

# Verbesserungen bei Materialien und der Verarbeitung

## *Polyamid (PA): Produktverbesserungen und Ersatz von PA 66 durch PA-6-Compounds*

Der Fortschritt bei Füge-technologien wie dem Laserdurchstrahlschweißen, die steigende Nachfrage nach wärmeleitenden Kunststoffen, der Leichtbau und die Elektromobilität gehören in der Material- und Anwendungsentwicklung mit Polyamid zu den großen Trends. Auch bei diesem Polymer wächst der Bedarf an nachhaltigeren Werkstoffen. Geschlossene Stoffkreisläufe werden deshalb künftig in der Herstellung von PA 6 und PA 66 eine immer wichtigere Rolle spielen.



Motorradtank aus Durethan BC550Z 900116 DUSXBL: Das unverstärkte und schlagzäh modifizierte PA 6 wird zu zwei Halbschalen spritzgegossen, die durch Heizelementschweißen zum Tank gefügt werden © Lanxess

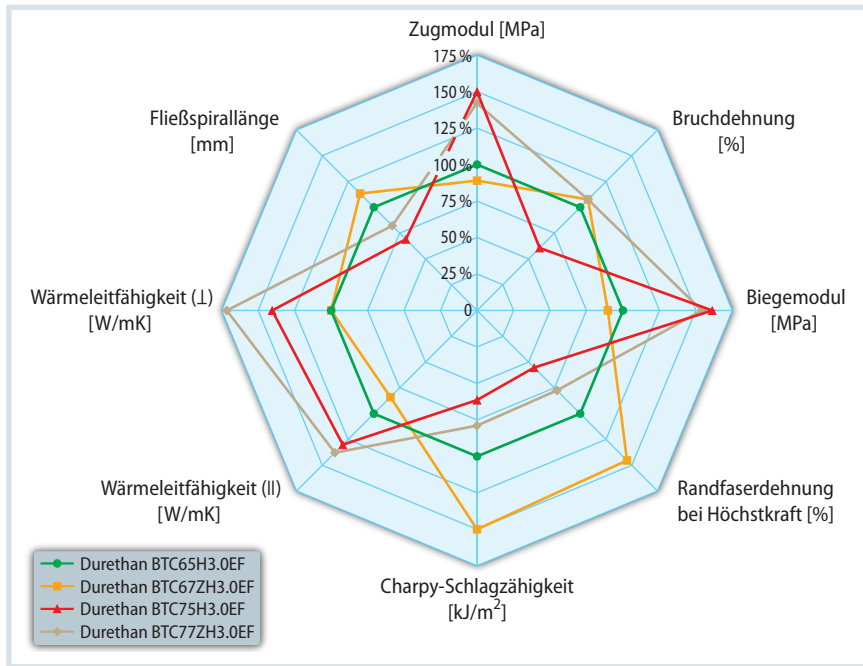
Die weltweit produzierte Menge an Polyamid-6- (PA 6) und PA-66-Basis-harz betrug dem Marktforschungsunternehmen Wood Mackenzie zufolge im Jahr 2019 etwa 8,3 Mio. t [1]. PA 66 hatte daran mit 2,1 Mio. t einen Anteil von rund einem Viertel. Deutlich mehr als die Hälfte des PA 66 wurde zu Compounds verarbeitet, über ein Drittel zu industriellen Filamenten und der Rest zu Textilfasern, Teppichgarnen und Folien. Bei PA 6 dominierte die Faserherstellung mit einem Anteil von fast zwei Dritteln des Verbrauchs. Der größte Anteil davon entfiel auf Textilfasern. Rund

ein Viertel des PA 6 wurde zu Compounds verarbeitet, 10 % zu Folien. Eine wichtige Rolle kommt PA 6 bei Mehrschichtfolien für Lebensmittelverpackungen zu. Der Kunststoff ist elementarer Bestandteil dieser Folien, da er die Durchstoßfestigkeit der Verpackung erhöht und aufgrund der guten Barriereigenschaften gegen Luft-sauerstoff dafür sorgt, dass die verpackten Lebensmittel lange haltbar sind.

Rund die Hälfte der PA-6- und PA-66-Compounds wurden 2019 von der Automobilindustrie verbraucht. An zweiter Stelle folgten die Hersteller von Elektro-

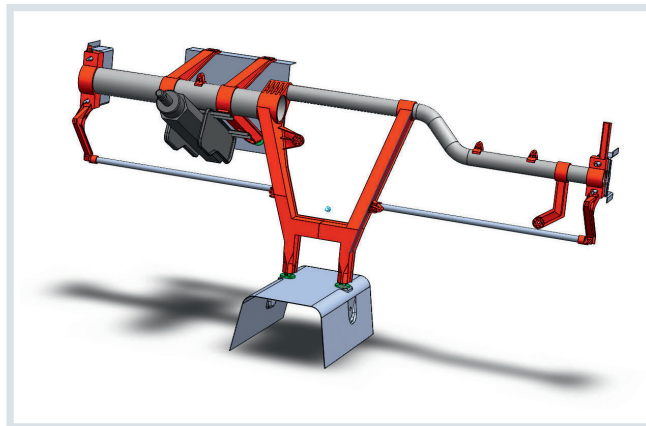
und Elektronikartikeln mit einem Anteil von etwa einem Drittel.

In diesem Jahr wird mit einem Rückgang der globalen Produktion von PA-6- und PA-66-Basis-harz auf ca. 7,4 Mio. t gerechnet. Hauptgrund dafür ist die stark gesunkene Nachfrage durch die Corona-Pandemie. Sie hat u.a. die schon länger schwächelnde Automobilindustrie weiter einbrechen lassen. Die Lanxess AG, Köln, geht aber davon aus, dass sich die Automobilproduktion in den nächsten zwei Jahren wieder erholen wird. Laut den Marktforschern von LMC Automotive »



**Bild 1.** Vergleich wärmeleitender PA-6-Compounds: Durethan BTC67ZH3.0EF und Durethan BTC77ZH3.0EF besitzen eine höhere Schlagzähigkeit, Bruchdehnung und Fließfähigkeit als bisherige Compounds Quelle: Lanxess; Grafik: © Hanser

**Bild 2.** Mit der Hohlprofilhybridtechnik können Bauteile wie Instrumententafelträger gefertigt werden, die in klassischer Hybridbauweise bisher noch nicht ausreichend belastbar waren © Lanxess



wird die globale Automobilproduktion 2022 wieder das Niveau von 2019 erreichen bzw. dieses sogar leicht übertreffen.

Wood Mackenzie geht von einem jährlichen durchschnittlichen Mengenwachstum bei PA 6 und 66 im Zeitraum von 2020 bis 2025 von über 2 % aus. Allerdings sind verlässliche Prognosen derzeit kaum möglich. Gegenwärtig ist nicht abzusehen, ob die Corona-Pandemie weltweit abflaut oder ein Anstieg der Fallzahlen durch eine zweite Infektionswelle und somit ein weiterer Shut-down der Weltwirtschaft bevorsteht. Auch ist nicht vorherzusehen, ob sich die Versorgungsfähigkeit bei PA 66 und vor allem bei dessen Vorprodukt Adiponitril (ADN) fortsetzt. Sie hat zuletzt zu einer Substitutionsbewegung weg von PA 66 hin zu PA 6

und anderen Thermoplasten geführt. Weiterhin lässt sich nur schwer voraussagen, ob PA 66 auch in den nächsten Jahren beträchtliche Absatzmengen bei Industriefasern, Teppichfilamenten und Stapelfasern an PA 6, Polyester und andere Materialklassen verlieren wird. Last but not least steht die PA-Welt ebenso wie die gesamte Wirtschaft vor einem strukturellen Umbruch hinsichtlich eines höheren Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutzes.

Eine wichtige Rolle spielen dabei geschlossene Stoffkreisläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft. Dafür werden sukzessive Stoffströme aus rezykliertem PA 6 und 66 entstehen. Welche Mengen sie umfassen und welchen Anteil sie an der gesamten PA-6- und PA-66-Produktion ausmachen werden, ist gegenwärtig nicht

vorhersehbar. Die meisten PA-Produzenten stellen sich diesem strukturellen Wandel und begreifen ihn sogar als wirtschaftliche Chance. Lanxess möchte z. B. bis 2040 klimaneutral werden und hat seine CO<sub>2</sub>-Bilanz zum Investitionskriterium bei organischem Wachstum und Akquisitionen gemacht. Außerdem legt das Unternehmen den Forschungsfokus auf die Kreislaufwirtschaft sowie klimaneutrale Prozess- und Technologieinnovationen.

Grundsätzlich müssen sich PA-6- und PA-66-Compounds immer komplexeren Aufgaben stellen, was die Produktentwicklung besonders anspruchsvoll macht. Die Anforderungen lassen sich meist nur mit Eigenschaften erfüllen, die auf dem Niveau von Primärware liegen. Für Rezyklate bedeutet das, sie müssen ebenfalls – so weit wie möglich – die Eigenschaften von Neuware mitbringen.

### PA-6-Compounds ersetzen PA 66

Die extreme Knappheit an PA 66 im vergangenen Jahr und die daran gekoppelten hohen Materialpreise haben viele OEM und Zulieferer bewogen, den Einsatz selbst in typischen Anwendungen zu hinterfragen und eine Umstellung auf PA-6-Compounds zu prüfen. Häufig hatten sie mit dem Austausch Erfolg. Daher überrascht es nicht, dass optimierte PA-6-Compounds als Ersatz für PA 66 eine zentrale Rolle in der Produktentwicklung der PA-6-Hersteller spielen. Herausforderungen sind dabei die höhere Wärmeformbeständigkeit und Betriebsfestigkeit von PA 66, z. B. die Dauerschwingfestigkeit im Wöhler-Test, sein besseres Kriechverhalten und die gute Chemikalienbeständigkeit, die sich u. a. in der hohen Hydrolysebeständigkeit gegenüber Motor Kühlmedien zeigt. PA 6 bietet im Gegenzug Vorteile in puncto Wärmealterungs- und Verarbeitungsstabilität, Oberflächenqualität und Schweißverhalten.

Kunststoffteile für den Motorraum werden u. a. wegen immer kleinerer Bauräume und der Integration von weiteren Funktionen zunehmend komplexer. Deshalb gewinnt das Schweißen als Füge-technologie für spritzgegossene Motor-komponenten stark an Bedeutung. In den vergangenen Jahren hat sich gezeigt, dass PA-6-Compounds bei verschiedenen Schweißverfahren häufig größere Verarbeitungsfenster als PA-66-Varianten haben. PA-6-Compounds werden deshalb

mittlerweile für Bauteile wie Saugmodule und Luft- und Ölfiltersysteme bevorzugt eingesetzt.

Gegenwärtig setzt sich in der Fertigung von PA-6- und PA-66-Motorraumbauteilen das Laserdurchstrahlenschweißen breit durch. Die Technologie ist inzwischen so ausgereift, dass sich damit selbst sehr kleine Bauteile mit komplexer Geometrie automatisiert bei geringen Kosten in Großserie produzieren lassen. Zudem sind Patente u.a. zur Einfärbung ausgelaufen, die den Durchbruch des Verfahrens im großen Stil bisher erschwert haben. Außerdem ermöglicht das Verfahren die mechanisch und thermisch schonende, fusselfreie Fertigung von Gehäusen für empfindliche Elektronik, etwa Sensoren von Fahrerassistenzsystemen oder für den Elektroantrieb. Alle großen Anbieter von PA-6- und PA-66-Compounds vertreiben daher inzwischen lasertransparente Materialeinstellungen.

### Schwarzes PA 6 Laserschweißen

Ein Beispiel dafür ist das mit 30 % Glasfasern verstärkte PA 6 Durethan BKV30XWPLT von Lanxess. Wegen seiner hohen Lasertransparenz kann es selbst bei bis zu 4 mm Wanddicke in einem stabilen Prozess mit hoher Schweißnahtfestigkeit gefügt werden. Angeboten wird es naturfarben und in einer schwarz eingefärbten, für IR-Laserlicht transparenten Einstellung. Die Entwicklung und Herstellung solcher schwarzen Produktvarianten ist sehr anspruchsvoll, weil bereits geringe Verunreinigungen die IR-Transmission und damit die Prozesssicherheit im Schweißverfahren stark beeinträchtigen. Ein weiteres Beispiel ist das mit 35 % Glasfasern verstärkte PA 66 Zytel LT70G35EF von DuPont, Wilmington/Delaware/USA, das u.a. für Anwendungen in der Elektronikindustrie entwickelt wurde.

Auch flammgeschützte und zugleich lasertransparente Typen sind mittlerweile erhältlich. Das ist insofern bemerkenswert, da Flammenschutzmittel die Lasertransparenz von PA meist herabsetzen. Beispiele dafür sind die halogenfrei flammgeschützten PA-66- bzw. PA-6-Compounds Durethan AKV30FN04LT und

BKV30FN04LT. Sie erreichen im UL-94-Brandtest die beste Klassifizierung V-0 bei Wanddicken von 0,4 bzw. 0,75 mm. Solche Werkstoffe werden für Bauteile in Batteriesystemen von E-Fahrzeugen benötigt. In dieser Anwendung macht sich auch die hohe Kriechstromfestigkeit von 600 V (CTI A, Comparative Tracking Index, IEC 60112) bezahlt.

Weitere Standardfügeverfahren für viele PA-66- und PA-6-Anwendungen im Bereich Mobilität sind das Vibrations- und Heizelementschweißen (**Titelbild**). Im Fokus der Materialentwicklung stehen Werkstoffeinstellungen, die höhere Schweißnahtqualitäten erreichen und möglichst große Verarbeitungsfenster auf-

weisen. Ein typisches Produkt dafür ist Durethan BKV30XWPHV von Lanxess. Das PA-6-Compound zeichnet eine reduzierte Kristallisationsgeschwindigkeit und hohe Schmelzestufigkeit aus und kommt z.B. in der Herstellung von vibrationsgeschweißten Luftansaugmodulen zum Einsatz. Die erhöhte Schmelzestufigkeit und deutlich reduzierte Klebeneigung der Schmelze an heißen Oberflächen sind auch für einen stabilen Prozess im Heizelementschweißen von Vorteil.

Den steigenden Temperaturen von Verbrennungsmotoren werden thermostabilisierte Varianten wie die PA 6 Du- »

**SIKORA**  
Technology To Perfection

## Qualität in reiner Form.

Mit Leidenschaft entwickeln wir zukunftsweisende Inspektions-, Analyse- und Sortiergeräte für die Qualitätssicherung von Kunststoffpellets, wie den **PURITY SCANNER ADVANCED**.

- Online Inspektion und automatische Sortierung von Kunststoffpellets in allen Prozessebenen
- Detektion metallischer und organischer Verunreinigungen ab 50 µm innerhalb des Pellets und auf seiner Oberfläche
- Professional Data Analysis Management (PDAM) für Statistiken, Visualisierung und Datenspeicherung

[www.sikora.net/purityscanner](http://www.sikora.net/purityscanner)



**Bild 3.** Die hohen Lastanforderungen des vollständig aus Kunststoff gefertigten Bremspedals werden durch den maßgeschneiderten Faserlagenaufbau des Tepex-Einlegers sowie eine zusätzliche lokale Tape-Verstärkung erfüllt

© Lanxess



rethan BKV30XWPXT und BKV35XWPXT von Lanxess gerecht. Sie widerstehen Dauereinsatztemperaturen bis ca. 200 °C ohne größere Einbußen bei der Schweißnahtfestigkeit. Potenzielle Anwendungen sind Ladeluft- und Ansaugrohre sowie Hohlkörper im Ölkreislauf. Der Werkstoffhersteller bietet mit Durethan AKV30XWPXT ebenfalls ein entsprechendes PA-66-Compound an, das bis deutlich über 200 °C thermoalterungsbeständig ist. Es zielt auf Bauteile wie Luftführungen in der Nähe des Turboladers oder Luftansaugmodule mit integriertem Ladeluftkühler.

Für Kühlkreislaufanwendungen sind Kunststoffe mit hoher Hydrolysebeständigkeit erforderlich. Die hohen Werte glasfaserverstärkter PA-66-Compounds werden in nächster Zeit wahrscheinlich nicht

von entsprechenden PA-6-Compounds erreicht. In Technikumsversuchen übertrafen allerdings aufwendig stabilisierte, mit 35 % Glasfasern verstärkte PA-6-Compounds immerhin die Hydrolysestabilität von Standard-PA-66 mit 30 % Glasfasergehalt. Solche Compounds könnten daher künftig insbesondere in Anwendungen mit Peak-Temperaturen von maximal 125 °C eine Alternative zu PA 66 sein.

Thermisch leitfähige PA-6- und PA-66-Compounds für das Wärmemanagement von Geräten werden schon seit längerem stärker nachgefragt. Gründe dafür sind u. a. die Elektromobilität, die Digitalisierung des Alltags und die Miniaturisierung elektrischer und elektronischer Komponenten. Derzeit setzt sich der Trend weg von teuren Wärmeleitpartikeln auf Basis von Bornitrid (BN) hin zu kostengünstigeren mineralischen Füllstoffen fort. Das liegt u. a. daran, dass eine Wärmeleitfähigkeit des Compounds von 1–2 W/mK meist schon ausreicht, um Spitzentemperaturen im Bauteil wirksam zu senken.

Die Entwicklungsarbeit konzentriert sich vor allem darauf, die mechanischen Eigenschaften, die Fließfähigkeit und die Verarbeitbarkeit der mineralisch hochgefüllten Compounds zu optimieren. Lanxess hat etwa kürzlich mit Durethan BTC67ZH3.0EF und BTC77ZH3.0EF zwei isotrop wärmeleitende PA-6-Compounds auf den Markt gebracht, die im Vergleich zu ähnlichen Vertretern der Produktreihe Durethan BTC deutlich schlagzäher und stoßfester sind (**Bild 1**). Außerdem weisen sie höhere Dehnungswerte im Zug- und Biegeversuch auf. Sie nehmen daher bei Verformung mehr Energie auf, weshalb entsprechende Bauteile im Belastungsfall nicht so schnell brechen. Außerdem verfügen beide Compounds über eine gute Fließfähigkeit. Potenzielle Anwendungen sind z. B. Steckverbinder mit Schnapphaken, Kühlkörper, Wärmetauscher und Trägerplatten von Elektronikbauteilen.

### Geringer Anteil an Halogenid-Ionen

PA-Compounds, die einen nur äußerst geringen Anteil an Halogenid-Ionen von typischerweise kleiner 100 ppm enthalten, stellen ebenfalls einen aktuellen Entwicklungsschwerpunkt dar. Viele Kunden wollen mit ihnen das Risiko der Elektrokorrosion im Kontakt zu stromführenden Bauteilen unter Langzeitbelastung reduzieren. Durethan-Grades von Lanxess mit H3.0- oder XTS3-Wärmestabilisierungen entsprechen bereits häufig dieser Anforderung. Darüber hinaus hat das Unternehmen die Produktreihe Durethan LHC (Low Halide Content) entwickelt, deren erster Vertreter das leichtfließende PA 6 Dure-

## Die Autoren

**Matthias Bienmüller** ist Head of Product Development FR-Durethan, Pocan bei Lanxess;

matthias.bienmueller@lanxess.com

**Detlev Joachimi** ist Head of Product Development Durethan bei Lanxess;

detlev.joachimi@lanxess.com

**Günter Margraf** ist Head of Global Product Management bei Lanxess;

guenter.margraf@lanxess.com

**Henrik Plaggenborg** ist Leiter Tepex Automotive bei Lanxess;

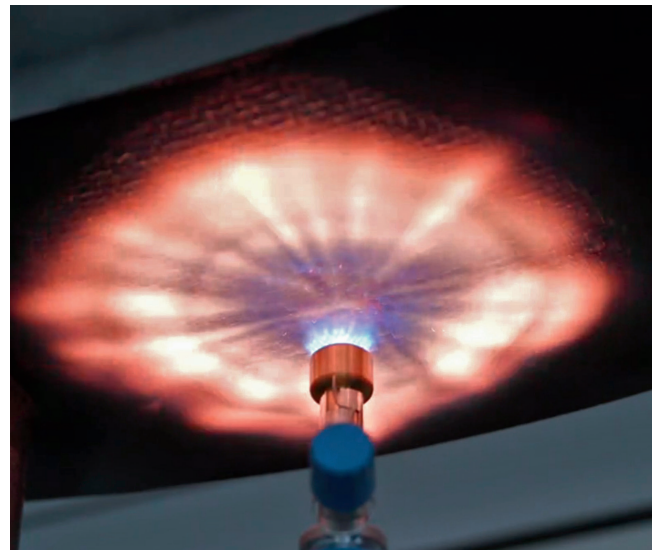
henrik.plaggenborg@lanxess.com

## Service

### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-10](http://www.kunststoffe.de/2020-10)

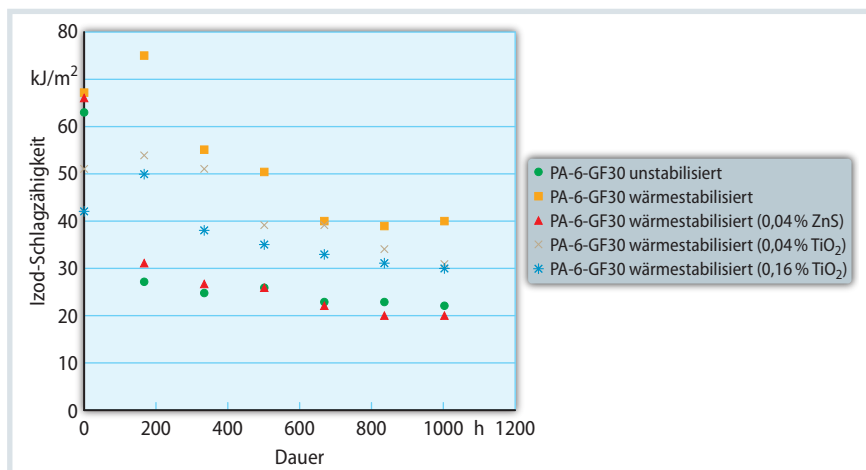
**Bild 4.** Der Grund für die gute Flammwidrigkeit von Tepex ist der hohe Gehalt an schwer entflammenden Endlosfasern und der vergleichsweise geringe Anteil an brennbarem Kunststoff © Lanxess



than BKV30H3.0EF DUSLHC war. Inzwischen wurde die Produktreihe um die beiden flammgeschützten PA-6-Compounds Durethan BKV20FN01 DUSLHC und Durethan BKV30FN04 DUSLHC ergänzt. Die BASF SE, Ludwigshafen, und die AkroPlastic GmbH, Niederrissen, verfügen ebenfalls über Ultramid- bzw. Akromid-Produkte mit sehr geringem und spezialisiertem Gehalt an Halogenid-Ionen.

Konstruktionen in Kunststoff-Metallblech-Verbundbauweise (Hybridtechnik) sind in der Fertigung leichter Strukturbauteile wie Kfz-Frontends Stand der Technik. Einige Bauteile wie Instrumententafelträger müssen allerdings, u.a. um die notwendigen Schwingungseigenschaften zu erreichen, besonders torsionsfest und -steif sein. Eine Lösung dafür sind Hybridkonstruktionen mit metallischen Hohlprofilen (Bild 2). Lanxess hat mit der Hohlprofilhybridtechnik (HPH) ein Verfahren entwickelt, das eine Fertigung und Funktionalisierung solcher Konstruktionen mit formschlüssigen Verbindungen auf Standardspritzgießmaschinen ohne aufwendiges Zusatzequipment ermöglicht. Dabei können auch Hohlprofile eingelegt werden, die toleranzbedingt ein leichtes Übermaß haben und für die Werkzeugkavität etwas zu groß sind. Zur Formgebung der Hohlprofile wird die Schließkraft der Spritzgießmaschine genutzt.

Welche Möglichkeiten die HPH bei Instrumententafelträgern eröffnet, zeigt ein



**Bild 5.** Verlauf der Izod-Schlagzähigkeit bei mehreren PA-6-Compounds mit 30 % Glasfaserverstärkung nach Wärmealterung bei 140 °C: Titandioxid und Zinksulfid senken die Schlagzähigkeit von wärmestabilisierten Compounds deutlich ab Quelle: Lanxess; Grafik: © Hanser

von Lanxess entwickelter Demonstrator. Derartige Bauteile können nacharbeitsfrei in kurzen Zykluszeiten von ca. 70 s hergestellt werden. Zahlreiche Funktionen wie die A-Säulen-Anbindung, die Anbindung der Lenksäule sowie Verbindungselemente für das Armaturenbrett und die Tunnelstreben sind kostensenkend integrierbar, was zu wettbewerbsfähigen Bauteilen führt. Aufgrund des vorhandenen Toleranzmanagements können kostengünstige Hohlprofile auch mit leicht schwankenden Maßen zum Einsatz kommen. Die Toleranzen des Hybridbauteils fallen im Vergleich zu geschweißten

Stahlkonstruktionen deutlich kleiner aus. Die Fertigung ist daher reproduzierbarer und präziser. Die Gewichtsersparnis gegenüber einer reinen Stahllösung liegt bei etwa 20 bis 30 %. Die Torsionsfestigkeit und -steifigkeit der großflächigen Metall-Kunststoff-Verbindung ist so hoch, dass z.B. bei der Lenksäulenaufhängung kaum Vibrationen auftreten. Das ermöglicht den Einbau schwingungssensibler Elemente wie Head-up-Displays (HUD).

Lanxess hat für die Zusammenarbeit mit Kunden einen „morphologischen Kasten“ konzipiert. Dahinter verbirgt sich eine Kreativitätstechnik, die im Maschi- ➤

## ERF 1000



maag.com



PUMP & FILTRATION SYSTEMS ›  
 PELLETIZING SYSTEMS ›  
 PULVERIZING SYSTEMS ›  
 RECYCLING SYSTEMS ›

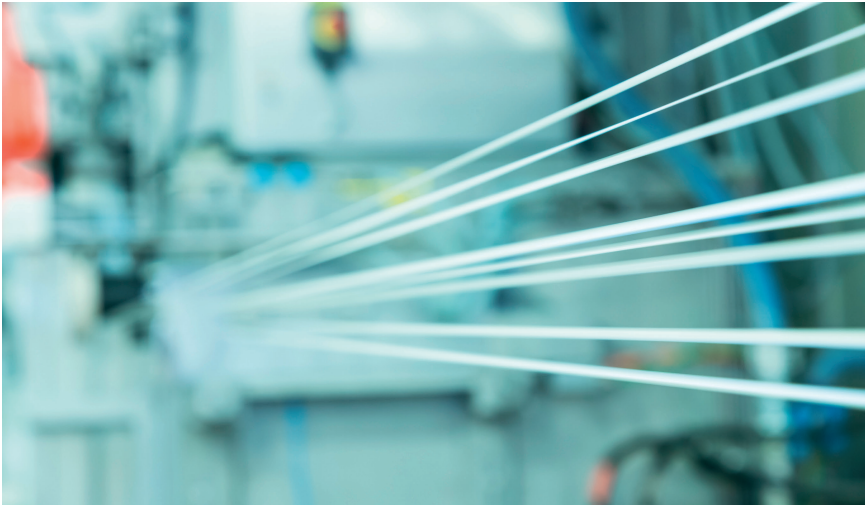
**ETTLINGER**

## NEXT LEVEL SOLUTIONS

Kontinuierliche Schmelzefilter von ETTLINGER verarbeiten seit 2004 verschmutzte Polyolefine, Polystyrole, PET und PA. Der neue ERF 1000 erreicht bei Polyolefinen Durchsätze von bis zu 10 t/h – mit dem branchenweit geringsten Schmelzeverlust. Mit leistungsstarken Sieben für die höchsten Qualitätsansprüche setzt der ETTLINGER ERF weiterhin Maßstäbe.

**MAAG** Group  
 a **DOVER** company





**Bild 6.** Lanxess setzt in seiner Glasfaserproduktion in Antwerpen auch Glasabfälle ein © Lanxess

nenbau häufig eingesetzt wird, um schnell aus einer Vielzahl von Möglichkeiten geeignete Lösungen herauszufiltern. Der Kasten ist auf die spezifischen Anforderungen von HPH-Anwendungen und spezielle Kundenbedürfnisse abgestimmt und soll die Bauteilentwicklung beschleunigen. Er berücksichtigt u. a., welche Form das Rundprofil hat, wie es gegen den Spritzdruck abgestützt wird und wie der Formschluss zwischen Kunststoff und Profil erreicht wird, etwa über Rippen, Stanzlöcher, Schweißelemente etc. Untersuchungen von Lanxess zeigen außerdem, dass mit gängigen Simulationstools z. B. die Umformung der Hohlprofile und die mechanische Belastbarkeit der HPH-Bauteile analysiert werden können.

### *Sichere Bauteile für Elektrofahrzeuge*

Im Automobilbereich weiten die endlosfaserverstärkten thermoplastischen Composites Tepex dynalite von Lanxess ihr Anwendungsspektrum in der Großserienfertigung leichter Strukturbauteile weiter aus. Jüngstes Beispiel ist das erste Vollkunststoff-Bremspedal für einen batterieelektrischen Sportwagen. Es wird im Hybrid-Molding-Prozess unter Einsatz eines Tepex-Einlegers aus PA 6 und mehrerer Tapes gefertigt und ist um 50 % leichter als eine vergleichbare Stahlkonstruktion (**Bild 3**). Tepex hat auch großes Einsatzpotenzial bei Strukturbauteilen und Gehäusekomponenten für Hochvolt-Batterien von Elektrofahrzeugen, denn es bringt für diese Sicherheitsbauteile eine hohe inhärente Flammwidrigkeit mit (**Bild 4**). Das bestätigen Tests wie die Prüfung FMVSS 302 (Fe-

deral Motor Vehicle Safety Standard) der US-amerikanischen Fahrzeugsicherheitsbehörde. Als Alternative zu Aluminium ermöglichen die Composites wirtschaftliche Bauteillösungen, da durch die Hybrid-Molding-Technologie zahlreiche Funktionen kostensenkend integrierbar sind.

Auch bei PA halten in der Entwicklung, Fertigung und im Vertrieb immer mehr digitale Technologien Einzug. Im Fokus bei Lanxess stehen dabei der Aufbau digitaler Geschäftsmodelle, die Einführung neuer digitaler Technologien entlang der Wertschöpfungskette, die Nutzung von Big Data sowie die Verankerung digitaler Kompetenzen bei den Mitarbeitern. In der Entwicklung von Kunststoffprodukten nutzt der Spezialchemiekonzern z. B. Künstliche Intelligenz (KI). Dabei berechnen KI-Algorithmen aus einer Vielzahl von Messdaten existierender Rezepturen, Rohstoffinformationen und Prozessgrößen Prognosemodelle, mit denen Versuchsarrangements und -parameter verbessert und letztlich optimierte Rezepturen ermittelt werden können. Zudem spielen moderne Labor-Information- und Management-Systeme (LIMS) sowie Großspeicher (Data Lake), die flexible Analysen riesiger Mengen an unterschiedlich formatierten Rohdaten ermöglichen, eine immer größere Rolle.

Angesichts der verschmutzten Weltmeere, des Klimawandels und sich verknappender fossiler Ressourcen arbeiten praktisch alle großen Kunststoffhersteller an Konzepten, das geschäftliche Wachstum und den Ressourcenverbrauch voneinander zu lösen. Dadurch sollen u. a. Abfälle vermieden und langlebige Pro-

dukte und Anwendungen entwickelt werden. Entscheidend ist aber vor allem, sowohl Ressourcen als auch Kunststoffe aus End-of-Life-Bauteilen wiederzuverwerten und im Kreislauf zu halten.

Die Idee der Kreislaufwirtschaft ist nicht neu und etwa beim Recycling von Polyethylenterephthalat (PET) aus Wasserflaschen bereits erfolgreich. Bei PA 6 und 66 sind Versuche, Stoffkreisläufe im großen Stil aufzubauen, bisher misslungen. Ende der 1980er-Jahre gab es etwa Bestrebungen bei der Bayer AG, Leverkusen, PA aus ausgedienten Bauteilen wiederzuverwerten. Das Projekt wurde aber aus Kostengründen nie umgesetzt – u. a. weil Neuware meist günstiger, qualitativ besser und zuverlässig verfügbar war. Bei PA 6 und 66 kommt hinzu, dass größere verfügbare Rezyklatströme aus Post-Consumer- und Post-Industrial-Faserabfällen stammen. Nachteil dieser Abfälle ist, dass bei ihnen starke Eigenschaftsschwankungen auftreten. Außerdem enthalten die Fasern häufig die Pigmente Titandioxid (TiO<sub>2</sub>) und Zinksulfid (ZnS). Ersteres ist hart und schädigt im PA-Compound die Glasfasern. ZnS deaktiviert die den Compounds oft zugesetzten, kupferbasierten Wärmestabilisatoren.

### *Chemische Recyclingverfahren für PA*

**Bild 5** verdeutlicht das an mehreren PA-6-Compounds mit 30 % Glasfaserverstärkung. Dargestellt ist der Verlauf der Izod-Schlagzähigkeiten nach Wärmealterung bei 140 °C. Die ZnS-haltigen Compounds zeigen durch die Deaktivierung des kupferbasierten Wärmestabilisators das Wärmealterungsverhalten eines unstabilsierten PA 6. Bei den TiO<sub>2</sub>-haltigen Compounds führt die Schädigung der Glasfasern bereits vor Alterung zu einem deutlichen Abfall der Schlagzähigkeit.

Diese Umstände führten zu Überlegungen, PA 6 zu Caprolactam zu depolymerisieren und daraus erneut PA 6 zu gewinnen. Entsprechende Versuche einiger Firmen wie der Polyamid 2000 AG und von Evergreen Nylon Recycling gab es zur Jahrtausendwende. Sie scheiterten wegen zu hoher Kosten, auch wenn erste Compounds bereits in den Markt eingeführt und z. B. für die Herstellung von Saugmodulen verwendet wurden. Allein die italienische Firma Aquafil, Arco, nutzt derzeit ein eigenes industrielles Verfahren, um Caprolactam chemisch aus PA-6-haltigen Pre-Consumer- und Post-Consum-

mer-Abfällen wie alten Fischernetzen oder Teppichflor zurückzugewinnen. Aquafil stellt daraus die PA-6-Fasern der Marke Econyl her, die vor allem in der Textilindustrie verwendet werden.

Diese Erfahrungen zeigen, dass der Aufbau großer, geschlossener Stoffkreisläufe bei PA 6 und 66 nur gelingen kann, wenn das zurückgewonnene Basisharz gleiche Eigenschaften wie Neuware besitzt und damit gleichwertig eingesetzt werden kann. Dafür stehen zwei Wege offen: die Depolymerisation von PA-6- und PA-66-Abfällen zu den jeweiligen Monomeren mit anschließender Polykondensation zu PA-6- und PA-66-Basisharzen und die thermochemische Umwandlung der Abfälle in Pyrolyseöle, wie es z. B. das ChemCycling-Verfahren von BASF vorsieht. Aus den Ölen kann etwa Benzol gewonnen werden, das in einem Massenbilanzverfahren über Cyclohexan zu Caprolactam und schließlich in PA 6 umgewandelt wird.

### Ganzheitlicher Ansatz für das Recycling

Lanxess greift in einem ganzheitlichen Ansatz beide Recyclingwege auf und berücksichtigt dabei auch Glasfasern. Ein Beispiel dieser Strategie sind die PA-6-Compounds Durethan ECOBKV30H2.0, ECOBKV35H2.0 und ECOBKV60XF. Sie enthalten 30, 35 bzw. 60 Gew.-% rezyklierte Glasfasern, die aus Abfällen der Glasfaserproduktion hergestellt werden (Bild 6). Die Rezyklatgehalte der u. a. für Automobilanwendungen entwickelten Compounds sind nach dem Massenbilanz-Konzept geprüft und mit einem ecoloop-Zertifikat gemäß ISO 14021:2016 bestätigt. Das Konzept der Massenbilanzierung wurde u. a. für das chemische Recycling von Post-Industrial- und Post-Consumer-Kunststoffabfällen entwickelt. Es sieht vor, dass die üblichen petrochemischen oder mineralischen Einsatzstoffe gemeinsam mit chemisch identischen, aber recycelten Rohstoffen in die Produktion eingespeist werden. Der Gehalt an Rezyklat im Endprodukt wird rechnerisch ausgewiesen. Vorteil des Konzepts ist, dass das Eigenschaftsniveau des entstehenden Endproduktes – wie eines mit Rezyklatfasern verstärkten PA-Compounds – identisch mit dem von herkömmlicher Ware ist.

Lanxess plant außerdem, ein neues PA 6 mit 30 % Glasfaseranteil herzustellen, das einen reduzierten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aufweist. Das benötigte Caprolactam basiert auf zugekauften Rohstoffen, die bereits über einen verbesserten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck verfügen. Das Unternehmen arbeitet allerdings auch selbst an Prozessoptimierungen in seiner Caprolactam-Produktion, die auf eine Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz abzielen. Mittelfristig möchte Lanxess für die Herstellung von PA-6-Rohstoffen massenbilanzierte Produkte verwenden, deren Grundlage Pyrolyseöle aus der thermochemischen PA-Abfallaufbereitung sind.

Auch andere Hersteller verfolgen Ansätze um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von PA-Produkten zu reduzieren. Fibrant, Urmond/Niederlande, hat etwa das Caprolactam EcoLactam vorgestellt. Zusätzlich wurden die Markteinführung von EcoLactam Circular, basierend auf Post-Consumer-Abfällen, und EcoLactam Bio, basierend auf Nebenprodukten der Holz- und Zellstoffindustrien, angekündigt. BASF bietet als „Cycled“ bezeichnete PA auf Basis von Caprolactam an, die sich rechnerisch anhand der beschriebenen Massenbilanzierung auf Pyrolyseöle aus chemisch recycelten Kunststoffabfällen zurückführen lassen. ■



Energieeffiziente KCT-Granulat-Trocknungsanlage

## Kompetenz mit KOCH

Peripherietechnik der Spitzenklasse!



### FASTI-KOCH Granulattrockner

Aufsatzdrehler für kleine bis mittlere Durchsätze: **Intelligente Trocknung** mit der ERD-Druckluft-Technologie.

### GRAVIKO-Serie

Gravimetrisch dosieren und wiegen, kontrollieren, korrigieren und auswerten **in einem Arbeitsgang**.



### KKT-Serie

**Bis zu 40% Energie sparen!**  
Effiziente KOCH-Beistelltrockner für Kunststoffgranulat!



### KEM-Serie

Dosier- und Einfärbgerät mit Kammervolumendosierung.  
**Jetzt mit neuer Touch-Steuerung!**

**Werner Koch**  
Maschinentechnik GmbH  
Industriestr. 3  
D-75228 Ispringen

Tel. +49 7231 8009-0  
info@koch-technik.de



[www.koch-technik.com](http://www.koch-technik.com)

Hersteller aus aller Welt setzen auf die souveräne Technik der Komponenten aus dem KOCH-TECHNIK-Baukastensystem.