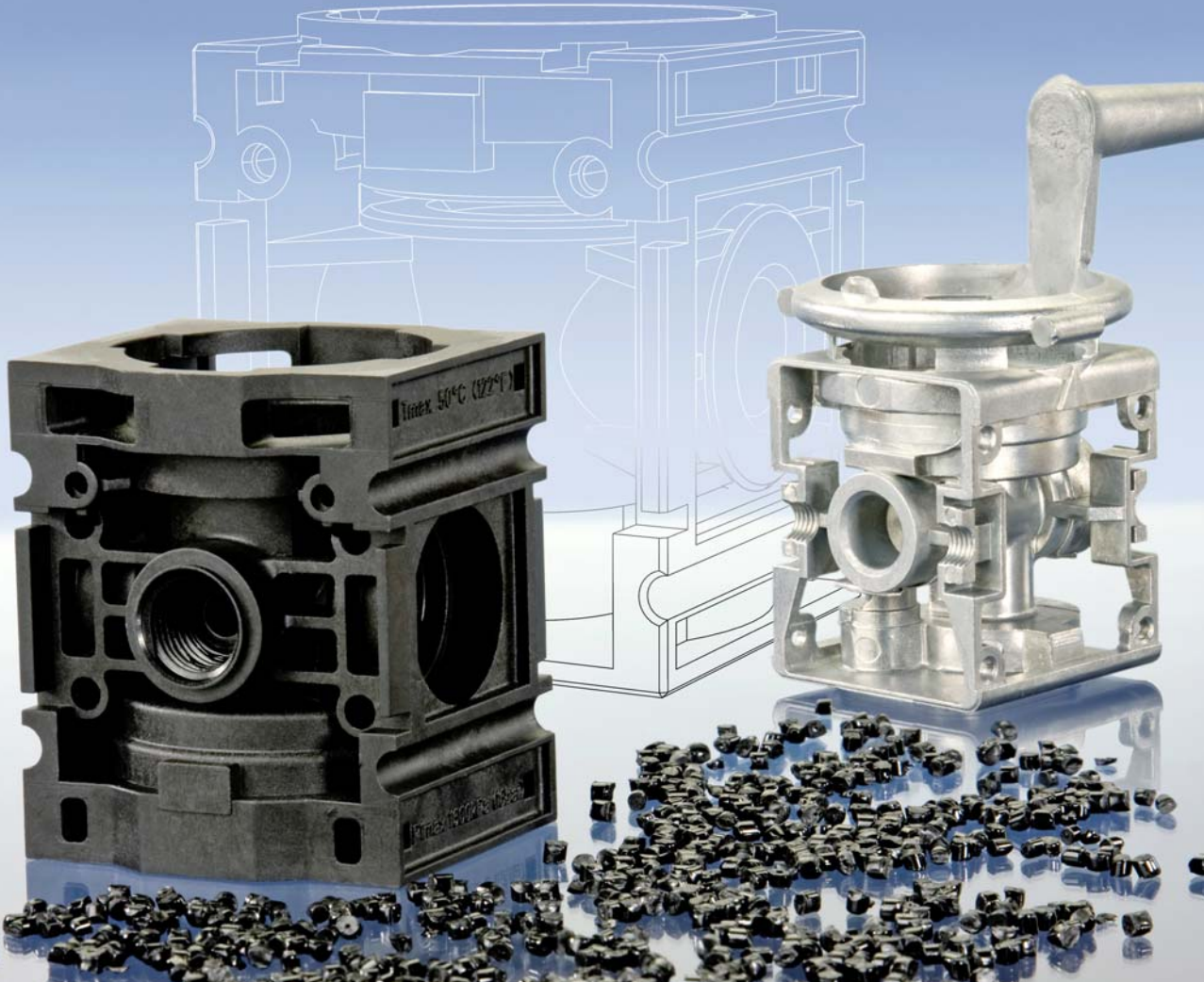


Bild 3: Polyamide ersetzen immer öfter herkömmliche Druckgussmetalle.



## › Metallsubstitution durch Kunststoff spart nicht nur Gewicht und Kosten

# Kunststoff: Leicht und doch voll leistungsfähig

Neue, innovative Kunststoffe, speziell hochverstärkte Materialien, eröffnen sehr vielfältige Möglichkeiten für die Substitution von Metallen. Diese speziellen Kunststoffe zeichnen sich durch eine bisher nicht erreichte Kombination von hoher Steifigkeit und Festigkeit bei guter Zähigkeit aus, besitzen jedoch ein wesentlich geringeres Gewicht als ein Metall und sind mit konventioneller Technik ohne spezielle Maschinen oder Verfahren verarbeitbar. Dadurch wird der Einsatz von Kunststoffen auch für hochbeanspruchte Strukturbauteile immer attraktiver.

### › Antje Stein<sup>1</sup>

Wesentliche Gründe für die Substitution von Metallen durch Kunststoffe sind neben den steigenden Anforderungen hinsichtlich der Kostenreduktion aufgrund steigender Metallpreise auch die Gewichtsreduktion und die damit verbundene Energieeinsparung. Weitere Argumente für einen wirtschaftlichen und technisch interessanten Einsatz von Kunststoffen sind deren hohe Gestaltungsfreiheit in Farbe und Design,

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Antje Stein, Inhaberin und Geschäftsführerin, Topas Engineering AG, Beckenried.

die Funktionsintegration und die Korrosionsbeständigkeit.

Der Trend zum Metalleratz gewinnt immer mehr an Bedeutung, insbesondere in den Bereichen Maschinenbau, Fahrzeugbau, Elektrotechnik/Elektronik, Aviatik, Gebäudetechnik, Industrie- und Konsumgüter, Telekommunikation und Medizin.

### Kunststoffe – eine echte Alternative zu teuren Metallen

Bislang stiessen viele Konstrukteure an vermeintliche Grenzen und belassen es beim bekannten Werkstoff Metall, auch wenn sie noch so intensiv nach Optionen zur Ge-



Bild 1: Stanyl Diablo für Anwendungen im Fahrzeug-Motorraum.



Bild 2: Bauteil vor und nach Veranschung.

wichtsreduktion, Funktionserweiterung und mehr Flexibilität in der Bauteilgestaltung suchten. Einkäufer streben immer kostengünstigere Alternativen für immer komplexer und anspruchsvoller werdende Bauteile an. Ein Problem waren die bis dato zu grossen Toleranzen von Kunststoffteilen. Die meisten technischen Kunststoffe erlauben heutzutage eine hohe Massgenauigkeit bis in den Hundertstelbereich und ermöglichen deshalb den Einsatz bei technisch anspruchsvollen Halbzeugen oder Teilen wie Zahnrädern, Maschinenelementen, Ventilen etc.

Den meisten Metallsubstitutionen liegen folgende signifikante Vorteile von Kunststoffen zugrunde:

**Materialvorteile:**

- Hohe Steifigkeiten und Festigkeiten bei guter Zähigkeit und geringem Verzug (Elastizitätsmoduln von 60 000 MPa und höher möglich)

- Sehr gute Dimensionsstabilität und Massgenauigkeit auch bei höheren Temperaturen
- Ähnliche Biegewechselfestigkeit wie bei Metalldruckgussteilen
- Gute Beständigkeit gegenüber Chemikalien und Umwelteinflüssen, keine Korrosion
- Wesentlich geringere Dichte gegenüber Metallen und damit verbundene Gewichts- und Energiereduktion
- Besseres Gleit- und Reibverhalten, geräuscharmes Gleiten
- Elektrisch leitfähige Kunststoffe verfügbar

**Kostenvorteile:**

- Geringere Rohstoffkosten aufgrund hervorragender mechanischer Eigenschaften bei geringerer Dichte, mehr Gestaltungsmöglichkeiten und damit mögliche Wanddickenreduzierung
- Geringere Fertigungskosten und keine Nachbearbeitungskosten durch mehr Designfreiheiten im Spritzgussverfahren, z.B. kein Entgraten, Fräsen, Drehen, Gewindeschneiden; kein Lackieren dank eingefärbtem Kunststoff, kein Galvanisieren durch gute Korrosionsbeständigkeit, höchste Oberflächengüte ohne Polieren
- Geringere Prozesskosten durch Funktionsintegration, z.B. durch den Einsatz von Mehrkomponenten- und Insertverfahren
- Geringere Montagekosten durch die Integration benachbarter Bauteile in ein einziges Bauteil aufgrund der grösseren Darstellbarkeit komplexer Geometrien
- Geringere Werkzeugkosten durch wesentlich höhere Werkzeugstandzeiten als beim Metalldruckguss (teilweise > 1 000 000 Schuss)

- Vereinfachung der Herstellung, Lagerung und Transport

Die Kostenoptimierung durch die Substitution von Metallen erreicht inzwischen ein Potenzial von 30 bis 70%. Die Gewichtsersparung beim Einsatz von Kunststoffen beträgt bis zu 40%, teilweise sogar bis zu 80%. Der Wirkungsgrad des Bauteils kann bis zu 30% erhöht werden.

Angesichts der hohen Gestaltungsfreiheit und des umfangreichen Leistungsspektrums von Kunststoffen hat die Metallsubstitution durch diesen Werkstoff eine neue Dimension erreicht. Durch die Modifikation mit leistungsfähigen Verstärkungsstoffen wie Glas- und Kohlenstofffasern können die Eigenschaften dieser technischen Kunststoffe noch weiter verbessert werden, ohne dass die Verarbeitbarkeit trotz teilweise hohem Faseranteil darunter leidet. Selbst Kunststoffe mit einem sehr hohen Glasfaseranteil von bis zu 70% beispielsweise lassen sich bestens mit einfachen, herkömmlichen Verfahren verarbeiten und besitzen obendrein noch eine hohe Oberflächengüte.

**Werkstoffwechsel – das richtige Design**

Um Metalle zu substituieren sollten nicht nur die mechanischen, thermomechanischen und chemischen Eigenschaften des neuen Kunststoffs nahezu gleich oder sogar über den Werten des zu substituierenden Metalls liegen. Eine kunststoffgerechte Bauteilkonstruktion ist ebenso entscheidend und stellt den ersten Schritt im Materialsubstitutionsprozess dar. Erst eine op-



Bild 4a: Gewindetubus aus langglasfaserverstärkten Polyamiden erlaubt eine Zugkraft von bis zu drei Tonnen.



Bild 4b: Eindruckvolle Vorführung der Kraft der langen Fasern – ein Pw wird am Gewindetubus aufgehängt.

Bild: Huber Kunststoff



Bild 5: Mischereinsatz.

timierte Geometrie ermöglicht die erwähnten Kosteneinsparungen, die Integration von Funktionen und von mehreren Bauteilen in ein Bauteil sowie die Belastbarkeit wie die eines Metalls. Dazu gehören geometrische Anpassungen u.a. bei den Wandstärken, Rippen und Verstärkungen, Abrundungen. Ausser der Geometrie werden die mechanischen Eigenschaften und die Gebrauchsfähigkeit eines Bauteils noch von der Höhe und Dauer der Beanspruchung, von Oberflächenmerkmalen wie Markierungen von Auswerferstiften, Fliessnähten, Angussmarkierungen und Einfallstellen, der Faserausrichtung von Verstärkungsfasern sowie von den Spritzgussparametern beeinflusst. Simulierte Anwendungsversuche unterstützen den Konstrukteur, kostenaufwändige Fehler und konstruktive Schwachstellen im Vorfeld zu vermeiden. Sie sollten deshalb bereits in einer frühen Phase des Konstruktionsprozesses durchgeführt werden. Häufig lassen sich auch Prototypenkosten durch solche Simulationen erheblich reduzieren. Da Simulationsmodelle bereits für die Werkzeugfertigung erstellt werden, können diese ebenfalls verwendet werden, um Finite-Element (FE)-Modelle basierend auf dem Anforderungsprofils des Bauteils abzuleiten. Die FE-Modelle sind dann wiederum für die Simulation des Spritzgussverhaltens sowie des Bauteilverhaltens unter mechanischer Beanspruchung einsetzbar. Zahlreiche zukunftsorientierte Spritzgussunternehmen wie Huber Kunststoff, Aareplast, Stamm, Wild & Küpfer, Wesa und Synplast bieten von der Idee, über die Kon-

struktion, den Werkzeugbau, die Bemusterung bis hin zum Spritzguss von gebrauchsfertigen Kunststoffteilen alles aus einer Hand.

## Werkstoffwechsel – der richtige Kunststoff

Der Identifikation eines geeigneten Kunststoffes kommt eine grosse Bedeutung zu und sie ist genauso wichtig und anspruchsvoll wie das Design selbst. Der Materialauswahlprozess selbst ist sehr komplex und aufwändig und sollte systematisch ausgeführt werden. Die Herausforderung liegt darin, den passenden Kunststoff für die Anwendung auszuwählen, da der Werkstoff für die anschliessende Konstruktion des Spritzgusswerkzeugs und die Auslegung der Spritzgussmaschine massgebend ist. Für den Materialauswahlprozess teilt man die zu berücksichtigenden Werkstoffeigenschaften in drei Gruppen ein. Die erste Gruppe bezieht sich auf den Einsatzzweck sowie die Funktion des Bauteils und enthält u.a. die physikalischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften. Zu den wichtigsten Eigenschaften zählen hier die Dichte, Festigkeit und Steifigkeit, die grundlegenden Eigenschaften für die Metallersatzauswahl. Anhand der Festigkeitswerte (Zug-, Druck-, Wechselbiegefestigkeit) wird entschieden, ob ein Kunststoff als Metallersatz einsetzbar ist. Weitere Kriterien für den Wechsel auf einen Kunststoff sind u.a. Verschleissfestigkeit, Gleit- und Reibverhalten, Oberflächengüte und Chemikalienbeständigkeit. Die zweite Gruppe beinhaltet Eigenschaften, die sich auf die Verarbeitung des Bauteils beziehen, wie z.B. Eignung für ein bestimmtes Kunststoffverarbeitungsverfahren basierend auf den Eigenschaften der ersten Gruppe, die Oberflächenbeschaffenheit, Faserorientierung, zulässiger Verzug, Toleranzen und zulässige Anguss- und Bindenahtmarkierungen (möglichst weit von kritischen Spannungspunkten entfernt). Nicht zuletzt ist auch die Fähigkeit des Kunststoffes zu erwähnen, seine Eigenschaften nach dem Herstellungsprozess zu behalten. In der dritten Gruppe sind ökonomische Aspekte wie Materialpreis, Verfügbarkeit, Lieferbedingungen und Recyclingfähigkeit aufgeführt, die die Wirtschaftlichkeit des ausgewählten Materials kennzeichnen.



Bild: Aareplast

Bild 6: Lüftungsclappen im HLK-Bereich.

Weitere wesentliche Einflussfaktoren bei der Materialauswahl sind die Art, Dauer und Höhe der Belastung (u.a. mechanisch, thermisch, chemisch) sowie die Konformität mit verschiedenen Normen und Verordnungen.

## Metalldruckguss – unter Druck

Produkte aus Druckgussmetallen haben ein hohes Gewicht, Material und Herstellung sind teuer, sie erfordern Nachbearbeitungsschritte verbunden mit hohen Kosten, weisen eine niedrige Funktionssicherheit bei wechselnden klimatischen Bedingungen auf, die Standzeiten der Werkzeuge sind niedrig – alles einschlägige Argumente für den Umstieg vom Metalldruckguss zum wirtschaftlicheren Kunststoffspritzguss, der bereits seit Jahren erfolgreich von einigen Verarbeitern umgesetzt wurde. Das Potenzial ist immer noch sehr gross. Die Materialvorteile, vor allem aber die Kostenvorteile sind beträchtlich.

Da das Spritzgiessen aus dem Metalldruckguss entwickelt wurde, ist das Werkzeugprinzip beim Metall- und Kunststoffguss weitestgehend identisch. Deshalb kann ein vorhandenes Druckgusswerkzeug in der Regel für das Spritzgiessen von Prototypen aus Kunststoff einfach modifiziert werden. Die teure Anfertigung eines Prototypenwerkzeugs entfällt und es können damit eine Reihe preiswerter Teile für erste Versuche produziert werden.

## Spritzgussaspekte

Erfolgreiche Spritzgussteiledesigns für metallsubstituierende Kunststoffe bauen auf das Verständnis von speziellen, herstel-

lungsbezogenen Aspekten wie die optimale Werkzeugauslegung: Angussform, Angusspunkt, Entformungsschrägen, Werkzeugtemperierung, Entlüftung etc. Weiterhin ist der Einsatz von hochverschleissfesten Ausführungen von Spritzgussform und Maschine ebenso wichtig, da Materialien meistens mit Verstärkungsfasern hochgefüllt sind und somit sehr abrasiv wirken können. Die enge Parameterüberwachung von Drücken, Temperaturen und Zeiten gewährleistet qualitativ hochwertige Metallerersatzteile aus Kunststoff. Anhand ausgewählter Beispiele soll der erfolgreiche Umstieg von Metallbauteilen auf Kunststoffteile aufgezeigt werden.

## Kosteneffizient und doch leistungsstark

Aufgrund immer höherer Betriebstemperaturen im Fahrzeugmotorraum, strengerer Anforderungen an Eigenschaften und Lebensdauer von Kunststoffkomponenten, sich ständig ändernden Umwelt- und Abgasvorschriften, des Bestrebens nach geringerem Treibstoffverbrauch, des Einsatzes von kleineren Motoren mit höherem Turbodruck und Abgasrückführung, sind die herkömmlichen Thermoplaste häufig nicht mehr einsetzbar. Die Firma DSM liefert beispielsweise mit dem neuen Kunststoff Stanyl Diablo einen PA46-Hochtemperaturwerkstoff (Bild 1), der speziell im Hinblick auf langfristige Widerstandsfähigkeit unter Dauergebrauchstemperaturen von bis zu 230°C entwickelt wurde und beste mechanische Eigenschaften bei hohen Temperaturen, eine exzellente Berstdruckfestigkeit und ausgezeichnete Verschleissbeständigkeit sowie geringe Reibungsverluste bietet.



Bilder: Lehmann & Voss & Co.

Bilder 7: Linsenhalter für Mikroskope, Antriebswellenzahnrad für Automobil (links), Zahnräder für Motor-Luftmanagement im Automobil (rechts).

## Langfaserverstärkte, teilaromatische Polyamide – neue Dimensionen im Metallerersatz

Die Kunststoffe der langglasfaserverstärkten Polyamidserie Grivory GVL der Firma Ems-Grivory sind teilaromatische Hochleistungspolyamide, die hervorragende Eigenschaften auch beim Einsatz bei erhöhten Temperaturen besitzen. Zu den Hauptvorteilen gegenüber teilkristallinen Standardpolyamiden gehören die verbesserte Dimensionsstabilität, eine geringere Wasseraufnahme ohne Reduktion von Steifigkeit und Festigkeit, die verbesserte Kerbschlagzähigkeit, eine minimalere Kriechneigung, die höhere Beständigkeit gegen Feuchtigkeit und Chemikalien und der geringere thermo-oxidative Abbau dieser Kunststoffe. Diese neuen Hochleistungspolyamide kombinieren die signifikanten Vorteile der teilaromatischen Polyamide mit den Vorteilen der strukturtypischen Eigenschaften einer Faserfilzstruktur (Bild 2). Die Langfasern sorgen für Stabilität und geringen Verzug.

Produkte aus diesen Langfaserprodukten weisen oberhalb der Glastemperatur eine Festigkeits- und Steifigkeitserhöhung von bis zu 25% auf. Die Wechselbiegefestigkeiten sind weitaus höher als diejenigen von Metalldruckgussteilen, was gerade bei dynamisch belasteten Bauteilen neue Möglichkeiten im Leichtbau eröffnet. Langglasfaserverstärkte Polyamide bieten kosteneffiziente, innovative Lösungen für den Metallerersatz auf einem hohen Niveau (Bild 3). Können diese Polyamide auch grosse Lasten aushalten und zugleich mit weniger und leichterem Material auskommen? Ems-Grivory ersetzte einen stark belasteten,

grossen und schweren Pw-Abschlepphaken aus Metall durch Kunststoff. Der Metallhaken wurde durch einen 19 Gramm leichten Gewindetubus aus langglasfaserverstärktem Polyamid ersetzt (Bild 4 links). Der Pw wurde am Gewindetubus und einer M8-Schraube aus Stahl in die Höhe gezogen (Bild 4 rechts). Das Gesamtgewicht des



Bild 8–10: Victrex

Bild 8: Rechteckdichtung aus PEEK.

Fahrzeuges mit Aufhängevorrichtung betrug 1,8 Tonnen. Die ganze Belastung wurde auf einen Querschnitt von nur rund 2,4 Quadratzentimeter verteilt.

## Metallerersatz auf höchstem Niveau

Die Firma Ems-Grivory geht mit dem Hochleistungskunststoff Grivory GVX noch einen Schritt weiter. Die mechanischen Eigenschaften wurden gegenüber dem seit Jahren bereits bewährten Grivory GV nochmals substanziell verbessert. Grivory GVX überzeugt mit höchsten Steifigkeitswerten von fast 30 000 MPa und Festigkeiten von fast 300 MPa, einem sehr geringen Verzug und trotz eines hohen Glasfaseranteils von bis zu 70% durch eine einfache Verarbeitung mit guten Fliesseigenschaften sowie einem aussergewöhnlichen Glanz. Auch die Quersteifigkeit von Grivory GVX konnte gegenüber dem bewährten Grivory GV nochmals um weitere 26% erhöht werden, was vor allem für innendruckbelastete Bauteile wesentlich ist, da dabei hohe Spannungen quer zur Faserrichtung auftreten. Die Firma Huber Kunststoff hat erfolgreich ein Bauteil aus dem Sanitärbereich aus mechanisch bearbeitetem Messing durch das teilaromatische Hochtemperatur-Polyamid Grivory HT ersetzt (Bild 5). Die Kosteneinsparung beträgt ca. 70% und die Erhöhung des Wirkungsgrades des Formteils ca. 25%.

In ähnlichen Bereichen findet als Alternative zu Metallen auch das teilaromatische Polyamid Akroloy PA der Akro-Plastic vielfältigen Einsatz.

Die Firma Aareplast ersetzte bei der Achse einer Lüftungsklappe ein Aluminium durch ein Grivory GV (Bild 6). Aufgrund der Hohlkonstruktion der Kunststoffachse konnte weniger Material eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil ist die Unterbindung der Kältebrücke, da ein Kunststoff fast tausendmal weniger die Wärme leitet als ein Aluminium. Weiterhin war die Salzwasserbeständigkeit ein wichtiges Kriterium für den Einsatz in Lüftungsanlagen in Meeresnähe bzw. auf dem Schiff.

## Wenn die Temperaturen steigen

Teilaromatische, glasfasergefüllte Polyamide und vor allem technische Standardkunststoffe sind wesentlich kostengünstiger als Hochleistungskunststoffe, wie z.B. LCP, PPS, PI, PEEK, PSU, PEI, PES. Wenn jedoch das Anforderungsprofil noch höhere Steifigkeiten und Festigkeiten und den Einsatz bei noch höheren Dauergebrauchstemperaturen erfordert, füllt ein weiterer Kunststofftyp aus der Polyamidfamilie preislich die Lücke zwischen technischen Kunststoffen und teuren Hochleistungskunststoffen. Das teilaromatische Polyamid Polyphthalamid (PPA) bietet ein ausgezeichnetes Preis-Leistungs-Verhältnis.



Bild 9: Zahnrad aus PEEK.

Durch die Auswahl der Basispolymere können PPA gezielt auf ein bestimmtes Eigenschaftsprofil, wie z.B. eine bestimmte Schmelztemperatur, Wärmeformbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit oder auch Dimensionsstabilität, eingestellt werden. Mittels der Modifikation mit leistungsfähigeren Kohlenstofffasern können Steifigkeiten von 60 000 MPa und Festigkeiten bis zu 500 MPa erreicht werden.

Die Firma Lehmann & Voss & Co. hat für den Leichtbau die Luvocom XCF-Hochleistungskunststoffe zusammen mit einem optimierten Herstellungsverfahren als Alternative zu Metallen und anderen Hochleistungskunststoffen entwickelt (Bild 7). Diese Produktfamilie, auf Basis verschiedener Polymere von PA 6.6 bis PEEK, wird für dynamisch und mechanisch hochbeanspruchte Bauteile eingesetzt, die nicht nur ein geringes Gewicht bei hoher Festigkeit und Steifigkeit benötigen, sondern auch eine sehr hohe Schlagzähigkeit und eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit bei Dauergebrauchstemperaturen bis zu 250 °C aufweisen müssen. Zu den Anwendern von Luvocom XCF zählen u.a. der Automobil-, der Maschinen- und Gerätebau sowie die Luftfahrtindustrie.

Weitere in der Praxis erfolgreich bewährte PPA sind das Grivory HT von Ems-Grivory, die U-Serien Lubricomp und Thermocomp von Lenorplastics, das Vestamid HTplus von Evonik Industries (auch mit einer Version teilweise basierend auf nachwachsenden Rohstoffen), das Akromid T von Akro-Plastic, das Zytel HTN von DuPont und das Amodel von Solvay.

## Einer der leistungsstärksten Kunststoffe weltweit

Die Kunststoffe der Victrex PEEK-Produktfamilie der Firma Victrex besitzen ausgezeichnete Festigkeiten, Steifigkeiten, Kriech Eigenschaften und Biege wechselfestigkeiten, höchste Verschleiss-, Hydrolyse- und Chemikalienbeständigkeiten, sehr gute elektrische Eigenschaften und ein hervorragendes Reib- und Gleitverhalten – bei Dauergebrauchstemperaturen bis zu 260 °C.

Beim Beispiel einer Drehdurchführung wurden die signifikanten Vorteile von PEEK genutzt, um ein noch besseres Leistungsprofil und eine längere Lebensdauer zu errei-



Bild 10: Kabelschellen für Aviatik.

chen. Anstelle von Graugussringen wurde das temperatur- und ölbeständige PEEK eingesetzt. Die Rechteckdichtungen (Bild 8) lassen sich zudem aufgrund der höheren Dehnfähigkeit und geringeren Steifigkeit im Vergleich mit Komponenten aus Metall noch einfacher montieren.

Der Hochleistungskunststoff PEEK ersetzt Metall in Zahnradern von Ausgleichswellenmodulen für erhöhte Leistung, Zuverlässigkeit und Effizienz (Bild 9). Insbesondere Zahnräder profitieren von den hervorragenden Eigenschaften dieses Kunststoffs und bieten eine höhere Lebensdauer.

Flammwidriges PEEK ersetzt Metall bei Kabelschellen in der Luftfahrtindustrie, wodurch Gewicht und Montagezeiten reduziert werden (Bild 10).

In der Praxis ebenfalls erfolgreich bewährte Kunststoffe PEEK werden als Vestakeep auch von Evonik Industries und als Akrotek PEEK von der Akro-Plastic angeboten.

Die Metallsubstitution durch innovative Kunststoffmaterialien ist eine der Kernkompetenzen der Topas Engineering AG.

### Kontakt

Topas Engineering AG  
Rütistrasse 32  
CH-6375 Beckenried  
Telefon +41 (0)41 620 9408  
info@topas-engineering.ch  
www.topas-engineering.ch