

Projektilinjektionstechnik verändert die Spielregeln bei thermoplastischen Strukturbauteilen

Stabilitätsgewinn mit Hohlraumstruktur

Die Plastic Innovation GmbH entwickelt ein Konzept für die Integration von Versteifungsstrukturen in Automobilbauteile, das die Möglichkeit der Funktionsintegration bietet. Dieses Konzept ermöglicht eine wirtschaftliche und nachhaltige Fertigung mit der Projektilinjektionstechnik innerhalb eines Produktionszyklus. Mit Unterstützung mehrerer Partner aus Forschung und Industrie konnten Versuchsbauteile hergestellt und numerische Vorhersagen über die Restwanddicke der rohrförmigen Bauteile gemacht werden.

Vision von dünnwandigen Kanalgeometrien, die neue Möglichkeiten zur Versteifung von Automobil-Strukturbauteilen bieten. © Audi



Durch den stetigen Wandel der Mobilität und die Erschließung von neuen Antriebstechnologien müssen Komponenten neu gedacht werden. Einerseits ermöglicht dieser Wandlungsprozess, dass bestehende Herstellungsverfahren überprüft und Technologien weiterentwickelt werden; andererseits erlaubt die neue Gestaltung von Komponenten den Einsatz nachhaltigerer Werkstoffe. Eines dieser Sonderverfahren beim Spritzgießen, das ein großes Potenzial für die Produktion von Automobilbauteilen hat, ist die Fluidinjektionstechnik. Damit können Komponentensteifigkeiten gesteigert, die Produktionszeiten verkürzt und ein hoher Designfreiheitsgrad ermöglicht werden. Um dieses Potenzial zu untersuchen, initiierte die Plastic Innovation GmbH ein Versuchswerkzeug für die Produktion von Platten mit versteifenden Kanalgeometrien. Aus dieser Entwicklung wurden die Machbarkeit von Kanalgeometrien auf ebenen Platten, speziell für Strukturbauteile mit

einem hohen Grad an Funktionsintegration, analysiert und Erkenntnisse für die Produktauslegung generiert.

Bauteile mit rohrförmigem Hohlraum für die Mobilität

Die zunehmende Sensibilität für Nachhaltigkeit im Mobilitätssektor verlangt nach effizienten und effektiven Fortbewegungsmitteln, die lokal, ökologisch sowie ökonomisch hergestellt werden können. Dieses Umfeld bietet großes Potenzial zur Anwendung von vollautomatischen Spritzgießprozessen und damit einhergehenden Sonderverfahren zur Herstellung von Moped- und Fahrradrahmen [1], Propellern für Multicopter (eVTOL, electric Vertical Take-Off and Landing aircraft), dünnwandigen Strukturbauteilen und weiteren Lösungen für die Mobilität.

Der Einsatz der Fluidinjektionstechnik (FIT) in Mobilitätsanwendungen ist von besonderer Bedeutung, weil die mit diesem Spritzgieß-Sonderverfahren herge-

stellten Bauteile hohl sind und daher das beste Verhältnis zwischen Torsionssteifigkeit und Masse besitzen. Rohrförmige Geometrien werden daher für Strukturbauteile bevorzugt [2]. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, mittels Projektilinjektionstechnik (PIT) Bauteile mit rohrförmigen Querschnitten und konstantem Innenquerschnitt entlang der Kanalgeometrie (Hohlraum) herzustellen.

Um einen möglichst hohen Anteil des Oberflächenverkehrs mit den energieeffizienten Produktionsmöglichkeiten der Kunststofftechnik realisieren und eine hohe lokale Wertschöpfung in der Mobilitätsbranche abdecken zu können, gibt es unterschiedliche Aspekte der Forschung und Entwicklung, die erarbeitet werden müssen. Neue Produktionsprozesse fordern neue Dimensionierungs- und Konstruktionsansätze von Bauteilen, die sowohl numerisch als auch experimentell untersucht werden müssen. Nur wenn Bauteile werkstoff- und prozessgerecht ausgelegt werden, kann

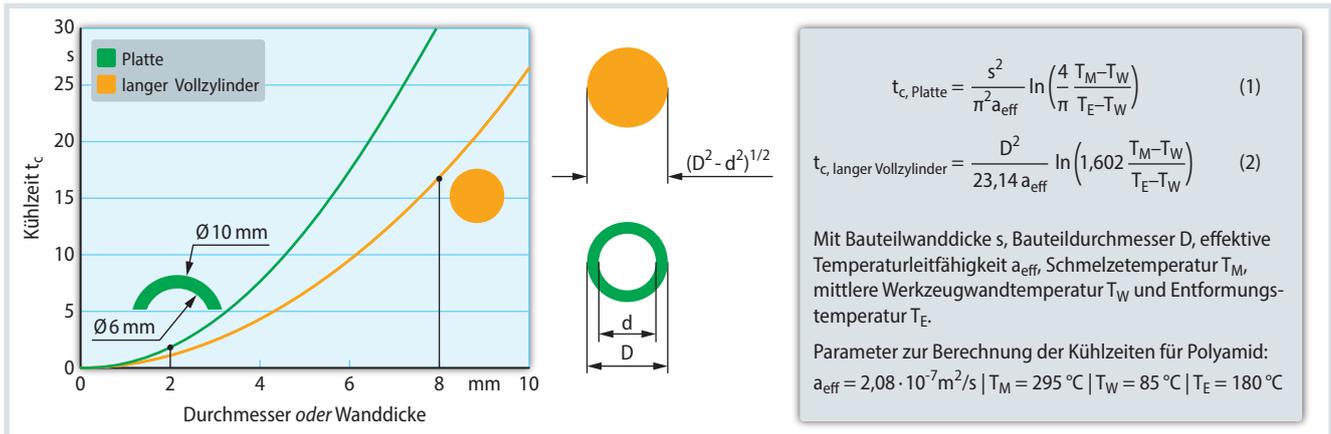


Bild 1. Vergleich der Kühlzeit von Zylindern mit gleicher Masse und unterschiedlichen Querschnitten. Für den hohlen Zylinder wird näherungsweise die Formel für Platten herangezogen. Quelle: Plastic Innovation; Grafik: © Hanser

eine Transformation zu effizienteren Prozessen erfolgen, um diese dann im lokalen Absatzmarkt wirtschaftlich zur Produktion von Mobilitätslösungen einzusetzen.

Mit der PIT/FIT können dünnwandige Kanalgeometrien für Strukturbauteile mit der Möglichkeit zur Funktionsintegration in einem Spritzgießzyklus produziert werden. Anwendungsbeispiele sind Sitzstrukturen, Frontend-Strukturen, Instrumententafelträger und dergleichen. Dieser innovative Produkt- und Produktionsansatz ist Ausgangspunkt für die Konzeptionierung eines Spritzgießwerkzeugs, um Erkenntnisse für die Großserienfertigung speziell von Automobilbauteilen abzuleiten.

FIT und PIT – zwei Verfahren im Vergleich

Das FIT-Verfahren wurde um 1943 erfunden, zunächst mit Gas als Fluid. Seitdem hat sich die Technologie weiterentwickelt [3] und umfasst mittlerweile neben der Gasinjektionstechnik (GIT) [4] auch die Wasserinjektionstechnik (WIT) [3]. Dane-

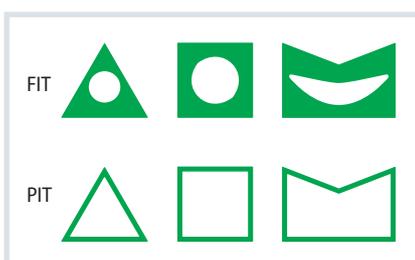


Bild 2. Vergleich der resultierenden Hohlquerschnitte bei unterschiedlichen Geometrien für FIT und PIT. © Plastic Innovation

Verfahren	Material	Bauteilmasse [g]	Standardabweichung [g]
GIT	PP	248,35	± 2,10
PIT groß	PP	171,60	± 1,19
PIT mittel	PP	186,76	± 3,43
Simulation	PP	205,30	
GIT	PA	312,26	± 7,90
PIT groß	PA	242,43	± 0,85
Simulation	PA	253,62	

Tabelle 1. Vergleich der Bauteilmassen für Platten aus PP und PA, hergestellt im GIT- und PIT-Verfahren, mit den Simulationsergebnissen. Quelle: Plastic Innovation

ben werden in beiden Verfahren auch Projektile (PIT) verwendet [5, 6], um konstante Innenquerschnitte zu erzielen. Die PIT ist eine Variante der FIT, wobei das injizierte Fluid (Gas/Wasser) ein Projektil durch den noch schmelzeförmigen Kunststoff treibt. Die resultierende Wanddicke wird somit durch das Projektil definiert.

Wie im konventionellen Spritzgießen beginnt ein Zyklus mit dem Einspritzen der Kunststoffschmelze. Aufgrund der schlechten Wärmeleiteigenschaften von Kunststoffen erstarrt die Schmelze zuerst an der äußeren Schicht. Die FIT nutzt diese Eigenschaft und drückt die noch plastische Kunststoffseele durch Injektion von Gas oder Wasser in der Mitte hinaus und schafft so einen hohlen Querschnitt. Die Schmelze fließt dabei entweder in eine Überlaufkavität und muss anschließend mechanisch vom Bauteil getrennt werden oder sie fließt zurück in den Schneckenorraum (Maserückdrückverfahren) und kann dadurch im nächsten Zyklus wiederverwendet werden. Dabei ist ein wesentliches Entscheidungskriterium die

Info

Text

Eva Heiml ist Product Engineer bei der Plastic Innovation GmbH, Ottensheim/Österreich; eva.heiml@plasticinnovation.at

Markus Wimmer ist ebenfalls Product Engineer bei Plastic Innovation; markus.wimmer@plasticinnovation.at

Dr. Umut Çakmak ist Senior Scientist am Institute of Polymer Product Engineering der Johannes Kepler Universität in Linz/Österreich sowie Managing Partner bei Plastic Innovation; umut.cakmak@plasticinnovation.at

Christian Wolfsberger ist Business Development Manager Automotive and Mobility bei der Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich; christian.wolfsberger@engel.at

Markus Thurmeier ist bei der Audi AG, Ingolstadt, in der Vorentwicklung Exterieur tätig; markus.thurmeier@audi.de

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

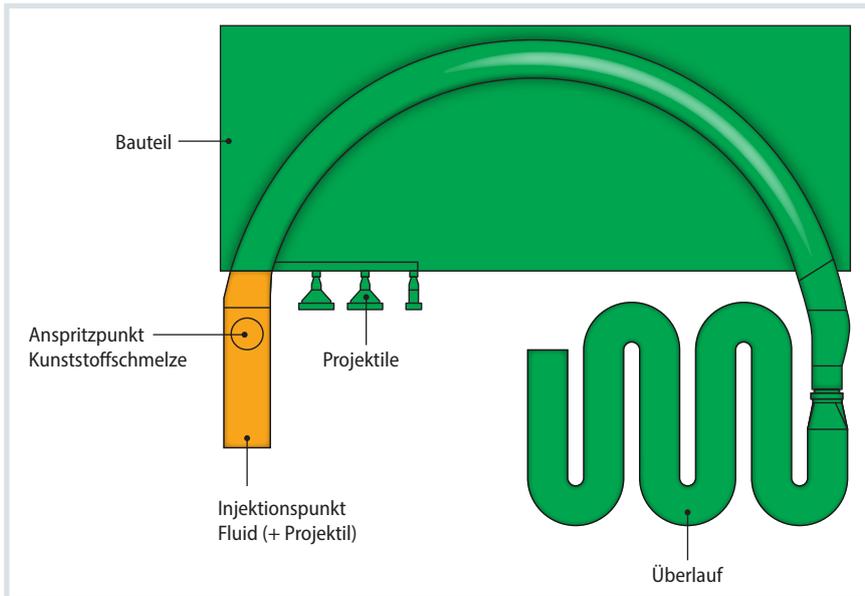
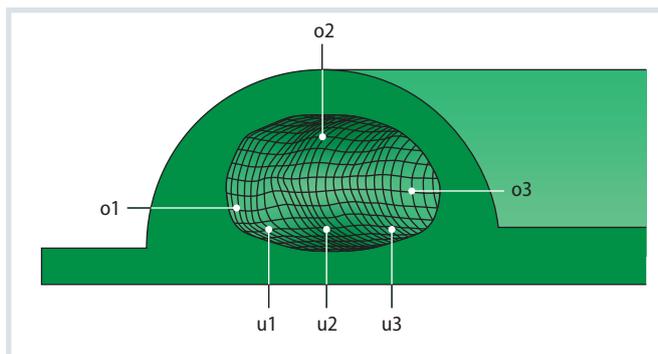


Bild 3. Versuchsbauteil mit versteifenden dünnwandigen Kanalgeometrien. Injektionsstellen der Kunststoffschmelze bzw. des Fluids sowie die Überlaufkavität sind dargestellt, ebenso die Projektile in drei unterschiedlichen Größen (groß, mittel, klein). © Plastic Innovation

Bild 4. Sechs Messpositionen zur Ermittlung der Restwanddicke.

© Plastic Innovation



Verweilzeitdauer und die thermische Belastung des Kunststoffs.

Für die mechanischen Eigenschaften eines Bauteils ist die Restwanddicke besonders wichtig. Diese ist abhängig vom verwendeten Kunststoff (Viskosität, Wärmeleitfähigkeit, Füllstoffe) und von den Verarbeitungsparametern (Temperaturen, Nachdruckhöhe und -zeit, Kühlrate, Verzögerungszeit, bis die Fluidinjektion gestartet wird, Fluiddruck bzw. Fluidvolumenstrom). Die einseitige Restwanddicke kann materialabhängig in erster Näherung mit 20 bis 25 % der äußeren Abmessungen (Durchmesser) abgeschätzt werden.

Unterschiedliche Hohlraumquerschnitte und Restwanddicken

Neben der höheren Designfreiheit und dem positiven Einfluss auf die Steifigkeit eines Bauteils spielt auch die kürzere

Kühlzeit eine entscheidende Rolle bei der Entscheidung, die FIT anzuwenden. Der Einfluss einer Hohlstruktur auf die Kühlzeit zeigt sich am Beispiel zweier Zylinder: Die Durchmesser des vollen und des hohlen Zylinders sowie die Wanddicke des hohlen Zylinders werden so gewählt, dass die Masse gleichbleibend ist (**Bild 1**). Die Kühlzeit des hohlen Zylinders kann dann mit der näherungsweise Berechnung der Kühlzeit für dünne Platten ermittelt werden (**Gleichung 1**), die des vollen Zylinders mit der entsprechenden Formel für volle Zylinder (**Gleichung 2**). Die Ergebnisse für Polyamid zeigen, dass durch den hohlen Querschnitt die Kühlzeit wesentlich verkürzt wird.

Aus der Anwendung der FIT und der PIT können unterschiedliche Hohlraumquerschnitte resultieren (**Bild 2**). Dabei werden unterschiedliche nicht kreisförmige Querschnittsformen, wie Dreieck,

Quadrat, Polygon und Rechteck, verglichen. Die Grafik zeigt, dass mit der PIT die Querschnitte konturnah und daher besser ausgehöhlt werden als mit der konventionellen FIT. Des Weiteren können geringere und gleichmäßigere Restwanddicken erzielt werden, wenn Projektile zum Einsatz kommen. Aktuell werden mit dieser Technologie aber vor allem kreisförmige Hohlquerschnitte, wie zum Beispiel Ölmesststäbe, hergestellt.

Die PIT zeichnet sich durch einen weiteren Vorteil gegenüber der konventionellen FIT aus: Durch den Einsatz von Projektilen ergibt sich eine geringere Restwanddicke und der Kunststoff wird dadurch über die Werkzeugwand ausreichend gekühlt [7].

Besonderheit des Werkzeugs: Die Projektile werden mitgespritzt

Mit dem von der Plastic Innovation GmbH konzipierten Spritzgießwerkzeug können Platten mit versteifenden Kanalgeometrien hergestellt werden. Diese Kanalgeometrien haben unterschiedliche Querschnitte, zusätzlich werden auch die Verläufe der Kanäle entlang der Platte variiert. Im Prozess wird zuerst die Platte bei geschlossener Überlaufkavität mit der Kunststoffschmelze gefüllt. Nach dem Nachdruck und einer adäquaten Verzögerungszeit wird ein Fluid injiziert und die Überlaufkavität geöffnet. Dadurch kann die verbleibende Kunststoffschmelze im Kanal hinausgedrückt werden. Die Dicke der Platte und die Kanalgeometrie wurden dabei so gewählt, dass kein Fluid in die Platte gelangt und nur der Kanal ausgehöhlt wird.

Eine Besonderheit dieses Spritzgießwerkzeugs ist, dass die Projektile in drei unterschiedlichen Größen (groß, mittel, klein) im Prozess mitgespritzt werden und so im nächsten Zyklus zum Einsatz kommen können. Außerdem werden die Projektile passend zum Querschnitt der Kanalgeometrie hergestellt, also für einen trapezförmigen Querschnitt werden auch trapezförmige Projektile produziert. Platten mit einem halbkreisförmigen Versteifungskanal mit Halbkreisquerschnitt (**Bild 3**) wurden mit GIT und PIT im Technikum der Engel Austria GmbH hergestellt.

Die Platten wurden aus zwei verschiedenen Materialien hergestellt: einem Polypropylen (PP) mit 25 % Glasfa-

sern und 15% Mineralstoff (Typ: Akrolen PP GFM 25/15) und einem Polyamid (PA) mit 40% Carbonfasern (Typ: Akroloy PA ICF 40; Hersteller jeweils: Akro-Plastic GmbH). Außerdem wurden Platten sowohl im GIT- als auch im PIT-Verfahren gefertigt. Die Projektile mit Halbkreisquerschnitt (groß, mittel, klein) wurden dabei im gleichen Prozess hergestellt.

Bessere Ergebnisse mit PIT

Die kleinen Projektile verdrehten sich bei beiden Materialien bereits im Anguss, die großen Projektile blieben bei den Platten aus PA bereits zu Beginn stecken; für PP konnten einige hohle Platten mit den großen Projektile produziert werden. Gute Ergebnisse konnten für beide Materialien mit den mittleren Projektile erzielt werden. Es zeigte sich, dass die Projektile eine Führung, also eine ausreichend erstarrte Randschicht, benötigen, um einen stabilen Prozess zu ermöglichen und die Kunststoffschmelze vollständig aus der Kanalstruktur zu verdrängen.

Die Restwanddicke an der Eintrittsstelle des Fluids bzw. Projektils wurde an sechs Positionen gemessen (Bild 4). Für die Platten aus PP wurden die Ergebnisse für GIT und PIT mit zwei unterschiedlichen Projektilegrößen verglichen (Bild 5). PIT führt dabei zu geringeren Restwanddicken und gleichmäßigeren Ergebnissen als GIT. Auch für Platten aus PA wurden die Ergebnisse verglichen (Bild 6). Ähnlich wie bei den Platten aus PP sind auch hier die Restwanddicken im Falle der PIT geringer.

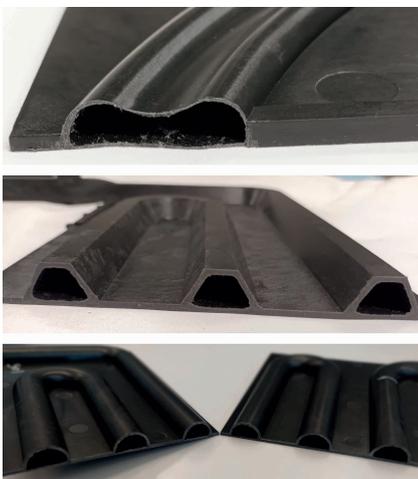


Bild 7. Vergleich dreier Platten, die mit unterschiedlichen Projektile im PIT-Verfahren hergestellt wurden. © Plastic Innovation

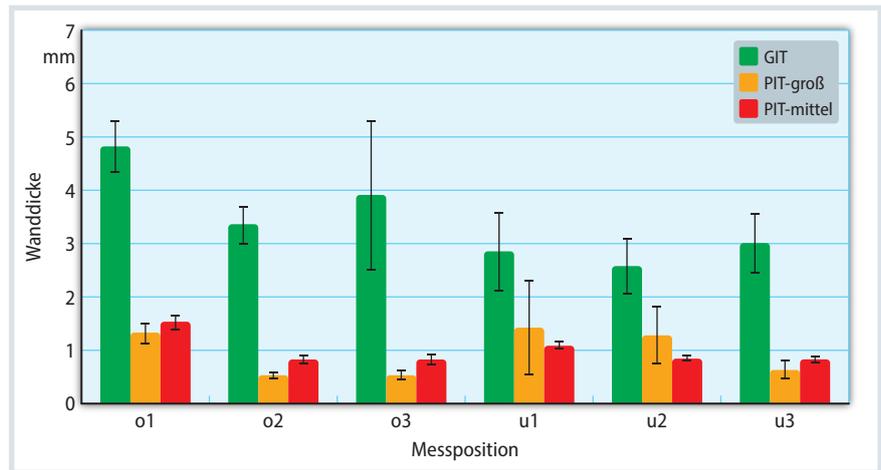


Bild 5. Restwanddicken an den unterschiedlichen Messpositionen für Platten aus PP. Quelle: Plastic Innovation; Grafik: © Hanser

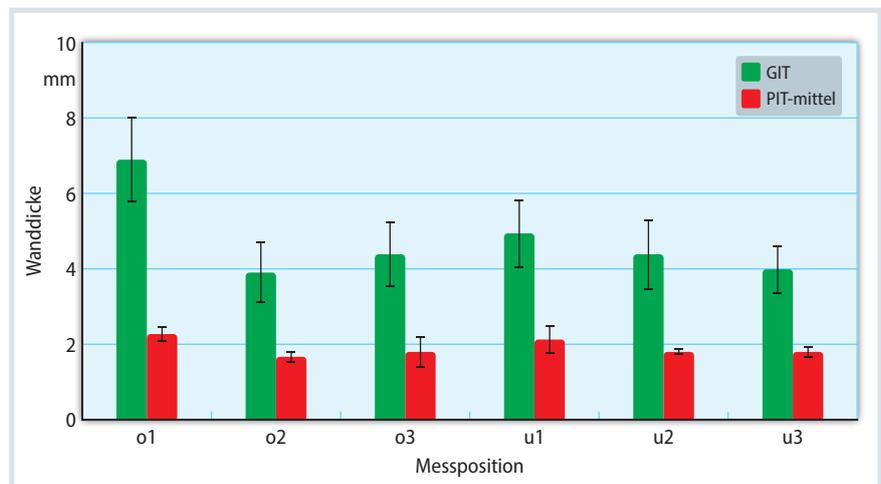


Bild 6. Restwanddicken an den unterschiedlichen Messpositionen für Platten aus PA. Quelle: Plastic Innovation; Grafik: © Hanser

In der Simulation (durchgeführt mit Moldex3D) ist aktuell keine PIT möglich. Die gemessenen Restwanddicken an der Eingangsstelle in der Simulation und der GIT liefern ähnliche Ergebnisse. Auch beim Vergleich der Bauteilmassen zeigt sich, dass mit der PIT mehr Kunststoffschmelze verdrängt werden kann als mit der GIT (Tabelle 1). Weiterhin wird mit dem großen Projektil mehr Kunststoffschmelze verdrängt als mit dem mittleren.

Die Simulation ermöglicht eine gute Abschätzung für die zu erwartende Restwanddicke in den Experimenten. Der direkte Vergleich ist derzeit noch nicht automatisiert, außerdem ist es schwierig, die gleichen Positionen zu vergleichen. Um die Simulationsergebnisse weiter zu verbessern, können zum Beispiel Maschinenträgheiten detaillierter berücksichtigt oder die Netzempfindlichkeit (mesh sensitivity) der Ergebnis-

auswertung beim Auslesen der vergleichenden Position reduziert werden.

Fazit

Die wichtigste Erkenntnis ist, dass arbiträre Kanalquerschnitte mit geringen Wanddicken im PIT-Verfahren hergestellt werden können. Der Einsatz von Projektile ermöglicht geringere Restwanddicken und ein gleichmäßigeres Ergebnis (Bild 7). Ferner können nicht nur kreisförmige, sondern auch asymmetrische Projektile, die sich selbst zentrieren, im Prozess verwendet werden. Speziell für die Verstärkung und die Funktionsintegration in dünnwandigen Automobilanwendungen bietet die Fluid- bzw. Projektilinjektionstechnik eine Möglichkeit, wirtschaftlich und nachhaltig Bauteile mit einem hohen Grad an Designfreiheit und Funktionsintegration spritzzugießen. ■