe. Die Ermittlung der Formmassentemperatur während der Verarbeitung erfolgte mittels in das Halbzeug eingebrachter Miniatur-Thermoelemente in der Kernlage der Halbzeuge.

Wie auch durch die Trendlinien in den Diagrammen verdeutlicht, zeigen die einzelnen Verbunde mit Naturfaserverstärkung ein grundsätzlich ähnliches Materialverhalten. Die maximale Zugfestigkeit wird für alle Systeme im mittleren Temperaturbereich erreicht, während für niedrigere und höhere Verarbeitungstemperaturen ein mehr oder weniger ausgeprägter Abfall an Festigkeit zu verzeichnen ist. Diese Beobachtung lässt sich mit der

Überlagerung der folgenden Effekte erklären. Zum Einen führt eine Erhöhung der Verarbeitungstemperatur zu einer Abnahme der Viskosität des Matrixpolymers und damit zu einer erhöhten Fließfähigkeit im Zuge der Verarbeitung. Daraus resultiert eine verbesserte Benetzung und Einbettung der Verstärkungsfaser in den Matrixverbund, was zu einer höheren Verbundfestigkeit beiträgt. Parallel dazu muss jedoch mit steigender Temperatur der Formmasse von einer fortschreitenden Degradation der Naturfasern ausgegangen werden, was wie erläutert eine Verminderung der Faserfestigkeit zur Folge hat. Zusätzlich kann degradationsbedingt auch eine Veränderung der Faseroberfläche vermutet werden, was sich auf die Haftungseigenschaften zwischen Faser und Matrix auswirken könnte.

Im unteren Temperaturbereich sind diese Degradationsprozesse noch wenig ausgeprägt, so dass sich, ausgehend von 180°C, bei einer Erhöhung der Formmassentemperatur zunächst ein Anstieg der Zugfestigkeit aufgrund der kontinuierlich verbesserten Fasereinbettung einstellt. Abhängig von der jeweiligen Naturfaserart wird das beschriebene Festigkeitsmaximum im Bereich etwa zwischen 220°C und 240°C erreicht. Gleichzeitig beschleunigt sich aber mit weiter steigender Formmassentemperatur die Faserdegradation. Insbesondere mit Einsetzen des Zelluloseabbaus muss von einer massiven Verminderung der Faserfestigkeit ausgegangen werden. Daher dominiert bei steigender Formmassentemperaturen zunehmend die thermisch bedingte Faserschädigung, so dass es insgesamt zu einer Abnahme der Verbundfestigkeit kommt. Da eine thermisch bedingte Schädigung des Matrixpolymers für den betrachteten Temperaturbereich ausgeschlossen werden kann, lässt sich die Kennwertverminderung vor allem auf Veränderungen an der Faserkomponente zurück führen. Im Gegensatz dazu findet sich für den glasfaserverstärkten Verbund kein Rückgang an Zugfestigkeit im Bereich höherer Temperaturen; vielmehr erkennt man eine kontinuierliche Zunahme der Festigkeit mit steigender Verarbeitungstemperatur. Die Dauereinsatzgrenze für E-Glasfasern liegt mit rund 350°C deutlich oberhalb des hier betrachteten Temperaturbereiches. Die temperaturbedingte Viskositätsabnahme und so bedingt kontinuierlich verbesserte Fasereinbettung führt daher in diesem Fall offensichtlich ohne Überlagerung faserschädigender Einflüsse zu einer stetig steigenden Verbundfestigkeit. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für andere mechanische Kenngrößen wie etwa die Biegefestigkeit oder Schlagzähigkeit gefunden.

Das Einsatzpotential von Bauteilen aus NFT wird nicht ausschließlich durch das mechanische Werkstoffpotential bestimmt; je nach Anwendungsbereich können weitere Werkstoffcharakteristika eine Rolle spielen. Im Hinblick auf eine mögliche Anwendung im PKW-Innenraum sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Emissionseigenschaften des Werkstoffes von Bedeutung [9], die unter bestimmten Umständen zu einer erheblichen Komfortbeeinträchtigung führen können. Besonders kritisch stellen sich die Zusammenhänge in Bezug auf die Emission geruchsrelevanter Verbindungen sowie vor allem leichtflüchtiger organischer Verbindungen dar; in beiden Fällen liegt eine erhebliche Beeinflussung durch die Verarbeitungsparameter vor (Bild 4).

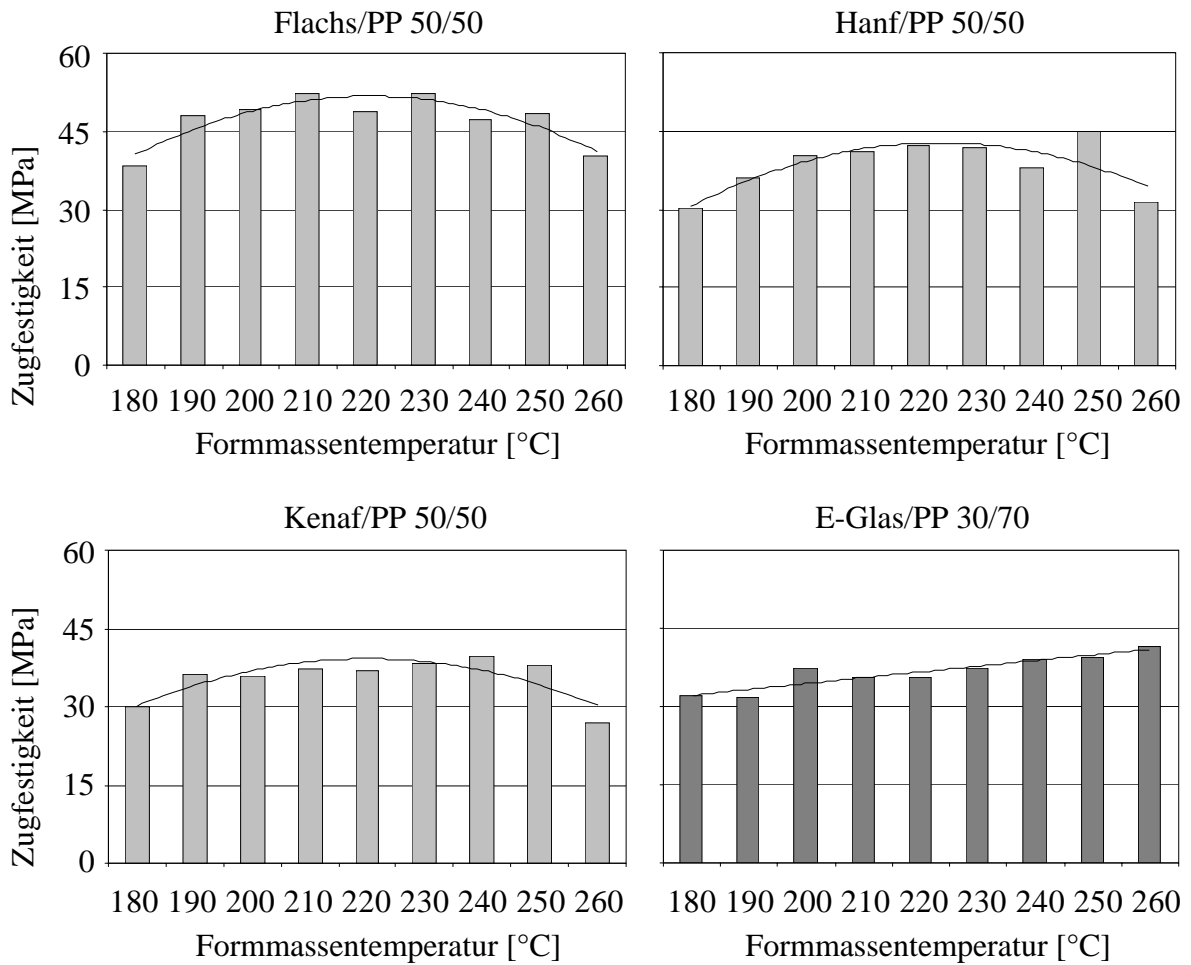


Bild 3: Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Formmassentemperatur verschiedener thermoplastischer Verbundwerkstoffe (Flächengewicht jeweils 1600 g/m<sup>2</sup>)

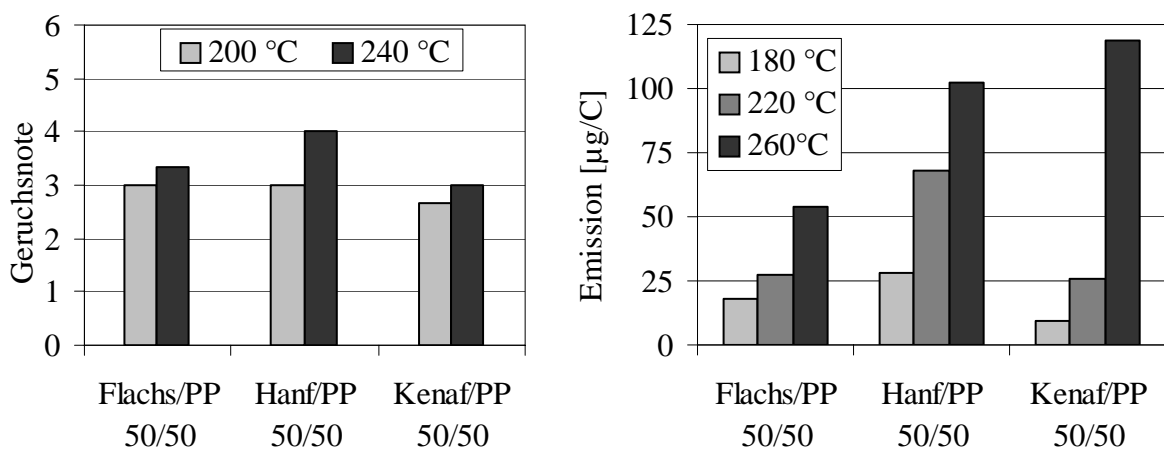


Bild 4: Geruchsbewertung (gemäß VDA 270) und Emission leichtflüchtiger organischer Verbindungen (gemäß VDA 277) verschiedener naturfaserverstärkter Verbunde in Abhängigkeit der Verarbeitungstemperatur (Vorheizdauer jeweils 120s)

#### **4. Einfluss Pressdruck**

Um die Einbauverhältnisse der erzeugten Teile sicherzustellen, wird üblicherweise die Enddicke der Produkte durch ein Distanzmaß vorgegeben. Der Pressdruck ergibt sich dann als Ergebnis aus der Dicke und dem Verformungswiderstand des Hybridvlieses. Mit höherem Gewicht bei gleicher Dicke, d. h. mithin höherer Flächenpressung, lässt sich die Vorheizdauer zum kompletten Durchheizen des Materials erheblich reduzieren. Dieser Effekt ist im Bereich geringerer Flächenpressungen besonders ausgeprägt. Aber einem bestimmten Kennwert ist die Komprimierung des Halbzeuges so stark, dass vorhandene Zwischenräume und Poren abgebaut werden und so insgesamt die Wärmeleitfähigkeit deutlich verbessert wird. Durch diesen Effekt der höheren Verpressung und damit besseren Einbindung der Naturfasern in das Matrixmaterial entsteht eine erhebliche Verbesserung der Immissionseigenschaften der Produkte [10]. Das Pressverfahren ist sehr gut geeignet, um das akustische Verhalten der Materialien gezielt beeinflussen zu können. Dieses kann noch verbessert werden durch Aufbau von Sandwichmaterialien. Im Pkw-Einsatz sind typische Anforderungen für die Innenverkleidung hohe Absorptionskoeffizienten, die mit Pidanzmessrohren bzw. in einer Alpha-Kabine gemessen werden können. Faserige Materialien haben wegen des hohen Porenanteils ein sehr gutes Absorptionsverhalten. Wird ein solches Material z. B. kombiniert mit einem harten Material an der Oberfläche, so lassen sich über den gesamten Frequenzbereich Verbesserungen erzielen bzw. auch gezielt für bestimmte Frequenzbereiche hohe Absorptionen erzeugen.

#### **5. Akustik [11]**

#### **6. Weitere Vorwärmverfahren**

Das Vorheizen in Pressen ist das meist angewendete Verfahren, jedoch existieren weitere Möglichkeiten wie

- konvektive Erwärmungsverfahren
  - Durchströmung
  - Bedüsung
- Infrarotstrahlung
- Hochfrequenz
- hybride Konzepte

Die hybriden Konzepte geben sowohl die Möglichkeit einer schnellen Durchwärmung des Kernmaterials und z. B. in Kombination mit der Kontaktheizung in Pressen die Möglichkeit einen gradienten Werkstoff herzustellen.

#### **7. Schlussfolgerungen**

Die Untersuchungen belegen einen erheblichen Einfluss der verschiedenen Prozessgrößen auf die Eigenschaften des naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffes. Die höchsten mechanischen Eigenschaften werden für Verarbeitungstemperaturen im Bereich zwischen 220°C und 240°C erzielt. Sowohl für höhere als auch niedrigere Temperaturen kommt es zu einem Rückgang der Kenngrößen. Darüber hinaus muss ein signifikantes Ansteigen der Emissionswerte von

NFT bereits im Bereich niedriger Formmassentemperaturen erwartet werden. Die Ergebnisse dokumentieren somit den dringenden Bedarf, die bei der Verarbeitung von NFT eingesetzte Prozesstechnik im Hinblick auf die spezifischen Erfordernisse des Werkstoffes auszurichten und zu optimieren.

### **Danksagung**

Die Untersuchungen wurden durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, FNR, im Projekt Heating gefördert. Die Projektpartner Heywinkel GmbH, Bramsche, und Meyer GmbH, Rötze, und das BIK der Universität Bremen danken für die Förderung.

### **Literatur**

- [1] Karus, M., Kaup, M., Lohmeyer, D., Studie zur Markt- und Preissituation bei Naturfasern, Nova Institut, Hürth, März 2000
- [2] Kaup, M., Karus, M., Aktuelle Marktübersicht Naturfasern für technische Textilien in der EU, Proceedings, 3. International Symposium „Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“, Erfurt, 5./6. September 2001
- [3] Knothe, J., Fölster, Th., Naturfaserverstärkte Fahrzeugteile, Kunststoffe 87 (1997), Carl Hanser Verlag, Germany, Seiten 1148-1152
- [4] INTC 2003
- [5] Müller, D.H., Krobjilowski, A., Parikh, D.V., Car interiors of reinforced composites – A comparison between natural and glass fiber composites, International Fiber Journal, Volume 18 / No. 1, Februar 2003, Seiten 38 – 40
- [6] Müller, D.H., Krobjilowski, A., Prozess- und Produktoptimierungen bei der Verarbeitung naturfaserverstärkter thermoplastischer Verbundwerkstoffe – Ein Vergleich zwischen natur- und glasfaserverstärkten Composites, Technische Textilien / Technical Textiles, Nr. 2/2003, März 2003
- [7] Müller, D.H., Krobjilowski, A., Effects of thermal impact during the manufacturing process on the properties of natural fiber reinforced thermoplastics, Tagungsband, 2. International Conference on Eco-Composites (EcoComp 2003), London/UK, 01./02. September 2003
- [8] Van de Velde, K., Baetens, E., Thermal and Mechanical Properties of Flax Fibres for Composite Reinforcement, Proceedings, 3. International Wood and Natural Fibre Composites Symposium, Kassel, 19./20. September 2000
- [9] Angermaier, B., Smell and Emission of Natural Fibre Composites in the Car Industry, Proceedings, 3. International Wood and Natural Fibre Composites Symposium, Kassel, 19./20. September 2000
- [10] Krobjilowski, A., Prozess- und Produktoptimierung beim Formpressen naturfaserverstärkter thermoplastischer Verbundwerkstoffe, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2003

### **Kurzfassung**

Naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe mit thermoplastischer Matrix haben sich insbesondere in der Automobilindustrie als Konstruktionswerkstoffe etabliert und ersetzen zunehmend glasfaserverstärkte Kunststoffe. Die Haupteinsatzgebiete stellen dabei vor allem tragende sowie verkleidende Komponenten im Innenraum von PKW dar. Hinsichtlich der Verarbeitung zählt das Formpressen zu den wichtigsten Verfahren. Die Ausprägung des Verfahrens ist weitgehend von der Verarbeitung glasfaserverstärkter Kunststoffe übernommen worden. Daher sind in Bezug auf eine geeignete Wahl der Betriebsparameter noch erhebliche Wissensdefizite vorhanden, da die werkstofflichen Unterschiede zwischen Glas- und Naturfaser, beispielsweise im Hinblick auf das thermische Verhalten, erheblich sind. Um sowohl das werkstoffliche Potential der Naturfasern voll auszunutzen als auch gleichzeitig die Verarbeitung in wirtschaftlicher Hinsicht zu optimieren, erscheint eine an den Werkstoff angepasste Verarbeitungstechnik erforderlich.