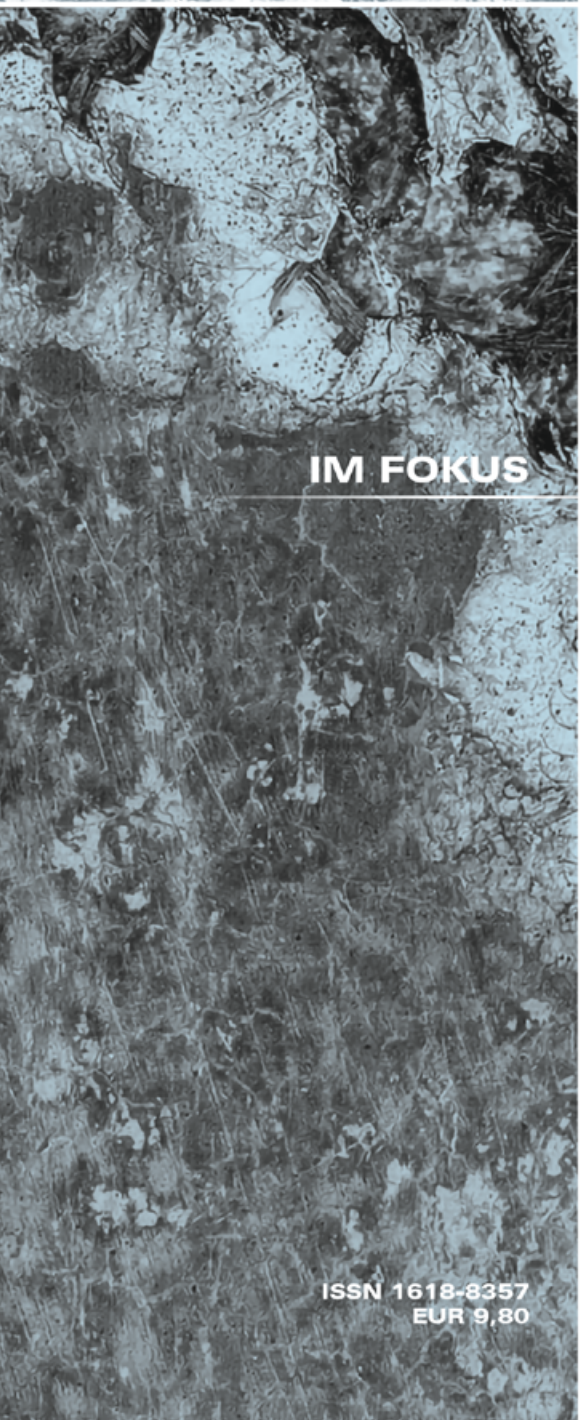


Wissenschaftlicher
Arbeitskreis
Kunststofftechnik

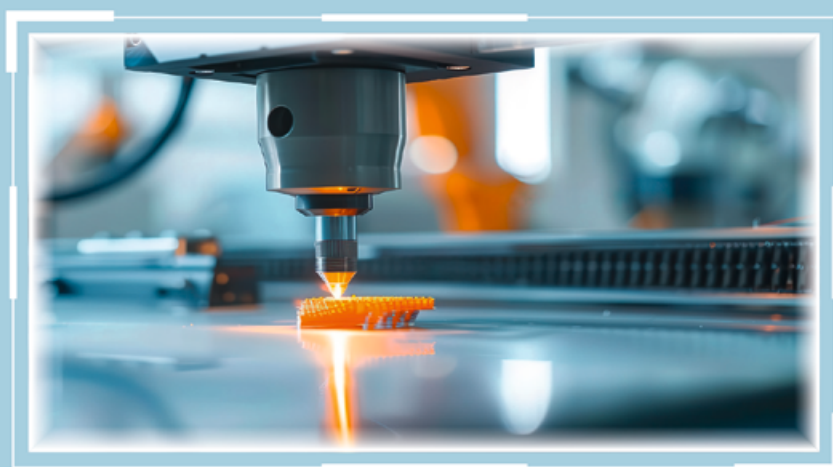
Ingenieurwissenschaften

2024



IM FOKUS

Jahresmagazin **Kunststofftechnik**



ISSN 1618-8357
EUR 9,80

Herausgegeben vom Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen



EFFIZIENZ²

KUNSTSTOFF-RECYCLING MIT MEHRWERT

Der Zusammenschluss von Coperion und Herbold Meckesheim bündelt jahrzehntelange Expertise und umfassendes Prozess-Know-how in einer Vielzahl von Kunststoff-Recycling-Anwendungen. Wir realisieren sowohl einzelne Komponenten als auch komplette Recyclingsysteme aus einer Hand – für höchste Endproduktqualität und Durchsatzleistungen bei maximaler Effizienz.

www.herbold.com www.coperion.com



VORWORT

Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer



Sehr geehrte Damen und Herren,

das Jahr 2023 war ein Jahr mit vielen Herausforderungen. Die kunststoffverarbeitende Industrie leidet, wie viele andere auch, am Fachkräftemangel, dem Verbot von PFAS – basierten Polymeren, hohen Energiekosten sowie herausfordernden politischen Rahmenbedingungen. Kurz gesagt: „Es kann nur besser werden!“ Der Wunsch eines Endes der kriegerischen Auseinandersetzungen in der Ukraine und Palästina sowie eine deutlich stabilere Bundespolitik, in der Maßnahmen nicht ideologisch, sondern sach- und faktenorientiert adressiert werden, ist sicherlich, als kleinster gemeinsamer Nenner, der Grundtenor in der Zivilgesellschaft. Politiker, die in ihrem Zuständigkeitsbereich zuvor den Nachweis einer Grundsachkenntnis erbracht haben, wären ebenfalls wünschenswert. Nur laut zu sein und Forderungen zu stellen, reicht in dieser schwierigen Gemengelage nicht.

In der konsumierenden Gesellschaft macht sich eine gewisse Kunststofffeindlichkeit bemerkbar. Firmen, die mit dem Label plastikfrei entsprechend werben, betreiben ein „Greenwashing“ ihres Produkts zu Lasten eines Materials welches im Hinblick auf ökologische, technische und wirtschaftliche Aspekte klar überlegen ist.

Die erneute Substitution von Kunststoffverpackungen hin zu schlechteren Lösungen ist hier eines der Beispiele, die am Ende rein ideologisch und ohne Sachverstand betrieben werden. Lebensmittelverpackungen aus Pappe und Papier haben einen schlechteren Footprint als Lösungen aus Kunststoff. Trotzdem schreckt man nicht davor zurück, diese der Gesellschaft und auch der Politik als nachhaltiger anzupreisen. Der falsche Umgang der Menschen in einigen Bereichen der Welt mit dem wertvollen Rohstoff Kunststoff führt zu sichtbarer Vermüllung der Ozeane. Die Aufklärung und Hilfe für die Länder, in

denen vorrangig der arglose Umgang mit dem Werkstoff Kunststoff stattfindet, ist wünschenswert. Ziel muss es ein, hier eine Sensibilisierung für die Vermeidung oder Wiederverwertung zu erzeugen. Das ist natürlich aufwendig, muss aber erfolgen! Die Vorstellung, Substitutionen vorzunehmen, die schlechter sind als kunststoffbasierte Lösungen, nur um den Plastikverzicht medienwirksam zu dokumentieren, macht mir persönlich Kopfzerbrechen. Auch hier ist der gewählte Slogan nicht von Sachkenntnis getrübt.

Umso mehr freut es mich, dass wir aus dem WAK mit Beiträgen aus der Kunststoffforschung aktuell wieder einen redaktionellen Beitrag zur diesjährigen WAK-Zeitschrift leisten konnten. Den Kollegen, die hier aktiv waren, gilt mein besonderer Dank. Gleichzeitig möchte ich dem Alpha-Verlag für die Möglichkeit der Veröffentlichung danken.

Es kann nur besser werden!

Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer
Sprecher des WAK

INHALTSÜBERSICHT

- 1** **Vorwort**
Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer
 Sprecher des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kunststofftechnik (WAK)
- 12** **Herausforderungen und Möglichkeiten im Duroplast-Spritzguss**
Ngoc Tu Tran, Nils Schmeißer, André Hüllmann und Andreas Seefried
 Technische Universität Chemnitz (TUC) / Professur Kunststofftechnik
- 20** **Polymer materials for sustainable fiber applications**
**Markus Stommel^{1,2}, Michael Thomas Müller¹, Cindy Elschner¹, Regine Boldt¹,
 Andreas Leuteritz¹, Christina Scheffler^{1,3} und Ines Kühnert¹**
 Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. (IPF) / Institut für Polymerwerkstoffe (IPW)¹,
 Professur Polymerwerkstoffe² / Professur für Polymere im Bauwesen³ an der
 Technischen Universität Dresden
- 28** **Kavitätsbalancierung bei Mehrkavitätenwerkzeugen im Duromerspritzgießen**
Julian Kraft¹, Bhimesh Jetty², Martin Hohberg³, Florian Wittemann² und Frank Henning^{2,1}
 Institut für Fahrzeugsystemtechnik / Institutsteil Leichtbau;
 Fraunhofer ICT¹; KIT-FAST²; Simutence³
- 38** **Spritzgießcompoundieren im Recycling von Post-Consumer PP Abfällen**
David Zidar¹, Nina Krempf¹, Zahra Shahroodi¹, Ulrike Kirschnick² und Clemens Holzer¹
 Montanuniversität Leoben / Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung¹ /
 Verarbeitung von Verbundwerkstoffen und Design für Recycling²

formnext

19. – 22.11.2024
FRANKFURT/MAIN

mesago

Tickets sichern!
formnext.com/tickets

Gestalten Sie die Zukunft der Produktion!

Die Nachfrage nach komplexeren und individuellen Teilen steigt rapide. Produktzyklen verkürzen sich, traditionelle Lieferketten werden hinterfragt und Nachhaltigkeit gewinnt weiterhin an Bedeutung.

Die Additive Fertigung bietet Ihnen die Lösungen, um diesen Herausforderungen zu begegnen und Ihre Kunden zu begeistern.

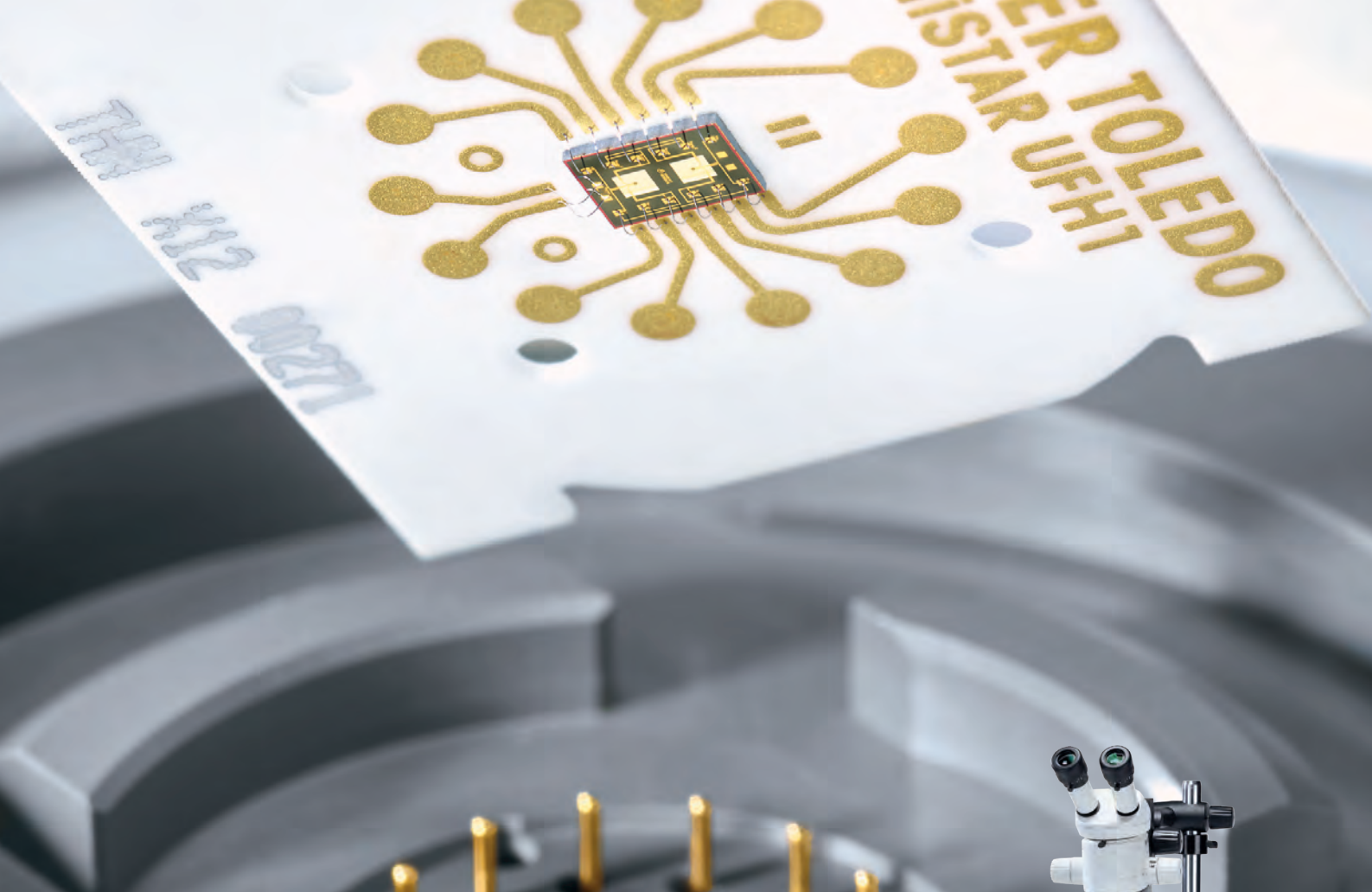
Blieben Sie Ihrer Konkurrenz voraus! Besuchen Sie die Formnext, die internationale Expo und Convention für Additive Manufacturing in Frankfurt am Main.

Where ideas take shape.

Ideeller Träger

VDMA
Arbeitsgemeinschaft Additive Manufacturing

Messe Frankfurt Group



Ein innovativer Quantensprung eröffnet völlig neue Perspektiven

Mit dem Flash DSC 2+ zu neuen Einblicken in Materialien

Das Flash DSC 2+ revolutioniert das DSC-Verfahren. Es ermöglicht die Analyse bislang nicht messbarer Reorganisationsprozesse. Seine Heiz- und Kühlraten decken einen Bereich von mehr als 7 Dekaden ab. Es ist die ideale Erweiterung der konventionellen DSC.

- **Sehr hohe Heizraten** – unterdrücken Reorganisationsprozesse
- **Sehr hohe Kühlraten** – ermöglichen die Erstellung von Materialien mit definierten strukturellen Eigenschaften
- **Hohe Empfindlichkeit** – erlaubt Messungen bei geringen Heizraten, die sich mit der herkömmlichen DSC überschneiden
- **Großer Temperaturbereich** – für Messungen von -95 bis $+1.000$ °C
- **Sauerstofffreie Bedingungen** – schützen Ihre Probe vor Oxidation
- **Schnell ansprechender Sensor** – für die Untersuchung der Kinetik von extrem schnellen Reaktionen oder Kristallisationsprozessen

INHALTSÜBERSICHT

- 46** **Institut Polymer Processing and Digital Transformation an der JKU Linz**
Gerald Berger-Weber
 Johannes Kepler Universität Linz (JKU) /
 Institut Polymer Processing and Digital Transformation (IPPD)
- 58** **Der Nachwuchs-Förderung verpflichtet**
WAK-Preise
Wilfried-Ensinger-Preis • Ensinger GmbH
Der Brose-Preis • Brose Fahrzeugteile SE & Co. KG, Coburg
Der Oechslers-Preis • OECHSLER AG
Röchling-Sonderpreis • Röchling SE & Co. KG
- 6** **Inserentenverzeichnis**
- 66** **Kunststoffmessen 2024/25**
- 68** **Impressum**



**Spezifische Widerstände
 schnell & akkurat messen** [Ω]
[Ω·cm]
[Ω/□]

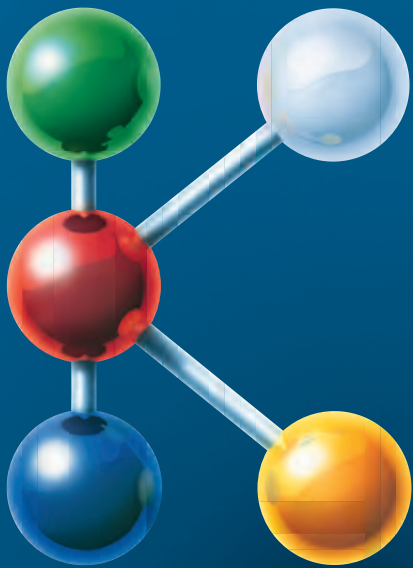
Kunststoffe & Compounds

Messbereich von $10^{-4} \Omega$ bis $10^{14} \Omega$

NEU Leitfähigkeitmessung von Pulver
 mit dem **Pulvermessgerät PD-600**



NH Instruments.
 Exklusiver Vertreter von Nittoseiko Analytech
 Probenmessung - Schulung - Wartungsverträge
www.nh-instruments.de
 N&H Technology GmbH, Gießerallee 21, D-47877 Willich, T. +49 (0)2154-81250



The World's No. 1 Trade Fair
for Plastics and Rubber

8-15 OCTOBER 2025

Düsseldorf, Germany

k-online.com



INSERENTENVERZEICHNIS

18	.....	aquaEnergy GmbH	www.aquaenergy.de
26	.....	B. Braun SE	www.bbraun.de
25	.....	Bayerische Kabelwerke AG	www.baykacolor.com
U2	.....	Coperion GmbH	www.coperion.com
16	.....	Dressler Group GmbH	www.dressler-group.com
54	.....	EMS-CHEMIE AG	www.emsservices.ch
37	.....	eprotec extrusion technology AG	www.eprotec-extrusion.com
64	.....	Fakuma 2024	www.fakuma-messe.de
2	.....	formnext 2024	www.formnext.com
44	.....	GAW technologies GmbH	www.gaw.at
7	.....	Konzelmann GmbH	www.konzelmann.com
51	.....	Leister Technologies AG	www.leister.com
43	.....	Leistritz Extrusionstechnik GmbH	extruders.leistritz.com
36	.....	Motek 2024 + Bondexpo 2024	www.motek-messe.de / www.bondexpo-messe.de
3 | 10	.....	Mettler-Toledo GmbH	www.mt.com
5	.....	K 2025	www.k-online.com
65	.....	nova-Institut GmbH	www.nova-institute.eu
4	.....	N&H Technology GmbH	www.nh-instruments.de
52	.....	Anton Paar	www.anton-paar.com
34	.....	REHAU Industries SE & Co	www.rehau.com
58	.....	Röchling Industrial SE & Co. KG	www.roechling.com
U3	.....	SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA	www.schuetz.net
56 | U4	.....	Carl Zeiss AG	www.zeiss.com
8	.....	ZwickRoell GmbH & Co. KG	www.zwickroell.com

INNOVATION TRIFFT AUF PRÄZISION: LÖSUNGEN IM KUNSTSTOFF-SPRITZGUSS

Seit mehr als 60 Jahren steht die Konzelmann GmbH aus Löchgau für Innovationen aus Kunststoff. Durch maßgeschneiderte Lösungen entwickelt das familiengeführte Unternehmen mit 300 Mitarbeitenden Bauteile und Systeme, die höchsten Anforderungen gerecht werden.

Das baden-württembergische Unternehmen fertigt für OEMs und Tier-1-Zulieferer sicherheitsrelevante Bauteile für die Elektromobilität, hochpräzise Komponenten für die Medizintechnik und maßgeschneiderte Kunststoffteile für verschiedene industrielle Anwendungen. Ein aktuelles Beispiel ist der selbst entwickelte KBerstring®, der die Batterie-sicherheit in der E-Mobilität erhöht. Konzelmann setzt auf einen holistischen Lösungsansatz: Durch intensives Zuhören und langjähriges Know-how entstehen individuelle Lösungen, die Produkt- und Prozessschnittstellen ganzheitlich berücksichtigen

und dabei Produktionskosten reduzieren. Der eigene Werkzeugbau fertigt präzise Spritzgießwerkzeuge, die auf spezifische Kundenanforderungen abgestimmt sind. Darüber hinaus übernimmt das Unternehmen die Montage kompletter Baugruppenlösungen, was eine reibungslose Integration und höchste Effizienz in der Serienproduktion sicherstellt. Modernste Technologien, automatisierte Fertigungsprozesse und spezielle Werkstoffoptimierungen wie purkon®2000 ermöglichen dabei hohe Flexibilität und schnelle Anpassungen an sich ändernde Kundenanforderungen.

KONTAKT

KONZELMANN GMBH
Lise-Meitner-Str. 15
D-74369 Löchgau
Tel.: +49 (0)7143 4080-0
info@konzelmann.com
www.konzelmann.com

ZUKUNFT EFFIZIENT GESTALTEN

**WE ARE
INNOVATION
AWARD WINNER**

Als Innovationspreisträger leben wir Innovationen und Kreativität. Ihr starker Partner für polymere Systemanwendungen.

Konzelmann GmbH
Lise-Meitner-Straße 15
74369 Löchgau

www.konzelmann.com
info@konzelmann.com
Tel.: +49 7143 4080 0

AUTOMATISIERTE KUNSTSTOFFPRÜFUNG

Roboterprüfsystem für Groß- und Kleinserienprüfung – Der Einsatz von Robotern ist in vielen Industriezweigen Standard. Auch in der Material- und Werkstoffprüfung bieten automatisierte Prüfungen Vorteile: Sie können 24/7 in gleichbleibender Qualität durchgeführt werden. Dies spart Zeit und sichert eine hohe Wiederholbarkeit der Prüfergebnisse. Das roboTest Baukastensystem von ZwickRoell ermöglicht die effiziente Automatisierung von Kunststoffprüfungen für Groß-, Klein- und Kleinstserien ab zehn Proben. Dies sorgt für mehr Effizienz und Flexibilität im Prüflabor.



Abb. 1:
Das roboTest N Roboterprüfsystem an einer LTM2 Linearmotorprüfmaschine.
Foto: ZwickRoell

Flexibles Prüfsystem mit mehreren Prüfmaschinen

Automatisierte Zug- und Biegeversuche an Kunststoffproben lassen sich beispielsweise mit einem roboTest Prüfsystem durchführen, an das mehrere Prüfmaschinen von 5 bis typischerweise 50 kN angeschlossen werden können. Hierzu gehört unter anderem die AllroundLine Prüfmaschine mit dem Extensometer multiXtens oder makroXtens für Zugversuche nach ISO 527 oder einer Biegevorrichtung für 3-Punkt-Biegeversuche nach ISO 178 und ASTM D638. Das Bestücken der Probenmagazine erfolgt manuell. Je nach Abmessung passen bis zu 600 Proben in ein Magazin. Ab hier übernimmt ein Mehrachs-Industrieroboter, der die Proben zur automatischen Prüfung bringt und die Probenreste für gegebenenfalls notwendige Inspektionen sortiert. Für manuelle Prüfungen, oder um einen freien Zu-

gang zu erreichen, lässt sich der Roboterarm in eine Parkposition fahren.

Vervollständigt wird das System durch optionale Komponenten. Dazu gehört unter anderem ein Querschnittsmessgerät – eine wichtige Voraussetzung, um vergleichbare Prüfergebnisse zu erreichen. Es bestimmt automatisch Probendicke und -breite an einem oder drei Punkten der Probe. Justiert wird es durch den Einsatz eines Normals. Bei Bedarf wird die Probe mit Hilfe eines Barcode- oder 2D-Code Lesegeräts verwechslungssicher identifiziert. Unterstützt wird der Anwender durch die Prüfsoftware testXpert III und die Automatisierungssoftware autoEdition3.

Automatisierung ganz ohne Robotik-Vorkenntnisse

Bislang waren Automatisierungslösungen in der Regel nur für Großserienprüfungen geeignet. Dies lag am hohen Einrichtungsaufwand: Der Roboter musste programmiert werden und die Abläufe zwischen der Prüfmaschine und dem Roboter während des Prüfprozesses mussten ebenfalls abgestimmt werden. Diese zeitaufwändige Programmierung konnten nur Spezialisten umsetzen und machte eine Automatisierung nur bei Prüfserien mit hohen Stückzahlen und langen Laufzeiten rentabel.

Kleine, häufig wechselnde Serien von 100, 50 oder auch nur 20 Proben, wie sie in vielen Prüflabors immer wieder vorkommen, konnten nicht effizient automatisiert werden. Stattdessen stellte man Laborpersonal ab, um die unliebsame Aufgabe zu übernehmen und sich stunden- oder gar tagelang mit der Prüfung einer Probenreihe zu beschäftigen. Eine Zeit, in der das Fachwissen des Mitarbeiters bzw. der Mitarbeiterin kaum für andere Aufgaben zur Verfügung stand.

Schwierig zu lösen war häufig auch die Platzfrage: Die kraftvollen Industrieroboter sind nicht für eine

KONTAKT

ZWICKROELL GMBH & CO. KG

August-Nagel-Str. 11
D-89079 Ulm
Tel.: +49 (0)7305 10-0
info@zwickroell.com
www.zwickroell.com

direkte Zusammenarbeit mit Menschen geschaffen und können diese bei einer Kollision in ihrem Wirkungsbereich schwer verletzen. Deshalb waren bislang umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen wie gesperrte Bereiche mit Schutzzäunen oder Schutzverglasungen notwendig.

Roboterprüfsystem für wechselnde Prüfserien

Ein äußerst flexibles Prüfsystem ist roboTest N aus der roboTest-Baukastenreihe: Ausgestattet mit einem Leichtbauroboter wurde es speziell für die wirtschaftliche Bearbeitung häufig wechselnder Prüfserien ab einer Seriengröße von zehn Proben entwickelt. Auf Basis eines Smart Robots eignet sich roboTest N für beliebige pick&place-Aufgaben in Verbindung mit einer Vielzahl von ZwickRoell-Prüfmaschinen.

Schon die Platzierung des Roboters gestaltet sich unkompliziert: Klein und platzsparend wird er auf einen eigenen Ständer oder auf eine mobile Basis montiert. Während beide Versionen leicht für unterschiedliche Proben und Prüfabläufe einzurichten sind, vervielfacht die fahrbare Version ihre Anwendungsmöglichkeiten in Prüflabors mit mehreren Prüfmaschinen. Der Roboter wird an die jeweilige Prüfmaschine geschoben, fixiert, ans Prüfsystem angebunden – und ist fortan einsatzbereit. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um eine Zugprüfmaschine, ein Pendelschlagwerk oder eine andere Prüfmaschine handelt: Nach einer überaus kurzen Anlernphase ist der Verbund aus Smart Robot und Prüfmaschine in der Lage selbstständig Serienprüfungen abzarbeiten.

Das System ist in die Prüfsoftware testXpert III und die Automatisierungssoftware autoEdition 3 von ZwickRoell voll integriert. Und die Programmierung erfolgt direkt aus dem Prüfprogramm heraus. Dabei lassen sich die Achsen des Roboters frei schalten, um ihn per Hand zu führen. Durch diese einfache Bedienung ist es ein Leichtes dem Roboter kurzfristig wechselnde Aufgaben zu übertragen: Mittags 30 Kerbschlagbiegeversuche an Kunststoffproben, am nächsten Morgen 10 Zugversuche an PE oder PP, gefolgt von nachmittags 50 Druckversuchen an Elastomerproben – die Möglichkeiten sind vielfältig. Darin liegt auch die Zukunftssicherheit des Systems. Selbst wenn zurzeit noch keine wechselnden Serienprüfungen anstehen, lässt sich eine Prüflösung auf Basis des roboTest N Systems realisieren, um bei Bedarf in kürzester Zeit eine andere Aufgabe zu übernehmen.

Fazit

Die Einführung automatisierter Prüfsysteme in Kunststoffprüflaboren leistet einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Effizienz und zur Zukunftssicherung der Materialforschung. Das roboTest Baukastensystem kann hierfür eine entscheidende Rolle übernehmen, denn es ermöglicht eine flexible Anpassung an die Anforderungen verschiedener Prüfseriengrößen, von Groß- bis zu Kleinstserien. Einerseits erhöht es die Präzision und Wiederholbarkeit der Prüfergebnisse, andererseits bietet es eine effiziente Lösung zur Entlastung des Laborpersonals von routinemäßigen, zeitaufwändigen Aufgaben.

Weniger

CO₂

Ein grüner Fußabdruck für Ihr Prüflabor – CO₂ sparen durch Modernisierung

Zwick / Roell

www.zwickroell.com/nachhaltigkeit

THERMISCHE ANALYSE IN HOCHGESCHWINDIGKEIT

Erkennung mangelhafter Polymere – Zwei Polypropylene derselben Art, die erhebliche Unterschiede in ihren mechanischen Eigenschaften aufwiesen, wurden mithilfe der DSC und der Flash DSC untersucht. Dank ihrer besonders schnellen Heizrate kann die Flash DSC die mechanischen Eigenschaften dieser beiden Materialien erkennen.

Bestimmte prozessinduzierte Effekte, wie z.B. das Schmelzverhalten bei der Produktion gebildeter Kristalle, können nur bei unterdrückten Reorganisationsprozessen, d.h. während des ersten Heizzyklus, mit dynamischer Differenzkalorimetrie (DSC) analysiert werden. Die Flash DSC unterdrückt diese Reorganisationsprozesse dank der besonders schnellen Heizraten.

DSC und Flash DSC im Vergleich

Zwei Polypropylene (PP) derselben Art, jedoch mit unterschiedlichen Verfahren hergestellt, wurden mit DSC und Flash DSC untersucht, um das Schmelzverhalten von Kristallen besser zu verstehen. In **Abb. 1** ist das Ergebnis dargestellt, das mit der herkömmlichen DSC bei 10 K/Min. erzielt wurde.

Die Messkurven zeigen, dass sich die Proben mit diesen Messungen nicht voneinander unterscheiden lassen. **Abbildung 2** zeigt die sich durch Flash DSC ergebende Messkurven der ersten Heizläufe der beiden Proben bei 100 K/Sek. an. Die Kurven weisen deutliche Unterschiede auf. Die Spitzentemperatur, ab dem das Material schmilzt, unterscheidet sich um ca. 8 K. Somit besteht Probe A (Masse ca. 50 ng) aus stabileren und größeren Kristalliten,

die bei höheren Temperaturen als Probe B (Masse ca. 80 ng) schmelzen.

Bei Flash DSC-Messungen konnten die beiden Materialien im Vergleich zur herkömmlichen DSC-Messung deutlich unterschieden werden. Dies ist der besonders schnellen Heizrate der Flash DSC zu verdanken, die um das 625-fache schneller als bei der herkömmlichen DSC war. Dadurch wurde die Reorganisation in der Probe während des Schmelzvorgangs verhindert.

Polymer-Phasenübergänge

Bei 1.000 Kelvin pro Sekunde gemessen

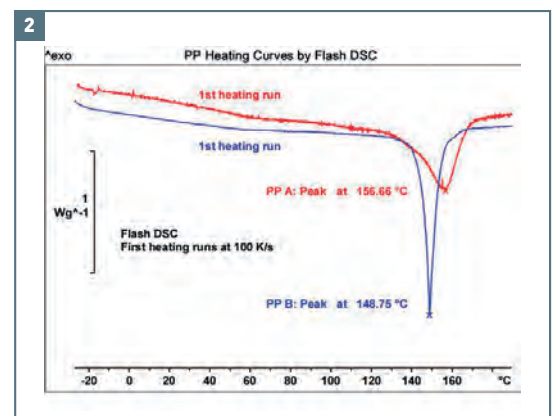
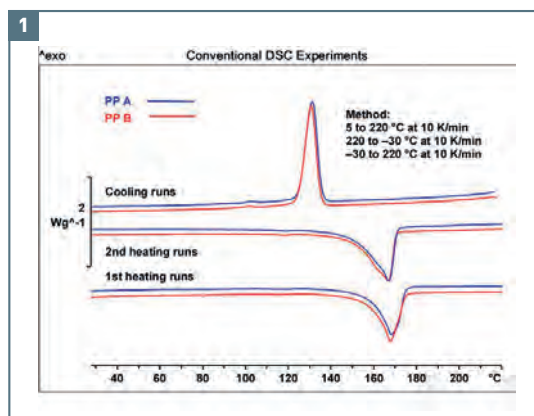
Breit gefächerte Heiz- und Abkühlraten sind entscheidend bei der Untersuchung metastabiler Zustände und zeitabhängiger Übergänge von Polymeren. Die hohen Abkühl- und Heizraten des Thermal Excellence Flash DSC ermöglichen die Untersuchung von Materialstrukturen und Prozessen, die bislang nicht messbar waren.

Heiz- und Abkühlraten

In der Vergangenheit verwendete man herkömmliche DSC-Techniken zur Polymeranalytik. Schnell er-

Abb. 1:
Messkurve mit herkömmlicher DSC bei 10 K/Min.

Abb. 2:
Messkurve mit Flash DSC bei 100 K/Sek.



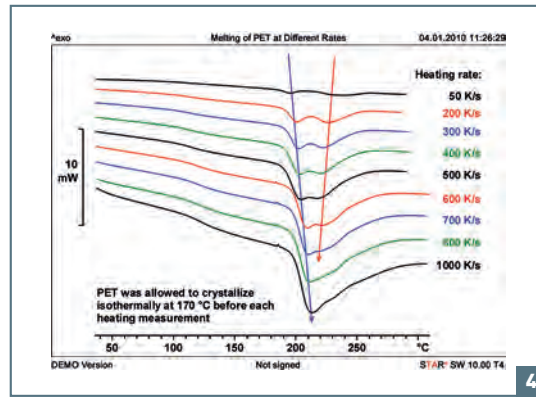
KONTAKT

**METTLER-TOLEDO
GMBH**

Ockerweg 3
35396 Gießen
Tel.: 0641 5070
www.mt.com/ta-fdsc



3



4

Abb. 3: Der Hochgeschwindigkeitssensor im Flash DSC unterdrückt die Reorganisationsprozesse während des ersten Heizzyklus.

Abb. 4: Mit dem Flash DSC gemessene Kurven.

kannte man aber, dass höhere Heiz- und Kühlraten erforderlich waren. Einige Forscher versuchten deshalb, selbst Geräte zu entwickeln, um Einblicke in die interessanten Kristallisations- und Reorganisationsprozesse zu erhalten. Um das Materialverhalten während der Verarbeitung zu verstehen, sind Abkühlraten bis 1000 K/s erforderlich. METTLER TOLEDO konnte mit der Entwicklung eines neuartigen DSC-Geräts auf Basis eines Sensors mit MEMSChip (Mikro-Elektro-Mechanische Systeme: MEMS) diese Technik für alle Forscher verfügbar machen.

Die drei interessantesten Anwendungsbereiche:

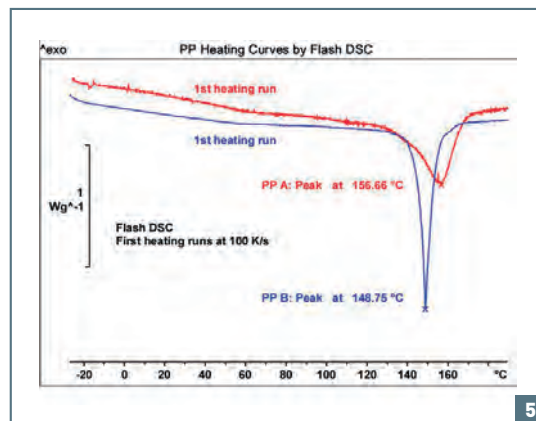
- Unterdrückung zeitabhängiger Prozesse bei der Erwärmung, oder Verlagerung in höhere Temperaturbereiche
- Simulation von Prozessen in der Kunststoffverarbeitung, insbesondere der Kristallisation in der Gussform während des Abkühlens
- Untersuchung schneller, isothermer Reaktionen und der Kristallisationskinetik

Reorganisation von PET als Anwendungsbeispiel

Nach der isothermen Kristallisation bei 170 °C wurde PET mit Heizraten zwischen 0,2 K/s und 1000 K/s erwärmt (Abb. 4). Die Flash DSC-Kurven zeigen den Glasübergang und den ersten und zweiten Schmelz-Peak. Die Temperatur des ersten Schmelz-Peaks erhöht sich mit zunehmender Heizrate. Der zweite Peak kennzeichnet das Schmelzen der während der Erwärmung durch Reorganisation gewachsenen Kristalle. Abbildung 5 zeigt: Die Änderung ist proportional zur Wurzel der Heizrate (blaue Kurve). Dies ist ein Indikator für das Schmelzen ursprünglicher Kristalle.

Die Temperatur des zweiten Peaks verringert sich proportional zum Logarithmus der Heizrate (Abb. 5,

rote Kurve). Oberhalb von 1000 K/s findet keine Reorganisation statt. Die neue Technologie wird zweifellos das Wissen über komplexe Schmelz-, Kristallisations- und Reorganisationsprozesse erweitern und sich als wichtiges Tool für Wissenschaftler, Werkstoff- und Prozessingenieure erweisen.



5

Abb. 5: Temperaturen der Schmelz-Peaks von PET, gemessen nach fünfminütiger Kristallisation bei 170 °C (blau: unterer Temperatur-Peak, rot: oberer Temperatur-Peak).



6

Abb. 6: Flash DSC

HERAUSFORDERUNGEN UND MÖGLICHKEITEN IM DUROPLAST-SPRITZGUSS

Dr.-Ing. Ngoc Tu Tran, Nils Schmeißer, M. Sc., André Hüllmann, M. Sc. und Prof. Dr.-Ing. Andreas Seefried,
Technische Universität Chemnitz (TUC) / Professur Kunststofftechnik

Neben zahlreichen positiven Materialeigenschaften duroplastischer Formmassen, wie z.B. einer geringen Kriechneigung und einer guten Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit, steht mit dem Duroplast-Spritzguss ein vollautomatisierbares und energieeffizientes Fertigungsverfahren zur Verfügung, welches sich durch kurze Zykluszeiten, eine endkonturnahe Bauteilfertigung und eine hohe Reproduzierbarkeit auszeichnet. Anwendung findet dieses Verfahren z.B. bei Automobilprodukten und elektrischen Geräten, wie Ölpumpen und Bremskolben [1, 2].

Trotz der potenziellen Kostenvorteile, bedingt durch eine ressourcen- und energieeffiziente Herstellung und Verarbeitung, findet der Duroplast-Spritzguss in Bezug auf technische Produkte und in Serienanwendungen aktuell vergleichsweise geringe Anwendung [3]. Den Grund hierfür stellt das Fließ-Härtungsverhalten der genannten Materialien dar. Eine während der Verarbeitung fortschreitende Vernetzung führt zu einer ständigen Änderung der rheologischen Eigenschaften und damit zu einem komplexen Materialverhalten. Formfüllung und Strukturbildung können somit nur bedingt vorhergesagt werden. Aus diesem Zusammenhang ergeben sich unterschiedliche Forschungsansätze im Bereich der Duroplastverarbeitung, welche derzeit an der Technischen Universität Chemnitz verfolgt werden.

Aktuelle Forschungsaktivitäten

Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) sowie in Kooperation mit der Industrie werden an der Technischen Universität Chemnitz die Schwerpunkte Prozesssimulation, Verarbeitung und Abfallreduktion intensiv bearbeitet. Ausgewählte Themen werden nachfolgend vorgestellt.

Simulation des Duroplast-Spritzgießens (DFG-Forschungsvorhaben GE 627/18 - 1)

Motivation

Aktuelle Softwarelösungen ermöglichen bereits die Simulation des Spritzgießprozesses von duro-

plastischen Formmassen. Jedoch gibt es oft eine unzureichende Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität, insbesondere bei der Formfüllung und Faserorientierung [2]. Zudem lassen sich die in der Praxis auftretenden Strömungsformen wie Quellströmung, Block-Scherströmung und die Bildung eines unverdichteten Bereichs nur eingeschränkt mathematisch modellieren. Die begrenzte Vorhersagegenauigkeit bei der Formfüll- und Strukturbildungssimulation hemmt die Entwicklung und den Einsatz von spritzgegossenen Bauteilen aus duroplastischen Formmassen, da diese in der Produktion zu Fehlstellen, Luftpfeifen und ungleichmäßiger Werkzeugfüllung führen können und damit zur Erhöhung von Ausschuss und der Produktionskosten beitragen.

Um die Vorhersagequalität der Simulation zu verbessern, ist es notwendig, Materialmodellierungstechniken zu entwickeln, die es dem Anwender ermöglichen, experimentell ermittelte Messwerte in relevante Informationen für die Simulation zu transformieren.

Untersuchungsansatz

Für die Spritzgießsimulation werden für jede Formmasse eigene Materialdaten benötigt [4]. Dazu erfolgt zunächst die rheologische Charakterisierung der Formmassen mit einem Platte/Platte-Rheometer. Die Vernetzungskinetik und die Wärmekapazität der ausgewählten Materialien wird dazu bei verschiedenen Heizraten mittels DSC gemessen. Darüber hinaus wird die Wärmeleitfähigkeit der Spritzgießmassen bei isothermen Temperaturen bestimmt. Die gemessenen rheologischen und thermischen Eigenschaften dienen als Input-Daten für

den Modellierungsprozess. Das Tool „Thermoset-TU-Fitting“ wurde an der Professur Kunststofftechnik entwickelt, um aus den gemessenen Werten ein Datenblatt für den Simulationsprozess zu erstellen.

Abb. 1 zeigt beispielhaft für eine Phenolharz-Formmasse, dass alle betrachteten Modelle die experimentellen Daten gut beschreiben. Die Viskosität wird dabei bei niedrigen Temperaturen von 90°C bis 100°C mit dem Herschel-Bulkley-Modell am akkuratesten modelliert und die Vernetzungskinetik durch das Kamal-Modell [5, 6].

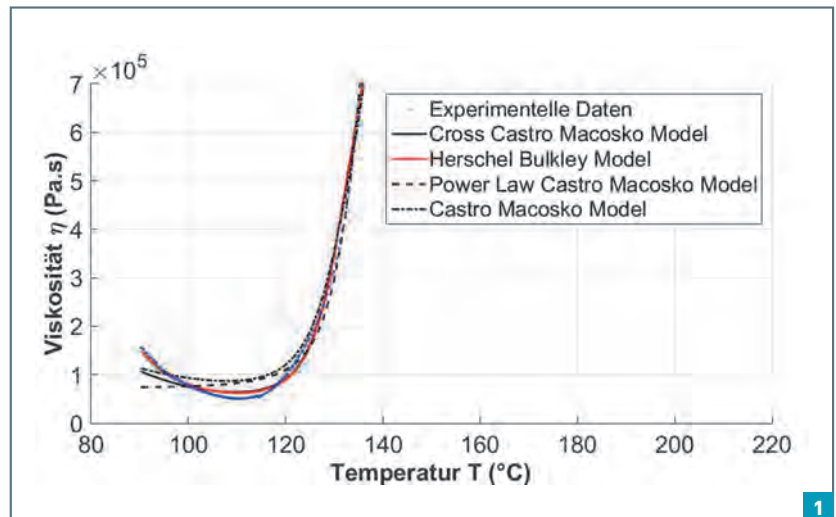
Ausblick

Die erhaltenen Simulationsergebnisse des Formfüllverhaltens zeigen vor allem, dass die Erstellung geeigneter Materialmodelle zwar schwierig und nur mit hohem Aufwand möglich ist, jedoch notwendig bleibt. Das entwickelte Fitting Tool ermöglicht den Übertrag der gemessenen Materialdaten in die notwendigen Input-Daten der Simulations-Software und trägt zur Verbesserung der Simulationsgenauigkeit und damit zu einer effizienteren Bauteil- und Prozessauslegung bei. Trotz allem herrscht im Vergleich mit den Thermoplasten weiterhin ein erhebliches Defizit insbesondere in Bezug auf die resultierende Faserorientierung und damit auf die Strukturbildungssimulation.

Duroplast-Metall-Verbunde (BMBF-Forschungsvorhaben 03XP0268F)

Motivation

Die Kombination von Duroplasten mit Metallen in Verbundbauteilen stellt hohe Anforderungen an die Haftung und Kompatibilität der beiden Materialien. Da durch den Verbund die vorteilhaften Eigenschaften der Einzelkomponenten kombiniert werden können, ergeben sich Möglichkeiten für eine Vielzahl industrieller Anwendungen, insbesondere in Bereichen, in denen hohe Leistungsfähigkeit, Langlebigkeit und geringes Gewicht gefordert sind. Unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten und Aushärtebedingungen können, insbesondere bei der Umspritzung zylindrischer Bauteile, zu Spannungen und Delamination führen, was die Bauteilqualität bzw. die generelle Einsetzbarkeit und die Langlebigkeit beeinträchtigt. Die erfolgreiche Kombination der Werkstoffgruppen im Spritzgießprozess und somit die Nutzung der Potenziale bezüglich Leichtbau sowie energie- und ressourceneffizienter Fertigung setzt die Ermittlung weiterer Werkstoffkennwerte voraus. Eine Möglichkeit zur Ermittlung dieser Werte wird folgend vorgestellt.



1

Untersuchungsansatz

Für die Untersuchung des Einflusses der Materialschwindung auf die Verbundfestigkeit von Duroplast-Metall-Verbindungen werden Rohreinleger (Abb. 2) genutzt. Diese besitzen eine Nut im unteren Bereich, welche die Positionierung in der Auswerferseite ermöglicht. Eine Aussparung in der Düsenenseite dient zur Fixierung des Einlegers während des Prozesses. An der Geometrie dieser Komponente befinden sich im Abstand von 45° halbkreisförmige Formschlüsselemente zur Drehmomentaufnahme für die folgende Torsionsprüfung. Mit Hilfe eines weiteren Werkzeugeinsatzes kann die Dicke der Kunststoffkomponente von 10 mm auf 1 mm verringert werden. Neben dem Einfluss der Dicke der Kunststoffkomponente auf die Flächenpressung, kann damit ebenfalls die generelle Machbarkeit zur Herstellung dünnwandiger, rotationssymmetrischer Duroplast Metall Hybridbauteile im Spritzguss untersucht werden.

Der Rohrprobekörper (Abb. 2) wurde mit der Duroplast-Formmasse PF1110 der Fa. Bakelite umspritzt.

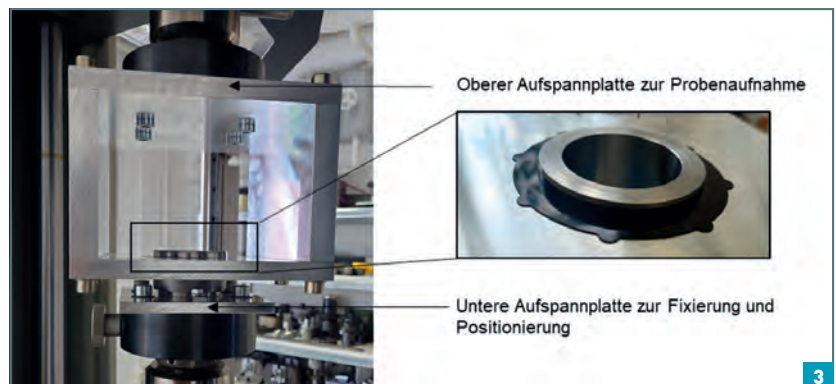
Abb. 1:
Material: Vyncolit X655;
Bewertung verschiedener
Viskositätsmodelle



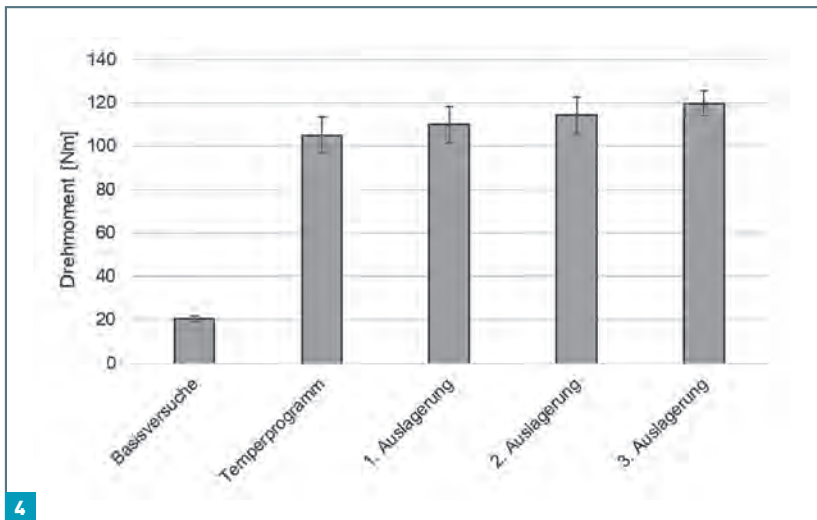
2

Abb. 2:
Rohrprobekörper
(16MnCr5), Da = 70 mm,
Di = 50mm, 10 mm Kunst-
stoffkomponente

Abb. 3:
Versuchsaufbau
Torsionsprüfung



3



4

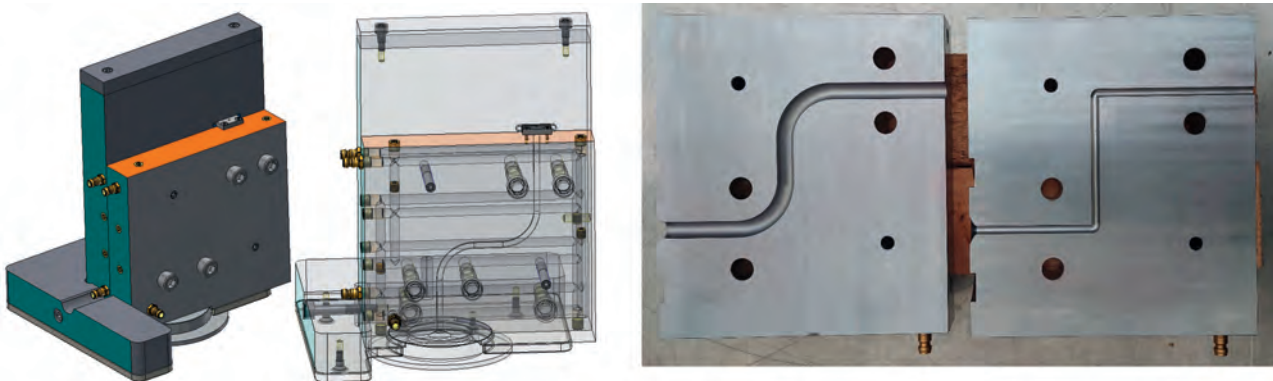
Abb. 4: Einfluss des Temperprogramms und der Auslagerungszyklen auf das gemessene Drehmoment; verwendetes Material: PF1110

Für die Probekörperherstellung wurde die Spritzgießmaschine KM160-CX der Fa. KraussMaffei mit Duroplastplastifizierung genutzt. Die umspritzten Prüfkörper, wurden unter definierten Bedingungen getempert und anschließend dreimal für 4 Stunden bei 150 °C ausgelagert. Alle Torsionsversuche wurden auf einer Zwick/Roell Z250 durchgeführt (Abb. 3).

Die Ergebnisse (Abb. 4) zeigen, dass auch nach dem Tempern noch temperaturbedingte Änderungen des Materialverhaltens auftreten. Das leicht ansteigende Drehmoment deutet darauf hin, dass trotz des Temperns jeder weitere Temperaturzyklus zu einer fortschreitenden Vernetzung und damit zu einer reaktionsbedingten Schwindung führt. Dieses Verhalten ist abhängig vom verwendeten Duroplast und Füllstoffanteil und kann durch die Materialrezeptur angepasst werden.

Abb. 5: (a): Kaltkanalsysteme als Werkzeugeinsätze für Machbarkeitsuntersuchungen; (b): Zusätzliche Werkzeugeinsätze zur Untersuchung verschiedener Fließkanalgeometrien und -querschnitte

5



Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, dass die Herstellung von Duroplast-Metall-Verbunden mittels Spritzgießverfahren möglich ist. Im Rahmen des Projekts wurde dies durch die Herstellung einer Demonstratorwelle mit angespritzter Nabe für den Einsatz in Elektromotoren grundsätzlich nachgewiesen. Dabei können die notwendigen Drehmomente allein durch das Aufschrumpfen des Duroplasten ohne konstruktive Hinterschneidungen erreicht werden. Weiterhin bietet die Materialkombination die Möglichkeit einer Gewichtsreduzierung gegenüber rein metallischen Konstruktionen.

Abfallfreier Duroplastspritzguss (DBU-Forschungsvorhaben 38140/01)

Motivation

Das Recycling von Duroplasten ist aufgrund ihrer irreversiblen Vernetzung problematisch. Während thermoplastische Kunststoffe durch Erwärmen und Schmelzen wiederverwendet werden können, erfordern Duroplaste spezialisierte chemische oder mechanische Recyclingverfahren, die oft ineffizient und kostenintensiv sind. Dies stellt eine Herausforderung für die Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit des Duroplast-Spritzgusses dar.

Das Forschungsprojekt zielt darauf ab, ein Produktionsverfahren zu entwickeln, das für die Massenproduktion duroplastischer Bauteile im Spritzguss geeignet ist und keinen Materialverlust verursacht. Der Kern des Entwicklungsansatzes liegt in einer innovativen Werkzeugkonstruktion, die auf einem Kaltkanalsystem basiert. Dieses System verhindert weitgehend die Aushärtung des Materials in den

Angusskanälen und ermöglicht so eine Fertigung ohne Angussabfälle.

Untersuchungsansatz

Um den Einfluss von Verarbeitungsparametern wie Einspritzgeschwindigkeit und Werkzeugtemperatur sowie der Werkzeuggeometrie auf das Vernetzungsverhalten hochgefüllter duroplastischer Formmassen im Anguss zu untersuchen, wurde ein Werkzeug mit unterschiedlichen Fließkanalgeometrien und Fließkanalquerschnitten entwickelt (Abb. 5).

Die Spritzgießversuche wurden an einer Krauss Maffei KM160-CX durchgeführt. Die Werkzeugtemperatur wurde konstant bei 130°C gehalten und dabei die Einspritzgeschwindigkeit sowie die Kühlzeit (Verweilzeit im Kaltkanal) von 18 bis 36 s variiert. Der Einfluss der Werkzeugtemperatur, Scherung, Kühlzeit, Geometrie und Querschnitt der Kühlkanäle auf das Fließ- und Vernetzungsverhalten des verwendeten Duroplastmaterials (Urochem Moulding Compound 136 von Bi-qem) wurde mittels DSC und Brabender Messkneteter charakterisiert. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass bei geeigneter Parameterwahl ein Aushärten im Kaltkanal verhindert werden kann und das Material noch fließfähig vorliegt.

Ausblick

Basierend auf den entwickelten unterschiedlichen Fließkanalgeometrien und deren Einfluss auf das Formfüllverhalten von Duroplast-Spritzgießmassen wird derzeit ein neuartiges Kaltkanalsystem inklusive Kaltkanaldüse zur Herstellung von Duroplast-Spritzgießbauteilen ohne Materialverlust konstruiert und ausgelegt.

Zusammenfassung und Ausblick

Wie in der gesamten Kunststoffindustrie wird auch im Bereich der Duroplaste das Thema Nachhaltigkeit weiter an Bedeutung gewinnen. Neben der Weiterentwicklung chemischer und mechanischer Recyclingverfahren stellen neue Materialentwicklungen, Leichtbautechnologien und die Optimierung bestehender Produktionsprozesse weitere Ansätze zur Lösung dieser Problematik dar. Die im Rahmen dieses Beitrags vorgestellten Forschungsprojekte zur Optimierung der Prozesssimulation, zur Herstellung von Duroplast-Metall-Verbunden und zum abfallfreien Duroplast-Spritzgießen greifen dies auf und zeigen mögliche Potenziale zur Verringerung der Umweltbelastung durch die Duroplastindustrie, insbesondere in Bezug auf Konstruktion und Produktion, auf.

Danksagung

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung des BMBF, DBU und der DFG. Darüber hinaus möchten wir uns herzlich bei den Industriepartnern bedanken.

LITERATUR

1. E. Bittmann, „Reaktionsharze,“ Kunststoffe, pp. 212-217, 2008.
2. N. Schmeißer, M. Gehde, „Investigation of the Influence of Surface Pretreatment on the Interfacial Adhesion of Thermoset-Metal-Composites Produced in the Injection Molding Process,“ AIP Conf. Proc. 2884, 2023.
3. M. Höer, Einfluss der Material- und Verarbeitungseigenschaften von Phenolharzformmassen auf die Qualität spritzgegossener Bauteile, Chemnitz: Technische Universität Chemnitz, 2014.
4. N. T. Tran, M. Gehde, „Creating material data for thermoset injection molding simulation process,“ Polymer Testing, Bd. 73, pp. 284-292, 2019.
5. N. T. Tran, M. Gehde, „Modelling of rheological and thermal properties for reactive injection molding simulation process,“ AIP Conf. Proc. 2884, pp. 110001-1-110001-5, <https://doi.org/10.1063/5.0168276>, 2023.
6. N. T. Tran, A. Seefried, M. Gehde, „Flow Disturbance Characterization of Highly Filled Thermoset Injection Molding Compounds behind an Obstacle and in a Spiral Flow Part,“ Polymers, Nr. 15(14), 2984; <https://doi.org/10.3390/polym15142984>, 2023.

KONTAKT

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ (TUC)

Professur Kunststofftechnik

Dr.-Ing. Ngoc Tu Tran

Reichenhainer Straße 70, D-09126 Chemnitz

Tel.: +49 (0)371 531-37510

ngoc-tu.tran@mb.tu-chemnitz.de

www.kt-chemnitz.de

DRESSLER GROUP: DER ONE STOP-SHOP FÜR KUNSTSTOFFPULVER FÜR JEDEN BEDARF

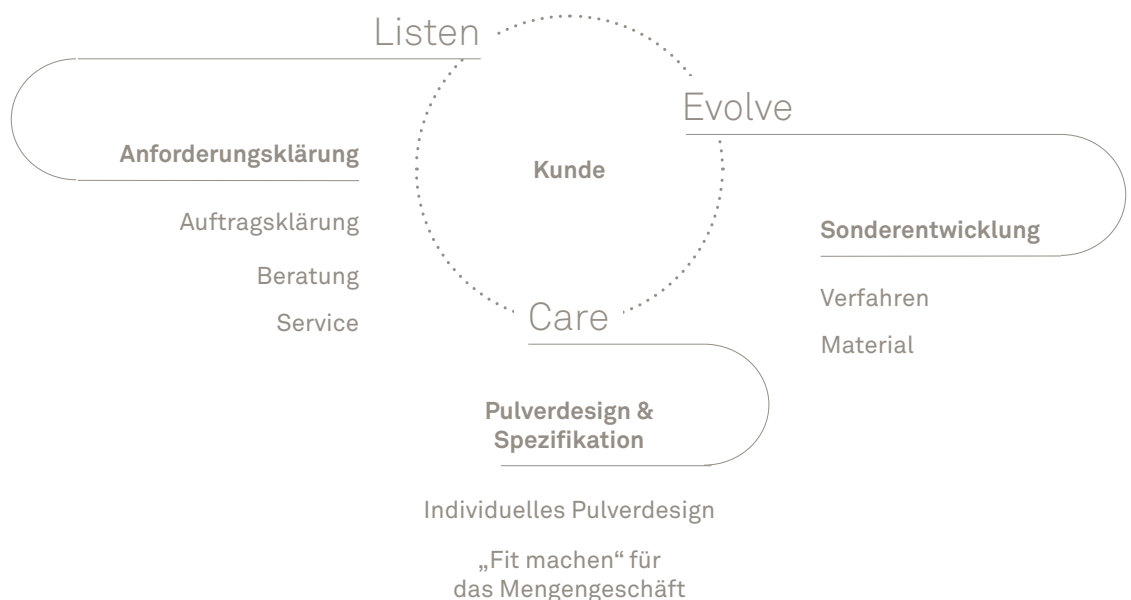
Anspruchsvoll war die Kunststoffbranche schon immer – aber noch nie so wie jetzt. Nicht nur wachsen die Anforderungen der Kunden immer mehr, auch Standards und Regulierungen werden immer strenger. Einerseits zählt nur höchste Qualität, andererseits wird der Markt immer preissensibler – ein unmöglicher Spagat für einen „einfachen Vermahler“. Der aber war die Dressler Group (DG) ohnehin nie. Denn seit jeher ist die DG langfristiger, von Anfang an eingebundener Systempartner und Problemlöser.

Diese Integration hat für beide Seiten nur Vorteile: Die DG kann sich vom Start weg voll auf den Kunden und seinen speziellen Bedarf fokussieren – und dabei auf jahrzehntelanges theoretisches, praktisches und umfassend dokumentiertes Know-how zurückgreifen. Der Kunde kann sich dabei darauf verlassen, dass er auf kürzestem Weg genau das Pulver kommt, das er braucht. Und beide Partner tragen damit dem immer wichtiger werdenden – und oft auch schon mit den entsprechenden Nachweisen eingeforderten – Nachhaltigkeitsgedanken entlang der gesamten Wertschöpfungskette Rech-

nung. Denn die Dressler-Art der Pulverentwicklung ist maximal effizient in puncto Zeit, Kosten, Material, Energie und Ressourcen. So erfüllt die DG ihre Vision „Always the right powder for you!“ täglich mit Leben.

Auf ein neues Level wird die absolute Kundenzentrierung durch den DG Campus gehoben. Der digitale Campus ist ein Kernstück der von Grund auf erneuerten Website und ruht auf drei Säulen: Wissen, Dialog und Service. Unter „Wissen“ finden Leser beispielsweise Best-Practice-Beispiele, die bisheri-

„Höchste Qualität wird von unseren Kunden vorausgesetzt. Und mit den Säulen Care und Evolve können wir diese Qualität auch für jeden konkreten Bedarf und jede Menge skalieren – optional mit auf einen Klick zubuchbaren Paketen. Dank unserer lückenlosen, auditsicheren Dokumentation können wir auch jederzeit in jeder Menge nachfertigen, von grammweise bis zum industriellen Maßstab. Und alles bei identischer batch-to-batch-Qualität.“

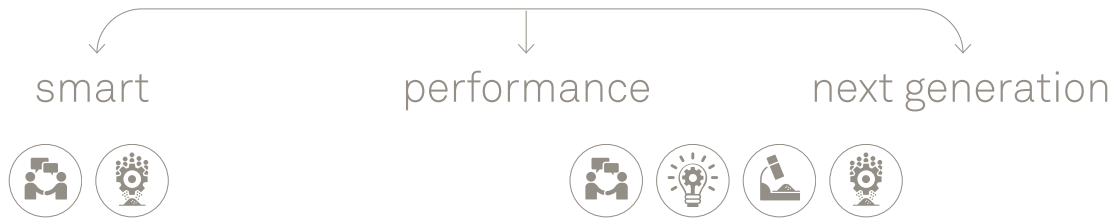


KONTAKT

DRESSLER GROUP GMBH

Christian Manteuffel
Am Hambuch 10
D-53340 Meckenheim
Tel.: +49 (0)2225 9204-0
Manteuffel@Dressler-Group.com
www.dressler-group.com

Kundenklassifizierung (bedarfszentriertes Angebot)



ge Problemlösungen und Innovationen illustrieren. „Dialog“ bedeutet einen interaktiven Austausch mit der Community, etwa über neue Verfahren, neue Materialien, Regulierung oder sonst alles, was die Branche bewegt. Und „Service“ schließlich bietet Usern etwa Schulungsvideos, bestimmte Nachhaltigkeitsnachweise oder Branchentermine – insbesondere solche, auf denen wir Kunden und Interessenten unter dem Motto „Meet Your DG Experts“ Rede und Antwort stehen. Denn bei aller Digitalisierung und automatisierten Prozessen sind wir als mittelständisches Familienunternehmen der Überzeugung: Es geht einfach nichts über den persönlichen Kontakt, mit einem tiefen Blick in die Augen und einem verbindlichen Handschlag.

Unsere neue Website – Entdecken Sie auf www.dressler-group.com alles zum

Unternehmen

Verfahren, Standards, Märkte, Projekte, Trend, Partnerschaften, Branchentermine, Meet Your DG-Expert

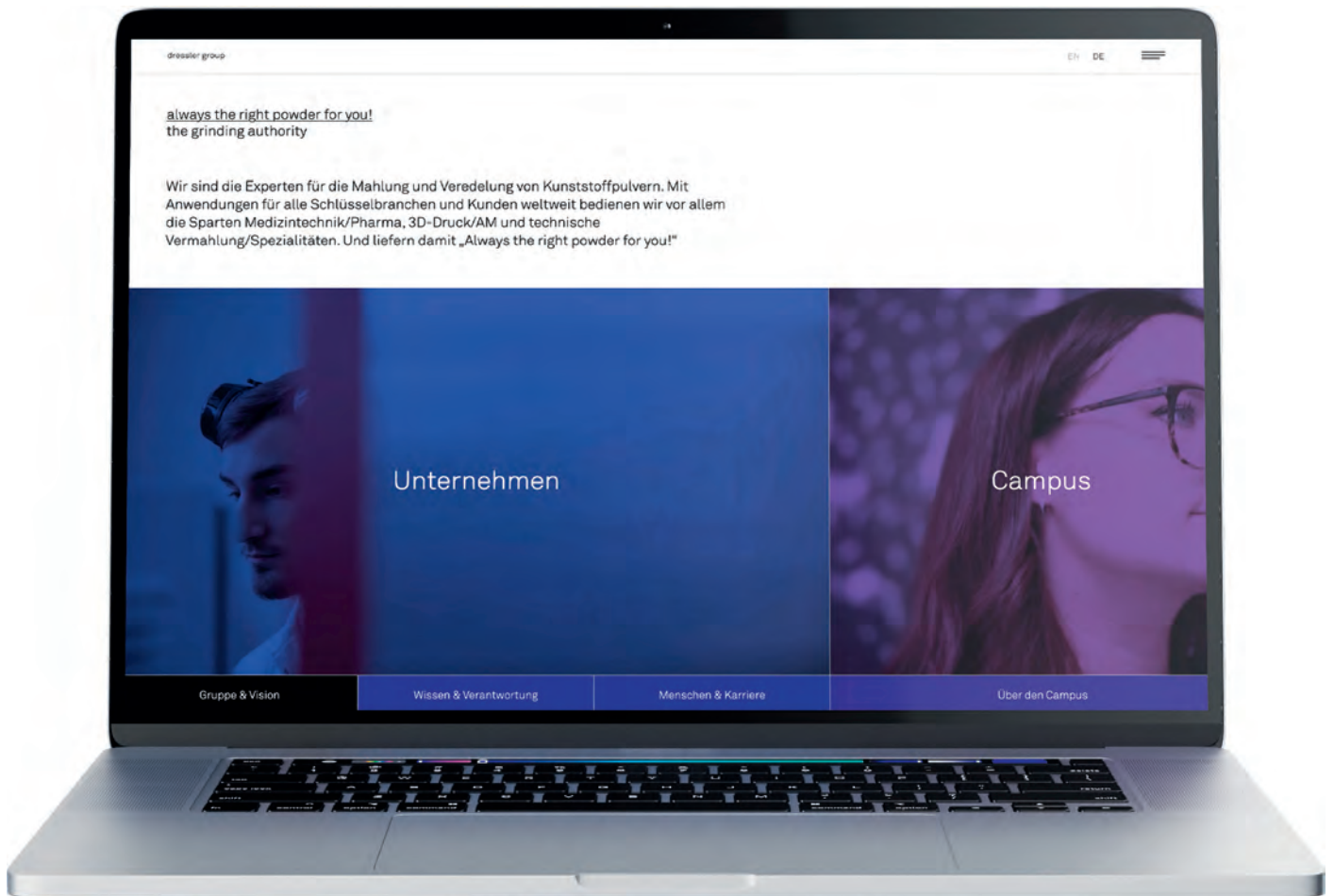
Campus

Wissen: DG als Missing Link; Design-Produce-Recycle; Umfrageergebnisse

Service: Best Practice-Beispiele (Added Value); Kundenzentrierung (Listen-Care-Evolve); Nachhaltigkeit bei DG

Dialog: Umfragen; Interviews, Expertenstatements; Community

dressler group



EFFEKTIVE UND CHEMIEFREIE PROZESSWASSERBEHANDLUNG VON AQUAENERGY

Seit mehr als 16 Jahren entwickelt, produziert und vertreibt die aquaEnergy GmbH mit Sitz im oberfränkischen Forchheim aE PowerTubes (aEPT), also 100% Made in Germany. Die aE PowerTubes arbeiten effizient mit physikalischer Wirkweise in Anwendung der Frequenz-Impuls-Technologie. Diese Technologie reduziert nachweislich Biofouling, Korrosion, Kalk und Algen in wasserführenden Systemen. Die aEPT Behandlungseinheiten werden von DN25 bis DN60 mit einer Standardlänge von 385 mm und DN80FL mit einer Standardlänge von 810 mm produziert. Im Sortiment wurden 2 Sondermodelle in DN32L und DN50L entwickelt. Diese Sondermodelle haben doppelt lange Behandlungszeiten und somit auch doppelte Wirkzeit der Technologie. Generell werden die aEPT in wasserführenden Kreisläufen von 2 m³ bis 2.500 m³ eingesetzt. Die aEPT Behandlungseinheiten sind quasi wartungsfrei, unterliegen keinem Verschleiß und der Verbrauch liegt unter 100 Watt.



Abb. 1:
aE PowerTube DN80FL

Die Praxis zeigt, dass durch eine optimale, chemiefreie Wasserqualität in Temperier- und Versorgungssystemen die Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der Produktionsabläufe erhöht sowie der Werterhalt und die Verfügbarkeit der Produktionsanlagen sichergestellt. Eingesetzt werden kann das System in allen thermischen Prozessen, in denen Wasser als Energieträger eingesetzt wird u.a. in der Kunststoffbranche, Metallverarbeitung und Lebensmittelherstellung.

KONTAKT

aquaENERGY GMBH
Heike Schneider-Jenchen
Pfaffensee 3
D-91301 Forchheim
Tel.: +49 (0)9191 9609100
Tel.: +49 (0)151 61480044
jetzt@aquaenergy.de
www.aquaenergy.de

Best Practice: Anwendung des aE OrganicPure-Systems bei Weberit Plastics Technologies GmbH

Die Weberit Plastics Technologies GmbH ist ein mittelständisches, familiengeführtes Unternehmen in der Kunststoffverarbeitung, die Thermoplaste in den Verfahren Spritzguss, Extrusionsblasformen und Tauchformen verarbeitet. Die Einsatzgebiete reichen von technischen Komponenten für Fahr-

werk und Antrieb über Gehäuse, Abdeckungen und mechatronische Baugruppen bis hin zu Luftführungssystemen und Hohlkörpern.

Trübes Wasser in den Kühlsystemen – Korrosionsprobleme

Die Leistung des Kühlsystems muss verbessert und Ablagerungen beseitigt werden. Rost hat die Abgänge der Maschinen verengt, was den notwendigen Durchfluss zu den 36 Blasform- und 25 Spritzgießmaschinen einschränkt. Das Kühlsystem arbeitet mit einem Zweikreislauf, bestehend aus einem Hydraulikkreislauf und einem Werkzeugkreislauf. Das Rohrleitungsnetz besteht größtenteils aus einer PVC-Verrohrung, wobei einige Maschinenabgänge mit verzinkten Stahlrohrleitungen verrohrt sind. Im Werkzeugkreislauf war das Wasser gelblich gefärbt, stark trüb, sehr stark keimbelastet. Es wurden große Mengen an ölartigen Substanzen nachgewiesen, die starke Verkeimung des Wassers forcieren. Auch im Hydraulikkreislauf war das Wasser dunkelgelb gefärbt, sehr trüb und enthielt erhebliche Rostpartikel.

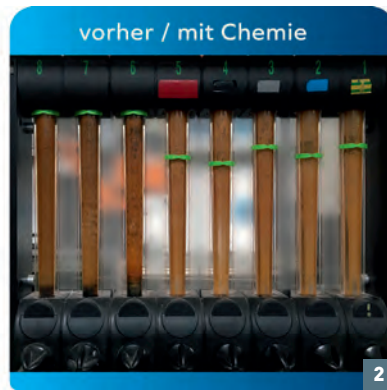
Installation des aE OrganicPure-Systems bei Weberit

Das gesamte Rohrleitungssystem sowie die Tanks der Hydraulik und Plattenwärmetauscher wurden gereinigt und mit frischem Wasser befüllt. Das Rohrleitungssystem wurde umgebaut, um Totleitungen zu eliminieren. An Rohrleitungen, die weiterhin

benötigt werden, aber an denen Maschinen nicht in Betrieb sind, wurden Bypassventile installiert. 2021 wurde im Werkzeug- und Hydraulikkreislauf jeweils ein aquaEnergy-System in den bestehenden Bypass installiert und auf die Zugabe von Korrosionsinhibitoren und Bioziden verzichtet. In beiden wasserführenden Kühlkreisläufen bestand schon ein Bypass/Nebenstrom mit einer Pumpe und Hochschichtfilter.

Die Werkzeugkühlung hat ein Gesamtwasservolumen von 15 m³ und eine Pumpe mit 10 m³/h. Zwischen der vorhandenen Pumpe und dem Hochschichtfilter wurde von aquaEnergy die Behandlungseinheit aEPT DN32L installiert. Der Hydraulikkreislauf hat ein Volumen von 7 m³ Wasser. Im bestehenden Kreislauf mit einer Pumpe von 6 m³/h Förderleistung und dem Hochschichtfilter wurde von aquaEnergy eine kleinere Behandlungseinheit aEPT DN32 eingebaut. Zusätzlich wurde in beiden Nebenstromanlagen ein Vorfilter mit einem Filterbeutel mit 150 µm integriert, um den Hochschichtfilter zu entlasten.

Mit dem Einbau der aquaEnergy Technologie wurden die Dosierungspumpen von den Korrosionsinhibitoren und Bioziden abgestellt. Innerhalb eines Zeitraums von 2 Monaten sah man in der Wasserqualität schon signifikante Verbesserungen. „Seit den Umbaumaßnahmen und der Inbetriebnahme der aquaEnergy-Anlagen kontrollieren wir das Wasser regelmäßig und haben in beiden Systemen quasi Trinkwasserqualität und das ohne Chemie“, bestätigt Matthias Brenner, Leiter Instandhaltung & Energiemanagement.



Individuell angepasste Kundensysteme

Die Wirkung wurde ebenfalls in verschiedensten Systemen in der Kunststoffindustrie nachgewiesen. Dabei ließen sich Kosteneinsparungen für Korrosionsinhibitoren und Bioziden sowie Reinigungsaufwände und Instandhaltung realisieren. Ein Vorteil des aquaEnergy-Systems besteht darin, dass es nahtlos in bestehende Nebenstromanlagen und Bypässe integriert werden kann. In Zusammenarbeit mit unserem Fachhandelspartner vor Ort besteht zudem die Möglichkeit, neue Bypässe direkt an der Anlage zu planen und mit unserer fortschrittlichen Technologie und Filtration auszustatten.

Wir ersetzen seit 16 Jahren Chemikalien durch physikalische Wirkprinzipien und erzielen i.d.R. weit aus bessere Ergebnisse in der Wasserqualität und das ohne Chemie. 2021 wurde aquaEnergy GmbH ausgezeichnet als German Innovation Award Winner in der Kategorie Machines & Engineering.

Abb. 2 und 3:

Vorher mit Chemie (links),
nachher ohne Chemie
(rechts)

aquaEnergy. makes water flow again.

aquaEnergy - Ihre Lösung für eine makellose Wasserqualität! Wir eliminieren Biofilme, Korrosions- und Kalkablagerungen sowie Algen in Ihrem Wassersystem. Nachhaltig und effektiv.

Als Ihr verlässlicher Partner in der Wasserbehandlung setzen wir auf modernste Technologie. aquaEnergy ist nicht nur hochwirksam und

chemiefrei, sondern auch ein Garant für optimierte Prozesse, Umweltschutz und Kosteneffizienz.

Mit aquaEnergy setzen Sie auf Innovation **OHNE Chemie** - für sauberes Wasser und nachhaltigen Erfolg.



Korrosion



Biofilm



Kalk

aquaEnergy
makes water flow again

POLYMER MATERIALS FOR SUSTAINABLE FIBER APPLICATIONS

Markus Stommel^{1,2}, Michael Thomas Müller¹, Cindy Elschner¹, Regine Boldt¹, Andreas Leuteritz¹, Christina Scheffler^{1,3} und Ines Kühnert¹, Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. (IPF) / Institut für Polymerwerkstoffe (IPW)¹, Professur Polymerwerkstoffe² / Professur für Polymere im Bauwesen³ an der Technischen Universität Dresden

In diesem Beitrag werden ausgewählte Forschungsergebnisse angefangen von der Modifikation des Polymermaterials über die mengenmäßige Skalierung der Spinnbarkeit bis hin zu speziellen Anwendungseigenschaften der Fasern diskutiert. Aktuelle Anforderungen an Fasern im Hinblick auf nachhaltige textile Anwendungen und deren Recyclingfähigkeit sowie auf eine höhere Leistungsfähigkeit von Fasern in technischen Anwendungen liefern die Impulse für unsere Faserforschung.

Uns treiben Fragestellungen aus dem kompletten Lebenszyklus von Polymerwerkstoffen an – beginnend von deren Synthese, über die Aufbereitung, Konstruktion und Verarbeitung, sowie ihrem Einsatz bis hin zu ihrer Rückführung. Dabei erforschen wir gleichermaßen polymere Struktur-, Verbund- und Funktionswerkstoffe sowie polymere Werkstoffverbunde.

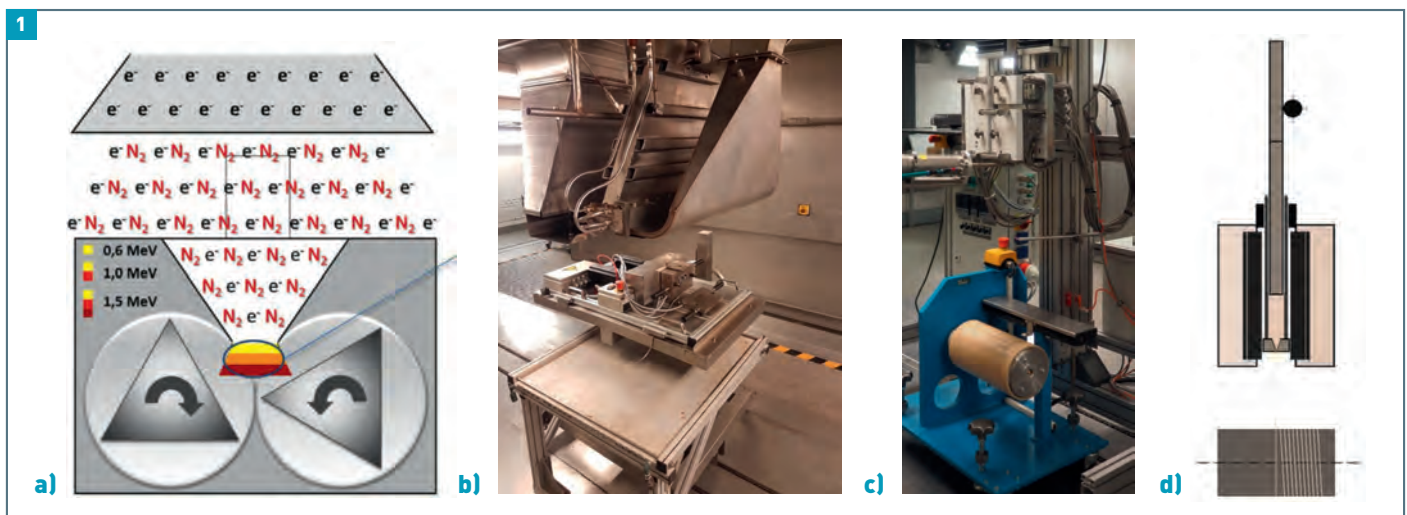
Die lange Tradition auf dem Gebiet der gezielten Polymermaterialentwicklung für die Schmelzspinn-technologie und verschiedene Faseranwendungen [1] wird insbesondere zur Verarbeitbarkeit neuer polymerer Werkstoffe im Schmelzspinnprozess und zu deren Morphologieentwicklung während der Filamentbildung erfolgreich in laufenden Forschungsprojekten fortgesetzt. Im Folgenden stellen vier unserer Forschungsgruppen ihre Arbeiten dazu vor.

Additivfreie elektroneninduzierte Modifikation

Dr. Michael Müller, mueller-michael@ipfdd.de

Die Anforderung an eine ausgeglichene Ökobilanz für thermoplastische Anwendungen generiert eine hohe Innovationstriebe, die zur Ablösung von bisherigen Polymeren durch nachhaltige Polymere, die biobasiert und/oder bioabbaubar sind, führen soll. Die am IPF entwickelte elektronen-induzierte reaktive Aufbereitung (Eira) verbessert die Ökobilanz um einen nachhaltigen Verarbeitungsschritt, bei dem keine Kompatibilisierungsadditive mehr benötigt werden [2, 3]. Die in die Schmelze eingebrachten Elektronen (Abb. 1) führen zu gezielten Veränderungen der inneren Polymerstruktur und diese bestimmt in der folgenden Formgebung weiterhin die Morphologiebildung (z.B. Kristallisa-

Abb. 1: Prinzip elektronen-induzierte reaktive Aufbereitung **a)**, Foto der Anlage im Elektronenstrahltechnikum **b)**, Schmelzspinnen von Monofilamenten mittels einer Kolbenspinnanlage (Foto **c)** und Prinzipskizze **d)**



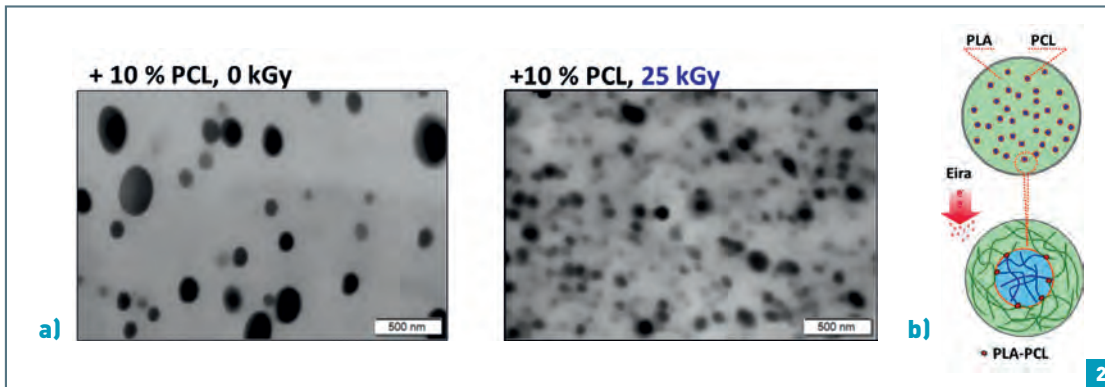


Abb. 2:

a) STEM-Aufnahmen von PLA/10% PCL Blends ohne (links) und mit (rechts) Elektronenmodifizierung, die in-situ erzeugte Blendphasenkompatibilisation resultiert in einer feiner dispergierten PCL-Phase; b) Skizze Kompatibilisierungsprinzip

tion). Dies ist ein großer Vorteil gegenüber einer klassischen chemisch-reaktiven Extrusion, bei der die Kompatibilisierungsreaktionen durch einen thermischen Zerfall von organischen Peroxiden initiiert werden. Die Erzeugung von Polymerradikalen mittels energiereicher Elektronen kann im Gegensatz dazu zeitlich und räumlich präzise und von der Temperatur unabhängig gesteuert werden (Abb. 1). Durch die Entkopplung von Stoff- und Wärmetransport ist eine chemische Polymerreaktion optimal steuerbar, wobei die zusätzliche räumliche Trennung des Reaktions- und Aufbereitungsvolumens den Einfluss von Scher- und Dehnspannungen auf die chemische Reaktion stark minimiert.

Die Werkstoffentwicklung eines biokompatiblen PLA/PCL Polymerblends, welches schmelzspinnbar zu medizinisch verwertbaren Fasern ist, wird höchst attraktiv, wenn sie z. B. für resorbierbare künstliche textile Kreuzband-Scaffolds angewandt werden können. Die von uns mit der Eira neu modifizierten PLA/PCL-Blendmischungen (90/10) weisen eine deutlich verbesserte Schmelzefestigkeit, eine erhöhte Kristallisationskinetik und eine um 25 % verbesserte Zähigkeit auf, was auf die in-situ erzeugten Verzweigungsstrukturen zwischen den Phasengrenzen zurückzuführen ist [4]. Die verbes-

serte Blendphasenkompatibilität zeigt sich nach dem Schmelzspinnprozess zu Monofilamentfasern in einer feiner dispergierten PCL-Phase (Abb. 2) in PLA und deutlich verbesserten Zugfestigkeitseigenschaften der Elektronen-modifizierten PLA/PCL-Fasern (Abb. 3; erhöhte Bruchdehnung und Streckgrenze) [5, 6]. Die Bruchdehnung von PLA/PCL-Blendmischungen (95/5) steigt im Vergleich zu nicht bestrahlten Fasern von ca. 225 % auf 310 % (take-up speed 500 m/min; 50 kGy) und bei typischen Faserwickelgeschwindigkeiten von ca. 75 % auf 175 %. (take-up speed 2.000 m/min; 50 kGy). Darüber hinaus zeigten alle Eira-modifizierten Mischungen eine gute Spinnbarkeit auf und die mit 25 kGy (take-up speed 2.000 m/min) modifizierten Blends wiesen eine homogene Filamentgeometrie bei gleichmäßiger Fadendurchmesser-Verteilung von $20,6 \pm 0,7 \mu\text{m}$ im Vergleich zu nicht bestrahlten Blends mit $21,3 \pm 7,1 \mu\text{m}$ auf. Die verbesserte Grenzflächenbindung und Kettenverschränkung zwischen PLA und dispergierter PCL-Phase kann für diese verbesserte Fasermorphologie verantwortlich sein.

Durch Einsatz der Eira ist es somit möglich, PLA-Faser mit PCL zäh zu modifizieren und es kann zum Beispiel die Zähigkeit von hoch gefüllten Fasern eingestellt werden.

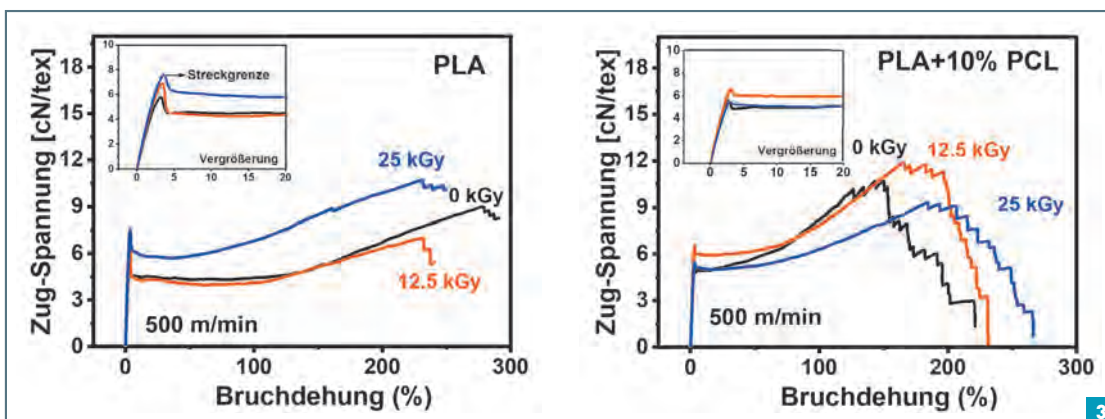
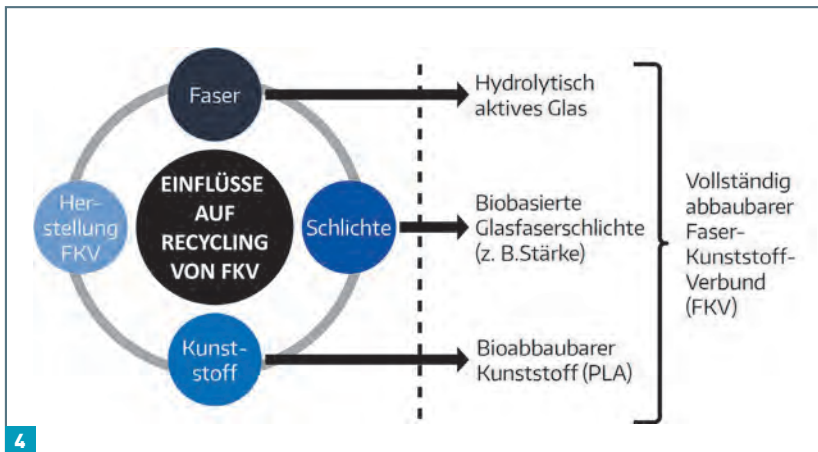


Abb. 3:

Zug-Dehnungs-Kennwerte (Fasern take-up speed 500 m/min) von elektronen-induziert aufbereitetem PLA (links) und PLA/PCL-Polymerblends (rechts)



4

Abb. 4: Komponenten vollständig abbaubarer Faser-Kunststoff-Verbunde.

Vollständig abbaubare Faser-Kunststoff-Verbunde
 Dr. Cindy Elschner, elschner@ipfdd.de

Im Fahrzeugbau, der Luft- und Raumfahrt und vor allem in der Windindustrie werden große Mengen an Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) eingesetzt. Materialentwicklungen im Bereich der Verbundwerkstoffe finden aber meist hinsichtlich der Aspekte wie Bauteilgestaltung, deren Herstellung und Performance und wenig mit Blick auf das Lebensende, also der Recyclingfähigkeit statt. Mit Recycling bzw. stofflicher Wiederverwertung sind Verfahren gemeint, bei dem die Abfallmaterialien für den ursprünglichen Zweck oder für andere Anwendungen aufbereitet werden. Alle Materialien und Prozessschritte bei der Herstellung von FKV wirken sich auf deren Recyclingfähigkeit aus (Abb. 4). Die besondere Schwierigkeit für das Recycling besteht darin, die Kunststoff-Matrix von den Verstärkungsfasern zu separieren. Kunststoffe lassen sich durch chemische (Solvolyse, Pyrolyse) oder lösemittelbasierte Verfahren von anorganischen Fasern trennen. Während es bei chemischen Recyclingverfahren zu einer Depolymerisation der Polymere zu Monomeren kommt, bleibt die Polymerstruktur bei den lösemittelbasier-

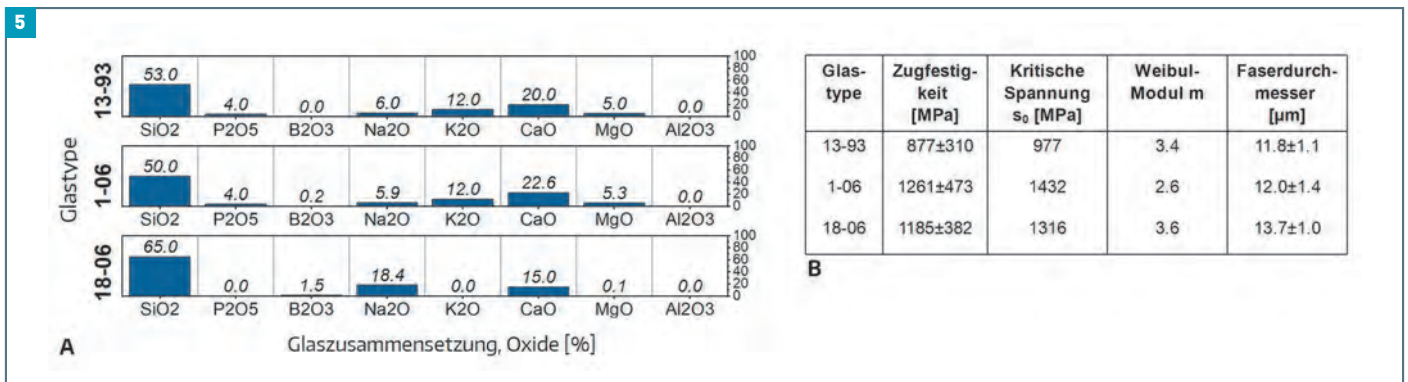
ten Verfahren erhalten, da die Polymere lediglich in Lösungsmitteln mit oder ohne vorheriger Abtrennung der Additive gelöst werden [7].

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes bioLEIV [8] mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und zwei KMU aus der Windindustriebranche wurden Fasern aus hydrolytisch aktiven Gläsern entwickelt, die sich für die Solvolyse eignen [9]. In Kombination mit biologisch abbaubaren Kunststoffen wie Polylactid (PLA) ergeben Verbunde auf Grundlage hydrolytisch aktiver Gläser vollständig abbaubare Werkstoffe. Diese Verbundmaterialien können sowohl für technische als auch medizinische Anwendungen einsetzbar sein.

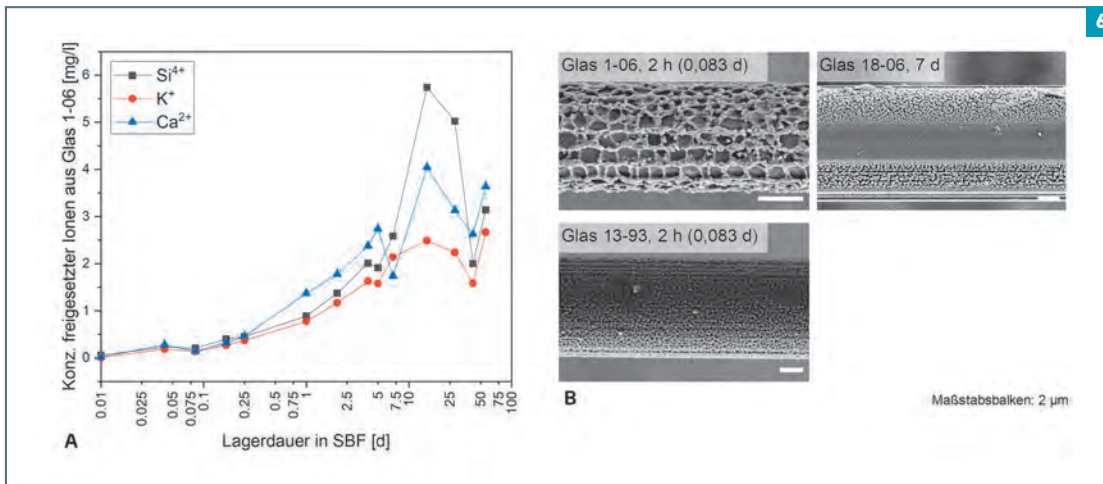
Hydrolytisch aktive Gläser sind keine neue Werkstoffgruppe, sondern werden seit langem genutzt. Das bekannteste Glas ist das sogenannte Wasserglas. Außerdem ist bekannt, dass hochalkalihalte Boro-silikatgläser eine sehr gute Löslichkeit aufweisen. Im medizinischen Bereich finden lösliche Gläser seit etwa 35 Jahren Einsatz in der Knochenregeneration. Diese Gläser sind in Gegenwart von Körpergewebe nicht inert, wie es die in der Medizin häufig verwendeten Metalle wie Titan oder Edelstahl sind, sondern wechselwirken positiv mit biologischen Geweben. Allerdings ist die Verarbeitung dieser Gläser zu Endlosfasern aufgrund ihrer hohen Kristallisationsneigung in der Schmelze herausfordernd.

Wie in Eichhorn et al. (2021) [9] beschrieben, wurde das Verarbeitungsverhalten ausgewählter Glaszusammensetzungen untersucht. Es konnten Endlosfasern gezogen, deren mechanische Eigenschaften bestimmt und die Glaskorrosion in Wasser und Salzlösung (simulated body fluid, SBF) untersucht werden. Abb. 5 gibt einen Überblick über drei hydrolytisch aktive Gläser und die mechanischen Eigenschaften der Glasfasern. Die prinzipielle Eignung der Glasfasern für die Solvolyse in wässrigen Lösungen wurde in einem Lagerungsversuch (Abb. 6) [9] über

Abb. 5: A) Gegenüberstellung der Zusammensetzung ausgewählter hydrolytisch aktiver Gläser. B) Mechanische Eigenschaften der entsprechenden endlosen Glasfasern (ohne Schlichte). Daten aus [9].



5



6

Abb. 6:

A) Zersetzung des Glases 1-06 in Salzlösung (SBF);
B) REM-Aufnahmen der Glasoberflächen nach beginnender Zersetzung in Salzlösung.

8 Wochen demonstriert. Bündel der Glasfasern wurden bei einer Temperatur von 37 °C sowohl in Wasser als auch in SBF gelagert und die Konzentration der aus dem Glasnetzwerk austretenden Ionen mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) analysiert. Das Abbauverhalten im zeitlichen Verlauf ist in **Abb. 6** anhand der Darstellung der in die Prüflösung freigesetzten Ionenkonzentration und rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen der Faseroberfläche beispielhaft illustriert.

Faser-Kunststoff-Verbunde, die auf hydrolytisch aktiven Fasern als Verstärkungsfasern basieren, können folglich mit kompostierbaren Kunststoffen als vollständig abbaubares Komposit-Material gestaltet werden.

Kontrollierte Wirkstofffreisetzung

Dr. Andreas Leuteritz, leuteritz@ipfdd.de

Durch blutsaugende Insekten übertragene Krankheiten wie Malaria gelten als die bedrohlichsten Infektionen mit etwa 500.000 Toten jeden Jahres. Neben Malaria werden zunehmend weitere Krankheiten wie Dengue, Gelbfieber, etc. registriert. Durch Erderwärmung breiten sich die übertragenden Insekten und damit die entsprechenden Krankheiten weit in nördliche Regionen aus. Allein in Bayern wurden in den ersten 5 Monaten 2024 bereits 199 Dengue-Fälle registriert. Repellents wie N,N-Diethyl-toluamid (DEET) bieten einen persönlichen Schutz vor Infektionskrankheiten mit begrenzter Dauer. Die Kosten von DEET und die Notwendigkeit der wiederholten Anwendung auf der Haut in hohen Konzentrationen (10 bis 70 %) schließen seine Verwendung speziell in ärmeren tropischen Ländern aus. Die Aufgabe ist daher die Entwicklung eines mückenabweisenden Zweikomponenten-Faden zur

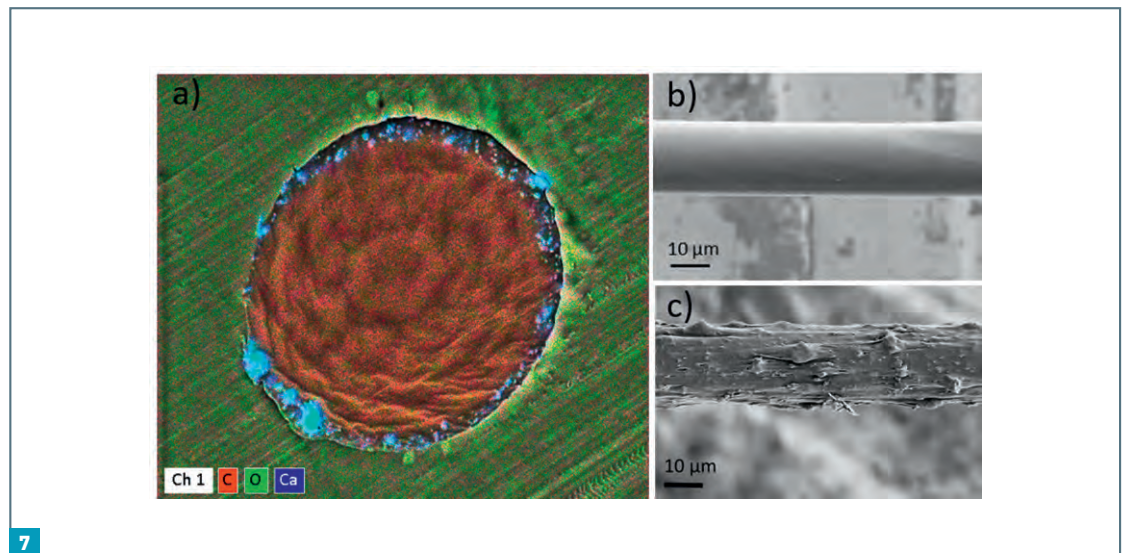
Herstellung von persönlichen Schutzartikeln zur Reduzierung der Infektionen im Freien.

Die Lösung ist ein Kern-Schale Filament, dessen Kern die Wirkkomponente wie z.B. ein Repellent aufnimmt und die Verarbeitung in einem Faser-spinnprozess erlaubt. Die Schale muss so gestaltet werden können, dass die Wirkkomponente langsam an die Außenseite abgegeben wird und gleichzeitig dem Filament genügend Festigkeit für nachfolgende Verarbeitungsschritte zum Erzeugen textiler Strukturen (Stricken/Weben) erlaubt [10-12]. Dies gelang mit einer Polyethylen-Hülle und einem amorphen Ethylen-Vinylacetat-Copolymer als Wirkstoff-aufnehmenden Kern. Nach Prozessoptimierung konnten durch Schmelzextrusion mit Abzugsgeschwindigkeiten von bis zu 3000 m/min Filamente mit bis zu 17 Ma.-% realisiert werden. Nach Verzwirnen wurde eine Faser mit 240 dtex erzeugt, die zu einer Socke gestrickt wurde. Die Wirksamkeit der Kern-Schale Struktur mit Repellent wurde im von der WHO empfohlenen „Foot-in-cage-Test“ über einen Zeitraum von mindestens 8 Monaten und 25 Wäschen nachgewiesen. [10]

Eine andere Methode Wirkstoffe mit einer langsamen Freisetzung in Fasern zu integrieren bietet die Nutzung von Hydrotalkit-artigen Strukturen (Layered Double Hydroxides, LDH) als Reservoir und Schutzagens für empfindliche Substanzen. LDH Strukturen erlauben die Integration von Anionen in ihrer Zwischenschicht und ermöglichen so eine thermische Stabilisierung von 70 °C und mehr. Damit wird auch die Verarbeitung von thermisch empfindlichen Strukturen, wie sie regelmäßig in Antibiotika auftreten, realisierbar. Im konkreten Fall wurde das Breitbandantibiotikum Ciprofloxacin als Anion in ein Mg,Al-LDH integriert und anschließend in Polyethylen dispergiert. Kernpunkt ist hier

Abb. 7:

Struktur von Bikomponenten-PP-Fasern; **a)** EDX-Aufnahme eines Faserquerschnitts mit einem Kern-Mantel-Verhältnis von 80:20; **b)** REM-Aufnahme einer kommerziellen PP-Faser und **c)** einer PP-Faser mit CaCO_3 -Partikeln im Mantel.



die nanoskopische Verteilung der Wirkstoff-Füllstoff Struktur, um eine mögliche Störung des Faserspinnprozesses weitgehend zu vermeiden. Auch hier konnten industrierelevante Abzugsgeschwindigkeiten im Schmelzspinnprozess von bis zu 1.000 m/min realisiert werden. Anhand einer detaillierten Untersuchung mit gram-positiven und gram-negativen Bakterien konnte die hohe Wirksamkeit des Ciprofloxacin sowie gleichzeitig geringe Freisetzung in einem leaching-Experiment gezeigt werden. [13]

Überbrückung von Mikrorissen in Beton

Prof. Dr.-Ing. Christina Scheffler, scheffler@ipfdd.de

Polypropylenfasern (PP-Fasern) finden eine breite Anwendung in Baustoffen, beispielsweise für die Reduzierung von Schwindrissen und zur Erhöhung der Permeabilität des Betons im Brandfall. Des Weiteren führt die Zugabe von PP-Fasern zu einer Erhöhung der Impaktresistenz, wobei besonders für duktile Betone Polymerfasern mit Durchmessern im Mikrometerbereich zur Überbrückung von Mikrorissen eingesetzt werden. Das hervorragende Preis-Leistungsverhältnis, die chemische Beständigkeit sowie die im Vergleich zu Highperformance-Fasern,

wie beispielsweise ultrahochmolekularem Polyethylen oder Aramidfasern, einfache und energiearme Herstellung der Fasern im Schmelzspinnverfahren stellen in der Anwendung im Baubereich wesentliche Vorteile dar. Andererseits führt die schlechte Benetzbarkeit der Fasern aufgrund ihrer hydrophoben und vor allem auch glatten Oberfläche zu einer geringen Wechselwirkung zur Betonmatrix und damit auch zu einer geringen mechanischen Performance des Betonverbundes. Es wurden deshalb Bikomponenten-PP-Fasern mit einer Kern-Mantel-Struktur entwickelt (Abb. 7) [14]. In den äußeren Rand der Faser wurden CaCO_3 -Partikel eingebracht, um auf diese Weise die Oberflächenrauheit zu erhöhen und ein mechanisches Interlocking mit dem Beton zu erzielen, wobei die Zugfestigkeit der Fasern möglichst erhalten bleiben soll. Anhand von mikromechanischen Einzelfaserauszugversuchen (engl.: Single Fiber Pull-out Tests) konnte gezeigt werden, dass die Verzahnung der Partikel mit der Betonmatrix zur plastischen Verformung der Faseroberfläche führt, was eine hohe Energieabsorption mit sich bringt. Mit steigendem Anteil an CaCO_3 -Partikeln von bis zu 40 Ma.-% wurde eine deutliche Zunahme der Oberflächenrauheit, gleichzeitig jedoch eine Abnahme der Spinnbarkeit sowie der Faserzugfestigkeit beobachtet, so dass ein Partikelanteil von 10 Ma.-% für das Upscaling der Spinnversuche festgelegt wurde. Dieser Effekt ließ sich schließlich auch anhand von uniaxialen Zugversuchen an PP-faserverstärkten Betonprüfkörpern nachweisen für deren Herstellung eine umweltfreundliche, zementreduzierte Matrixrezeptur zum Einsatz kam. Im Vergleich zu kommerziell erhältlichen PP-Fasern mit einem Fasergehalt von 3,0 Vol.-% konnte die Brucharbeit mit den CaCO_3 -haltigen Bikomponentenfasern mit nur 2,5 Vol.-% um bis zu 80 % gesteigert werden.

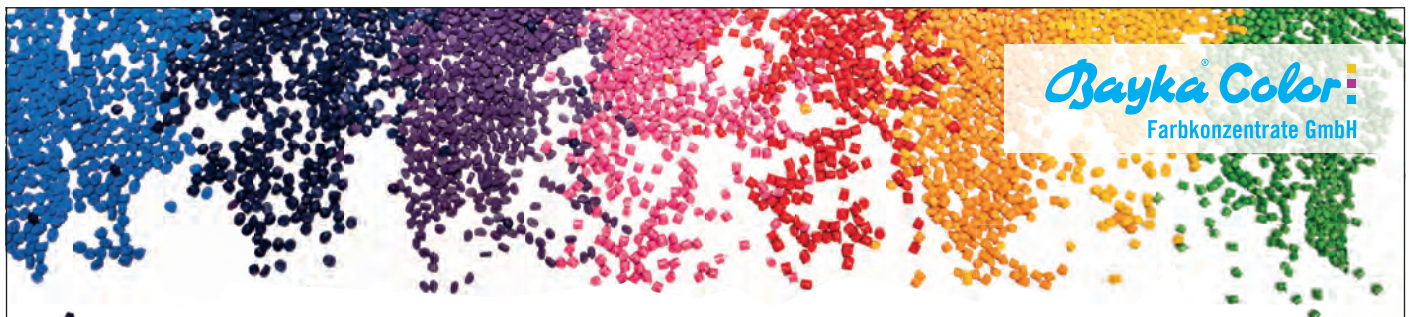
KONTAKT

LEIBNIZ-INSTITUT FÜR POLYMERFORSCHUNG DRESDEN E.V

Prof. Markus Stommel
Hohe Straße 6, D-01069 Dresden
Tel.: +49 (0)351 4658361
stommel@ipfdd.de
www.ipfdd.de

LITERATUR

1. Beyreuther, R.; Vogel R. Intern. Polym. Process. XI (1996) 154-158
2. Zschech, C. Zeitschrift Kunststofftechnik (2016) 12, 113-134
3. Zschech, C. Physics and Chemistry (2020), 170, 108652
4. Huang, Y. et al. ACS Sustainable Chem. Eng. (2021), 9, 9
5. Huang, Y. et al. European Polymer Journal 162 (2022) 110895
6. Huang, Y. et al. J Appl Polym Sci. (2021) e51902
7. Endres, H.-J.; Shamsuyeva, M. Composites-Recycling-Studie. Hrsg. AVK-Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V. (2023)
8. Elschner, C.; Grottendieck, J.; Leifheit, R.; Heinecke, T.; Spickenheuer, A.; Bruk, S.; Dafir, M. Bioinspirierter Leichtbau mit einstellbar degradierbaren Faser-Kunststoff-Verbunden (bioLEIV) : Abschlussbericht (2023)
9. Eichhorn, J.; Elschner, C.; Groß, M.; Reichenbacher, R.; Herrera Martín, A.X.; Soares, A.P.; Fischer, H.; Kulkova, J.; Moritz, N.; Hupa, L.; et al. Appl. Sci. 11(2021)7927
10. Sibanda, M.; Focke, W.; Braack, L.; Leuteritz, A.; Bruenig, H.; An Tran, N.H.; Wiczorek, F.; Trümper, W. Materials Science & Engineering C91(2018)754-761
11. Ferreira, I.; Brünig, H.; Focke, W.; Boldt, R.; Androsch, R.; Leuteritz, A.; Materials 2021, 14, 638
12. Ferreira, I.; Leuteritz, A.; Brünig, H.; Focke, W.; Androsch, R.; AIP Conf. Proc. 2289, 020058 (2020)
13. Kutlu, B.; Meinel, J.; Leuteritz, A.; Bruenig, H.; Wiessner, S.; Heinrich, G. Macromol. Mater. Eng. 299(2014)825-833
14. Popa, M. M., Leuteritz, A., Stommel, M., Kühnert, I., Mechtcherine, V., Scheffler, C.; Cement Concrete Comp, 142, 105181 (2023)



JETZT WIRD'S BUNT.

Faszinierende Vielfalt, grenzenlose Farbigkeit.

Ihr zuverlässiger Anbieter von Kunststoff-Farbmischungen (Compounds & Masterbatches)



IN KURZEN ETAPPEN ZUR INNOVATION

Medizintechnikprodukte unterliegen komplexen Regularien und Anforderungen, die sich immer wieder ändern. Gleichzeitig schreitet die Digitalisierung mit rasanter Geschwindigkeit voran, was die Entwicklung neuer Produkte zur besonderen Herausforderung macht. Denn das, was heute geplant wird, um die Gesundheit von Menschen zu schützen und zu verbessern, könnte morgen schon nicht mehr den Anforderungen entsprechen. Das Medizintechnikunternehmen B. Braun setzt deshalb verstärkt auf Agilität: eine flexible Planung, bei der aktuelle Entwicklungen immer wieder neu berücksichtigt werden.



Dr. Cristiane Henschel,
Project Manager der
Abteilung Pre-Development
bei B. Braun

Im IT-Bereich hat agiles Prozessmanagement schon lange einen festen Platz. Statt einer langfristigen Planung, bei der alle Entwicklungsschritte und auch der zeitliche Rahmen bereits zu Beginn festgelegt werden, wird hier in kurzen Etappen gedacht, von einem Zwischenziel zum nächsten. „Das hat viele Vorteile: Man kann schnell und flexibel auf Veränderungen reagieren – zum Beispiel auf Materialvorgaben, Nachhaltigkeitsaspekte, neue Technologien oder Kundenwünsche – und Ziele gegebenenfalls korrigieren“, erklärt Dr. Cristiane Henschel, Project Manager der Abteilung Pre-Development bei B. Braun. Hier werden agile Methoden deshalb nicht nur in der Softwareentwicklung, sondern neuerdings auch in der Konzeption von Medizintechnik eingesetzt. Unter anderem im Bereich Infusionsthe-

rapie, wo qualitativ hochwertige Einwegkunststoffprodukte mit intelligenten Technologien kombiniert werden, um komplexe Therapien einfacher und sicherer zu machen.

Das agile Team, das derzeit an neuen Features für etablierte B. Braun-Produkte arbeitet, ist interdisziplinär aufgestellt: Experten für Materialentwicklung sind ebenso vertreten wie Spezialisten der Bereiche Research and Development, Einkauf und Marketing. „Jeder bringt seine Expertise ein und ist dem neuen Produkt verpflichtet“, sagt Cristiane Henschel. Ein Hierarchiegefälle gibt es nicht. Stattdessen übernimmt jedes Teammitglied die Verantwortung für das Endergebnis. Die Entscheidungsgewalt teilen sich alle.

Abb. 1:

3D-Druck ist eine wertvolle Ergänzung der agilen Methodik. So können schon in frühen Projektphasen Prototypen hergestellt und den potenziellen Nutzern vorgestellt werden.



KONTAKT

B. BRAUN SE

Carl-Braun-Straße 1
D-34212 Melsungen
Tel.: +49 (0)5661 710
www.bbraun.de

Scrum heißt eine der agilen Methoden, die das Entwicklungsteam von B. Braun nutzt. Eine offene Kommunikation und der stetige Austausch sind hierbei Grundlagen:

Alle Mitglieder bringen sich täglich auf den neuesten Stand - und zwar nicht per E-Mail, sondern durch Videogespräche und, so oft wie möglich, im persönlichen Miteinander. Hinzu kommen so genannte „Sprints“ mit kurzfristigen Zielen, Workshops und regelmäßige Feedback-Runden mit Stakeholdern und Kunden. „Ihre Zufriedenheit hat für uns höchste Priorität“, sagt Cristiane Henschel.

Techniken wie der 3D-Druck sind hier eine wertvolle Ergänzung der agilen Methodik. Denn schon in frühen Projektphasen können Prototypen hergestellt und den potenziellen Nutzern vorgestellt werden. Ihr Feedback hilft, das Produkt schneller zu verbessern und die Kundenwünsche gezielter umzusetzen. Auch wenn das bedeutet, manchmal einen ganz neuen Weg einzuschlagen.

**Abb. 2:**

Schnell und flexibel auf Veränderungen reagieren: Das ist der Vorteil von agilem Prozessmanagement.

**Abb. 3:**

Das agile Projektteam, das aktuell an der Entwicklung von neuen Produkt-Features arbeitet, stimmt sich täglich per Videogespräch oder im persönlichen Miteinander ab.

B. BRAUN
SHARING EXPERTISE

Fortschritt ermöglichen – jeden Tag.

Wirksame Lösungen entstehen bei B. Braun im konstruktiven Austausch mit unseren Kunden und Partnern. Ein Gedanke, der uns bei B. Braun bewegt. Der uns begeistert. Und der uns jeden Tag antreibt. Aus Leidenschaft finden wir Lösungen, die weiter gehen und weiter führen und schützen so die Gesundheit von Menschen weltweit.

Arbeiten Sie mit uns daran, das Leben von Menschen nachhaltig zu verbessern. Wir bieten Ihnen vielseitige Aufgaben und hervorragende Entwicklungsmöglichkeiten z. B. als Ingenieur für Kunststoff-, Verfahrens- oder Verpackungstechnik. Besuchen Sie unseren globalen Stellenmarkt auf www.career-bbraun.com/globaljobmarket

B. Braun SE | www.bbraun.de



KAVITÄTSBALANCIERUNG BEI MEHRKAVITÄTEN-WERKZEUGEN IM DUROMERSPRITZGIESSEN

Julian Kraft, Fraunhofer ICT; Bhimesh Jetty, KIT-FAST; Dr.-Ing. Martin Hohberg, Simutence;
Dr.-Ing. Florian Wittemann, KIT-FAST; Prof. Dr.-Ing. Frank Henning, KIT-FAST / Fraunhofer ICT

Duromerspritzgießen und Kavitätsbalancierung

Kunststoffe werden basierend auf ihrer chemischen Struktur in Thermoplaste, Duromere und Elastomere eingeteilt. Duromere, die durch umfangreiche kovalente Vernetzungen gekennzeichnet sind, weisen im Vergleich zu Thermoplasten eine höhere Festigkeit, Steifigkeit und geringere Kriechneigung auf. Zusätzlich besitzen Duromere generell eine verbesserte Temperaturbeständigkeit, was sie besonders geeignet für strukturelle Anwendungen macht, insbesondere wenn sie faserverstärkt sind. Während Spritzgießen überwiegend für zur Herstellung thermoplastischer Bauteile verwendet wird, bietet gerade das Spritzgießen von Duromeren erhebliches Potenzial zur Herstellung von leichten Strukturen mit einem hohen Eigenschaftsniveau. Für strukturelle Anwendungen (wie z.B. Gehäuseteile) werden typischerweise Phenolharzformmassen genutzt. Weiterhin werden Epoxidharzformmassen hauptsächlich für funktionelle Anwendungen, einschließlich des Umspritzens von Elektronikkomponenten verwendet. Der Spritzgießprozess für Duromere ähnelt stark dem von Thermoplasten. Die Formmasse liegt normalerweise in granularer Form vor, und enthält eine vordefinierte Füllstoff-Matrix-Zusammensetzung sowie Additive. Sie ist bei Raumtemperatur zunächst fest. Dieses B-Stadium-Duromer wird mittels Scherung und Erwärmung in der Plastifiziereinheit aufgeschmolzen. Es folgt die Formfüllung in eine beheizte Kavität, in der die irreversible Aushärtungsreaktion stattfindet [1].

Das Erreichen einer gleichmäßigen Füllung in allen Kavitäten beim Mehrkavitäten-Spritzgießen ist entscheidend für das Erreichen identischer Bauteileigenschaften. Im Idealfall sollten beim Duromerspritzgießen mit mehreren Kavitäten gleichzeitig alle Kavitäten gefüllt werden. In der Praxis ergeben sich jedoch Herausforderungen durch Faktoren wie Gravitation, inhomogene Temperaturverteilung, Schwankungen der Formoberflächenqualität aufgrund von Verschleiß und Maßunterschiede im Angussystem. Diese Faktoren führen zu einer ungleichmäßigen Füllung [2-4]. Dies erfordert eine

Methode zum Erreichen einer balancierten Füllung aller Kavitäten eines Werkzeugs, um Ausschuss zu reduzieren. Es existieren bereits verschiedene Strategien zur Kavitätsbalancierung in der Thermoplastverarbeitung, wie z.B. der Einsatz verstellbarer Schieber zur Modifikation des Fließkanalquerschnitts, oder gezielte Temperaturkontrolle einzelner Verteiler in Heißkanalsystemen [2]. Diese Methoden beeinflussen die Materialviskosität sowie das Fließverhalten und helfen somit, ein ausgewogenes Füllverhalten zu erreichen. Eine Prozessüberwachung, durch Messung des Kavitätsdrucks und der Materialtemperatur ist bei der Anpassung des Fließquerschnitts oder der Temperatur notwendig, um die Formfüllung zu bewerten [3].

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, das Problem der ungleichmäßigen Füllung beim Mehrkavitäten-Duromerspritzgießen mit Hilfe der Fließkanaltemperierung zu lösen. Dieser Ansatz nutzt das thermoviskose Verhalten von Duromerformmassen und die thermische Wechselwirkung zwischen der Formwand und dem Material. Da Temperaturänderungen die Viskosität des Harzes direkt beeinflussen, können durch gezielte Erwärmung und Abkühlung die Viskosität und die Aushärtungsgeschwindigkeit des Harzes und somit die lokale Fließgeschwindigkeit während des Formfüllprozesses modifiziert werden. Durch Kontrolle der Temperatur der Fließkanäle oder der Angussverteiler ist es möglich, eine gleichmäßige Füllung zu erreichen. Die Zieltemperaturen für die Fließkanäle zum Erreichen einer balancierten Füllung werden hier mit einem Fuzzy-Logic-Controller (FLC) berechnet [5]. Diese Vorgehensweise wurde zunächst an Vorversuchen mit einer einfachen Zwei-Kavitäten-Versuchswerkzeug erprobt. Schließlich wurde die aktive Kavitätsbalancierung an einem Elektromotorgehäuse mit zwei Kavitäten in einem automatisierten, geschlossenen Regelkreis getestet. Die experimentellen Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in dieser Arbeit vorgestellt.

Dieser Beitrag soll den Stand der Technik im Mehrkavitäten-Duromerspritzgießen erweitern. Es werden Einblicke in eine praktische Lösungen zur Erreichung einer gleichmäßigen Formfüllung und zur

Verbesserung der Qualität und Zuverlässigkeit von Duromer-Formteilen gegeben. Diese Erkenntnisse verbessern nicht nur das Verständnis des Duromer-spritzgießprozesses, sondern ebnen auch den Weg für eine effizientere und nachhaltigere Fertigung.

Vorversuche zur Kavitätsbalancierung

Um die Machbarkeit der Kavitätsbalancierung zu untersuchen, wurden im Projekt Lite2Duro (Förderkennzeichen: 03LB3015C), angesiedelt im Technologietransferprogramm Leichtbau und finanziert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, zwei Versuchskampagnen durchgeführt. Das Projektkonsortium besteht aus den Partnern Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fraunhofer ICT, KraussMaffei, GHD, Simutence, Technotrans, Baumgarten Automotive Technics und RaceResult.

In einem ersten Schritt wurde die Effektivität des Wirkprinzips an einem Versuchswerkzeug ermittelt. Das Versuchswerkzeug besitzt wie in **Abb. 1** dargestellt zwei Kavitäten, die mit je einem Filmanguss gefüllt werden. Beide Fließkanäle sind gleich aufgebaut, über einen Einsatz im Werkzeug implementiert und können durch oberflächennahe Medientemperierung auf ein eingestelltes Temperaturniveau gebracht werden. Da das Werkzeug auf 175 °C beheizt wurde, wurden Wasser-Temperiergeräte des Projektpartners Technotrans mit einer Kapazität von 180°C eingesetzt. Weiterhin sind im Werkzeug zwei verstellbare Stifte als Fließweghemmer eingebaut, um ein bewusst unbalanciertes Füllverhalten einstellen zu können. Die Versuche wurden am Fraunhofer ICT auf einer Spritzgussmaschine mit einer Plastifiziereinheit für rieselfähige duromere Formmassen (30 mm Schneckendurchmesser) durchgeführt. Bei der Versuchsdurchführung wurden bei ansonsten konstanten Bedingungen verschiedene Temperaturen in den jeweiligen Fließkanälen eingestellt und bei jedem Schuss über Drucksensoren in den Kavitäten die Füllzeitdifferenz. Für die Bestimmung der für den Regler rele-

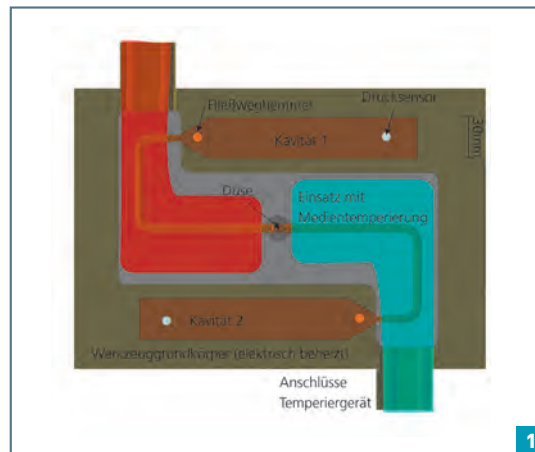


Abb. 1: Versuchswerkzeug mit medientemperiertem Angussverteiler. Grafiken: ICT

vanten Größe wurden die Drucksensoren am Ende der jeweiligen Kavität ausgewählt, da diese Sensoren beim Überschreiten eines Schwellwerts einen eindeutigen Hinweis auf das vollständige Füllen dieser Kavität geben.

Die Entwicklung des FLC umfasst mehrere Schlüsselkomponenten. Fuzzifizierung, Regelbasis, Inferenzmaschine und Defuzzifizierung [5]. Der Fuzzifizierungsprozess beinhaltet die Umwandlung eindeutigen Werte von Eingangs- und Ausgangsvariablen in Fuzzy-Sets unter Verwendung von Mitgliedsfunktionen. Hier sind die Eingangs- und Ausgangsvariablen der Füllzeitdifferenz τ in s und der Temperaturdifferenz des Fließkanals ΔT_f in °C. Der Definitionsbereich für τ ist [-1,1 s, 1,1 s] und der Definitionsbereich für ΔT_f ist [-10 °C, 10 °C]. Hier ist $\tau = t_2 - t_1$, wobei t_1 und t_2 die Füllzeiten der Kavität 1 bzw. Kavität 2 sind. Ein positives τ bedeutet, dass Kavität 1 schneller füllt als Kavität 2, während ein negatives τ anzeigt, dass Kavität 2 schneller füllt als Kavität 1. Die Füllzeit einer einzelnen Kavität wird als der Zeitpunkt bestimmt, an dem der von Sensoren am Ende des Fließweges (vgl. **Abb. 1**) überwachte Druck den Schwellenwert von 80 bar überschreitet. T_{f1} und T_{f2} sind die Fließkanaltemperaturen, die in den Fließkanälen zu Kavitäten 1 bzw. 2 eingestellt sind. Das Temperiergerät erlaubt

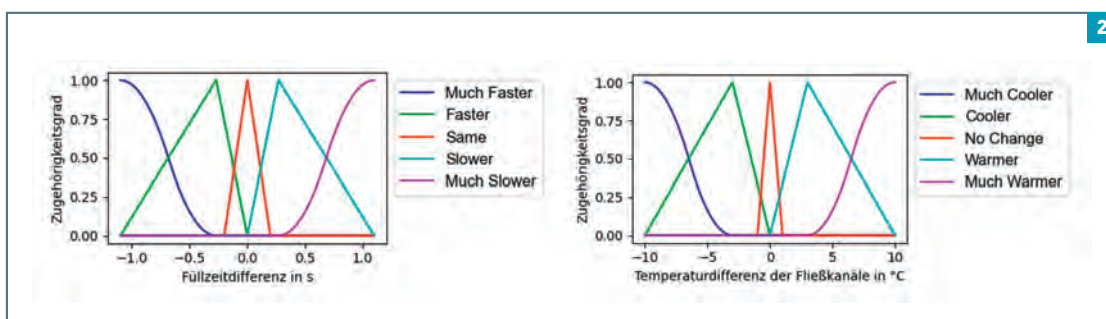
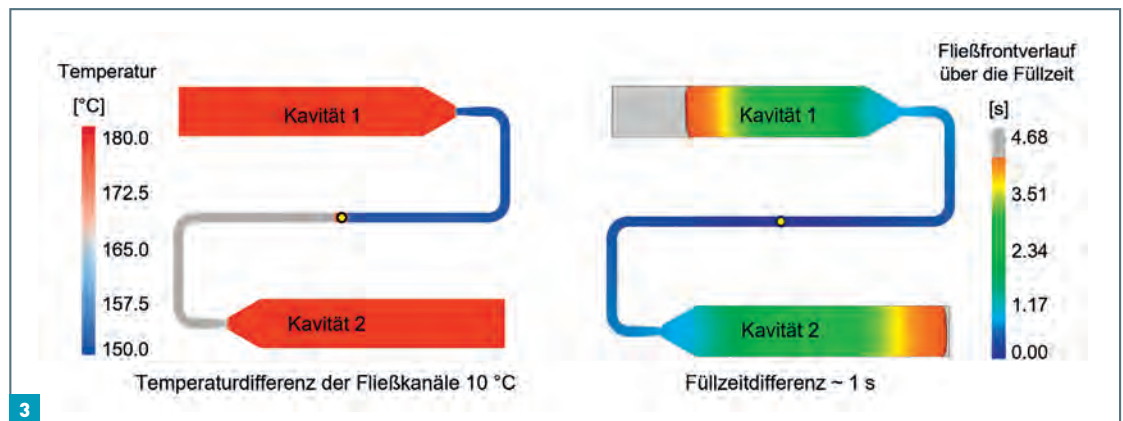


Abb. 2: Zugehörigkeitsfunktionen für τ oben und ΔT_f unten des FLC für die Vorversuche.

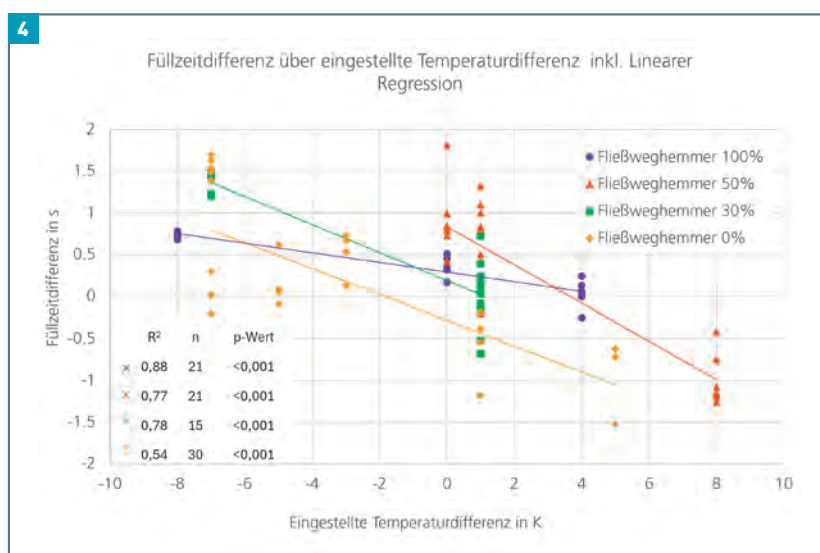
Abb. 3: Simulation zur Erzeugung einer Füllzeitdifferenz durch inhomogene Temperaturverteilung in den Fließkanälen.



eine minimale Änderung der Fließkanaltemperatur von ± 1 °C, was einer einstellbaren Füllzeitdifferenz von annähernd $\pm 0,2$ s entspricht. Daher wurden die Balanciergrenzen auf $\pm 0,2$ s festgelegt. Füllzeitdifferenzen im Bereich von $-0,2$ s bis $+0,2$ s können mit diesem System nicht kompensiert werden. Wenn die Füllzeitdifferenz zwischen den Kavitäten die Balanciergrenzen von $\pm 0,2$ s überschreitet, wird die neue Temperaturdifferenz zwischen den Kavitäten ΔT_f berechnet und in analoge Steuerspannungen für die Temperiergeräte umgewandelt.

Die für die Eingangs- und Ausgangsvariablen verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen sind in Abb. 2 dargestellt. Die Grenzwerte für jede dreieckige Zugehörigkeitsfunktion für die Ausgangsvariable wurden durch simulative Untersuchungen bestimmt. Durch das Einstellen der Temperaturdifferenz zwischen den Fließkanälen kann die induzierte Füllzeitdifferenz während der Füllphase der Kavitäten beobachtet werden. Ein Beispiel für eine induzierte Füllzeitdifferenz ist in Abb. 3 dargestellt.

Abb. 4: Korrelation zwischen eingestellter Temperaturdifferenz und Füllzeitdifferenz im Vorversuch.



Diese Simulationen wurden in der kommerziellen Simulationssoftware Autodesk Moldflow 2021.1 für gegebene Prozesseinstellungen und Phenolharzmaterialsysteme durchgeführt. Bei Abwesenheit von Störungen bewirkt ein Temperaturunterschied von 10 °C einen Füllzeitunterschied von etwa 1 s. Die Regelbasis für den FLC wurde so definiert, dass wenn Kavität 1 oder Kavität 2 langsamer füllt, der entsprechenden Fließkanal erhitzt wird. Wenn Kavität 1 oder Kavität 2 schneller füllt, wird der entsprechenden Fließkanal gekühlt.

Diese Prozesse verlaufen parallel und der zu haltende ΔT_f wird daher innerhalb der Regelbasis von ± 10 °C berechnet. Die Mamdani-Inferenz wurde im FLC verwendet, um die Regeln zu verarbeiten und die Ausgabe zu generieren. Die Defuzzifizierung wurde mittels der Schwerpunktmethod durchgeführt, um den Fuzzy-Ausgang ΔT_f in eine Steuerungsaktion umzuwandeln. Die Details der Regelbasis und der Defuzzifizierungsmethode sind in [5] beschrieben. In den Vorversuchen mit einem Zweiplatten-Spritzgießwerkzeug wurde der mittlere Füllzeitunterschied τ nach jeweils fünf Zyklen berechnet. Der neue Temperaturunterschied für die Fließkanäle wurde basierend auf dem mittleren Füllzeitunterschied berechnet.

Die gemessene Füllzeitdifferenz ist im Diagramm in Abb. 4 über die eingestellte Temperaturdifferenz aufgetragen. Dabei sind vier eingestellte Positionen des Fließweghemmers einzeln ausgewertet. Die eingestellten Temperaturdifferenzen wurden im Verlauf des Regelprozesses durch den Regler errechnet. Der Nachweis, dass die Stellgröße des Reglers (Temperaturdifferenz) einen Einfluss auf die Regelgröße (Füllzeitdifferenz) hat, ergibt sich aus der jeweiligen Korrelation zwischen Temperatur- und Füllzeitdifferenz. Die Betrachtung des p-Werts zeigt, dass eine signifikante Korrelation besteht. Die Korrelation ist signifikant, allerdings aufgrund des R²-Werts nicht

sehr stark. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Füllzeitdifferenz nicht nur durch die eingestellte Temperaturdifferenz bedingt wird, sondern durch Unsicherheiten in Material und Prozess streubehaftet ist (ohne Fließweghemmer im Mittel $\sigma=0,13s$). Es folgt, dass bei geeignetem Werkzeugdesign mit Kavitätsbalancierung durch angussnahe Temperierung im Duromerspritzgießen über mehrere Einspritzzyklen hinweg im Mittel eine balancierte Füllung erreicht werden kann. Ähnlich Erkenntnisse wurden auch für Epoxy-basierte Formmassen gefunden. So kann beispielsweise ein durch Werkzeugverschleiß induziertes unbalanciertes Füllverhalten ausgeglichen werden. Gleichzeitig können jedoch die allgemeine Prozessstreuung und die einzelnen Abweichungen von Zyklus zu Zyklus nicht reduziert werden.

Demonstratorbauteil

In einem weiteren Schritt wurden diese Erkenntnisse auf eine Demonstratorbauteil und eine im Projekt von KraussMaffei entwickelte Plastifiziereinheit mit 90 mm Schneckendurchmesser angewendet. Das Demonstratorwerkzeug beinhaltet zwei Kavitäten für je ein Gehäuse für eine Elektromotor-Getriebe-Einheit als Demonstratorbauteil.

Beide Gehäuse mit Angussystem sind in **Abb. 5** dargestellt. Dabei wurde ein vollständiger, geschlossener Regelkreis wie in **Abb. 6** implementiert. Die Füllzeitdifferenzen wurden durch ein Messsystem im Prozess überwacht und in Echtzeit über einen angeschlossenen Rechner ausgewertet. Kriterium war das Erreichen einer Druckschwelle, welche über Drucksensoren am Fließwegende bestimmt wurde. Der Regelalgorithmus errechnete die jeweiligen Soll-Oberflächentemperaturen der Angusskanäle

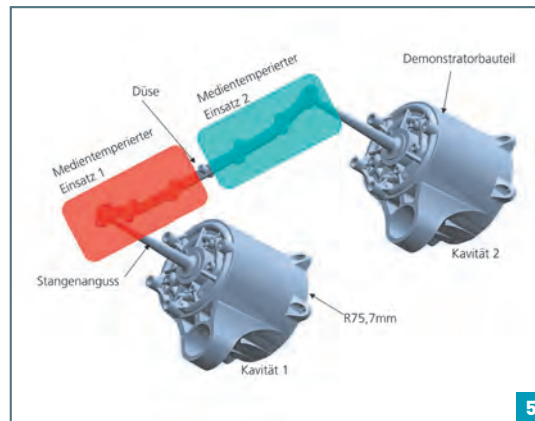


Abb. 5: Demonstratorbauteil Gehäuse in zwei Kavitäten mit Angussystem.

le und steuerte über eine analoge Schnittstelle zwei Temperiergeräte vom Projektpartner Technotrans. Es wurde je ein Temperiergerät pro Kavität verwendet. Analog zu dem Versuchswerkzeug wurde die Temperatur des zugehörigen Angussverteilers via Medientemperierung eingestellt.

Die Entwicklung des FLC ist speziell darauf abgestimmt, die Füllzeitausgleichung des zweikavitäten Demonstratorwerkzeugs zu steuern. Der Definitionsbereich für den Füllzeitunterschied, τ , liegt bei $[-0,28 s, 0,28 s]$, und derjenige für die Temperaturdifferenz der Strömungskanäle, ΔT_p , liegt bei $[-5 ^\circ C, 5 ^\circ C]$. Ähnlich den Versuchen mit der Zweiplatten-Spritzgusswerkzeug weist das zweikavitäten Elektromotorengehäuse zwei Drucksensoren am Ende des Fließwegs auf. Die Füllzeitdifferenz wird wie zuvor beschrieben berechnet. Die Zugehörigkeitsfunktionen sind in **Abb. 7** dargestellt. Dieser kompensierbare Füllzeitdifferenz wird während des tatsächlichen Kavitätenausgleichs genutzt, indem der Temperaturdifferenz zwischen den Fließkanälen aufrechterhalten wird, wie in **Abb. 8** dargestellt.

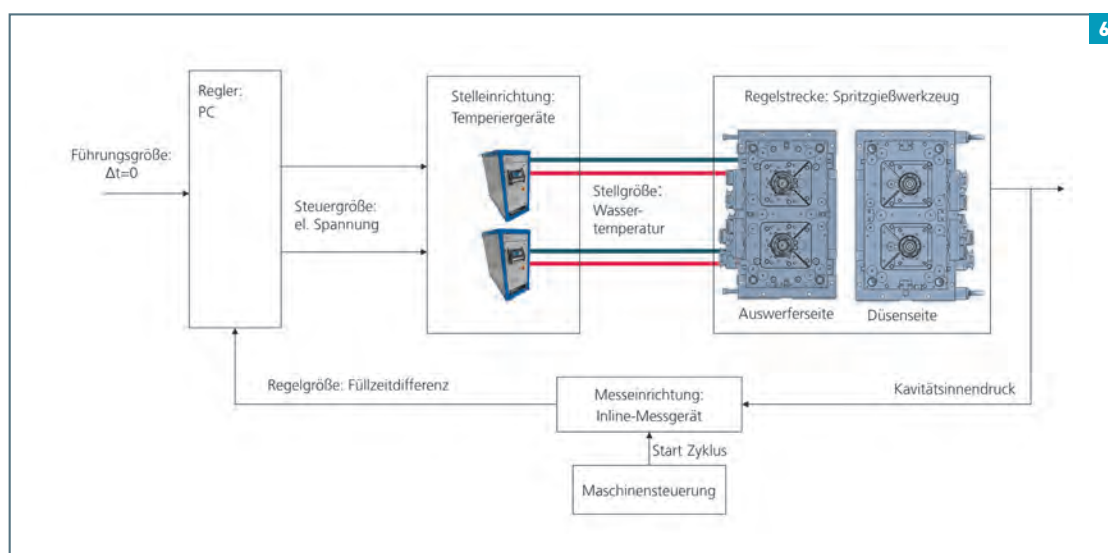
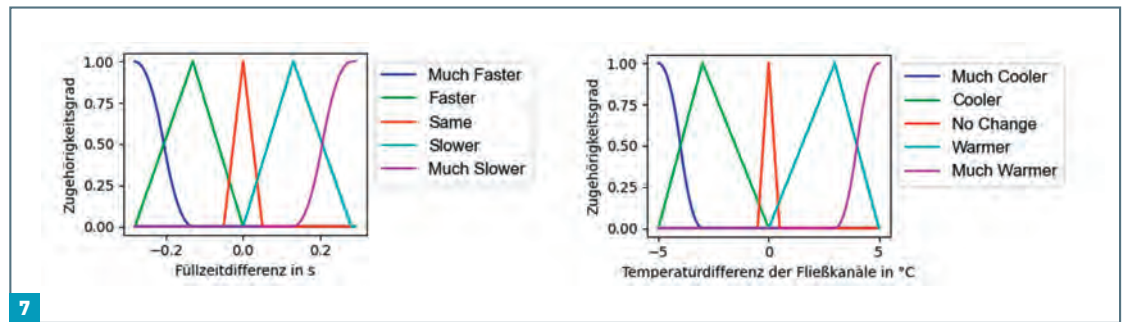


Abb. 6: Geschlossener Regelkreis zu Kavitätsbalancierung.

Abb. 7: Zugehörigkeitsfunktionen für τ (links) und ΔT_f (rechts) des FLC für die Demonstrationsanwendung.



Die Regelbasis, der Inferenz-Mechanismus und der Defuzzifikationsprozess sind den im Versuchswerkzeug verwendeten ähnlich. Die Füllzeitdifferenz, τ , wird als Mittelwert der letzten drei Einspritzzyklen berechnet. Der neue ΔT_f für die Fließkanäle wird dann basierend auf diesem mittleren τ bestimmt.

Da die Geometrie dieses Demonstrators wesentlich komplexer als die des Versuchswerkzeugs ist, wurde zur Absicherung der Beziehung zwischen Stell- und Regelgröße ein Versuchsplan mit verschiedenen Temperaturdifferenzen abgefahren. Pro Temperaturdifferenz wurden mindestens fünf Zyklen durchgeführt und in **Abb. 9** aufgetragen. Aus der Korrelationsanalyse ergibt sich hier kein Zusammenhang zwischen Temperatur- und Füllzeitdifferenz.

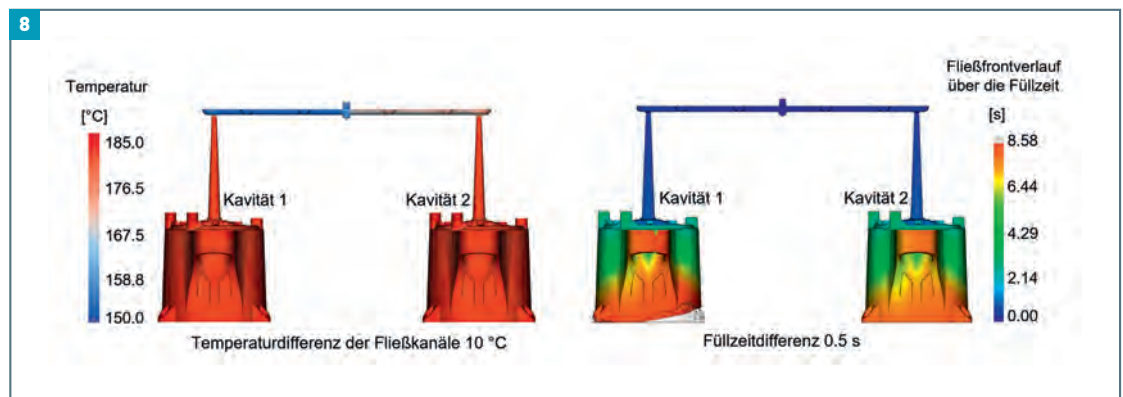
Diesem unerwartet nicht vorhandenen Effekt können verschiedene Ursachen zugrunde liegen. Das Angussystem besteht aus einem Verteiler, welcher medientemperiert ist, sowie je einem Stangenanguss, welcher nicht medientemperiert ist. Dadurch, dass der Stangenanguss einen wesentlich geringeren Durchmesser als der Verteiler hat, liegt nahe, dass der Fließwiderstand hier erheblich größer ist und das Füllverhalten deswegen nicht maßgeblich durch eine Änderung des kleinen Fließwiderstands im Verteiler beeinflusst werden kann. Weiterhin wurde am gespritzten Angussverteiler beobachtet, dass dieser eine inhomogene Struktur

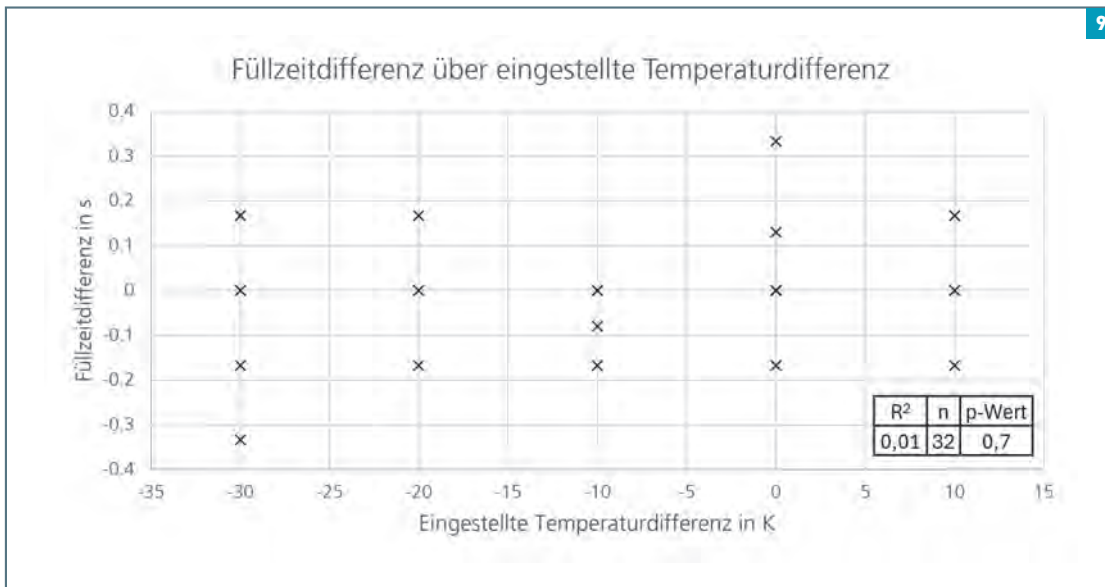
aufweist (vgl. **Abb. 10**). Im äußeren Bereich scheint das Material ungerichtet vorzuliegen, während im inneren eine zweite Phase vorliegt. Die Existenz der inneren Struktur legt nahe, dass während dem Formfüllvorgang zuerst der Verteiler gefüllt wurde, und ab einem Zeitpunkt im Formfüllvorgang lediglich der Innere Teil des Verteilers weiter floss. Dabei verhinderte wahrscheinlich der äußere Teil eine Wärmeübertragung zwischen Werkzeugwand und fließendem Plastifikat und somit den Einfluss der Medientemperatur.

Zusammenfassung

Die im Rahmen des Lite2Duro Projekts am Fraunhofer ICT erzeugten Ergebnisse zeigen, dass Kavitätsbalancierung im Duromerspritzgießen prinzipiell funktioniert. Es wurde nachgewiesen, dass bei geeigneter Auslegung des Gesamtsystems im langfristigen Mittel eine balancierte Füllung erreicht werden kann. Der dafür am KIT entworfene Regler ist in der Lage, diesen Effekt über einen vollständigen geschlossenen Regelkreis auszunutzen. Im Prozess gibt es eine allgemeine Streuung der Füllzeitdifferenzen, welche nicht durch diese Methode beeinflussbar ist. Daraus folgt, dass eine Tiefpasscharakteristik des Reglers, so wie hier implementiert notwendig ist. Weiterhin muss der Regler auf die thermische Trägheit des Systems angepasst sein. Die Versuche am Demonstratorbauteil zeigen,

Abb. 8: Simulation zur Erzeugung einer Füllzeitdifferenz durch inhomogene Temperaturverteilung in den Fließkanälen im Demonstratorbauteil.

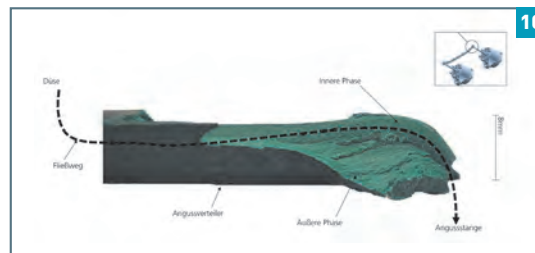




9

Abb. 9: Füllzeitdifferenzen beim Demonstratorwerkzeug über eingestellte Temperaturdifferenz.

dass Kavitätsbalancierung nicht in jeder Werkzeugkonfiguration funktioniert. Beim Werkzeugdesign sollte berücksichtigt sein, das gesamte Angussystem temperieren zu können, wobei in diesem große Querschnittsprünge zu vermeiden sind. Eine Isolierung der temperierten Bereiche ist auch zu empfehlen.



10

Abb. 10: Ausschnitt eines teilweise beim Entformen zerstörten Angussverteilers mit zwei Phasen.

LITERATUR

1. T. A. Osswald, L.-S. Turng, P. J. Gramann, and J. Beaumont, Eds., Injection molding handbook, 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner, 2008.
2. J. P. Beaumont, J. H. Young, and M. J. Jaworski, "Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems," J. Reinf. Plast. Compos., vol. 18, no. 6, pp. 572–590, Apr. 1999, doi: 10.1177/073168449901800609.
3. J. Kim, S. Ahn, S. V. Atre, S. J. Park, T. G. Kang, and R. M. German, "Imbalance filling of multi-cavity tooling during powder injection molding," Powder Technol., vol. 257, pp. 124–131, May 2014, doi: 10.1016/j.powtec.2014.02.056.
4. K. Wilczyński and P. Narowski, "A Strategy for Problem Solving of Filling Imbalance in Geometrically Balanced Injection Molds," Polymers, vol. 12, no. 4, Art. no. 4, Apr. 2020, doi: 10.3390/polym12040805.
5. G. Chen and T. T. Pham, Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.

KONTAKT

INSTITUT FÜR FAHRZEUGSYSTEMTECHNIK – INSTITUTSTEIL LEICHTBAU

Prof. Dr.-Ing. Frank Henning

Rintheimer Querallee 2, Geb. 70.04, Raum 119, D-76131 Karlsruhe

Tel.: +49 (0)721 608-41877, Fax: +49 (0)721 608-44146

frank.henning@kit.edu

www.fast.kit.edu

FORSCHUNGSPROJEKT STELLT WEICHEN FÜR NACHHALTIGERES PVC-RECYCLING

Lyon/Frankreich, Rehau/Deutschland, Muri b. Bern/Schweiz, 30. April 2024 – Die Polymer-Industrie treibt weiter Innovationen mit dem Ziel voran, Lücken in der Kreislaufwirtschaft zu schließen: Der deutsche Polymerspezialist REHAU, der Schweizer Polymerdistributor Meraxis und das französische Chemieunternehmen Kem One haben ein gemeinsames Forschungsprojekt gestartet. Ziel ist es, PVC-Rezyklate von Schwermetallrückständen – zum Beispiel Blei – zu befreien und diese wieder in den Stoffkreislauf zurückzuführen.



Abb. 1:
v.l.n.r.: Richard Baudouin (Meraxis), Alexandre Thillou (KemOne), Karine Paillot (KemOne), Peter Voth (REHAU), Mickael Laurent (KemOne), Martin Sonntag (REHAU).

Die kunststoffverarbeitende Industrie setzt sich dafür ein, ihre Rohstoffe und Produkte kontinuierlich zu verbessern, um die Kreislaufwirtschaft zu fördern und Kunststoffe am Ende ihres Lebenszyklus wiederverwendbar zu machen. Drei Schlüsselunternehmen der Branche haben sich zusammengeschlossen, um ihre Kompetenzen in einem gemeinsamen Industrieforschungsprojekt zu bündeln:

Das französische Unternehmen für PVC-Produktion und -Verfahren Kem One, das deutsche Polymerunternehmen REHAU Window Solutions als Teil von REHAU Industries sowie der Schweizer Kunststoffdistributor Meraxis, Anbieter von Polymeren und Services für Polymerverarbeiter.

Teams aus den drei Unternehmen arbeiten gemeinsam an technologischen Lösungen, um Schwermetalle aus PVC zu extrahieren. Dabei werden mechanische und chemische Recyclingverfahren kombiniert: Zunächst werden z.B. PVC-Fensterrahmen mechanisch zerkleinert. Anschließend werden dem geschredderten Kunststoff mit einem chemischen Verfahren die Schwermetalle wie Blei entzogen. Das extrahierte Blei soll dann in bereits bestehende materialspezifische Recyclingströme zurückgeführt werden. Das bleifreie recycelte PVC kann zu neuen Fensterprofilen auf Rezyklatbasis verarbeitet werden.

Erste Versuche mit entsprechenden Extraktionsverfahren verliefen bei Kem One in Saint-Fons (Frank-

KONTAKT

REHAU INDUSTRIES SE & CO

Rheniumhaus
Helmut-Wagner-Str. 1
D-95111 Rehau
Tel.: +49 (0)92 83-77 0
info@rehau.com
www.rehau.com

reich) erfolgreich, sodass die Beteiligten das Projekt bereits auf Pilotmaßstab erweitern konnten. Chemie- und Prozessingenieure konzentrieren sich nun darauf, die Prozesse weiter zu optimieren und für die industrielle Nutzung vorzubereiten. Diese ist für das Jahr 2030 geplant.

Der Umgang mit Blei ist ein hochrelevantes Thema: Dies spiegelt sich sowohl in den aktuellen EU-weiten Rechtsvorschriften als auch in der gestiegenen Sensibilität der Öffentlichkeit für die Umweltauswirkungen wider. Freigesetztes Blei, das in die Umwelt gelangt, hat negative Folgen auf Ökosysteme. Das aktuelle Forschungsprojekt hat es sich zur Aufgabe gemacht, ein Recyclingverfahren zu entwickeln, das die Bleiexposition reduziert und somit zum Schutz von Natur und Gesundheit beiträgt. Die Entwicklung eines solchen Verfahrens von der Pilotphase bis hin zu einer skalierbaren Lösung im Industriemaßstab bedeutet umfangreiche Anstrengungen und Investitionen.

Zwei Fragen an Dr. Martin Sonntag, Projektleiter bei REHAU Industries

Bleifreies PVC-Rezyklat – wie lässt sich dieses Projekt einordnen?

Wir befinden uns aktuell noch in einem frühen Stadium der Entwicklung. Unser großes Ziel ist natürlich, sobald wie möglich in den industriellen Maßstab skalieren zu können. Die Technologie birgt riesiges Potenzial: bleifreies PVC-Rezyklat würde einen großen Schritt im Sinne der Nachhaltigkeit bedeuten. Für das extrahierte Blei entwickeln wir Pläne, um auch das weiter in dafür bereits existierende Stoffkreisläufe zu bringen.

Ihr arbeitet in einem besonderen Team: unternehmensübergreifend, fachübergreifend und länderübergreifend. Wie klappt das?

Uns verbindet eine gemeinsame Mission: Wir wollen Kreislaufwirtschaft noch nachhaltiger machen und den nächsten logischen Schritt gehen. Wir arbeiten heutzutage selbstverständlich remote zusammen, aber auch persönliche Treffen, zuletzt etwa in Lyon in Frankreich, sind wichtig, um gemeinsam den Fokus aufs Thema zu wahren. Unser Spirit ist Spitze, und ich bin dankbar und stolz, dass unser Team bei REHAU ein Teil dieser Mission sein darf.



Abb. 2:
Dr. Martin Sonntag
Foto: Markus Thoma/
REHAU Industries

Engineering progress
Enhancing lives



REHAU Preis Technik 2025

Wir fördern Ideen

Jetzt mit Ihrer Bachelor-/Master-/Diplomarbeit oder Dissertation auf www.rehau.de/preis-technik bewerben.

Themeninhalte:

Die wissenschaftliche Arbeit sollte Fragestellungen aus der Kunststofftechnik beinhalten, die unter den Oberbegriff „Werkstoffe, Oberflächentechniken, Verarbeitungsprozesse, Fügetechnik oder Digitalisierung einzuordnen sind. In diesem Kontext sind für den REHAU Preis Technik 2025 besonders Themenansätze wie Nachhaltigkeit, Recycling, Energieeffizienz, Leichtbau und 3D Druck sowie auch praktische Anwendungen von besonderem Interesse. Die Arbeit kann in Deutsch oder Englisch verfasst sein.

Kategorien und Preise:

Bachelorarbeit	1.500 EUR
Masterarbeit / Diplomarbeit	2.000 EUR
Dissertation	3.000 EUR

Die Einreichungsfrist endet am 30.11.2024.

Informationen und Rahmenbedingungen:
www.rehau.de/preis-technik





42. Motek

Internationale Fachmesse für
Produktions- und Montageautomatisierung

 **17. Bondexpo**

 **08. - 11. Oktober 2024**

 **Stuttgart**

auto- mation intelligence for production and assembly

- Montageanlagen und Grundsysteme
- Handhabungstechnik
- Prozesstechnik zum Fügen,
Bearbeiten, Prüfen und Kennzeichnen
- Komponenten für den Sondermaschinenbau
- Software und Dienstleistungen



**Sichern Sie jetzt
Ihr kostenfreies Ticket:**

Registrierungsseite:
www.schall-registrierung.de
Ticket-Code: HBDL6-ASZDM



 motek-messe.de  bondexpo-messe.de     

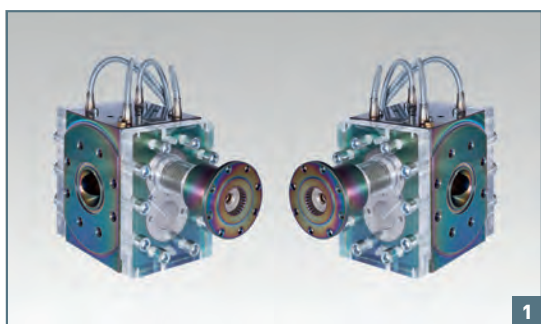
Veranstalter: P. E. SCHALL GmbH & Co. KG

 +49 (0) 7025 9206-0  motek@schall-messen.de  bondexpo@schall-messen.de

 **SCHALL**
MESSEN FÜR MÄRKTE

BESCHICHTETE SCHMELZEPUMPEN MINIMIEREN DEN VERSCHLEISS BEIM COMPOUNDING

Der Compoundierprozess im Kunststoffrecycling stellt besondere Anforderungen an Bauteile und Bereiche, die mit der Schmelze in Berührung kommen, wie Schnecken, Zylinder und Schmelzepumpen. Um den Verschleiß auf ein Minimum zu reduzieren und möglichen Materialansammlungen und Ablagerungen vorzubeugen, bietet das Schweizer Unternehmen Eprotec Extrusion Technology AG seine Schmelzepumpen mit einer speziellen amorphen Oberflächenbeschichtung an.



Darüber hinaus sind Ablagerungen, die durch Verweilzeit und chemische Reaktionen verursacht werden, häufig. Um solche Materialansammlungen zu verhindern und den Verschleiß auf ein Minimum zu reduzieren, bietet Eprotec eine spezielle amorphe Oberflächenbehandlung für seine Schmelzepumpen an. Eine mittels PVD/CVD-Technologie aufgebraachte Oxid-Hartbeschichtung verhindert die Bildung chemischer Ablagerungen. Die Wandhaftung wird reduziert, was zu verbesserten Fließeigenschaften führt.

Während des Compoundierprozesses, bei dem verunreinigte und oft hochgefüllte Materialien vorhanden sind, stabilisiert die Schmelzepumpe den Schmelzedruck und sorgt für eine gleichmäßige Förderung des geschmolzenen Polymers. Verunreinigte Recyclingmaterialien erhöhen jedoch den Verschleiß und verkürzen die Lebensdauer der Bauteile.

Eine nahezu dichte Oberfläche reduziert die Korrosionsanfälligkeit. Die hohe Härte von über 2.300 HV bietet einen sehr guten Verschleißschutz für anspruchsvolle Anwendungen wie das Compoundieren. Diese hartbeschichtete Variante kann auch für hochgefüllte Materialien eingesetzt werden, mit einem maximalen Füllstoffgehalt von 80% bei BaSo₄, 50% bei Glasfasern oder 83% bei CaCO₃.



KONTAKT

EPROTEC EXTRUSION TECHNOLOGY AG

Peter Fischer
Pumpwerkstr. 23
CH-8105 Regensdorf
Tel.: +41 (0)43 3889090
info@eprotec-extrusion.com
www.eprotec-extrusion.com

swiss quality

eprotec
melt pump solutions

eprotec extrusion technology AG
Pumpwerkstrasse 23 | CH-8105 Regensdorf
Tel.: +41 (0)43 3889090 | info@eprotec-extrusion.com
www.eprotec-extrusion.com

SPRITZGIESSCOMPOUNDIEREN IM RECYCLING VON POST-CONSUMER PP ABFÄLLEN

David Zidar¹, Nina Krempl¹, Zahra Shahroodi¹, Ulrike Kirschnick², Clemens Holzer¹, Montanuniversität Leoben / Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung¹ / Verarbeitung von Verbundwerkstoffen und Design für Recycling²

Ist ein einstufiger Prozess zum Recycling von Post-Consumer Kunststoffabfällen vom Flake zum Produkt mit niedrigerem Energieeinsatz und verbesserten Materialeigenschaften bei gleichzeitiger Reduktion von negativen Umweltwirkungen möglich? Dieser Fragestellung hat sich die Montanuniversität Leoben mit den Lehrstühlen Kunststoffverarbeitung und Verarbeitung von Verbundwerkstoffen mit seinen Projektpartnern JKU Linz, Leistritz Extrusionstechnik GmbH, ENGEL Austria GmbH und Gabriel-Chemie GmbH im FFG Projekt: Light-Cycle gestellt. Darüber hinaus, stellt man sich der Herausforderung des Recyclings von glasfaserverstärkten Thermoplastabfällen mit dem Ziel diese nicht der thermischen Verwertung zuführen zu müssen, sondern im Sinne der Kreislaufwirtschaft wiederzuverwerten oder sogar ein Upcycling zu erreichen.

Die Aufbereitung von Post-Consumer-Recycling (PCR) Material aus der Kunststofffraktion stellt eine Vielzahl von Herausforderungen dar, die technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Natur sind. Eine der größten technischen Schwierigkeiten ist die effektive Sortierung und Trennung der heterogenen Abfälle. PCR-Kunststoffe kommen in unterschiedlichen Typen, Farben und Formen vor und sind oft mit organischen und anorganischen Verunreinigungen belastet. Die Technologien zur automatisierten Sortierung, wie Infrarotspektroskopie und elektrostatische Trennung, sind teuer und erfordern regelmäßige Wartung. Zudem variieren die Materialeigenschaften der recycelten Kunststoffe stark, was ihre Wiederverwendung in hochwertigen Anwendungen erschwert. Ökologisch gesehen hat der Recyclingprozess einen hohen Energieverbrauch, insbesondere durch das mehrmalige Aufschmelzen des Kunststoffs. Eine weitere Herausforderung beim Einsatz von Rezyklaten in neuen Produkten stellen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen dar, insbesondere der Preisdruck im Vergleich zu Neuware, was die Nachfrage senkt. Nur durch regulatorische Quoten ist ein Recycling der meisten Kunststofffraktionen derzeit ein großes Thema. Der Energieaufwand beim Aufschmelzen von Kunststoffen im Recyclingprozess variiert je nach Art des Kunststoffs und der spezifischen Recyclingtechnologie. Polyethylen (PE), das häufig in Form von HDPE (High-Density Polyethylene) und LDPE (Low-Density Polyethylene) vorkommt, hat einen Schmelzpunkt von etwa 120-180 °C, während Polypropylen (PP) bei Temperaturen zwischen 160-170 °C schmilzt.

Polyethylenterephthalat (PET) hingegen hat einen Schmelzpunkt von etwa 250-260 °C und benötigt typischerweise mehr Energie pro Kilogramm für das Schmelzen. Laut der Austria Energy Agency [1] beträgt der spezifische Energieverbrauch über alle kunststoffverarbeitenden Betriebe hinweg zwischen 0,53 kWh/kg und 10,95 kWh/kg mit einem Mittelwert von 2,64 kWh/kg. Der spezifische Energieverbrauch der Spritzgießbetriebe liegt im Mittel bei 3,69 kWh/kg (Bandbreite 0,83-10,95 kWh/kg) und liegt damit im Allgemeinen über dem spezifischen Energieverbrauch aller Betriebe. [1]

Dementsprechend spiegeln sich diese Herausforderungen auch Recycling von Post-Consumer PP wider. Die Sammlung (gelber Sack) in Österreich wurde vor kurzem vereinheitlicht, aber aus ökonomischer und ökologischer Sicht wäre eine artgleiche Sammlung auf EU-Ebene von großem Vorteil um die Recyclingmaterialströme besser analysieren zu können und um die Mengen für die Sortierung und Aufbereitung attraktiver zu machen. Die Reinheit der Fraktionen wird in Österreich von der ARA geregelt. Unter der Annahme, dass die Sortierung es tatsächlich schafft, die Fraktionen quasi Sortenrein aufzutrennen so sind doch oft wenige eingefärbte Flakes die nach der Zerkleinerung in dieser Fraktion vorhanden sind ausschlaggebend, dass die Farbe des Recyclats dann vergleichbar mit dem Recyclingpapier-Braun, das vielen noch in guter Erinnerung ist, im Kunststoff eine leichte Graufärbung ergibt. Es bleibt also nur der Weg die Sammlung und auch die Sortierung deutlich zu verbessern bzw. in die-

sen Bereichen sehr stark zu selektieren, um das Material wieder in den Kreislauf des Verpackungsmaterials zurückführen zu können. Die verbliebene stärker verunreinigte Fraktion wird derzeit einer Art Downcycling zugeführt, mit welchen Produkten (z.B. Blumentöpfe) hergestellt werden, bei welchen die regulatorischen sowie technisch/mechanischen Eigenschaften verhältnismäßig gering sind.[2]

Abfälle von faserverstärkten Kunststoffen werden derzeit zu einem hohen Anteil thermisch verwertet und nicht im Kreislauf geführt. Laut Klaus Hauschulte, CEO der Scholz Recycling GmbH, werden in diesem Bereich hohe Mengen Schredderfraktionen etwa aus Altfahrzeugen bald nicht mehr entsorgt werden können.[3] Für diese Thermoplast-Faserverbunde muss dementsprechend eine Lösung im Sinn der Kreislaufwirtschaft gefunden werden. Dies ist nicht nur dem Wunsch einer nachhaltigeren Lebensweise geschuldet, sondern auch den steigenden sich stetig verschärfen Vorgaben der EU zu Recyclingquoten. Kann es also ein gangbarer Weg sein, technische Produkte mit post-consumer PP in Kombination mit glasfaserverstärktem PP Abfall zu verstärken und dadurch die Eigenschaften des Recyclats auf ein Niveau zu heben, welches für technische Produkte geeignet ist und damit die Verbrennung und das Downcycling vermeidet? In diesem Bereich von Nicht-Sichteilen z.B. in der Automobilindustrie wäre eine Beeinflussung der Farbe ein deutlich unwesentlicherer Nachteil als beim Versuch dieses Material wieder in den Verpackungskreislauf zu bringen.

Forschungsansatz

Ziel dieser Arbeit ist das Recycling von Post-Consumer PP, welches mit Abfällen von PP-glasfaserverstärktem Material aus dem post-industriellen Bereich verstärkt wird um Qualitätsleichtbauteile herzustellen. Im ersten Schritt wird getestet, ob eine Verbesserung von PCR-Material durch PP-GF-Flakes überhaupt möglich ist. Hierzu wird klassisch aus den Flakes in einem Compounder ein Granulat hergestellt. Die PP-GF-Flakes werden im Rahmen der Compoundierung in unterschiedlicher Konzentration dem rPP beigegeben um die Verstärkungswirkung bestimmen und mit unverstärktem Material vergleichen zu können. Das Granulat wird anschließend im Spritzgießprozess zu Zugprüfkörpern und kleinen Platten verarbeitet, um die mechanischen Eigenschaften bestimmen zu können. Bei dieser Verfahrensweise wird der Kunststoff zweimal aufgeschmolzen, wofür für zweimalige Verarbeitung Energie aufgewendet werden muss und das Material durch die Verarbeitung auf molekularer

Ebene geschädigt wird. Mittels Life Cycle Assessment (LCA) als Methode zur Quantifizierung von ökologischen Nachhaltigkeitsaspekten wird dieser zweistufige Prozess auf seine ökologischen Auswirkungen analysiert, um einen Basiswert zu ermitteln mit welchem der einstufige Prozess verglichen werden kann.

Neben der Materialentwicklung wird im Projekt „Light-Cycle“ der Ansatz verfolgt die Aufbereitung von Flakes direkt mit der Herstellung eines Produktes zu verknüpfen. Wie in Abb. 1 dargestellt bildet der Compounder und die Spritzgussmaschine eine Einheit, in welcher alle Prozessschritte miteinander verknüpft werden. Davon wird erwartet, dass sich der Energieverbrauch reduziert und die LCA insgesamt positiv beeinflusst werden kann, weshalb dieses Projekt in allen Schritten von der LCA begleitet wird. Erste Analysen des ein- und zweistufigen Prozessvergleichs anhand von Szenarioanalysen haben gezeigt, dass neben Energiebedarf auch Materialeffizienz (Reduktion von Produktionsabfällen) und Maschinenbedarf (Mehraufwand durch die Verbindungsstücke) eine wichtige Rolle spielen. Im optimistischen Szenario können die Umweltwirkungen des Verbundwerkstoff-Produktion um 34% gesenkt werden.[3]

Um einen einstufigen Prozess gestalten zu können, bedarf es eines Übergangsstück, dem sogenannten Schmelzespeicher, um den kontinuierlichen Prozess des Compoundierens mit dem diskontinuierlichen Prozess des Spritzgießens verknüpfen zu können. Um die rheologischen Eigenschaften des Rezyklats bestimmen zu können bevor es in die Spritzgussmaschine geschleust wird, wird ein Inline-Rheometer der Firma Leistritz verwendet. Dies

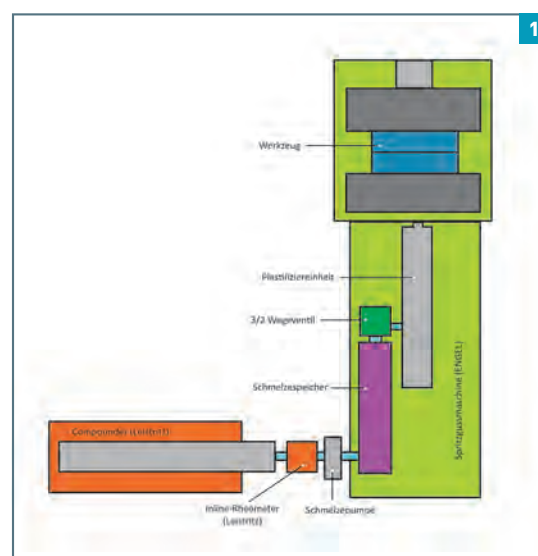
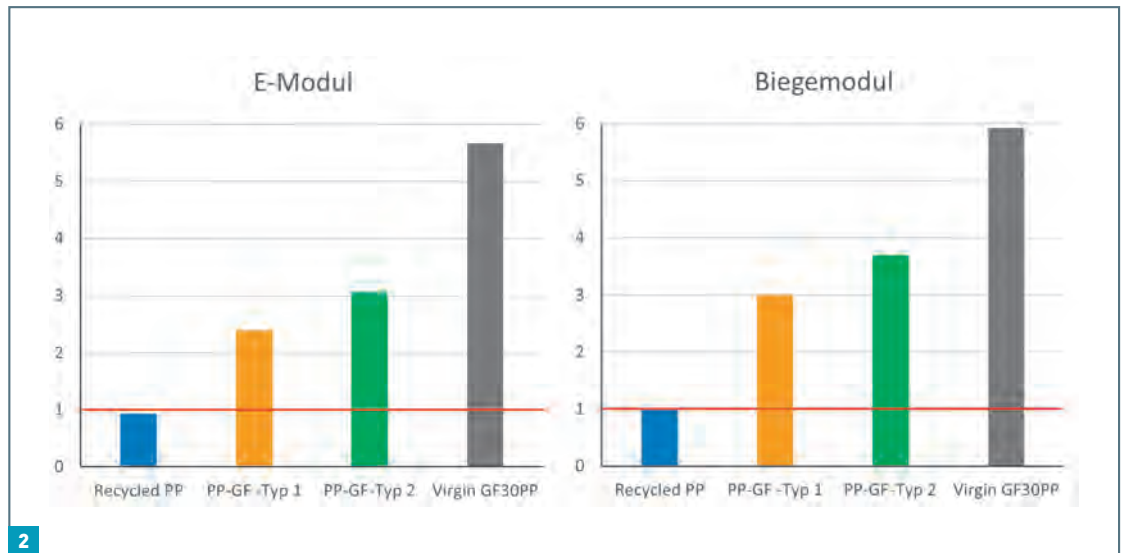


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau des Spritzgießcompounders. Quellen: Montanuniversität Leoben

Abb. 2:

E-Modul & Biegemodul von gemessenen Werten des rPP sowie des mit 50% PP-GF-Flake verstärkten rPP mit Virgin PP (rote Linie) und Virgin PP mit 30% Kurzglasfaserverstärkung.



erlaubt einerseits ungeeignete Fraktion über das 3/2 Wegeventil auszuscheiden oder andererseits in der Spitzgussmaschine mit Zugabe von Virgin-Material die Eigenschaften auf ein benötigtes Niveau zu heben. So kann gewährleistet werden, dass die rheologische Qualität des Kunststoffverbunds steht innerhalb vorgegebener Grenzen liegt bevor daraus das Endprodukt hergestellt wird. [4-6] Unter der Bedingung, dass dasselbe Eingangsmaterials (rPP + Flakes) verwendet wird, werden schlussendlich die Materialeigenschaften aus dem zweistufigen mit jenem vom einstufigen Prozess verglichen.

Ergebnisse aus der Materialmodifikation

Im zweistufigen Prozess wurden zwei post-industrielle PP-GFK Abfallprodukte mit rPP aus dem Post-Consumer Bereich verarbeitet. Es wurden zwei verschiedene PP-GFK Abfallprodukte zur Compounds mit Konzentrationen von 10, 30 und 50 Gewichts-% verarbeitet. Das hergestellte Granulat wurde anschließend thermisch (DSC), thermogravimetrisch (TGA), rheologisch (MFR, oszillierendes Rheometer) sowie mechanisch (Zugprüfung, Biegung, Carpy-Impact) untersucht. Über die thermische Analyse konnte nachgewiesen werden, dass trotz Verwendung eines rPP aus einer industriellen Recyclinganlage eine Verunreinigung durch einen kleinen Anteil PE gegeben ist. Über thermogravimetrische Analyse, konnte gezeigt werden, dass sich das Abbauverhalten des Materials mit steigendem GF-Gehalt verschlechtert, da die Wärmeleitfähigkeit steigt. Aus den rheologischen Messungen konnte gezeigt werden, dass der Einfluss durch die Zugabe der Glasfaserflakes sehr stark abhängig von der Art der Flakes ist und jedenfalls immer von Fall zu Fall betrachtet werden muss.

Die spannendsten Erkenntnisse in Bezug auf die Forschungsfrage ergaben sich aber aus den Ergebnissen der mechanischen Analysen. Auch hier zeigte sich eine sehr starke Abhängigkeit der Eigenschaften vom compoundingen Material vom Typ der zugegebenen Flakes. Zum Vergleich wurde als Basis mit dem Wert „1“ ein Virgin PP der Type HE125M der Borealis AG herangezogen. Auf diesen Ausgangswert bezieht sich die faktorielle Darstellung der Ergebnisse. Um einen zusätzlichen Vergleich zu ermöglichen würden die Daten der zwei PP-GF Typen in einem Mischungsverhältnis 50 Gew.-% PP-GF-Flakes zu 50 Gew.-% rPP herangezogen da dies einen Glasfasergehalt von rund 30% im Endprodukt ergibt. Zum Vergleich der Eigenschaften mit einem kurzglasfaserverstärkten Virgin-Material wurde Fibremod™ FF311SF-9502 der Firma Borealis AG herangezogen. In Abb. 2 werden die positiven Ergebnisse beleuchtet.

Einerseits zeigt sich, dass das rPP in Bezug auf E-Modul und Biegemodul beinahe die gleichen Werte aufweist wie ein Virgin-Material. Durch die Zugabe von 50 Gew.-% PP-GF Flakes konnte eine deutliche Steigerung des E-Moduls und des Biegemoduls erzielt werden. Mit den PP-GF-Flakes des Typs 2 waren Steigerungen um einen Faktor von über drei im Verhältnis zum rPP Ausgangsmaterial festzustellen. Im Verhältnis zu einem kurzglasfaserverstärkten Virgin PP konnten jedoch nur etwa 60% der Werte erreicht werden.

In Abb. 3 zeigt sich aber die Kehrseite der Zugabe von PP-GF-Flakes zu rPP.

Die Zugfestigkeit vom rPP ist von Anfang an um etwa 25% niedriger als jene des Virgin-PP. Wäh-

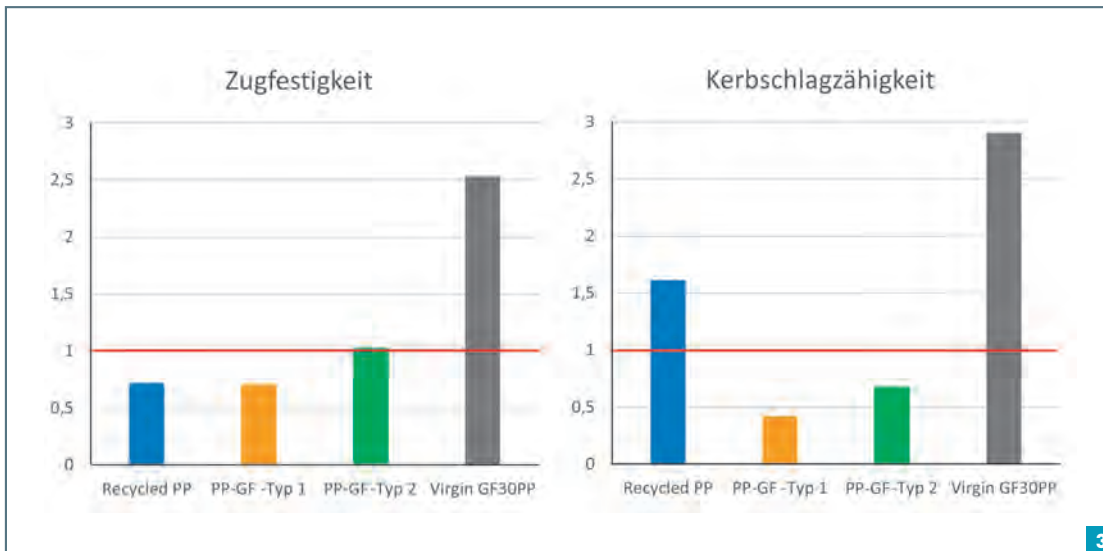


Abb. 3: Zugfestigkeit & Kerbschlagzähigkeit von gemessenen Werten des rPP sowie des mit 50% PP-GF-Flake verstärkten rPP mit Virgin PP (rote Linie) und Virgin PP mit 30% Kurzglasfaserverstärkung.

rend mit der Zugabe der PP-GF-Flakes des Typ 1 keinerlei Verbesserung der Zugfestigkeit erreicht wurde. Mit Typ 2 konnte eine signifikante Steigerung erzielt werden, was allerdings nur bedeutete, dass die Zugfestigkeit eine Virgin-PP erreichte wurde und man einen Faktor von 2,5 entfernt ist von den Werten eines kurzglasfaserverstärkten Virgin PPs. Im Bereich der Kerbschlagzähigkeit zeigt das rPP im Vergleich zum Virgin-PP um über 50% höhere Werte. Durch die Zugabe von PP-GF-Flakes wird dieser Kennwert allerdings deutlich gesenkt und zeigt ein gegenteiliges Verhalten zu einem kurzglasfaserverstärkten Virgin PP. Zusammenfassend ist feststellbar, dass eine Verstärkung von rPP durch PP-GF-Flakes aus post-industriellem Abfall möglich ist, aber limitiert ist. Aus den Ergebnissen lässt sich zudem eine wichtige Erkenntnis ableiten, die wohl das Recycling bzw. die Mehrfachverarbeitung von faserverstärkten Thermoplasten stark beeinflussen wird, nämlich, dass keine zufriedenstellende Faser-Matrix Haftung erreicht wird, was dazu führt, dass die mechanischen Eigenschaften schlechter sind, als zu erwarten wäre. [7]

Detaillierte Ergebnisse stehen derzeit kurz vor der Publikation im renommierten "Journal of ASC Sustainable Chemistry and Engineering" unter dem Titel: "A Waste-to-Value Feasibility Study: Assessing the Viability and Quality of Incorporating different Post-industrial Glass-fibre Composites into Post-consumer Recycled Polypropylene", Shahroodi Z., et.al: Accepted Manuscript

Über die in der Publikation veröffentlichten Versuche und Ergebnisse hinaus, wurde versucht die Faser-Matrix Haftung durch die Zugabe eines Coupling-Agent-Additives zu verbessern. Dies zeigt

te allerdings keine signifikante Verbesserung der mechanischen Kennwerte, was nahelegt, dass die Schlichte der Glasfaser nach der ersten Verarbeitung quasi ausreagiert ist und eine Haftung in der zweiten Verarbeitung nur durch den geringen Anteil an verbliebenen aktiven funktionellen Gruppen hergestellt wird. Je mehr dieser Gruppen vorliegen, desto besser ist die Faser-Matrix-Haftung.

Ausblick

Die Inbetriebnahme des Spritzgießcompounders als eine Anlage, steht mit Ende August an. Die Ergebnisse aus den anstehenden Messungen werden zeigen, ob sich die Hypothese, dass ein einstufiger Prozess einem zweistufigen, sowohl in Materialqualität als auch hinsichtlich Umweltwirkungen überlegen ist, an diesem Punkt bestätigt oder widerlegt.

Egal ob sich die Hypothese bestätigt oder nicht, ergeben sich aus der Produktionstechnologie potenzieller Weise jedoch Möglichkeiten für die Zukunft und Optimierungspotenziale können eruiert werden, um den Prozess weiter zu verbessern. Durch eine Kombination der beiden Prozesse ist das Potenzial für einen weiteren Schritt in Richtung automatisiertes Recycling-to-Product getan. Mit den bereits vorhandenen Inline-Rheometer Messungen ist auch eine Möglichkeit zur Inline-Qualitätskontrolle gegeben. Gerade in diesem Bereich bedarf es aber noch erweiterte Forschungsarbeit um diesen Prozess breiter einsetzen zu können. Es muss gewährleistet werden können, dass man bei einer deutlich unsichereren Qualität des Input-Materials schlussendlich ein Produkt herstellen kann, welches in einem sehr engen Qualitätsbereich liegt, wie es im Spritzguss Stand der Technik ist. Dazu ist eine weitere Au-

tomatisierung in der Produktionstechnologie nötig, aber auch eine bessere Inline-Messtechnik die alle für das Endprodukt notwendigen Qualitätskriterien analysieren kann, einer zentralen Steuerung die Echtzeitdaten bereitstellt und diese den Gesamtprozess automatisch je nach Materialeingangsqualität adaptiert.

Ein anderer Zugang könnte sein das in sich geschlossene System zu nutzen mit dem Ziel Kunststoffrestfraktionen zu verarbeiten, die schlecht getrennt sind und sonst bisher der thermischen Verwertung zugeführt wurden. Hier handelt es sich meist um technische Kunststoffe, die zwar grundsätzlich sehr gute Eigenschaften haben, aber noch deutlich schwerer zu trennen sind und oft nur in sehr kleinen Mengen am Markt vorhanden sind. Ziel wäre es hier ein technisches Recycling-Blend-Produkt zu erzielen, welches eine lange Lebenszeit besitzt und so sowohl den Kreislaufgedanken erfüllt, indem einer Fraktion nicht nur ein neues, sondern auch ein langes Leben geschenkt wird.

Vermutlich gibt es aber auch noch andere Zugänge um diese Prozesstechnologie zu nutzen. Sollten Sie

Fragen zu der derzeitigen oder zukünftigen Arbeit in diesem Bereich haben, oder das Interesse sich an Forschungstätigkeiten zu beteiligen haben, nehmen Sie gerne mit uns Kontakt auf.

Acknowledgement

Die Autoren danken dem österreichischen Bundesministerium für Klimaschutz für die finanzielle Unterstützungsaktion: Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Die Unterstützung erfolgte durch das Projekt „LightCycle“ (Projekt-Nr. FO999889913) im Rahmen der FTI-Initiative „Kreislaufwirtschaft 2021“. Die Verwaltung der Initiative liegt bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG). Die Autoren danken auch für die wertvolle Unterstützung ihrer Industriepartnern: Engel Austria GmbH (Österreich), Leistritz Extrusionstechnik GmbH (Deutschland) und Gabriel Chemie GmbH (Österreich). Darüber hinaus bedanken sie sich für die Unterstützung durch ihren wissenschaftlichen Projektpartner, die LIT Factory Johannes Kepler Universität Linz (Österreich).

LITERATUR

1. Austria Energy Agency: ENERGIEEFFIZIENZKONZEPT DER KUNSTSTOFFVERARBEITUNG IN ÖSTERREICH, Wien 2016
2. Krempl N., Holzer C., Pinter E., Frühwirth M., Shahroodi Z., Jahn E., Aschermayer F., Gabriel V. H.: Unlocking the Potential of Recycled Polypropylene in Food Packaging, 39th International Conference of the Polymer Processing Society, Kolumbien, Mai 2024
3. B. Reckter: Gerettet? Recycling von faserverstärkten Kunststoffen, VDI Nachrichten, Mai 2018
4. Kirschnick U., Shahroodi Z., Krempl N., Schledjewski R.: Screening Life Cycle Assessment comparing One-step and Two-step Injection Molding Compounding using Conservative and Optimistic Scenarios, WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 2023, p. 1293-1303
5. Krempl N., Zahra Shahroodi: Revolutionizing fiber-reinforced thermoplastic composite recycling: the LightCycle project's journey towards energy-efficient upcycling and quality material regeneration, 60th Ilmenau Scientific Colloquium : Engineering for a Changing World - Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Deutschland, September 2023
6. Kirschnick U., Shahroodi Z., Krempl N., Schledjewski R.: Environmental performance comparison of a one-step and two-step compounding and injection molding process using recycled PP and glass fibers, Polymer Meeting 15: Book of Abstracts, 2023
7. Shahroodi Z., Krempl N., Zidar D., Mayrhofer T., Kirschnick U., Arbeiter F., Duretek I., Holzer C.: "A Waste-to-Value Feasibility Study: Assessing the Viability and Quality of Incorporating different Post-industrial Glass-fibre Composites into Post-consumer Recycled Polypropylene", Journal of ASC Sustainable Chemistry and Engineering, Accepted Manuscript

KONTAKT

MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN

Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung
 Recycling & Sustainability, Plastic Mould Steels
 Dipl.-Ing. David Zidar
 Otto Glöckel-Straße 2, A-8700 Leoben
 Tel.: +43 (0)3842 402-3508
david.zidar@unileoben.ac.at
www.unileoben.ac.at

FÜR VERBESSERTE SCHMELZEQUALITÄT

Messung und Regelung der Schmelzflussrate im Extrusionsprozess durch innovatives Messsystem bietet mehr Prozesssicherheit, höhere Produktqualität und weniger Ausschuss.

Ständig wechselnde Materialchargen unterschiedlichster Lieferanten und stark variierende Eingangsqualitäten des Feedstocks stellen Betreiber moderner Extrusions- und Recyclinganlagen vor große Herausforderungen. Je nach Charge kann sowohl der Verunreinigungsgrad durch Fremdstoffe als auch die Schmelzflussrate der Produkte stark variieren. Um letzterem entgegenzuwirken, hat die Leistritz Extrusionstechnik das Leistritz Dehnrheometer entwickelt. Während der Verarbeitung wird kontinuierlich die Schmelzflussrate ermittelt, um auf Schwankungen des Eingangsmaterials schnell reagieren zu können, beispielsweise durch Zugabe von Additiven. Das innovative Messsystem liefert darüber hinaus mit Scher- und Dehnviskosität weitere fundierte Daten, um auch geringste Schwankungen im Verarbeitungsprozess nachzuweisen.

In einer Versuchsreihe für ein renommiertes Recyclingunternehmen wurde der MFR-Wert für ein vorsortiertes Post-Consumer-Polypropylen (MFR = 11 g/10 min, 230°C, 2,16 kg) durch Zugabe eines Peroxids verändert und Chargenwechsel simuliert. Zunächst wurde ein Post-Consumer PP/PE-Gemisch mit niedrigerem MFR-Wert (2 g/10 min (230°C, 2,16 kg)) zugegeben und anschließend wieder entfernt.

Am Ende der mehrstufigen Versuchsreihe zeigte sich beim Vergleich von on- und offline gemessenen MFR-Werten eine Abweichung von weniger als 5 % vom Absolutwert. Als smarter Sensor reduziert das Leistritz Dehnrheometer so Produktausschuss und sichert durch die konstante Schmelzequalität eine höhere Produktqualität.

KONTAKT

LEISTRITZ EXTRUSIONSTECHNIK GMBH

Markgrafenstraße 36/39
D-90459 Nürnberg
Tel.: +49 (0)911 4306 610
extruder@leistritz.com
extruders.leistritz.com



INTEGRIERTE RECYCLINGLÖSUNGEN: Für eine bessere Zukunft.

- Optimierte Extrusionsanlagen und Systemkomponenten für Kunststoffrecycling und -verarbeitung
- Breites verfahrenstechnisches Know-How
- Inline-Prozesskontrolle
- Ausgereifte maschinentechnische Kompetenz

RAFFINIERTE LÖSUNG FÜR VIELSCHICHTIGES RECYCLING-PROBLEM: CREASOLV®

Die gesetzlichen Anforderungen an Recyclingquoten für Kunststoffe steigen, doch herkömmliche Verfahren stoßen an ihre Grenzen. Besonders problematisch sind Mehrschichtverpackungen und Mischkunststoffe, die aufgrund ihrer komplexen Struktur schwer zu recyceln sind. Hier setzt das lösungsmittelbasierte CreaSolv®-Verfahren an, das neue Wege im werkstofflichen Kunststoffrecycling eröffnet. Es bietet nicht nur eine Lösung für bestehende Probleme, sondern zeigt auch großes Potenzial für die Zukunft.



Abb. 1:
GAW CreaSolv® Anlage

Ein vielschichtiges Problem...

Plastikabfälle, insbesondere aus Mehrschichtverpackungen, sind eine der größten Herausforderungen im Kunststoffrecycling. Diese Verpackungen, oft für Lebensmittel verwendet, bestehen aus mehreren Schichten unterschiedlicher Materialien, die den Inhalt vor Verderben und äußeren Einflüssen schützen. Doch genau diese komplexen Strukturen machen ein werkstoffliches Recycling fast unmöglich. Die Schichten können nicht getrennt und somit nicht rein wiederverwertet werden. Zudem sind diese Verpackungen häufig durch Lebensmittelreste und andere Verunreinigungen kontaminiert, was die Wiederverwertung zusätzlich erschwert. Der Großteil dieses Abfalls landet daher in der Verbrennung oder auf Deponien, was nicht nur Ressourcen verschwendet, sondern auch den Kreislaufgedanken unterläuft.

...und die Grenzen seiner Lösbarkeit!

Konventionelle Recyclingverfahren wie das Extrusionsrecycling haben ihre Grenzen erreicht. Wäh-

rend diese Technologien in der Lage sind, sortenreine Kunststoffabfälle effizient zu verarbeiten, scheitern sie an komplexen Verbundmaterialien. Technologische Fortschritte im Sortierbereich wie NIR- oder dichte-basierte Trennverfahren stoßen bei gemischten Kunststoffabfällen und Verbundwerkstoffen an technische und wirtschaftliche Grenzen. In der Praxis kann nur ein Drittel der gesammelten Leichtverpackungen sortenrein aufbereitet werden. Der Rest wird thermisch verwertet und geht dem Recyclingkreislauf verloren. Um die zukünftigen EU-Recyclingziele von 55 % zu erreichen, müssen neue, kreative Ansätze her.

Lösung durch Lösen: das CreaSolv®-Verfahren:

Das CreaSolv®-Verfahren bietet hier eine vielversprechende Lösung. Es basiert auf einem lösungsmittelbasierten Recyclingansatz, der es ermöglicht, spezifische Polymere aus gemischten Kunststoffabfällen selektiv herauszulösen. Der Prozess beginnt mit der Vorbehandlung der Abfälle durch eine einfache Trockenreinigung. Anschließend werden die Kunststoffflakes mit einem speziell formulierten Lösemittel behandelt, das nur ein definiertes Zielpolymer löst, während Verunreinigungen und Fremdstoffe als feste Rückstände zurückbleiben. Nach der Abtrennung des Lösungsmittels vom Polymer bleibt ein hochreines Rezyklat übrig, das in seinen Eigenschaften nahezu dem Ausgangsprodukt entspricht. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist die geringe thermische und mechanische Belastung, was den Erhalt der Materialeigenschaften sicherstellt.

Anwendungen - Vielseitigkeit - Potenzial:

Das CreaSolv®-Verfahren hat sich bereits in zahlreichen industriellen Demonstratorprojekten bei unterschiedlichsten Abfallströmen bewährt. Bei-

KONTAKT

GAW TECHNOLOGIES GMBH

Alexander Rinderhofer
Puchstraße 76
A-8020 Graz
Tel.: +43 (0)316 2704-0
office@gaw.at
www.gaw.at

spielsweise betreibt Unilever in Indonesien eine Anlage, die Mehrschichtverpackungen recycelt, und das PolyStyreneLoop-Projekt in den Niederlanden verwendet das Verfahren zur Wiederverwertung von EPS-Dämmstoffen, wobei umweltschädliche flammhemmende Additive aus dem Alt-EPS extrahiert werden. GAW verfügt über eine industrielle Demonstrator-Anlage, an der das Recycling einer Vielzahl von unterschiedlichen Kunststoffverbunden und Mischkunststoffen bspw. Folienlamine, Kunststoff-Aluminium-Verbunde, Kunstrasen, glasfaserverstärkte PP/PA-Abfälle aus Automobilanwendungen im semiindustriellen Maßstab realisiert wurde. Diese Anwendungen beweisen die Vielseitigkeit des Verfahrens, das nicht nur für flexible Verpackungen, sondern auch für technische Kunststoffe und andere Verbundmaterialien geeignet ist. Getränkekartonverpackungen, synthetische Textilien, glasfaserverstärkte Kunststoffe oder Kunststoffe aus Elektroaltgeräten können künftig mit dieser Methode recycelt werden.

Die Zukunft des CreaSolv®-Verfahrens scheint vielversprechend. Es bietet eine effektive Möglichkeit, die Recyclingquoten zu erhöhen und gleichzeitig

die Qualität der Rezyklate zu verbessern. Besonders in Kombination mit konventionellen mechanischen Verfahren könnte es eine Schlüsselrolle in der Kreislaufwirtschaft der Zukunft spielen. Die geringe Umweltbelastung durch niedrigen Energieeinsatz und die hohe Effizienz bei der Materialtrennung und -reinigung machen es zu einer robusten, nachhaltigen Alternative zum chemischen Recycling oder zur Verbrennung.

Eine lösungsorientierte Perspektive

Das CreaSolv®-Verfahren stellt eine vielversprechende Innovation im Kunststoffrecycling dar, die bestehende Herausforderungen überwindet und das Potenzial hat, die Recyclingquoten signifikant zu steigern. Mit der Fähigkeit, komplexe und verunreinigte Kunststoffabfälle effizient werkstofflich zu recyceln, könnte es in den kommenden Jahren eine zentrale Rolle bei der Erreichung der europäischen Recyclingziele spielen. Als Ergänzung zu bestehenden Technologien bietet es eine nachhaltige und wirtschaftlich attraktive Lösung für das Recycling von Mehrschichtverpackungen und anderen schwierigen Kunststoffabfällen.



GAW technologies und weitere Unternehmen der GAW Group stehen für Technologiekompetenz im Bereich Kunststoffrecycling.

Wir helfen, Ihre Ziele für nachhaltige Entwicklung zu erreichen und den CO₂-Fußabdruck zu verringern. Zum Beispiel mit der bahnbrechenden Recyclinglösung für Kunststoffverpackungen aus Mischkunststoffen und Kunststoffverbunden ➔ **CreaSolv®**

		
Recycling	Coating	Digitalization
Preparation	Water	Optimization
		

GREAT APPLICATIONS WORLDWIDE

INSTITUT POLYMER PROCESSING AND DIGITAL TRANSFORMATION AN DER JKU LINZ

Gerald Berger-Weber, Johannes Kepler Universität Linz (JKU) / Institut Polymer Processing and Digital Transformation (IPPD)

Univ.Prof. Dr. Gerald Berger-Weber hat mit 01.10.2021 das Institut für Polymer Extrusion and Compounding (ipecc, ehemals Jürgen Miethlinger) sowie mit 01.12.2023 das Institut für Polymer Injection Moulding and Process Automation (ipim, ehemals Georg Steinbichler) übernommen und beide zum Institut Polymer Processing and Digital Transformation (IPPD) zusammengeführt. In diesem Beitrag stellen wir unsere Vision zur nachhaltigen Kunststoffverarbeitung durch Digitalisierung vor.

Vision nachhaltige Kunststoffverarbeitung durch Digitalisierung

Die Bedeutung von Kunststoffen für das Erreichen der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (UN-SDGs) steht außer Frage. Die nachhaltige Entwicklung in vielen Industriezweigen wie Bau und Konstruktion, Mobilität, Gesundheit und dem grünen Energiesektor ist mit den vielseitigen Eigenschaftsprofilen von Kunststoffen verbunden. Verschiedenste Kunststoffsorten, bestehend aus Basispolymeren und Additiven, können speziell für die jeweiligen Anwendungen zugeschnitten werden und helfen so bei dem Weg hin zu einer ressourcenschonenderen Zukunft. Darüber hinaus macht ihr geringes Gewicht, ihre Haltbarkeit und ihr vorteilhafter CO₂-Fußabdruck in Anbetracht der gesamten Prozesskette (Produktion – Nutzung – Recycling) im direkten Vergleich mit anderen Werkstoffen Kunststoffe zur bevorzugten Wahl für viele nachhaltige Lösungen. Diese Vorteile spiegeln sich auch in steigenden weltweiten Produktions- und Recyclingraten deutlich wider. Doch Fotos von Meeresverschmutzung, der Nachweis von Mikroplastik in Lebensmitteln und im menschlichen Körper sowie die Deponierung von Kunststoffabfällen – letztere ist in Österreich seit langem schon verboten – beeinträchtigen das Image der gesamten Werkstoffgruppe ohne Rücksicht auf den Verwendungszweck.

Zudem sind Kunststoffverarbeitungsprozesse, im Englischen Polymer Processing oder Plastics Conversion genannt, häufig nicht für eine bestimmte Anwendung optimiert und oft noch auf Basis von Erfahrung und einfachen analytischen Modellen ausgelegt bzw. eingestellt. Folglich ergeben sich große Optimierungspotentiale durch (i) Identifikation eines optimalen Gleichgewichts zwischen Durch-

satz, Produktqualität und Energieeffizienz, (ii) Minimierung von Prozessausschuss (=Ressourcenschonung) aufgrund langer Anlaufzeiten, Offline-Qualitätskontrolle und Prozessinstabilitäten, (iii) Erhöhung der Kontinuität der Produktqualität, (iv) Ausgleichen von Prozess- (z.B. durch Temperaturregelungen oder Dosierungen) und Inputstrom-Schwankungen (z.B. bei mechanisch recycelten fossil-basierten Kunststoffen oder bei der Verarbeitung von Biokunststoffen), (v) allgemeine Erweiterung des Prozessverständnisses und -wissens (z.B. zur Fehlerbehebung) und (vi) Optimierung der Wartungsintervalle.

Unsere Vision ist eine nachhaltige Kunststoffverarbeitung. Unsere Mission ist es, diese großen Herausforderungen – Nachhaltigkeit durch fortschrittliche Technologien im Bereich der Kunststoffe anzugehen, unabhängig ob bio-basiert, fossil-basiert oder recycelt, indem wir die digitale Transformation in der Kunststoffverarbeitung vorantreiben. Wir sind fest davon überzeugt, dass diese Transformation eine Kombination verschiedener Schlüsselemente erfordert: Zunächst einmal ist die Live-Bewertung und Charakterisierung von Prozess und Endprodukt durch **Inline-, Online- und In-situ-Messtechnologien** von wesentlicher Bedeutung. Dies kann z.B. die Messung von Verarbeitungsdrücken und -temperaturen, optische Spektroskopie, Ultraschalltechnologie, rheologische Messungen, Farbspektroskopie, jede Art von Soft-Sensoren und andere umfassen. So werden Eingangsparameter für nachfolgende Prozessmodellierungsschritte gewonnen und die Zeitlücke zwischen Abweichungen im Prozess, deren Qualitätsbewertung und den potenziellen Eingriffen und somit Prozessausschuss werden drastisch reduziert. Darüber hinaus sind Prozessmodelle, die genau und prä-

zise, stabil, schnell in der Ausführung (idealerweise in Echtzeit), generalisierbar und mit dem physikalischen Hintergrund des Prozesses vertraut sind, die Schlüsselkomponenten digitaler Prozesszwillinge. Dafür wurde am Institut für Polymer Processing und Digital Transformation eine hybride Modellierungsstrategie entwickelt – eine effektive Kombination aus experimentellen, analytischen, numerischen und datenbasierten Methoden in einem ganzheitlichen Ansatz, der im nächsten Abschnitt ausführlich beschrieben wird. Wir sind nicht damit zufrieden, das digitale Abbild eines realen Prozesses zu erzeugen (digitaler Schatten). Der entscheidende Schritt für die digitale Transformation wird die Rückkopplung zwischen den Modellausgaben (des digitalen Zwillings) und dem Prozess selbst sein, oft als digitaler Trigger bezeichnet. Dies kann von einer Warnung an den Maschinenbediener über ein Dashboard bis hin zu hoch-spezifischen Maßnahmen reichen: Vorhersagen des zukünftigen Verhaltens oder Ereignisse eines Prozesses (z.B. für vorausschauende Wartung), zusätzliche Anweisungen an den Bediener (Assistenzsysteme) oder sogar autonome Handlungen mittels eines modellbasierten Regelkreises, der im

System implementiert ist (selbstadaptierende und -optimierende Maschinen).

Hybride Modellierung

Seit Jahrzehnten sind Modellierung und Simulation in der Kunststoffverarbeitung von besonderem Interesse für die Auslegung von Prozessen und Produkten und gewinnen im Kontext der Digitalisierung immer mehr Aufmerksamkeit. Man muss stets zwischen der Genauigkeit eines Modells oder einer Simulation, d.h. zwischen den Annahmen und Vereinfachungen, und dem Aufwand (Auswertungszeit und Rechenleistung) abwägen, um mit dem komplexen rheologischen Verhalten von Kunststoffschmelzen (Scherviskosität, Druck- und Temperaturabhängigkeit, Wandgleiten und viskoelastisches Verhalten), komplexen Strömungsgeometrien (z.B. Wave- und Energy-Transfer-Schnecken, Düsen- und Werkzeugsysteme), einer breiten Größenskala (von mm bis m), Phasenübergängen (Schmelzen, Erstarren und Kristallisation) und Mehrphasensystemen (Co-Extrusion, freie Oberflächen, Füllstoffe, Faserverstärkungen) umzugehen. Der am IPPD entwickelte hybride Modellierungsansatz ist ein

Abb. 1: Bereiche des IPPD.



eleganter Weg, dieses Optimierungsproblem zu lösen, und hat sich bei der Modellierung zahlreicher Probleme in der Extrusion als effizient erwiesen [1-6]. Der Begriff „hybrid“ beinhaltet dabei, dass Expertenwissen sowie experimentelle, analytische, numerische und datenbasierte Modellierungsstrategien zu einem ganzheitlichen Ansatz verschmolzen werden, wobei die jeweiligen individuellen Vorteile genutzt und die Nachteile ausgeglichen werden.

Die Entwicklung eines hybriden Prozessmodells umfasst die folgenden Hauptschritte: (i) Analyse eines spezifischen Problems und der Zielparame-ter (Outputs), (ii) physikalische und mathematische Beschreibung des Problems (z.B. Definition und Vereinfachung der grundlegenden (Erhaltungs-) Gleichungen mit Hilfe von Expertenwissen), (iii) Durchführung einer Dimensionsanalyse zur Identifikation unabhängiger dimensionsloser Einflussparameter des Problems, (iv) Erstellung eines numerischen Berechnungsmodells (z.B. in einer CFD-Software oder durch Implementierung eines numerischen Lösungsansatzes wie des Schießverfahrens) oder eines experimentellen Aufbaus und (v) Durchführung einer dichten parametrischen Studie unter Variation der unabhängigen Einflussparameter im vollständigen praxisrelevanten Bereich, (vi) Datenanalyse und schließlich (vii) ein datenbasierter Modellierungsschritt z.B. unter Verwendung symbolischer Regressionsanalyse basierend auf genetischer Programmierung [7,8].

Das Ergebnis dieses Ansatzes ist eine vergleichsweise einfache und kontinuierliche algebraische Beziehung zwischen einem gegebenen dimensionslosen Zielparame-ter und dem Satz jeweils unabhängiger dimensionsloser Einflussparameter. Dies ermöglicht hochpräzise Echtzeitleösungen für mathematisch komplexe Probleme, die zuvor aufwändige numerische Methoden oder signifikante Vereinfachungen erforderten.

Darüber hinaus ist die hybride Modellierung kein ausschließlich datengesteuerter Ansatz, sondern berücksichtigt auch die grundlegende Physik hinter dem Prozess und erreicht so eine hervorragende Vorhersagegenauigkeit und ermöglicht die Integration von Expertenwissen. Die Analyse und Lösung des Problems im dimensionslosen Raum ermöglicht zudem die Erstellung eines generalisierten Modells, das nach Rücktransformation auch auf jede unbekannte Kombination von Materialeigenschaften, Geometrie, Größenskala und Verarbeitungsbedingungen anwendbar ist, sofern diese Einflüsse in der parametrischen Studie berücksichtigt wurden.

Um den Prozess einer gesamten Maschine oder Fertigungsanlage zu beschreiben, ist es üblich, einzelne Teilprozesse getrennt zu modellieren und die Teilmodelle dann zu einem globaleren Prozessmodell zu verknüpfen. Beispielsweise muss die genaue Modellierung des Förderverhaltens im Dosierbereich eines genuteten Einschneckenextruders auch (i) die lokalen Variationen der Schnecken-geometrie (wie z.B. bei Hochleistungs-Schnecken typisch), (ii) die Strömung in den Nuten des Zylinders, und (iii) den Leckstrom durch den kleinen Spalt zwischen Schneckensteg und Extruderzylinder (Schnecken-spiel) berücksichtigen. Wir haben symbolische Regressionsmodelle entwickelt, die den Materialstrom durch Kanalabschnitte infinitesimaler Größe perfekt vorhersagen. Diese Teilmodelle wurden/ werden dann – analog zu elektrischen Netzwerken – durch Anwendung eines Schaltplanes verknüpft, bei dem Ströme bzw. Spannungen durch Durchflussraten bzw. Druckabfälle [9] ersetzt werden.

In Zukunft werden die hybriden Prozessmodelle die Grundlage digitaler Prozesszwillinge bilden. Aufgrund ihrer mathematischen Einfachheit und Ausführungszeit kann dann jede Maschinensteuerung (wie z.B. speicherprogrammierbare Steuerungen) diese Modelle nutzen, die z.B. als Softsensor oder als Teil eines modellbasierten Regelkreises in Kombination mit der Inline-Überwachung der Verarbeitungsbedingungen (z.B. Rheologie) und der Produktqualität fungieren können.

Impact und potentielle Anwendungen

Der vorgeschlagene Forschungsansatz zielt auf eine Vielzahl von Anwendungen und Use Cases in der Kunststoffverarbeitung ab, von der Entwicklung von Kunststoffsorten über Compoundierung und Werkstofftuning, Design von Verarbeitungsmaschinen und -prozessen, Inline-Produktqualitätsüberwachung, modellbasierte geschlossene Regelkreise und insgesamt das Schließen der Stoffkreisläufe zusammen mit Kunststoffverarbeitern für das Recycling.

Aus wissenschaftlicher Sicht kann unser intelligenter Ansatz für die Kunststoffverarbeitung enorme Synergieeffekte und neue Möglichkeiten schaffen, indem Wissen und Forschung aus verschiedenen Disziplinen wie (Polymer-)Chemie, Messtechnik, Maschinenbau, Kunststofftechnik, Regelungstechnik, Physik (Strömungslehre), Mathematik (Statistik), Informatik und maschinellem Lernen zusammengeführt werden. Diese Interdisziplinarität fördert ebenso die Wissensentwicklung über Transportphänomene in der Kunststoffverarbeitung auf verschiedenen Ebenen.

Als Grundlage für zukünftige **industry-ready-tools** bieten unsere hybriden Prozessmodelle zahlreiche Möglichkeiten für (i) intelligentes, **softwareunterstütztes Design** von Produkten, Anlagen und Prozessen, (ii) die Implementierung **digitaler Prozesszwillinge** zur Prozessüberwachung, Prozessleistungsvorhersage und Assistenzsysteme sowie (iii) das Erreichen maximaler Automatisierungsgrade in Form von modellbasierten Prozesssteuerungen für **selbstoptimierende Fertigungsprozesse**.

Was bedeutet unsere Forschung für die drei Dimensionen (ökologisch, sozial und wirtschaftlich) der Nachhaltigkeit: Die potenziellen **wirtschaftlichen Benefits** für die Kunststoffverarbeitungsindustrie umfassen Vorteile wie **erhöhte Gesamteffizienz der Anlagen** (OEE), kosten- und zeitoptimierte Entwicklungsverfahren, deutliche **Reduktion des Energiebedarfs und der Prozessausschüsse**, schnellere Abmusterungen, **Minimierung des Verschleißes und erhöhte Prozesszuverlässigkeit**. All dies hilft, den **CO₂-Fußabdruck der Verarbeitungsprozesse und -maschinen zu reduzieren**, den Einsatz fossiler Rohstoffe zu verringern und **mehr Kunststoff in Stoffkreisläufe zu bringen**, d.h. die **Umweltwirkung zu fördern**.

Unsere Forschung ist auch eine **Investition in die Bildung** – die Grundlage für eine informierte und intellektuelle Zivilisation. Angetrieben vom JKU-Missionsstatement „Re-Thinking Plastics“ trägt das IPPD **maßgeblich zu drei neuen akademischen Studienprogrammen an der JKU bei, um zukünftige Ingenieure mit nachhaltigkeitsorientiertem Denken und Handeln für Industrie, Wissenschaft und Gesellschaft auszubilden**:

- Nachhaltige Kunststofftechnik und Kreislaufwirtschaft (Bachelorstudium BSc)
- Sustainability and Plastics Management (Masterstudium MSc)
- Polymer Engineering and Science (Masterstudium Dipl.-Ing.)

Schließlich wird unsere Forschung dazu beitragen, weit mehr zu erreichen, wenn **Menschen und digitale Technologien proaktiv zusammenarbeiten**, indem sie (i) bessere Designrichtlinien für Produkte und Fertigungsanlagen erstellen, (ii) wertvolles Feedback an den Bediener (d.h. Assistenzsysteme) für die Abmusterung oder die Fehlerbehebung ermöglichen und (iii) ein höheres Maß an Automatisierung bei gleichzeitiger Reduktion der kognitiven Belastung der menschlichen Bediener erreichen.

Kompetenzen und Ausstattung

Das IPPD ist eingebettet in den Fachbereich **Chemie und Kunststofftechnik an der Johannes Kepler Universität Linz** und arbeitet sehr stark mit der **LIT Factory**, der einzigen österreichischen Pilotfabrik für Ausbildung, Lernen und Erforschung intelligenter Kunststoffverarbeitung und Digitalisierung, zusammen. Der Fachbereich umfasst 7 Institute die direkt am/mit Kunststoffen forschen (Polymer Processing and Digital Transformation, Polymeric Materials and Testing, Polymer Product Engineering, Polymerwissenschaften, Chemie der Polymere, Chemische Technologie Organischer Stoffe sowie LIT Factory) und 8 weitere Chemie-Institute (Analytische & Allgemeine Chemie, Anorganische Chemie, Katalyse, Biochemie, Organische Chemie, Physikalische Chemie, Verfahrenstechnik sowie Chemische Technologie Anorganischer Stoffe). Das Institut für Leichtbau aus dem Fachbereich Mechatronik und Maschinenbau ergänzt das Kompetenzfeld.

Die **Forschungstätigkeiten** am Institut für Polymer Processing and Digital Transformation umfassen eine breite Palette in der Kunststoffverarbeitung, einschließlich verschiedener Produkte und Anwendungen sowie Maschinen aus/für vornehmlich thermoplastische Materialtypen (fossilbasierte Kunststoffe, Biokunststoffe und recycelte Kunststoffe). In unserem **Kooperationsnetzwerk** – einschließlich namhafter österreichischer und internationaler Partner aus der Kunststoffverarbeitungsindustrie und der akademischen Welt wie ENGEL, Leistritz, EREMA, GAW Group, SML, Poloplast, Greiner Packaging, Battenfeld-Cincinnati, Senoplast, Soplar sa, Pro²Future, CHASE, SCCH, TCKT, Wood KPlus, KTP Paderborn, JKU IPPE, JKU IPMT, JKU IPS, JKU Reg-Pro, JKU imt und viele andere – wurden und werden zahlreiche Forschungsprojekte (z.B. FFG-Projekte circPLAST-mr (Task 4.2), Coex_ABS, Pro²Future Cognitive Production Systems, CHASE Process Digitalization, WoodKPLUS Biobased Processes and Composites, FWF-Projekte HetGroMelt, NewWave, u.v.m.) durchgeführt.

Ausgewählte Forschungsbeispiele der letzten Jahre, vielfach unter Anwendung der hybriden Modellierung, sind: In-situ Detektion von Fließinstabilitäten mittels OCT sowie Digitaler Zwilling für die Co-Extrusion [10], Leistungsmessung mittels Laserstrahlableitung am Einschnellenextruder [11], Modellierung des Förder- und Leistungsverhaltens von Förder- und Knetelementen für die Doppelschnecke [12], Modellierung von Barrierschnecken in genuten Zylindern [13], Modellierung des Entgasungsverhaltens im mechanischen Recycling

[14], In-Line Qualitätsmessung bei der Herstellung von UD-Tapes mittels OCT [15], Modellierung des Konsolidierungsprozess von thermoplastischen UD-Tapes [16], Prozessoptimierung bei der Herstellung von thermoplastischen Compositen [17], Entwicklung datenbasierter Machine-Learning Modelle für Spritzgießen [18] und Weiterentwicklung von Rückstromsperrern für Spritzgießen [19].

Das IPPD bietet eine einzigartige, hochmoderne Forschungsinfrastruktur, die von kleinen Laborgeräten bis hin zu Industrieanlagen reicht. Diese Forschungsinfrastruktur ist in drei Bereiche gegliedert (Abb. 1): (i) das Verarbeitungstechnikum

– Mehrere Spritzgießmaschinen sowie zahlreiche Einzel- und Doppelschneckenextruder (zum Plastifizieren und Compoundieren) und Verarbeitungstechnologien (z.B. Co-Extrusion von Folien, Platten und Rohren) sowie Zugang über die LIT Factory zu umfassender Ausrüstung für alle wesentlichen Prozessschritte im mechanischen Recycling bzw. zur Herstellung von thermoplastischen UD-Tapes). Dies ermöglicht effiziente Entwicklungen, die direkt auf industrielle Maßstäbe übertragen werden können. Diese Maschinen und Anlagen werden sukzessive über OPC UA verbunden und so für die digitale Transformation gerüstet.

LITERATUR

1. S. Pachner, B. Löw-Baselli, M. Affenzeller, J. Miethlinger. A Generalized 2D Output Model of Polymer Melt Flow in Single-Screw Extrusion. *Int. Polym. Proc.* 2017, 2, p. 209.
2. C. Marschik, W. Roland, B. Löw-Baselli, J. Miethlinger. A heuristic method for modeling three-dimensional non-Newtonian flows of polymer melts in single-screw extruders. *J. Non Newt. Fluid Mech.* 2017, 248, p. 27-39.
3. W. Roland, M. Kommenda, C. Marschik, J. Miethlinger. Extended regression models for predicting the pumping capability and viscous dissipation of two-dimensional flows in single-screw extrusion. *Polymers* 2019, 11, p.334.
4. H. Albrecht, W. Roland, C. Fiebig, G. Berger-Weber. Multi-Dimensional Regression Models for Predicting the Wall Thickness Distribution of Corrugated Pipes. *Polymers* 2022, 14(17), p. 3455.
5. A. Hammer, W. Roland, C. Marschik, G. Steinbichler. Predicting the co-extrusion flow of non-Newtonian fluids through rectangular ducts—A hybrid modeling approach. *J. Non Newt. Fluid Mech.* 2021, 295, 104618.
6. U. Stritzinger, W. Roland, G. Berger-Weber, G. Steinbichler. Modeling melt conveying and power consumption of co-rotating twin-screw extruder kneading blocks: Part B. Prediction models. *Polym. Eng. Sci.* 2023, 63, p. 841-862.
7. J. R. Koza. *Genetic Programming*. 6th ed., MIT Press, Cambridge, Mass 1998.
8. S. Wagner, G. Kronberger, A. Beham, M. Kommenda, A. Scheibenpflug, E. Pitzer, S. Vonolfen, M. Kofler, S. Winkler, V. Dorfer, M. Affenzeller. In *Advanced Methods and Applications in Computational Intelligence* (Eds: R. Klemous, J. Nikodem, W. Jacak, Z. Chaczko), Springer International Publishing, Heidelberg 2014, p. 197.
9. C. Marschik, W. Roland, J. Miethlinger. A Network-Theory-Based Comparative Study of Melt-Conveying Models in Single-Screw Extrusion: A. Isothermal Flow. *Polymers* 2018, 10(8), p. 929.
10. A. Hammer. A Hybrid Framework to Investigate Selected Interfacial Phenomena in Plastics Co-Extrusion. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2022.
11. M. Precht. Axial Torque Measurement in Single-Screw Extrusion. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2022.
12. U. Stritzinger. Modeling Conveying and Power-Consumption Behavior of Fully Intermeshing Co-Rotating Twin-Screw Extruders. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2022.
13. M. Zacher. A Network Theory Based Approach Modeling Barrier Screws in Combination with Grooved Plasticizing Barrels. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2023.
14. Chi Nghia Chung. Modeling for Optimization the Devolatilization Zone of a Plastic Recycling Machining. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2022.
15. M. Wenninger. A Novel Measurement Approach for the Inline Quality Assessment of Thermoplastic, Glass-Fiber-Reinforced Unidirectional Tapes Based on Optical Coherence Tomography. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2023.
16. E. Kobler. Modeling the Consolidation Process of Thermoplastic UD-Tapes. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2023.
17. J. Geza Birta. Process Optimization of Thermoplastic Composite Production: from UD Tapes to final part. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2023.
18. M. Schmid. Development of Simulation-Data-Based Machine Learning Models for Injection Molding. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2023.
19. A. Wagner. Analysis of the Closing Behavior of a Ring-Type Non-Return Valve in the Injection Molding Process using CFD Simulations and Experiments. Dissertation, Johannes Kepler Universität Linz, 2024.

KONTAKT

JOHANNES KEPLER UNIVERSITÄT LINZ
 IPPD Institute of Polymer Processing
 and Digital Transformation
 Univ.-Prof. DI Dr. Gerald Berger-Weber
 Altenberger Straße 69, Science Park 2
 A-4040 Linz
 Tel.: +43 (0)732 24686572
 Mobil: +43 (0)664 602468571
gerald.berger-weber@jku.at
www.jku.at/ippd

Im Detail sind dies: Spritzgießanlagen: ENGEL VC 200/80 tech, ENGEL e-mac 465/100 mit Viper 6, 11 Einschneckenextruder zwischen 19D und 60D (SML, esde, Thermofischer, Extrunet, Krauss Maffei), Leistritz Doppelschneckencompounder Gleichläufer ZSE 27/24,40,48D, Battenfeld Cincinnati) konisch gegenläufiger Doppelschneckenextruder 42D, Wellrohrlinie und 2 Rohrstrassen mit Mehrschichtaufbau (DN 20 bis DN 110), Profilanlage, SML 9-Schicht Film/Platte Coextrusions-Folienanlage (Düsenbreite 750 mm, maximale Dicke 4 mm) mit motan Dosiersystem und Glättwerk, Wittmann Trocknungsanlage, Mikrolagen Schichtmultiplikator für 8000 Lagen (Plattenbreite 200 mm), sowie über die LIT Factory: EREMA Anlage für mechanisches Recycling, Leistritz Extrusionslinie für Thermoplastische UD-Tapes, weitere ENGEL Spritzgießmaschinen sowie Labortechnik.

Der Bereich (ii) **Modellierung und Simulation** verwendet gängige CFD-Softwarepakete (Ansys FLUENT & Polyflow, OpenFOAM, Autodesk Mold-

Flow, Moldex3D) sowie selbstentwickelte Software basierend auf numerischen Lösungsverfahren für besondere Strömungsprobleme in der Kunststoffverarbeitung (Schneckenauslegung), Methoden des Maschinellen Lernens (z.B. HeuristicLab), und entsprechende Serverinfrastruktur.

Schließlich umfasst der Bereich (iii) **Messtechnologie** hochmoderne Methoden zur Charakterisierung polymerer Materialien und Schmelzen (z.B. Inline- und Offline-Rheometer, Messgeräte für thermodynamische Eigenschaften) und Technologien zur Inline-, Online-, In-situ- oder Offline-Bewertung der Prozess- und Produktqualität wie optische Kohärenztomographie (OCT), Farbmessstechnik, Fluoreszenzspektroskopie und lasergestützte Drehmomentmessung am Extruder und verwendet dafür Matlab oder Python zur Softwareanbindung.

Weitere Technologien wie Computer-Tomographie, Wärmebildkameras, Ultraschall-Sensorik u.v.m. stehen über Partner im Haus zur Verfügung.



Your **Experts**
in **Laser Plastic**
Welding.


 / swiss made

leister.com

We know how.

ANTON PAAR MIT NEUEM BRABENDER-PORTFOLIO FÜR DIE POLYMERINDUSTRIE

Mit der Übernahme von Brabender hat Anton Paar ein weiteres Kapitel in der Geschichte des Unternehmens aufgeschlagen. Damit erweitert der international agierende Anbieter von Labor- und Prozessmesstechnik sein traditionelles Portfolio an Messgeräten zur Analyse von Polymeren.



Mit den neuen Brabender-Messgeräten zur Polymeranalyse erweitert Anton Paar sein Portfolio an Rheometern, dynamisch-mechanischen Analysegeräten, mechanischen Oberflächentestern und FTIR-Spektrometern. Dazu gehören unter anderem Messknetter, Extruder sowie Messgeräte zur Restfeuchtebestimmung. Kundinnen und Kunden können nun die physikalischen Eigenschaften ihrer Polymerprodukte vollständig mit diesen neuen Brabender-Messgeräten charakterisieren.

Beispielgebend ist hier der Aquatrac-V, der das anerkannte Calciumhydrid-Verfahren nutzt: Die Probe wird unter Vakuum erhitzt, sodass Wasser entweicht. Das Wasser reagiert mit dem Calciumhydrid und Wasserstoff wird freigesetzt. Dies löst einen Druckanstieg im Vakuum aus. Das Gerät verfolgt den Druckanstieg und berechnet den Wassergehalt auf der Grundlage der Reaktionsgleichung sehr genau und wasserselektiv. Anwender erhalten eine umfassende Bewertung der Restfeuchte gemäß DIN EN ISO 15512:2019 mit einer Genauigkeit von 0,0001 % (H₂O-Auflösung). Von der Qualitätskontrolle im Labor bis hin zum Prozessmanagement lässt sich der Aquatrac-V in der gesamten Wertschöpfungskette einsetzen. Präzise MFR-Bewertungen waren noch nie so einfach. Das platzsparende Design mit integriertem PC und Touchscreen ist unempfindlich gegenüber Vibrationen und damit transportabel und geeignet für den direkten Einsatz in Produktionshallen.

Innerhalb der Wertschöpfungskette stellt die Wareneingangsprüfung sicher, dass die Materialien den gewünschten Spezifikationen entsprechen, da zu feuchtes Material zusätzliche Kosten verursachen kann. Die Feuchtigkeitsmessung am Granulat an verschiedenen Stellen im Produktionsprozess hilft, Defekte in den Endprodukten zu vermeiden. Die Lagerung im Freien führt zu unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten im Material, die ebenfalls kontrolliert werden müssen. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, muss die Ziel-Restfeuchtigkeit für die Verarbeitung von Polymeren ausgesprochen niedrig sein. Es ist wichtig, den Granulattrocknungsprozess zu überwachen und zu optimieren, um stabile Produktionsprozesse zu gewährleisten. Dabei sollte das Granulat an der Spritzgießmaschine oder am Trichter der Maschine gemessen werden, da die Feuchtigkeit niedrig sein muss, um Fehler in den hergestellten Formteilen zu vermeiden. Zusätzlich sollte eine Messung am fertigen Teil durchgeführt werden, beispielsweise nach der Konditionierung oder der Endprüfung. Die dient ebenfalls der Qualitätssteigerung. Eine allgemeine Qualitätskontrolle ist sowohl im Labor als auch in der Produktion erforderlich, um sicherzustellen, dass die Produkte den erforderlichen Standards entsprechen.

Generell ist in der Kunststoffverarbeitung die genaue Bestimmung der Restfeuchtigkeit von entscheidender Bedeutung, da sie direkte Auswirkungen auf die Materialeigenschaften und die Qualität der Endprodukte hat. Wenn die Restfeuchtigkeit in Kunststoffen nicht optimal ist, können verschiedene Probleme und Herausforderungen auftreten. Dazu zählen Veränderungen in den mechanischen und chemischen Eigenschaften des Polymers, die sich negativ auf das visuelle Erscheinungsbild und die Funktionalität des Endprodukts auswirken. Diese umfassen das Schrumpfen und Verziehen von Bauteilen aufgrund von inkonsistenten Materialeigenschaften oder Instabilitäten im Produktionsprozess, die durch schwankende Viskositäten während der Verarbeitung entstehen und zu Schmelzeinschlüs-

KONTAKT

ANTON PAAR

www.anton-paar.com

sen und unvollständigen Füllungen der Formen führen. Zudem treten verminderte Produktionseffizienz und häufigere Stillstände der Maschinen auf, die durch diese Verarbeitungsprobleme verursacht werden. Schließlich besteht die Notwendigkeit zusätzlicher Nachbearbeitungsschritte, um die geforderten Qualitätsstandards zu erreichen, was zu erhöhten Produktionskosten führt. Die Lösung für diese Herausforderungen liegt in der genauen Bestimmung der Restfeuchtigkeit. Mit dem Aquatrac-V wird die Restfeuchtigkeit in den Kunststoffmaterialien präzise gemessen, bevor diese in den Produktionsprozess einfließen. Die wichtigsten Schritte umfassen die Identifikation der optimalen Feuchtigkeitsniveaus für spezifische Kunststofftypen und Anwendungen, regelmäßige Messungen und Überwachung der Feuchtigkeitswerte während des gesamten Produktionsprozesses. Damit wird sichergestellt, dass die Materialien die erforderlichen Spezifikationen erfüllen. Trocknungs- und Lagerungsbedingungen werden auf Basis der gemessenen Feuchtigkeitswerte angepasst, um konsistente und qualitativ hochwertige Produktionsergebnisse zu erzielen. Dies führt nicht nur zu einer Reduzierung der Ausschussrate, sondern auch zu einer Erhöhung der Effizienz und Rentabilität der Produktionslinie. Die Vorteile der genauen Bestimmung und Kontrolle der Restfeuchtigkeit in Kunststoffen sind vielfältig und umfassen eine höhere Produktqualität durch die Sicherstellung gleichbleibender Materialeigenschaften und damit verbundener mechanischer und chemischer Stabilität der Endprodukte. Zudem werden der Produktionsausschuss und der Nachbearbeitungsaufwand reduziert, was zu einer Senkung der Produktionskosten führt. Eine verbesserte Maschinenlaufzeit und eine höhere Gesamteffizienz der Produktionslinie werden erreicht, da weniger Stillstände und Ausfälle durch Materialprobleme verursacht werden. Optimierte Lagerungsbedingungen für die Rohmaterialien tragen dazu bei, dass die Materialien ihre gewünschten Eigenschaften behalten und ohne Qualitätseinbußen verarbeitet werden können. Schließlich wird die Produktionszeit durch die Minimierung von Prozessunterbrechungen verkürzt und eine effizientere Nutzung der vorhandenen Ressourcen ermöglicht.

Zusammenfassend führt die genaue Bestimmung der Restfeuchtigkeit in Kunststoffen zu einer erheblichen Verbesserung der gesamten Produktionskette. Von der Rohstoffannahme über die Verarbeitung bis hin zum fertigen Produkt können alle Stufen optimiert werden, um höchste Qualitätsstandards zu gewährleisten und gleichzeitig die Kosten zu senken. Dies macht den Einsatz moderner Feuchtigkeitsmessgeräte wie dem Aquatrac-V zu einem un-

verzichtbaren Bestandteil eines jeden Qualitätskontrollsystems in der Kunststoffverarbeitung.

Um neue Polymerverbindungen zu verbessern oder zu entwickeln, bietet Anton Paar nun auch Messknetter und Laborextruder aus dem Brabender-Portfolio an. Hier wird ein breites Spektrum an zum Teil auch maßgeschneiderten Komponenten angeboten, die bis hin zu Komplettlösungen für spezifische Anforderungen gehen. So können Anwender von der Labor- zur Pilotanlagenextrusion skalieren, Produkte verschiedener Dimensionen, Formen und Zusammensetzungen herstellen und verschiedene Materialien wie PVC, Blas- und Flachfolien modifizieren. Die Anwendungsmöglichkeiten reichen bis in den 3D-Druck (durch die Herstellung von Filamenten aus Thermoplasten oder TPE) und in die Biokunststoffe (durch die Analyse des Schmelz- und Aushärteverhaltens von Biopolymeren).










Neues Portfolio für die Polymerindustrie

Entdecken Sie unser erweitertes Portfolio an neuen Brabender-Geräten
für die Analyse von Thermoplasten, Duroplasten, PVC und Elastomeren

Charakterisieren Sie die physikalischen Eigenschaften Ihrer Polymerprodukte,
wie z. B. das Schmelzverhalten, den Wassergehalt sowie die thermische und Scherstabilität

Sorgen Sie für eine effiziente und nahtlose Skalierung
vom Labor- zum Pilot- und Produktionsmaßstab bei Extrusion und Compounding mit Brabender Twinlab

Mit Brabender an Bord bietet Anton Paar das ideale Charakterisierungsportfolio
von der Rohstoffkontrolle bis zur abschließenden Qualitätskontrolle

www.anton-paar.com

EMS LÖSUNGEN FÜR KOSTEN UND GEWICHTSEINSPARUNGEN VON FOLIEN

EMS-GRIVORY, der führende Spezialist für Hochleistungspolymere, zeichnet sich nicht nur durch die Entwicklung und Herstellung diverser Kunststoffe aus, sondern auch durch seinen internationalen Kundenservice und der Schaffung innovativer Systemlösungen. Im Fokus steht oftmals der Metallersatz um Kosten & Gewicht zu reduzieren. EMS-GRIVORY bietet aber auch im Verpackungsbereich einzigartige Lösungen.

Die Folienindustrie sieht sich aufgrund hoher Rohstoffkosten, strenger Umweltauflagen und steigender Energiepreise unter starkem Druck. Eine zentrale Strategie zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist die Verringerung der Foliendicke, ohne die Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen.

Grivory G21, ein hochviskoses, amorphes Co-Polyamid, bietet eine Lösung, um Rohstoffverbrauch und Produktionskosten zu senken und gleichzeitig die ökologische Nachhaltigkeit zu fördern. Mit seiner hohen Sauerstoffbarriere, selbst bei hoher Feuchtigkeit, und der Eignung für den direkten Lebensmittelkontakt in der EU, den USA und Asien, ist es ideal für Mono- und Mehrschichtfolien im Extrusionsverfahren. EMS-GRIVORY ist weltweit führend in der Entwicklung dieses Spezialpolyamids.

Im Folgenden werden die möglichen Kosteneinsparungen und Leistungsverbesserungen dargestellt, die durch den Einsatz von PA6/Grivory G21-Blends im Vergleich zu PA6 oder CoPA6/66 bei der Herstellung flexibler Folien erreicht werden können.

Während früher dickere Folien als Synonym für höhere Festigkeit und Leistung galten, ermöglichen Fortschritte in der Materialwissenschaft heute die Entwicklung dünnerer Folien, die in puncto Leistung keine Kompromisse eingehen.

Kosteneinsparpotential

CoPA6/66 ist in der Regel etwa 30–50 % teurer als PA6 und bietet Vorteile wie eine niedrigere Schmelztemperatur, die eine einfachere Verarbeitung ermöglicht, sowie eine höhere Zähigkeit. Allerdings bieten PA6/Grivory G21-Blends deutliche Kostenvorteile. Diese Blends ermöglichen es, die Foliendicke zu reduzieren, ohne die Barriere- oder Thermoformleistung zu beeinträchtigen, wodurch Materialkosten gesenkt werden können.

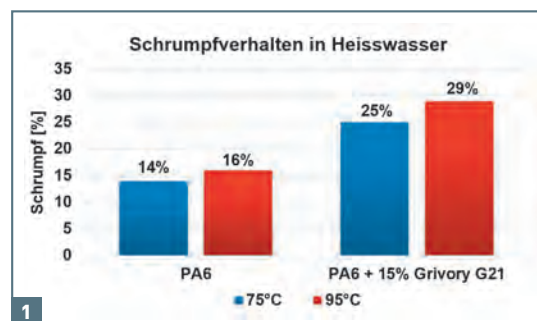
PA Schicht	PA Schichtdicke	Dichte	Gewicht	Preis / m ²	O ₂ Transmission*	
	[µm]				[g/cm ³]	[g/m ²]	[%]	50 µm gemäss PA Schichtdicke
PA6	20	1.14	22.8	65	55	135
CoPA 6/66	20	1.14	22.8	100	75	185
PA6 + Grivory G21 (85/15%)	15	1.15	17.2	60	27	90

*23°C/85% r.F. [cm³ / m² * Tag * bar]

Die Kosteneinsparungen durch den Einsatz von PA6/Grivory G21-Blends sind signifikant. Beispielsweise können durch die Verringerung der PA-Schichtdicke von 20 auf 15 Mikrometer und den Einsatz eines PA6/Grivory G21-Blends die Kosten pro Quadratmeter im Vergleich zu Folien mit CoPA6/66 um bis zu 40 % reduziert werden.

Leistungsvorteile von PA6 / Grivory G21 Blends

- **Thermoformen:** Im Vergleich zu PA6 ermöglichen PA6/Grivory G21-Blends eine bis zu 30 % geringere Foliendicke bei gleichbleibender Eckendicke, was auf eine optimierte Materialverteilung im Thermoformprozess hinweist.
- **Schrumpfkraft:** Durch die Zugabe von Grivory G21 kann die Schrumpfleistung bis zu 80 % gesteigert werden. Dadurch können dünnere PA6/Grivory G21-Blends die gleiche Schrumpfkraft wie dickere PA6-Folien erzielen (Siehe Abb. 1).



KONTAKT

EMS-CHEMIE AG

Via Innovativa 1
CH-7013 Domat/Emis
Tel.: +41 (0)81 6326568
www.emsservices.ch

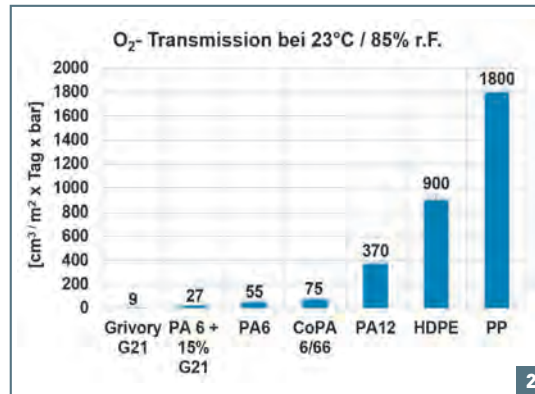
■ **Sauerstoff- und Aromabarriere:** PA6/Grivory G21-Blends weisen im Vergleich zu CoPA6/66 eine höhere Sauerstoffbarriere (siehe Abb. 2) und Aromabarriere auf, was für Anwendungen, bei denen die Produkthaltbarkeit und Produktintegrität eine Rolle spielt, von entscheidender Bedeutung ist.

■ **Glanz und Transparenz:** Folien aus PA6/Grivory G21-Blends bieten 20 % höheren Glanz und 25 % höhere Transparenz, ideal für verbraucherorientierten Verpackungen, bei denen das Erscheinungsbild wichtig ist.

■ **CO₂ Fussabdruck und Abfallreduktion:** Die Verwendung von PA6/Grivory G21-Blends reduziert CO₂-Emissionen der PA-Schicht um bis zu 25 % und verringert Abfall, was den Branchentrend zur Nachhaltigkeit unterstützt.

Fazit

Die Reduzierung der Foliendicke mit PA6/Grivory G21-Blends stellt eine erhebliche Chance für Kosteneinsparungen und Leistungssteigerungen bei



flexiblen Folien dar. Die Kombination aus reduzierten Materialkosten, verbesserten Thermoform-, Schrumpf- und Barriere Eigenschaften sowie erhöhter Nachhaltigkeit machen diesen Ansatz im aktuellen Marktumfeld äußerst attraktiv. Da sich die Branche weiterentwickelt, wird die Einführung fortschrittlicher Materialsysteme wie PA6/Grivory G21-Blends von entscheidender Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit und die Erfüllung der wachsenden Nachfrage nach umweltfreundlichen Verpackungslösungen sein.



EMS-GRIVORY – Entwicklungspartner für innovative Polyamid-Lösungen

EMS-GRIVORY hat weltweit das breiteste Angebot an Polyamiden. Unsere Hochleistungskunststoffe sind weltweit unter den Markennamen Grivory®, Grilamid® und Grilon® bekannt.

So vielfältig wie unsere Polyamide sind auch deren Einsatzgebiete. Man findet sie in den Bereichen Automobil, Elektro und Elektronik, Industrie und Konsumgüter, Optik, Medizin sowie Verpackung.

Wir bieten unseren Kunden ein umfassendes Paket aus leistungsfähigen, qualitativ hochwertigen Produkten sowie eine hohe Beratungskompetenz in Vertrieb und Anwendungstechnik.

Seit 2021 produziert EMS weltweit CO₂-neutral.

EMS-GRIVORY | Via Innovativa 1 | 7013 Domat/Ems | Schweiz
Tel. +41 81 632 78 88 | welcome@emsgrivory.com | www.emsgrivory.com

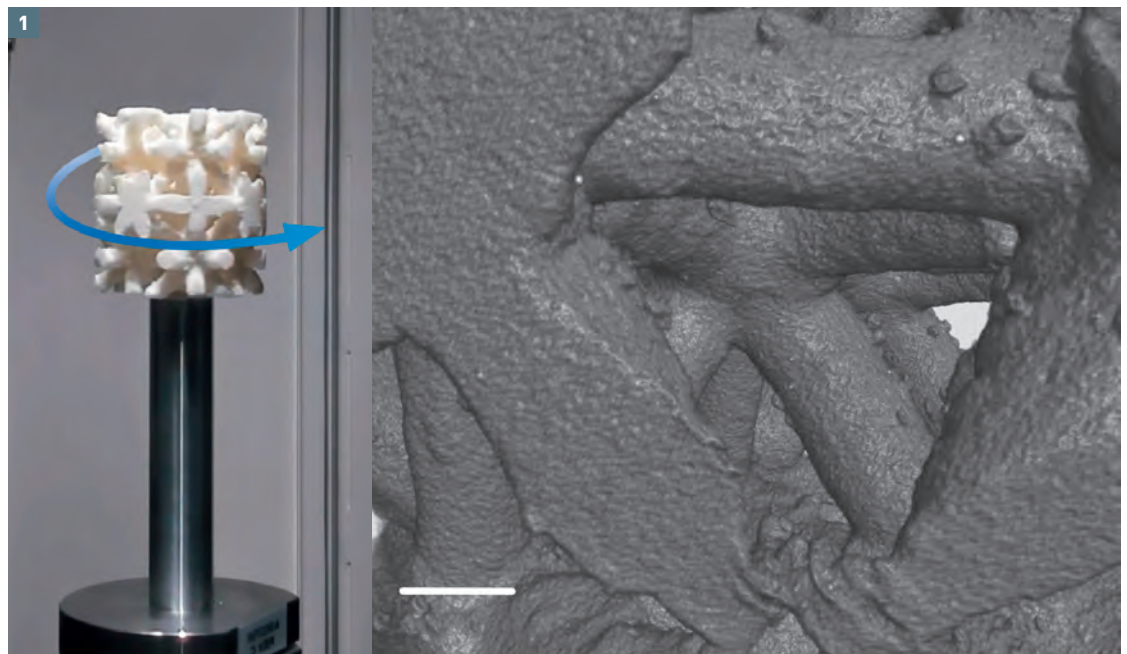
EMS
EMS-GRIVORY

3D-RÖNTGENMIKROSKOPIE: SCHLÜSSEL FÜR INSPEKTION VON POLYMEREN

Additive Fertigungsverfahren (AM) eignen sich hervorragend für die Herstellung komplexer Geometrien und ermöglichen so innovatives Design. Übliche Anwendungen des 3D-Drucks mit Polymeren sind das Prototyping und die kundenspezifische Anpassung. Die Vielseitigkeit und Flexibilität des 3D-Drucks machen ihn zu einem interessanten Werkzeug gerade auch für Polymere.

Abb. 1:

Eine 3D-gedruckte Polymerstruktur, montiert im ZEISS VersaXRM (links). Details der Oberflächenstruktur, die nach der computertomografischen Rekonstruktion sichtbar sind. Maßstabsbalken 5 mm (rechts).



Die Prüfung komplexer Geometrien, insbesondere ihrer inneren Struktur, stellt eine große Herausforderung für herkömmliche Messsysteme dar, wie z. B. die Identifizierung von Fehlern und Porosität, die während des Druckprozesses auftreten können, oder von mikrostrukturellen Veränderungen in Verbindung mit der Wahl der Druckparameter und der Oberflächenrauheit.

Die Prüfung komplexer Geometrien, insbesondere ihrer inneren Struktur, stellt eine große Herausforderung für herkömmliche Messsysteme dar, wie z. B. die Identifizierung von Fehlern und Porosität, die während des Druckprozesses auftreten können, oder von mikrostrukturellen Veränderungen in Verbindung mit der Wahl der Druckparameter und der Oberflächenrauheit.

Schnelle und qualitativ hochwertige Bildgebung ermöglicht durch hohe Auflösung bei großen Arbeitsabständen

Mit den 3D-Röntgenmikroskopen ZEISS VersaXRM können Forscher eine hervorragende 3D-Bildqualität und Daten für eine Vielzahl von Materialien und Arbeitsumgebungen erhalten. Das VersaXRM 730 verfügt über eine Röntgenoptik in Synchrotron-Qualität mit einer zweistufigen Vergrößerung und einzigartiger RaaD™ (Resolution at a Distance)-Technologie für hohe Auflösungen auch bei großen Arbeitsabständen – eine deutliche Verbesserung gegenüber der herkömmlichen Mikro-Computertomographie (CT). Herkömmliche Röntgen-Computertomographen, die mit einer einfachen geometrischen Ver-

KONTAKT

CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH

Dr. Markus Boese
Dr. Sabine Lenz
Carl Zeiss Promenade 10
D-07745 Jena
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com/microscopy/en/home.html

Insbesondere die Porosität ist eine große Herausforderung bei der additiven Fertigung, da sie die mechanische und thermische Leistung von AM-Teilen erheblich beeinträchtigen kann. Eine präzise Kontrolle der Porosität erfordert eine umfassende Untersuchung der Verteilung der Poren, ihrer Morphologie und der zugrundeliegenden Ursachen für Fertigungsfehler, die mehrere Längenskalen von Nanometern bis Millimetern umfassen. Die genaue Erfassung eines breiten Spektrums von Porositätsgrößen innerhalb eines repräsentativen Probenvolu-

größerung arbeiten, erreichen nicht die räumliche Auflösung, die für die Betrachtung kleiner Merkmale in AM-Teilen erforderlich ist. Außerdem nimmt die Auflösung mit zunehmender Größe der Probe ab. Diese Einschränkungen können jedoch durch den Einsatz von 3D-Röntgenmikroskopen, die sowohl geometrische als auch optische Vergrößerung verwenden, wirksam behoben werden (Abb. 3).

Effiziente Gewinnung eines Überblicks über die Probe und Identifizierung von ROIs

Scout-and-Zoom ist eine einzigartige Funktion der ZEISS Röntgenmikroskope, die einen „Scout“-Scan mit niedriger Auflösung und großem Sichtfeld durchführt und danach Regionen im Inneren des Probenvolumens für höher aufgelöste „Zoom“-Scans identifiziert. Diese leistungsstarke Technik ist nur mit den VersaXRM-Mikroskopobjektiven mit zweifacher Vergrößerung möglich, die zur genauen Identifizierung von interessierenden Regionen (ROI) in einer Vielzahl von Anwendungen verwendet werden können (Abb. 2).

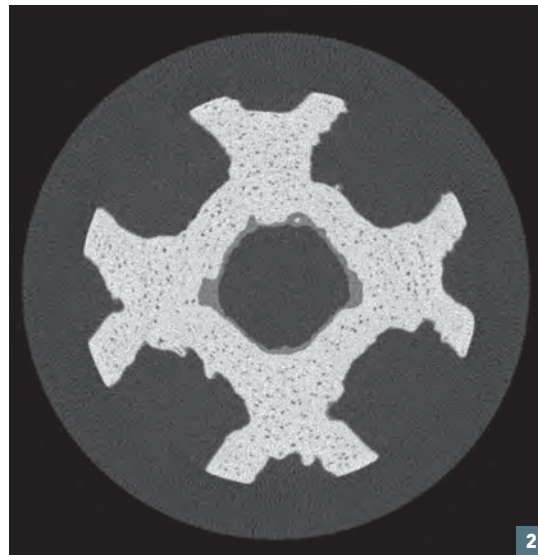


Abb. 2: Schnitt durch das rekonstruierte 3D-Volumen. Die Poren sind nach einer Gesamtaufnahmezeit von 17 Sekunden deutlich sichtbar (Maßstabsbalken 10 mm).

diese in weniger als 20 Sekunden realisierbar. Die Erfassung im FAST-Modus bietet eine nahezu sofortige Rückmeldung und eine echte 3D-Navigation zur identifizierten relevanten ROI in komplexen Proben.

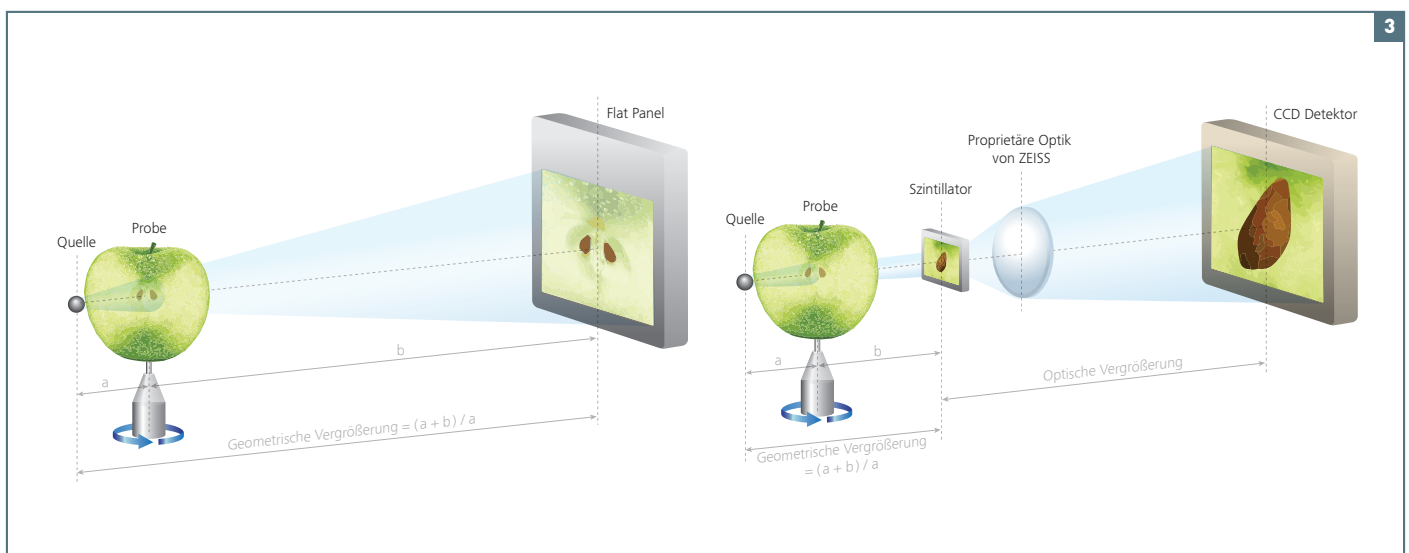
Echte 3D-Navigation in weniger als einer Minute

Im FAST-Modus dreht sich die Probe kontinuierlich, während Röntgenaufnahmen (Röntgentransmissionsbilder) unter verschiedenen Winkeln aufgenommen werden (Abb. 1). Durch diese kontinuierliche Rotation entfällt der Zeitaufwand für das Starten und Stoppen der Rotationsbewegungen wie im herkömmlichen Step-and-Shoot-Erfassungsschema üblich. In der Praxis sind nun Datenakquisitionszeiten für die gesamte Probe im Bereich von ein bis fünf Minuten möglich, und bei guter Bildqualität sind

Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Inspektion und Kontrolle komplexer Geometrien und Porosität bei der additiven Fertigung von Polymeren eine große Herausforderung darstellen, die sich auf die Qualität und Leistung der Teile auswirken kann. Der Einsatz fortschrittlicher Techniken wie der Resolution at a Distance-Technologie, der Scout-and-Zoom-Funktion und der FAST-Modus-Erfassung, die das ZEISS VersaXRM bietet, stellt jedoch eine vielversprechende Lösung für diese Herausforderungen dar.

Abb. 3: Konventionelle mikroCT-Architektur (**links**): Die Probe muss sich nahe an der Quelle befinden, um eine Auflösung zu erreichen. ZEISS Versa Architektur, RaaD Technologie mit zweistufiger Vergrößerung (**rechts**): Die Probe wird unabhängig vom Abstand zur Quelle abgebildet, dadurch kann das Innere größerer Proben zerstörungsfrei mit höherer Auflösung abgebildet werden.



DER NACHWUCHS-FÖRDERUNG VERPFLICHTET

Der Wissenschaftliche Arbeitskreis Kunststofftechnik (WAK) prämiiert jährlich die besten wissenschaftlichen Arbeiten der Kunststofftechnik.

Ziel ist es, sowohl wichtige Fortschritte in Wissenschaft und Technologie der Kunststoffe zu dokumentieren, als auch junge Ingenieurinnen und Ingenieure bei ihrer bedeutenden Arbeit zu motivieren und zu unterstützen.

Die Preise orientieren sich an den Schwerpunkten kunststofftechnischer Forschung und Ausbildung:

- Werkstoff,
- Konstruktion,
- Verarbeitung,
- Recycling.

Ausgezeichnet werden in diesen Schwerpunkten jeweils die beste Masterarbeit (EUR 3.500) sowie die beste Doktorarbeit (EUR 5.000).

Die Preise werden von vier innovativen Unternehmen der Kunststofftechnik zur Verfügung gestellt:

- **Wilfried-Ensinger-Preis** für die Entwicklung und Beschreibung technischer Kunststoffe für innovative Anwendungen
- **Brose-Preis** für neue Verfahren und Techniken bei der Verarbeitung von Kunststoffen
- **Oechsler-Preis** für Methoden und Ansätze zur Entwicklung und Konstruktion von Bauteilen aus Kunststoffen
- **Röchling-Preis** für Prozesse und werkstoffliche Fragen beim Recycling von Kunststoffen

Weitere Informationen finden Sie unter:

<https://www.wak-kunststofftechnik.de/preise/>

Röchling

Wir I(i)eben Kunststoff. Du auch?

Als weltweit führender Kunststoffverarbeiter sind wir immer auf der Suche nach Kunststoffexperten, die mit uns die Welt der Kunststoffe weiterentwickeln wollen. Wir bieten internationale Perspektiven, spannende Projekte und individuelle Entwicklungsmöglichkeiten.

jobs.roechling.com

Industrial



WILFRIED-ENSINGER-PREIS

TECHNISCHE KUNSTSTOFFE FÜR INNOVATIVE ANWENDUNGEN

Neue Werkstoffe spielen heute eine entscheidende Rolle für den industriellen Fortschritt. Ensinger stellt Compounds, Halbzeuge, Fertigteile, komplette Baugruppen und Präzisionsprofile aus Hochleistungskunststoffen her. Eingesetzt werden die Produkte in den unterschiedlichsten Industriebranchen, darunter im Maschinenbau, in der Automobil- und Luftfahrtindustrie und in der Medizintechnik. Auch in der Lebensmittelindustrie und in der Elektro- und Halbleitertechnik sind die technischen Lösungen auf Basis thermoplastischer Polymere sehr verbreitet.

Das international tätige Familienunternehmen Ensinger wurde 1966 durch Wilfried Ensinger gegründet. Die Weiterentwicklung bewährter Fertigungsverfahren, neue Anwendungen und die internationale Expansion haben dem Kunststoffverarbeiter einen Platz in der ersten Reihe seiner Branche verschafft. Mit weltweit 34 Produktions- und Vertriebsstandorten ist die Ensinger Gruppe heute in allen wichtigen Industrieregionen vertreten. Hauptsitz ist Nufringen, Baden-Württemberg.



Der Führungskreis und die Mitarbeiter der Ensinger GmbH legen großen Wert auf das gemeinnützige Engagement des Unternehmens für die Gesellschaft. Im Vordergrund steht dabei die Unterstützung der Wilfried und Martha Ensinger Stiftung, die soziale, wissenschaftliche und kulturelle Projekte finanziert. Die Förderung des Nachwuchses in technischen Berufen war eine Herzensangelegenheit des 2023 verstorbenen Firmengründers. Die von Wilfried Ensinger initiierte Auszeichnung herausragender Forschungsarbeiten trägt dazu bei, die Fachrichtung Kunststofftechnik bekannter zu machen.

Ensinger 

Gründungsjahr: 1966
Anzahl Mitarbeiter: 2.700

Geschäftsführer:
Ralph Pernizsak, Dr. Roland Reber,
Björn Schneekloth

Ansprechpartner: Jörg Franke
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
joerg.franke@ensingerplastics.com

Zielgruppen/Branche:
Technische Kunststoffe von Ensinger werden u.a. in den folgenden Industriebereichen eingesetzt:

- Maschinenbau
- Automobil- und Luftfahrtindustrie
- Medizintechnik
- Lebensmittelindustrie
- Erdölgewinnung
- Elektrotechnik
- Halbleiterfertigung

Der Wilfried-Ensinger-Preis, WAK

Der WAK (Wissenschaftliche Arbeitskreis der Universitätsprofessoren der Kunststofftechnik) verleiht jährlich den Wilfried-Ensinger-Preis für die Entwicklung und Beschreibung technischer Kunststoffe für innovative Anwendungen. Mit dieser Auszeichnung honoriert die Ensinger GmbH

- herausragende Dissertationen (Dotierung: 5.000,- EUR) und
- herausragende Diplom-/Masterarbeiten (Dotierung: 3.500,- EUR)

KONTAKT

ENSINGER GMBH

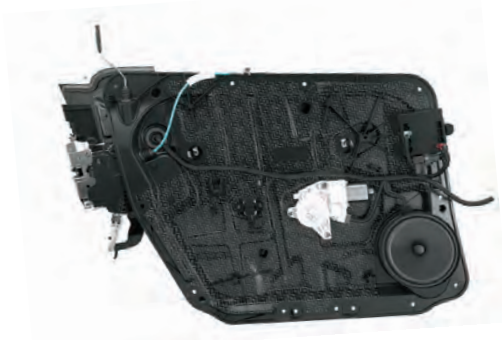
Rudolf-Diesel-Straße 8, D-71154 Nufringen
Tel.: +49 (0)7032 8190
Fax: +49 (0)7032 819-100
info@ensingerplastics.com
www.ensingerplastics.com

DER BROSE PREIS

WÜRDIGUNG HERAUSRAGENDER WISSENSCHAFTLICHER ARBEITEN

Abb.:

Leichtbau in Großserie: Brose setzt auf glasfaser-gewebeverstärkte Thermoplaste, zum Beispiel in Türmodulen und Durchladen für die zweite Sitzreihe.



Brose ist einer der fünf größten Automobilzulieferer in Familienbesitz weltweit. Jeder dritte Neuwagen ist mit mindestens einem Brose Produkt ausgestattet. Der Mechatronik-Spezialist entwickelt und fertigt Systeme für Fahrzeugtüren, Klappen und Sitze. Zudem produziert Brose elektrische Motoren von 200 Watt bis 14 Kilowatt für verschiedene Anwendungen wie Lenkung, Thermalmanagement oder Antriebe für E-Bikes und E-Roller. Das Unternehmen beschäftigt rund 32.000 Mitarbeitende an 69 Standorten in 24 Ländern. 2023 erwirtschaftete die Brose Gruppe einen Umsatz in Höhe von 7,9 Milliarden Euro.

Vor über 100 Jahren hat Firmengründer Max Brose eine Innovationskultur geschaffen, die das Unternehmen bis heute prägt. Neue Produkte und die konsequente Weiterentwicklung des Angebots sind Wachstumsmotor der Brose Gruppe. Weltweit stellen sich Ingenieure und Techniker der Aufgabe, die Forderungen nach Leichtbau und Effizienzsteigerung mit dem Wunsch nach mehr Komfort, Sicherheit und Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen. Sein jahrzehntelanges Know-how in Mechanik, Elektrik, Elektronik und Sensorik nutzt der Zulieferer, um auf Kundenbedürfnisse zugeschnittene Lösungen zu finden. 6,4 Prozent des Umsatzes fließen in Produktentwicklung und zukunftsweisende Fer-

tigungsmethoden. Seit 2007 verleiht das Familienunternehmen in Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftlichen Arbeitskreis Kunststofftechnik den Brose Preis für neue Verfahren und Techniken der Kunststoffverarbeitung. Die Auszeichnung belohnt Studierende für herausragende Dissertationen (Dotierung: 5.000,- EUR) und Diplom-/Masterarbeiten (Dotierung: 3.500,- EUR).

„Unser Engagement im Wissenschaftlichen Arbeitskreis Kunststofftechnik fördert den engen Kontakt zu den Spezialisten des Fachbereichs. Wir können die zentralen Entwicklungstrends unseres Unternehmens darstellen und lernen vielversprechende Nachwuchskräfte kennen“, erläutert Prof. Dr. Peter Weidinger, Leiter Werkstofftechnik der Brose Gruppe. „Durch die Preisvergabe erhalten wir zudem einen guten Einblick in aktuelle Entwicklungs- und Forschungsthemen“, so Weidinger.

Gründungs-jahr: 1908

Anzahl Mitarbeiter: rund 32.000 (weltweit)

Vorstand: Dr. Philipp Schramm (Vorsitzender des Vorstands und Vorstand Finanzen), Stefan Krug (Vorstand Produktion), Bernhard Blauth (Vorstand Personal), Michael Brandstetter (Vorstand Geschäftsbereich Exterieur), Andreas Jagl (Vorstand Geschäftsbereich Interieur), Raymond Mutz (Vorstand Geschäftsbereich Antriebe)

Gesellschafter:

Michael Stoschek (Vorsitzender), seine Kinder und Nichte

Aufsichtsrat:

Michael Stoschek (Vorsitzender), Maximilian Stoschek (stellv. Vorsitzender), Franz-Josef Kortüm, Dr. Bernd Bohr

Zielgruppen/Branche:

- Fahrzeugtüren und Heckklappen
- Sitzsysteme
- Elektrische Antriebe
- Elektronik, Sensorik und Software

brose
Excellence in Mechatronics

KONTAKT

**BROSE FAHRZEUGTEILE SE & CO.
KOMMANDITGESELLSCHAFT, COBURG**

Max-Brose-Straße 1, D-96450 Coburg

Tel.: +49 (0)9561 21-0

Fax: +49 (0)9561 21-1429

info@brose.com

brose.com

DER OECHSLER-PREIS

ANERKENNUNG FÜR HERAUSRAGENDE WISSENSCHAFTLICHE LEISTUNGEN



Werk Ansbach

Die OECHSLER AG, im Jahre 1864 von Matthias Oechsler in Ansbach gegründet, gehört zu den führenden Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie. Der Fokus des Unternehmens liegt in der Entwicklung und Fertigung anspruchsvoller techni-

scher Komponenten und Baugruppen. OECHSLER besitzt mit sechs Standorten in Deutschland, China, Rumänien und Mexiko ein globales Produktionsnetzwerk. Dabei steht die Weiterentwicklung der Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Forschung & Entwicklung, Fertigung, Montage und Qualitätssicherung im Fokus der Unternehmensaktivitäten. So konnte sich die OECHSLER AG beispielsweise in den vergangenen drei Jahren zu einem weltweit führenden Anbieter von kunststoffbasierter Additiven Fertigung (auch 3D-Druck genannt) etablieren.

Um diese großen Herausforderungen auch in Zukunft anzugehen, sucht die OECHSLER AG fortlaufend nach hochqualifiziertem Nachwuchs, egal ob in Hinblick auf Auszubildenden, oder „Young Professionals“. Seit 2002 spielt dabei der WAK-Preis für herausragende wissenschaftliche Leistungen eine wichtige Rolle.

Gründungsjahr: 1864

Anzahl Mitarbeiter: 2.700 (weltweit)

Geschäftsführer:

Alexander Wortberg (COO)

Karl Ostler (CFO)

Raik Lüder (CPMO)

Ansprechpartner:

Dr. Andreas Wörz (Head of Test and Simulation), a.woerz@oechsler.com

Schlüsselbranchen:

- Innovative Solutions: Erneuerbare Energien, Industrietechnik, Hausgeräte, Konsumgüter
- Mobility: Aktuatorik, Hybrid Bauteile, Technische Bauteile, ADAS
- Health

Fertigungskompetenzen:

- Kunststoffspritzguss
- Additive Fertigung
- Keramik- & Metallpulverspritzguss
- Assembly

Der OECHSLER-Preis, WAK

Der Preis für herausragende wissenschaftliche Arbeiten zur Entwicklung und Konstruktion von Kunststoffbauteilen wird vergeben für

- herausragende Dissertationen (Dotierung: 5.000,- EUR) und
- herausragende Diplom/Masterarbeiten (Dotierung: 3.500,- EUR).

Die Preisträger werden von einer Fachjury ausgewählt. Nach der offiziellen Preisverleihung erhalten die Sieger die Möglichkeit ihre Arbeiten in der Firmenzentrale der OECHSLER AG in Ansbach einem ausgewählten Publikum vorzutragen.



KONTAKT

OECHSLER AG

Julia Berger (j.berger@oechsler.com)

Matthias-Oechsler-Straße 9

D-91522 Ansbach

Tel.: +49 (0)981 1807-0

Fax: +49 (0)981 1807-2220

info@oechsler.com

www.oechsler.com



RÖCHLING-SONDERPREIS

RÖCHLING-PREIS FÜR PROZESSE UND WERKSTOFFLICHE FRAGEN BEIM RECYCLING VON KUNSTSTOFFEN

Die Röchling-Gruppe gestaltet Industrie. Weltweit. Seit mehr als 200 Jahren.

Mit kundenindividuellen Kunststoffen verändert das Familienunternehmen Röchling heute den Alltag vieler Menschen – denn es macht Autos leichter, Pharmaverpackungen sicherer und verbessert industrielle Anwendungen. Die fast 12.000 Mitarbeitenden arbeiten dort, wo ihre Kunden sind – an 90 Standorten in 25 Ländern.

Gründungsjahr: 1822

Anzahl Mitarbeiter: 12.000

Vorstand:

Raphael Wolfram
(Automotive/Vorstandssprecher)
Dr. Daniel Bühler (Medical)
Franz Lübbers (Industrial)
Evelyn Thome (CFO)

Beirat:

Johannes Freiherr von Salmuth (Vorsitzender)
Dr. Carl Peter Thürmel (Stv. Vorsitzender)
Dr. Günter von Au
Georg Duffner
Gregor Greinert
Isabel Hartung
Uta Kemmerich-Keil
Prof. Klaus Nehring, Ph.D.
Rainer Schulz
Friedericke Werner

Industrien:

- Automobiltechnik
- Handel und Zerspaner
- Elektro- und Elektronikindustrie
- Chemie und Umwelt
- Maschinenbau
- Medizin- und Pharmatechnik
- Papierindustrie
- Bauindustrie
- Sonstige

Der Unternehmensbereich **Industrial** ist der Experte für den optimalen Werkstoff in jeder Anwendung. Röchling Industrial entwickelt und liefert individuelle Produkte aus Kunststoff für alle Industriebereiche. Das gelingt dank der umfangreichsten Produktpalette thermo- und duroplastischer Kunststoffe überhaupt. Seine Kunden beliefert der Unternehmensbereich mit Halbzeugen oder mit daraus spanabhebend hergestellten Komponenten.

Röchling Automotive verbessert **Mobilität**. Und zwar mit Produktlösungen aus Kunststoff. Hierfür nutzt der Unternehmensbereich sein Know-how in den Bereichen Battery Solutions, Structural Lightweight, Aerodynamics und Propulsion. So wird Fahren leichter, sicherer und klimaschonender.

Der Unternehmensbereich **Medical** ist ein bevorzugter Lieferant und Entwicklungspartner führender Pharma-, Biotech- und Medizintechnikunternehmen weltweit. An sechs Standorten in Deutschland, den USA und China entwickelt und fertigt Röchling Medical unter Reinraumbedingungen maßgeschneiderte pharmazeutische Verpackungs- und Verabreichungslösungen, Verbrauchsmaterialien für die medizinische Diagnostik sowie anspruchsvolle Komponenten und Baugruppen für Medizinprodukte.

Forschergeist gesucht

Zusammen mit dem Wissenschaftlichen Arbeitskreis Kunststofftechnik fördert die Röchling-Gruppe schlaue Nachwuchsköpfe. Innovationen für Prozesse und werkstoffliche Fragen beim Kunststoff-Recycling haben Chancen auf den „Sonderpreis Röchling“. Er honoriert Studierende für ihre

- herausragenden Dissertationen (Dotierung: 5.000,- EUR)
- oder herausragenden Diplom-/Masterarbeiten (Dotierung: 3.500,- EUR).

In ihren wissenschaftlichen Projekten suchen die Talente nach neuen Wegen, um den Einsatz von Kunststoffen so ressourcenschonend und ihrer Verarbeitung so umweltschonend wie nur möglich zu gestalten. Damit tragen sie dazu bei, die Nachhal-



tigkeit in der kunststoffverarbeitenden Industrie zu erhöhen und den Kunststoff als Werkstoff des 21. Jahrhunderts zukunftsfähig zu halten. Röchling will diesen Forschergeist mit dem Sonderpreis erhalten und unterstützen.

Ein Unternehmen mit langer Tradition

Die Röchling-Gruppe besteht inzwischen seit mehr als 200 Jahren. Das Prinzip, Wissen auszutauschen, und zwar nicht nur von Generation zu Generation, sondern auch über Ländergrenzen hinweg, gehört dabei wesentlich zur Erfolgsgeschichte des Unternehmens. Schließlich ist dies als Partner weltweit führender Unternehmen in den Bereichen Automotive, Industrial und Medical unerlässlich. Neue Verfahren und Werkstoffe helfen auch bei einem Thema, das Kunden in allen Industriebereichen inzwischen stark umtreibt: die Nachhaltigkeit von Produkten, Prozessen und in der Zusammenarbeit. Als Familienunternehmen steht Röchling für ein wertebewusstes und nachhaltiges Handeln.

Nachhaltige Unternehmenskultur

Die Nachhaltigkeit gliedert das Unternehmen in die drei Handlungsfelder Products, People, Planet: Es entwickelt innovative und nachhaltige Produkte, die den Kunden dabei helfen, ihre ökologischen Ziele zu erreichen (Products). Außerdem leistet die Röchling-

Gruppe einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz, indem sie ihre eigenen Prozesse konsequent optimiert und dabei Energie und Ressourcen verantwortungsvoll nutzt (Planet). Dazu übernimmt sie Verantwortung für das Wohlbefinden ihrer Mitarbeitenden – im Mittelpunkt stehen die Förderung der Gesundheit, Sicherheit und Qualifizierung, ein attraktives Arbeitsumfeld und die Themen Diversität, Inklusion und Chancengleichheit (People).

Als Kunststoffexperten wissen die Mitarbeitenden um ihre besondere Verantwortung. Die Kunststoffe, die Röchling verarbeitet, helfen mit ihrem geringen Gewicht, ihrer langen Lebensdauer und ihren vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten, Ressourcen zu schonen. Eine entsprechende Unternehmenskultur fördert neue Entwicklungen und forciert dabei den Einsatz von Biokunststoffen oder Kunststoffen aus Rezyklaten. Dafür hat Röchling mit Röchling-Bio-Boom® und Röchling-ReLoop® zwei neue Produktfamilien entwickelt.

KONTAKT

RÖCHLING SE & CO. KG

Group Communication

Richard-Wagner-Straße 9, D-68165 Mannheim

Tel.: +49 (0)621 4402-237

info@roechling.com

www.roechling.com



29. Fakuma

Internationale Fachmesse
für Kunststoffverarbeitung

 15.-19. Oktober 2024

 Friedrichshafen

digital
meets
circular
economy



“ **Digitalisierung - Top oder Flop?** Welche Tools der Kunststoffindustrie wirklich helfen

 15.10.2024  16.00 Uhr



 **AUSSTELLER-FORUM**



 **Sichern Sie jetzt Ihr kostenfreies Ticket:**



Registrierungsseite:
www.schall-registrierung.de
Ticket-Code: YDVFQ-W15WF

 fakuma-messe.de  [#fakuma2024](https://twitter.com/fakuma2024)     

Veranstalter:

P. E. SCHALL GmbH & Co. KG  +49 (0) 7025 9206-0  fakuma@schall-messen.de

 **SCHALL**
MESSEN FÜR MÄRKTE

NACHHALTIGES NAPHTHA: ZUKUNFT DER CHEMISCHEN INDUSTRIE NEU DEFINIERT

Die chemische Industrie muss dringend fossiles Naphtha durch erneuerbare Alternativen ersetzen, um die Defossilisierung zu erreichen. Der neue Bericht „Alternative Naphtha – Technologies and Market, Status and Outlook“ des nova-Instituts bietet eine umfassende Analyse erneuerbarer Kohlenstoffquellen und Technologien, die Raffinerie- und Steam-Cracking-Prozesse revolutionieren könnten.

Das Konzept „alternativen Naphthas“ nutzt die bestehende Infrastruktur von Raffinerien, Steamcrackern und der chemischen Industrie, in denen ein Teil der fossilen Rohstoffe – Rohöl oder fossiles Naphtha – durch Alternativen aus erneuerbarem Kohlenstoff ersetzt werden kann. Diese stammen aus drei Quellen: Biomasse, CO₂ und Recycling. Eine der vielversprechenden Alternativen für Naphtha ist hydriertes Pflanzenöl (HVO) und hydrierte Ester und Fettsäuren (HEFA). Diese liefern neben Biodiesel und synthetischem Flugkraftstoff (SAF) auch bio-basiertes Naphtha. Pyrolyseöl (PyOil) aus Plastik- und Reifenabfällen ist eine weitere Lösung. Das steigende Interesse am Recycling und geplante EU-Vorschriften für Rezyklate in Verpackungen treiben die Nachfrage nach Pyrolyse voran. Die Kapazität könnte bis 2026 auf über 1,5 Millionen Tonnen jährlich steigen. Die Vergasung von biogenen oder kunststoffhaltigen Abfällen zur Herstellung von Synthesegas, das über den Fischer-Tropsch-

Prozess in Naphtha umgewandelt wird, wird bereits in Pilotanlagen erforscht. Projekte zielen darauf ab, bis 2026 erhebliche Mengen an erneuerbarem Naphtha zu produzieren. Die Studie behandelt auch Technologien zur Kohlenstoffabscheidung bei der Herstellung von Synthesegas und synthetischem Rohöl. Viele Projekte zielen auf Kraftstoffe wie SAF ab, aber auch Naphtha wird als Nebenprodukt geliefert, um den Bedarf der chemischen Industrie an erneuerbaren Rohstoffen nach 2026 zu decken.

Von fortschrittlichen Recyclingtechnologien, über bio- und CO₂-basierte Chemikalien, Bausteine und Polymere bis hin zu erneuerbaren Building Blocks: Das Portfolio der Marktberichte des nova-Instituts deckt alle relevanten Themen rund um erneuerbaren Kohlenstoff ab. „Alternative Naphtha – Technologies and Market, Status and Outlook“ und weitere Publikationen des nova-Instituts finden Sie hier: <https://renewable-carbon.eu/publications/>

KONTAKT

nova-Institut GmbH
contact@nova-institut.de
www.nova-institute.eu
renewable-carbon.eu



**ADVANCED
RECYCLING**
Conference 2024



20–21 November 2024

Hybrid Event

Cologne (Germany)

advanced-recycling.eu



**RENEWABLE
MATERIALS**
CONFERENCE 2025



22–24 September 2025

Hybrid Event

Siegburg/Cologne (Germany)

renewable-materials.eu

**RENEWABLE
CARBON**  **EVENTS**

More Information and Events
on Renewable Carbon at
renewable-carbon.eu/events



KUNSTSTOFFMESSEN 2024/25

42. Motek und 17. Bondexpo

Internationale Fachmesse für Produktions- und Montageautomatisierung

08. bis 11. Oktober 2024

Stuttgart / www.motek-messe.de / www.bondexpo-messe.de

29. Fakuma

Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung

15. bis 19. Oktober 2024

Friedrichshafen / www.fakuma-messe.de

formnext 2024

Internationale Fachmesse für additive Fertigungstechnologien sowie derer vor- und nachgelagerter Prozesse

19. bis 22. November 2024

Frankfurt a.M. / www.formnext.com

Advanced Recycling Conference 2024

Hybrid Event

20. bis 21. November 2024

Köln / www.advanced-recycling.eu

KPA – Kunststoff Produkte Aktuell

Ihr Marktplatz für Design, Entwicklung und Beschaffung von Kunststoffprodukten

25. bis 26. Februar 2025 / 13. bis 15. Mai 2025

Ulm / Bad Salzuflen / www.kpa-messe.de

KUTENO Kunststofftechnik

Zuliefermesse für die kunststoffverarbeitende Industrie

13. bis 15. Mai 2025

Bad Salzuflen / www.kuteno.de

Renewable Materials Conference 2025

Hybrid Event

22. bis 24. September 2025

Siegburg/Köln / www.renewable-materials.eu

K 2025

The World's No. 1 Trade Fair for Plastics and Rubber

08. bis 15. Oktober 2025

Düsseldorf / www.k-online.com

Ingenieurwissenschaften 2024

Jahresmagazin Kunststofftechnik

Idee, Konzeption und redaktionelle Koordination:

Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV)

**Bildnachweis:** Das jeweilige Institut;

Titel Hintergrund: TexturesForFree.com auf pixabay;

Titel Blickfang: stock.adobe.com / #891100424

Anzeigenverwaltung und Herstellung:

ALPHA Informationsgesellschaft mbH

Finkenstraße 10

68623 Lampertheim

Tel.: 06206 939-0

Fax: 06206 939-232

info@alphapublic.de

www.alphapublic.de

Die Informationen in diesem Magazin sind sorgfältig geprüft worden, dennoch kann keine Garantie übernommen werden. Eine Haftung für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen. Die einzelnen Bildquellen sind über das Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen erfragbar. Die Auskunft ist kostenfrei und kann per E-Mail erfragt werden. Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, des Vortrags, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung des Werkes oder von Teilen des Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechts der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Lampertheim, September 2024

© ALPHA Informationsgesellschaft mbH und die Autoren für ihre Beiträge

ISSN: 1618-8357

Projekt-Nr. 096-745

Wachse mit uns.

Deine Karriere bei SCHÜTZ

Entdecke spannende Karriereperspektiven und beste Einstiegsmöglichkeiten beim globalen Marktführer ganz in deiner Nähe!

An unserem Stammsitz in Selters/Westerwald entwickeln, produzieren und vertreiben wir industrielle Verpackungssysteme, Haustechnik-Produkte, Leichtbauwerkstoffe für die Luft- und Raumfahrt sowie Vorprodukte aus Stahl.

Dein Studium

Du möchtest gerne ein studentisches Praktikum, ein Praxissemester oder eine unternehmensbezogene Bachelor- oder Masterarbeit schreiben? Kein Problem – bei SCHÜTZ ist Vielfalt garantiert!

Das Studienzeugnis hast du schon in der Tasche aber weißt noch nicht, in welchem Bereich du den Direkteinstieg wählen sollst? Dann sind unsere Trainee Stellen genau das Richtige! Als Trainee arbeitest du in verschiedenen Projekten selbstständig mit und lernst im gewählten Schwerpunkt diverse Bereiche und Abteilungen hautnah kennen. Während der gesamten Zeit steht dir ein fester Ansprechpartner zur Seite. Die Dauer des Trainee-programms beträgt in der Regel 18 Monate.



Mehr erfahren oder direkt bewerben:
www.schuetz.net/studium

Dein Direkteinstieg

Durch unsere Firmenphilosophie, die Dinge wann immer möglich selbst zu machen, bietet die SCHÜTZ Gruppe ein sehr großes Tätigkeitsspektrum und beste Entwicklungsperspektiven.

Wir suchen dich (m/w/d):

- > **Ingenieur Elektrotechnik/Robotik/Automatisierungstechnik**
(Abschluss im Bereich Elektrotechnik/Automatisierungstechnik)
- > **Ingenieur Energie-, Mess- und Regeltechnik**
(Abschluss im Bereich Elektrotechnik)
- > **Ingenieur Technischer Support im Bereich PACKAGING SYSTEMS**
(Abschluss im Bereich Wirtschaftsingenieurwesen, Maschinenbau, Verfahrens- oder Kunststofftechnik)
- > **Verfahrenstechniker Kunststoff**
(Abschluss im Bereich Maschinenbau, Verfahrens- oder Kunststofftechnik)



Mehr erfahren oder direkt bewerben:
www.schuetz.net/jobs

Perfect tomographies.

Every user. Every sample.
Every time.



ZEISS VersaXRM 730

ZEISS VersaXRM 730 3D X-ray microscope delivers breakthrough resolution performance, takes accessibility to the next level with an intuitive user experience, and leverages game-changing AI for faster throughput and remarkable image clarity.

- Enjoy resolution performance with $\leq 0.5 \mu\text{m}$ resolution spanning 30-160 kV source voltage for imaging low to high density samples
- Save time with X-ray setting and tomography parameter guidance
- Always target the correct ROI with intuitive, end-to-end 3D navigation of your sample

www.zeiss.com/VersaXRM730



Seeing beyond