CUSTOMIZED POLYMER MATERIALS

Wir liefern technische Lösungen

Verschrauben in Carbonfaser-Thermoplast-Bauteile – Immer eine (Korrosionschutz-) Herausforderung?

In Kooperation mit baier&michels

LEHVOSS Group

Kunststoffe jeglicher Art umgeben uns im täglichen Leben. Sei es in Form anspruchsvoller technischer Teile oder Baugruppen im Innern von Geräten und Maschinen oder als Sichtteile, zum Beispiel als Gehäuse. In vielen Fällen müssen Bauteile verbunden und hierfür Verbindungstechniken eingesetzt werden, die ein zerstörungsfreies trennen der Bauteile ermöglichen. Einerseits, um erforderlich Reparaturaufgaben erfüllen zu können und andererseits, um dem Grundgedanken der Nachhaltigkeit, durch möglichst sortenreine Trennung verschiedener Stoffe, Rechnung zu tragen. Schraubverbindungen ermöglichen das Erreichen beider Ziele, bringen aber in einigen Fällen auch technisch Herausforderungen mit sich.

Für die mehrfache De- und Remontage kommen vielfach eingebettete oder umspritzte Gewindeeinsätze in Kunststoffteilen zum Einsatz. Diese erlauben die Verwendung metrischer Schrauben und das Lösen und wieder Verschrauben der Verbindung ist theoretisch beliebig oft möglich. Ähnlich ist dies mit eingelegten Muttern umsetzbar, die jedoch häufig nicht verliersicher im Bauteil platziert sind. In beiden Fällen müssen zwei Verschraubungsteile konfektioniert werden. Eine ausschließlich eingelegte Mutter ist eine Fehlerquelle (verlieren), eingebettete Bauteile müssen für die stoffliche Wiederverwertung des Kunststoffs separiert werden. Das Einbetten von Gewindeelementen als nachgelagerter Arbeitsgang geht immer mit erhöhten Kosten einher. Teilweise wirken auch die einzuhaltenden Toleranzen in nachgelagerten Prozessen limitierend. Daher haben sich über Jahrzehnte hinweg kunststoffgerechte Schrauben etabliert, die eine direkte Verschraubung in eine vorgeformte Bohrung zulassen. Hierbei spielt es in der Regel keine Rolle mit welchen Stoffen der Kunststoff gefüllt und/oder verstärkt ist. Bis auf eine bedeutende Ausnahme: Hochfeste Werkstoffe mit Carbonfaserverstärkung lassen sich mit konventionellen, kunststoffgerechten Schrauben in der Regel nicht verschrauben! Zumindest erfüllen solche Verschraubungen bei einem C-Faser-Gehalt ab ca. 15% nicht die üblichen Anforderungen.

Die LEHVOSS Gruppe ist ein führender Entwickler und Hersteller von carbonfaserverstärkten (CF) thermoplastischen Kunststoffen und ist hierzu immer wieder mit Fragestellungen zu Kunststoffdirektverschraubung konfrontiert. Konstrukteure stoßen regelmäßig an technische Grenzen. Verbindungslösungen in Materialien mit hohen Carbonfaseranteilen von bis zu 50% gelten als nicht prozesssicher mittels Kunststoffdirektverschraubung realisierbar. Die vorliegende Untersuchung, die in enger Zusammenarbeit mit baier&michels umgesetzt wurde, widerlegt dies nun eindrücklich.

Für die Konstrukteure im Premium-Automobilsegment, der Luftfahrtindustrie, von Maschinenkomponenten, aber auch im Sport und Outdoor-Anwendungen ergaben sich teilweise erhebliche technische Herausforderungen.
So sollen beispielsweise Fahrradkomponenten und -zubehöre, Teile für Wassersportgeräte und den Modellsportbereich (z.B. Fahrzeuge und Flugzeuge), Drohnen, sowie Bauteile für Foto- und Filmausrüstungen maximale Festigkeiten aufweisen und gleichzeitig gewichtsoptimiert sein. Hier kommen in vielen Fällen die Carbonfasercompounds der Produktlinien LUVOCOM® CF und LUVOCOM® XCF von LEHVOSS zum Einsatz. Verschraubungen sind in vielen Fällen obligatorisch. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die LUVOCOM XCF-Werkstoffe, die im Vergleich zu konventionellen Carbonfasercompounds, deutlich höhere Festigkeiten, Steifigkeiten und gleichzeitig Schlagzähigkeiten erreichen.

Aus Anwendersicht ist eine Direktverschraubung auch für CF-Werkstoffe erste Wahl. Hier treten jedoch bedeutende Herausforderungen zutage:

1. Carbonfasercompounds sind aufgrund höherer Volumenfüllgrade oft abrasiver als glasfaserverstärkte Polymere. Das Schraubengewinde muss den Einschraubvorgang überstehen.

2. **Elektrochemische Korrosion** von Metallen in Kontakt mit Carbonfasern kann konventionelle Schrauben binnen kürzester Zeit zerstören (Kontaktkorrosion). Dieser Effekt wird durch das Vorliegen von Elektrolyten (z.B. Salzwasser) deutlich beschleunigt. Selbst Verbindungselemente aus hochlegierten Stählen A2 und A4 bieten hier nur unzureichenden Korrosionsschutz.

3. Jegliches Auftragen von Schraubenbeschichtungen für den **Korrosionsschutz ist wirkungslos**. Die reibende C-Faser würde diese beim Einschrauben zerstören.

4. Die eingesetzte **Schraube muss eine ausreichend hohe Festigkeit aufweisen**, um die in der Regel hohen Anziehmomente zu ertragen. Verbindungselemente aus „edleren" Werkstoffen, wie z.B. Titan, wären hier oftmals die einzige Lösung. Diese haben jedoch, neben einem extrem hohen Preis (Faktor 100 gegenüber Stahl), auch noch einen weiteren Nachteil. Bedingt durch eine vergleichsweise geringe Festigkeit gegenüber Stahl bedarf es einer größeren Dimensionierung. Letztlich eignen sich Schrauben aus diesem Werkstoff nicht für eine Direktverschraubung in CFK-Bauteile, da die Gewindespitzen nicht über eine ausreichende Festigkeit verfügen. Im Querschliff Schraube/Dom [Bild 1a, 1b] lässt sich erkennen, dass der Gewindegang der b&m-CARBONPLAST®-Schraube nach dem Schraubvorgang vollständig vorhanden ist.

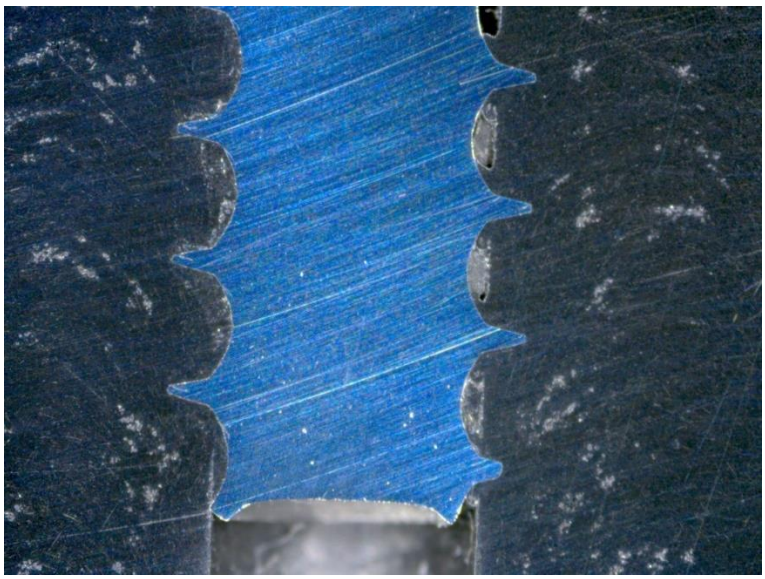


Bild 1a Schaubenende: b&m-CARBONPLAST® 5x20 in PEEK-XCF30 mit Kernloch-Ø4,0 mm (1° konisch – gewindefurchender Bereich)

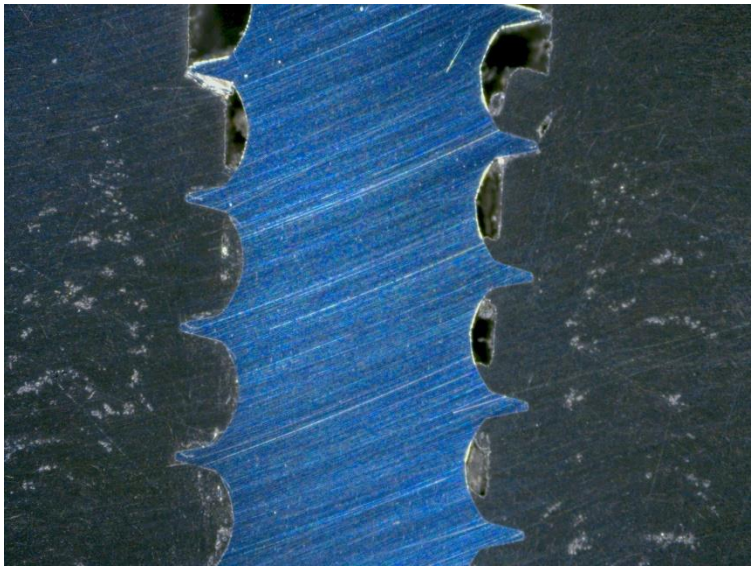


Bild 1b Kopfbereich Schraubdom: b&m-CARBONPLAST 5x20 in PEEK-XCF30 mit Kernloch-Ø4,0mm (1° konisch – tragender Bereich)

Um für diese Fälle gerüstet zu sein, wurden drei LUVOCOM-CF-Hochleistungscompounds [Tabelle 1] hinsichtlich deren Verschraubungseigenschaften untersucht. Als Schraube kam hierbei eine b&m-CARBONPLAST®-Schraube zum Einsatz.
Entscheidend ist, dass der Verschraubungscharakter zunächst nur durch Variation des Polymers verändert wird, da sich je nach Polymer das Abgleiten der Schraubenoberfläche an der Kontaktfläche zum Kunststoff ändern kann. Bei einem gewählten Carbonfasergehalt von je 30 Gew.%, wäre in der Fügestelle in jedem Fall mit Korrosionseffekten zu rechnen. Die untersuchten Werkstoffe sind repräsentativ für viele Endanwendungen.

ISO Type	Product	Description
PA 66-CF30	LUVOCOM 1/XCF/30	PA 66 with eXtra high strength CF
PPS-CF30	LUVOCOM 1301/XCF/30/EG	PPS with eXtra high strength CF
PEEK-CF30	LUVOCOM 1105/XCF/30	PEEK 66 with eXtra high strength CF

Tab.1: Verwendete Carbonfasermaterialien

Versuchsaufbau und -durchführung:

- Zunächst wurde eine Versuchsreihe mit gespritzten Tuben mit Kernloch-Ø4,0 mm (1° Konizität untersucht.
- In der zweiten Versuchsreihe wurden die Kunststofftuben mit einer konischen Reibahle (1°) auf Ø4,2 mm (größter Durchmesser) aufgerieben.
- Alle Schrauben wurden vor den Einschraubversuchen vermessen und entsprachen den Toleranzvorgaben.
- Eingeschraubt wurde bis Verbindungsversagen (MV) in Tuben mit Kernloch-Ø4,0 mm und 4,2mm (jeweils konisch).
- Die Einschraubtiefe lag jeweils bei ca. 12mm.
- Verwendet wurde die Schrauben b&m-CARBONPLAST® Ø5x20 und Ø5x27.
- Als Einschraubdrehzahl wurde bei allen Versuchen 200 U/min gewählt.
- Des Weiteren wurden Vorspannkräfte beim Versagen und mit definierten Anzugsmoment MA = 5,5 Nm / 4,5 Nm ermittelt.

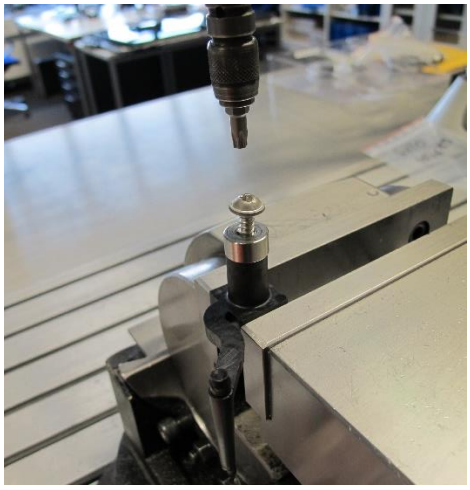


Bild 2: Versuchsanordnung mit Schraube vor dem Einschrauben und Unterlegteil

Als generelle Erkenntnis aus allen Versuchen kann festgehalten werden, dass, wie bei jeder Auslegung einer Kunststoffdirektverschraubung, die Dimensionierung entscheidend ist. Um bestmögliche Verschraubungskennwerte zu erreichen, ist ein optimaler Vorlochdurchmesser zu bestimmen, damit ein günstiges Verhältnis zwischen Furchmoment (MF) und Versagensmoment (MV) erreichbar und die Wertestreuung gering bleibt. Umso größer der Abstand zwischen MF und MV, desto größer ist die Sicherheit innerhalb der Verschraubung. Natürlich ist hierbei immer ein maximales Versagensmoment anzustreben. Für eine bestmögliche Auslegung der Verschraubungsparameter, ist eine enge Zusammenarbeit mit dem Schraubenhersteller in jedem Fall zu empfehlen. Die Ermittlung der Montageparameter kann hierbei im Anwendungslabor des Schraubenherstellers durchgeführt werden.

Bei den Versuchen mit den PEEK- und PPS-Compounds hat sich das jeweils größere Vorloch als vorteilhaft erwiesen. Mit größerem Vorlochdurchmesser sinkt das Furchmoment. Gleichzeit ist zu beobachten, dass die Streuung der Werte abnimmt. Die prozesstypischen Schwankungen beim Schraubendurchmesser treten nicht mehr in Erscheinung.

Auch wenn beim PEEK-Compound mit kleinerer Vorlochung höhere Versagensmomente erreichbar sind [Diagramm 1a], die Wertestreuung beim MF ist deutlich höher. Somit wäre von einer deutlichen technischen Unsicherheit in der Schraubverbindung auszugehen. Bei vergleichbaren Toleranzen bei MV ist die Versuchsreihe mit dem vergrößerten Vorlochdurchmesser als uneingeschränkt vorteilhaft zu bewerten. In den Grenzlagen der Messabweichungen (obere Grenze MF zu unterer Grenze MV) ist der Sicherheitsabstand MF/MV deutlich größer.

Mit der Bewertung der erreichbaren Vorspannkräfte bei errechnetem bzw. definiertem Anzugsmoment, ergibt sich ein sehr interessantes Bild [Diagramm 1b]! Dadurch, dass bei größerem Vorlochdurchmesser weniger Umformenergie benötigt wird, um das Gewinde zu formen, verbleibt mehr effektives Anzugsmoment für die Vorspannkraftbildung. Zwar ist die Streuung etwas größer als beim kleineren Bohrungsdurchmesser, insgesamt ist das Niveau aber höher. Ob mit einer spezifischen Optimierung des Bohrungsdurchmessers eine geringe Streuung der Vorspannkräfte erreicht werden kann, wäre zu untersuchen.

Das PPS-Compound [Digramm 2a] weist eine sehr geringere Streuung der Messwerte auf. Ähnlich wie beim PEEK-Compound, ist mit größerer Vorlochung zu beobachten, dass das Furchmoment sinkt, hier aber eine extrem geringe Streuung auftritt. Es werden etwas geringere Versagensmomente

erreicht. Es gilt aber, gleich zur PEEK-Bewertung, der Sicherheitsabstand MF/MV ist sehr groß, eine sachgerechte Auslegung auf einem hohen Anziehmoment ist uneingeschränkt umsetzbar.

Die erreichbaren Vorspannkräfte liegen beim untersuchten PPS-Compound auf einem Niveau, vergleichbar mit PEEK [Diagramm 2b], Auch hier ist erkennbar, dass der größere Vorlochdurchmesser sich günstiger auf das Vorspannkraftniveau auswirkt. Die im Versuch gemessenen Abschaltmomente / Anziehmomente MA(t) weichen nur geringfügig vom rechnerisch ermittelten Wert (MA(m)) ab. Dies liegt an der etwas konservativen Wahl des Anzugsbemessungsfaktors innerhalb der Versuchsreihe (0,65).

Polymerbedingt liegt bei der PA66-basierten Rezeptur [Diagramm 3a] eine größere Bruchdehnung, bei gleichzeitig niedrigerem Zug-E-Modul vor. Dies zeigt sich in einer deutlich besseren Aufnahme der Kräfte während des Einschraubvorgangs. Auch scheint die Kombination PA-CF in diesem Fall den Furchvorgang positiv zu beeinflussen (Tribologie). Die Furchmomente unterliegen beim kleinen wie beim großen Vorlochdurchmesser nur sehr geringen Streuungen. Mit einem geringeren Vorlochdurchmesser ist im vorliegenden Fall ein um 16% höheres Versagensmoment erreichbar, auch wenn hier die Streuung etwas größer ist. Bei dieser Werkstoffklasse kann durch das etwas elastischere Materialverhalten beim Verschrauben der gesamte Spielraum bei der Dimensionierung der Einschraubbohrung genutzt werden. Je nach Anwendung sollte durch eine Absicherung, z.B. im Klimawechseltest, Vibrationsprüfung, etc., die Auslegung verifiziert werden. Eine Anpassung des Vorlochdurchmessers ist, technisch sicher, zu jeder Zeit möglich.

Das PA66-Compound zeigt im Vergleich zu den PEEK- und PPS-Compounds eine Besonderheit. Mit der Vergrößerung des Bohrungsdurchmessers ergibt sich hier eine geringfügige Reduktion der Vorspannkraft. Gleichzeitig zeigen sich bei den Vorlochdurchmessern 4,0 und 4,2 mm nahezu kein Unterschied im tatsächlichen Anziehmoment MA(t) (Größenordnung der Abschaltgenauigkeit). [Diagramm 3b] Vermutlich tritt bereits während des Anziehens der Verschraubung eine größere elastische Verformung im Kunststoff auf. Das PA-Compound weist einen um circa 22% geringeren Zugmodul auf, als PEEK und PPS.

Fazit:

Mit den durchgeführten Einschraubversuchen konnte festgestellt werden, dass eine Verschraubung der geprüften LUVOCOM CF-Materialien mit einer b&m-CARBONPLAST-Schraube problemlos und prozesssicher ist. Wie in allen Fällen, wenn Verschraubungen betrachtet werden, ist eine sachgerechte Auslegung der Verbindung und deren Absicherung, in Zusammenarbeit mit dem Schraubenhersteller, zu empfehlen.

In den Diagramen 1 bis 3 wird für die Ermittlung des Anziehmomentes MA jeweils ein Bemessungsfaktor von 0,75 angenommen (MV als Dimensionierungsgrundwert, MA = 0,75 x MV). Dies ist technisch möglich, da in allen Versuchen sehr große Abstände zwischen MF und MV ermittelt wurden. Konservativ ist die Auslegung von Verschraubungen auch mit einem geringeren Bemessungsfaktor (z.B. 0,65) möglich. Dies gilt insbesondere bei Werkstoffen, die einen geringeren Widerstand gegen kriechen aufweisen (geringerer Relaxationsmodul, bzw. Feuchteaufnahme).

Domaufbrüche, bzw. Bindenahtversagen traten bei keinem der Versuche auf. Die Korrosionsbeständigkeit der b&m-CARBONPLAST®-Schraube wurde in Versuchen gem. DIN EN ISO 9227 [Bild 3a und 3b] nachgewiesen. Anhand der Schliffe [1a und 1b] ist erkennbar, dass an der Gewindeflanke und insbesondere an der Gewindespitze kein abrasiver Verschleiß auftritt, der die Leistungsfähigkeit der Schraube mindert. Das Einfließen des Kunststoffs in Richtung des Schraubenkerns ist ebenfalls klar erkennbar.

Bild 3a: exemplarisches CFK-Bauteile mit konventioneller Stahlschraube zur Direktverschraubung nach 720h Salzsprühnebeltest

Bild 3b: exemplarisches CFK-Bauteile mit b&m-CARBONPLAST®-Schraube zur Direktverschraubung nach 720h Salzsprühnebeltest

Die hier geprüften Materialien decken mit ihren Eigenschaften eine große Anwendungsbandbreite ab. Die erhaltenen Ergebnisse lassen sich gut auch auf andere LUVOCOM CF-Materialien übertragen. Auch bei höheren CF-Gehalten ist nicht mit dem Auftreten eines Kontaktkorrosionsproblems zu rechnen.

Herstellung elektrisch leitfähiger Kontaktstellen

Das „Kernproblem" der CF-Werkstoffe, die elektrische Leitfähigkeit über das Verbindungselement, kann man sich jedoch auch zunutze machen. Über die reine technische Verschraubung hinaus, erlaubt diese Art der Verschraubung auch die Herstellung elektrisch leitfähiger Verbindungen. Beispielsweise, um Erdungspunkte mittels Direktverschraubung zu realisieren. Somit kann auch hier auf Gewindeeinsätze verzichtet werden. In einem einfachen Versuch wurde der Durchgangswiderstand über die Schraube und eine Kontaktfläche am Domfuß gemessen. Die ermittelten Widerstände lagen in jedem Fall unter 1 Ohm. Auch bei zehnmaliger De- und Remontage verblieben die Werte auf diesem Niveau. Da je nach Anwendungsfall unterschiedliche Kontaktierungen und Messanordnungen realisiert werden müssen, ist dies in einer separaten Prüfreihe zu untersuchen. Eine anwendungsbezogene Leitfähigkeitsprüfung ist in jedem Fall empfehlenswert.

Definitionen / Definitions				
Furchmoment	MF	Grooving Torque	Tg	MF / Tg (Nm)
Anziehdrehmoment	MA	Tightening Torque	Tt	MA / Tt (Nm)
Versagensmoment	MV	Failure Torque	Tf	MV / Tf (Nm)
Anziehdrehmoment (Test)	MA(t)	Tightening Torque (Test)	Tt(t)	MA(t) / Tt(t) (Nm)
Anziehdrehmoment (Berechnet)	MA(m)	Tightening Torque (Math.)	Tt(m)	MA(m) / Tt(m) (Nm)
Vorspannkraft	FV	Preload Force	Fp	FV / Fp (kN)

Diagramme

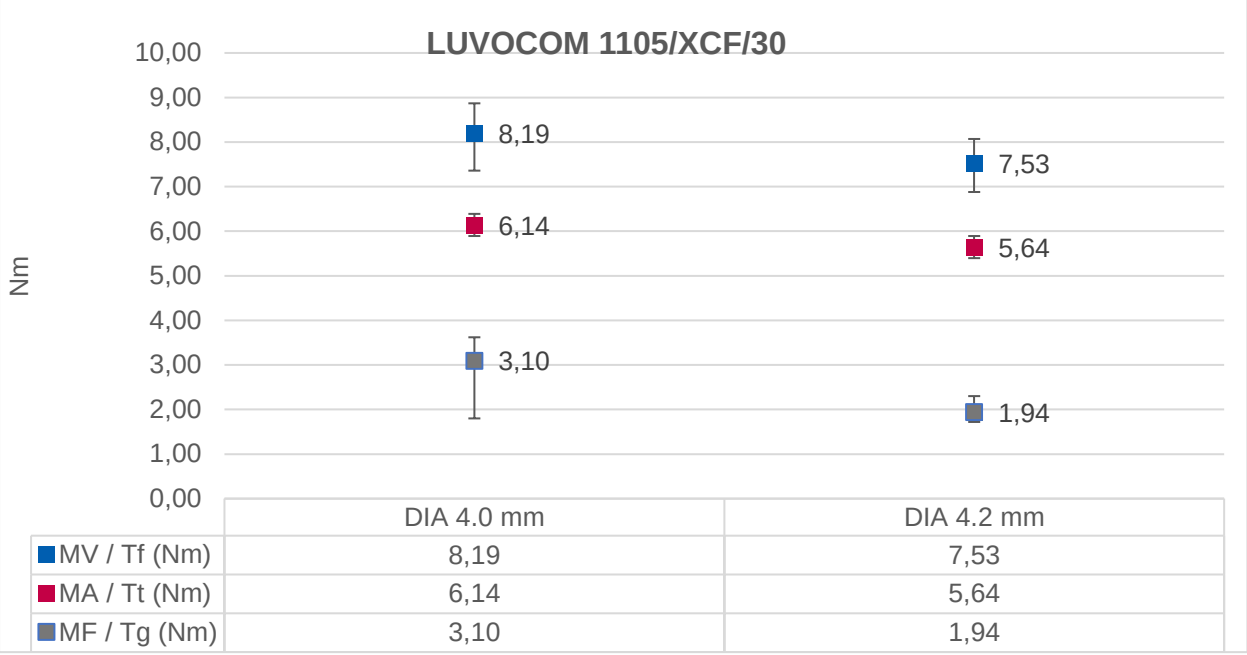


Diagramm 1a: Verschraubungskennwerte PEEK-XCF30

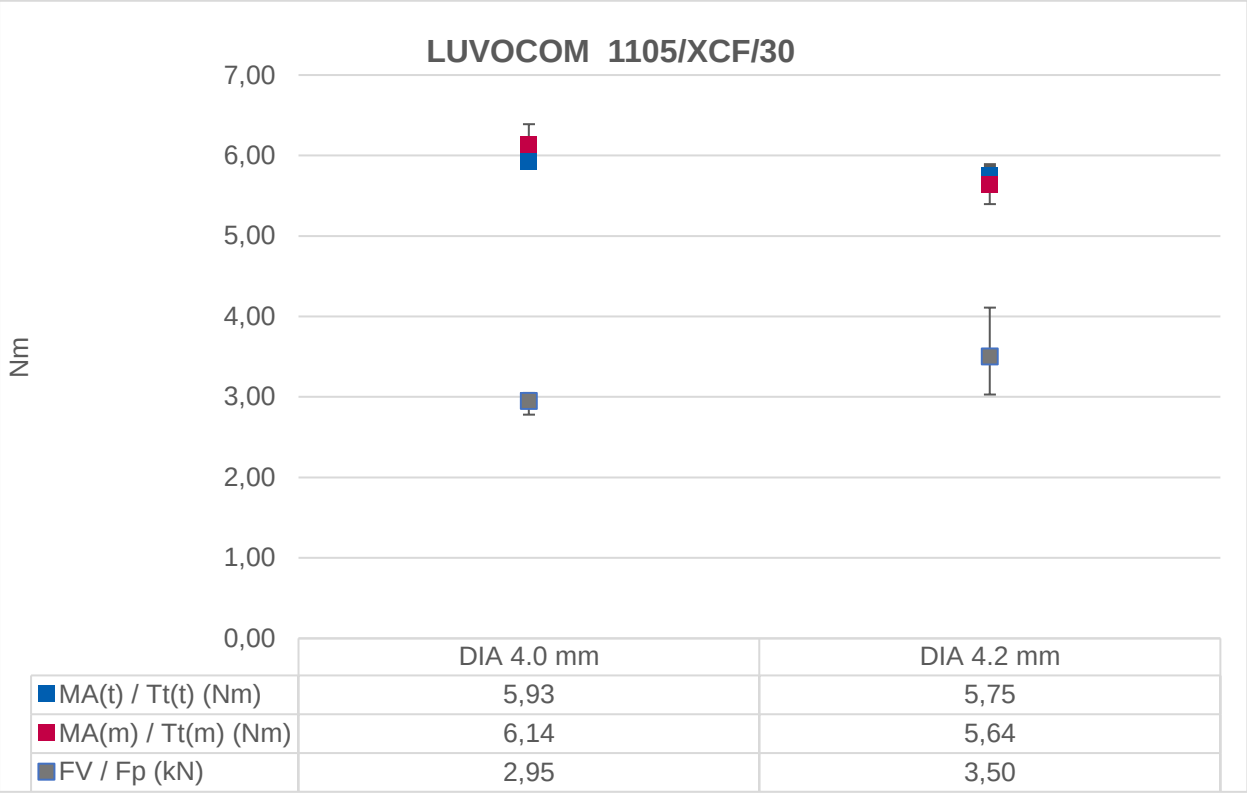


Diagramm 1b: Vorspannkräfte PEEK-XCF30

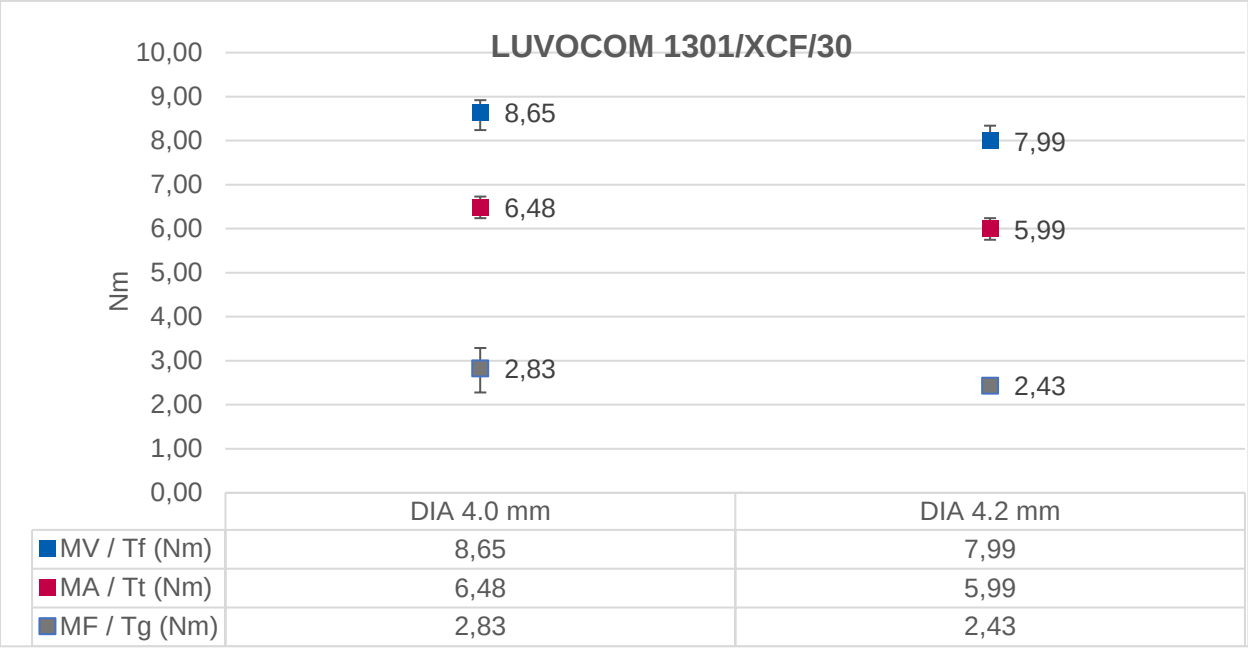


Diagramm 2a: Verschraubungskennwerte PPS-XCF30

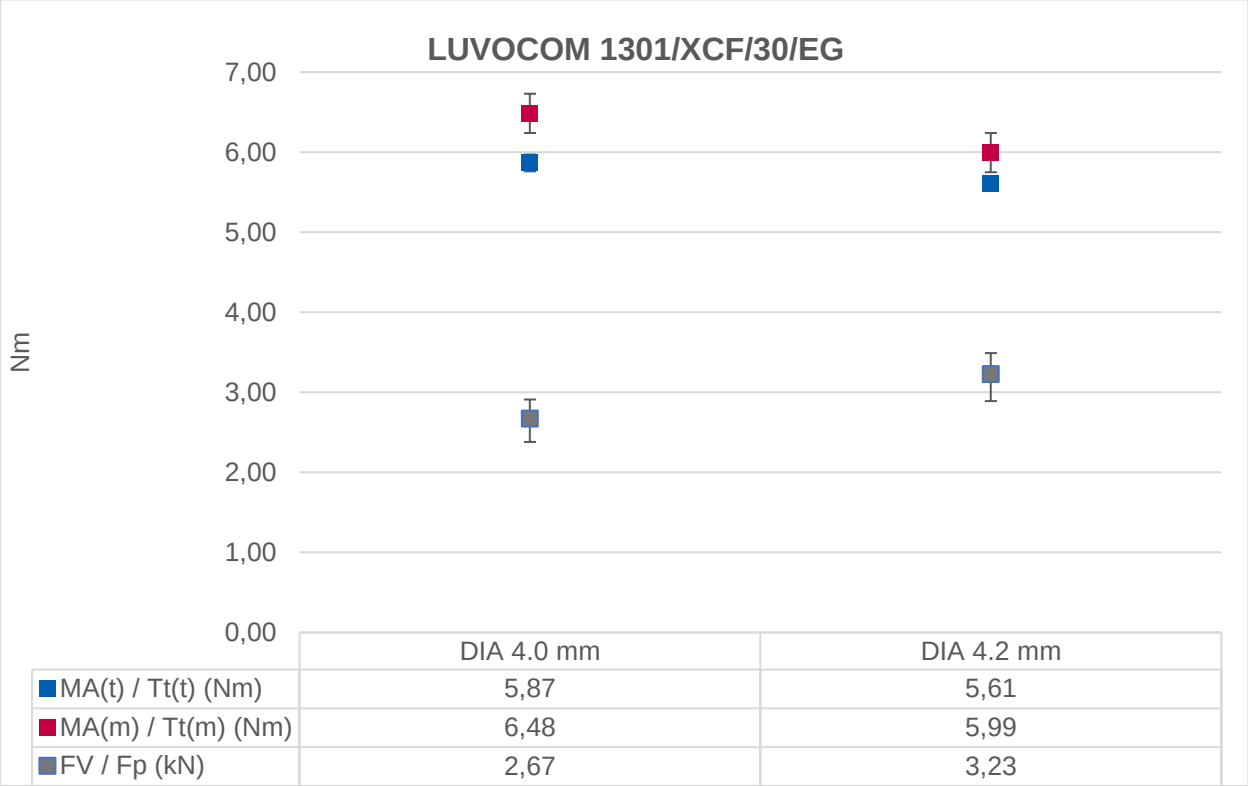


Diagramm 2b: Vorspannkräfte PPS-XCF30

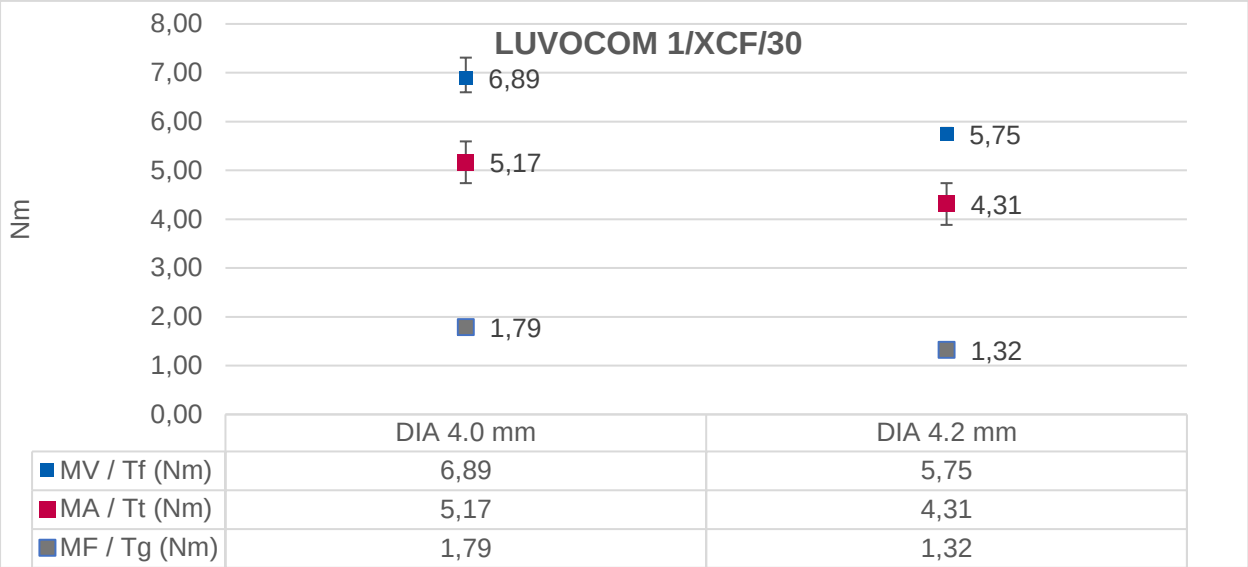


Diagramm 3a: Verschraubungskennwerte PA66-XCF30

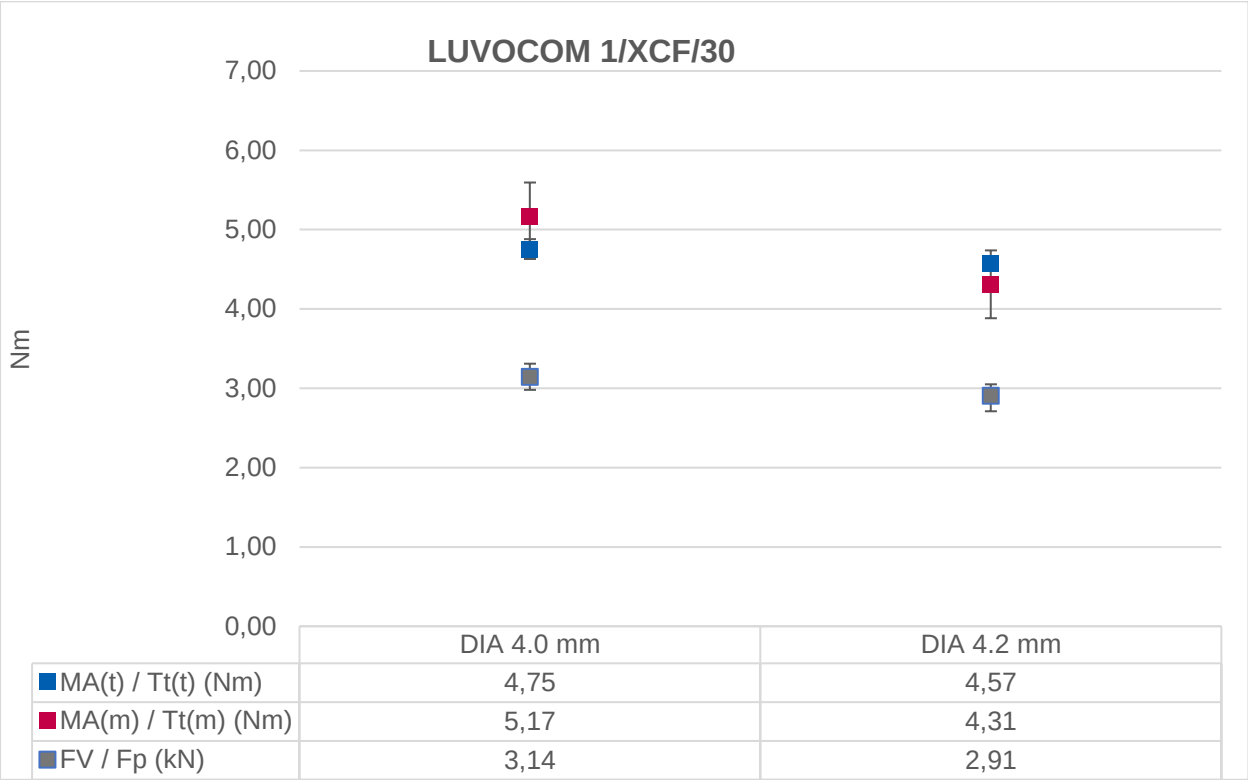


Diagramm 3b: Vorspannkräfte PA66-XCF30

Die Projektpartner:

Die global ausgerichtete **b&m-Gruppe** mit Hauptsitz im südhessischen Ober-Ramstadt hat sich eine starke Position als innovativer Partner der produzierenden Industrie im Bereich der Kaltumformung aufgebaut. Die Basis dazu bilden hochwertige Verbindungselemente sowie Verschluss- und Dichtsysteme aus eigener Entwicklung und Fertigung. Zu unseren Kunden gehören OEMs und Zulieferer aus den Branchen Automotive, Elektro- und Medizintechnik.

Ihnen steht baier & michels nicht nur als Produzent, sondern auch als Problemlöser verlässlich zur Seite: neben anwendungstechnischer Beratung und Verbindungsprüfungen in unseren Laboren bieten wir Fachschulungen und ein einzigartiges Standardisierungstool, mit dem Industrieunternehmen ihre C-Teile-Vielfalt massiv reduzieren können. Dabei sind unsere aktuell rund 500 Mitarbeitenden unser höchstes Gut. Mit ihrem Know-how und ihrer Erfahrung sind wir stets in der Lage, die höchsten Ansprüche unserer Kunden zu erfüllen. Darauf können Sie bauen!

Die **LEHVOSS Gruppe** unter Führung von Lehmann&Voss&Co. ist eine Chemie-Unternehmensgruppe, die chemische und mineralische Spezialitäten für verschiedene Kundenindustrien entwickelt, produziert und vermarktet. Lehmann&Voss&Co., Hamburg, wurde 1894 als Handelshaus gegründet. In seiner rund 125-jährigen Erfolgsgeschichte hat sich das inhabergeführte Unternehmen zu einer schlagkräftigen globalen Organisation entwickelt – mit langjährigen Verbindungen zu namhaften Lieferanten und mit eigenen Produktionsstätten in Europa, den USA und Asien. www.lehvoss.de

Der Geschäftsbereich Customized Polymer Materials ist Partner der Industrie bei Materialauswahl, Entwicklung und Produktion, anwendungsbezogener Beratung und Betreuung, vom Design bis zur Produktion. Die Werkstoffe mit genau definierten Eigenschaften basieren auf nahezu allen verfügbaren Thermoplasten und werden auf individuelle Kunden- und Anwendungsanforderungen zugeschnitten. www.luvocom.de

Die Autoren:

Eric Folz
Market Development Manager
Geschäftsbereich Customized Polymer Materials
Lehmann&Voss&Co. KG

Maxim Ort
Schraubfachtechniker (DSV)®
Bereich Anwendungstechnik / Entwicklung
Baier & michels GmbH & Co. KG

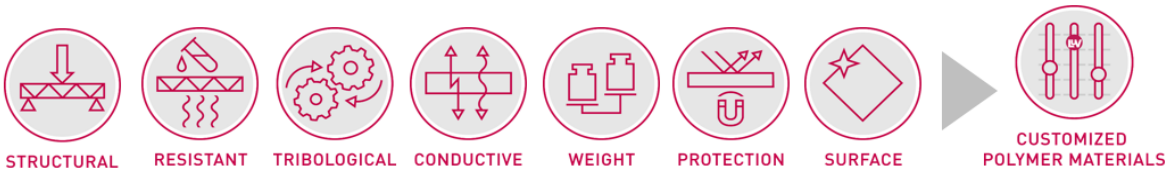
Francesco Bassenauer
Produktionsleiter
Lenkung / Administration
Baier & michels GmbH & Co. KG

Europa & Zentrale
Lehmann&Voss&Co. KG
Alsterufer 19
20354 Hamburg
Tel +49 40 44 197 0
E-mail luvocom@lehvoss.de

Nordamerika
LEHVOSS North America, LLC
185 South Broad Street
Pawcatuck, CT 06379
USA
Tel +1 855 681 3226
E-mail info@lehvoss.com

Asien
LEHVOSS (Shanghai) Chemical Trading Co., Ltd.
Unit 4805 Maxdo Centre
8 Xingyi Road, Changning District
Shanghai 200336
China
Tel +86 21 6278 5186
E-mail info@lehvoss.cn

Unsere Kompetenzen



www.luvocom.com

We LUV it.

08/2022

LUVOCOM®, LUVOTECH® and LUVOSINT® are registered trademarks of Lehmann&Voss&Co. KG

Any recommendations made for use of Seller's materials are made to the best of Seller's knowledge and are based upon prior tests and experience of the Seller believed to be reliable; however, Seller does not guarantee the results to be obtained and all such recommendations are non-binding – also with regard to the protection of third party's rights –, do not constitute any representation and do not affect in any way Buyer's obligation to examine and/or test the Seller's goods with regard to their suitability for Buyer's purposes. No information given by the Seller is to be construed in any way as a guarantee regarding characteristics or duration of use, unless such information has been explicitly given as a guarantee.

LEHVOSS Group