

# Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik

Informationsmagazin des Instituts  
für Stahlbau und Werkstoffmechanik  
12. Jahrgang | 2018



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

**ifsw** Institut für Stahlbau  
und Werkstoffmechanik



## Impressum (V.i.S.d.P.G.)

Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik  
Technische Universität Darmstadt  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange  
Prof. Dr.-Ing. Michael Vormwald  
Franziska-Braun-Straße 3  
64287 Darmstadt

## Spendenkonto IfSW

DE36 5085 0105 0000 7043 00  
Sparkasse Darmstadt  
Bitte als Verwendungszweck die  
Verbuchungsstelle angeben!

## FG Stahlbau

Verbuchungsstelle: 13 06 02 / 563 001 91

## FG Werkstoffmechanik

Verbuchungsstelle: 13 06 03 / 563 003 43

## **Anschrift und E-Mail-Adressen**

Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik  
Franziska-Braun-Straße 3  
64287 Darmstadt  
Tel.: 06151-16-22401 | Fax.: 06151-16-22404  
[www.stahlbau.tu-darmstadt.de](http://www.stahlbau.tu-darmstadt.de)

## **Direkter Kontakt zu den Mitarbeitern**

FG Stahlbau: [nachname@stahlbau.tu-darmstadt.de](mailto:nachname@stahlbau.tu-darmstadt.de)  
FG Werkstoffmechanik: [nachname@wm.tu-darmstadt.de](mailto:nachname@wm.tu-darmstadt.de)

Liebe Leser,

bereits im Vorjahr haben wir über den Rückgang an Einschreibungen in das erste Semester berichtet. Der Trend hält an. An ein Auf- und Abschwellen der Anzahl von Immatrikulationen in das erste Studiensemester haben wir uns gewöhnt. Neu ist, dass in einer Boom-Phase im Bauwesen die Studierendenzahlen zurückgehen. Unsere Absolventen werden von Arbeitgebern gesucht und sie finden schnell gute Positionen. Folgen die Studienanfänger inzwischen den Ratschlägen, antizyklisch zu studieren? Davon sind wir noch nicht ganz überzeugt, denn ein weiterer Trend wird sichtbar: Durch den Wegfall der Zugangsbeschränkung haben sich fast so viele Studierende in das Wirtschaftsingenieurwesen Bau eingeschrieben wie für das Studium des Bauingenieurwesens und der Geodäsie. Über die künftige Entwicklung werden wir berichten.

Bitte informieren Sie sich über unsere aktuellen Forschungsaktivitäten, die wir Ihnen im vorliegenden Heft in aller Kürze zur Kenntnis bringen wollen. Wieder möchten wir die Ausgabe unseres Institutshefts nutzen, Sie anzusprechen. Wir hoffen, dass wir mit unseren Kompetenzen zur Lösung von Problemen beitragen können. Unsere Kompetenzfelder können Sie nicht allein dem aktuellen Institutsheft entnehmen, sondern auch denjenigen der zurückliegenden Jahre. Sie finden die Informationen unter:

[https://www.ifsw.tu-darmstadt.de/ifsw/startseite\\_ifsw/index.de.jsp](https://www.ifsw.tu-darmstadt.de/ifsw/startseite_ifsw/index.de.jsp).

Viel Freude mit der Lektüre wünschen

Prof. Dr.-Ing. Michael Vormwald  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Lange

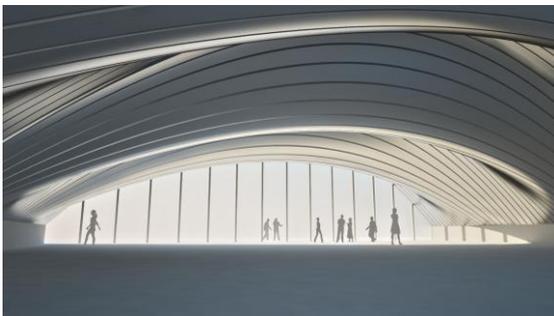
- 1** **Forschung**
- 7** **Lehre**
- 9** **Forschungslabor**
- 11** **Exkursionen und Weiterbildung**
- 12** **Termine und Ereignisse**
- 14** **Absolventen und Ehemalige**

## Flächentragwerke aus gekrümmten Sandwichelementen

Sören Grimm, M.Eng.

Im Bauwesen, insbesondere im Industriebau, haben sich Sandwichelemente als wirtschaftliche Lösung für raumabschließende Dach- und Wandbauteile etabliert. Sandwichkonstruktionen besitzen zwei dünne Deckschichten, die hohe Tragfähigkeiten aufweisen und durch eine dicke Kernschicht mit geringer Dichte verbunden werden. Mit dieser Bauweise werden so hohe Tragfähigkeiten bei geringem Eigengewicht und guten bauphysikalischen Eigenschaften im Hinblick auf die Anforderungen an eine Gebäudehülle erreicht.

Eine weitere Bauweise, mit der sich große Tragfähigkeiten bei geringem Materialeinsatz realisieren lassen ist die Ausbildung von Schalen- oder Bogentragwerken.



(Doppelt-gekrümmte Dachkonstruktion aus Sandwichelementen - KGBauko)

In Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Schäfer (KGBauko, TU Darmstadt) und Herrn Prof. Groche (PtU, TU Darmstadt) wird in diesem, von der AIF geförderten, Forschungsvorhaben die Ausbildung von Flächentragwerken aus vorgefertigten, gekrümmten Sandwichprofilen untersucht.

Ziel ist es, die Möglichkeiten im Hinblick auf die realisierbaren Gebäudegeometrien und Spannweiten von Sandwichtragwerken unter Erhalt ihrer Wirtschaftlichkeit zu erweitern.

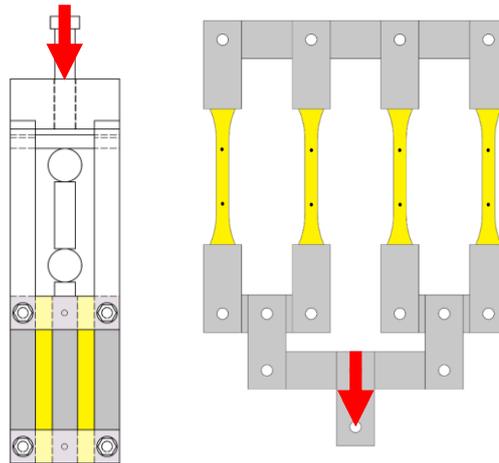
### Veröffentlichung:

**Grimm, S. und Lange, J.:** „Potential of Shell Structures Made of Linear Manufactured Uniaxially Curved Sandwich Panels“, Conference Proceedings ICSS-12, Lausanne, August 2018

## Die Anwendung der SPS-Technologie im Bahnbrückenbau

Pascal Händler, M.Sc.

Für den Neubau von trogförmigen Bahnbrücken kurzer Spannweite existieren seitens der Rahmenplanung der Deutschen Bahn nur wenige Möglichkeiten zur Ausbildung der Fahrbahn zwischen den Hauptträgern. Im laufenden Forschungsvorhaben soll das von *Intelligent Engineering Ltd.* entwickelte Sandwich-Plate-System (SPS) auf seine Tauglichkeit als alternatives Fahrbahnsystem für diese Brücken untersucht werden.



Eine Zielsetzung des Projekts ist die mechanische Charakterisierung des Langzeitverhaltens von massivem Polyurethan im SPS unter Dauerlast. Obige Darstellung zeigt Entwurfszeichnungen von eigens entwickelten Versuchsaapparaturen mit deren Hilfe das Verhalten des Polyurethans hinsichtlich Relaxation unter Schub (links) und Kriechen unter reinem Zug (rechts) untersucht werden sollen.

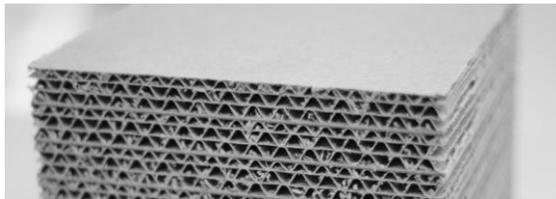
Die geplanten Versuche sollen Erkenntnisse darüber liefern, ob das SPS und sein massives Polyurethan im Brückenbau bedenkenlos eingesetzt werden können oder ob etwaig auftretendes Kriechen ähnlich wie im Betonbrückenbau berücksichtigt werden muss.

### Veröffentlichung:

**Händler, P. und Lange, J.:** „Die Anwendung der SPS-Technologie im Bahnbrückenbau“, 21. DAST-Kolloquium, 6.-7. März 2018, Kaiserslautern

**Sandwichelemente mit Zellstoff als Kernmaterial**  
Dipl.-Ing. Aaron von der Heyden

In unserem Forschungsprojekt zum Thema „Sandwichelemente mit Zellstoff als Kernmaterial“ wird die Eignung von Wellpappe als ökologische Alternative zu derzeit herkömmlichen Kernmaterialien Polyurethanschaum und Mineralwolle untersucht. Kernwerkstoffe für Sandwichelemente müssen einerseits Anforderungen hinsichtlich Steifigkeit und Festigkeit erfüllen und andererseits gute Wärmeschutzeigenschaften besitzen.



Aufgrund der Anisotropie von Wellpappe gibt es viele unterschiedliche Möglichkeiten, den Kern aus Wellpappe in einem Fassadenelement auszurichten.

Versuche an verschiedenen handelsüblichen Wellpappen haben teilweise beträchtliche Steifigkeiten und Festigkeiten gezeigt, wodurch in vielen Fällen die vollständige Ausnutzung der Fließtragfähigkeit der Stahldeckschichten ermöglicht werden kann. Die Wärmedämmfähigkeit ist in einer Ausrichtung mit der von Mineralwolle vergleichbar. Die ermittelten Kriechzahlen sind sehr gering, weshalb auch der Einsatz für dauerhaft belastete Bauteile wie z.B. begehbbare Leichtbaudecken untersucht wird. Nachhaltigkeitsanalysen haben gegenüber herkömmlichen Kernmaterialien große ökologische Vorteile von Wellpappe gezeigt.

**Veröffentlichung:**  
*von der Heyden, A. und Lange, J.: „Assessment of the Utilisation of Corrugated Cardboard as a Core Material for Sandwich Panels“, EUROSTEEL 2017, 13.-15. September 2017, Kopenhagen, Dänemark*

**Tragfähigkeit direkt befestigter Sandwichelemente unter zyklischer Beanspruchung**  
Alexander Engel, M.Sc.

Die Befestigung von Sandwichelementen an die tragende Unterkonstruktion erfolgt in der Regel mechanisch mittels selbstbohrender oder gewindefurchender Schrauben.

Die Tragfähigkeit direkter, sichtbarer Befestigungen ist in der allg. bauaufsichtlichen Zulassung bzw. durch ein europäisch gültiges EAD geregelt. Hierin werden statische Versuche zur Durchknöpfragfähigkeit der Schrauben anhand von Bügelproben gefordert, welche das Sandwichbauteil nicht realitätsnah abbilden. Zyklische Belastungen werden durch einen pauschalen Abminderungsfaktor erfasst.



Ziel des vom DIBt und IFBS geförderten Forschungsvorhabens war es, die Durchknöpfragfähigkeit unter zyklischer Belastung anhand von kleinformatigen Sandwichelementen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde ein umfangreiches Versuchsprogramm mit Sandwichelementen verschiedener Hersteller, Kernmaterialien, Elementhöhen, Deckblechdicken sowie Schrauben verschiedener Hersteller am Mittel- und Endauflager durchgeführt.

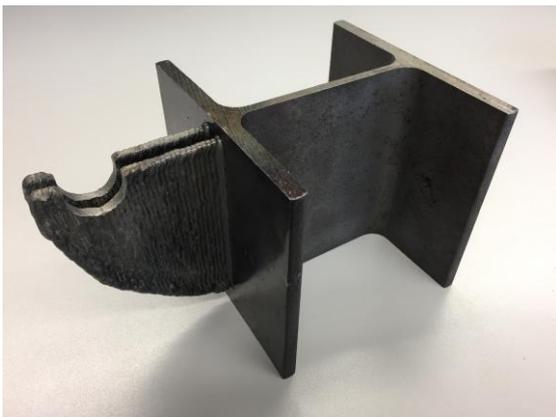
Es zeigte sich, dass die zyklische Tragfähigkeit von Faktoren beeinflusst wird, welche nicht durch Versuche an Bügelproben abgebildet werden können. Zudem ist die Angabe eines pauschalen Abminderungsfaktors ohne weitere Differenzierung unzureichend.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden Ende des Jahres in einem Forschungsbericht veröffentlicht.

### 3-D-Drucken mit Stahl: Additive Fertigung von Anchlusselementen

Thilo Feucht, M.Sc.

Die Additive Fertigung ist in der Forschung derzeit sehr präsent. Für den Stahlbau ist das Verfahren „Wire + Arc Additive Manufacturing“ (kurz WAAM) geeignet, das dem Metallschutzgasschweißen ähnlich ist. Die Drahtelektrode bzw. das Schweißgut dient hierbei als Druckmaterial. Die Abschmelzleistungen des WAAM sind deutlich höher als bei anderen Stahl-druckverfahren (SLM / SLS). Das IfSW verfügt über zwei Roboter mit Schweißaufsätzen (Fronius CMT Advanced und TransSynergic 5000), mit denen die Möglichkeiten des WAAM im Stahlbau erforscht werden.



Trägerhaken, additiv auf einen I-Träger gefertigt

Die Forschung fokussiert sich hierbei auf Anchlusselemente, deren Masse im Vergleich zum Gesamttragwerk gering ist, z. B. Steifen, Kopfplatten oder gelenkige Trägeranschlüsse (siehe Bild). Die topologieoptimierten Anchlusselemente lassen sich im Rahmen einer automatisierten Fertigung mit Schweißrobotern direkt auf Stahlträger „drucken“.

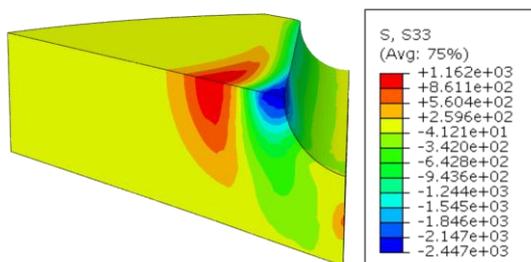
#### Veröffentlichung:

**Feucht, T. und Lange, J.:** „3-D-Drucken mit Stahl: Additive Fertigung von Anchlusselementen und Trägerverstärkungen“ 21. DASt-Kolloquium, Kaiserslautern, 6./7. März 2018

**Lange, J. und Feucht, T.:** „Additive Manufacturing – 3D-Druck im Stahlbau“, 39. Deutscher Stahlbautag, Duisburg, 11. Oktober 2018

### Hochdruckbauteile aus höchstfesten Stählen Carl Fällgren, M.Sc.

Um den im Betrieb auftretenden hohen Innendrücker standhalten zu können, werden Einspritzsystemkomponenten, wie Common Rail Systeme, für hochverdichtende Motoren autofrettiert. Das Bestreben der Hersteller, die Innendrücker in diesen Motoren im Rahmen einer Verbrennungsoptimierung anzuheben, macht dabei die Verwendung von Stählen mit höheren Festigkeiten unumgänglich. Im Rahmen des von der AiF geförderten Forschungsvorhabens 19790 N sollen das Potential höchstfester Stähle und mögliche Bemessungsmethoden für die beschriebenen Anwendungen untersucht werden. Für die Untersuchungen wird der höchstfeste und zähe Arbeitsstahl W360 mit einer Zugfestigkeit von ca. 2100 MPa (schlussvergütet) verwendet.



**Bild:** Eigenspannungsverlauf der senkrechten Spannungskomponente S33 nach Autofrettage mit 16000 bar, Ergebnis aus Finite-Elemente Berechnung anhand vorläufiger Materialdaten des Stahls W460

An bauteilähnlichen Proben und an Materialproben werden dabei, in Kooperation mit der MFPA an der Bauhaus Universität Weimar, Innendruckschwellversuche und Ermüdungsversuche an autofrettierten, teilautofrettierten und nicht autofrettierten Proben durchgeführt. Zusätzlich werden, unter Verwendung der Finiten-Elemente-Methode, Rissfortschrittsuntersuchungen durchgeführt.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, valide Daten und Berechnungskonzepte für den Einsatz höchstfester Stähle für innendruckbelastete Bauteile in Hochdruckanlagen zu erarbeiten.

### Berechnung von Anriss- und Bruchlebensdauern auf Basis des Örtlichen Konzepts Dipl.-Ing. Melanie Fiedler

Auf Basis des AiF-Vorhabens Nr. 17612 entstand in Kooperation des IFSW mit dem IMAB der TU Clausthal und dem Fraunhofer IWM Freiburg die Druckvorlage für die neue FKM-Richtlinie nichtlinear. Diese Richtlinie ermöglicht es dem Anwender, allgemeine Maschinenbauteile unter konstanter oder variabler Belastung statisch und zyklisch auf der Basis von nichtlinearem Materialverhalten nachzuweisen. Der Ermüdungsfestigkeitsnachweis basiert dabei auf dem Örtlichen Konzept und ermöglicht die Berechnung von Anrisslebensdauern auf Basis einer elastizitätstheoretischen FE-Berechnung des Bauteils.

Die neue Richtlinie geht im Dezember 2018 in den Druck und erscheint voraussichtlich Anfang 2019 im VDMA Verlag.

Auf Basis der Richtlinie nichtlinear kann das Werkstoffverhalten entweder experimentell bestimmt

oder über die Zugfestigkeit abgeschätzt werden. Im Falle einer experimentellen Bestimmung, ist ein anschließender Nachweis nach der bruchmechanischen FKM-Richtlinie problemlos möglich, sofern experimentelle Rissfortschrittsdaten vorliegen. Im Falle einer Abschätzung der Werkstoffigenschaften über die Zugfestigkeit, kann dieser Weg nicht beschritten werden, da 1.) keine Rissfortschrittsdaten vorliegen und 2.) keine genaue Definition der technischen Anrisslänge erfolgen kann. Um diese Lücke zu schließen, wird das U-Konzept entwickelt. Dieses ergänzt das Örtliche Konzept um ein weiteres Modul, welches die Abschätzung von Wöhler- und Gassnerlinien auf Basis der Ergebnisse der Richtlinie nichtlinear für allgemeine Maschinenbauteile aus Stahl auf der Basis elastisch-plastischem Materialverhaltens ermöglicht, ohne dass weitere experimentelle Untersuchungen notwendig werden.

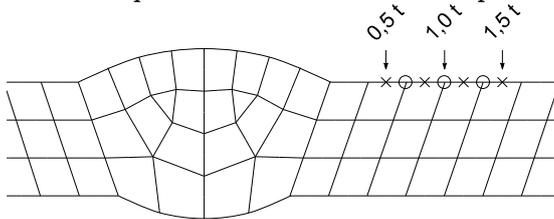
#### Veröffentlichung:

*Fiedler, M.; Wächter, M.; Varfolomeev, I.; Vormwald, M.; Esderts, A.: „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile unter expliziter Erfassung nichtlinearem Werkstoffverformungsverhaltens“, VDMA, unveröffentlicht*

### Thermomechanische Ermüdung geschweißter Blechstrukturen – Erstellung eines Bemessungs- und Lebensdauerkonzepts mit Richtliniencharakter unter Berücksichtigung elastisch-plastischer Deformationen

Simon Moser, M.Sc.

Wesentlicher Bestandteil des Strukturdehnungskonzepts ist die rechnerische Ermittlung von Dehnungen in Schweißnahtübergangskernen unter Vernachlässigung der lokalen Dehnungsüberhöhung infolge der Kerbe. Eine gängige Methode zur Berechnung von Strukturspannungen ist die Extrapolation der Spannungen an der Bauteiloberfläche. Dazu werden zunächst Spannungen an zwei oder drei Punkten in einem definierten Abstand von der Kerbe mit Hilfe der FEM berechnet und anschließend linear oder quadratisch in die Kerbe extrapoliert.



**Bild:** Knotenpunkte für die 7-Punkt-Extrapolation

Im Rahmen einer Parameterstudie hat sich gezeigt, dass diese Methode nicht unmittelbar auf elastisch-plastische Strukturdehnungen übertragbar ist. Aus diesem Grund wurde eine Extrapolationsmethode entwickelt, bei der die Dehnungen von mindestens sieben Knoten ausgewertet werden. Der Abstand der Knoten zur Kerbe sollte dabei in etwa dem 0,5 – 1,5-fachen der Blechdicke  $t$  entsprechen. Mittels einer Ausgleichsrechnung werden diese Knotendehnungen durch ein Polynom zweiter Ordnung angenähert. Die Auswertung des Polynoms in der Kerbe liefert dann die gesuchte Strukturdehnung.

#### Veröffentlichung:

Moser, S., Beier, H. T., Vormwald, M., Erbe, A., Müller, F., Kontermann, C., Oechsner, M.: „Thermomechanische Ermüdung geschweißter Blechstrukturen – Erstellung eines Bemessungs- und Lebensdauerkonzepts mit Richtliniencharakter unter Berücksichtigung elastisch-plastischer Deformationen“, FVV Frühjahrstagung, Bad Neuenahr, Heft R 582 (2018)

### Konfigurationskräfte als Risswachstumsparameter bei elastisch-plastischer Bruchmechanik

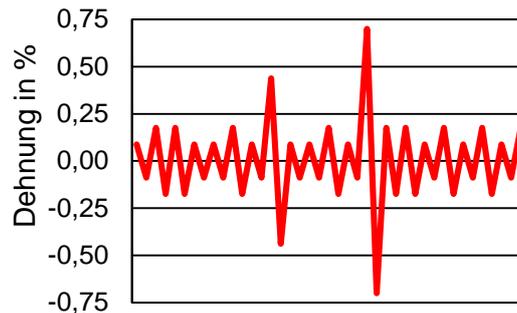
Aris Tsakmakis, M.Sc.

Die Theorie der *materiellen* oder *Konfigurationskräfte* ist in den letzten Jahrzehnten im Rahmen der nichtlinearen Kontinuumsmechanik entstanden. Diese Kräfte bilden ein eigenes System, das dazu dient, Prozesse, die mit der materiellen Struktur des Körpers zusammenhängen, zu beschreiben. Insbesondere für Körper die Defekte oder Inhomogenitäten beinhalten, wie es in der Bruchmechanik der Fall ist, spielen die Konfigurationskräfte eine große Rolle. Die Grundgleichungen der materiellen Kräfte können dabei durch geeignete Umformulierung der existierenden Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik hergeleitet werden. Der große Vorteil der Theorie der Konfigurationskräfte gegenüber klassischen Darstellungen liegt in der thermodynamisch konsistenten Herleitung der Gleichungen, die damit für alle Materialgesetze ohne Einschränkung anwendbar sind. Insbesondere in der elastisch-plastischen Bruchmechanik bei zyklischer Belastung sind die klassischen Berechnungsgrößen nicht mehr uneingeschränkt nutzbar. Die Konfigurationskräfte können also in diesem Zusammenhang als Prozessparameter benutzt werden, um die irreversiblen Vorgänge bei Rissfortschritt zu beschreiben. Des Weiteren können Konfigurationskräfte in einer reinen Postprocessing-Routine im Anschluss an eine herkömmliche FE-Berechnung berechnet werden und benötigen damit keine großen Rechenkapazitäten.

Ziel des Forschungsvorhabens ist den Einfluss verschiedener Verfestigungsregeln bei elastisch-plastischem Risswachstum unter statischen und zyklischen Lasten auf Betrag und Verteilung der Konfigurationskräfte zu erfassen. Im Vordergrund stehen dabei die isotrope und kinematische Verfestigung.

### Erweiterte Schädigungskonzepte für thermomechanische Beanspruchung unter variablen Amplituden und plastischer Deformation

Alexander Bosch, M.Sc.



Durch die zunehmende Einspeisung erneuerbarer Energien in die Netze unterliegen konventionelle Kraftwerke, die ursprünglich für einen stationären Betrieb ausgelegt wurden, einem zusätzlichen Belastungsspektrum. Dieses zusätzliche Belastungsspektrum ist durch eine Vielzahl von kleineren Lastzyklen innerhalb der regulären größeren Lastzyklen gekennzeichnet, die durch kurzzeitiges Ausgleichen von Spitzen und Senken im Stromnetz entstehen.

Im Rahmen des AiF geförderten Forschungsvorhabens 18.842 N wurden am Beispiel des im nuklearen Bereich verwendeten austenitischen Edelstahls X6CrNiNb18-10 Schädigungskonzepte auf Grundlage bruchmechanischer Methoden erarbeitet.

Die Validierung der Konzepte erfolgte an einem umfangreichen Versuchsprogramm. Dazu wurden Hourglass-Proben sowie gekerbte Proben zyklisch bei 180°C unter ein-, zwei- und mehrstufiger Belastung getestet. Das Kollektiv für die Versuche unter betriebsähnlicher Belastung wurde dafür aus einer Langzeitmessung an einer im Betrieb befindlichen Kraftwerkskomponente abgeleitet. Anhand der entwickelten Konzepte konnte gegenüber bestehender Konzepte eine Verbesserung in der Vorhersagegenauigkeit erzielt werden.

#### Veröffentlichungen:

**A. Bosch, M. Vormwald, S. Schackert, C. Schweizer**, Fatigue life assessment of welded joints made of the stainless steel X6CrNiNb18-10 for thermomechanical and variable amplitude loading. In: Materials science and engineering technology, 49 (3) pp. 316-331. ISBN: 978-3-939195-55-9, 2018

### Unsere Lehrveranstaltungen im Bachelorstudium:

**Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten:** Aufbau und Struktur, Das 7-Schritte-System, richtig Zitieren, Einführung in LaTeX und Word, Einführung in Graphik-Programme.

**Einführung in kommerzielle FE-Software:** ANSYS und ABAQUS richtig anwenden, anhand von Beispielen aus der Technischen Mechanik und der Statik.

#### **Stahlbau 1 - Grundlagen:**

Elastische und plastische Bemessung von Biegeträgern, Schrauben, Schweißen, gelenkige Verbindungen, Knicken gerader Stäbe.

#### **Stahlbau 2 - Hochbau:**

Knicken von Stabwerken, Bemessung nach Theorie II. Ordnung, biegesteife Rahmenecke, Stützenfußpunkte.

#### **Werkstoffe im Bauwesen:**

Werkstoffkunde und Werkstofftechnik der Metalle, nichtlineare Verformungen, Mehrachsigkeitshypothesen, Schwingfestigkeit

#### **Werkstoffmechanik:**

Anisotropie, Rheologie, Viskosität, Plastizität

### Unsere Lehrveranstaltungen im Basisstudium des Masterstudiums:

**Experimentelle Methoden der Mechanik:** Zugversuche, Digital Image Correlation, Rissfortschritt mit Horizontalpulser, Dehnungsmessstreifen, Incremental Step Test

#### **Stahlbau 3 - Stahlbaukonstruktion:**

Konstruktionselemente des Stahlhoch- und Brückenbaus, Nachweisverfahren und Entwurfsmethoden, Verbundbau, Werkstoffwahl, Betriebsfestigkeit, Brandschutz, Trapezprofile und Sandwichelemente

#### **Stahlbau 4 - Traglastverfahren:**

Fließgelenktheorie I. und II. Ordnung, Verzweigungslast.

#### **Stahlbau 4 - Torsion und Biegedrillknicken:**

St. Venant'sche Torsion, Wölbkrafttorsion, Differentialgleichungen des Biegedrillknickens, normgerechte Anwendung.

### Unsere Lehrveranstaltungen im Vertiefungsstudium des Masterstudiums:

#### **Stahlbrückenbau:**

Stahl- und Verbundbrücken für Straße und Eisenbahn, Einwirkungen, Nachweise nach EC, Herstell- und Montageverfahren (Lehrbeauftragte: Dr.-Ing. D. Reitz, Dr.-Ing. W. Rack).

#### **Plattenbeulen:**

Ableitung der DGL des Plattenbeulens, Lösung der DGL für spezielle Beulfälle, Lösungen nach EC 3 (Prof. Dr.-Ing. R. Steinmann).

**Ausgewählte Kapitel aus dem Verbund- und Leichtbau:** Stahl-Beton-Verbund, Sandwichelemente, Trapezprofile, Stahlleichtbau, Verbindungsmittel, Versuchstechnik.

#### **Knoten und Anschlüsse im Stahlbau:**

Verbindungen, Grundelemente und Kraftfluss in Knotenpunkten, Toleranzen, Details im Brückenbau, Rohrknötchenpunkte (Prof. Dr.-Ing. R. Steinmann)

**Korrosions- und Brandschutz:** Chemie der Korrosion, Beschichtungen, Brandlasten, Wärmedämmung, Werkstoffe unter hohen Temperaturen, Verbundbauteile, globales Sicherheitskonzept

**Baulicher Brandschutz:** Brand- und Gefahrenschutz im Hoch- und Tiefbau, Grundlagen des baulichen Brandschutzes (Musterbauordnung, Hessische Bauordnung), Rettungswege in Gebäuden, Bauprodukte, Baustoffe (Lehrbeauftragter: Prof. Dipl.-Ing. R. Ries).

**Bruchmechanik:** Spannungsintensitätsfaktoren, Bruchkriterien, Energiefreisetzungsraten, Schwingrissfortschritt

**Betriebsfestigkeit:** Lastanalyse und Zählverfahren, Nachweiskonzepte, Werkstoffverhalten

**Schweißsimulation:** Multiphysik des Schweißens, instationäre Temperaturfelder, idealisierte Schweißwärmeequellen, Wärmewirkung auf das Gefüge, Eigenspannungen und Verzug

**Holzbau:** Bemessung und Konstruktion von Holzbauten (Teil I: Lehrbeauftragter Dr.-Ing. P. Rädle, Teil II: Lehrbeauftragter Dr.-Ing. J. Stahl)

### Abgeschlossene Masterarbeiten 2018

Im Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik werden jedes Jahr zahlreiche Bachelor- und Masterarbeiten betreut.

Da vor allem die Masterarbeiten dabei eine wichtige Rolle im Leben der Studierenden spielen, sind sie doch der letzte Schritt vor dem Eintritt ins Berufsleben, erfolgt hier eine kurze Auflistung der erfolgreichen Abschlussarbeiten der vergangenen 12 Monate.

#### Anna Jordan

Bewertung des Torsionstragverhaltens von mit Polyurethan-Hartschaum gefüllten kaltgeformten Stahlprofilen

#### Laura Knecht

Untersuchungen zum Tragverhalten von Sandwichelementen mit einem Kern aus vorgefertigten Zellstofflamellen

#### Sonja Steineck

Vergleich verschiedener Berechnungsansätze für Laminat- bzw. Sandwichbauteile im Glas- und Metallbau

#### Marc Rothermel

Berechnung äquivalenter Beulfelder und Erstellung geeigneter Bemessungshilfen

#### Maria Wildjajew

Untersuchung von 3-D-gedruckten Auflagersteifen

#### Maren Erven

Untersuchung von 3-D-gedruckten, geschraubten Kopfplatten

#### Christiano Talarico

Untersuchung von 3-D-gedruckten Schubfeldverstärkungen an Rahmenecken

#### Nicole Niewiesk

Untersuchung von 3-D-gedruckten Wölbsteifen

#### Adrian Pflegshörl

Entwurf von kurzen Bahnbrücken mit einer längsorientierten Fahrbahn in SPS-Bauweise

#### Leon Henckes

Entwicklung eines Tools zur parametrisierten Erstellung von FE-Modellen für standardisierte Überbauten von Bahnbrücken

#### Andreas Alt-Hallenberger

Entwurf von kurzen Bahnbrücken mit einer querorientierten Fahrbahn in SPS-Bauweise

#### Mareike Bopp

Recherche zu bisherigen experimentellen Untersuchungen zum Sandwich-Plate-System und Planung eigener Versuche

#### Martin Stuff

BIM-gestützte Bauwerksprüfung nach DIN 1076 am Beispiel einer Fußgängerbrücke aus Stahl

#### I. R.

Leistungsfähigkeitsanalyse der tragwerksplanerischen Systemmodellierung, des Transfers und der Datenauswertung im Building Information Modeling (BIM)

#### Daniel Drewes

Untersuchung zur globalen Stabilität von Kreissegment-Bogentragwerken aus Sandwichbalken

**Beatrice Müller**

Untersuchung von 3-D-gedruckten Rohrknotten

**Shen Huang**

Untersuchungen zur Schnittgrößenermittlung von Bogentragwerken aus gekrümmten Sandwichprofilen

**Felix Blum**

Additive Fertigung von Anschlusselementen und deren experimentelle Untersuchung

**Daniel Bechtle**

Additive Fertigung von Stützen und deren experimentelle Untersuchung

**Katharina Miller**

Experimentelle Traglastuntersuchung von übereck gelagerten Knotenblechen unter Druckbeanspruchung

**Christoph Sebold**

Untersuchung von 3-D-gedruckten Spannelementen

**Fiona Hanich**

Numerische Bewertung des selbstständigen Lösens vorgespannter Schraubenverbindungen basierend auf dem Melan'schen statischen Einspieltheorem

**MengMeng Niu**

Einfluss der Randschichtverfestigungen auf das Materialverhalten oberflächenbehandelter Probekörper

**Jan Kraft**

Untersuchung der Evolution von Fließflächen infolge deformationsinduzierter plastischer Anisotropie

**Manuel Vonhoff**

Nachweis der statischen Festigkeit von Bauteilen aus Aluminium-Druckguss und Eisenguss sowie Bewertung von unterschiedlichen Methoden der Nachweisführung

### Das Forschungslabor des Fachgebiets Stahlbau

Das Forschungs- und Prüflabor des Fachgebiets Stahlbau dient in erster Linie der experimentellen Forschung und Lehre. Außerdem ist unser von der DAkkS (Deutsche Akkreditierungsstelle) akkreditiertes Prüflabor wichtiger Partner verschiedener Unternehmen aus der Sandwichindustrie. Die Versuchshalle ist mit einem Spannboden (25 x 10 m) ausgestattet, der es ermöglicht, Versuchskörper mit Lasten von bis zu 3.000 kN zu beanspruchen.



Mit hydraulischen Prüfmaschinen können Lasten bis zu 5.000 kN aufgebracht werden. Die 5.000 kN Maschine wurde erst kürzlich mit einer neuen Hydraulik und neuer Regelungstechnik ausgestattet. Unter anderem werden bei uns folgende Themen experimentell untersucht:

- Sandwichelemente mit unterschiedlichen Kernmaterialien
- Seile aus Stahl und Kunststoff
- Leichtbauprofile aus Aluminium und Stahl
- Zyklische Beanspruchung von Verbindungsmitteln
- Hochtemperaturverhalten von Schrauben
- Geschraubte, geschweißte und geklemmte Verbindungen

Viele Versuche an Sandwichelementen unter Temperaturbelastung werden in unserer großen Klimakammer (Temperaturbereich  $-30^{\circ}$  bis  $+80^{\circ}$ ) durchgeführt.

In einem aktuellen Forschungsvorhaben wurde die Tragfähigkeit von direkt befestigten Sandwichelementen unter zyklischer Beanspruchung untersucht.



An der Durchführung der verschiedenen Versuchsreihen wie auch an vielen weiteren Projekten sind Studierende beteiligt, die im Rahmen ihrer Studienarbeiten oder als studentische Hilfskräfte erste wissenschaftliche Erfahrungen sammeln.

Ein weiteres Beispiel für die Einbindung von Studierenden in die aktuelle experimentelle Forschung ist im unteren Bild dargestellt. Hier wird die Tragfähigkeit einer Auflagersteife untersucht, die mit der Additiven Fertigung mittels Schweißroboter direkt in einen I-Träger eingeschweißt wurde.



Ansprechpartnerin:

Dr.-Ing. Felicitas Rädels  
 Franziska-Braun-Straße 3  
 64287 Darmstadt  
 Fon: +49 6151 16 22403  
 Fax: +49 6151 16 22404  
 E-Mail: raedel@stahlbau.tu-darmstadt.de

### Das Forschungslabor des Fachgebiets Werkstoffmechanik

Seit über 30 Jahren wird im Experimentallabor des Fachgebietes Werkstoffmechanik geforscht, geprüft, gelehrt und ausgebildet.

Die Forschung wird vor allem auf den Gebieten

- Zyklische Werkstoffdaten,
- Ermüdungsfestigkeit metallischer Werkstoffe und Bauteile,
- Schweißverbindungen, Bauteile und mechanische Verbindungsmittel unter ein- und mehrachsiger zyklischer und statischer Beanspruchung

experimentell unterstützt.

Versuche werden beispielsweise an ultra-hochfesten Stählen aus dem Bereich des Motorenbaus, an Schweißnähten moderner, höherfester Baustähle, an Betonstählen, an Glas, an plastischen Werkstoffen mit erheblicher Kriechneigung (Bitumen), an Werkstoffen und Bauteilen unter niedrigen Temperaturen (bis  $-140^{\circ}\text{C}$ ) und unter erhöhten Temperaturen (bis  $+250^{\circ}\text{C}$ ) durchgeführt.

Die Vorlesungen des Fachgebietes Werkstoffmechanik werden durch die Experimente unterstützt, wobei die graue Theorie mitunter plastisch sichtbar wird.

In der Werkstatt des Experimentallabors werden Proben und Versuchseinrichtungen gefertigt. An den 4 servohydraulischen Prüfmaschinen (60, 60, 100, 630 kN) und dem mechanischen Horizontalpulser (200 kN) können einachsige Versuche mit Frequenzen bis zu 400 Hz gefahren werden. Zu unseren Besonderheiten zählen die servohydraulische Axial - Torsional - Prüfmaschine (250 kN / 4 kNm), ein 3-D-Bildkorrelationssystem zur Dehnungsfeldmessung, unser 3D-Scanner, mit dem z.B. Schweißnahtoberflächen mit einer Auflösung von  $30\ \mu\text{m}$  aufgenommen werden können und eine Kühleinheit, mit der Versuche zur Werkstofffestigkeit bei niedrigen Temperaturen durchgeführt werden können.



Bruchmechanikversuch: CT-Probe bei  $-140^{\circ}\text{C}$

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. H. Thomas Beier  
Franziska-Braun-Straße 3  
64287 Darmstadt

Fon: +49 6151 16 23081

Fax: +49 6151 16 23083

E-Mail: [beier@wm.tu-darmstadt.de](mailto:beier@wm.tu-darmstadt.de)

### Klausurtagung des Fachgebiets Stahlbau im Kleinwalsertal August 2018

Nachdem es im letzten Jahr nach Trifels ging, besann sich das Fachgebiet wieder auf die Tradition und machte sich zur viertägigen Klausurtagung auf ins Darmstädter Haus im Kleinwalsertal. Auf der Fahrt bis hinter die österreichische Grenze hielten wir bei Behnisch Architekten in Stuttgart und erhielten einen Einblick in die ästhetisch-gestalterischen Aspekte des Planens.

Trotz des diesjährigen nicht enden wollenden Sommers schaffte es das Fachgebiet zielsicher, sich das Wochenende auszusuchen, an dem es nicht aufhören wollte zu regnen. So blieb viel Zeit für die Forschungsvorträge der Mitarbeiter und deren ausgiebiger und anregender Diskussion. Neben diesen und Besprechungen zur Institutsarbeit und Lehre blieb auch noch genug Zeit für weniger wissenschaftliche Vorträge.



Zwei kleinere Spaziergänge und einen Ausflug zur Skiflugschanze in Oberstdorf unternahmen wir dann doch, da uns vor lauter Besprechungen die Decke nicht auf den Kopf fallen sollte.

Da diese kurzen Ausflüge jedoch den Bewegungsdrang der Mitarbeiter nicht ausgleichen konnten, wurde am letzten Abend ein großes Tischtennisturnier ausgerufen. Die Topspieler waren selbst durch die ungewöhnlichen Ersatzschläger nur schwer zu bremsen.

Damit wurde aus dem zunächst befürchtet überwiegend mental anstrengenden Wochenende eine Angelegenheit für Geist und Körper.

### Exkursion nach China im September 2018

In der zweiten Septemberhälfte besuchten 23 Studierende, 7 wissenschaftliche Mitarbeiter und die Professoren Schneider (Fachgebiet Statik), Knaack (Fachgebiet Fassadentechnik) und Lange das „Reich der Mitte“. Die Reise begann in der Landeshauptstadt Peking. Neben dem Besuch von kulturellen Sehenswürdigkeiten wie der verbotenen Stadt, konnten im Bau befindliche Hochhausprojekte hautnah erkundet werden. Ein Höhepunkt war die Besichtigung der Firma North-Glass, die zusammen mit nur einem weiteren Unternehmen die Weltspitze für Spezialfassadengläser bildet.



Nach dem Besuch der größten Stahlbrückenbau-Firma Chinas und der Besichtigung des „Dragon's Head“, dem östlichsten Teil der Chinesischen Mauer, stand ein zweitägiger Aufenthalt im Nationalpark von Zhangjiajie auf dem Reiseplan. Die Glasbodenbrücke und die atemberaubende Landschaft waren weitere Höhepunkte. Workshops an der Central South University in Changsha und der Tongji University in Shanghai boten die Möglichkeit, didaktische Konzepte und aktuelle Forschungsarbeiten der Universitäten kennen zu lernen. Die Gespräche der Studierenden untereinander über den Alltag im Studienleben waren ein großer Erfolg, da hier nicht nur das Studium betreffende Inhalte sondern auch alltägliche und kulturelle Besonderheiten ausgetauscht werden konnten. Die Besichtigung der 26 Mio. Metropole Shanghai stellte den krönenden Abschluss der Bildungsreise dar. Unter anderem wurden das Urban Planning Museum, der Oriental Pearl Tower sowie verschiedene historische Sehenswürdigkeiten der Stadt besucht.

### Werkstoffmechanikseminar des Fachgebiets Werkstoffmechanik März 2018

Das Seminar des FG Werkstoffmechanik fand dieses Jahr zum 39. Mal an wohlbekanntem Ort in Reussenkreuz/Sensbachtal im hessischen Odenwald statt. Der fachliche Austausch unter Kollegen und Kolleginnen aus ganz Deutschland stand dieses Jahr wieder im Mittelpunkt der Veranstaltung. Im Verlauf des einwöchigen Seminars hörten und diskutierten die Anwesenden 15 Vorträge über aktuelle Forschungsergebnisse aus verschiedenen Bereichen, von Vortragenden aus Industrie und Forschung. Abends, nach der Einnahme des großzügig portionierten Abendessens, wurden weitere Themen, in angenehmen, kollegialen Runden, besprochen und diskutiert.



Bild: Mit Warnschutzkleidung auf dem Werks-  
gelände der Privat-Brauerei Schmucker

Als Freizeitprogramm wurde dieses Jahr eine Wanderung durch den Odenwald mit anschließender Besichtigung der Privat-Brauerei Schmucker in Mossautal durchgeführt. Nach einer informativen Führung durch die Produktionsstätten der Brauerei fand eine kleine Verköstigung statt, welche alle Anwesenden für die Fortsetzung der Wanderung stärkte. Die gute Stimmung, sowie die den Vortragenden unterbreitete konstruktive Kritik, erzeugten eine angenehme produktive Atmosphäre und eine gelungene Seminarwoche.

### TU meet & move 2018 20.6.2018

Am 20.6.2018 fand bei für dieser Veranstaltung ungewöhnlich gutem Wetter das diesjährige Campusfest statt.

Traditionell beteiligte sich das Team des Fachgebiets Stahlbau, welches in diesem Jahr durch mehrere Kolleginnen und Kollegen aus der Werkstoffmechanik verstärkt wurde, an den Wettkämpfen der Uni-Olympiade.



Mit etwas Stolz blicken wir zurück bis ins Jahr 2011 und stellen fest, dass wir als einziges Team bei bisher allen Ausgaben dieses abwechslungsreichen Wettkampfes am Start waren – wenn auch zugegebenermaßen mit unterschiedlichem Erfolg.

Dieses Jahr waren wie auch in den Jahren zuvor neben rein sportlichem Können wieder Geschick, Köpfchen und Teamgeist bei verschiedenen Spielen gefragt.

So wurden unsere Kompetenzen beim Standweitsprung ebenso getestet wie beim Tischtennisball pusten, beim Darm-Quizz oder beim Erkennen von Gewürzen am Geruch. Am Ende hat es trotz unseres Fan-Chores, der uns mit Hilfe der Stahlbau-Hymne, die an jeder Station zum Besten gegeben wurde, nahezu die maximale Ausbeute an Fan-Punkten gesichert hat, nicht ganz für Edelmetall gereicht. Aber auch mit dem errungenen 5. Platz konnten wir an diesem sehr schönen Nachmittag bei bestem Wetter und toller Atmosphäre sehr zufrieden sein.

### BiFA-Cup 2018

Am 13.7.2018 fand der diesjährige Fußball BiFA-Cup statt. Insgesamt fanden sich acht Teams auf dem Platz der Darmstädter TSG 1846 ein, um die Heimat des begehrten Wanderpokals für das kommende Jahr untereinander auszumachen. Auch das Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik schickte wie jedes Jahr eine engagierte Mannschaft ins Rennen.



#### Die Mannschaft des IFSW

(Christoph Schnell, Jakob Müller, Thomas Blome, Jan Reinheimer, Jan Laken, Daniel Drewes, Aaron von der Heyden, Özer Üngör, Hans Scholz, Paul Podalnikov)

Die Gruppenphase startete mit zwei ungefährdeten Siegen gegen das Team Baubetrieb sowie die Informatiker. Das dritte Vorrundenspiel endete mit einem hart umkämpften aber dennoch torlosen Unentschieden gegen unseren Erzrivalen, das Team Geodäsie – die Qualifikation für die Finalrunde war damit gesichert.

Im Halbfinale trafen wir auf das Team Verkehr. In leidenschaftlichen 15 Minuten konnte kein Sieger ermittelt werden, nach Ende der regulären Spielzeit stand es 2:2. Das Siebenmeter-schießen konnten wir dank äußerst sicherer Schützen sowie einer überragenden Torwartleistung für uns entscheiden und zogen wie schon im Vorjahr ins Endspiel ein.

Es kam es zu einem denkwürdigen Wiedersehen mit dem Team der Geodäten. Der Spielverlauf und das Ergebnis riefen Erinnerungen an das legendäre Finale der WM 2014 wach und gewannen das Spiel souverän mit 7:0. Die Freude über den Turnierge Gewinn kannte bei der abschließenden Siegerehrung natürlich keine Grenzen. Wir können es kaum erwarten, im nächsten Jahr die Mission Titelverteidigung anzugehen.

### 60. Geburtstag von Professor Jörg Lange

Anlässlich der Vollendung des 60. Lebensjahres von Herrn Professor Lange fand am 8. Juni 2018 ein Festkolloquium statt. Bei herrlichem Sommerwetter fanden sich Freunde, Kollegen sowie aktuelle und ehemalige Mitarbeiter von Herrn Professor Lange im Georg Christoph Lichtenberg-Haus in Darmstadt ein, um mit ihm gemeinsam diesen besonderen Anlass zu feiern. Der erste Teil des Kolloquiums bestand aus einer Reihe sehr interessanter und spannender fachlicher Vorträge mit einem besonderen Bezug zu den Forschungsinteressen von Herrn Professor Lange.

Nach der Mittagspause, in welcher sich die Gäste mit einer reichhaltigen Auswahl an Häppchen stärken konnten, ging es gegen Nachmittag mit weniger fachbezogenen, aber nicht minder unterhaltsamen Beiträgen weiter. So blickten langjährige Weggefährten von Herrn Professor Lange auf die gemeinsame Zeit zurück und ließen besondere Erlebnisse Revue passieren. Für großen Applaus sorgte außerdem die gesangliche Darbietung der offiziellen Stahlbau-Hymne durch die aktuellen sowie ehemaligen Mitarbeiter des Fachgebiets Stahlbau. Den musikalischen Höhepunkt des Tages lieferte allerdings Herr Daniel Stelter mit seinen hervorragenden Interpretationen auf der Gitarre.



#### Ehemalige und aktuelle Mitarbeiter des Fachgebiets Stahlbau singen die Stahlbau-Hymne

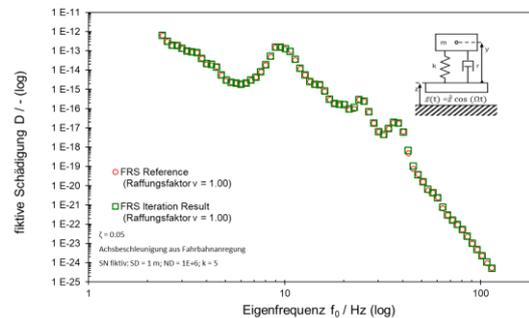
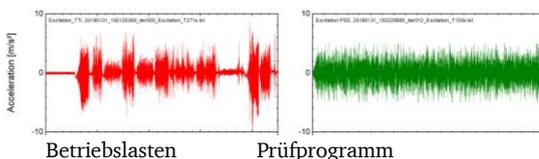
Ein rundum gelungener Tag fand seinen gebührenden Abschluss bei einem ausgiebigen Abendessen mit frisch Gegrilltem und leckeren Beilagen. Bei geselligem Beisammensein und interessanten Gesprächen ließen die Gäste den Abend ausklingen.

### Ableitung schädigungsäquivalenter Leistungsdichtespektren für die Vibrationsprüfung unter Verwendung von Schädigungs-Antwort-Spektren

Dr.-Ing. Matthias Decker

Vibrationen können Bauteile zu Schwingungen anregen und dadurch ihre Lebensdauer beeinträchtigen. Für einen zielgerichteten Betriebsfestigkeitsnachweis unter diesen Belastungen werden Prüfprogramme benötigt, die Frequenzen, Amplituden und Häufigkeiten der Betriebsbelastungen richtig wiedergeben. Hierfür wurde das FatiResponse Verfahren hergeleitet und validiert, welches unter Verwendung der Systemantworten fiktiver schwingfähiger Systeme einen Abgleich zwischen gemessenen Betriebslasten und stochastischen Prüfprogrammen ermöglicht, die durch Leistungsdichtespektren beschrieben werden.

Es konnte gezeigt werden, daß harmonische, stoßförmige und zufallsartige Vibrationsbelastungen so durch stationäre, stochastische Prüfprogramme wiedergegeben werden können, daß für in weiten Grenzen beliebige Prüflinge sowohl die maximalen Beanspruchungen, als auch die Ermüdungsschädigung sehr gut abgebildet werden. Die Methode stellt eine signifikante Verbesserung gegenüber der gängigen Ableitung von Prüfspektren mittels der Fast-Fourier-Transformation dar. Das Streumaß der möglichen Fehler in der zu erwartenden Lebensdauer konnte von mehreren Dekaden auf einen Wert im Bereich von  $T_{90/10} = 1,6$  reduziert werden.



Schädigungs-Antwort-Spektren

#### Veröffentlichung:

*Ableitung schädigungsäquivalenter Leistungsdichtespektren für die Vibrationsprüfung unter Verwendung von Schädigungs-Antwort-Spektren, Heft 119 (2018) – Technische Universität Darmstadt, Stahlbau und Werkstoffmechanik ISBN 978-3-939195-58-0*

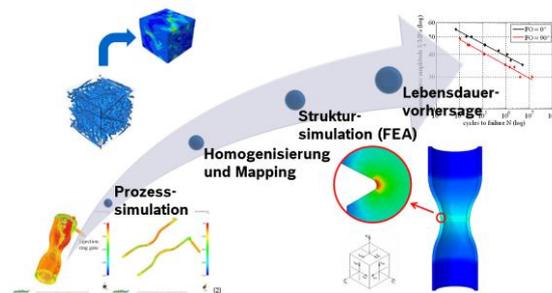
#### Einfluss der Faserorientierung auf die Ermüdungsfestigkeit kurzglasfaserverstärkter Thermoplaste

Dipl.-Ing. Andreas Wilmes

Kunststoffbauteile werden zunehmend in industriellen Anwendungen (z.B. in der Automobilindustrie) eingesetzt, denn diese ermöglichen Konstruktionen im Sinne des Leichtbaus. Oftmals handelt es sich hierbei um kurzglasfaserverstärkte Thermoplaste. Bei diesen Werkstoffen bildet sich die Faserorientierung während der Produktion im Spritzgussprozess durch das Strömungsverhalten der Schmelze in der Kavität aus und führt zu einem anisotropen Materialverhalten. Dieses Materialverhalten beeinflusst sowohl das mechanische Verhalten als auch die Festigkeit des Bauteils und sollte deshalb in der Zuverlässigkeitsgestaltung berücksichtigt werden. Diese Thematik wird in Kooperation mit der Robert Bosch GmbH adressiert.

Um in der virtuellen Auslegung die Anisotropie zu berücksichtigen, ist es nötig die Prozessschritte der Produktion mit Hilfe von Simulationen abzubilden. Hierfür wurde eine Prozesskette aufgesetzt, welche im Bild dargestellt ist. Diese erstreckt sich von der Spritzgussimulation über eine Homogenisierung der elastischen

Eigenschaften der Konstituenten zur Struktursimulation. Basierend auf den lokalen Beanspruchungen und Faserorientierung erfolgt eine Lebensdauerabschätzung.



**Bild:** Prozesskette zur Berücksichtigung der Faserorientierung in der Lebensdauerabschätzung von kurzglasfaserverstärkten Thermoplasten

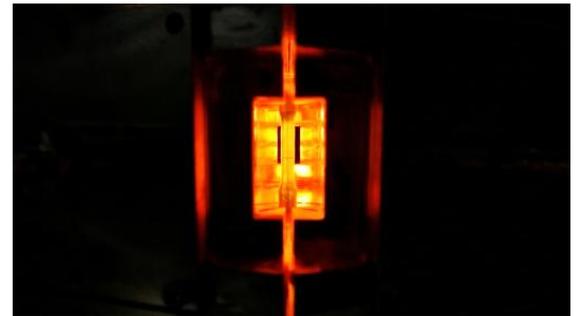
Ein Konzept zur Berücksichtigen der lokalen Faserorientierung in Kombination mit den Einflüssen von Kerben, Temperatur und Mittelspannung für die Lebensdauerabschätzung unter Ermüdungsbelastung wurde entwickelt und erfolgreich an Versuchen mit unterschiedlichen Probekörpern und Belastungen validiert.

#### Experimental and Computational Investigation of Multi-Axial Thermal Gradient Mechanical Fatigue in a Nickel-Based Superalloy

Dr.-Ing. Jingyu Sun

Mechanische Teile in Triebwerken werden gleichzeitig mechanisch und thermisch belastet, die sogenannte thermomechanische Ermüdung (Thermo-Mechanical Fatigue, TMF). Im Triebwerk spielt die interne Kühlung eine große Rolle, um die Temperatur des Bauteils auf ein bestimmtes Niveau zu reduzieren und gleichzeitig die Maschine in einem Betriebszustand sicherzustellen. Die Untersuchung bestätigt, dass der durch die Innenkühlung induzierte Temperaturgradient einen signifikanten Einfluss auf die Spannungsverteilung und Lebensdauer des Bauteils hat. Die thermische gradienten-mechanische Ermüdung (Thermal Gradient Mechanical Fatigue, TGMF) ist eine wichtige Versagens-

form für die Bauteile, die durch thermomechanische Belastungen in Kombination mit dem Temperaturgradienten beschädigt werden.



**Bild:** TGMF-Test mit Strahlungssofen.

TGMF-Experimente wurden sowohl unter gleichphasigen als auch gegenphasigen Lastbedingungen durchgeführt, um den Einfluss des Temperaturgradienten zu quantifizieren. Ein Vergleich der TMF- und TGMF-V Versuchsergebnisse zeigte, dass bei gleicher mechanischer Dehnungsamplitude und gleichen thermischen Phasenwinkelbedingungen die Ermüdungslebensdauer durch den thermischen Gradienten verringert werden konnte. Das vorgeschlagene TMF-Lebensdauermodell zeigt starke Abweichungen und berücksichtigt nicht die Auswirkungen des thermischen Gradienten auf die Ermüdung. Daher wird ein Korrekturterm des Temperaturgradienten vorgeschlagen, um die Ermüdung zu bewerten. Das vorgeschlagene TGMF-Lebensdauermodell wurde als hinreichend genau bestätigt, wenn die TGMF-Lebensdauer von Inconel 718 vorhergesagt wurde.

### Dr.-Ing. Matthias Decker

Matthias Decker hat Maschinenbau an der Technischen Universität München studiert. Bereits in seinen Studienarbeiten beschäftigte er sich mit vibrationsbelasteten Bauteilen und der Betriebsfestigkeit geschweißter Fahrzeugstrukturen. Diese Erfahrungen konnte er nach seinem Studium als Festigkeitsingenieur bei der MAN Nutzfahrzeuge AG in München einsetzen und über mehrere Jahre vertiefen. 2002 wechselte er zur Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft (IABG mbH) in Ottobrunn und leitete dort zuletzt das Ressort Festigkeit, Funktion, Werkstoffe mit der Verantwortung für analytische, rechnerische und experimentelle Untersuchungen an Proben, Bauteilen und Systemen sowie die Entwicklung entsprechender Methoden und Prüfstände. Neben seiner beruflichen Tätigkeit arbeitete er fachlich auf dem Gebiet der Betriebsfestigkeit unter Vibrationsbelastung weiter. Hierüber verfasste er eine Dissertation zur Ableitung schädigungsäquivalenter Leistungsdichtespektren für die Vibrationsprüfung unter Verwendung von Schädigungs-Antwort-Spektren, die er im Juli 2018 in seiner Doktorprüfung erfolgreich verteidigte.



Seit März 2018 verantwortet er bei der AUDI AG in Ingolstadt die Festigkeit Karosserie / Gesamtfahrzeug. Neben seiner beruflichen Tätigkeit engagiert sich Herr Decker im Deutschen Verband für Materialforschung und -prüfung (DVM) und wirkt dort aktiv im Programmausschuss des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit sowie im Beirat mit.

### Dr.-Ing. Eliane Ahrend

Eliane Ahrend, geb. Lang, studierte von 2003 bis 2010 am KIT (Karlsruhe) Bauingenieurwesen mit Schwerpunkt Stahlbau und Finite-Elemente. Nebenbei arbeitete sie als wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau und als studentische Hilfskraft im Ingenieurbüro Dr. Knödel (Ettlingen). Nach einem Praxissemester bei der Anakon GmbH schrieb sie dort ihre Diplomarbeit über Finite-Elementebasierte Konzepte für den Ermüdungsnachweis von Schweißverbindungen. Begeistert vom Themengebiet „Ermüdungsfestigkeit“, inspiriert durch das gleichnamige Fachbuch von Prof. Vormwald wechselte sie anschließend nach Darmstadt ans Fachgebiet Werkstoffmechanik, um als wissenschaftliche Mitarbeiterin weiter die Materialermüdung von Schweißverbindungen zu erforschen – nun in Erweiterung auf elastisch-plastische Beanspruchung.



2016 begann Frau Ahrend ihre Tätigkeit als Entwicklungsingenieurin bei der Opel Automobile GmbH in Rüsselsheim, wo sie bis heute im Bereich CAE / Struktursimulation für die Methodenentwicklung von Schweißverbindungen als auch für die Auslegung von Motorlagern, insbesondere die nichtlineare Schraubenberechnung, verantwortlich ist.

Nebenbei stellte sie ihre Dissertation mit dem Titel „Kurzzeitfestigkeit von Schweißverbindungen – Ein Verfahren zur Parameteridentifikation lokaler zyklischer Spannungs-Dehnungs-Kurven bei Werkstoffinhomogenitäten auf Basis der digitalen Bildkorrelation“ fertig, die sie im Juni 2018 erfolgreich verteidigte.

### Dr.-Ing. Jingyu Sun

Jingyu Sun hat im Jahr 2009 in China an der CUMT sein Bachelorstudium der Technischen Mechanik erfolgreich beendet. Er kam dann nach Deutschland und wählte die Bergische Universität Wuppertal für sein Masterstudium. Im Jahr 2013 hat er sein Masterstudium in Computational Mechanical Engineering abgeschlossen. Das Thema seiner Masterarbeit ist die computergestützte Analyse der strukturellen Temperaturverteilung von axial durchströmten rotierenden Kavitäten. Danach arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bergischen Universität Wuppertal zur Untersuchung der multiaxialen thermomechanischen Ermüdung einer Nickelbasierten Superlegierung. Ab 2016 wurde er vom Fachgebiet Werkstoffmechanik betreut. Sein Arbeitsgebiet war die experimentelle und rechnerische Untersuchung der multiaxialen thermischen Gradientenermüdung in einer Nickelbasis Superlegierung. Während seiner Promotion entwickelte er ein Strahlungsheizsystem für TGMF-Tests. Er führte die TGMF-Tests durch und schlug ein konstitutives Gesetz und ein Ermüdungsmodell für die Nickelbasis-Superlegierung vor.



Nach erfolgreicher Doktorprüfung im Oktober 2018 wird Jingyu Sun die Forschung von TGMF an der Tsinghua University in China fortzusetzen.

### Dr.-Ing. Andreas Wilmes

Andreas Wilmes hat sein Abitur am Hüffertgymnasium in Warburg im Jahr 2008 abgeschlossen. Im Anschluss begann er ein Maschinenbaustudium an der Technischen Universität Clausthal. Dort legte er einen wesentlichen Schwerpunkt auf das Fachgebiet Betriebsfestigkeit. Diesbezüglich unterstützte er im Rahmen von hilfswissenschaftlichen Arbeiten das Institut für maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit, welches von Prof. Esderts zu dieser Zeit geleitet wurde.

Das Industriepraktikum und die anschließende Diplomarbeit bei der Daimler AG handelten von der Lastkollektivermittlung. Hierbei stand ein aktives Feder-Dämpfersystem im Vordergrund. Sein Studium schloss er im Jahr 2013 mit Auszeichnung als Diplom-Ingenieur ab.

Seine Promotion begann er direkt im Anschluss an das Studium. Er wählte eine Industriepromotion an der Technischen Universität Darmstadt in Kooperation mit der Robert Bosch GmbH. Betreut wurde er während seiner Promotion am Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik von Prof. Vormwald. Die Promotion handelte von dem Ermüdungsverhalten von kurzglasfaserverstärkten Thermoplasten. Als wesentliches Ergebnis wurde ein Konzept zur Lebensdauerabschätzung vorgestellt.



Er hat seine Doktorprüfung im Juli 2018 erfolgreich bestanden, ist derzeit im Großraum Stuttgart wohnhaft und arbeitet bei der Robert Bosch GmbH.

### Dr.-Ing. Harald Nelke

Harald Nelke begann im Jahr 2002 sein Diplomstudium an der TU Darmstadt, das er mit einer Diplomarbeit zum Thema „Anpassung eines elasto-plastischen Materialmodells zur Modellierung des Bauschinger-Effektes mit der Finite Elemente Methode“ im Jahre 2008 erfolgreich abschloss. Für die herausragende Diplomarbeit wurde er mit dem Bilfinger Berger Preis 2009 und dem Georg-Donges-Förderpreis 2010 ausgezeichnet. Nach seinem Studium zog es ihn zunächst in die Praxis und er war für das Darmstädter Ingenieurbüro Krebs und Kiefer als Tragwerksplaner im Ingenieurbau tätig. 2011 kam er zurück an das Fachgebiet Stahlbau der TU Darmstadt, wo er sich im Rahmen seiner Forschung ausgiebig mit der Tragfähigkeit von Sandwichelementen, insbesondere im Bereich von Mittelauflagern, beschäftigte. Diese führten 2018 schließlich zur Dissertation mit dem Titel „Tragfähigkeit von Sandwichelementen unter Biegung und Querdruck“.



Neben der Forschung galt das Interesse von Herrn Nelke auch immer einer qualitativ hochwertigen Lehre. Er hat sich mit großem Engagement für stetige didaktische Verbesserungen der Lehrveranstaltungen des Fachgebiets eingesetzt und zahlreiche Studienarbeiten betreut. Seit September 2017 ist Herr Nelke Mitarbeiter des Ingenieurbüros S.A.N. Beratende Bauingenieure GmbH in Darmstadt und gegenwärtig mit der Tragwerksplanung und -berechnung im Hochbau betraut.

### Neue Mitarbeiter am Institut

**Maren Erven, M.Sc.**

*Wissenschaftliche Mitarbeiterin*

**Jan Reinheimer, M.Sc.**

*Wissenschaftlicher Mitarbeiter*

### Promotionen am Institut

**Dr.-Ing. Andreas Wilmes**

**Dr.-Ing. Jingyu Sun**

**Dr.-Ing. Matthias Decker**

**Dr.-Ing. Eliane Ahrend**

**Dr.-Ing. Harald Nelke**

### Professuren

Wir gratulieren herzlich Herrn Prof. Dr.-Ing. Heiko Merle, der zum 1. Oktober 2018 auf die Professur für Stahl- und Verbundbau an die Hochschule Mainz berufen wurde. Heiko Merle promovierte im Jahr 2013 im Fachgebiet Stahlbau.

### Eric Man Pradhan, M.Sc.

**König und Heunisch Planungsgesellschaft**  
Beratende Ingenieure für Bauwesen

Frankfurt am Main – Berlin – Mainz

Stresemannallee 30  
60596 Frankfurt am Main

Tel. +49 (0) 69 63 00 08-78  
Fax +49 (0) 69 63 00 08-66  
E-Mail: pradhan@khp-ing.de



**AUDI AG**

I/EG-713  
85045 Ingolstadt  
Telefon +49 841 89-810771  
Mobil +49 1525 8810771  
matthias.decker@audi.de  
www.audi.de

**Matthias Decker**  
Leiter Festigkeit  
Karosserie / Gesamtfahrzeug



Dipl.-Ing.  
**Andreas Wilmes**

Zentralbereich Forschung und  
Vorausentwicklung  
**Kunststofftechnik**

Andreas.Wilmes@de.bosch.com

Robert Bosch GmbH, CR/APP;  
Renningen  
70465 Stuttgart  
Besucher:  
Robert-Bosch-Campus 1  
71272 Renningen  
Telefon 0711 811-11488  
Mobil 01525 8813703  
www.bosch.com

Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

**Maren Erven, M.Sc.**  
Fachgebiet Stahlbau

[erven@stahlbau.tu-darmstadt.de](mailto:erven@stahlbau.tu-darmstadt.de)  
Franziska-Braun-Straße 3  
64287 Darmstadt  
[www.stahlbau.tu-darmstadt.de](http://www.stahlbau.tu-darmstadt.de)

Telefon +49(0)6151/16-22402  
Fax +49(0)6151/16-22404

### Jascha Brötzmann, M.Sc.

**König und Heunisch Planungsgesellschaft**  
Beratende Ingenieure für Bauwesen

Frankfurt am Main – Berlin – Mainz

Stresemannallee 30  
60596 Frankfurt am Main

Tel. +49 (0) 69 63 00 08-70  
Fax +49 (0) 69 63 00 08-66  
E-Mail: broetzmann@khp-ing.de

**Martin Stuff**  
M.Sc.  
Montageingenieur



**Donges SteelTec GmbH**  
Mainzer Straße 55, 64293 Darmstadt  
Telefon: 06151.889-342, Telefax: 06151.889-270  
Mobil: 0151.55055-231  
E-Mail: [m\\_stuff@donges-steeltec.de](mailto:m_stuff@donges-steeltec.de)

[www.donges-steeltec.de](http://www.donges-steeltec.de)



M. Sc.  
**Fabian Johannes Büttner**  
Tragwerksplanung



**stahl + verbundbau gmbh**  
**Büro Dreieich**  
Im Steingrund 8 · 63303 Dreieich  
Telefon: +49 61 03 98 62-48  
Telefax: +49 61 03 98 62-44  
[f.buettner@stahlverbundbau.de](mailto:f.buettner@stahlverbundbau.de)  
[www.stahlverbundbau.de](http://www.stahlverbundbau.de)



**Harald Nelke**  
Dr.-Ing.

**S.A.N.** Beratende Bauingenieure GmbH  
Julius Reiber Straße 17  
64293 Darmstadt

Telefon 06151 27997-27  
Telefax 06151 27997-30  
[nelke@san-ing.de](mailto:nelke@san-ing.de)  
[www.san-ing.de](http://www.san-ing.de)