

JOINING PLASTICS



www.joining-plastics.info

Author Guidelines



Author Guidelines

The Most Important Information:

- We require your manuscript as a Word file (including tables and figures at the end of the document). This file will first be reviewed our permanent expert board for publication as a peer-reviewed paper.
- The length of the Word file (monolingual) should not exceed 20,000 characters (including spaces; from the title through the figure captions to the end of the references section). There should be no more than 6 to 8 figures or tables in total.
- Please also send the figures as separate files (resolution at least 300 dpi, file formats: eps, jpeg, png).
- We require a written short CV of 5 to 10 lines from each author for our website, as well as a digital portrait photo.
- Please send your manuscript to nicole.stramka@dvs-media.info.

1. Files

Please submit the following files:

- a Word file (including tables and figures at the end of the document) for editorial processing and the peer review procedure
- all figures (including author photos) as separate files (jpeg, png, eps) with a resolution of 300 dpi (further information in section 4. Figures and Tables)
- a 5- to 10-line written short CV in a Word file from each author and a portrait photo

2. Formal Text Layout

- The length of the Word file (monolingual) should not exceed 20,000 characters (including spaces; from the title through the figure captions to the end of the references).
- Units of measurement must strictly comply with SI standards. Please do not use outdated units such as wt.-%, at.-% etc.
- Please avoid abbreviations throughout the manuscript (such as „diam.“ instead of „diameter“), especially in figure captions.
- Please also note that our journal design does not permit the use of trademark and copyright symbols or the use of capital letters for company and product names.

3. Structure of the Article

Your article consists of title, author box, abstract, main body, conclusion and outlook, and references.

3.1 Title

The title of the contribution should not exceed 100 characters (including spaces) and should be concise yet clear.

3.2 Authors of the Article

All authors of the article are listed under the title, with their first and last names.

3.3 Abstract

- The abstract should summarise the content of the article.
- It will also be published on our website.
- It should be no longer than 1,000 characters (including spaces).

3.4 Main body

- The main body is structured using decimal classification (up to a maximum of the third level).
- It begins with “1. Introduction” and ends with “Conclusion and Outlook”.

3.5 References

- Please do not use Word’s automatic reference generation.
- Use the numerical citation style and assign numbers in sequential order in the running text: [1], [2], etc.
- List the references used at the end of the manuscript:
[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] Bornemann, M.; Albrecht, M.; Schöppner, V.; Seefried, A.: Hot gas series welding of components made from different materials using the example of polyamide 6, 19 (2025) No. 2., pp. 96. <https://doi.org/10.53192/JP202500296>
- Please provide the DOI as a URL.

Author Guidelines

4. Figures and Tables

Please observe the following instructions:

- Figures and tables must be distinguished and numbered consecutively (Fig. 1, Table 1, etc.) and cited at least once in the text.
- Drawings, diagrams and photos must be labelled “Fig.” in the caption.
- The captions should not be embedded in the image itself. They should describe the content of the figure so clearly that it is self-explanatory.
- Number figures consecutively; include figure numbers in the manuscript text.
- Names, terms, etc. should follow the latest ISO standards, DVS leaflets, etc.
- The font should be uniform across all figures.
- Avoid effects such as patterns, outline fonts, gradients, and shadows.
- Use colour images whenever possible; minimum resolution: 300 dpi.
- File formats: eps, jpeg, png.

5. Author Box

At the end of the article, the following details are provided for all authors:

- first and last name (no abbreviations, please),
- title or academic degree,
- current job/position including the name and location of the institute/employer,
- email address,
- a digital portrait photo, and
- a 5- to 10-line written short CV in our online database (<https://www.joining-plastics.info/en/authors>)

6. Contact Address

- Please send your manuscript to nicole.stramka@dvs-media.info.

Note on Gender-Inclusive Language

The scientific papers published in JOINING PLASTICS are primarily reviewed for their content quality through a peer review process. The generic masculine form used in the articles generally refers to all gender identities. We explicitly support the use of gender-inclusive language, but refrain from doing so in favour of readability.

Numerische Lebensdauerprognose von hyperelastischen Polyurethan-Kleberverbindungen für unterschiedliche Mittelspannungen mit einem bruchmechanischen Ansatz

Numerical Fatigue-Life Prediction of Hyperelastic Polyurethane Adhesive Joints for Different Mean Stresses Using a Fracture-Mechanics Approach

Maritz Buzcek, Karina Tows, Tobias Duffe, Gunter Küllmer, Gerson Meschke

Kurzfassung
Aufgrund der Vorteile von Polyurethan-Klebstoffen werden diese zunehmend im Leichtbau eingesetzt, wo sie zyklischen Belastungen ausgesetzt sind. Trotz des steigenden Einsatzes von hyperelastischen Klebstoffen werden diese bislang vor allem unter einfachen zyklischen Bedingungen untersucht, obwohl sie in der Praxis komplexeren Belastungen ausgesetzt sind, beispielsweise mit variablen Mittelspannungen. Aufgrund unzureichender Kenntnisse fehlt eine validierte Methode zur Lebensdauerprognose Auslegung dieser belasteter Kleberverbindungen. Im vorgestellten Forschungsprojekt werden daher kontinuums- und bruchmechanische Versuche zur Charakterisierung eines hyperelastischen Klebstoffs durchgeführt. Darauf aufbauend findet die Validierung des bruchmechanischen Konzepts anhand von einachsigen Schwingversuchen mit variabler Mittelspannung statt, um die Lebensdauerprognose unter komplexeren Belastungsbedingungen zu ermöglichen.

Abstract
Owing to the advantages of polyurethane adhesives, they are increasingly used in lightweight structures, where they are subjected to cyclic loading. Despite the growing use of hyperelastic adhesives, to date they have mainly been investigated under simple cyclic conditions, even though in practice they are subjected to more complex loadings such as variable mean stresses. Because of insufficient knowledge, there is no validated method for fatigue-life-oriented design of adhesive joints under this type of loading. In the research project presented here, continuum-mechanics and fracture-mechanics tests are therefore carried out to characterise a hyperelastic adhesive. On this basis, the fracture-mechanics calculation method is validated using uniaxial cyclic tests with variable mean stresses in order to enable fatigue-life prediction under more complex loading scenarios.

1. Einleitung

Für die Umsetzung von innovativen und nachhaltigen Leichtbauansätzen stellt die klebtechnische Fertigung ein wichtiges Hilfsmittel dar, weshalb die Klebtechnik in zahlreichen Branchen wie dem Bauwesen, der Luft- und Raumfahrt sowie dem Automobilbau eingesetzt wird [1–3]. Dies ist darauf begründet, dass das nach DIN 8593-8 [4] definierte Fügeverfahren hohe Lastübertragungskapazitäten aufweist und zugleich stoffschlüssige und mediale Verbindungen ermöglicht, was beispielsweise beim Bau von Batteriegehäusen erforderlich ist [5]. Iets zusätzlich erforderlich, Bauteiloberflächen und verschiedene Wärmeausdehnungen der Fügepartner auszugleichen, werden elastische Klebstoffsysteme auf Polyurethan- oder Silikonbasis, die zunehmend

1. Introduction

Adhesive bonding is an important enabler for implementing innovative and sustainable lightweight design concepts; consequently, adhesive technology is used in numerous sectors such as construction, aerospace and automotive engineering [1–3]. This is because the joining process defined in DIN 8593-8 [4] offers high load transfer capacities while at the same time enabling cohesive, media-tight joints, as required, for example, in the manufacture of battery housings [5]. If it is additionally necessary to compensate for component tolerances and different thermal expansions of the joining partners, elastic adhesive systems based on polyurethane or silicone are selected; these are increasingly used in glass and facade construction, shipbuilding and the automotive

https://doi.org/10.53192/jpp0206150

Title
max. 100 characters
(including spaces)

Abstract
max. 1,000 characters
(including spaces)

Chapter heading

Main body

DOI

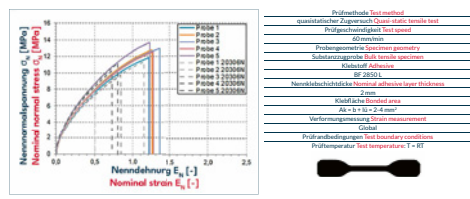


Bild 3: Gegenüberstellung der experimentellen Spannung-Dehnung-Daten der Substanten mit den Versuchsdaten aus [1] unter quasi-statischer Belastung

Fig. 3: Comparison of the experimental stress-strain data of the bulk tensile specimens with the test data from [1] under quasi-static loading

in Glas- und Fassadenbau, der Schiffahrt und Automobilindustrie sowie im Stahl- und Anlagenbau ihre Anwendung finden, gewählt [6]. Durch ihre elastomeren, hyperelastischen Werkstoffeigenschaften bieten diese Klebstoffe auch bei hohen Verzerrungen die Möglichkeit, dem Stoffschluss zwischen den Fügepartnern aufrecht zu erhalten.

Erste Ansätze zur Lebensdauerprognose von hyperelastischen Klebstoffen sind [7–9] zu finden. Dabei kommen sowohl kontinuumsmechanische als auch bruchmechanische Betrachtungsweisen bei der Prognose der einachsigen belasteten Ermüdungsverhalten zum Einsatz. Im realen Bauteilbetrieb sind Kleberverbindungen jedoch komplexeren Belastungssituationen, wie zum Beispiel variierenden Mittelspannungen, ausgesetzt, welche bei der Gestaltung von Klebschichten und Bauteilen im Allgemeinen berücksichtigt werden müssen [10]. Aus diesem Grund ist das Ziel der vorgestellten Arbeit, die Lebensdauerprognose einer hyperelastischen Kleberverbindung bei unterschiedlichen Mittelspannungen sowie die Weiterentwicklung des in [11] erarbeiteten und [12] bestätigten frakturmechanischen Berechnungsansatzes, dafür werden sowohl bruchmechanische als auch kontinuumsmechanische Untersuchungen vorgenommen, um das Ermüdungsverhalten des hyperelastischen Klebstoffs auf Polymerbasis zu charakterisieren.

2. Kontinuumsmechanische Klebstoffcharakterisierung

Der für diese Arbeiten ausgewählte hyperelastische Klebstoff ist der Beforte 2850L der Firma DuPont Specialty Products GmbH & Co. KG. Im Rahmen des Forschungsprojekts [11] wurde für diese Klebstoffe ein Materialmodell anhand der Substanten sowie der Kopfzugprobe im Simulationsprogramm Abaqus des Unternehmens Dassault Systèmes parametrisiert. Die Modellierung des

2. Continuum-Mechanics Characterisation of the Adhesive

The hyperelastic adhesive selected for this work is Beforte 2850L from DuPont Specialty Products GmbH & Co. KG. Within the research project [11], a material model for this adhesive was parameterised in the Abaqus simulation program (Dassault Systèmes) on the basis of the bulk tensile specimen and the tensile butt joint specimens. The modelling of the adhesive behaviour followed [12] and [13], neglecting failure behaviour, using the Marlow material model [14]. As the parameterised material model is used for the calculation concept to be extended in the present research project, reproducibility tests are required to check possible batch effects on the bulk tensile specimens to investigate the

Figure
min. 300 dpi

Caption

Chapter heading

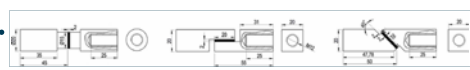


Bild 4: Kontinuumsmechanische Prüfkörper mit Abmessungen in mm (von links nach rechts: Kopfzugprobe, Zugshearprobe, Schräggzugprobe)

Fig. 4: Continuum-mechanics specimens with dimensions in mm (from left to right: tensile butt joint specimen, lap-shear specimen, diagonal tensile specimen)

Zugsheerprobe, Schräggzugprobe mit Abmessungen in mm (von links nach rechts: Kopfzugprobe, Zugshearprobe, Schräggzugprobe). Die Durchführung geschieht an einer elektrischen Zugprüfmaschine des Herstellers Instron mit einem 2kN Kraftaufnehmer. Die Einspannung der Prüfkörper erfolgt bei R = 0 kardantisch, bei R < 0 in einer festen Einspannung. Die Probengeometrien und Abmessungen der Klebschicht sind in Bild 4 dargestellt. Die angestrichelte Klebschichtdicke beträgt t = 2 mm. Die Prüfung erfolgt bei Raumtemperatur, welche je nach Jahreszeit zwischen 20 °C und 26 °C variiert. Ein Einfluss durch die gemessene Temperaturschwankung kann anhand der Versuchsdaten nicht belegt werden. Die sinusförmige Belastung der Prüfkörper erfolgt kraftregelnd. Der angestrichelte Zielfestigkeitsbereich beträgt 10.000 bis 2000.000 Lastwechsel. Versuchsauswertung: außerhalb dieses Bereichs fließen nicht in die statistische Versuchsauswertung ein, welche nach dem Perlschurverfahren in Anlehnung an DIN 50100 [18] erfolgt. Zur Reduzierung des Versuchsaufwands wird abweichend zur DIN 50100 der Lastwechselbereich 10.000 + N < 2.000.000 (= Grenzschwingungszahl) untersucht und lediglich die Zeitfestigkeit betrachtet. Die Versuchsplanung kann Tabelle 1 entnommen werden. Darin sind zum einen die Anzahl der durchgeführten Versuche dargestellt sowie die Anzahl der Versuche, die für die Auswertung nach dem Perlschurverfahren herangezogen werden. Ebenso ist die resultierende Streuungspanne T_{sc} angegeben. Der Eintrag „14 / 5 / 4,32“ bedeutet somit, dass insgesamt 14 Versuche geplant sind, von denen 5 Versuche für die statistische Auswertung herangezogen werden, welche in einer Streuungspanne von T_{sc} = 4,32 resultieren. Anhand von Tabelle 1 lässt sich erkennen, dass eine signifikant

$$\sigma_{\text{m}} = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2} \quad (2)$$

The tests compared with the fatigue-life prediction of the fracture-mechanics calculation concept are carried out on three different specimen geometries (tensile butt joint specimen, lap-shear specimen, and diagonal tensile specimen) with R ratios of 0, 0.1, 0.3, 0.5 and -1, and a constant test frequency of f = 0 Hz. Testing is performed on an electric tension-compression testing machine (Instron) with a 2 kN load cell. The specimens are mounted with a cantilever joint for R = 0 and with a rigid clamping for R < 0. The specimen geometries and the dimensions of the adhesive layer are shown in Fig. 4. The pursued adhesive layer thickness is t = 2 mm. Testing is conducted at room temperature, which varies between 20 °C and 26 °C depending on the season. An influence of the measured temperature fluctuation cannot be demonstrated from the test data. The sinusoidal loading of the specimens is force-controlled. The pursued target life range is 10,000 to 2,000,000 cycles. Test results outside this range are not included in the statistical evaluation of the test data, which is performed using the bead-string method in accordance with DIN 50100 [18]. To reduce the scope of testing, deviating from DIN 50100, the cycle range 10,000 + N < 2,000,000 (= limiting number of cycles) is investigated and only time to failure is considered. The test plan is given in Table 1. It shows, first, the number of tests carried out and, second, the number of tests used for evaluation with the bead-string method. The resulting scatter range T_{sc} is also given. The entry “14 / 5 / 4.32” therefore means that 14 test results are available in total, of which 5 tests are used for the statistical evaluation, resulting in a scatter range of T_{sc} = 4.32. From Table 1 it can be seen that there is a significant fluctuation range in the number of tests per-

Tabelle 1: Gesamtanzahl der Versuche pro Versuchsreihe, davon für das Perlschurverfahren genutzte Versuchszahl, daraus berechnete Streuungspanne T_{sc}.
Table 1: Total number of tests per test series, of which number of tests used for the bead-string method, and resulting scatter range T_{sc}.

Prüfverfahren Specimen form	Versuchszahl / Number of tests / Streuungspanne T _{sc} / Scatter range T _{sc}		Perlschurverfahren / Bead-string method / R = 0,1		R = -1
	R = 0,1	R = 0,3	R = 0,1	R = 0,3	
Kopfzugprobe Tensile butt joint specimen	14 / 5 / 4,32	37 / 11 / 3,39	20 / 9 / 4,34	14 / 10 / 58,93	
Zugsheerprobe Lap-shear specimen	5 / 1 / 0,20	14 / 11 / 1,42	17 / 12 / 3,72	14 / 11 / 5,96	
Schräggzugprobe Diagonal tensile specimen	15 / 10 / 4,69	13 / 9 / 3,60	14 / 11 / 4,76	5 / 9 / 2,24	

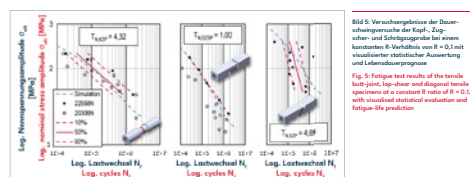


Bild 5: Versuchsergebnisse der Dauererschütterungsversuche der Kopf-, Zugsheer- und Schräggzugprobe bei einem konstanten R-Verhältnis von R = 0,1 mit variabler statistischer Auswertung und Lebensdauerprognose

Fig. 5: Fatigue test results of the tensile butt joint, lap-shear and diagonal tensile specimens at a constant R ratio of R = 0,1, with variable statistical evaluation and fatigue-life prediction

der Schwankungsbreite in der Anzahl der durchgeführten Versuche je nach Prüfkörper und R-Verhältnis existiert. Dies liegt in dem häufig adhäsiiven Klebschichtversagen begründet, welches bis auf wenige Ausnahmen zu einem vorzeitigen Versagen der Klebschicht führt. Aus diesem Grund fließen bei der Kopfzugprobe lediglich 5 von insgesamt 85 Versuchen in die statistische Auswertung ein. Insgesamt 46 der 50 nicht statistisch berücksichtigten Versuche befinden sich unterhalb des geplanten Zielfestigkeitsbereichs, die restlichen 4 Versuche erreichen eine Lastwechselzahl oberhalb des Zielfestigkeitsbereichs. Ebenso erwähnenswert ist die signifikant hohe Streuungspanne der Kopfzugprobe bei R = -1 von T_{sc} = 58,93. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Kopfzugprobe eine hohe Sensitivität in Bezug auf eine exaktale Einspannung hat. Sobald die Prüfkörper in der festen Einspannung eine Abweichung ihrer Koaxialität aufweisen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit zur Einbringung von unerwünschten und nicht berücksichtigten Belastungen der Klebschicht. Als gegensätzliches Beispiel ist dahingegen die Streuungspanne der Zugsheerprobe bei einem R-Verhältnis von R = 0,1 anzumerken, welche sich auf einen Wert von T_{sc} = 1,004 beläuft. Bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass Schwankungen in der Klebschichtdicke der Prüfkörper vorhanden sind. Bei der Kopfzugprobe beträgt die mittlere Klebschichtdicke t_{mean} = 2,183 mm mit einer Standardabweichung von σ = 0,187 mm. Der Median beträgt t_{median} 2,2 mm und die geringste sowie höchste Klebschichtdicke betragen t_{min} = 1,67 mm und t_{max} = 2,7 mm. Es ist also eine Tendenz hin zu höheren Klebschichtdicken erkennbar. Die Klebschichtdicke hat einen Einfluss auf die Lebensdauer der Kleberverbindung und wird im Rahmen der numerischen Lebensdauerberechnung konstant mit t = 2 mm berücksichtigt, wodurch sich Abweichungen zu den tatsächlichen Versuchen ergeben können. Da bei dem Vorgängerprojekt IGF 2030/30 [11] überwiegend kohäsive Brüche auftraten, wird davon ausgegangen, dass die KTG genügt und keine zusätzliche Oberflächenbehandlung in Form von Prismen durchgeführt werden muss.

formed depending on specimen and R ratio. This is due to the frequent adhesive failure of the bondline, which, with few exceptions, leads to premature failure of the adhesive layer. For this reason, only 5 of a total of 85 tests for the tensile butt joint specimen are included in the statistical evaluation. Of the 50 tests not considered statistically, a total of 46 are below the planned target life range, and the remaining 4 tests reach a number of cycles above the target life range. Also noteworthy is the significantly high scatter range of the tensile butt joint specimen at R = -1, with T_{sc} = 58.93. One possible explanation is that the tensile butt joint specimen is highly sensitive with regard to coaxial clamping. As soon as the two specimen halves exhibit a deviation from coaxiality in the rigid clamping, the probability increases that unwanted and unaccounted-for loading of the adhesive layer will be introduced. As an opposite example, the scatter range of the lap-shear specimen at an R ratio of R = 0,1 should be noted and amounts to a value of T_{sc} = 1,004. When assessing the test results, it must also be considered that fluctuations in adhesive layer thickness are present in the specimens. For the tensile butt joint specimens, the mean adhesive layer thickness is t_{mean} = 2,183 mm with a standard deviation of σ = 0,187 mm. The median is t_{median} = 2,2 mm and the minimum and maximum adhesive layer thicknesses are t_{min} = 1,67 mm and t_{max} = 2,7 mm. There is therefore a tendency towards higher adhesive layer thicknesses. The adhesive layer thickness influences the fatigue life of the adhesive joint, is considered as constant at t = 2 mm within the numerical fatigue-life calculation and may thus lead to deviations from the actual tests. Since predominantly cohesive fractures occurred in the predecessor project IGF 2030/30 [11], it is assumed that the CDC is sufficient and that an additional surface pre-treatment in the form of prisms is required.

The visualisation of the evaluation using the bead-string method is shown in Fig. 5. As an example, the test results for the three specimen types are shown for an R ratio of R = 0,1. For the tensile butt joint specimens and the lap-shear specimen, the diagrams supplied complemented with data from IGF 2030/30 [11]. In addition, the scatter band generated with the bead-string method (10% and 90% prob-

