

Eigenverstärkte Thermoplastverbunde



Bild 1. Keramikbeheiztes Presswerkzeug (Bild: IfW, Uni Kassel)

Verbundwerkstoffe (Teil 2). Anhand von Forschungsergebnissen aus dem Sonderforschungsbereich Transregio 30 wird dargestellt, wie Verbunde aus eigenverstärkten teilkristallinen oder hochgereckten amorphen Folien und Gewebe für Leichtbauanwendungen hergestellt und welche Eigenschaften erreicht werden können. Eine lokal differenzielle, thermo-mechanische Prozessführung ist sehr effizient variierbar, und somit lassen sich gradierte Eigenschaften im Sinne einer Funktionalisierung einstellen.

HANS-PETER HEIM U. A.

Zur Herstellung eigenverstärkter Thermoplastverbunde werden üblicherweise Kompaktierpressen verwendet, die über ein sowohl beheiz- als auch kühlbares Werkzeug verfügen. Üblich sind Öltemperiersysteme, um die für die Konsolidierung erforderliche Temperatur in den Kunststoff einzubringen und nach dem Pressvorgang das Werkzeug kühlen zu können. Alternativ sind variotherme und konturnahe Temperiersysteme denkbar, wie sie vom Spritzgießen bekannt sind [1]. In **Bild 1** ist ein Werkzeug abgebildet, wie es derzeit am IfW der Universität Kassel verwendet wird. Die Behei-

zung erfolgt über Keramikeinsätze, die Kühlung übernehmen klassische Kühlkanäle mit Wasser als Temperiermedium. Die Formgebung des Verbunds zur End-

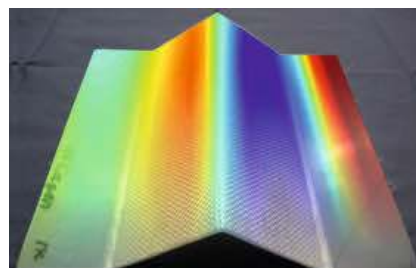


Bild 2. Eigenschaftsverteilung eines gradierten eigenverstärkten Verbunds aus PP-Bändchengewebe (hier: Maximalkraftaufnahme bei 10 J Impactbelastung; blau = geringe, grün bis gelb = mittlere, rot = hohe Werte)

(Bild: IfW, Uni Kassel und ISF, TU Dortmund)

kontur findet im Werkzeug gleichzeitig mit dem Pressvorgang statt. Dabei haben die biegeschlaffen Gewebe genug Spielraum, sich während der Drapierung gegeneinander zu verschieben. Sie werden während der Konsolidierung bei hoher Temperatur aber ausreichend mit Druck beaufschlagt, um ein Retardieren zu verhindern.

Wenn, wie in dem in **Bild 1** dargestellten Werkzeug mehrere gegeneinander thermisch getrennte Temperierzonen vorgesehen werden, lassen sich über eine lokale Veränderung von Temperatur und Druck im Pressenwerkzeug die Strukturen in den einzelnen Lagen gezielt derart verändern, dass in einigen Bereichen die anisotropen Eigenschaften vollständig erhalten bleiben, an anderen Beanspruchungszonen im Bauteil diese im Sinne

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU111604

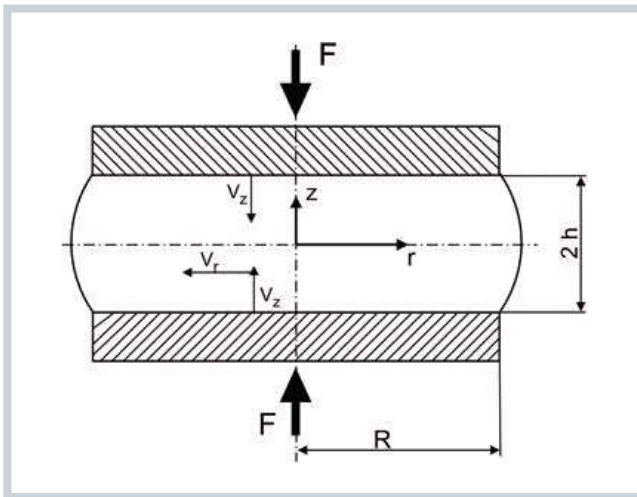


Bild 3. Darstellung des Quetschfließens

(Bild: IfW, Uni Kassel)

einer Funktionalisierung gezielt verändert werden. Als Ergebnis erhält man ein Bauteil mit gradierten – also lokal unterschiedlichen – Eigenschaften, wie exemplarisch im **Bild 2** dargestellt.

Quetschfließvorgang während der Kompaktierung zu Composites

Während der Kompaktierung und Formgebung von Geweben oder Folien im

Presswerkzeug findet ein sogenannter Quetschfließvorgang statt, wie er in **Bild 3** dargestellt ist. Dieser sorgt dafür, dass die einzelnen Lagen ausreichend kompaktiert werden, und es ist anzunehmen, dass die damit verbundenen Dehnfließprozesse nicht unerheblich die Materialeigenschaften beeinflussen.

Die für eine Simulation des Quetschfließens notwendige Modellierung des Materialverhaltens des Kunststoffes ist nicht trivial. Neben den hochviskosen

müssen auch die elastischen Eigenschaften der Schmelze berücksichtigt werden. Dies gelingt mit viskoelastischen Stoffmodellen, die nach Anpassung der Materialparameter die wesentlichen Eigenschaften wie Strukturviskosität, Dehnverzähung, Normalspannungsdifferenzen und Relaxationsvorgänge sehr gut abbilden können [2]. Allerdings wird dadurch die Entwicklung eines robusten und effizienten numerischen Verfahrens für die Simulation deutlich erschwert [3]. Zudem ändert sich beim Pressvorgang der Abstand der beiden Pressplatten und damit der zu berechnende Strömungsbereich.

Mit dem folgenden Experiment soll dies verdeutlicht werden: Zwischen zwei kreisförmigen Platten wird Polycarbonat (PC) (Makrolon 2805) bei 300°C durch eine vorgegebene Sinkgeschwindigkeit der oberen Platte zusammengepresst. Die für diesen Prozess notwendige Presskraft steigt in Abhängigkeit der Zeit an. **Bild 4 links** zeigt die gemessene Kraft im Vergleich zur berechneten Kraft für zwei unterschiedliche Materialmodelle. Während sich das Ergebnis für ein einfaches newtonsches Materialgesetz ohne Berücksichtigung von Strukturviskosität und →

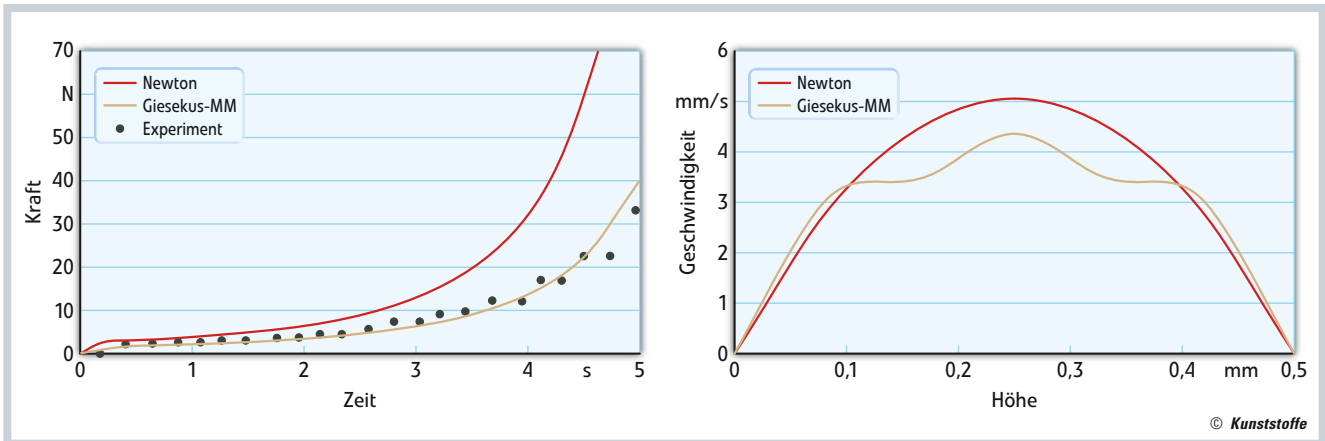


Bild 4. Ergebnis der numerischen Simulation für zwei verschiedene Materialmodelle, links: Kraft-Zeit-Verlauf im Vergleich mit experimentellen Werten, rechts: Geschwindigkeitsprofil über der Höhe im Austrittsquerschnitt am Ende des Pressvorgangs (Bild: IfW, Uni Kassel)

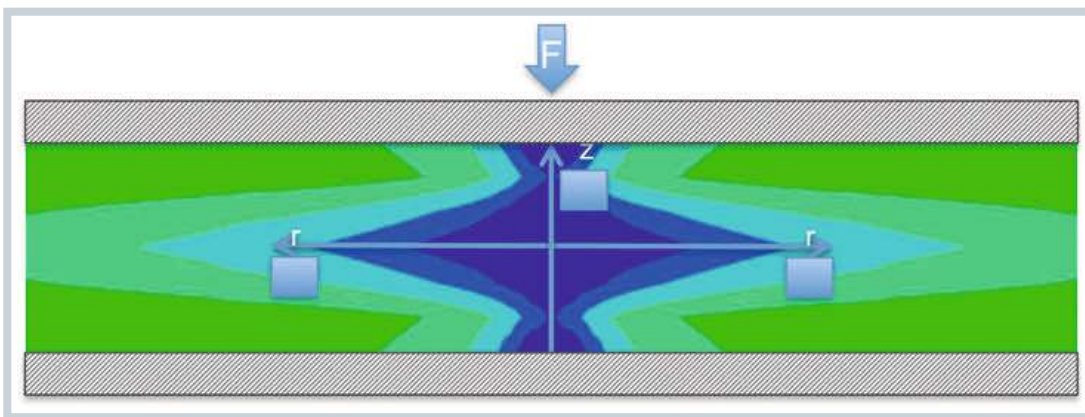


Bild 5. Visualisierung der Strömungsform am Ende des Pressvorgangs. Blau: dehn-dominierter Bereich, grün: scherdominierter Bereich (Bild: IfW, Uni Kassel)

den elastischen Eigenschaften deutlich von der Messung unterscheidet, ist die Übereinstimmung bei einer viskoelastischen Berechnung (Giesekus-Multimode-Modell) überzeugend. Aus den Simulationsergebnissen lassen sich aber noch weitere Informationen extrahieren, die experimentell gar nicht zugänglich sind. Das Geschwindigkeitsfeld für die viskoelastischen Ergebnisse zeigt eine deutliche Änderung gegenüber dem parabel-förmigen Profil bei der newtonschen Rechnung (**Bild 4 rechts**). Dies führt auch zu einer Veränderung des Dehnanteils in der Strömung. In **Bild 5** ist die Strömungsform am Ende des Pressvorgangs visualisiert. Im blauen Bereich dominiert die Dehnung, im grünen wird die Schmelze vornehmlich geschert. Mit den Berechnungen können Aussagen über die für den Pressvorgang erforderlichen Einstellungen getroffen werden. Der Dehnanteil ist für die Prognose des Quetschfließens von großer Bedeutung. Ziel der weiteren Forschungsarbeiten ist es, den gesamten Pressvorgang mit Abkühlung abbilden zu können, um zukünftig die Geometrie der Presswerkzeuge und die Prozessparameter für die Herstellung eigenverstärkter Kunststoffe zu optimieren.

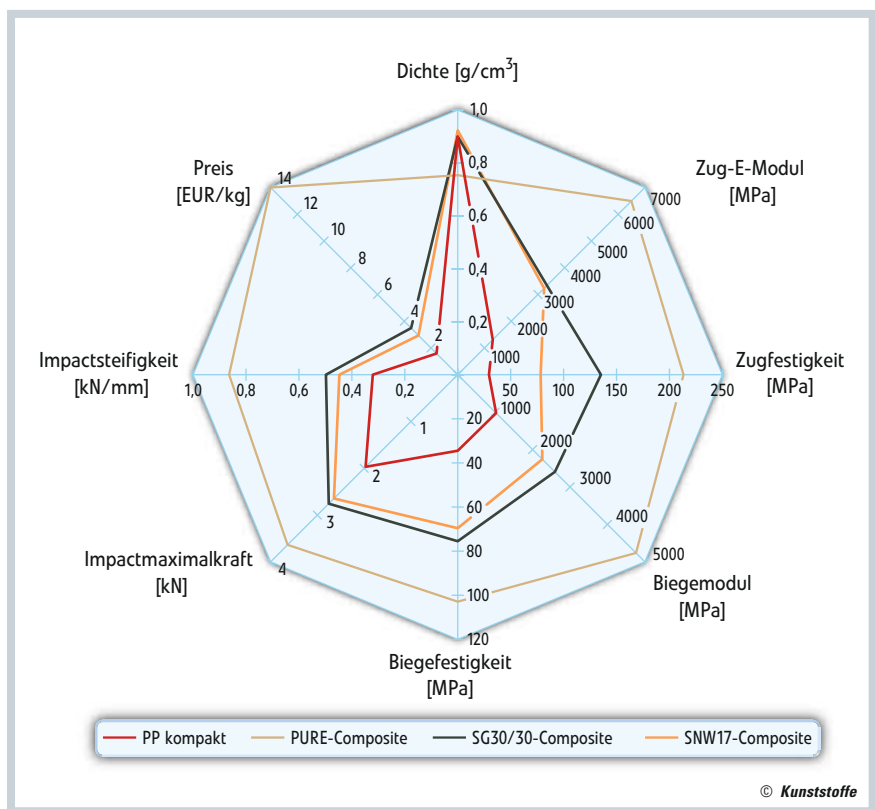


Bild 6. Vergleich verschiedener Eigenschaften von eigenverstärkten Thermoplasten mit PP-Kompaktmaterial (PURE = coextrudiertes PP-Bändchengewebe, SG30/30 = monoextrudiertes Bändchengewebe und SNW17 = PP-Nadelfließ) (Bild: IfW, Uni Kassel)

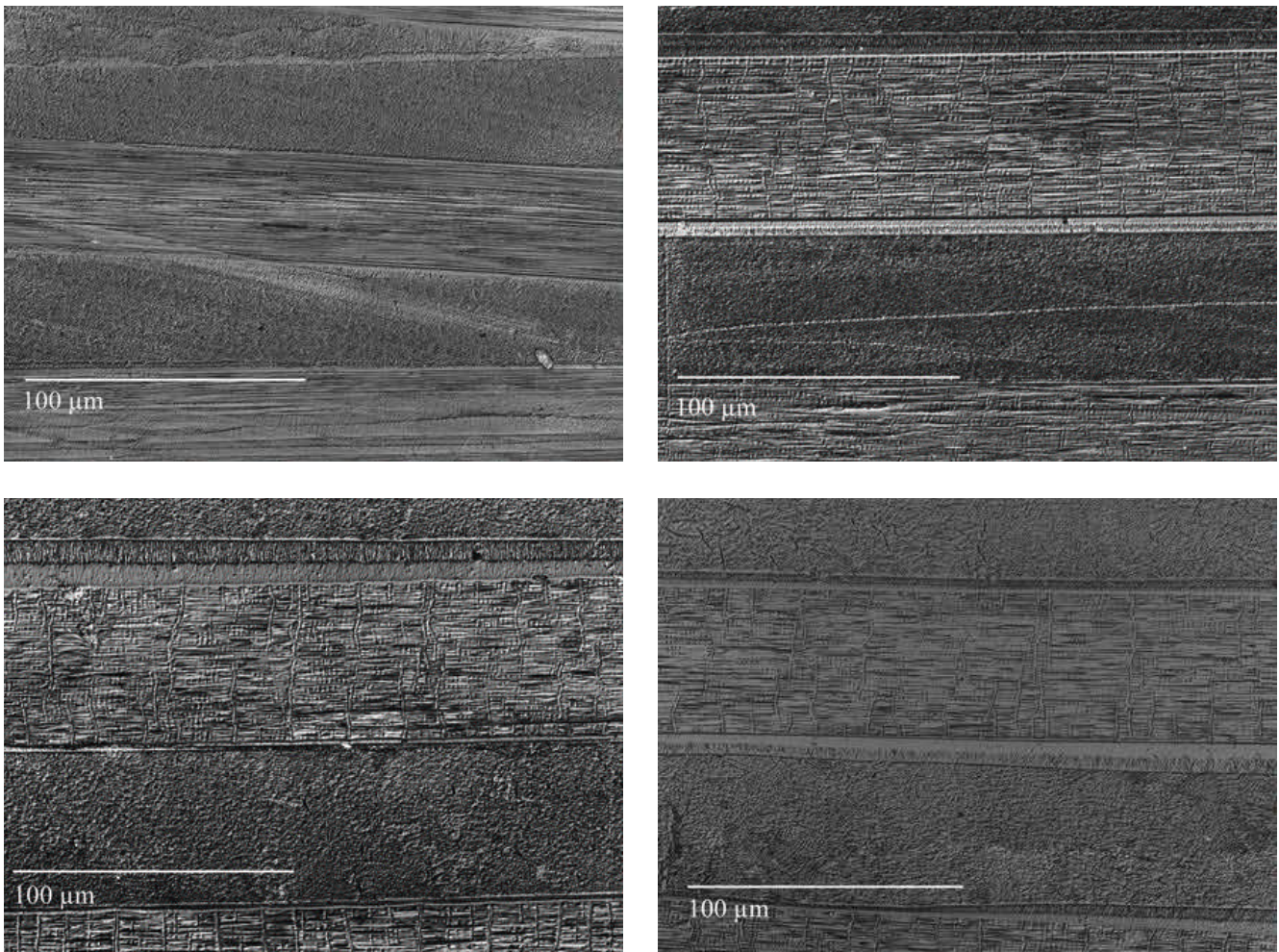


Bild 7. Kristalline Strukturen im eigenverstärkten Verbund bei Variation von Druck und Temperatur; oben links: Zone a 197°C, 5,5 MPa; oben rechts: Zone b 197°C, 3,9 MPa; unten links: Zone c 187°C, 3,9 MPa; unten rechts: Zone d 187°C, 5,5 MPa (Bild: IfW, Uni Kassel)

Thermoplastverbunde und deren Charakterisierung

In **Bild 6** sind einige Eigenschaften von eigenverstärkten Verbunden dargestellt. Die Daten basieren auf eigenen Messungen

mit Composites auf Basis unterschiedlicher Gewebe- und Fließmaterialien, die für die Messungen verwendeten Composites weisen eine Dicke von ca. 2 mm auf mit je nach Gewebe- bzw. Fließmaterial 16 bis 20 Lagen. Unter geeigneten Verar-

beitungsbedingungen lassen sich die in **Bild 6** dargestellten Eigenschaften reproduzierbar erreichen.

Eine lokal differenzielle Prozessführung weist eine sehr gute Korrelation zu den in den jeweiligen Druck- und Temperaturbereichen vorliegenden Mikrostrukturen des Verbunds auf, sodass eine gezielte Einstellung der Eigenschaften möglich ist. Die wesentlichen für die Compositeigenschaften relevanten Strukturen sind der Kompaktiergrad, die lokalen Gewebeeigenschaften sowie im Falle von teilkristallinen Materialien die kristallinen Überstrukturen. Details dazu werden in den folgenden Abschnitten dargelegt. Im Fall amorpher Thermoplaste gelten die in Teil 1 (siehe **Kasten auf S. 77**) ausgeführten Einflüsse des Reckgrads. Deshalb spielen bei der Kompaktierung von amorphen Materialien Relaxations- und Retardationsvorgänge eine starke Rolle für die Endprodukteigenschaften, die, wie erste Untersuchungen zeigen, über sehr hohe Kompaktierdrücke verhindert werden können.

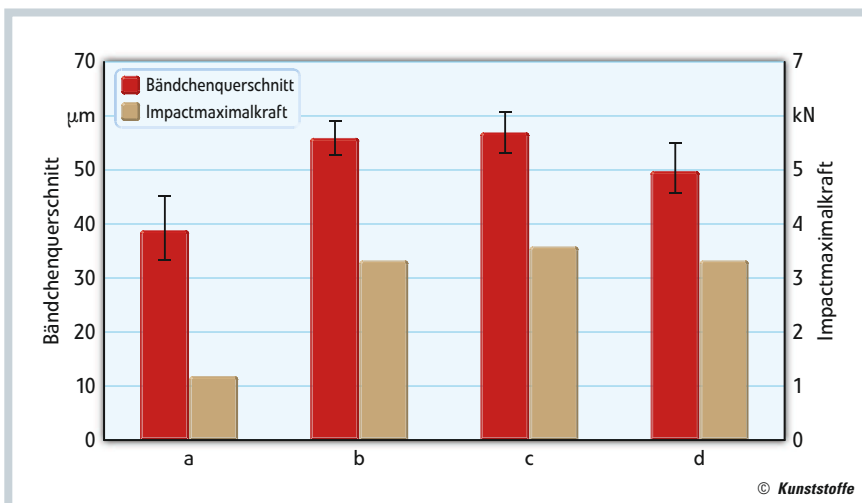


Bild 8. Bändchenquerschnitte und Impactkräfte des coextrudierten Gewebeverbunds

(Bild: IfW, Uni Kassel)

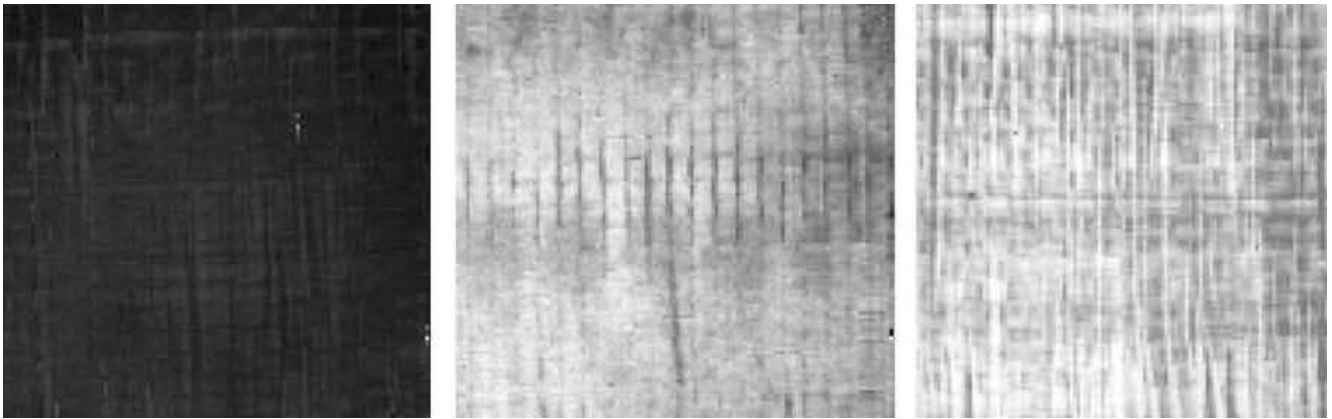


Bild 9. Gegenüberstellung der Verbundqualität mittels Lock-in-Thermografie (links gering kompaktiert, Mitte und rechts gute bis sehr gute Kompaktierung) (Bild: LWT, TU Dortmund)

Kristalline Überstrukturen

Zur Analyse der Feinstruktur von eigenverstärkten Verbundsystemen hat sich die hochauflösende konfokale Laserlichtmikroskopie als geeignet herausgestellt. Unter Verwendung der Differenzial-Interferenz-Kontrastierung lässt sich die Oberflächentopografie sehr gut abbilden. Mittels einer nasschemischen Ätzbehandlung der Probenoberfläche zum Abtragen der amorphen Phase lassen sich die kristallinen Strukturen deutlich herausstellen.

So wurden Verbunde aus coextrudiertem Polypropylen-Bändchengewebe mit unterschiedlichen Temperatur- und Druckniveaus während des Pressvorgangs hergestellt (Bild 7) und die entsprechenden Kennwerte aus Impactprüfungen ermittelt (Bild 8). Die eingestellten Temperaturwerte in unterschiedlichen Zonen des Bauteils, benannt mit 7a bis d, lagen zwischen 187 und 197°C (Press-

plattentemperatur), es wurden Drücke von 3,9 bis 5,5 MPa realisiert. Insbesondere in den Zonen b-d ist eine regelmäßige Textur der Bändchen in Verstreckrichtung zu erkennen. Die Randschichten des Extrudats, die den eigentlichen Verbund erzeugen und somit die Matrix darstellen, sind deutlich vom eigenverstärkten Kern zu unterscheiden. Darüber hinaus hat der Druck offensichtlich einen eindeutigen Einfluss auf den verbleibenden Bändchenquerschnitt. Durch die hohe Verarbeitungstemperatur in Kombination mit hohem Druck in Zone a stellt sich eine Veränderung der Struktur in Verstreckrichtung ein. Sowohl die coextrudierten Randschichten als auch die hochorientierte Textur der Kernphase lassen sich hier nicht mehr feststellen. In den mechanischen Eigenschaften – in Bild 8 durch die maximale Kraft beim Impactversuch charakterisiert – spiegeln sich die Strukturen sehr gut wider.

Lock-in-Thermografie für die Qualitätssicherung

Wie bei allen kunststoffbasiert verstärkten Verbundsystemen sind auch bei den eigenverstärkten Thermoplastverbunden die Sicherstellung der Bauteilqualität und die Detektion von Fehlstellen eine Herausforderung. Als interessante Technologie hat sich in einigen Versuchen die aktive Thermografie nach DIN EN 54192 herausgestellt: Das zu prüfende Bauteil wird pulsartig, beispielsweise durch eine Blitzlampe oder einen Laser angeregt. Wird dadurch über die Oberfläche Wärme eingeleitet, breitet sie sich im Bauteil aus. Inhomogenitäten im Bauteil bewirken eine Änderung der Temperaturleitfähigkeit, sodass die dadurch hervorgerufene Veränderung der Oberflächentemperatur mittels Thermografie sichtbar gemacht werden kann. In Bild 9 sind exemplarisch Messergebnisse für den Verbund aus coextrudiertem Bänd-

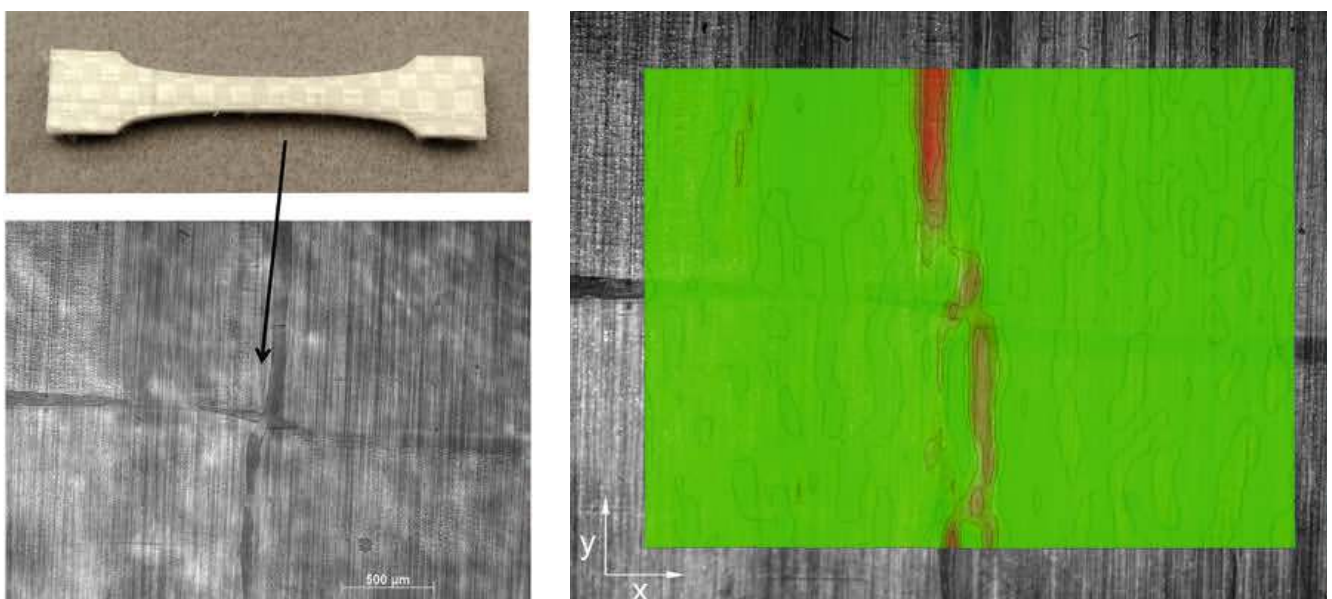


Bild 10. Mit digitaler Bildkorrelation bestimmte Zugdehnungen an der Probenoberfläche (Verbund aus coextrudiertem Bändchengewebe)

(Bild: IfW, Uni Kassel)

chengewebe dargestellt. Es kann deutlich zwischen unzureichender Kompaktierung (links) und guter Kompaktierung unterschieden werden. Außerdem sind Inhomogenitäten in den Verbunden erkennbar.

Lokal aufgelöste Messmethoden

Eigenverstärkte Kunststoffe haben aufgrund ihrer einzigartigen Mikrostruktur ein besonderes mechanisches Verhalten, das durch das Wechselspiel der Verformung auf der Mikroebene (Bändchen), der Mesoebene (Gewebe) und der Makroebene (Probe bzw. Bauteil) charakterisiert ist. Diese Interaktion kann man mit der Methode der digitalen Bildkorrelation analysieren. Dabei wird, vereinfacht gesagt, ein digitales Bild der Probenoberfläche im lastfreien Zustand aufgenommen. Dieses Bild entspricht einem Pixelmuster. Unter Belastung verschieben sich die Pixel entsprechend der lokalen Verformung, woraus lokale Werte für die Verschiebung bzw. Dehnung bestimmt werden. Mit dieser Methode können also lokal hochbeanspruchte Bereiche im Gefüge identifiziert werden.

Am folgenden Beispiel wird verdeutlicht, dass auf der Makroebene im Zugversuch eine nichtlineare Spannungs-Dehnungs-Kurve und spontanes Versagen beobachtet werden. Dem stehen Zugdehnungen auf der Probenoberfläche gegenüber, die sich in der Umgebung des Kreuzungspunkts des Bändchengewebes lokalisieren, aber nicht mit diesem zusammenfallen (**Bild 10**). Hier spielen offensichtlich tieferliegende Gewebelagen eine wichtige Rolle. In Dickenrichtung (**Bild 11**) sind hingegen die hohen Werte der Querdehnung auffällig, die in den Bereichen auftreten, in denen die Bändchen nicht vollständig miteinander verbunden sind. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass das Versagensverhalten entscheidend von der Bändchenarchitektur und der Qualität des Verbunds untereinander geprägt ist.

Wohin geht es zukünftig?

Dass Simulationstools wichtig für die Auslegung von Bauteilen und Prozessen sind, ist allgemein anerkannt, demzufolge wird es künftig weiter eine Aufgabe sein, die komplexen viskoelastischen, nichtisothermen und anisotropen Materialmodelle für eigenverstärkte Thermoplaste weiter zu ent-

wickeln und sie durch eine geeignete Numerik für den Anwender nutzbar zu machen. Außerdem ist ein Verbundsystem natürlich nur so gut, wie es in ein Gesamtsystem integriert werden kann. Das bedeutet zum einen, dass geeignete Füge-technologien entwickelt werden müssen, die im Fall der eigenverstärkten Thermoplaste, z. B. beim Schweißen, die Eigenverstärkung nicht durch ihren Temperatureintrag zerstören. Zum anderen sind endformnahe integrierte Prozesse gefragt. Das Hinterspritzen oder Hinterschäumen bereits fertig konsolidierter Verbunde ist in gewissen Grenzen möglich, wie Untersuchungen an der Universität Kassel zeigen, aber recht aufwendig. Interessanter sind Direktverfahren, bei denen eine gleichzei-

i Kunststoffe zum Thema

Der erste Teil dieses zweiteiligen Beitrags ist in **Kunststoffe** 104 (2014) 2 auf S. 35–39 erschienen.

tige Konsolidierung, Formgebung und ein An- oder Hinterspritzen/-schäumen von Funktionselementen möglich ist. Gleichzeitig sollte eine Oberflächenveredelung erfolgen. Wer einen Hartschalenkoffer aus eigenverstärkten Verbundsystemen besitzt, weiß, dass bereits heute sehr gute Oberflächenqualitäten erreichbar sind. Die integrierten Prozesse fehlen noch, sollen aber Ziel zukünftiger Arbeiten an der →



Wirtschaftliche PVC-Aufbereitung neu definiert BUSS Ko-Kneterbaureihe quantec® G3

Der Spezialist für die Aufbereitung temperatur- und scherempfindlicher Compounds setzt neue, noch höhere Maßstäbe bezüglich Qualität und Produktivität.

quantec® G3 – die dritte Generation einer Erfolgsgeschichte

- Höhere Wirtschaftlichkeit durch gesteigerte Durchsätze
- Mehr Flexibilität durch vergrößertes Prozessfenster
- Höhere Anlagenverfügbarkeit durch minimale Umstellzeiten

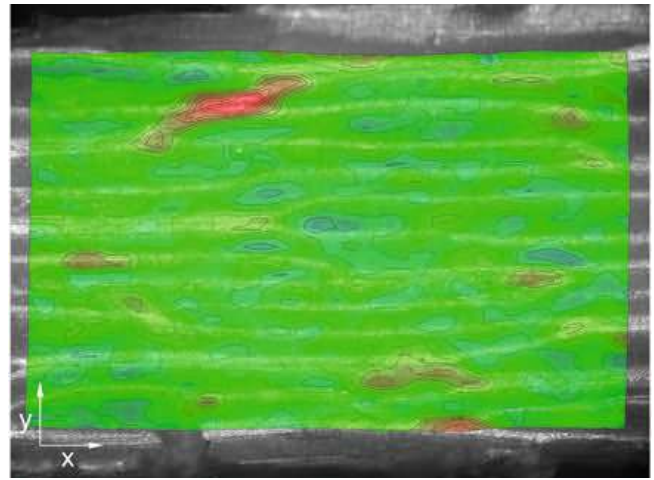
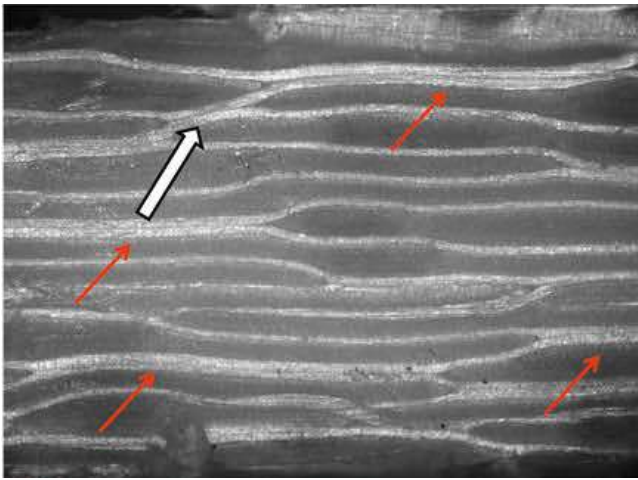


Bild 11. Mit digitaler Bildkorrelation bestimmte Querdehnungen an der Seitenfläche der Probe aus PURE-Material (Bild: IfW, Uni Kassel)

Universität Kassel sein. Auch hinsichtlich der Gradierung können noch weitere Potenziale erschlossen werden. Neben der rein thermo-mechanischen Gradierung wurden an der Universität Paderborn bereits Untersuchungen zur lokalen Vernetzung der für einen Verbund verwendbaren Folien erfolgreich durchgeführt. Es wurde sowohl herkömmlich verfügbares strahlenvernetzbares Polyethylen (PE) als auch Polyamid (PA) eingesetzt, die beide zur Flachfolie extrudiert und lokal vernetzt wurden. Unter Belastung kann die Verformung des Materials auf diese Weise gezielt gesteuert werden.

Bauteile mit funktional gradierten Eigenschaften stellen eine ressourcenschonende Alternative zu den heutigen Verbundwerkstoffen dar. Die Herstellung dieser Bauteile erfordert jedoch komplexe Herstellprozessketten, die beispielsweise auf thermo-mechanisch gekoppelten Phänomenen basieren. Um das volle Potenzial von funktionaler Gradierung zu erschließen, bedarf es daher innovativer Methoden zur Planung und Optimierung der erforderlichen Prozessketten. Im Rahmen der Planung werden mögliche Prozessketten zur Herstellung eines geforderten Bauteils synthetisiert. Anschließend werden die Prozessparameter für jeden einzelnen Prozessschritt prozessübergreifend optimiert und die beste Prozesskette ausgewählt [4].

Der Weg in die Anwendung für technisch anspruchsvolle, auf die Funktion zugeschnittene gradierte Bauteile muss zwar noch ein Stück weit gegangen werden, wo er lang geht, ist aber im Prinzip vorgezeichnet. ■

DANK

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs Transregio 30.

LITERATUR

- 1 Ridder, H.; Heim, H.-P.; Jarka, S.: (2009): Möglichkeiten und Grenzen variabler Werkzeugtemperierung, *Kunststoffe* 99 (2009) 5, S. 22–29
- 2 Al-Baldawi, A.: Modellierung und Simulation viskoelastischer Polymerschmelzen. Dissertation, Kassel University Press, 2012
- 3 Al-Baldawi, A.; Damanik, H.; Turek, S.; Wünsch, O.: Rheology and CFD of Polymer Melts. In: *Functionally Graded Materials in Industrial Mass Production*, edited by W. Homberg, D. Biermann, H.-P. Heim, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach 2013
- 4 Biermann, D.; Gausemeier, J.; Hess, S.; Petersen, M.; Wagner, T. (2013): Planning and Optimisation of Manufacturing Process Chains for Functionally Graded Components – Part 1: Methodological Foundations, *Production Engineering – Research and Development* Vol. 7 (6), DOI 10.1007/s11740-013-0490-2, S. 657–664

DIE AUTOREN

PROF. DR.-ING. HANS-PETER HEIM, geb. 1967, ist Leiter des Fachgebiets Kunststofftechnik der Universität Kassel und Sprecher des Sonderforschungsbereichs TRR30; heim@uni-kassel.de

DIPL.-ING. ANGELA RIES, geb. 1982, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Abteilungsleiterin im Fachgebiet Kunststofftechnik der Universität Kassel, seit 2011 ist sie Geschäftsführerin des Sonderforschungsbereichs TRR30.

PROF. DR.-ING. VOLKER SCHÖPPNER, geb. 1964, ist Leiter des Fachgebiets Kunststoffverarbeitung an der Universität Paderborn.

DIPL.-WIRT.-ING. ANDREA WIBBEKE, geb. 1986, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet Kunststoffverarbeitung an der Universität Paderborn.

PROF. DR. RER. NAT. STEFAN TUREK, geb. 1964, ist Inhaber des Lehrstuhls für Angewandte Mathematik und Numerik der TU Dortmund.

DR. RER. NAT. HOGENRICH DAMANIK, geb. 1978, ist wissenschaftlicher Angestellter und Post-Doc am Lehrstuhl für Angewandte Mathematik und Numerik der TU Dortmund.

PROF. DR.-ING. HABIL. ROLF MAHNKEN, geb. 1957, ist Leiter des Lehrstuhls für Technische Mechanik an der Universität Paderborn.

DIPL.-MATH. CHRISTIAN DAMMANN, geb. 1986, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technische Mechanik an der Universität Paderborn.

PROF. DR.-ING. OLAF WÜNSCH, geb. 1961, ist Leiter des Fachgebiets Strömungsmechanik der Universität Kassel.

DR.-ING. AMMAR AL-BALDAWI, geb. 1985, war bis Oktober 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Strömungsmechanik der Universität Kassel.

DIPL.-ING. BJÖRN ROHDE, geb. 1981, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Kunststofftechnik der Universität Kassel.

PROF. DR. RER. NAT. ANGELIKA BRÜCKNER-FOIT, geb. 1953 ist Leiterin des Fachgebiets Qualität und Zuverlässigkeit an der Universität Kassel.

PROF. DR.-ING. JÜRGEN GAUSEMEIER, geb. 1948, ist Seniorprofessor in der Fachgruppe Produktentstehung des Heinz Nixdorf Instituts der Universität Paderborn

PROF. DR.-ING. IRIS GRÄSSLER, geb. 1969, ist Leiterin der Fachgruppe Produktentstehung des Heinz Nixdorf Instituts der Universität Paderborn.

DIPL.-INF. MARCUS PETERSEN, geb. 1984, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Produktentstehung des Heinz Nixdorf Instituts der Universität Paderborn.

SUMMARY

SELF-REINFORCED THERMOPLASTIC COMPOSITES

COMPOSITE MATERIALS (PART 2). Based on research results from the Transregio 30 special research area, it is illustrated how composites of self-reinforced semi-crystalline or highly stretched amorphous films and fabrics can be manufactured for lightweight construction and applications, and what properties can be achieved.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on

www.kunststoffe-international.com

Spritzgießen & VEREDELN

Produktion funktioneller, hochwertiger Oberflächen

03. und 04. Juni 2014 in Duisburg

Die neue
Tagung rund
ums Thema
Oberflächen-
technik!

Ihr kompetenter Tagungsleiter



Prof. Dr.-Ing. Johannes Wortberg
› Universität Duisburg-Essen

Die Tagung betrachtet den gesamten Prozess – von der Werkstoffauswahl über die Maschinen- und Verarbeitungstechnik bis hin zur Prozess- & Qualitätssicherung. Dabei ist auch der branchenübergreifende Austausch zwischen Automobilindustrie, Elektrik- und Elektronikindustrie wichtig.

Seien Sie gespannt auf Vorträge u.a. von

BASF SE · BIA Kunststoff- und Galvanotechnik GmbH & Co. KG · Bayer MaterialScience AG · Effizienzagentur NRW · F&G Hachtel GmbH & Co. KG · Krauss Maffei Technologies GmbH · Kunststoff-Institut Lüdenscheid GmbH · Montanuniversität Leoben · piu products Gratzki & Deerberg Partnerschaft · Polymer Competence Center Leoben GmbH · Priamus System Technologies AG · Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH · Takata AG · TU Chemnitz · Universität Duisburg-Essen

Veranstalter



Kunststoffe

Mit freundlicher
Unterstützung von



© Kunststofftechnik Bernt GmbH



© BIA Kunststoff- und Galvanotechnik



© Kunststofftechnik Bernt GmbH

Interesse geweckt? Informationen und Anmeldung unter www.spritzgiessen-veredeln.de