

Belasten bis zum Bruch

Mechanische Prüfmethoden für geklebte Kunststoffverbindungen

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden neue und innovative Prüfmöglichkeiten zur Bestimmung von mechanischen Verbindungseigenschaften der klebtechnisch gefügten Polymerverbindungen sowie zur Prüfung der Adhäsion an Kunststoffoberflächen erprobt und bewertet.

Die Kleb- und Oberflächentechnik nimmt in der industriellen Praxis eine stetig wachsende Bedeutung ein. Das SKZ in Würzburg befasst sich sowohl in industriell finanzierten als auch in öffent-

„Kleben von hochgefüllten holzfaserverstärkten Kunststoffen u.a. für Außenanwendungen“ wurde ein neues Prüfverfahren entwickelt, das sich insbesondere zur Bestimmung von Druckscherfestig-

(ohne Toleranzangaben). Die Streifenproben werden mit einer Überlapplänge von üblicherweise 12,5 mm in speziellen Klebevorrichtungen mit Fixierungen geklebt (**Bild 1**).

Diese Prüfung wird standardmäßig bei der Ermittlung der Zugscherfestigkeit von Metallebungen eingesetzt und weist insbesondere für klebtechnisch gefügte polymere Verbindungen einige Nachteile auf.

Neben dem aus einem Biegemoment sowie einer Scherbelastung resultierenden unerwünschten mehraxialen Belastungszustand während der Prüfung kann die in der Norm festgelegte Materialdicke, zusammen mit der vorgeschriebenen Überlapplänge bei Kunststoffklebungen oft dazu führen, dass die zu prüfende Verbindung im Grundmaterial (aufgrund der Spannungsverteilung im gesamten Probekörper) neben der eigentlichen Klebefläche bricht. Hierdurch wird nicht die eigentliche Zugscherfestigkeit der Klebung geprüft, sondern die „Zugfestigkeit des Grundmaterials“ ermittelt (**Bild 2**). In solchen Fällen sind auch keine Bruchbildbewertungen von geprüften Proben möglich, die in der Klebtechnik eine sehr große Rolle spielen und somit eine unabdingbare Prüfungsvoraussetzung darstellen. Aus den Prüfungsergebnissen können allerdings Kennwerte zur Mindestfestigkeit, bezogen auf den Anwendungsfall der Klebung, berechnet werden.

Für viele Anwendungsfälle ist allerdings die tatsächliche Festigkeit der Verbindung sehr interessant und wichtig, insbesondere, wenn z.B. der Festigkeitsvergleich nach einer künstlichen Alterung der Klebeverbindung verlangt wird oder die geometrische Auslegung des

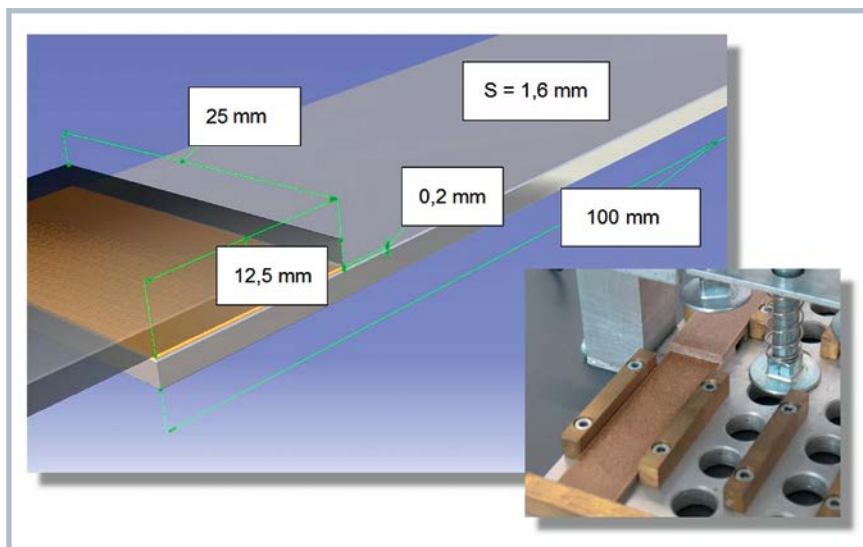


Bild 1. Die Abmessungen einer Zugscher-Probe nach [1] sowie eine Klebevorrichtung zum Fixieren der geklebten Probekörper (Bild: SKZ)

lich geförderten Forschungsprojekten mit den teilweise sehr speziellen Bedürfnissen innerhalb der Klebetechnologie. Hier sind insbesondere die Bereiche multifunktionelle Eigenschaften von Klebungen, Kleben von neuartigen polymeren Werkstoffen sowie Entwicklung von Prüfmethoden hervorzuheben. Die Prüfung von geklebten Verbindungen nimmt dabei immer dann eine besondere Rolle ein, wenn spezielle Festigkeitswerte für eine Auslegung in der Entwicklung gefragt sind. Im Rahmen des kürzlich abgeschlossenen Forschungsvorhabens

keiten von klebtechnisch gefügten Kunststoff-Verbindungen gut eignet.

Zielsetzung und theoretische Grundlagen

Zur Bestimmung der Kurzzeit-Zugscherfestigkeit wird in der Klebtechnik oft die Prüfnorm DIN EN 1465 [1] hinzugezogen. Zur Ermittlung der Zugschereigenschaften wird in dieser Norm eine einfach überlappte Zugscher-Probe eingesetzt. Diese besteht aus zwei Streifenproben mit einer Materialstärke $S = 1,6 \text{ mm}$, einer Länge von 100 mm und Breite von 25 mm



Bild 2. Mehraxialer Zustand einer einfach überlappten Zugscher-Probe mit Spannungs- und Biegemomentverteilung vor und während der Prüfung nach [2] (links), Bruch im Grundmaterial einer Kunststoffprobe (rechts) (Bild: SKZ)

Bauteils eine geringere Klebefläche (z. B. < 12,5 mm) besitzt.

Eine Abhilfe stellt die Möglichkeit dar, die Materialdicke der eingesetzten Substrate so zu erhöhen, dass der Bruch in der Klebeebene initiiert wird. Hierzu kann eine ebenso dicke Zugscher-Probe eingesetzt werden, wie dies in DIN EN 14869-2 [3] beschrieben ist (**Bild 3**).

Neben den geringen Normalspannungsspitzen kann bei dieser Probekörperform eine deutlich geringere Fügeteilverformung als Vorteil erwähnt werden.

Zu den Nachteilen dieser Probekörperform zählen allerdings eine aufwendige Probenfertigung und eine schwer einstellbare Klebschichtdicke. Die Herstellung solcher Proben ist somit mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden und für manche Anwendungen bzw. Werkstoffe nicht immer möglich.

Als weitere Möglichkeit zur Prüfung der Zugscherfestigkeit von Kunststoffverbindungen kann ein Probekörper mit einer reduzierten Überlappfläche verwendet werden. Eine Änderung der Überlapplänge wirkt sich allerdings auf die gemessene Zugscherfestigkeit durch eine Änderung der Spannungsverteilung in der Fügeebene aus (**Bild 4**).

Neben der geänderten Spannungsverteilung besteht ein weiterer Nachteil dieser Reduzierung in einer großen Auswirkung von Klebefehlern in der Klebeebene auf die ermittelten Festigkeiten. Kleine Fehler wirken sich dabei stark festigkeitsmindernd aus, was oft zu einer großen Streuung der ermittelten Zugscherwerte und somit zu einer nach der entsprechenden Norm unzulässigen Varianz führt. Solche Prüfungen müssen aus diesem Grund oft wiederholt werden. »

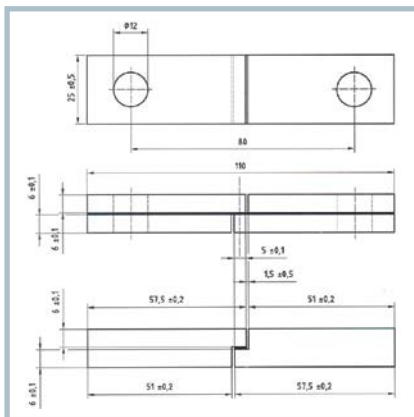


Bild 3. Abmessungen einer dicken Zugscher-Probe nach [3]

Bild 4. Spannungsverteilung einer einfach überlappten Zugscher-Probe in Abhängigkeit von der Überlapplänge aus [2]

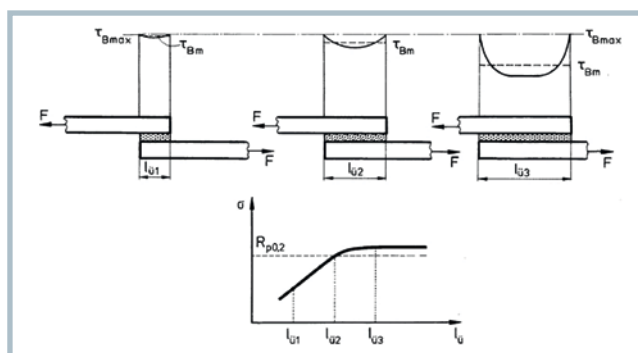
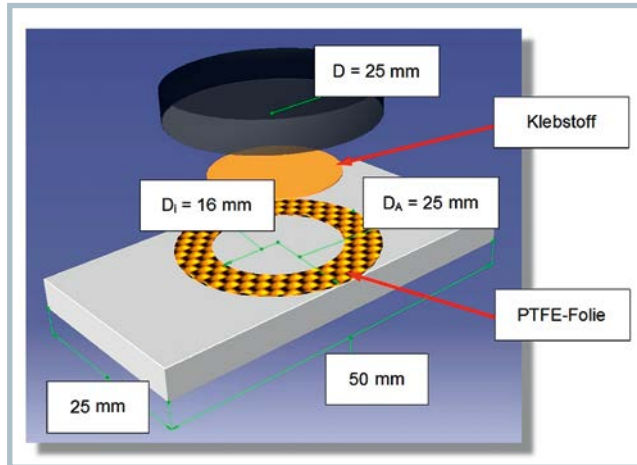


Bild 5. Probekörper
für LSV (Bild: SKZ)



Neue Methoden zur Festigkeitsbestimmung

Um die tatsächliche Festigkeit des geklebten Verbunds bestimmen zu können, wurde am Kunststoff-Zentrum (SKZ) der Linear-Scher-Versuch (LSV) entwickelt und für diese Aufgabe eingesetzt. Der LSV ist ein nicht-genormtes Prüfver-

fahren, mit dem die Druckscherfestigkeiten von Klebeverbindungen bestimmt werden können. Die Prüfmethode wurde ursprünglich zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Muffenverbindungen im Rohrleitungsbau am Kunststoff-Zentrum in Zusammenarbeit mit der Widos GmbH, Ditzingen, entwickelt und validiert [4].

Für den Einsatz des Verfahrens in der Klebtechnik wurde eine neue Prüfkörpergeometrie entwickelt. Der Prüfkörper für den LSV besteht aus einer runden Deckplatte mit einem Durchmesser von 25 mm, einer Grundplatte mit Maßen 25 x 50 mm sowie einer ausgestanzten einseitig klebbaren PTFE-Folie mit $D_A = 25$ mm sowie $D_i = 16$ mm (Bild 5). Die sich daraus ergebende Klebefläche beträgt somit ca. 200 mm².

Die PTFE-Folie kann in verschiedenen Dicken zwischen den Fügepartnern eingesetzt werden und dient dabei zur Ein-

haltung der gewünschten sowie definierter Klebeschichtdicke.

Nach dem Aufbringen einer definierter Menge vom Klebstoff (die notwendige Klebstoffmenge ist dabei von der gewünschten Klebeschichtdicke abhängig) werden die beiden Fügepartner (die runde Deckplatte mit der rechteckigen Grundplatte im Bild 5) gefügt. Der Probekörper kann anschließend aufgrund seiner Abmessungen in den üblichen Klebevorrichtungen mit einem Stempel bis zur vollständigen Aushärtung fixiert werden.

Nach dem vollständigen Aushärten des Klebstoffs werden die Probekörper im LSV-Prüfgerät geprüft. Die LSV-Prüfapparatur belastet dabei den geklebten Probekörper nur auf Scherung (Bild 6).

Die Kraft wird dabei während der Versuche mit einer Kraftmessdose kontinuierlich aufgenommen. So sind auch zeitliche oder örtliche Verläufe der Schubkraft möglich. Die Prüfgeschwindigkeit kann von 1 bis 5 mm/min variieren und hängt im Wesentlichen von den Eigenschaften des Verbunds (mechanische Festigkeiten der Substrate sowie Flexibilität des Klebstoffs) ab. Hierdurch sind Ermittlungen von Druckscherfestigkeiten möglich.

Derzeit werden die Korrelationen zwischen den beiden Verfahren LSV sowie Zugscher-Versuch am SKZ untersucht. Das Ziel dieser Untersuchungen ist nach der Ermittlung von Korrelationen einen theoretisch berechneten Umrechnungsfaktor zu bestimmen. Des Weiteren wird das neu entwickelte Prüfverfahren für diverse Klebstoffe sowie polymere Materialien validiert.

Die Autoren

M.Sc. Eduard Kraus ist seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und stellvertretender Geschäftsfeldleiter „Fügen von Kunststoffen“ in der SKZ-KFE gGmbH, Würzburg, tätig; e.kraus@skz.de

Dr. Benjamin Baudrit leitet seit 2007 das Geschäftsfeld „Fügen von Kunststoffen“ und ist als Prokurist für die SKZ-KFE gGmbH tätig.

Dr.-Ing. Peter Heidemeyer ist seit 2009 als Geschäftsführer für die SKZ-KFE gGmbH tätig.

Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian ist seit 2006 Institutsdirektor des Kunststoff-Zentrums (SKZ). Seit 2011 hat er eine Professur für das Fachgebiet „Technologie der polymeren Werkstoffe“ an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/993806

English Version

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



Bild 6. LSV-Prüfapparatur, Einspannung des Probekörpers sowie Bewegungsführung während der LSV-Prüfung (Bild: SKZ)

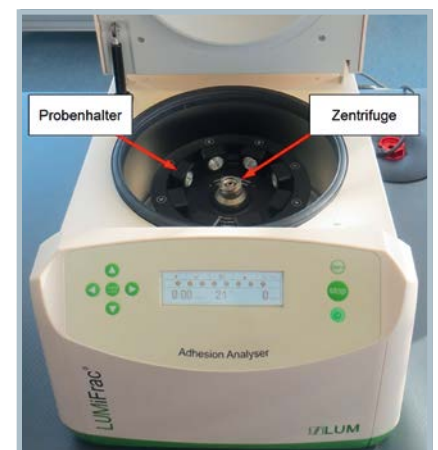


Bild 7. Adhäsions-Prüfgerät Adhesion Analyser LumiFrac 200 (Bild: SKZ)

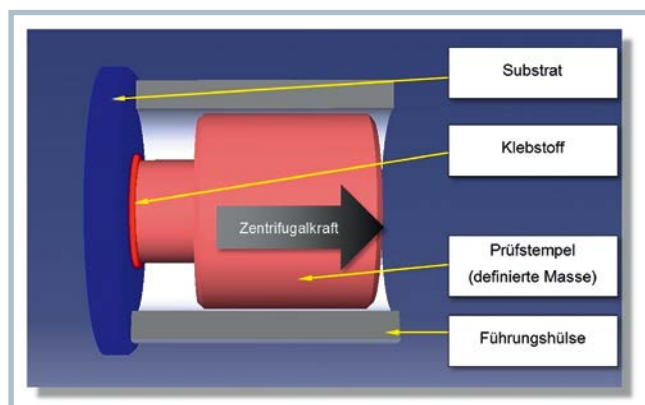


Bild 8. Prüfkörper für den Adhesion Analyser LumiFrac 200 (Bild: SKZ)

Eine weitere Möglichkeit, zuverlässige Aussagen über die Adhäsion bzw. Haftung des Klebstoffs an der Kunststoffoberfläche zu treffen, bietet das Adhäsions-Prüfgerät Adhesion Analyser LumiFrac 200 der LUM GmbH, Berlin (**Bild 7**). Die temperierte Prüfkammer sowie eine computergesteuerte Zentrifuge erlauben dabei dem Benutzer, neben Kurzzeit- auch Langzeit- sowie dynamische Eigenschaften von geklebten Verbindungen in einer temperierten Umgebung (-30 bis +80 °C) bei diversen Lastfällen zu ermitteln. Des Weiteren ist eine Ermittlung der Zugfestigkeit nach ISO 4624 Beschichtungsstoffe – Abreißversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit, sowie nach DIN EN 15870 Klebstoffe – Bestimmung der Zugfestigkeit von Stumpfklebungen möglich.

Die Funktion des Adhäsions-Prüfgeräts basiert dabei auf der Ermittlung der Abreißkraft durch einen definierten Abstand zur Rotationsachse sowie die vom Prüfgewicht abhängende Zentrifugalkraft (**Bild 8**). Hierzu müssen die definierten Gewichtstempel in Führungshülsen gesetzt und auf die zu testenden Prüfobjekte aufgeklebt werden. Die so vorbereiteten Proben werden anschließend in den Rotor des LumiFrac positioniert und die Zentrifuge über ein vorgegebenes Messprogramm gestartet. Die Kraftverläufe und die Bruchkräfte werden von einem Computer aufgezeichnet und ausgewertet.

Der große Vorteil dieses Prüfverfahrens gegenüber den klassischen Zug- bzw. Kopfzug-Prüfungen ist neben einer relativ unabhängigen Probekörpergeometrie der große materialunabhängige Messbereich (theoretisch sind Belastungen von bis zu 80 MPa durch Wahl eines passenden Prüfstempels möglich), sowie eine zeitsparende Möglichkeit zur

temperaturabhängigen Ermittlung von mechanischen Eigenschaften durch Temperierung des Messraums. Des Weiteren sind relativ komplizierte, anwendungsnahe Prüfprogramme mit diversen dynamischen (Sinusförmig, Sägezahn, usw.) Belastungen möglich. Nach der Prüfung kann analog zu den anderen Prüfverfahren auch eine mikroskopische Beurteilung der Bruchfläche durchgeführt werden.

Als Nachteil dieses Verfahrens ist die fehlende Möglichkeit zur Ermittlung von Dehnungen (z.B. Bruchdehnung) sowie Dehnungs- und Spannungsverläufen zu erwähnen. Des Weiteren muss bei der Probekörperherstellung sehr genau gearbeitet werden, insbesondere bei der Dosierung von Klebstoff auf die Klebefläche.

Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Prüfmöglichkeiten können mit beschriebenen Vorteilen zur Bestimmung von mechanischen Verbindungseigenschaften der klebtechnisch gefügten Polymerverbindungen sowie zur Prüfung der Adhäsion an diversen Oberflächen eingesetzt werden. Derzeit laufen am SKZ Untersuchungen zum Validieren der beiden beschriebenen Prüfverfahren insbesondere für Kunststoff-Klebeverbindungen. Das Herausarbeiten der möglichen Vorteile sowie Potenziale erfolgt in einer engen Zusammenarbeit mit den Herstellern Widos sowie LUM.

Das Kunststoff-Zentrum bietet zahlreiche weitere individuelle Lösungsmöglichkeiten zum klebtechnischen Fügen von thermo- und duroplastischen Werkstoffen sowie diverse Prüfmöglichkeiten für Fügeverbindungen an. ■