

JOINING PLASTICS



www.joining-plastics.info

Autorenrichtlinie



Richtlinie für Autoren

Das Wichtigste auf einen Blick:

- Wir benötigen Ihr Manuskript als Word-Datei (inklusive Tabellen und Abbildungen am Ende des Dokuments). Diese Datei wird für die Veröffentlichung als Peer-reviewed-Paper zunächst zur Prüfung an die Gutachter gesendet.
- Der Umfang der Word-Datei (einsprachig) sollte maximal 20.000 Zeichen betragen (inklusive Leerzeichen; von der Überschrift über die Bildunterschriften bis zum Ende des Literaturverzeichnisses). Es sollten nicht mehr als insgesamt 6 bis 8 Bilder oder Tabellen dazu kommen.
- Senden Sie die Bilder bitte zusätzlich jeweils als separate Dateien (Auflösung mindestens 300 dpi, Dateiformate: eps, jpeg, png).
- Von allen Autoren benötigen wir einen 5- bis 10-zeiligen ausformulierten Kurz-Werdegang für unsere Webseite und ein digitales Porträtfoto.
- Senden Sie Ihr Manuskript an nicole.stramka@dvs-media.info, eine Veröffentlichung zu einem abgeschlossenen IGF-Vorhaben, das beantragt wurde über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, zusätzlich an anna.linz@dvs-home.de.

1. Dateien

Bitte reichen Sie folgende Dateien ein:

- eine Word-Datei (inklusive Tabellen und Abbildungen am Ende des Dokuments) für die redaktionelle Bearbeitung und das Peer-Review-Verfahren
- Beitragsbilder (inklusive Fotos von Autoren) als separate Dateien (jpeg, png, eps) mit einer Auflösung von 300 dpi (weitere Hinweise im Abschnitt 4. Bilder und Tabellen)
- von jedem Autor einen 5- bis 10-zeiligen ausformulierten Kurzwerdegang in einer Word-Datei und ein Porträtfoto

2. Formale Textgestaltung

- Der Umfang der Word-Datei (einsprachig) sollte maximal 20.000 Zeichen betragen (inklusive Leerzeichen; von der Überschrift über die Bildunterschriften bis zum Ende des Literaturverzeichnisses).
- Maßeinheiten müssen zwingend SI-konform sein. Bitte verwenden Sie keine veralteten Maßeinheiten wie At.-%, Gew.-% usw.
- Vermeiden Sie im gesamten Manuskript bitte Abkürzungen (wie Durchm. anstatt Durchmesser), besonders bei der Bildbeschriftung.
- Beachten Sie bitte auch, dass unser Zeitschriften-Design keine Platzierung von Trademark- und Copyright-Symbolen sowie keine Schreibweise in Versalien von Firmen- und Produktnamen vorsieht.

3. Gliederung des Beitrags

Ihr Beitrag besteht aus Überschrift, Autorenkasten, Kurzfassung, Hauptteil, Fazit und Ausblick sowie Referenzen.

3.1 Überschrift

Der Beitragstitel sollte max. 100 Zeichen (inklusive Leerzeichen) nicht überschreiten und knapp, aber unmissverständlich formuliert sein.

3.2 Autoren des Beitrags

Unter der Überschrift werden alle Autoren des Beitrags mit Vor- und Nachnamen genannt.

3.3 Kurzfassung

Die Kurzfassung (englisch: Abstract) sollte den Inhalt des Beitrags wiedergeben.

- Sie wird auf unserer Webseite veröffentlicht.
- Sie sollte max. 1000 Zeichen (inklusive Leerzeichen) lang sein.

3.4 Hauptteil

- Der Hauptteil ist gegliedert nach der Dezimalklassifikation (bis max. dritte Ebene).
- Er beginnt mit „1. Einleitung“ und endet mit „Fazit und Ausblick“.

3.5 Referenzen

- Bitte verzichten Sie auf die automatische Referenzerstellung von Word.
- Verwenden Sie beim Zitieren bitte den numerischen Stil und vergeben Sie im Fließtext Nummern in der fortlaufenden Reihenfolge: [1], [2] usw.
- Geben Sie bitte die verwendete Literatur gesammelt am Ende des Manuskripts an:
[1] Devrient, M.; Da, X.; Frick, T.; Schmidt, M.: Experimental and simulative investigation of laser transmission welding under consideration of scattering. *Physics Procedia* 5 (2012) 39, pp. 117/27.
[2] Gehde, M.; Albrecht, M.: Neue Möglichkeiten zum Schweißen inkompatibler Thermoplaste. *Joining Plastics – Fügen von Kunststoffen* 10 (2016) Nr. 3–4, S. 202/7.
- Schreiben Sie ggf. den DOI als URL dazu, beispielsweise <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1678>.
- Bitte zitieren Sie (auch bei Online-Quellen) nach DIN ISO 690.

Richtlinie für Autoren

4. Bilder und Tabellen

Wir bitten Sie, die folgenden Hinweise zu beachten:

- Bilder und Tabellen werden unterschieden und jeweils fortlaufend nummeriert (Bild 1, Tabelle 1 usw.) und mindestens einmal im Text zitiert.
- Zeichnungen, Diagramme und Fotos werden in der Bildunterschrift als Bild (nicht „Abb.“ oder „Fig.“) gekennzeichnet.
- Die Bildunterschrift darf nicht in der Grafik stehen. Sie sollte den Inhalt des Bildes so wiedergeben, dass dieses selbsterklärend ist.
- Bilder fortlaufend nummerieren, Bildnummern im Manuskripttext einfügen.
- Benennungen, Bezeichnungen usw. nach den neuesten DIN-Normen, DVS-Merkblättern usw.
- Die Schriftart in allen Bildern sollte gleich sein.
- Effekte wie Füllmuster, Outline Fonts, Verläufe und Schatten bitte vermeiden
- Bilder möglichst in Farbe; Mindestauflösung 300 dpi
- Dateiformate: eps, jpeg, png

5. Autorenkasten

Am Ende des Beitrags werden für alle Autoren des Beitrags jeweils folgende Daten angegeben:

- Vor- und Nachname (bitte ohne Abkürzungen),
- Titel oder akademischer Grad,
- aktuelle Berufs-/Tätigkeitsbezeichnung mit Angabe des Instituts/Arbeitgebers, inklusive Ort,
- (optional) die E-Mail-Adresse,
- ein digitales Porträtfoto und
- ein 5- bis 10-zeiliger ausformulierter Kurz-Werdegang in unserer Online-Datenbank (<https://www.joining-plastics.info/autoren>).

6. Kontaktadressen

- Senden Sie Ihr Manuskript bitte an nicole.stramka@dvs-media.info.
- Wenn es sich um eine Veröffentlichung zu einem abgeschlossenen IGF-Vorhaben handelt, das beantragt wurde über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, senden Sie Ihr Manuskript bitte zusätzlich an anna.linz@dvs-home.de.

Hinweis zur geschlechtergerechten Sprache

Die in JOINING PLASTICS veröffentlichten wissenschaftlichen Fachbeiträge werden im Peer-Review-Verfahren vorrangig hinsichtlich ihrer inhaltlichen Qualität geprüft. Das in den Artikeln zumeist gewählte generische Maskulinum bezieht sich dabei zugleich auf alle Geschlechteridentitäten. Wir unterstützen ausdrücklich die Verwendung einer geschlechtergerechten Sprache, verzichten aber zu Gunsten der Lesbarkeit darauf.

Die Visualisierung der Auswertung mittels des Perlerschurverfahrens ist in Bild 5 dargestellt. Exemplarisch sind hier die Versuchsergebnisse der drei Prüfkörpertypen für ein R-Verhältnis von R = 0,1 abgebildet. Bei der Kopfgarbe (1) ist das Diagramm mit den Daten aus IGF 2006M [11] ergänzt. Zusätzlich ist das Streuband, welches mit dem Perlerschurverfahren erstellt wird (10% und 90% Eintrittswahrscheinlichkeit), sowie die mit dem bruchmechanischen Berechnungskonzept simulierte Wöhlerlinie abgebildet. Die Parameter für die bruchmechanische Lebensdauerprognose entsprechen denen aus [9]. Es wird ein nach [9] parametrisiertes Risikofortschrittsgesetz für ein R-Verhältnis von R = 0,1 verwendet sowie das Marlow-Materialmodell aus [11]. In Bild 5 wird deutlich, dass die simulierte Wöhlerkurve in weiten Bereichen innerhalb des Streubands der dargestellten Versuche liegt. Ebenso ist ersichtlich, dass die Versuche aus [11] insbesondere bei den Versuchen mit der Kopfgarbe eine sehr gute Reproduzierbarkeit aufweisen. Die Abweichung zwischen Simulation und Experiment bei der Schräggarbe ist insbesondere in den Neigungen der Linien zu erkennen. Der Unterschied kann dadurch erklärt werden, dass sich bei einer Lastwechselzahl von $N = 1e+5$ eine vertikale Verteilung der experimentellen Daten ausbildet. Dies zeigt, dass Versuche trotz höherer Belastung eine identische Bruchlastwechselzahl aufweisen. Dies deutet auf eine hohe Streuung hin und legt nahe, dass eine größere Versuchszahl zu einer flacheren Kurve führen würde, die eine bessere Übereinstimmung mit der Simulation aufweisen würde. Grundsätzlich ist nach DIN 50100 bei einer verwertbaren Versuchszahl von $n = 12$ von einer adäquaten statistischen Abschätzung bei Einsatz des Perlerschurverfahrens auszugehen. Eine Erhöhung auf $n = 20$ Versuche kann bei Laborstreuen und Anomalien (Versuche mit höherer Belastung weisen eine höhere Bruchlastwechselzahl als Versuche mit geringerer Belastung auf) sinnvoll sein, um die Ergebnisse der Schräggarbe zu erkennen ist.

Eine umfassendere Darstellung unter Einbeziehung aller Versuche ist in Bild 6 gegeben. Hier können die Abweichungen der Versuchsergebnisse von der Lebensdauerprognose anhand der Abweichung zur 45°-Linie eingeschätzt werden. Zusätzlich ist das durchschnittliche Streuband aller Versuche angegeben, welches durch eine Mittelwertbildung aller Streubänder gebildet wird. Da sich das mittlere Streuband der Zuggarbe ($T_{0,50,mean} = 4,82$) nur marginal unterscheiden, werden vereinfachend lediglich die Streubänder der Zuggarbe und der Kopfgarbe ($T_{0,50,mean} = 19,62$) dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass insgesamt eine große Streuung der Ergebnisse existiert. Einige Datenpunkte befinden sich im Randbereich des Streubands, während einige Versuche eine sehr gute Übereinstimmung mit der Prognose zeigen. Die überwiegende Mehrheit der Datenpunkte befindet sich im Streuband der Versuchsauswertung und zeigt somit, dass das bruchmechanische Berechnungskonzept in der Lage ist, die Lebensdauer für unterschiedliche Mittelbelastungen zu prognostizieren. Es wird davon ausgegangen, dass die hohe Streuung ein

ability of occurrence) and the S-N curve simulated with the fracture-mechanics calculation concept are shown. The parameters for the fracture-mechanics fatigue life prediction correspond to those in [9]. A crack-growth law parameterised according to [19] for an R-ratio of R = 0,1 is used, as well as the Marlow material model from [11]. Fig. 5 shows that the simulated S-N curve lies, over wide ranges, within the scatter band of the tests shown. It is also evident that the tests from [11], particularly those with the tensile butt-joint specimen, exhibit very good reproducibility. The deviation between simulation and experiment for the diagonal tensile specimen is apparent particularly in the slopes of the lines. The difference can be explained by the fact that a vertical distribution of the experimental data develops at a number of cycles of $N = 1E+5$. This shows that tests can exhibit an identical number of cycles to fracture despite higher loading. This indicates a high scatter and suggests that a larger number of tests would lead to a flatter curve with better agreement with the simulation. In principle, according to DIN 50100, a usable number of tests of $n = 12$ is considered to provide adequate statistical confidence when using the best-practice method. An increase to $n = 20$ tests can be useful in cases of high scatter and anomalies (tests at higher loading exhibiting a higher number of cycles to fracture than tests at lower loading), as can be seen in the results for the diagonal tensile specimen.

A more comprehensive presentation including all tests is given in Fig. 6. Here, the deviation of the test results from the fatigue-life prediction can be assessed based on the deviation from the 45° line. In addition, it specifies the average scatter band of all tests which is formed by averaging all scatter bands. Since the mean scatter band of the lap-shear specimen ($T_{0,50,mean} = 4,90$) and that

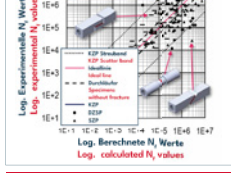


Bild 6: Vergleich der berechneten und der experimentell ermittelten Bruchlastwechselzahl N_f der durchgeführten Versuche unter Berücksichtigung der mittleren Streuung der Experimente.

Resultat des bereits thematisierten Fertigungsverfahrens ist, welches zu variierenden Klebstoffdicken führt. Dem Hinzufügen ist, dass Versuche mit elastischen Klebverbindungen in der Regel eine höhere Streuung aufweisen als beispielsweise Versuche mit metallischen Proben. Ursachen dafür können in Chargeinflüssen, Auslagerungsbedingungen oder der Probenfertigung liegen.

4. Schlussbemerkung

Im Zeitalter der automatisierten Leichtbauherstellung wird aufgrund ihrer vielseitigen Eigenschaften vermehrt auf hyperelastische Polyurethan-Klebstoffe zurückgegriffen. In der vorliegenden Veröffentlichung wird gezeigt, dass die Lebensdauerprognose von zyklisch belasteten, hyperelastischen Klebverbindungen bei unterschiedlichen Mittelbelastungen mit dem bruchmechanischen Berechnungskonzept aus [11] und [9] möglich ist. Zukünftige Untersuchungen im Bereich der hyperelastischen Klebstoffe sollten sich auf die Optimierung der Versuchsdurchführung fokussieren, um die Reproduzierbarkeit der Messdaten weiter zu verbessern und somit eine noch verlässlichere Datenbasis für die Validierung von Lebensdauerkonzepten bereitzustellen. Ebenso sollte die Untersuchung komplexer und überlagerter Belastungssituationen mit dem bruchmechanischen Berechnungskonzept oder vergleichbaren Berechnungsmethoden angestrebt werden. Diese Teilziele ermöglichen die Entwicklung verlässlicher und effizienter Auslegungsmethoden für elastische Klebverbindungen. Dadurch können zukünftig besonders verlässliche und materialsparende Klebverbindungen konstruiert und bereits im digitalen Entwicklungsprozess validiert werden.

Dankagung

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Das Projekt wurde durchgeführt durch die Forschungsvereinigung Schweiß- und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf.

Für die finanzielle Förderung und die organisatorische Betreuung der Forschungsvereinigung sei an dieser Stelle gedankt. Weiterer Dank gilt allen kooperierenden Industriepartnern für die gute Zusammenarbeit im Rahmen des Projekts.

Der Fachbeitrag basiert auf dem IGF-Forschungsvorhaben OIF22558 N / DVS-Nr.: 08.3570.



of the diagonal tensile specimen ($T_{0,50,mean} = 4,82$) differ only marginally, for simplicity only the scatter bands of the lap-shear specimen and the tensile butt-joint specimen ($T_{0,50,mean} = 19,62$) are shown. It is clear that overall there is a large scatter in the results. Some data points lie at the edge of the scatter band, while some tests show very good agreement with the prediction. The vast majority of the data points lie within the scatter band of the test evaluation and therefore show that the fracture-mechanics calculation concept is able to predict fatigue life for different mean stresses. It is assumed that the high scatter is a result of the manufacturing process already discussed, which leads to varying adhesive layer thicknesses. It should also be added that tests with elastic adhesive joints generally exhibit a higher scatter than, for example, tests with metallic specimens. Possible causes include batch effects, conditioning conditions or specimen manufacture.

4. Concluding Remarks

In the age of automated lightweight manufacturing, hyperelastic polyurethane adhesives are increasingly used because of their versatile properties. This publication shows that fatigue life prediction of cyclically loaded, hyperelastic adhesive joints for different mean stresses is possible using the fracture-mechanics calculation concept from [11] and [9]. Future investigations in the field of hyperelastic adhesives should focus on optimizing the test procedure in order to further improve the reproducibility of the measured data and thus provide an even more reliable data basis for validating fatigue-life concepts. Likewise, the investigation of complex and superimposed loading situations using the fracture-mechanics calculation concept or comparable calculation methods should be pursued. These sub-goals enable the development of reliable and efficient design methods for elastic adhesive joints. As a result, particularly reliable and material-saving adhesive joints can be designed in future and validated already within the digital development process.

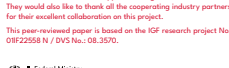
Danksagung

The project was promoted by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) on the basis of a resolution of the German Bundestag.

The project was carried out by the research association 'Forschungsvereinigung Schweiß- und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf.'

The authors would like to thank this opportunity to thank the Research Association for its financial support and organisational assistance. They would also like to thank all the cooperating industry partners for their excellent collaboration on this project.

This peer-reviewed paper is based on the IGF research project No. OIF22558 N / DVS-Nr.: 08.3570.



Fazit und Ausblick

Danksagung (optional)

Literatur References

[1] Sobek, W.: Ultra-lightweight construction. International Journal of Space Structures, 2016, Vol. 21, Issue 1, pp. 74-80. <https://doi.org/10.1177/0013164415284246>.

[2] Wabub, M. A.: Joining composites with adhesives - Theory and Applications, 2016. DeTech Publications, Incorporated, Pennsylvania, USA.

[3] Siebenpfeffer, W.: Leichtbau-Technologien im Automobilbau. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-04025-3>.

[4] DIN 8593-8:2003-09, Fertigungsverfahren Fügen, Teil 8: Kleben, Einordnung, Unterstellung, Begriffe. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2003. <https://doi.org/10.31030/356086>.

[5] Schmolke, T., Mescht, G., Meindler, D., Rieker, F., Grundmeier, G.: Untersuchung von Klebverbindungen für Batteriegehäuse. adhesion Kleben und Dichten, 2022, No. 6, S. 40-5.

[6] Pröbster, M.: Elastisch Kleben - aus der Praxis für die Praxis. Springer Vieweg, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-2181-2>.

[7] Kallner, M.: Entwicklung einer Methode zur Simulation der Lebensdauer von Klebverbindungen mit Polyurethan-Klebstoffen. Dissertation. In: Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Füge-technik, Bd. 110. Shaker Verlag, 2015. ISBN: 978-3-8440-3421-8.

[8] Cwadar, S.: Spannungsbauteile Lebensdauerberechnung von zyklisch beanspruchten Klebverbindungen mit hyperelastischen Deformationsverhalten. Dissertation. In: Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Füge-technik, Bd. 152. Shaker Verlag, 2021. ISBN: 978-3-8440-8088-1.

[9] Duffe, T.: Bruchmechanisches Berechnungskonzept zur belastungs-gerechten Auslegung von statisch und schwingend belasteten, elastischen Klebverbindungen. Dissertation. Universität Paderborn, 2023. <https://doi.org/10.31030/356086>.

[10] Richard, H. A., Sander, M.: Fatigue Crack Growth, Detect-Assess-Avoid. Springer Verlag, 2016. ISBN: 978-3-319-32532-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32532-3>.

[11] Teus, K., Aebel, T., Mescht, G., Duffe, T., Kullmer, G.: Methodentwicklung zur numerischen Lebensdauerprognose von hyperelasti-

schen Klebverbindungen infolge zyklischer Beanspruchung mittels bruchmechanischer Ansätze. Projektabschlussbericht IGF-Nr. 2030N-N, DVS-Forschungsvereinigung, Bd. 509, DVS-Media, 2021. ISBN: 978-3-96870-509-5.

[12] Sikora, S. P.: Materialcharakterisierung und -modellierung zur Simulation von Klebverbindungen mit Polyurethan-Klebstoffen. Dissertation. In: Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Füge-technik, Bd. 110. Shaker Verlag, 2015. ISBN: 978-3-8440-3421-8.

[13] La Spina, V.: Environmental and chemical degradation of carbon/epoxy and structural adhesive for aerospace applications: Fickian and anomalous diffusion. Arthritis kinetics, Composite Structures, 2013, Vol. 91, No. 9, pp. 2180-95.

[14] R. S. Marlow, A. Busfield, and A. Muir: A General First-Invariant Hyperelastic Constitutive Model. Constitutive Models for Rubber III, 2003, pp. 157-60.

[15] DIN EN ISO 527-2:2004-09 - Entwurf: Kunststoffe - Bestimmung der Zugigenschaften - Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2024. <https://doi.org/10.31030/356086>.

[16] DIN 53504:2017-02: Prüfung von Kautschuk und Elastomeren - Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2017. <https://doi.org/10.31030/2697941>.

[17] DIN EN 12670:2009-08: Klebstoffe - Bestimmung der Zugfestigkeit von Stumpfklebungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2009. <https://doi.org/10.31030/1524436>.

[18] DIN 50300:2022: 22-Schwingfestigkeitsversuch - Durchführung und Auswertung von zyklischen Versuchen mit konstanter Lastamplitude für metallische Werkstoffproben und Bauteile. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2018. <https://doi.org/10.31030/3337109>.

[19] Kullmer, G., Weir, D., Schramm, B.: An alternative and robust formulation of the fatigue crack growth rate curve for long cracks. Engineering Fracture Mechanics, 2024, Vol. 276. (Open Access) <https://doi.org/10.1016/j.engfrac.2023.109958>.

Literaturkasten

Autorenkasten mit allen Autoren des Beitrags und ihrem Porträt, Namen, Titel, Institut, ihrer Tätigkeit und E-Mail-Adresse

Autoren Authors

Marit Busch, M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Angewandte Mechanik (AM) Research assistant, Applied Mechanics (AM)
Universität Paderborn
busch@ipm.upb.de

Karina Teus, M. Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Fatigue Simulation, Laboratorien für Werkstoff- und Füge-technik (LWF) Research assistant, Simulation Group, Laboratory for Materials and Joining Technology (MJT)
Universität Paderborn
karina.teus@upb.de

Dr.-Ing. Tobias Duffe
Benannter Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Angewandte Mechanik (AM) Former Research assistant, Applied Mechanics (AM)
Universität Paderborn
tduffe@ipm.upb.de

Prof. Dr.-Ing. Gunter Kullmer
Leiter des Instituts für Angewandte Mechanik (AM) Head of the Applied Mechanics Institute (AMI)
Universität Paderborn
kullmer@ipm.upb.de

Prof. Dr.-Ing. Gernot Mescht
Leiter des Laboratoriums für Werkstoff- und Füge-technik (LWF) Head of the Laboratory for Materials and Joining Technology (MJT)
Universität Paderborn
mescht@ipm.upb.de