

Glasfaseragglomerate im Visier – eine Zerreißprobe

Neue Düsenkonzepte haben die Desagglomeration von Fasern im Einspritzvorgang zum Ziel

Um optimale Bauteileigenschaften und eine hohe Prozesssicherheit zu gewährleisten, ist bei verstärkten Kunststoffen eine homogene Aufbereitung der Schmelze ohne Agglomeration der Glasfasern ein wichtiges Kriterium. Um sich diesem Ziel zu nähern, arbeiten zwei Forschungsinstitute an speziellen Düsenkonzepten: Die damit erzeugte Dehnströmung in der Einspritzphase soll durch erhöhte Energiedissipation die Glasfaserbündel aufreißen.

Eine homogene Aufbereitung faserverstärkter Kunststoffe ist die Grundvoraussetzung für unidirektionale Materialeigenschaften im fertigen Produkt. Der Fokus vieler Entwicklungen liegt in der Auslegung von Plastifizierschnecken, indem spezielle Scher- und Mischteile die Füllstoffe verteilen und zerteilen sollen. Beim Verteilen spricht man vom distributiven, beim Zerteilen vom dispersiven Mischen.

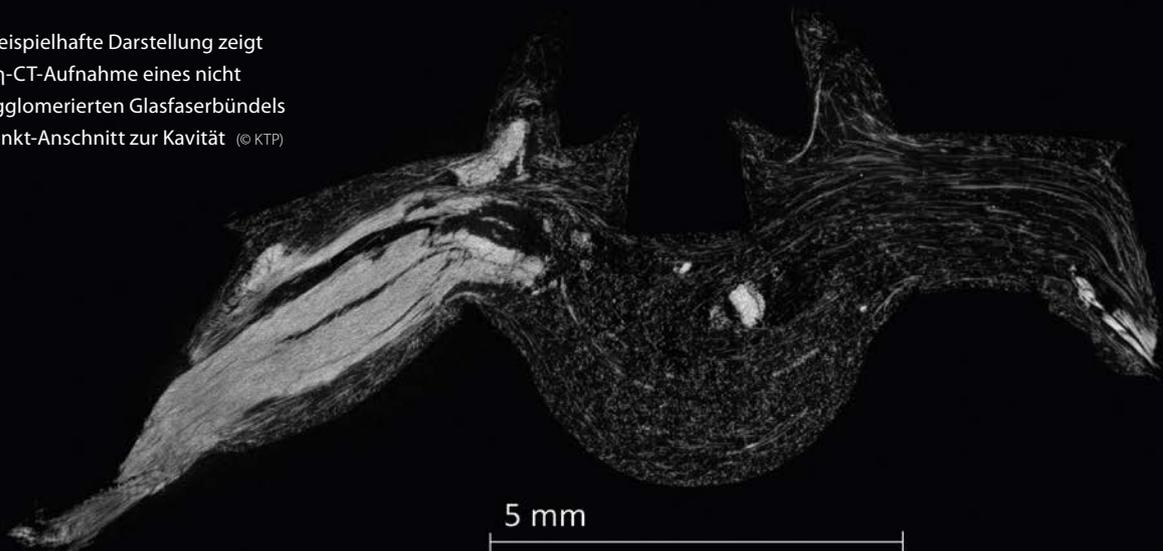
Insbesondere bei den direktverarbeitenden Spritzgießverfahren, bei denen im Fertigungsprozess Füll- und Verstär-

kungsstoffe zugegeben werden, erlangt der Aspekt der Desagglomeration zunehmende Bedeutung – es gilt, Füllstoffanhäufungen bei der Materialaufbereitung zu vermeiden. Solche Direktspritzgießverfahren weisen im Vergleich zur konventionellen Compoundierung mit Doppelschneckenextrudern aufgrund der eingesetzten Einschneckenysteme eine geringere Mischwirkung auf, woraus erhöhte Anforderungen an die Scher- und Mischelemente resultieren. Für das weitere distributive und disperse Mischen kommen nach dem Plastifiziervorgang nur noch

spezielle Düsen infrage. Häufig sind dies statische Mischer, die die Schmelzeströmung teilen und anschließend wieder zusammenführen.

Ein neuartiges Konzept mit Dehndüsen setzt ebenfalls an dieser Stelle an. Indem man die Geometrie der konventionellen Düsen zu einer hyperbolischen Kontur verändert, wird eine Dehnströmung erzeugt, die im Vergleich zu einer reinen Scherströmung infolge von energiedissipativen Effekten für Füll- und Verstärkungsstoffe wesentlich stärker desagglomerierend wirkt [1]. Diesen Effekt haben

Die beispielhafte Darstellung zeigt eine η-CT-Aufnahme eines nicht desagglomerierten Glasfaserbündels im Punkt-Anschnitt zur Kavität (© KTP)



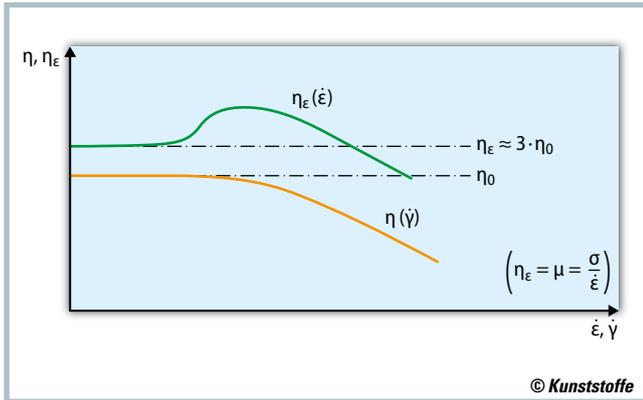


Bild 1. Der Troutonsche Effekt bei hohen Schergeschwindigkeiten am Beispiel von PE-LD. Die Dehnviskosität η_ϵ kann mehrere Zehnerpotenzen über der Scherviskosität η liegen (Quelle: [2])

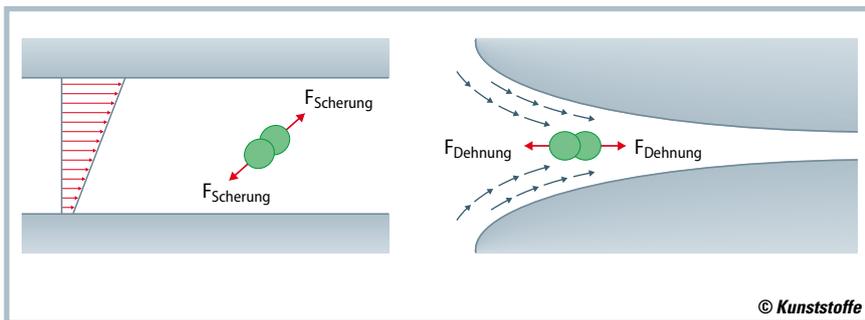


Bild 2. Das Potenzial für eine Desagglomeration von Partikel- und Faseranhäufungen wird durch eine erhöhte Kräfteinwirkung in einer reinen Dehnströmung (rechts) im Vergleich zu einer reinen Scherströmung (links) ersichtlich (Quelle: KTP)

in einer gemeinsamen Studie die Universitäten Paderborn und Leoben/Österreich für glasfaserverstärkte Kunststoffe am Sonderverfahren der Spritzgieß-Direktcompoundierung (SGDC) untersucht.

Warum Dehn- statt Scherströmung?

Grundsätzlich lassen sich drei unterschiedliche Dehnungsarten unterscheiden:

- die uniaxiale Dehnung, bei der in eine Koordinatenrichtung gedehnt wird,
- die planare Dehnung, bei der in zwei Koordinatenrichtungen gedehnt wird, und
- die äquibiaxiale Dehnung, bei der homogen in zwei Koordinatenrichtungen gedehnt und in die dritte gestaucht wird.

Als Folge der Volumenkonstanz muss die Summe aller Dehnverformungen Null ergeben, wobei die in der Realität auftretende geringe Volumendilatation vernachlässigt wird. Gerade bei Kunststoffen ist aufgrund ihrer viskoelastischen Eigenschaften die Zeitabhängigkeit der Dehnung stärker ausgeprägt als die der Scherung; folglich wird für Dehnverformungen selten ein stationärer Zustand erreicht.

Für die uniaxiale Dehnung gilt, dass die Dehnviskosität η_ϵ bei newtonschen Fluiden und niedriger Dehngeschwindigkeit dreimal höher ist als die Scherviskosität η . Dieser Effekt wird als Troutonsche Dehnviskosität bezeichnet [2].

$$\eta_\epsilon = 3\eta \tag{1}$$

Dieser Effekt verstärkt sich bei höheren Schergeschwindigkeiten um bis zu mehrere Zehnerpotenzen (**Bild 1**). Eine Desagglomeration von Feststoffen wird u.a. in den Modellvorstellungen von [1] beschrieben, wobei die auf zwei Partikel mit dem Radius r wirkende Kraft in einer reinen Scher- und Dehnströmung aufgezeigt wird (**Bild 2**).

Für eine reine Scherströmung gilt nach den Modellvorstellungen:

$$F_{\text{max, Scherung}} = 3\pi \cdot \eta \cdot \dot{\gamma} \cdot r^2 \tag{2}$$

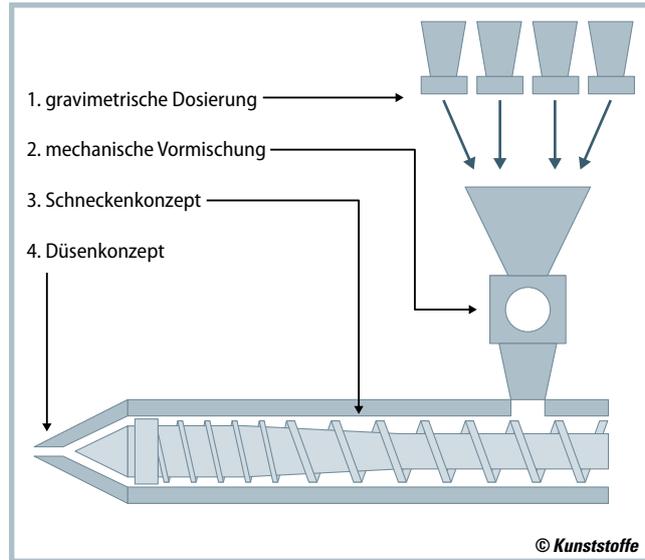
Für die auf zwei Partikel in der Dehnströmung wirkende Kraft gilt:

$$F_{\text{max, Dehnung}} = 6\pi \cdot \eta_\epsilon \cdot \dot{\epsilon} \cdot r^2 \tag{3}$$

Unter Berücksichtigung des Troutonschen Effekts (**Gleichung 1**) verstärkt »

Bild 3. Spritzgieß-Direktcompoundierung mit gravimetrischer Vordosierung für die Rezeptureinstellung und einer rein mechanischen Vormischkammer. Das Konzept kann durch die Schnecken- und Düsengeometrie für spezielle Materialrezepturen angepasst werden

(Quelle: KTP)



sich die Kraft, die auf Partikelanhäufungen in einer Dehnströmung wirkt, zusätzlich, sodass bei hohen Einspritzgeschwindigkeiten das Potenzial der desagglomerierenden Wirkung der Dehndüsen ersichtlich wird.

Frühere Arbeiten der Universität Leoben mit Polymer-Nanocomposites (PNC) haben gezeigt, dass die Verwendung von Düsen, die eine Dehnströmung induzieren, die Interkalierung (Einlagerung) der PNC verbessert. Das war darin erkennbar, dass der Elastizitätsmodul der PNC bei Verwendung der Dehndüsen um über 60% im Vergleich zum reinen Material gesteigert werden konnte [3].

Desagglomeration in der Direktverarbeitung

Um die desagglomerierende Wirkung der Dehndüsen für faserverstärkte Kunststoff-

fe zu bewerten, werden die Dehndüsen der Montanuniversität Leoben für das Konzept der Spritzgieß-Direktcompoundierung (SGDC) der Universität Paderborn adaptiert. Die verwendete vollelektrische holmlose Spritzgießmaschine (Typ: e-motion 200/100; Hersteller: Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich) kann für die Homogenisierung der Schmelze mit unterschiedlichen Schnecken- und Düsenkonzepten ausgerüstet werden. Sie wird über vier Dosierdifferentialwaagen (Typ: DDW-MD2-DDSR20/28-5; Hersteller: Brabender Technologie GmbH & Co. KG, Duisburg) entsprechend den Materialrezepturen beschickt.

Eine rein mechanische Vormischkammer bereitet die Trockenmischung aus Matrixpolymer, Glasfasern und weiteren Additiven homogen auf. Die Vormischstation soll der relativ schlechten Längsmischwirkung der konventionellen Spritzgießmaschine vorbeugen. Das Verfahren fasst somit den Compoundier- und Spritzgießprozess in einem Schritt zusammen (**Bild 3**).

Um einen maximalen Effekt der eingebrachten Dehnenergie sichtbar zu machen, kamen in den Untersuchungen drei Materialrezepturen zum Einsatz, die in vorherigen Studien eine schlechte Distribution und Dispersion der Glasfasern aufwiesen. Der Glasfasergehalt in der Polypropylen-Matrix lag bei 30%, während die Anteile von Dispergierhilfsmittel und Haftvermittler leicht variierten.

Wie wirken sich Dehndüsen auf die Glasfaseragglomerate aus? Um diesen Effekt zu verifizieren, wurden zwei Dehndüseneinsätze mit einer hyperbolischen Innenkontur der Universität Leoben verwendet (**Bild 4**). Der erste Düseneinsatz

Die Autoren

Jannik Jilg, M.Sc., ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) an der Universität Paderborn tätig; jannik.jilg@ktp.upb.de

Dipl.-Ing. Andreas Neunhäuserer ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Spritzgießen an der Montanuniversität Leoben/Österreich tätig; andreas.neunhaeuserer@unileoben.ac.at

Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer ist Leiter der Fachgruppe KTP an der Universität Paderborn; elmar.moritzer@ktp.upb.de

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Walter Friesenbichler ist Leiter des Lehrstuhls für Spritzgießen von Kunststoffen an der Montanuniversität Leoben; walter.friesenbichler@unileoben.ac.at

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/5545700

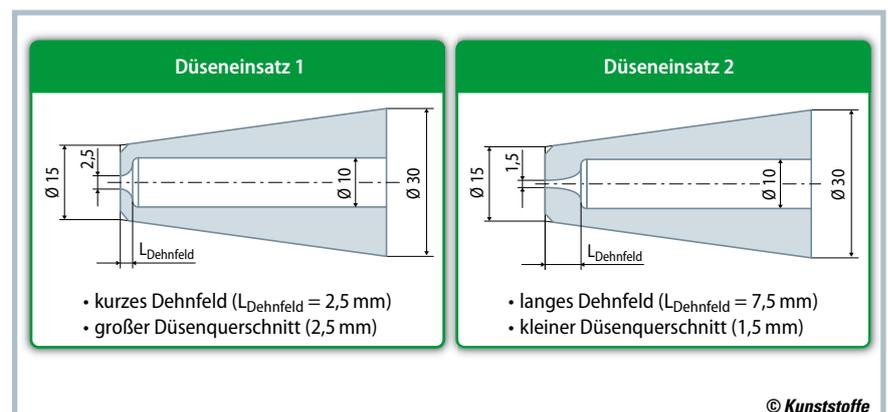


Bild 4. Zwei Dehndüseneinsätze wurden untersucht: links der Einsatz mit dem geringeren und rechts der Einsatz mit dem höheren Energieeintrag (Quelle: KTP)

weist ein kurzes Dehnfeld und einen verhältnismäßig großen Enddurchmesser der Düse (beide 2,5 mm) auf. Das Dehnfeld des zweiten Einsatzes ist 7,5 mm lang, der Endquerschnitt misst 1,5 mm. Mit dem ersten Dehndüseneinsatz ist daher im Vergleich zum zweiten mit einer geringen Energiedissipation während des Einspritzvorgangs zu rechnen. Die Düsen-einsätze werden in eine spezielle Düsenhülse integriert, sodass weitere Innenkonturen vergleichsweise günstig nachgefertigt werden können. Als Referenz kommt eine handelsübliche Nadelverschlussdüse mit einem Düsenausgangs-querschnitt von 2 mm zum Einsatz.

Der Desagglomerationseffekt ist neben der homogenen Verteilung der Glasfasern ein wichtiger Aspekt, um fehlerhaft angespritzte Kavitäten im Spritzgießwerkzeug zu vermeiden. Inhomogen aufbereitetes Material kann die Anschnitte blockieren, sodass die einzelnen Kavitäten unzureichend gefüllt werden. Daher kam zur optischen Beurteilung ein Werkzeug mit einem verzweigtem Angussystem und geringen Anschittradien von 0,5 mm zum Einsatz. Die formgebenden Kavitäten bilden im Werkzeug die einzelnen Buchstaben des Alphabets (A-Z) ab. Die erste Beurteilung der Desagglomeration der eingearbeiteten Kurzglasfaserbündel wird im Angussystem der Kavität mit Mikroskop- und μ -CT-Aufnahmen vorgenommen.

Zerreißen der Glasfaseragglomerate

Für eine Beurteilung des Desagglomerationsvermögens der neuen Düsen-einsätze werden in experimentellen Untersuchungen bei gleichen Prozesseinstel-

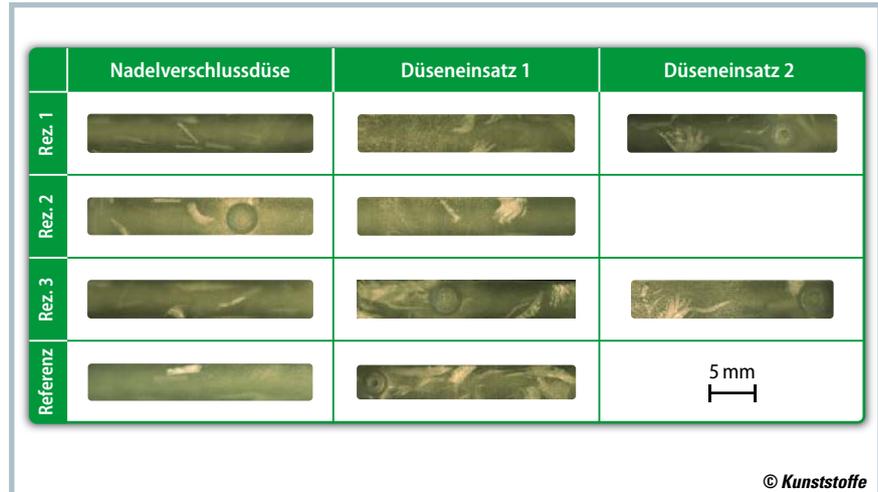


Bild 5. Zerrissene Glasfaserbündel im Angussverteiler des Buchstaben-/Zahlenwerkzeugs, abhängig von der Rezeptur und Düsenkonfiguration. Verantwortlich für diesen Effekt ist der dehndissipative Energieeintrag der neuen Düsenkonzepte (Quelle: KTP)

lungen die dissipativen Energien einer konventionellen Nadelverschlußdüse mit den Energien der neuen Düsenkonzepte verglichen. Die Nadelverschlußdüse zeigt über den ganzen Angussverteiler kompakte Kurzglasfaserbündel – lediglich bei der zweiten Rezeptur ist eine leichte Aufspaltung der Bündel zu erkennen, die sich jedoch auf die Dispergierhilfe zurückführen lässt. Die ersten Beobachtungen bei den Dehndüsen – Mikroskopaufnahmen direkt im Angussystem – zeigen ein Zerreißen der Faseragglomerate (**Bild 5**).

Die erste Dehndüse (mit kurzem Dehnfeld und großem Ausgangsquerschnitt) zeigt bei allen Materialrezepturen aufgefächerte Glasfaserbündel. Dieser Befund ist auf den Desagglomerationseffekt infolge des dehndissipativen Energieeintrags zurückzuführen. Für den zweiten Dehn-

düseneinsatz (mit langem Dehnfeld und geringem Ausgangsquerschnitt) konnte nicht jeder Versuchspunkt im quasistationären Prozess abgebildet werden. Im Fall der zweiten Rezeptur und der Referenzrezeptur kam es zu einer Blockade der Glasfasern im Dehnfeld, was auf den engen Düsenaustrittsquerschnitt zurückzuführen ist. Darüber hinaus sind die desagglomerierten Strukturen im Vergleich zum ersten Düsen-einsatz noch weiter aufgefächert, gleichbedeutend mit einem höheren Energieeintrag.

Zum Teil gegenläufige Effekte

Dem Ziel, Blockaden in den Anschnitten der einzelnen Kavitäten zu vermeiden, kommt man so noch nicht wesentlich näher. Bei allen gespritzten Konfigurationen treten Blockaden infolge von Agglo- ➤

merationen auf. Wenn die Faseragglomerate auffächern, entsteht jedoch mitunter der gegenläufige Effekt, dass mehr Teilfüllungen in den einzelnen Konfigurationen auftreten. Die fächerartigen Strukturen können sich im Vergleich zu den kompakten Kurzglasfaserbündeln nicht mehr in Strömungsrichtung orientieren und den Anschnitt passieren, weshalb eine leicht erhöhte Rate an Teilfüllungen zu verzeichnen ist. Mikroskop- und CT-Aufnahmen veranschaulichen die Blockaden der Anschnitte zu den Kavitäten exemplarisch (Bild 6).

Ausblick

Die Studie zeigt erste Erkenntnisse zum Desagglomerationsverhalten verschiedener Dehndüsenkonzepte für kurzglasfaserverstärktes Polypropylen innerhalb der Spritzgieß-Direktcompoundierung (SGDC). Unabhängig von der Materialrezeptur reißen die Glasfaserbündel und -agglomerate zu fächerartigen Strukturen auf. Die Ergebnisse geben daher ein erstes Indiz, dass die eingebrachte Energie zum Auflösen der Faserbündel führt.

Der Effekt muss jedoch verstärkt werden, damit die Fasern vereinzelt vorliegen. Die zwei gewählten Dehnfelder lassen zudem den Schluss zu, dass mit zunehmender Länge und abnehmen-

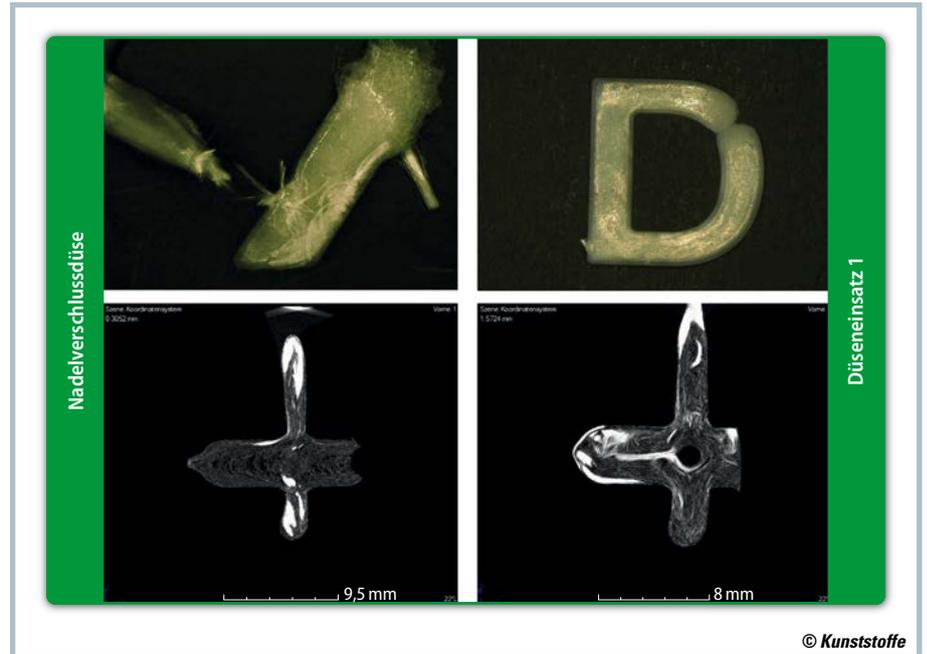


Bild 6. Das Zusetzen der Anschnitte durch die Glasfaseragglomeration (hier am Beispiel des Referenzmaterials) tritt sowohl bei der Referenzdüse als auch bei den Dehndüsen auf (Quelle: KTP)

dem Düsenquerschnitt eine erhöhte Energiedissipation infolge der Dehnströmung eintritt, weil eine verstärkte Auffächerung der Glasfaserbündel zu beobachten ist.

Inwiefern die Länge des Dehnfelds und die Gestalt der Innenkontur die Desagglomeration der Füll- und Verstär-

kungsstoffe beeinflusst, müssen weitere Untersuchungen neuer Düseneinsätze und Materialrezepturen ergeben. Abschließend sollten, unabhängig von dem desagglomerierenden Effekt in der Spritzgieß-Direktcompoundierung, die Dehndüsenkonzepte für den standardisierten industriellen Einsatz validiert werden. ■

Temperierbrücke mit variablem Kühlbohrungsabstand

Kühlkanäle sicher verbinden

Welcher Praktiker kennt das Bild nicht: Ein Schlauch zwischen zwei Temperierbohrungen, auf Anschlussnippel gesteckt



Die Temperierbrücke Z7741 ist aus Edelstahl gefertigt und überbrückt Kühlbohrungsabstände von 30 bis 500 mm (© Strack Norma)

und mit Schlauchklemmen befestigt. Für diese praktische, wenn auch riskante Methode, einen Temperierkreislauf herzustellen, bietet die **Strack Norma GmbH & Co. KG**, Lüdenscheid, jetzt eine sicherere Alternative. Der Normalienhersteller hat mit der Temperierbrücke Z7741 ein kompaktes und stabiles System entwickelt, das zwei Kühlbohrungen miteinander verbindet. Auch Kühlkanäle über mehrere Formplatten sollen so außen umgelenkt werden können.

Die Temperierbrücke Z7741 ist mit einem Kanaldurchmesser von 8 mm und in drei Längen erhältlich. Damit bietet sie einen variablen überbrückbaren Kühlbohrungsabstand von 30 bis 500 mm, was eine hohe Flexibilität im Aufbau ermögli-

chen soll. Die Länge wird laut Hersteller individuell an den Abstand der beiden Kühlbohrungen angepasst. Je nach Aufbau kann die Temperierbrücke auf die Außenfläche der Formplatten aufgesetzt oder vertieft in die Formplatten eingelassen werden. Zur Demontage sind in den Haltern Auszugsgewinde angebracht. Sie ist aus Edelstahl gefertigt und lässt sich so auch mit aggressiven Kühlmedien wie leichten Säuren einsetzen, ohne zu korrodieren. Die verwendeten Dichtungen bestehen aus widerstandsfähigem und temperaturbeständigem Viton (Fluorkautschuk FKM).

Zur Produktmeldung:
www.kunststoffe.de/6142076