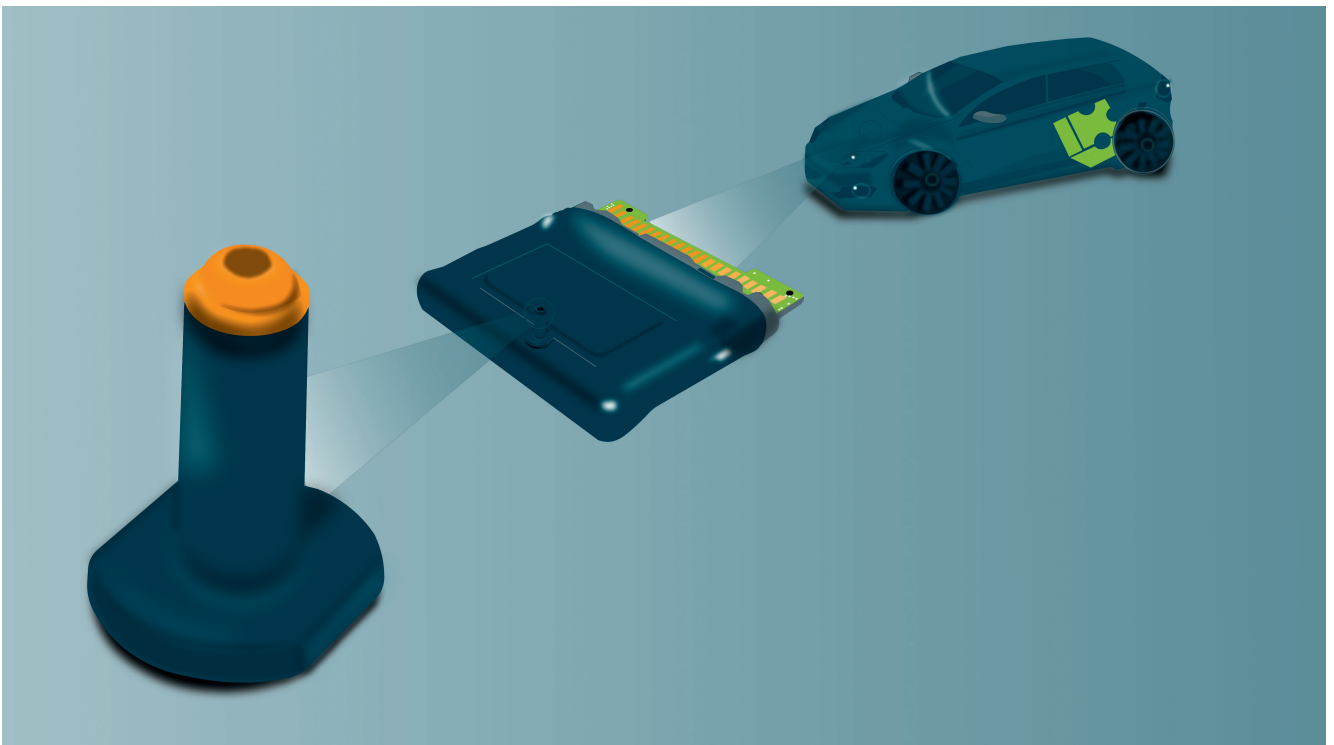


Höhere Prozesssicherheit durch Anpassung der Herstellungsparameter

Mit der richtigen Auslegung zur sicheren Verbindung

In einem Forschungsprojekt von IKV und KTP wurden die Einflussfaktoren geometrischer und Prozessparameter auf die Sicherheit der Verbindung bei der Duroplast-Direktverschraubung analysiert. Die Forschungsergebnisse belegen, dass neben der geometrischen Auslegung die Herstellungsparameter weiteres Optimierungspotenzial für die Verschraubungssicherheit bieten. Die Kompaktierung und der Vernetzungsgrad der Bauteile haben hierbei den größten Einfluss.



Einhausungen aus Duroplasten schützen sensible Sensorik zum Beispiel in Automobilen vor Außeneinflüssen. Die Direktverschraubung ermöglicht eine sichere Befestigung der Baugruppe. © IKV

Durch ihr Eigenschaftsspektrum gewinnen Duroplaste im Rahmen der zunehmenden Elektrifizierung und der steigenden Leistungsdichte im Automobilbau zunehmend an Bedeutung. Nicht zuletzt, weil sie aufgrund der Vernetzung über einen großen Temperaturbereich nahezu konstante mechanische Eigenschaften aufweisen und sehr gute elektrische Isolationseigenschaften besitzen [1–3]. Die oftmals hohen Füllstoffanteile von ca. 80 Gew.-% führen

weiterhin zu einer sehr geringen Schwindung, sodass enge Toleranzen eingehalten werden können [4–5]. Zudem weisen Duroplaste im Gegensatz zu Thermoplasten einen ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie Stahl auf und zeigen kein Kriechen, sodass sie sich in besonderer Weise für Verschraubungen eignen [6].

Das Verschrauben als Fügeverfahren zeichnet sich neben der Möglichkeit, den Prozess vollautomatisch und somit

wirtschaftlich auszulegen, dadurch aus, dass die Verbindung reversibel ist. Weiterhin kann eine Vorspannkraft aufgebaut werden, die es ermöglicht, die Fügepartner gegen ein Verrutschen zu sichern. Aus wirtschaftlicher Sicht ist zudem der Einsatz von gewindschneidenden Schrauben zur Direktverschraubung erstrebenswert, da der zusätzliche Handlungsschritt zum Platzieren eines Metallinserts entfällt und die damit einhergehende Gefahr der

Werkzeugbeschädigung vermieden wird.

Bis heute existieren allerdings keine Richtlinien zur Auslegung von Einschraubdomen und Direktverschraubungen für duroplastische Formmassen [7]. Aus diesem Grund orientiert sich die Auslegung derzeit an den Richtlinien für Thermoplaste, deren Materialverhalten sich allerdings grundlegend von Duroplasten unterscheidet [8]. So ergeben sich große Unterschiede in der Verarbeitung, im thermo-mechanischen Verhalten sowie in der Spanbildung. Dies führt dazu, dass umfangreiche Versuchsreihen notwendig sind, um eine ausreichende Prozesssicherheit zu gewährleisten.

Ziel gemeinsamer Untersuchungen am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV), Aachen, und der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) ist es, für die Direktverschraubung in duroplastische Bauteile eine optimierte Geometrie des Einschraubdoms zu erarbeiten sowie Erkenntnisse über das Material- und Versagensverhalten zu gewinnen. Auf Basis systematischer Untersuchungen werden Gestaltungshinweise entwickelt, die es den Anwendern ermöglichen, ihre Entwicklung besser abzusichern (Bild 1).

Ermittlung des Drehmoments gewährleistet sicheres Einschrauben

Für die Direktverschraubung in spröden Kunststoffen, etwa Duroplasten, werden Spezialschrauben mit Schneidelementen eingesetzt [8]. Das Gewinde wird während der Montage spanend erzeugt. Um die Verschraubungen reproduzierbar zu machen, wird der Montageprozess über das Drehmoment geregelt. Aus dem zum Schneiden des Gewindes notwendigen Eindrehmoment und dem beim Versagen der Verschraubung auftretenden Überdrehmoment lässt sich ein Differenzmoment ermitteln. Um eine sichere Verschraubung zu garantieren, ist ein großes Differenzmoment erforderlich, weil nur dann ein ausreichender Abstand zum Versagen der Verschraubung gegeben ist.

Die Einschraubdom-Probekörper werden aus einem Phenolharz (Typ: PF 1110; Hersteller: Bakelite GmbH) mit einem Füllstoffanteil von 80 Gew.-% Glasfasern und Glaskugeln hergestellt. Die verwendeten Schrauben mit

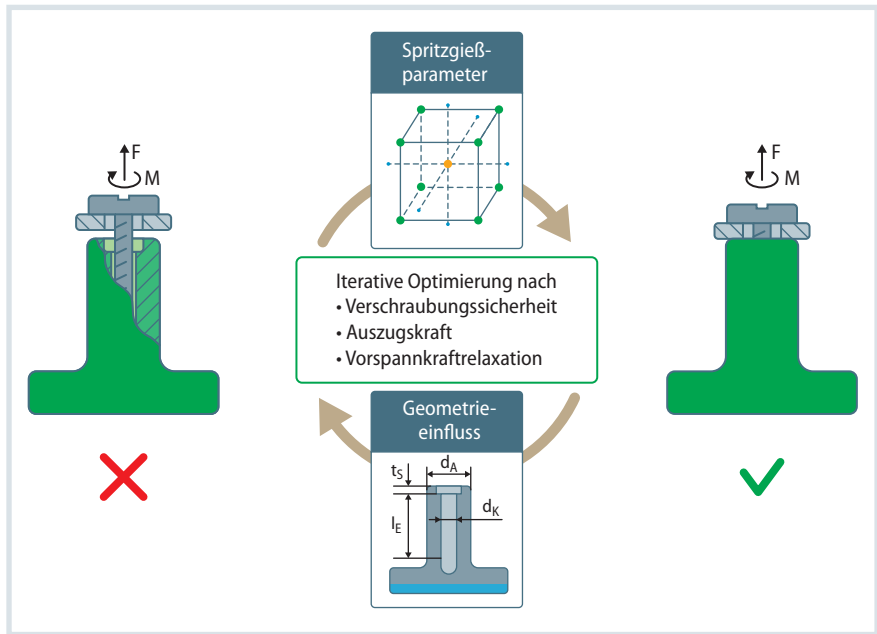


Bild 1. Um die Einflüsse auf die Direktverschraubung in duroplastische Formmassen besser zu verstehen, wird die Verbindung in einem iterativen Prozess ausgelegt und optimiert.

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Schneidnut (Typ: Delta PT-DS; Hersteller: Ejot GmbH) werden mit einem Stab-schrauber (Typ: ERS 12EL; Hersteller: Desoutter GmbH) eingedreht. Dazu wird eine konstante Schraubenanpresskraft von 75 N und eine konstante Einschraubdrehzahl von 50 U/min eingestellt. Die Verschraubungssicherheit wird anhand der Einschraubwerte (Eindreh- und Überdrehmoment) sowie der Auszugskraft bewertet, die über eine Zugprüfung ermittelt wird. Um das Eindreh- und Überdrehmoment zu bestimmen, werden für jeden Versuchspunkt jeweils

fünf Probekörper, für die Zugprüfung drei Probekörper getestet.

Geometrie beeinflusst Flankeneingriff und Verschraubungssicherheit

Um den Einfluss der Geometrie des Einschraubdoms auf die Drehmomente sowie die Auszugskraft zu ermitteln, werden der Außendurchmesser d_A , der Kernlochdurchmesser d_K , die Entlastungsbohrungstiefe t_s sowie die Einschraublänge l_E in jeweils drei Stufen variiert (Bild 2). Diese Parameter

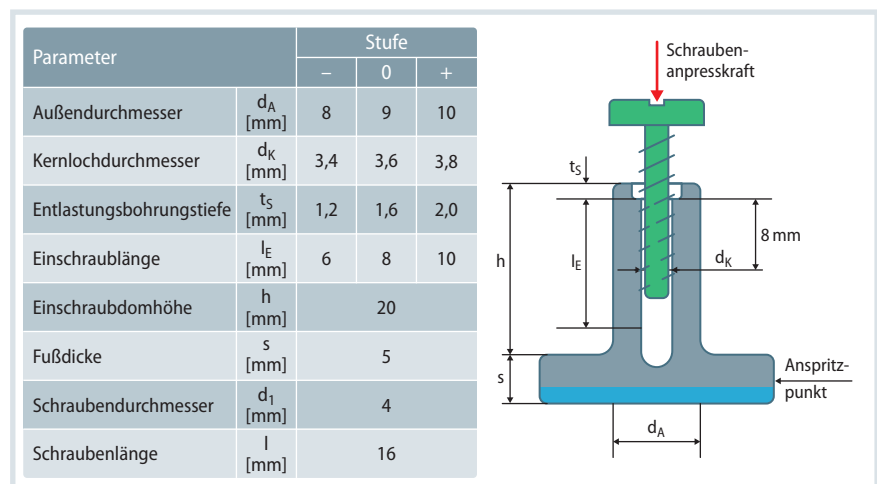


Bild 2. Skizze des Einschraubdoms mit den varierten Geometrieparametern. Ein modulerer Werkzeugaufbau ermöglicht die Analyse der unterschiedlichen Domgeometrien.

Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

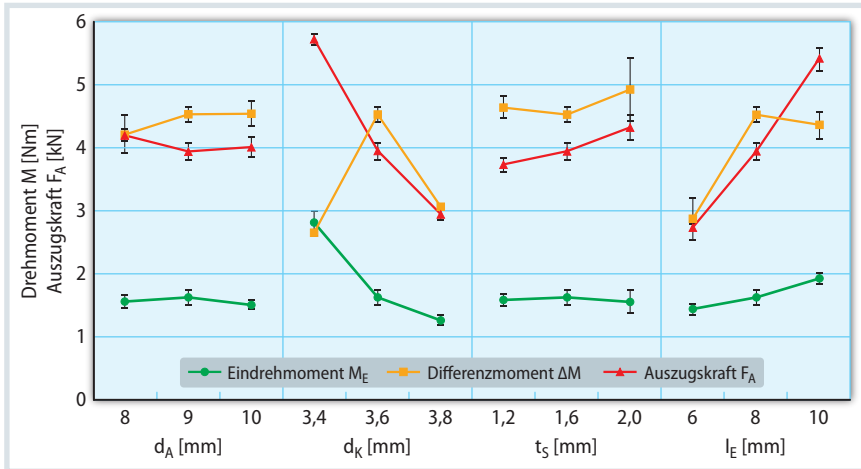


Bild 3. Einfluss der Geometrieparameter: Ein hohes Differenzmoment sorgt für einen ausreichenden Abstand zum Versagen der Verschraubung und damit für eine höhere Verschraubungssicherheit. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Info

Text

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann

ist Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen und Leiter des dortigen Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV).

Maximilian Kramer, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IKV und Leiter der Arbeitsgruppe Sonderwerkstoffe; maximilian.kramer@ikv.rwth-aachen.de

Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer ist Inhaber des Lehrstuhls für Kunststofftechnologie und Leiter der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) an der Universität Paderborn; elmar.moritzer@ktp.upb.de

Christian Held, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der KTP.

Dank

Das IGF-Forschungsvorhaben 20222 N der Forschungsvereinigung Kunststoffverarbeitung wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

offenbaren in Vorversuchen den größten Einfluss auf die Verschraubungswerte. Anschließend wurden die Ergebnisse der Analysen ausgewertet (**Bild 3**).

Die Variation des Außendurchmessers lässt keinen Einfluss auf das Eindreihmoment erkennen. Bei Betrachtung des Differenzmoments zeigt sich, dass ein größerer Außendurchmesser höhere Werte erzielt und dass die Standardabweichung für den mittleren Außendurchmesser am geringsten ist. Dies entspricht einer besseren Reproduzierbarkeit der Verschraubung. Die Auszugskraft weist für die größeren Außendurchmesser geringere Werte auf: 3,9 kN bei 9 mm bzw. 4,0 kN bei 10 mm im Vergleich zu ca. 4,2 kN bei 8 mm. Grund hierfür könnte der höhere Vernetzungs-

grad des Einschraubtubus beim kleinsten Außendurchmesser sein, da bei diesem die Wanddicke am geringsten ist und somit bei konstanter Vernetzungszeit ein höherer Vernetzungsgrad erreicht wird.

Mit zunehmendem Kernlochdurchmesser sinken Eindreihmoment sowie Auszugskraft ab. Beide Beobachtungen können mit dem in dieser Versuchsreihe abnehmenden Flankeneingriff der Schraube begründet werden. Der Einfluss auf das Differenzmoment zeigt einen nichtlinearen Zusammenhang. Sowohl mit dem kleineren als auch mit dem größeren Kernlochdurchmesser werden deutlich geringere Differenzmomente (2,7 bzw. 3,1 Nm) erzielt als mit dem mittleren (4,5 Nm). Begründen lässt sich dies mit dem geringen Flankeneingriff bei einem großen Kernlochdurchmesser. Ein kleiner Kernlochdurchmesser bewirkt hingegen durch die große Flankenüberdeckung größere Radialspannungen, die zu einem geringeren Differenzmoment führen.

Reproduzierbarkeit der Verschraubung

Die Entlastungsbohrungstiefe hat keinen Einfluss auf die Drehmomente. Lediglich die tiefste Entlastungsbohrung zeigt ein höheres Differenzmoment. Allerdings tritt eine erhöhte Standardabweichung auf, sodass die Reproduzierbarkeit der Verschraubung verringert wird. Die Auszugskraft nimmt mit der Vertiefung der Entlastungsbohrung leicht zu.

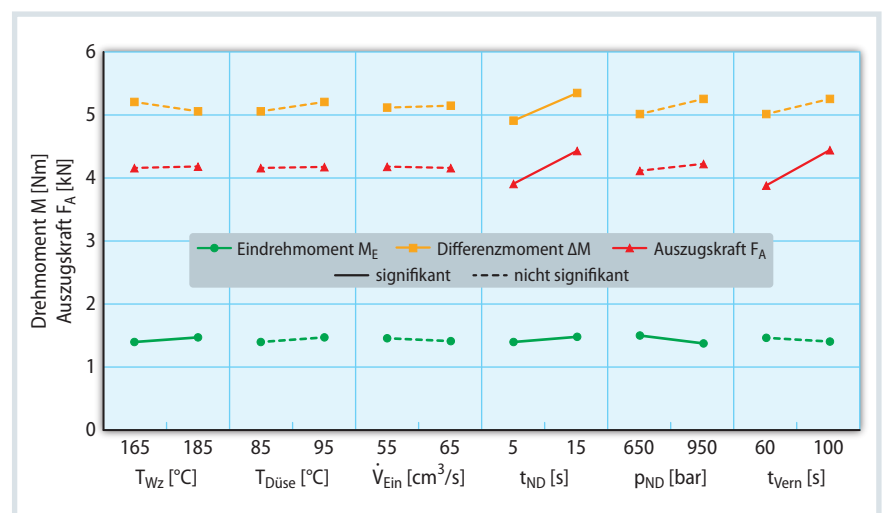


Bild 4. Auswertung der Signifikanzanalyse: Den größten Einfluss auf die Verschraubungsqualität hat die Nachdruckphase sowie die sich anschließende Vernetzungszeit. Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Faktor	Einheit	Stufe		
		-	+	
Werkzeugtemperatur	T_{Wz}	[°C]	165	185
Düsentemperatur	$T_{Düse}$	[°C]	85	95
Einspritzvolumenstrom	\dot{V}_{Ein}	[cm ³ /s]	55	65
Nachdruckzeit	t_{ND}	[s]	5	15
Nachdruck	P_{ND}	[bar]	650	950
Vernetzungszeit	t_{Vern}	[s]	60	100

Tabelle 1. Faktoren und Stufen der Spritzgießversuche (Material: PF 1110).

Quelle: IKV

Die Einschraubtiefe beeinflusst das Eindrehmoment nur geringfügig. Das höchste Differenzmoment mit der geringsten Standardabweichung wird bei einer Einschraublänge von 8 mm erzielt. Da mit zunehmender Einschraublänge mehr Gewindegänge die Kraft aufnehmen können, nimmt die erreichbare Auszugskraft der Verschraubung deutlich – nahezu linear – zu.

Spritzgießparameter optimieren die Verschraubungsqualität weiter

Insgesamt zeigt die Variation der Geometrie, dass die sicherste Verschraubung jeweils für die mittlere Stufe erreicht wird, sodass diese für die nachfolgende Variation der Spritzgießparameter verwendet wird. Anhand eines vollfaktoriellen 2⁶-Versuchsplans wird untersucht, ob die Vernetzung und Füllstofforientierung die Verschraubungssicherheit beeinflussen. Dazu werden die Prozessparameter variiert (Tabelle 1), die beim Duroplastspritzgießen einen großen Einfluss auf das Materialverhalten haben [9]. Die Werte der Parameterstufen werden basierend auf den Datenblättern und durchgeführten Vorversuchen gewählt.

Die Ergebnisse der Signifikanzanalyse für den Einfluss der Spritzgießparameter auf das Eindrehmoment, das Differenzmoment und die Auszugskraft werden grafisch zusammengefasst (Bild 4). Das Eindrehmoment fällt mit zunehmender Werkzeugtemperatur signifikant höher aus. Aufgrund des höheren Vernetzungsgrads wird ein größeres Moment benötigt, um das Gewinde zu schneiden. Dadurch nehmen die Radialspannungen während der Verschraubung zu, wodurch die Gefahr des Aufplatzens steigt. Auch eine stärkere Kompaktierung des Materials durch eine längere Nachdruckzeit bewirkt ein höheres Eindrehmoment.

Höherer Vernetzungsgrad gleichbedeutend mit höherer Festigkeit

Die weitere Analyse zeigt, dass lediglich eine lange Nachdruckzeit das Differenzmoment

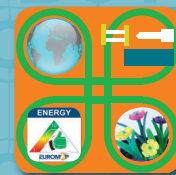
und damit die Verschraubungssicherheit signifikant erhöht. Durch die längere Nachdruckwirkung wird ebenfalls das Material am Fließwegende stärker kompaktiert und hält an dieser Stelle höhere Drehmomente aus. Dementsprechend werden höhere Differenzmomente erzielt.

Eine verlängerte Nachdruckzeit und daraus resultierend eine verbesserte Kompaktierung des Materials führt zu einer signifikanten Erhöhung der Auszugskraft. Ebenso führt eine Verlängerung der Vernetzungszeit zu höheren Auszugskräften. Als Begründung kann erneut das Vernetzungsverhalten der Duroplaste angeführt werden. Eine längere Vernetzungszeit am Ende der Nachdruckphase bewirkt, dass ein höherer Vernetzungsgrad erreicht wird, der wiederum höhere Festigkeiten bedingt.

Resümee für die Verschraubungsqualität

Eine werkstoff- und spritzgießgerechte Auslegung des Einschraubdoms beeinflusst die Bauteilkonstruktion wesentlich mit. Die Analyse der Geometrieparameter zeigt, dass der Kernlochdurchmesser und die Einschraublänge des Verschraubungsdoms den größten Einfluss auf die Verschraubungsqualität ausüben. Dabei sollte mit einer Reduktion des Kernlochdurchmessers der Außendurchmesser vergrößert werden, um den ansteigenden radialen Spannungen im Einschraubdom standzuhalten.

Mithilfe einer werkstoffgerechten Herstellung der Verschraubungsdoms lässt sich zudem die Verschraubungssicherheit erhöhen, die über die Einstellung der Werkzeugtemperatur, der Nachdruckzeit sowie der Vernetzungszeit noch verbessert werden kann. In weiteren Untersuchungen soll der Fokus auf die Langzeitfestigkeit der Verschraubung gelegt werden. Dazu wird der Einfluss der Spritzgießparameter und der Bindahtausbildung auf das dynamische Verhalten der Verbindung untersucht. ■



Circular Economy



- ✓ **Ressourcenschonende Konstruktion**
- ✓ **Energieeffiziente, innovative Technologien**
- ✓ **Nachhaltig durch langjährige Einsatzdauer**
- ✓ **Angussloses Spritzgießen zur Abfallvermeidung**
- ✓ **Prädestiniert für die Produktion langlebiger Kunststoffteile**



10. - 12. Mai 2022
Halle 5 / Stand L5
Rheda-Wiedenbrück

Dr. Boy GmbH & Co. KG

Tel.: +49(0) 2683 307-0

E-Mail: info@dr-boy.de

www.dr-boy.de