

# Eine einfache Alternative zu Gummi-Metall-Verbunden

**Dreifachkombination.** Deutlich verkürzte Zykluszeiten bei der Herstellung von Bauteilen mit integrierter Schwingungsdämpfung ermöglicht ein neues Verfahrenskonzept, das Extrusion, Spritzgießen und reaktive Verarbeitung in einer Fertigungszelle verknüpft. Das Verfahren erreicht die elastischen Eigenschaften und hohen Rückstellwerte von Naturkautschuk und anderen Elastomeren mit einem innovativen Vernetzungsschritt.



Gummielastische Eigenschaften durch Online-Vernetzung thermoplastischer Kunststoffe (Bild: Elastogran)

**JOCHEN MITZLER  
KLAUS HILMER  
MARKUS SEIDL**

Die Entwicklung neuer Techniken der Kunststoffverarbeitung wird getrieben durch die klassischen Motivatoren für Innovationen:

- Funktionsintegration,
- Reduktion der Anzahl der Bauteile,
- Leichtbauweise,
- verbesserte Produkt- und Prozessqualität,
- reduzierte Herstellkosten.

Um die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, neue Aufträge zu akquirieren oder auch um die Technologieführerschaft anzustreben, gelten diese fünf Leitmotive als Basis des Erfolgs. Wer neue Geschäftsfelder bzw. Anwendungen erschließen will, muss alle Fertigungsprozesse immer ganzheitlich betrachten. Ein aktuelles Thema in der Industrie ist es, Metall-Gummi-Verbunde in größerer Qualität und zu niedrigeren Kosten herzustellen. Diese spielen in allen Branchen eine wichtige Rolle – vor allem bei der Dämpfung mechanischer Schwingungen z.B. in Maschinenlagern oder im Fahrwerk.

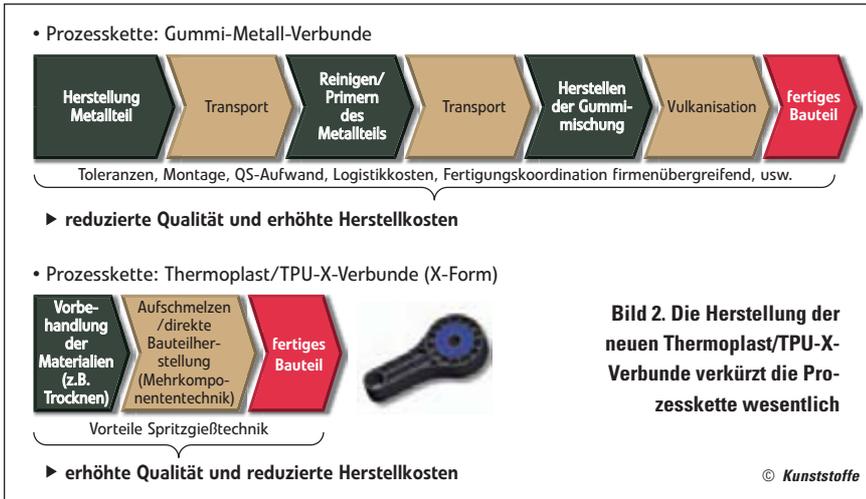
## Zwei Ersatzwerkstoffe, drei Verfahren

Die aufwendige Gummifertigung, die enorm gestiegenen Metallpreise und der Trend zum Leichtbau haben die Suche nach alternativen Bauteillösungen zuletzt forciert. In vielen Fällen ist die Substitution der schweren metallischen Komponenten durch leichtere Kunststoffe, die auch fertigungstechnisch erhebliche Vor-

teile bietet, bereits gelungen. Stahl und Aluminium lassen sich z.B. bei entsprechender Konstruktion durch glasfaserverstärkte Polyamide ersetzen. Ebenso kann die Gummi-Komponente durch thermoplastische, also durch Spritzgießen verarbeitbare Elastomere (TPE) ersetzt werden. Dabei kommt dem thermoplastischen Polyurethan (TPU) als Werkstoff aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften, hohen Flexibilität und ▶



**Bild 1. Betrachtet man das Performance-/Kostenverhältnis, so bietet das neue Verfahren (X-Form) für viele Anwendungen signifikante Vorteile** (Teilbild unten links: Vorwerk Autotec GmbH & Co. KG)



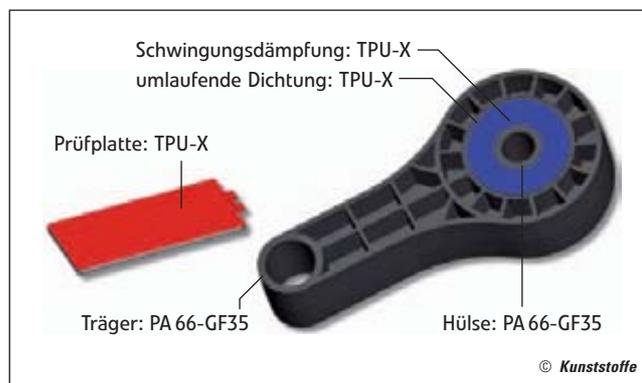
**Spritzgießcompoundieren plus Mehrkomponententechnik**

Das Produktionssystem besteht aus einem Spritzgießcompounder (IMC, Hersteller: Krauss Maffei GmbH), der das kontinuierliche Extrudieren und das diskontinuierliche Spritzgießen miteinander verbindet. Ein Zweischnellenextruder schmilzt das modifizierte TPU gleichmäßig auf und erzeugt nach dem Einbringen des flüssigen Vernetzungsmittels in die Schmelze eine homogene Mischung. Die Schmelze gelangt anschließend über einen beheizten Kanal und den Einspritzzylinder in das Spritzgießwerkzeug (Bild 4).

guten Haftung an Polyamid eine wachsende Bedeutung zu. Durch weitere Material- bzw. Verfahrensentwicklung können die elastischen Eigenschaften und hohen Rückstellwerte von Naturkautschuk und anderen Elastomeren mit einem thermoplastisch vernetzten Polyurethan (TPU-X) erreicht werden (Bild 1).

Durch Kombination von Extrusion, Spritzgießtechnik und reaktiver Verarbeitung in einer Fertigungszelle ist es möglich, diese Anforderungen mit einem innovativen Vernetzungsschritt zu erfüllen. In diesem als „X-Form“ vermarkteten Verfahren wird ein neu entwickeltes thermoplastisches Polyurethan (TPU, Typ: Elastollan; Hersteller: Elastogran GmbH) durch den Reaktionsschritt während des Abkühlens (nach der Formgebung) zu TPU-X vernetzt. So können neue, sehr gut haftende Hart-Weich-Verbunde mit hoher Fertigungsqualität und erheblichen wirtschaftlichen Vorteilen hergestellt werden (Bild 2).

Bild 3 zeigt ein solches Mehrkomponententeil am Beispiel einer „Drehmo-

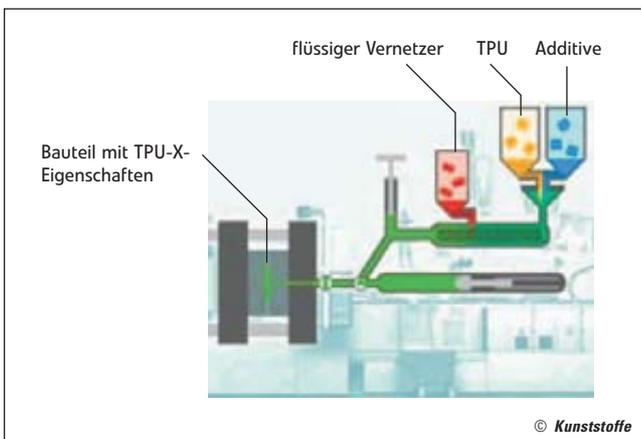


**Bild 3. Das Bauteil wird durch eine Kombination aus reaktivem Compoundieren und Mehrkomponenten-Spritzgießen hergestellt**

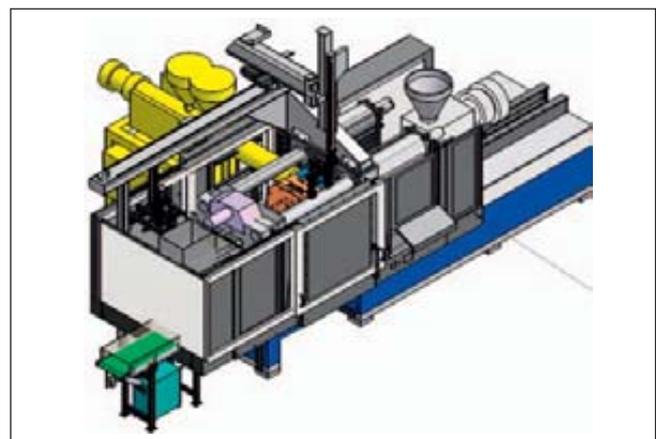
mentstütze“. Es besteht aus einem glasfaserverstärkten thermoplastischen Träger mit Hülse (PA 66-GF35, Typ: Ultramid A3WG7CR; Hersteller: BASF AG), der dem Bauteil seine Stabilität verleiht, einem haftenden gummi-elastischen Bereich zur Schwingungsdämpfung und einer umlaufenden elastischen Dichtung (beide TPU-X, siehe oben). Zusätzlich ist im Werkzeug eine Prüfplatte für mechanische Materialkennwerte integriert.

Die Kombination der reproduzierbar beherrschten Prozesse Compoundieren und Spritzgießen liefert Bauteile mit konstant hoher Qualität über den gesamten Produktionszeitraum. Diese fallen zudem gratfrei und angusslos an, da die thermoplastische Verarbeitung von Hart- und Weichkomponente den Einsatz moderner Werkzeug- und Heizkanaltechnik erlaubt.

Die ganzheitliche Herausforderung dieser Fertigungszelle (Bild 5) besteht darin, das Spritzgießcompoundieren mit ▶



**Bild 4. Das Funktionsprinzip des Spritzgießcompounders verbindet das kontinuierliche Aufbereiten (Extrusion) und das diskontinuierliche Spritzgießen miteinander** (Bilder ohne Hinweis: Krauss Maffei)



**Bild 5. Der Spritzgießcompounder und die Mehrkomponententechnik bilden ein kompaktes Produktionssystem für die wirtschaftliche Fertigung von Hart-Weich-Verbindungen auf thermoplastischer Basis**

der Mehrkomponententechnik zu verzahnen, um Verbundbauteile mit integrierten Funktionen herzustellen. Mit dem zweiten Spritzaggregat, das in L-Stellung installiert ist, wird das PA 66 mit 35 % Glasfaseranteil in das Werkzeug gespritzt. Um den Schnecken- und Zylinderstahl gegen das abrasive Verhalten von Kurzglasfasern zu schützen, wurde für den Bau von Zylinder, Schnecke, Rückströmsperre und Verschlussdüse eine

bedeutet: Drehtisch und bewegliche Aufspannplatte bilden eine Einheit. Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass man bis zu zwei Drittel des zulässigen Werkzeuggewichts auf dem Drehtisch aufspannen kann. Der Drehtisch wird, präzise und unabhängig von der Hydraulik der Maschine, servomotorisch angetrieben. So kann die Drehbewegung mit derjenigen der Werkzeugöffnung überlagert werden, um die Zykluszeit zu verrin-

gern. Die hohe Präzision des Antriebs und der konstruktiven Ausführung minimiert den Werkzeugverschleiß.

Das Bauteil wird in drei Takten bzw. Stationen hergestellt, im vierten Takt wird es entnommen. Träger und Hülse werden im ersten Takt aus Polyamid erzeugt. Für jeden weiteren Takt wird das Werkzeug um 90° gedreht. In der zweiten und dritten Station wird schichtweise die Weichkomponente mit TPU-X aufgebaut (Bild 6). Das

neue Werkstoffkombination eingesetzt. Diese Maßnahme verlängert die Standzeiten der Plastifiziereinheit gegenüber einer konventionellen Ausführung um das bis zu Dreifache (je nach Faseranteil, Restfeuchtegehalt, Additiv etc.).

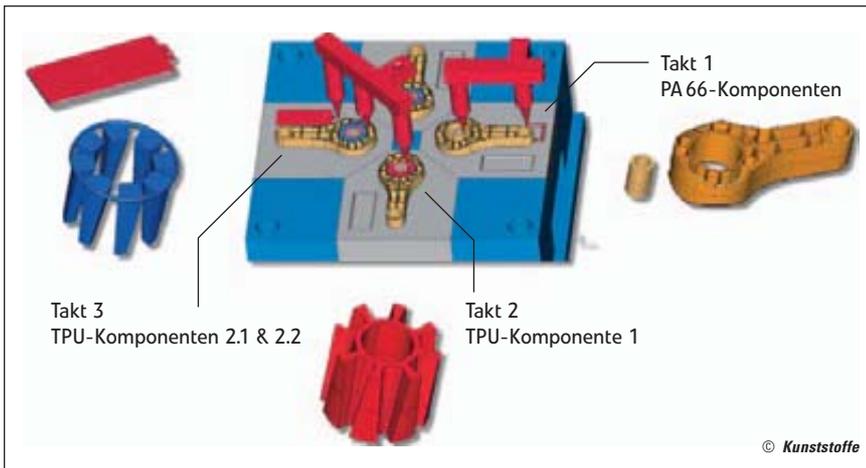
### Ein Zyklus in vier Takten mit Drehtisch-Werkzeug

Die Dämpfungsschicht des Bauteils soll starke Schwingungen aufnehmen (Bild 3). Deshalb hat es in diesem Bereich eine Wanddicke von 15 mm. Bei einer derartigen Materialanhäufung ist, bedingt durch die Kühlzeit, mit einer langen Zykluszeit zu rechnen. Da bei heutigen Fertigungssystemen die Produktivität das oberste Gebot ist, müssen Bauteildesign und Werkzeugkonzept (Hersteller: Mues Products & Moulds GmbH) exakt aufeinander abgestimmt werden. Das Bauteil mit seinen integrierten Funktionen bestimmt, ob das Mehrkomponenten-Werkzeug in Sandwich- oder Indextechnik, mit Kernrückzugverfahren oder für das Transfer-Molding ausgelegt wird.

Das vorliegende Design gibt die Drehtischtechnik vor. Die serienmäßigen Drehtische für Maschinen ab 2500 kN sind bei Krauss Maffei integrierte Einheiten. Das

	TPU-X	Kautschuk/Elastomer
<b>Verarbeitungseigenschaften</b>		
Fließfähigkeit	++	–
Verarbeitbarkeit	++	+
Lagerung	++	–
einfärbbar	++	0/–
Vulkanisation	nicht notwendig	unbedingt notwendig
nachträgliches Tempern	nicht notwendig	bedingt notwendig
thermoplastisches Verhalten	++	–
wiederaufschmelzbar	+	–
<b>Bauteildesign und -eigenschaften</b>		
Designfreiheit analog Mehrkomponententechnik	++	–
Haftung zu Technischen Kunststoffen, z. B. Polyamiden	++	0
hohe Konstanz der Bauteilqualität	++	0
gratfreies Bauteil	++	0
Bindenahftung	++	0
<b>Werkzeugtechnik</b>		
Drehtisch	++	0
Index	++	0
Trennschieber	++	–
Umsetzen	+	+
Verteilersysteme mit Verschlussdüsen	++	+
Mehrkavitäten-Werkzeug	++	+
Vulkanisationstemperaturen (unterschiedliche Werkzeug-Temperaturbereiche – Heiß/Kalt-Trennung)	nein	ja
Kaskadensteuerung	++	+
zykluszeitbestimmender Faktor (Vernetzungsgrad)	nein	ja
<b>Materialeigenschaften im Vergleich mit Naturkautschuk</b>		
Härte	bedingt einstellbar	einstellbar
Beständigkeit bei tiefen Temperaturen	+	++
Dauergebrauchstemperatur	+	0
max. Temperaturbelastung	+	0
Rückstellvermögen	+	+
Ozonbeständigkeit	++	0
Chemikalienbeständigkeit	Öle, Fett, fast alle gängigen Lösungsmittel	0
hohe Konstanz der Rezeptur	++	0

**Tabelle 1. Im Vergleich mit typischen Gummimaterialien zeigt das neue vernetzte TPU-X erhebliche Vorteile bei Verarbeitungs- und Bauteileigenschaften, Design, Werkzeugtechnik und Materialeigenschaften** (++) sehr gut realisierbar. + gut realisierbar. 0 realisierbar mit Einschränkungen. – nicht realisierbar)



**Bild 6. Das Werkzeugkonzept basiert auf dem Prinzip eines Vier-Takt-Drehtisches: Takt 1 bis 3 werden für das Herstellen des Bauteils benötigt, Takt 4 dient zur Entnahme**

Werkzeug ist so ausgeführt, dass der Roboter in die vierte Station einfahren und das Bauteil entnehmen kann, während es geschlossen ist. Dass das Fertigungssystem nicht von der Entnahmezeit abhängig ist, steigert die Produktivität der Anlage um ca. 10 bis 15 %. Dazu trägt auch der Umstand bei, dass das Werkzeugkonzept das dicke TPU-X-Element in dünne Schichten bzw. sternförmige Elemente unterteilt und so die Kühlzeit verkürzt. Vergleicht

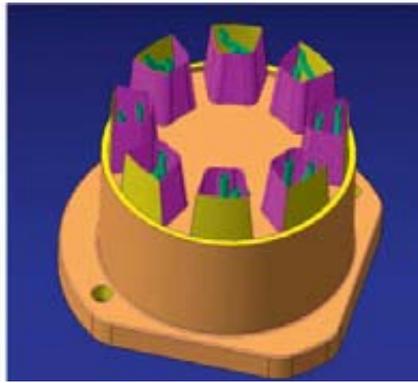
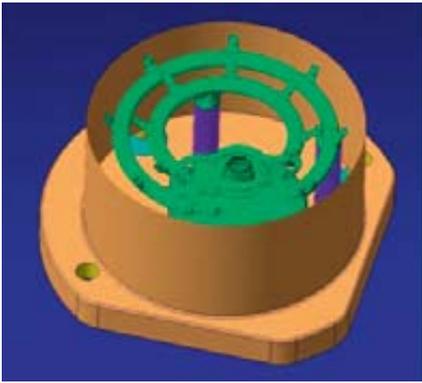
man das Konzept des Vier-Takt-Drehtisches mit der konventionellen Zwei-Stationen-Technik, so wird die Zykluszeit um mehr als die Hälfte reduziert. Gegenüber der klassischen Elastomerverarbeitung verringert sich die Zykluszeit auf fast ein Viertel.

Eine gesicherte Prozessfähigkeit erfordert in der Konzeptphase eine Moldflow-Simulation, um die Anspritzpunkte, die Position und Dimensionierung des Heiß-

kanals, Bindenähte, Faserorientierung und die Kaskadentechnik zu optimieren. Es werden zwei getrennte Heißkanalsysteme eingesetzt (für PA66 und TPU-X), die mit hydraulischen Nadelverschlussdüsen ausgestattet sind. Auf diese Weise lässt sich das Füllverhalten während des Einspritzvorgangs und der Nachdruck in jeder Kavität kontrollieren.

Die Kerneinsätze wurden schichtweise aufgebaut („Lasercusing“). Mit diesem Verfahren kann ein Kühlkanal bis in die Spitzen des Einsatzes und entlang einer Kontur geführt werden (Bild 7). Die „Konturkühlung“ verkürzt die Zykluszeit, weil sie speziell im Bereich der sternförmigen Elemente wesentlich effektiver ist als eine klassische Temperierung. Die homogene Abkühlung verbessert außerdem die Formteilqualität.

Die Zwei-Platten-Technik der Spritzgießmaschine ermöglicht besonders platzsparende Automationslösungen. Ein Linearroboter der Baureihe LR-S, der in Längsachse auf der Maschine montiert ist, entnimmt die fertigen Bauteile, und legt sie, nach dem Abtrennen der Angüsse, auf einem Kühlförderband ab, das sich innerhalb der Schutzeinhausung der Maschine hinter der beweglichen Werk-



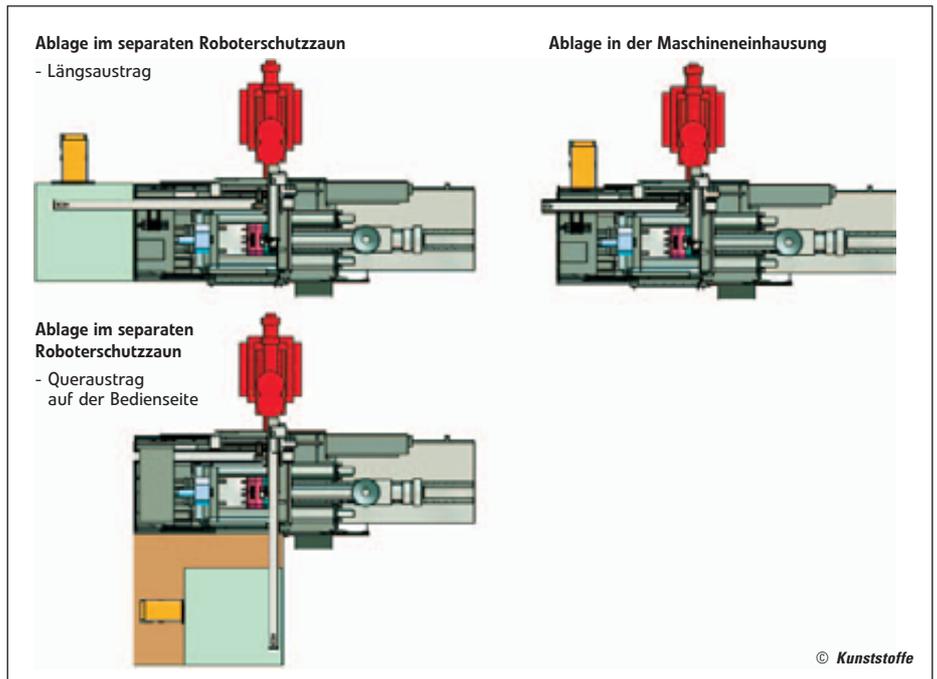
**Bild 7. Mit dem „Lasercusing“-Verfahren können Kerneinsätze im Werkzeug mit einer präzisen und komplexen Konturkühlung realisiert werden** (Bild: Mues Product & Moulds)

Die Vernetzung des TPU findet bei den im Spritzgießen üblichen Werkzeugtemperaturen und Zykluszeiten statt. Durch das kontinuierliche direkte Aufschmelzen und konstante Prozessbedingungen wird eine hohe Qualitätskonstanz erreicht. Im Vergleich zur Fertigung konventioneller Gummi-Metall-Verbunde eröffnet das neue Verfahren erhebliche Prozessvorteile, denn außer dem Primern werden auch die Vulkanisation und weitere Folgeschritte (z. B. Nachbearbeitung und Kalibrierung) eingespart – nebenbei genießen die Produktentwickler eine größere Designfreiheit (Tabelle 1). Eine detaillierte

zeugaufspannplatte befindet. Da der Roboter sich ausschließlich innerhalb dieser Sicherheitszone bewegt, ist keine weitere Absicherung notwendig (Bild 8). Dieses Konzept reduziert die Aufstellfläche der Anlage je nach Entnahmeposition um 20 (Längsausstrag) bis 40 % (Ausstrag auf der Bedienseite).

### Thermoplastischer Kunststoff mit Kautschukeigenschaften

Das neue TPU-X zeichnet sich durch eine interessante Kombination von Eigenschaften aus. Das verbesserte Druckverformungs- und Schwingungsverhalten des vernetzten Materials eröffnet Potenziale für den Einsatz im Automobil- und Maschinenbau. Die gewünschte niedrige Härte von 60 Shore-A wird ohne den Zusatz von Weichmachern erreicht. Das Material hält im Dauergebrauch Temperaturen bis 120°C stand, die maximale Einsatztemperatur beträgt 150°C. Da der Werkstoff durch die Vernetzung beständiger gegenüber Chemikalien ist, können neue Anwendungen erschlossen werden, in denen klassische Kautschuke aufgrund ihrer Anfälligkeit gegenüber bestimmten Ölen und Fetten nicht in Frage kommen. Weitere Vorteile gegenüber herkömmlichen Gummimischungen ergeben sich durch die gute Ozonbeständigkeit, die Möglichkeit, vielfältige Farbtöne zu verwenden, und die Geruchsneutralität (Tabelle 1).



**Bild 8. Durch die Ablage innerhalb der Schutzeinhausung der Maschine kann die Produktionsfläche um bis zu 40 % reduziert werden**

Das TPU-X Elastollan haftet sehr gut an dem ebenfalls thermoplastischen Polyamid der Ultramid CR-Familie (Bild 9). Durch die Kombination beider Materialien können Mehrkomponenten-Bauteile in einem Prozess hergestellt werden, ohne dass ein Haftvermittler (z. B. Primer) oder eine Online-Behandlung (Plasma) nötig ist.

Beschreibung der Eigenschaften des neuen TPU-X folgt als Teil 2 dieser Publikation in einer späteren Ausgabe.

### Fazit

Mit dem Spritzgießcompounder können neue Hart-Weich-Verbunde auf thermoplastischer Basis mit den Eigenschaften von Kautschuk oder Elastomeren hergestellt werden. Dabei bietet die ganzheitliche Abstimmung von Material, Vernetzungsrezeptur, Bauteildesign, Werkzeugtechnik, Automation und Spritzgießmaschine erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Im Rahmen einer Kooperation wurde die neue Verbundtechnik als innovatives Fertigungssystem

### i Entwicklungspartner

**Elastogran GmbH**  
Elastogranstr. 60  
D-49448 Lemförde  
Tel. +49 (0) 54 43/12-0  
Fax +49 (0) 54 43/12-2201  
elastogran@elastogran.de  
www.elastogran.de

**Mues Products & Moulds GmbH**  
Gewerbepark Conradty 1  
D-83059 Kolbermoor  
Tel. +49 (0) 80 31/3 04 00-0  
Fax +49 (0) 80 31/3 04 00-66  
www.mues-pm.de

**Krauss Maffei GmbH**  
Krauss-Maffei-Str. 2  
D-80997 München  
Tel. +49 (0) 89/88 99-0  
Fax +49 (0) 89/88 99-2206  
info@kraussmaffe.com  
www.kraussmaffe.com



**Bild 9. Hervorragende Verbundhaftung zwischen Elastollan TPU-X und Ultramid CR (PA 66-GF) ohne zusätzlichen Haftvermittler** (Foto: Elastogran)

tem entwickelt. Das als Beispiel vorgestellte Bauteil „Drehmomentstütze“ ist im Vergleich zum analogen Stahl-Gummi-Verbundbauteil um ca. 40 % leichter; bei seiner Herstellung lassen sich aufgrund der kurzen Zykluszeit von rund 60 s die Prozesskosten deutlich reduzieren, dazu kommt eine wesentlich verbesserte Produktqualität. Die Entwicklungspartner (siehe Kasten links unten) werden das Projekt auf der K 2007 am Stand von Krauss Maffei in Halle 15 vorstellen. Als zukünftige Anwendungen sind u. a. Gehäusedeckel mit integrierter Dichtung, Motorlagerungen, Schwingungstilger und der Ersatz anderer Metall-Gummi-Verbunde denkbar. ■

#### DANK

Der Dank der Autoren gilt allen Projektpartnern, namentlich

- Dr. Anka Bernnat und Dipl.-Ing. Bernhard Aumer, BASF AG, Ludwigshafen,
- Dipl.-Ing. Herbert Günther, Günther Heisskanaltechnik GmbH, Frankenberg,
- Prof. Dr.-Ing. Hans-Gerhard Fritz, Institut für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart.

#### DIE AUTOREN

DIPL.-ING. (FH) JOCHEN MITZLER, geb. 1973, ist Technologie-Manager für Mehrkomponententechnik bei der Krauss Maffei GmbH, München.

DIPL.-CHEM. ING. KLAUS HILMER, geb. 1958, ist Leiter des Anwendungstechnikums der Elastogran GmbH, Lemförde.

Formenbaumeister MARKUS SEIDL, geb. 1969, ist Geschäftsführer der Mues Products & Moulds GmbH, Kolbermoor; markus.seidl@mues-pm.de

#### SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

## A Simple Alternative to Rubber-Metal Composites

**TRIPLE COMBINATION.** A new process concept that combines extrusion, injection molding and reactive processing in a manufacturing cell allows distinctly shortened cycle times in the production of components with integrated vibration damping. The process attains the elastic properties and high elastic recovery values of natural rubber and other elastomers by an innovative cross-linking step.

NOTE: You can read the complete article in our magazine **Kunststoffe international** and by entering the document number **PE104060** on our website at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)