DVM NACHRICHTEN
Mitteilungen für DVM-Mitglieder

www.dvm-berlin.de

Liebe DVMler,

das Editorial unserer aktuellen Ausgabe der DVM-Nachrichten würdigt den Wechsel in der Leitung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, der ein wesentlicher Bestandteil des DVM ist und auf eine 45-jährige Vergangenheit zurückblicken kann. Die jährlich ausgerichtete Tagung ist mit Ihren technischen Beiträgen und fachlichen Diskussionen fester Bestandteil der Jahresplanung vieler DVM-Mitglieder und anderer Spezialisten auf dem Gebiet der Betriebsfestigkeit. Ergänzt wird dieses Angebot durch Seminare und Workshops zur Vermittlung und Vertiefung simulativer und experimenteller Themen.

Die Jahrestagung wird organisiert durch einen Programmausschuss. Dieser setzt sich aus Mitgliedern aus Wissenschaft, anwendungsnaher Forschung und Industrie zusammen, die ein breites Spektrum von Instituten und Firmen verschiedener Branchen abbilden und mitten im aktiven Berufsleben stehen. Sie helfen mit bei Einwerbung und Auswahl von Fachbeiträgen, der Erstellung der Tagungsprogramme sowie bei der regelmäßigen Justierung der langfristigen Ausrichtung des Arbeitskreises und sind damit dessen Rückgrat. Dieses Rückgrat trägt einen Obmann, der vom Vorstand des DVM in der Regel aus dem Kreis der langjährigen Mitglieder des Programmausschusses berufen wird.

Nach der Leitung des Arbeitskreises durch die Professoren Erwin Haibach, Horst Nowack, Harald Zenner, und Cetin M. Sonsino, füllte von 2010 bis 2020 Martin Brune (BMW Group) dieses Amt aus und organisierte in dieser Zeit 10 Jahrestagungen mit insgesamt 165 Fachbeiträgen und nahezu 2500 Teilnehmern. Zudem setzte er sich aktiv für den Ausbau der Beziehungen mit der französischen Gesellschaft für Metallurgie und Werkstoffe SF2M (Société Française de Métallurgie et de Matériaux) ein, deren Jahrestagung Fatigue Design regelmäßig durch Beiträge aus dem DVM Arbeitskreis Betriebsfestigkeit unterstützt wird. Nach zehn erfolgreichen Jahren als Obmann des Arbeitskreises und dem Ausscheiden aus dem aktiven Berufsleben übergab Dr. Martin Brune am 01. Oktober 2020 die Obmannschaft an Dr. Matthias Decker (AUDI AG). Matthias Decker ist seit 2006 im Programmausschuss des Arbeitskreises tätig, hat in seiner Zeit bei der IABG mbH gemeinsam mit Manfred Streicher (MAN Nutzfahrzeuge AG) die Jahrestagung 2010 bei MAN in München sowie 2017 den Workshop Prüfmethodik bei der IABG mbH in Ottobrunn organisiert. Seit 2015 ist er gewähltes Beiratsmitglied und seit Januar 2020 Mitglied im Vorstand des DVM.

Martin Brune übergibt den Staffelstab an Matthias Decker

Matthias Decker bedankt sich bei Martin Brune für die Übergabe eines perfekt geführten Arbeitskreises mit dem Startguthaben einer fertig organisierten Jahrestagung, die für Oktober 2020 geplant war, dann aber pandemiebedingt auf 2021 verschoben werden musste. Die Übergabe der Obmannschaft erfolgte deshalb zunächst nur online. Die Jahrestagung fand nun am 29. und 30. September 2021 in Kaiserslautern am Fraunhofer ITWM sowie der TU Kaiserslautern statt und bot einen gebührenden Rahmen für die offizielle Übergabe des Staffelstabes.

Matthias Decker
AUDI AG Ingolstadt

Inhalt

- Berichte 2-3, 5-7
- Praxisrelevante Forschungsberichte 4
- Ehrungen 8-9
- Mitglieder 9-10
- Veranstaltungen 12
- Beilage: Kurzfassungen

DVM-Aktivitäten in 2021 – mit Aussichten auf 2022

Den **Workshop Prüfmethodik für Betriebsfestigkeitsversuche in der Fahrzeugindustrie** mussten Dr. Rainer Masendorf, TU Clausthal, als Programmverantwortlicher und sein Programmausschuss pandemiebedingt vom Januar 2021 auf den 26. und 27.01.2022 verschieben – das Fachprogramm ist online verfügbar und für die Vorbereitungen für eine allseits dringend erwartete Präsenzveranstaltung zeichnet Programmausschussmitglied David Lorenz-Nikola, Kistler Instrumente GmbH, Sindelfingen, verantwortlich. Entsprechend wird der alternierende **Workshop Numerische Simulation in der Betriebsfestigkeit**, (Programmverantwortlicher Dr. Jörg Baumgartner, Fraunhofer LBF Darmstadt) **Anfang 2023** wieder angeboten. Anm.: Prüfmethodik-Workshop kurzfristig erneut verschoben - Infos siehe DVM-Website.

Der **Arbeitskreis Bruchmechanik und Bauteilsicherheit** tagte am 18. und 19.02.2021, online ausgerichtet von der Hochschule Bremen. Die Community bedauerte überaus, dass man sich nicht in Präsenz treffen konnte, lobte aber das vom Programmausschussmitglied Prof. Frank Jablonski, Hochschule Bremen, exzellent organisierte Online-Format! Dieses war mit seinen speziellen Gegebenheiten natürlich insbesondere auch etwas für den Nachwuchs und so konnte der DVM-Juniorpreis auch 2021 vergeben werden an Tobias Duffe (Universität Paderborn) für seinen herausragenden Vortrag, auf den Plätzen 2 und 3 folgten Stephan Häusler (Universität Rostock) und Larissa Duarte (BAM Berlin). Die nächste **Jahrestagung am 22. und 23.02.2022 in Berlin** plant Obmann Prof. Michael Vormwald, TU Darmstadt, in enger Zusammenarbeit mit Dr. Dietmar Klingbeil, BAM Berlin, und dem Programmausschuss als Präsenzveranstaltung. Das Fachprogramm ist online verfügbar.

Auch im **Arbeitskreis Zuverlässigkeit mechatronischer und adaptronischer Systeme** musste Obmann Dr. Jürgen Nuffer, Fraunhofer LBF Darmstadt, mit seinem Programmausschuss den jährlichen Workshop 2021 auf den 15. und 16.02.2022 verschieben. Alle Beteiligten freuen sich auf ein wiederum spannendes Fachprogramm in Präsenz in Lübeck, wo Heiko Schaffrath, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, zudem die Präsentation fachlicher lokaler Highlights nicht ausschließt.

Im **Arbeitskreis Elastomerbauteile** hatte Obmann Prof. Herbert Baaser, Technische Hochschule Bingen, nach der Absage im Vorjahr in 2021 seine erste Jahrestagung erhofft – leider wurde noch einmal nichts daraus. Nun steht aber die nächste **Jahrestagung** mit dem spannenden Titel **Elastomerbauteile – dynamisch in die Zukunft** am 16. und 17.03.2022 in Hannover bevor, wo Programmausschussmitglied Prof. Markus André, Hochschule Hannover, freundlicherweise organisatorisch unterstützt.

Einen eigenen Ansatz verfolgt der Programmausschuss des **Arbeitskreis Strukturbauteile aus Kunststoffverbunden** unter Obmann Prof. Andreas Büter, Hochschule Darmstadt, der seinen nächsten Workshop erst dann planen möchte, wenn die äußere Situation eine Präsenzveranstaltung absehbar wieder möglich macht; angedacht ist der **Workshop Methoden zur Bauteildimensionierung aus Sicht von Material und Fertigung** nun für **2022** in Präsenz!

Die DVM-Verantwortlichen in Vorstand und Geschäftsführung unterstützen alle Ansätze und Ideen der Obleute und fachlich Verantwortlichen in den Programmausschüssen in der Pandemie – der unverdrossen rege und aktive Austausch mit den Beteiligten über Veranstaltungsformate von Präsenz bis online macht das Verbandsleben derzeit auf dieser Ebene aus.

Im April musste der **DVM-Tag Mobilität der Zukunft – Bauteilzuverlässigkeit im digitalen Zeitalter**, mit dem gleichzeitig die 125-Jahr-Feier des DVM begangen werden sollte, auf den **6. und 7.04.2022** verschoben werden. Die in **2021 obligatorische Vorstands- und Beiratssitzung sowie die Mitgliederversammlung**, die in das Veranstaltungsprogramm eingebettet geplant waren, fanden am **11.11.2021** in Präsenz statt.

Im **Arbeitskreis Bauteilverhalten bei thermomechanischer Ermüdung** (Obmann Prof. Tilmann Beck, TU Kaiserslautern) musste der jährliche **Workshop** auf **2022** verschoben werden, ebenso findet der **Workshop des Arbeitskreises Zuverlässigkeit tribologischer Systeme** unter einem neuen Obmann erst wieder **2022** statt.

Im Juni musste **die LCF9 Ninth International Conference on Low Cycle Fatigue** um ein Jahr auf 21. bis 23 Juni 2022 verschoben werden. Chairman Prof. Tilmann Beck, TU Kaiserslautern, freut sich über die große Zahl von Vortragsanmeldungen von Fachkollegen aus aller Welt.

Nach der Sommerpause musste zwar das **Fortbildungsseminar Bauteilschäden – Bewertung, Folgerungen und Abhilfemaßnahmen**, geplant Ende September an der TU Clausthal (Programmverant-

wortliche Prof. L. Issler, BWF Esslingen, und Prof. A. Esderts, TU Clausthal) um ein Jahr auf 2022 verschoben werden, stattfinden konnten aber die Jahresveranstaltungen des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit in Kaiserslautern.

Auf Seite 5 finden sich ausführliche Berichte zum Fortbildungsseminar **Schwingfestigkeit von additiv gefertigten Bauteilen** am 28.09.2021, erstmals unter Leitung des neuen Programmverantwortlichen Dr.-Ing. Stephan Issler, BWF Esslingen Steinbeis-Transferzentrum Bauteilfestigkeit und -sicherheit, Werkstoff- und Fügetechnik (BWF) an der Hochschule Esslingen, und zur Tagung **Die Betriebsfestigkeit im Spannungsfeld neuer Mobilitätskonzepte und Fertigungstechnologien** am 29. und 30.09.2021 unter Leitung des neuen Obmannes Dr. Matthias Decker, AUDI AG, Ingolstadt. Hier wurde die August-Wöhler-Medaille an Prof. Uwe Zerbst, ehem. BAM Berlin, vergeben, DVM-Ehrennadeln in Silber gingen an Dr. Melanie Fiedler, TU Dresden, und Dr. Michael Wächter, TU Clausthal, den DVM-Juniorpreis erhielt Winniefred Madleen Rudorffer von der TU Clausthal.

Am 19. und 20.10.2021 fand zum zweiten Mal online der Workshop **Grundlagen und Beispiele zur Digitalisierung für die Materialforschung und -prüfung** unter Leitung des Programmverantwortlichen Dr. C. Schweizer, Fraunhofer IWM, Freiburg, statt. Ein ausführlicher Bericht findet sich auf Seite 7.

Bereits zum 6. Mal fand die Tagung **Additiv gefertigte Bauteile und Strukturen** am 3. und 4.11.2021 in Berlin statt. Obfrau Marion Eiber, IABG mbH, Ottobrunn, erfreute sich reger Diskussionen und konnte auch dieses Jahr mit Ali Al-Zuhairi M.Eng., TU Kaiserslautern, wiederum einen Juniorpreisträger küren.

Am 10. und 11.11.2021 fanden dann in der DVM-Geschäftsstelle in Berlin die jährliche Vorstands- und Beiratssitzung sowie die **Ordentliche Mitgliederversammlung 2021** statt.

Anschließend konnte am 17. und 18.11.2021 in Ulm in Präsenz der lange geplante und leider mehrfach verschobene Workshop **Brennstoffzelle, Batterie, elektrischer Antrieb – Anforderungen und Absicherung** unter dem Programmverantwortlichen Norbert Schmudde, ZF Friedrichshafen, Dielingen, endlich stattfinden.

Online fand unter dem Programmverantwortlichen Prof. R. Voss, TH Ulm, am 18. und 19.11.2021 der Workshop **Zuverlässigkeit und Probabilistik** statt.

Der Workshop des Arbeitskreises **Zuverlässigkeit von Implantaten und Biostrukturen** musste jedoch von Ende November um ein Jahr auf den 24. und 25.11.2022 verschoben werden. Hier freut sich Obfrau Prof. Claudia Fleck, TU Berlin, nach 2019 auf eine Wiederholung der Zusammenarbeit mit der Universität Rostock/Universi-tätsmedizin Rostock und dem SFB 1270 „Elektrisch Aktive Implantate“ – ELAINE.

Informationen zu allen Veranstaltungen finden auf der Website www.dvm-berlin.de.

Impressum

Die DVM-Nachrichten sind die Verbandsmitteilungen des Deutschen Verbandes für Materialforschung und -prüfung e. V.

DVM-Redaktion:
Dr.-Ing. Andreas Müller
dvm-n_r@dvm-berlin.de

Dr.-Ing. Jens Hoffmeyer
Volkswagen AG
jens.hoffmeyer@volkswagen.de

Susanne Bachofer, MA(Berlin)
DVM-Geschäftsstelle
dvm@dvm-berlin.de

Prof. Dr.-Ing. H. A. Richard
Universität Paderborn
richard@fam.upb.de

Dr.-Ing. Manfred Bacher-Höchst
manfred.bacher-hoechst@web.de

Prof. Dr. Uwe Zerbst
BAM Berlin
uwe.zerbst@bam.de

Für den DVM-Vorstand:
Lothar Krüger
l.krueger@dvm-berlin.de

Vorsitzender:
Dr.-Ing. Martin Brune
m.brune@dvm-berlin.de

Stellvertretender Vorsitzender:
Prof. Dr.-Ing. H. A. Richard
Universität Paderborn
richard@fam.upb.de

Geschäftsführung:
Dipl.-Kfm. Kathrin-Luise Leers
k.leers@dvm-berlin.de

DVM-Geschäftsstelle:
Schloßstr. 48, 12165 Berlin
Tel. +49 30 8113066 / Fax +49 30 8119359
dvm@dvm-berlin.de
www.dvm-berlin.de

Redaktionell begründete Kürzungen und Änderungen von Beiträgen sind ausdrücklich vorbehalten.

Namentlich gekennzeichnete Beiträge müssen nicht die Meinung der Redaktion widerspiegeln.

Alle Angaben sind ohne Gewähr.

Production process impact of fiber reinforced polymer components on the accuracy of structural numerical simulations – part 1.

The article is an introduction to the numerical modeling of components made from reinforced thermoplastics covering the perspective of injection molding process, plastic component properties, and related simulation challenges.

Plastics have a relatively short industrial history, however currently experiencing a very dynamic development. Basically, plastics can be split into thermoplastics, thermosets, elastomers, and thermoplastic elastomers. This article focuses on thermoplastics. Major milestones in the development of polymers took place, when reinforcing phases (fillers – glass, carbon, aramid) were added. The fiber orientation process plays key role in influencing the component properties. Schematically, the orientation process of the polymer material is shown in Fig. 1. Microscopically, there are a disordered orientation and tangled chains of the matrix polymer of the composite. Finally, a different orientation

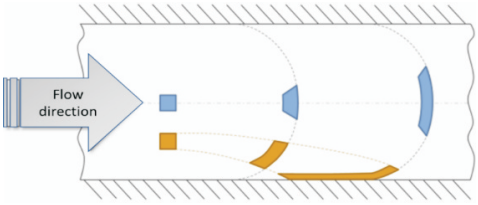
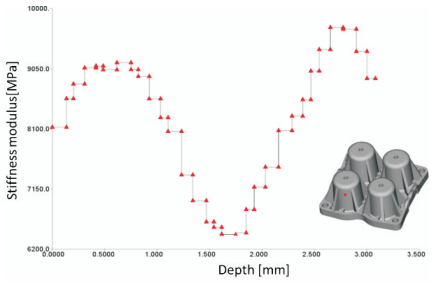


Fig. 1: Polymeric material orientation during injection molding process [H. Zawistowski, D. Frenkler, Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych]

of both chains and fibers is obtained across the walls causing differences of the properties (Fig. 2., Fig. 3). Another challenge in the process of numerical modeling of fiber-reinforced thermoplastics areweld lines-in fact, planes of connecting polymer streams (Fig. 4). Weld lines lead to a decrease of stiffness and strength in the place of their occurrence. Coming from the production process, these can be predicted by numerical simulations.

Polyamides exhibit valuable thermo-mechanical properties which also depending the water content. The higher the humidity the lower the stiffness and strength.



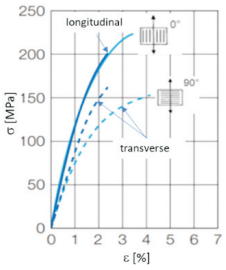


Fig. 2 (left): Differentiation of Young's modulus over the wall thickness (simulation results)

Fig. 3 (right): Mechanical and thermal properties along fibers/normal to fibers [BASF-Ultramid Structure Brochure] (part – PBT-30GF)

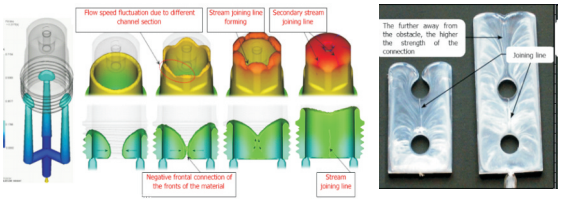


Fig. 4: Weld line: a) forming process simulation; b) real material sample [www.ptonline.com] (part – PBT-30GF)

Production process requires granules, which moisture content does not exceed the recommended level. Components obtained from the injection molding machine are in dry condition, what shows numerical simulations. During use, water-absorbing materials group components gradually take water from the environment, what leads to an erroneous stress even before deformation. In the case of thermoplastic components, we consider also the residual stresses after the production process (Fig. 5). When designing plastic components, we must consider component, which will be preloaded by the field of stresses and deformations. Considering the origin of the residual stresses, they canbe split into:

- Thermal stress – due to non-uniform heat reception from the molded part
- Stress coming from holding process (compensating the shrinkage)
- Stress caused be the flow of the plastic core near the solidifying walls
- Stress due to the presence of fillers

Finally, after the production process, we get deformed component (dimensional deviations risk) with residual stress (crack risk). Therefore, important is to ensure correct design of apart and parameters of the injection process. For this purpose, inherent and necessary (besides engineering experience) are numerical analysis. In part 2 details of numerical simulation will be presented.

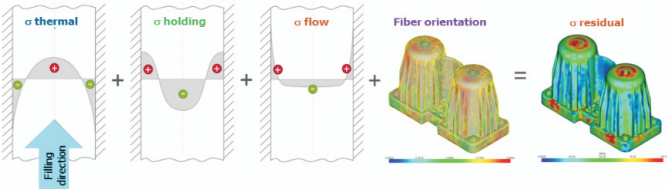


Fig. 5: Residual stresses creation in a fiber reinforced thermoplastic molding [based on H. Zawistowski, D. Frenkler, Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych] (part – PBT-30GF)

Krzysztof Hyzopski
Group Leader Simulations
Damian Bodniewicz
Senior Simulation Engineer ZF Commercial Vehicle Control Systems

Veranstaltungen des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit 2021 in Kaiserslautern

Im Vorfeld der DVM Betriebsfestigkeitsfachtagung fand das traditionelle Fortbildungsseminar am 28.09.2021 in Kaiserslautern am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) statt. Der Titel der Veranstaltung war das hochaktuelle Forschungs- und Entwicklungsthema **„Schwingfestigkeit von additiv gefertigten Bauteilen“**, welches im Rahmen von Fachvorträgen und spannenden Diskussionen erörtert wurde.

Die Referenten setzten sich aus Fachleuten aus Instituten und der Industrie zusammen. Die Vortragenden waren Dr.-Ing. Bastian Blinn und M.Eng. Ali Al-Zuhairi von der TU Kaiserslautern, Prof. Dr.-Ing. Thomas Niendorf von der Universität Kassel, Dr.-Ing. Rainer Wagener vom FhG LBF Darmstadt und M.Eng. Sebastian Bucher von der Robert Bosch GmbH in

Nach einer kurzgehaltenen Einführung in die Herstellungsmethoden und Ausgangswerkstoffe boten die Vortragenden einen sehr schönen Überblick über die Schwingfestigkeitseigenschaften von additiv gefertigten Bauteilen und deren Einflussfaktoren auf das Schädigungsverhalten. Dabei wurden neben den Potenzialen der generischen Bauteile auch Risiken und Schwierigkeiten angesprochen. Diese gilt es selbstverständlich bei der Bauteilauslegung zu berücksichtigen, u. a. auch durch eine geänderte Konstruktionsmethodik, welches an dem Beispiel eines Radträgers sehr anschaulich verdeutlicht wurde.

Aus Sicht der Betriebsfestigkeit ist es von besonderem Interesse, die umfassenden Kenntnisse in einer möglichst einfachen Modellbildung verfügbar zu machen. Ideal wäre eine Umsetzung analog zur FKM-Richtlinie für Bauteile aus Kompaktwerkstoffen. Hierzu sind aber sicherlich noch weitere Forschungsarbeiten und Praxiserfahrungen notwendig.

Ein interessanter Praxisbericht zur Bauteilauslegung und Erprobung eines generisch hergestellten Ventils aus dem Hause Bosch rundete die Veranstaltung ab.

Die Teilnehmer haben eine überaus gelungene Veranstaltung erlebt, das Feedback fiel auch entsprechend positiv aus. Neben den hochwertigen Vorträgen wurden die intensiven Diskussionen gelobt.

Allen Vortragenden ganz herzlichen Dank für die sehr gute Vorbereitung und die gelungenen Vorträge. Dem ITWM und dem DVM-Team gebührt der Dank für eine professionelle und reibungslose Organisation der Veranstaltung.

Stephan Issler
Programmverantwortlicher AK Betriebsfestigkeit Seminar

Nach einer Corona-bedingten Pause konnte in diesem Jahr die **47. Jahrestagung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit unter dem Motto „Die Betriebsfestigkeit im Spannungsfeld neuer Mobilitätskonzepte und Fertigungstechnologien“** wieder als Präsenzveranstaltung am 29. und 30.09.2021 an der Technischen Universität Kaiserslautern stattfinden. Dank einer vorbildlichen Organisation durch die DVM-Geschäftsstelle und die tatkräftige Unterstützung durch Mitarbeiter der TU Kaiserslautern und des Fraunhofer ITWM konnten die Corona-bedingten Einschränkungen so gering gehalten werden, dass sie schon während der ersten Vorträgen vergessen waren.

Zum Auftakt der Tagung übergab Martin Brune (DVM) die Leitung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit an Matthias Decker (Audi AG). Symbolisch wurde hierfür die Glocke überreicht, mit der traditionell das Ende der Pausen eingeleitet und die Teilnehmer mit freundlichem Nachdruck zurück in den Vortragsraum gebeten werden. Als Dank für die zehnjährige Leitung des Arbeitskreises erhält Herr Brune im Gegenzug ein Model des von Ihm bevorzugten Oldtimers, einem Citroën DS Pallas, auf einem Sockel mit den Signaturen des stellvertretenden Vorstandes, Hans Albert Richard, der Geschäftsführerin des DVM, Kathrin-Luise Leers, sowie des neuen Obmanns als Stellverstreter der Mitglieder des Programmausschusses.

Der von der TU Kaiserslautern bereitgestellte Hörsaal bot beste Voraussetzungen für eine anschauliche Darstellung der Beiträge mit anschließender Diskussion. Direkt an den Hörsaal angrenzend bot sich Raum für die Aussteller, die mitsamt dem Catering um den Bereich der Pausentische angeordnet waren. Durch die räumliche Nähe war ein intensiver Austausch zwischen Austellern und Teilnehmern möglich.

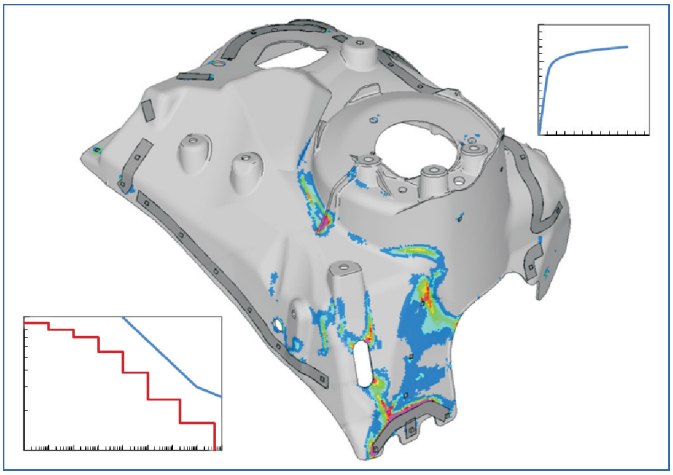
In den Fachbeiträgen von OEMs, Zulieferern, Dienstleistern und Forschungsinstituten wurde ein weiter Bogen von wissenschaftlichen Grundlagen bis hin zu industrieller Anwendung gespannt. Die folgenden Themengebiete wurden behandelt:

- Werkstoff- und Konstruktionskonzepte mit Details zu
  - Erhöhung der Zug- und Ermüdungsfestigkeit sowie der Defekttoleranz von Stahlwerkstoffen durch Nutzung von Kupferausscheidungen

  - Übertragbarkeit von Laborermüdungsversuchen auf reale Bauteile aus Organoblechen (faserverstärkte, thermoplastische Halbzeuge)
- Lastannahmen und Nachweismethoden mit folgenden Schwerpunkten:
  - Mehrkörpersimulationen für Sonderereignisse an Motorrädern sowie zur Lastannahme selbstfahrender Arbeitsmaschinen
  - Verarbeitung von Feldmessdaten mit digitalen Zwillingen zur Restlebensdauerabschätzung sowie Anomaliedetektion
  - Mathematisches Modell zur Reduktion von Freigabeversuchen durch Einbeziehen von simulativen und experimentellen Vorkenntnissen
- Herausforderungen neuer Mobilitätskonzepte mit dem Fokus auf
  - Auslegung von Entkopplungselementen massenkrafterregter Bauteile im Zielkonflikt zwischen Akustik und Betriebsfestigkeit
- Fertigungstechnologien mit Beträgen zur
  - Erweiterung der FKM-Richtlinie Nichtlinear für Schweißverbindungen inkl. der Berücksichtigung von Mittelspannungen und des statistischen Größeneinflusses
  - Automatisierung des rechnerischen Betriebsfestigkeitsnachweises aller SMD-Lötstellen einer Platine, rechenzeiteffiziente Nachweisführung im Frequenzbereich
  - Strukturspannungsbasiertes Nachweiskonzept von laserstrahlgeschweißten Überlappnähten an konventionellen und additiv gefertigten Aluminiumblechen
  - Charakterisierung des Ermüdungsverhaltens und rechnerischer Festigkeitsnachweis additiv gefertigter Bauteile und hybrider Strukturen inkl. stoffschlüssiger Verbindungstechnik

Das Tagungsprogramm wurde abgerundet mit einem Gastvortrag durch Herrn Weert Jacobsen-Kramer (TEAMTHINK-International Business Consulting), der einen Überblick über aktuelle radikale Veränderungen im beruflichen, öffentlichen und privaten Umfeld gab. Zudem wurden faszinierende Einblicke in menschliche Entscheidungsmuster aufgezeigt, die eine entscheidende Rolle im Umgang mit diesen Veränderungen spielen.

Im Rahmen des kommunikativen Abends im Fritz-Walter-Stadion auf dem Betzenberg wurde in Anerkennung seiner Verdienste auf dem Gebiet der Werkstoffmechanik, Schwingfestigkeit und Bruchmechanik die August-Wöhler-Medaille an Uwe Zerbst verliehen, der zuletzt an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin tätig war und das Fachgebiet und den DVM langjährig aktiv bereichert und unter-



stützt hat. Im Rahmen der Tagung wurde zudem die DVM-Ehrennadel in Silber an Melanie Fiedler (TU Dresden) und Michael Wächter (TU Clausthal) verliehen für ihre herausragenden technisch-wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Materialforschung und -prüfung. Der Juniorpreis für den besten Beitrag unter 30 Jahren ging an Winniefred Rudorffer (TU Clausthal) für ihren Beitrag über die Auslegung von Schweißnähten mit dem Örtlichen Konzept und die Möglichkeiten zur Erweiterung der FKM-Richtlinie Nichtlinear.

Die Fachbeiträge können einzeln oder zusammengefasst in einem digitalen Berichtsband von dvm-wissen.de bezogen werden. Erstmalig erhält in diesem neuen Format jeder Beitrag eine eindeutige DOI-Nummer. Dies fördert die Attraktivität einer Veröffentlichung im Rahmen einer DVM-Veranstaltung, die dadurch einfacher recherchiert und referenziert werden können.

Ein herzlicher Dank des DVM geht an die Technische Universität Kaiserslautern sowie das Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsinformatik und ihrer Mitarbeiter für die Unterstützung der Tagung, an alle Referenten sowie die Mitglieder des Programmausschusses. Die nächste Tagung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit mit dem Thema „Betriebsfestigkeit – Wissensmanagement und Methodenentwicklung entlang der Wertschöpfungskette“ findet vom 12 bis 13. Oktober 2022 in Plauen statt bei der IAMT Engineering GmbH & Co. KG. Der Call for Papers läuft bis zum 23. Dezember 2021 und steht unter dvm-berlin.de/veranstaltungen zum Download bereit.

Christian Müller
AUDI AG, Ingolstadt
Matthias Decker
AUDI AG, Ingolstadt
Obmann des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit

Workshop Grundlagen und Beispiele zur Digitalisierung für die Materialforschung und -prüfung

Der zweite DVM-Workshop zu diesem Thema fand am 19. und 20. Oktober 2021 – wie es dem Themenbereich entspricht, als Online-Veranstaltung – statt. Unter der bewährten Leitung von Dr. Christoph Schweizer vom IWM Freiburg wurden 8 Beiträge aus diesem breiten Themenfeld vorgestellt. Dass dieser Themenbereich in der Praxis Relevanz hat, zeigte der zweite Tag durch 4 Beiträge aus der Industrie bzw. mit Industriebeteiligung. Zunächst konnte man sich am ersten Tag mit dem Stand von Forschungsaktivitäten vertraut machen. Hierbei ging es einerseits um die Struktur von Datenbanken bzw. Datensystemen, als auch um die Koppelung materialwissenschaftlicher Fragestellungen mit Methoden des maschinellen Lernens.

Der Grundgedanke zur effektiven Erschließung vorhandener Datenräume für Materialdaten liegt in einer Strukturierung aller verfügbaren Informationen – von der Prozesskette bis zur Prüfung – durch semantische Technologien bzw. Ontologien. Auf diese Weise entsteht einerseits eine komplette Darstellung aller für die Bewertung relevanter Informationen und ihrer Zusammenhänge, und insbesondere sind ontologische Datenstrukturen maschinenlesbar und somit auch für die Methoden des maschinellen Lernens zugänglich. Für eine breitere Anwendung setzt dies allerdings voraus, dass sich genügend Institutionen und auch Industriefirmen mit ihren (natürlich geschützten) Datenschätzen beteiligen, ansonsten könnten die Datenmengen für zuverlässige Ergebnisse nicht ausreichend groß genug sein. Dies könnte zum Beispiel über entsprechende Geschäftsmodelle mit der Möglichkeit, individuelle Zugangsberechtigungen zu erteilen, umgesetzt werden. Dazu ist aus heutiger Sicht jedoch noch ein gewisser Mind-Change in den Unternehmen erforderlich.

Auch bei der Modellierung des Materialverhaltens spielen Methoden des maschinellen Lernens eine zunehmende Rolle. Es zeigte sich eindrücklich, dass hiermit bessere Abschätzungen möglich sind, und zwar am Beispiel des Zugversuchs an verschiedenen Zuständen einer hochfesten Aluminium-Legierung, sowie bei der Simulation von Stahl-Tiefziehprozessen unter Einbeziehung der Mikrostruktur-Ausbildung und von Texturen. Bei der digitalisierten Mikrostrukturanalyse von komplexen Gefügen für thermisch und mechanisch hochbelastete Gasturbinenkomponenten konnte durch die Nutzung von ML-Methoden eine hohe Zuverlässigkeit gezeigt werden, sodass ein Einsatz für diese sensiblen Aussagen möglich ist. Ein weiterer Beitrag befasste sich mit Weiterentwicklungen des Weakest-Link-Modells zur probabilistischen Lebensdauervorhersage für Komponenten von stationären Gasturbinen. Hierbei wurde der gesamte Baukasten der Bewertung von Größeneffekten sowohl für ein HCF-Versagen an riss- und defektfreien Strukturen als auch für ein Versagen an Schmiedefehlern angewendet.

Ein wichtiger Faktor für die Effizienz einer durchgehenden Digitalisierung von materialbezogenen Daten in Unternehmen ist ein fehlerfreier und effizienter Datenfluss. Hierbei kann die Bewältigung der Schnittstellen zwischen verschiedenen Domänen und Tools eine Herausforderung darstellen. Ein Beitrag zeigte diese Herausforderung und eine sich abzeichnende erfolgreiche Umsetzung im Unternehmen. Ist eine Komplettlösung aus der Hand eines Software-Lieferanten möglich, kann dies von großem Vorteil sein – diese Tools müssen allerdings einfach adaptierbar sein, um den individuellen Anwendungen zu entsprechen. Eine mögliche Lösung wurde im letzten Beitrag des Workshops vorgestellt.

Die aktuelle Förderung der Digitalisierung in der Materialforschung durch Großprojekte seitens des BMBF bzw. der DFG zeigt, dass die Relevanz dieses Themas in der Politik angekommen ist. Die Workshop-Beiträge haben die Komplexität von Lösungsansätzen gezeigt, aber auch den Mehrwert erkennen lassen. Es zeigte sich auch, dass die nötigen informationstechnischen Kompetenzen erheblich sind, und sich daher ein Transfer der Methoden und Tools in die Praxis der Wissenschaftler und Ingenieure der Materialforschung und -anwendung eine Herausforderung sein kann. Hieran schließt sich der Wunsch nach einer zukünftigen Standardisierung bzw. der Erarbeitung von Best-Practices zur vereinfachten Anwendung in der Praxis an.

Ein sehr herzlicher Dank geht an Dr. Christoph Schweizer für die Zusammenstellung des Programms – unter tatkräftiger Hilfe des Programmausschusses – und für seine sehr angenehme und kompetente Moderation des Workshops. Allen Referentinnen und Referenten sei gedankt für die Bereitschaft der Mitwirkung, und den Teilnehmern für die engagierte Diskussion. Trotz langer vorgesehener Diskussionszeiten gingen die Wortmeldungen nicht aus! Eine Fortführung dieser Workshopreihe im nächsten Jahr, hoffentlich als Präsenzveranstaltung, wurde sehr befürwortet.

Manfred Bacher-Höchst
Stuttgart

Ehrungen

August-Wöhler-Medaille

Prof. **Uwe Zerbst**, ehem. BAM Berlin, wurde vom Arbeitskreis Betriebsfestigkeit am 29.09.2021 in Kaiserslautern die August-Wöhler-Medaille verliehen. Die Laudatio hielt Prof. Michael Vormwald, TU Darmstadt.

v.l.n.r. Obmann M. Decker, U. Zerbst, Vorsitzender M. Brune, Laudator M. Vormwald

DVM-Ehrennadel in Silber

Hier gab es 2021 mit Dr.-Ing. **Melanie Fiedler, TU Dresden**, und Dr.-Ing. **Michael Wächter**, **TU Clausthal**, zwei Preisträger. Die Laudationes hielten im Rahmen der Jahrestagung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit am 30.09.2021 Prof. M. Vormwald für Dr. Fiedler und Prof. A. Esderts für Dr. Wächter.

Obmann M. Decker, Laudator M. Vormwald, M. Fiedler, M. Wächter, Laudator A. Esderts, Vorsitzender M. Brune

Ehrungen

DVM-Juniorpreise

Der DVM-Juniorpreise ging im Arbeitskreis Bruchmechanik und Bauteilsicherheit 2020 an **Jan Kraft, TU Darmstad**t, die Plätze zwei und drei belegten **Julius Langenberg, IEHK RWTH Aachen University**, und **Johannes Scheel, Universität Kassel**.

v.l.n.r. J. Langenberg, J. Schell,
Gastgeber G. Biallas, Obmann M. Vormwald, J. Kraft.

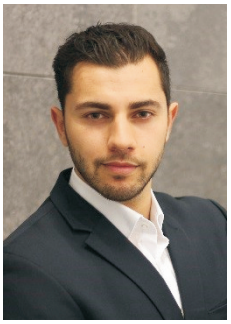
T. Duffe

In **2021** vergab der Arbeitskreis Bruchmechanik und Bauteilsicherheit den Juniorpreis an **Tobias Duffe, Universität Paderborn**, die weiteren Plätze belegten **Stephan Häusler, Universität Rostock**, und **Larissa Duarte, BAM Berlin**.

Im Rahmen seiner Jahrestagung vergab der Arbeitskreis Betriebsfestigkeit am 30.09.2021 den Juniorpreis an **Winniefred Madleen Rudorffer, M.Sc., TU Clausthal**.

Der Arbeitskreis Additiv gefertigte Bauteile und Strukturen vergab am 4.11.2021 in Berlin den Juniorpreis an **Ali Al-Zuhairi, M.Eng., TU Kaiserslautern**.

W. M. Rudorffer



A. Al-Zuhairi

Die Übersicht aller Ehrungen mit Listen der jeweiligen Preisträger ist auf der DVM-Website www.dvm-berlin.de im Bereich „Über den DVM“ veröffentlicht.

Hinweis

Die Rubriken Neue Mitglieder, Langjährige Mitgliedschaften und Mitgliedergeburtstage 2021 werden wie immer in der Vollversion der Ausgabe (inkl. Seite 9 vollständig und 10) im internen Mitgliederbereich der DVM-Website veröffentlicht.

Deutscher Verband für
Materialforschung und -prüfung e.V.

DVM – Bauteil verstehen.

Das Verständnis des DVM ist es, den Begriff „Materialforschung und -prüfung“ nicht allein auf den Werkstoff zu begrenzen, sondern insbesondere das Werkstoffverhalten im Bauteil unter allen relevanten Belastungs- und Umgebungsbedingungen zu sehen. So ordnen sich die vielfältigen Verbandsaktivitäten unter dem Dach der „Strukturintegrität“ ein. Die „Strukturintegrität“ wird im DVM definiert als „Gewährleistung der Sicherheit und Zuverlässigkeit eines Systems oder Bauteils“.

Der Nachweis dieser Strukturintegrität ist die Aufgabe und das Ziel des DVM, seiner Arbeitskreise und Mitglieder. Der Slogan „DVM Bauteil verstehen.“ steht für diesen strategischen Leitgedanken.

Der DVM Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V. fördert den Wissenstransfer in den Bereichen Strukturintegrität, Materialforschung sowie Werkstoff- und Bauteilprüfung schon seit 1896. In derzeit zwölf multidisziplinär vernetzten Arbeitskreisen und diversen Veranstaltungsformaten treffen sich Fachleute aus Wissenschaft, Forschung, Industrie und Dienstleistungsunternehmen um branchenübergreifend über neueste Forschungsergebnisse zu diskutieren und zukünftige Forschungsziele zu definieren.

Qualifizierte Referenten aus Wissenschaft, Forschung, Industrie und von Dienstleistungsunternehmen geben in

- nationalen Tagungen
- internationalen Konferenzen
- Workshops
- Fort- und Weiterbildungsseminaren

den aktuellen Stand von Forschung und Technik an die Teilnehmer weiter.

DVM-Arbeitskreise
- Betriebsfestigkeit
- Bruchmechanik und Bauteilsicherheit
- Elastomerbauteile
- Zuverlässigkeit mechatronischer und adaptronischer Systeme
- Bauteilverhalten bei thermomechanischer Ermüdung
- Zuverlässigkeit tribologischer Systeme
- Fahrradsicherheit
- Zuverlässigkeit von Implantaten und Biostrukturen
- Strukturbauteile aus Kunststoffverbunden
- Additiv gefertigte Bauteile und Strukturen
- Rasterelektronenmikroskopie in der Materialprüfung – DVM-DGM Gemeinschaftsgremium „Fraktographie“
- DVM, DGM, Stahlinstitut VDEh Gemeinschaftsgremium „Werkstoffprüfung“

DVM-Workshops
- Prüfmethodik für Betriebsfestigkeitsversuche
- Numerische Simulation in der Betriebsfestigkeit
- Zuverlässigkeit und Probabilistik
- Eigenspannungen in der industriellen Praxis
- Brennstoffzelle, Batterie, elektrischer Antrieb – Anforderungen und Absicherung
- Grundlagen und Beispiele zur Digitalisierung für die Materialforschung und -prüfung

DVM-Fortbildungsseminare
- Spezifische Themen der Betriebsfestigkeit
- Spezifische Themen der Bruchmechanik und Bauteilsicherheit
- Bauteilschäden – Bewertung, Folgerungen und Abhilfemaßnahmen
- Werkstoff- und Bauteilprüfung
- Bruchmechanische Prüfverfahren

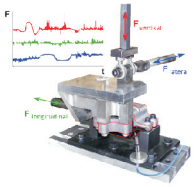
Qualifizierungsprogramm für Prüfpersonal
- Zerstörende Material- und Bauteilprüfung

Mit den DVM-Tagungsbänden steht daneben eine Sammlung von methodischen Ansätzen und Beispielen aus der Praxis zur Verfügung, die zur Lösung von Problemen im Tagesgeschäft wertvolle Impulse geben können. Die DVM-Sonderhefte vermitteln historische Entwicklungen der Materialforschung und -prüfung oder erläutern den Stand der Technik.

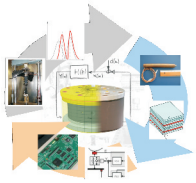
Nehmen Sie an DVM-Veranstaltungen teil, informieren Sie sich über die Vorteile einer Mitgliedschaft oder werden Sie in einem unserer Arbeitskreise aktiv! Diskutieren Sie auf den DVM-Veranstaltungsforen branchenübergreifend neueste Forschungsergebnisse, finden Sie gemeinsam mit unseren Experten Lösungen für aktuelle Problemstellungen und wirken Sie mit bei der Definition zukünftiger Forschungsziele!

DVM Deutscher Verband für Materialforschung und prüfung e. V.
Schloßstraße 48, Gutshaus, 12165 Berlin
Telefon +49 30 8113066, Fax +49 30 8119359, dvm@dvm-berlin.de, www.dvm-berlin.de

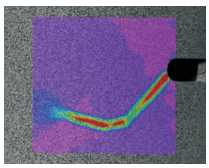
2022



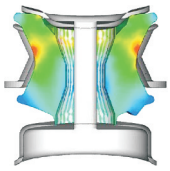
Termin kurzfristig verschoben
Workshop Prüfmethodik für Betriebsfestigkeitsversuche in der Fahrzeugindustrie
Info siehe DVM-Website



15. und 16.02.2022, Lübeck
Workshop Arbeitskreis Zuverlässigkeit mechatronischer und adaptronischer Systeme



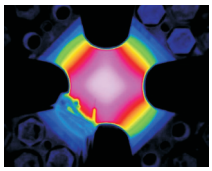
22. und 23.02.2022, Berlin
Tagung Arbeitskreis Bruchmechanik und Bauteilsicherheit – Bruchmechanische Werkstoff- und Bauteilbewertung



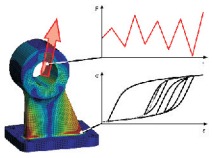
16. und 17.03.2022, Hannover
Tagung Arbeitskreis Elastomerbauteile
Elastomerbauteile – dynamisch in die Zukunft!

Termin wird noch bekannt gegeben
Workshop Arbeitskreis Strukturbauteile aus Kunststoffverbunden
Methoden zur Bauteildimensionierung aus Sicht von Material und Fertigung

06. und 07.04.2022, Berlin
Mitgliederforum Mobilität der Zukunft – Bauteilzuverlässigkeit im digitalen Zeitalter
DVM-Tag 2022, 125-jähriges Jubiläum des DVM e.V. (2021)



Termin wird noch bekannt gegeben
Workshop Arbeitskreis Bauteilverhalten bei thermomechanischer Ermüdung



01. und 02.06.2022, Berlin
Tagung Neue Entwicklungen für die Bauteilfestigkeitsnachweise

21. bis 23.06.2022, Berlin
Tagung LCF9 Ninth International Conference on Low Cycle Fatigue

12. und 13.10.2022, Plauen
48. Tagung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit
Betriebsfestigkeit – Wissensmanagement und Methodenentwicklung entlang der Wertschöpfungskette

außerdem geplant in 2022:

- 2. Workshop Brennstoffzelle, Batterie, elektrischer Antrieb - Anforderungen und Absicherung (Frühjahr/Sommer 2022)
- Tagung Arbeitskreis Additiv gefertigte Bauteile und Strukturen (Herbst 2022)
- Fortbildungsseminar Zuverlässigkeit und Probabilistik (Herbst 2022)
- Workshop AK Fahrradsicherheit (Herbst 2022)
- Workshop Zuverlässigkeit von Implantaten und Biostrukturen (Herbst 2022)

Detailinformationen zu allen Veranstaltungen siehe **www.dvm-berlin.de**

Neue Modellierungsmethode mit dem Fokus hoher dynamischer Belastungen, hydraulischer Dämpfung und mehraxialer Anregung zum Einsatz für die Lastdatenermittlung mit Hilfe der Mehrkörpersimulation

(Kurzfassung: Vollversion im DVM-Berichtsband 146, 2019, S. 143 - 158, DVM-Juniorpreis AK Betriebsfestigkeit 2019)

Mit der fortschreitenden Digitalisierung von Auslegungsmethoden und -verfahren komplexer Elastomerlager ist es notwendig, die Gesamtverformungszustände zu verstehen, welche sich unter realen Betriebsbelastungen am Lager einstellen. Für die virtuelle Ermittlung von Betriebslasten mit Hilfe der Mehrkörpersimulation wird in den dargestellten Untersuchungen ein Vergleich zwischen Methoden und Verfahren der Standardlagercharakterisierung und -modellierung mit real am Prüfsystem gemessenen Anregungen und Kräften durchgeführt. Als Grundlage der Untersuchungen dient ein kastenförmiges Motorlager, welches in einem Fahrzeug mit front-quer eingebautem Motor eingesetzt wird. Für dieses werden dreiaxiale translatorische Weganregungen und Kraftsignale eines Betriebslastennachfahrversuchs sowie standardisierte quasi-statische Vermessungen und dynamische Kenngrößen aus harmonischen Anregungen (Verlustwinkel und dynamische Steifigkeit) messtechnisch erfasst. Ein Vergleich der simulierten Kräfte zu den Prüfstandmessungen zeigt, dass bei gleicher Weganregung vor allem im Bereich der Maximallasten von den Standardmodellen deutlich geringere Kräfte berechnet werden. Mit Hilfe einer Betriebsfestigkeitsbetrachtung auf Basis der Kraftsignale konnte festgestellt werden, dass die Modelle nur eine relative Gesamtsignalschädigung von ca. 28-33 % zu den real gemessenen Kräften in der betrachteten Lagerrichtung erreichen. Ein Wert von 100% bedeutet, dass das simulierte Kraftsignal die gleiche Schädigungswirkung aufweist wie das gemessene Signal. Daher wird die These aufgestellt, dass die Standardcharakterisierung nur bedingt geeignet ist, um die für die Betriebsfestigkeit relevanten physikalischen Eigenschaften des Elastomerlagers vollständig abzubilden.

Zur Bestätigung dieser These wird eine detaillierte Signalanalyse der stochastischen Anregungen des mehraxialen Betriebslastennachfahrversuchs durchgeführt. Dabei werden zur Analyse des nichtlinearen dynamischen Übertragungsverhaltens des Lagers Ersatzgrößen ausgehend von der Standardbewertung mittels Verlustwinkel und dynamischer Steifigkeit eingeführt. Als Ergebnis der Untersuchungen kann festgestellt werden, dass die Standardcharakterisierung nur einen eingeschränkten Anteil der während des Betriebs auftretenden Anregungen abdeckt. Außerdem werden folgende Beobachtungen zum dynamischen Lagerverhalten erfasst. Es tritt ein transientes Verhalten der Lagersteifigkeit bei hohen sprungförmigen Anregungen auf. Des Weiteren kann im Bereich der nichtlinearen Lagersteifigkeit eine Abnahme der uniaxialen Materialdämpfung mit zunehmenden dynamischen Weganregungen identifiziert werden.

Zur Abbildung des ermittelten komplexen Lagerverhaltens wird das in Abb.1 dargestellte empirisch-rheologische Lagermodell entwickelt. Das Modell ist aus einer Parallelschaltung unterschiedlicher Modellelemente aufgebaut, deren mathematische Beschreibung und Zuordnung zum physikalischen Übertragungsverhalten dem ausführlichen Beitrag entnommen werden können. Die Identifikation der dynamischen Modellparameter erfolgt auf Basis der Partikelschwarmoptimierung. Dabei werden für das Verfahren die stochastischen Weganregungen des Betriebslastennachfahrversuchs als Eingangsgrößen verwendet und als Zielfunktion die Summe der quadratischen Kraftdifferenzen zwischen Messung und Simulation eingesetzt.

Mit dem hier entwickelten komplexen empirisch-rheologischen Modell sowie dem Parametrierungsverfahren wird für die relative Gesamtsignalschädigung ein deutlich verbesserter Wert von ca. 78% im Vergleich zur Standardmodellierung erreicht.

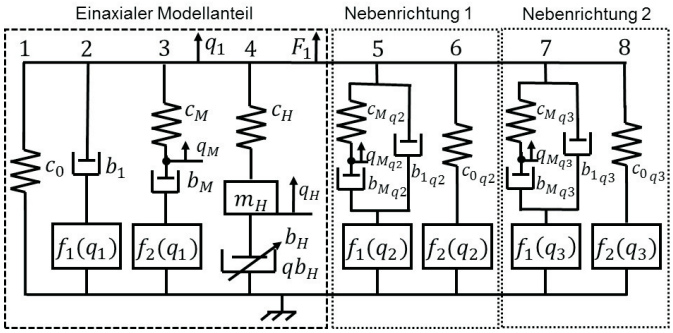


Abb. 1: Komplexes Lagermodell zum Einsatz für die Betriebslastermittlungmit Hilfe der Mehrkörpersimulation

S. Ernst, T. Schramm, K. Büttner, G. Prokop
Professur für Kraftfahrzeugtechnik - Institut für Automobiltechnik Dresden - TU Dresden

Bruchmechanische Lebensdauervorhersage für hyperelastische Klebverbindungen

(Kurzfassung, Vollversion im DVM-Berichtsband 253, 2021, S.157 – 178, Juniorpreis AK Bruchmechanik und Bauteilsicherheit 2021)

Klebtechnische Fügeverfahren gewinnen aufgrund der zunehmend forcierten Umsetzung des Leichtbaus und der damit verbundenen Anwendung der Mischbau-Modulbauweise kontinuierlich an Bedeutung. Im Montageprozess werden dabei immer häufiger Klebverbindungen mit hyperelastischem Deformationsverhalten des Klebstoffsystems eingesetzt, die beispielsweise selbst bei relativ großen Relativverschiebungen der Fügepartner zueinander den Stoffschluss gewährleisten sollen. Beim Einsatz der gefügten Komponenten ist ein Ermüdungsversagen der elastomeren Klebschicht unter zyklischer Belastung nicht tolerierbar, weshalb im Rahmen dieses Beitrags ein bruchmechanisches Lebensdauerkonzept vorgestellt wird, welches bereits im virtuellen Produktentstehungsprozess eine belastungsgerechte Klebschichtdimensionierung ermöglicht. Ausgangpunkt für das bruchmechanische Lebensdauerkonzept ist die Betrachtung von kleinen Innenrissen in einem ausgedehnten Klebstoffkontinuum, deren Rissbeanspruchungen in Abhängigkeit des umgebenden dreiachsigen Spannungszustands anhand von Repräsentativen Volumen Elementen (RVE) numerisch untersucht wird. Indem ein vollvektorieller Versuchsplan mit den drei Invarianten des log. Dehnungstensors zur Definition der Verschiebungsrandbedingungen am RVE angewendet wird, kann die Abhängigkeit der Rissbeanspruchung von den deviatorischen und dilatorischen Anteilen des umgebenden Spannungszustands systematisch untersucht werden. Dabei zeigt sich, dass die Abhängigkeit der Rissbeanspruchung von dem umgebenden dreiachsigen Spannungszustand durch zwei Energiedichten beschrieben werden kann. Zur Bestimmung eines formelmäßigen Zusammenhangs wird eine Regressionsfunktion definiert, die basierend auf den numerischen Ergebnissen der RVE-Simulationen die Abhängigkeit bestmöglich abbildet. Mit der Regressionsfunktion kann bei der Simulation von hyperelastischen Klebschichten aus den Spannungszuständen in der Klebschicht auf die Energiefreisetzungsrate von Rissen geschlossen werden, die möglicherweise in der Klebschicht vorhanden sind, ohne dass diese explizit im FE-Model mit modelliert werden. Damit ausgehend von der Rissbeanspruchung bruchmechanische Lebensdauerprognosen für die Klebschicht berechnet werden können, sind materialseitig experimentell zu ermittelnde Rissfortschrittskurven notwendig. In Bezug auf hyperelastische Klebstoffe wird ein dreistufiges Versuchskonzept angewendet, mit dem das Ermüdungsrissverhalten des Klebstoffs vom Threshold bis zur Risszähigkeit an Planarzugproben erfasst werden kann. Grundlage sind dabei die (bruch-)mechanischen Zusammenhänge an diesem Probentyp, die eine kontinuierliche Erfassung der Energiefreisetzungsrate und eine steifigkeitsbasierte Risslängenmessung während des Risswachstumsversuchs ermöglichen. Die ermittelten Rissfortschrittskurven werden mathematisch über einen Exponentialansatz beschrieben.

Für die bruchmechanische Lebensdauerprognose wird an jeder Stelle des Klebstoffkontinuums die Energiefreisetzungsrate eines potentiell vorhandenen Risses mit der Regressionsfunktion bestimmt und durch numerische Integration des Exponentialansatzes der Ort und die Lastwechselzahl mit der geringsten Lebensdauer für die Klebschicht ermittelt. Eine Validierung erfolgt anhand der Bruchwöhlerlinien verschiedener Klebprüfkörper. Unabhängig vom Probentyp und der damit verbundenen Beanspruchungsart für den Klebstoff wird eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment erreicht (Abbildung 1). Außerdem stimmt der Ort der höchsten Beanspruchung des Klebstoffs, ausgedrückt in Form der Energiefreisetzungsrate eines potentiellen Risses, mit den experimentellen Ausgangsorten für das Klebschichtversagen überein.

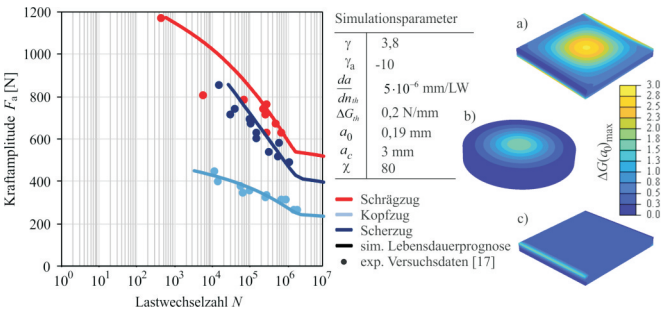


Abb. 1: Vergleich der simulativen Lebensdauerprognose mit experimentellen Bruchwöhlerlinien für die Schrägzug (a), Kopfzugprobe (b) und dicke Scherzugprobe (c)

T. Duffe[1], G. Kullmer[1], K. Tews[2], T. Aubel[2], G. Meschut[2]
[1] Angewandte Mechanik, Universität Paderborn; [2] Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, Universität Paderborn

Quasi-statische und zyklische Untersuchungen eines Faserverbundwerkstoffs mittels digitaler Bildkorrelation

(Kurzfassung; Vollversion https://doi.org/10.48447/Br-2021-016)

Platz 2 DVM-Juniorpreis AK Bruchmechanik und Bauteilsicherheit 2021)

Um einem vorzeitigen Rückbau von Windkraftanlagen nach dem Erreichen der Auslegungslebensdauer entgegenzuwirken, wird im Projekt DynaWind² ein progressives Schädigungsmodell entwickelt. Damit soll in Zukunft aus den realen Betriebslasten ein Schädigungszustand abgeleitet und somit eine Reserveprognose erstellt werden. Hierfür müssen die mechanischen Eigenschaften des Materials unter statischen sowie zyklischen Beanspruchungen experimentell ermittelt werden.

Untersucht wurde ein in der Windkraftindustrie typischer Glasfaser-Epoxidharz-Verbund, mit einem Faservolumengehalt von rund 53%. Für die quasistatischen Zug- und Schubversuche sind die in den jeweiligen Normen vorgegeben Flachprobengeometrien verwendet worden. Es konnte gezeigt werden, dass die kontaktlose digitale Bildkorrelation (DIC) zuverlässige und gegenüber Dehnungsmessstreifen und Extensometern ergiebigere Messergebnisse erzielt. Neben anderen ist besonders die Dehnungsfeldermittlung der DIC hier ein wesentlicher Vorteil. Da im Verbundwerkstoff bereits bei einfachen Zugversuchen ein variables Dehnungsfeld entsteht (siehe Abbildung 1), ist es bei der experimentellen Materialcharakterisierung wichtig, dass die Messungen nicht von lokalen Effekten dominiert werden. Hierfür wurde eine spezielle Auswerteroutine entwickelt, welche virtuelle Extensometer über die Länge und Breite des Messbereichs verteilt und darüber die Verschiebungen aufnimmt. Dazu werden die punktuellen Verschiebungen der Linien A und B in Abbildung 1 jeweils mit dem gegenüber liegenden Punkt auf A oder B verrechnet. Somit werden lokale Effekte zwar berücksichtigt, jedoch die Messungen durch die Mittelung über den Messbereich nicht dominiert. Mit dieser Methode wurden der E-Modul, die Festigkeit und die Querkontraktion für unidirektionale 0°- und 90°-Proben sowie für ±45° Schubzugproben aufgenommen.

Da es für die Ermüdungsversuche noch keine einheitlichen Vorgaben hinsichtlich der Probengeometrie gibt, wurde eine eigene Flachprobengeometrie für die Versuche ausgelegt. Während der zyklischen Versuche im Zugbereich (R = 0,1), wurde eine Kamera frontal und eine rückseitig auf die eingespannte Probe gerichtet. Um das transmittierte Licht und damit die Schädigungsentwicklung aufnehmen zu können, wurde ein angepasstes Specklemuster eingesetzt. Dazu wurden Specklestreifen in den Randbereichen aufgetragen und die Probenmitte freigelassen, sodass vorderseitig mittels einer Auswerteroutine die Dehnungen ermittelt und rückseitig entsprechend die Schädigungsentwicklung aufgenommen werden konnte. Die Temperaturzunahme wurde über eine einheitliche initiale Dehnrate vergleichbar gehalten und mittels Thermografiekamera überwacht. Mit Hilfe der Durchlichtprüfung und der über die Breite der Probe aufgelösten Dehnungsverteilung konnte nachvollzogen werden, dass unter dem Specklemuster lokalisierte ermüdungsspezifische Schädigungen die Messung maßgeblich beeinflussen. Daher wurden zusätzlich die Maschinendaten analysiert. In dimensionsloser Betrachtung konnte der Verlauf der Steifigkeit einheitlich über verschiedene Lasthorizonte hinweg dargestellt und ein relativer Steifigkeitsverlust von rund 10-15% kurz vor dem Versagen ermittelt werden.

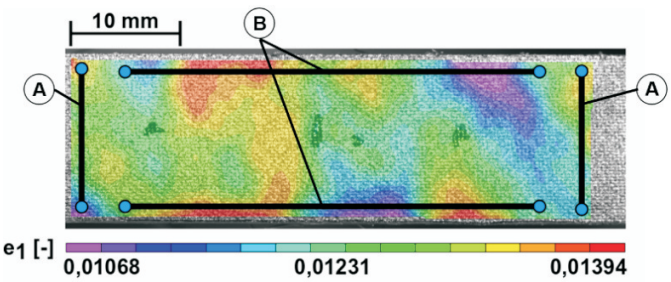


Abb. 1: Variables Dehnungsfeld in Zugversuch und Messmethode (schwarze Linien) für Faserverbundwerkstoffe

S. Häusler, R. Fink, C. Benz, M. Sander
Lehrstuhl für Strukturmechanik, Universität Rostock

DVM | Bauteil verstehen.

DVM
Deutscher Verband für
Materialforschung und -prüfung e.V.

Gutshaus Schloßstraße 48
12165 Berlin

Telefon: +49 30 8113066
Telefax: +49 30 8119359
E-Mail: dvm@dvm-berlin.de
Web: www.dvm-berlin.de

DVM Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V.