

# Heißgasschweißen in der Komfortzone

## Neuartige Düsegeneration eröffnet vielfältige Möglichkeiten

Kommt beim Heißgasschweißen anstatt einer Rund- eine Aufsatzdüse zum Einsatz, ergeben sich bei der Verarbeitung eine Reihe von Vorteilen. Dazu zählen ein breites Prozessfenster, kurze Erwärmungszeiten und die Einsparung von Ressourcen. Die neue Entwicklungsstufe des Heißgasschweißprozesses ermöglicht darüber hinaus erst das prozessichere Fügen von technischen Kunststoffen mit hohen Schmelztemperaturen.

Der Fügeprozess Heißgasschweißen zählt zu den Fügeverfahren mit einem partikelfreien, berührungslosen Erwärmungsvorgang [1–3]. In den letzten Jahren setzt sich die Technologie als Serienschweißverfahren für technische Kunststoffe durch [4, 5]. Speziell in der Automobilindustrie wird zum Fügen von großen und anspruchsvollen Bauteilen aus glasfaserverstärkten Polyamiden das Heißgasschweißen eingesetzt. Eine detaillierte Ausführung zum Heißgasschweißprozess und ein Vergleich zwischen der alten und der neu entwickelten Düsegeneration findet sich in [5].

Ein Bereich, in dem die teilaromatischen Polyamide zunehmend Relevanz am Markt gewinnen, sind Thermal Management Module, welche eine präzise Temperierung zahlreicher Systeme im Automobil ermöglichen. Hierbei sind insbesondere die gute Dimensionsstabilität sowie die hervorragende Chemikalienbeständigkeit der teilaromatischen Polyamide maßgeblich für die Produktauswahl [6]. Weitere Anwendungsbeispiele finden sich u.a. im Bereich von Pumpen, wasserführenden Bauteilen, Thermostatgehäusen und in Anwendungen bei Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen [7].

Das Fügen von verstärkten Polyphthalamid-Typen (PPA) mittels Heißgasschweißen war bislang aufgrund der hohen Schmelztemperatur nur schwierig umsetzbar. Durch die neue Düsegeneration ist es nun möglich, verschiedene Polyphthalamide zu fügen – inkl. einer vergleichsweise hohen Schweißnahtfestigkeit. Der derzeit verbreitete Heißgasschweißprozess mit Rund-Düse weist aufgrund der partiellen Erwärmung ein enges Prozessfenster auf. Bei nicht optimaler Temperatur des Heißgaswerkzeugs oder besteht die Gefahr einer unzurei-

chenden Schweißung und einem Abfall der Schweißnahtfestigkeit. Grund dafür ist, dass bei der Rund-Düse das Gas in der Mitte der Schweißnaht auf die Oberfläche prallt und seitlich abströmt. Die partielle Erwärmung führt zu einer Überhitzung in der Nahtmitte, die Randbereiche werden wenig erwärmt. Durch die ungleichmäßige Aufschmelzung ergibt sich ein begrenzter Fügeweg und ein enges Prozessfenster.

### Die Idee: Die Düse ragt in das Bauteil

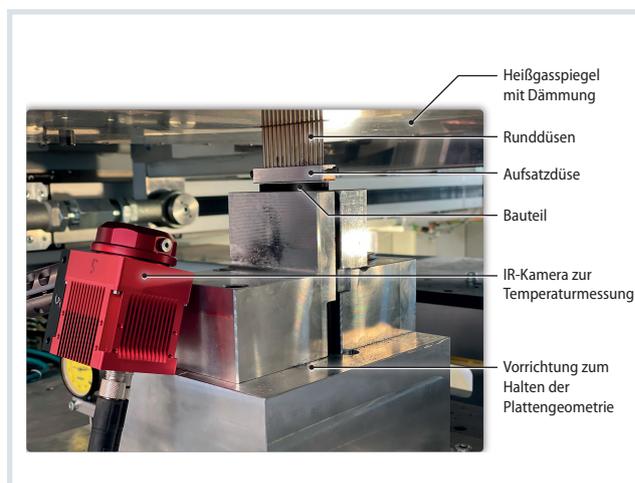
Eine neu entwickelte Aufsatz-Düse ist das Ergebnis des gemeinsamen Forschungsprojektes zwischen der Hochschule Esslingen und der GMB Kunststoffteile GmbH. Bei ihr ragt das Kunststoffbauteil in die Düse hinein, ein seitliches Abströmen des Prozessgases wird damit vermieden. Dies ermöglicht eine kontrollierte Strömungskinematik und ein homogenes Aufschmelzen des Schweißstegs. Dadurch können auch Schwankungen in den Bauteilmaßen durch tieferes Aufschmelzen und größere Fügewegen bes-

ser ausgeglichen werden. Gleichzeitig können durch das effiziente Erwärmen höhere Temperaturen erreicht werden, was den Prozess auch für technische Kunststoffe mit hohen Schmelztemperaturen wie PPA interessant macht.

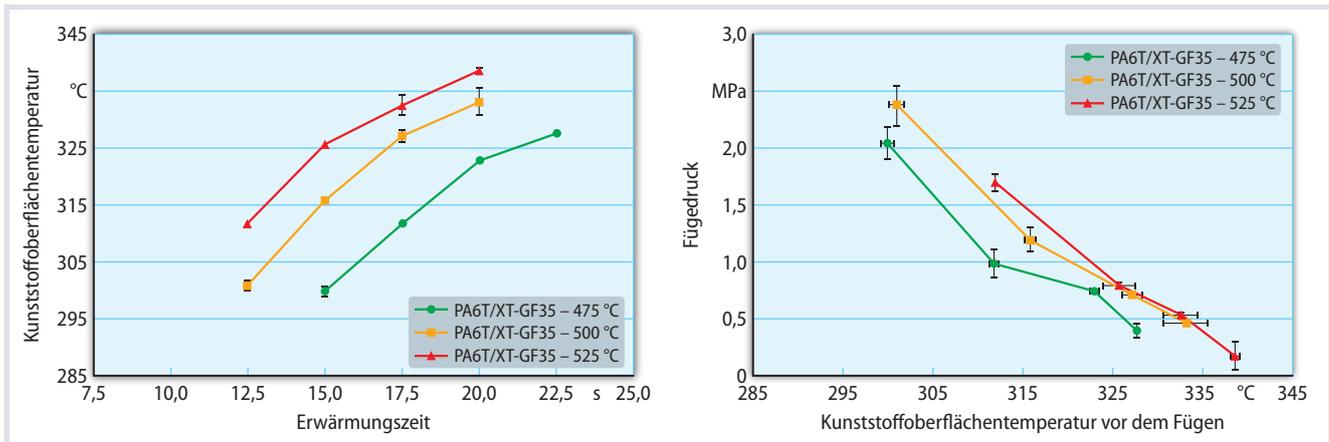
Aufgrund des optimierten Strömungsprofils kann die Aufsatz-Düse den Erwärmungsvorgang bei den untersuchten Werkstoffen um bis zu 60% reduzieren. Hierbei werden reproduzierbare, robuste und gegenüber den Rund-Düsen insbesondere bei längeren Schweißkonturen gleichmäßigere Schweißnahtfestigkeiten erzielt. Dies führt neben einer kürzeren Zykluszeit zu einer Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs und damit zu einer Optimierung der Prozesskosten [5].

### Aufsatz-Düse im Praxistest

Auf einer Heißgasschweißanlage (Typ: VDP 2012, Hersteller: KVT Bielefeld GmbH), welche mit Drucksensoren und einem IR-Kamera-System ausgestattet ist, werden Platten aus glasfaserverstärkten Polyamiden und Polyphthalamid ge-



**Bild 1.** Auf den Rund-Düsen ist die Aufsatz-Düse angebracht © Hochschule Esslingen



**Bild 2.** Einfluss der Erwärmungszeit auf die Kunststoffoberflächentemperatur (links) und Zusammenhang zwischen Kunststoffoberflächentemperatur und Fügedruck bei einem PA 6T/XT-GF35 mit Temperatur des Heißgaswerkzeugs von 475 °C, 500 °C und 525 °C. Quelle: Hochschule Esslingen; Grafik: © Hanser

schweißt (Bild 1). An diesen Werkstoffen wird der Einfluss der Temperatur und der Erwärmungszeit auf die Oberflächentemperatur und auf den Fügedruck untersucht. Die Schweißungen werden anschließend anhand der erreichten Schweißnahtfestigkeiten in Zugversuchen qualifiziert. Der Einfluss der Prozessparameter wird an drei Werkstoffen untersucht. Für die Versuche wurden ein PA 6-GF40 (Typ: Zytel 73G40HSLA BK416LM), ein PA 66-GF35 (Typ: Zytel 70G35HSLR BK416LM) und ein PA 6T/XT-GF35 (Typ: Zytel HTN51G35HSL BK083) von der DuPont de Nemours (Deutschland) GmbH bereitgestellt.

Die Versuche zeigen, dass die Oberflächentemperatur mit steigender Erwärmungszeit steigt (Bild 2). Zusätzlich verdeutlichen die Versuche den Einfluss der Temperatur des Heißgaswerkzeugs und der sich damit ergebende Gastemperatur auf die erreichbare Kunststoffoberflächentemperatur. Des Weiteren zeigt sich bei den untersuchten Werkstoffen, dass der Fügedruck nach dem Erreichen der gewünschten Schweißtiefe mit steigender Kunststoffoberflächentemperatur sinkt (Bild 2). Erklärt werden kann dies durch eine größere Aufschmelztiefe im Kunststoff, die wiederum führt zu einem geringeren, notwendigen Fügedruck bei gleichbleibender Schweißtiefe.

Untersuchungen der Zugfestigkeit der drei geschweißten Werkstoffe (PA 6-GF40, PA 66-GF35 und PA 6T/XT-GF35) zeigen, dass die Oberflächentemperatur eine Aussage über die erreichbare Schweißnahtfestigkeit der Fügeverbindung zulässt (Bild 3). Wird die Oberflächentemperatur über- oder unterschrit-

ten, nimmt die Schweißnahtfestigkeit ab. Eine Oberflächentemperatur zwischen 235 °C und 280 °C führt bei einem PA 6-GF40 zu mittleren Schweißnahtfestigkeiten von über 68 MPa. Bei einem PA 66-GF35 werden bei Oberflächentemperaturen zwischen 285 °C und 300 °C mittlere Schweißnahtfestigkeiten von über 66 MPa erreicht. Die Untersuchungen an dem PA 6T/XT-GF35 zeigen, dass eine Oberflächentemperatur zwischen 300 °C und 325 °C zu mittleren Schweißnahtfestigkeiten von über 54 MPa führt.

Ein weiterer Prozessparameter ist der Fügedruck beim Erreichen der gewünschten Schweißtiefe (Bild 4). Bei einem PA 6-GF40 ( $T_{\text{Melt}} = 220\text{ °C}$ ) werden bei einem Fügedruck zwischen 0,05 MPa und 0,8 MPa mittlere Schweißnahtfestigkeiten von über 69 MPa erreicht. Fügedrücke zwischen 0,3 MPa und 0,95 MPa führen bei einem PA 66-GF35 ( $T_{\text{Melt}} = 263\text{ °C}$ ) zu mittleren Schweißnahtfestigkeiten von über 70 MPa. Bei einem PA 6T/XT-GF35 ( $T_{\text{Melt}} = 300\text{ °C}$ ) führen Fügedrücke zwi-

schen 1,0 MPa und 2,5 MPa am Bauteil zu mittleren Schweißnahtfestigkeiten über 54 MPa.

Die Versuche zeigen, dass die Kunststoffoberflächentemperatur von der Erwärmungszeit und der Temperatur des Heißgaswerkzeugs abhängen. Im Allgemeinen steigt die Oberflächentemperatur mit zunehmender Erwärmungszeit. Die Temperatur des Heißgaswerkzeugs beeinflusst die Aufheizrate des Kunststoffes. Des Weiteren hängt der Fügedruck nach dem Erreichen der gewünschten Schweißtiefe mit der vorhandenen Kunststoffoberflächentemperatur zusammen. Höhere Kunststoffoberflächentemperaturen führen zu einer niedrigeren Viskosität im Kunststoff und damit zu geringeren Fügedrücken. Die Aufsatzdüse ermöglicht ein breites Prozessfenster hinsichtlich der einstellbaren Fügetemperaturen und Fügedrücken bei gleichzeitig stabilen und reproduzierbaren Schweißnahtfestigkeiten (Tabelle 1). Das Prozessfenster ist bezüglich der Fügetempe- ➤

ERGE Elektrowärmetechnik - Franz Messer GmbH  
 91220 Schnaittach - Hersbrucker Straße 29-31  
 Tel. +49/9153/921-0 Fax +49/9153/921-117  
 www.erge-elektrowaermetechnik.de  
 mail: verkauf@erge-elektrowaermetechnik.de

**Besuchen Sie uns in Halle A6, Stand 6301**

HEIZEN - HEATING - CHAUFFAGE

REGELN - CONTROLLING - REGLAGE

TROCKNEN - DRYING - SECHAGE

ELEKTROWÄRMETECHNIK FRANZ MESSER GMBH

ratur für das PA 6-GF40 deutlich größer im Vergleich zu dem PA 66-GF35 und dem PA 6T/XT-GF35. Ferner zeigen die Untersuchungen, dass der benötigte Fügedruck vom Werkstoff abhängt.

### Heißgasschweißen neu gedacht

Schlechte Kontrollierbarkeit und Reproduzierbarkeit der Oberflächentemperatur bei der Rund-Düse sowie lange Erwärmungszeiten haben den Denkanstoß zur Entwicklung einer Aufsatz-Düse gegeben. Prinzipiell sind lange Erwärmungszeiten ein oft genannter Nachteil des Heißgasschweißens, weshalb bis dato oft nur darauf zurückgegriffen wird, wenn kein anderes Schweißverfahren zum gewünschten Ergebnis führt oder partikelfreie Bauteile gefordert sind.

Die Aufsatz-Düse ermöglicht bei Standardwerkstoffen wie PA 6 und PA 66 ein breiteres, einstellbares Prozessfenster, kürzere Erwärmungszeiten und führt somit, neben signifikanten wirtschaftlichen

## Die Autoren

**Johannes Schmid, M.Sc.**, **Dennis F. Weißer, M.Sc.**, und **Dennis Mayer, M.Eng.**

sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Bereich Kunststofftechnik der Fakultät Maschinen und Systeme an der Hochschule Esslingen

**Günter Böhler** ist Geschäftsführer und Gründer der GMB Kunststoffteile GmbH

**Steffen Böhler** ist Geschäftsführer der GMB Kunststoffteile GmbH

**Dr.-Ing. Andreas K. Müller** ist bei der DuPont de Nemours GmbH in der Verarbeitungs- und Anwendungstechnik tätig.

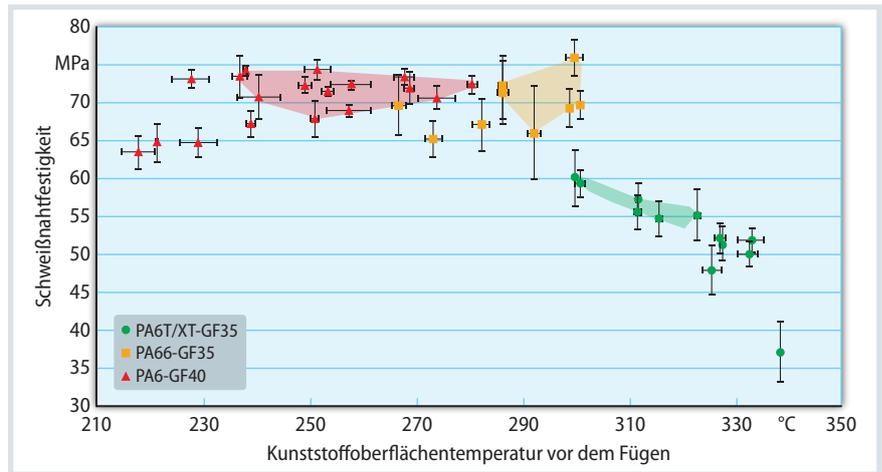
**Prof. Dr.-Ing. Matthias H. Deckert** leitet den Bereich Kunststofftechnik an der Hochschule Esslingen

Gefördert wird das Forschungsprojekt (Förderkennzeichen: ZF4166303FH8) durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

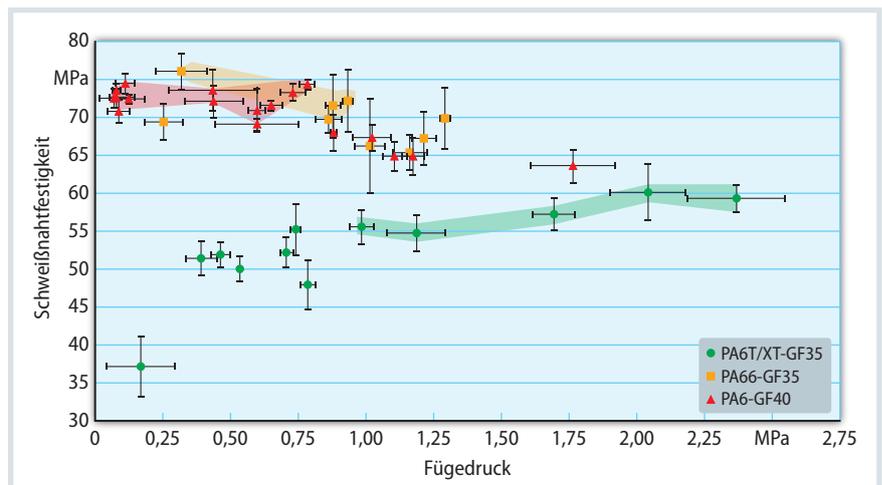
## Service

### Literatur & Digitalversion

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



**Bild 3.** Einfluss der Kunststoffoberflächentemperatur auf die Schweißnahtfestigkeit. Die Hüllkurven zeigen die Temperaturbereiche, in welchen die höchsten mittleren Schweißnahtfestigkeiten für den jeweiligen Werkstoff erreicht werden. Quelle: Hochschule Esslingen; Grafik: © Hanser



**Bild 4.** Einfluss des Fügedrucks nach dem Erreichen der Schweißtiefe auf die Schweißnahtfestigkeit. Die Hüllkurven zeigen die Fügedruckbereiche, in welchen die höchsten mittleren Schweißnahtfestigkeiten für den jeweiligen Werkstoff erreicht werden. Quelle: Hochschule Esslingen; Grafik: © Hanser

Vorteilen, zu größerer Akzeptanz des Heißgasschweißens. Darüber hinaus eröffnen sich neue Möglichkeiten zum Schweißen von technischen Kunststoffen mit hohen Schmelztemperaturen wie beispielsweise PPA, welche bisher nur bedingt mittels Heißgasschweißen gefügt werden konnten. Durch die neue Düsen-

generation wird das Heißgasschweißverfahren auf eine neue Entwicklungsstufe angehoben. Durch die wirtschaftliche sowie ressourcenschonende Fertigung lassen sich neue Anwendungen in zahlreichen Zukunftstechnologien wie beispielsweise der Elektromobilität erschließen. ■

Werkstoff	PA 6-GF40	PA 66-GF35	PA 6T/XT-GF35
Schmelztemperatur [°C]	220	263	300
Fügetemperatur [°C]	235 bis 280	285 bis 290	300 bis 325
Fügedruck [MPa]	0.05 bis 0.80	0.3 bis 1.0	1.0 bis 2.5
erreichbare Schweißnahtfestigkeiten [MPa]	69 bis 74	70 bis 76	54 bis 60

**Tabelle 1.** Übersicht sinnvoller Prozessparameter, um den jeweiligen Werkstoff prozesssicher mittels Heißgasschweißen zu fügen. Quelle: Hochschule Esslingen