

FVV PRIMEMOVERS. TECHNOLOGIES.

The FVV Transfer + Networking Event | Frühjahr 2023

Wissens- und Technologietransfer | Neues Forschungsprogramm



Science for a
moving society

Material- und Ressourceneffizienz

// vollständige Projektdaten ab S. 27

PROJEKT 1351 · TMF-Rissverlaufsberechnung bei ATL-Heiteilen
SCHWERPUNKT Werkstoffe EXPERTENGRUPPE Turbomaschinen
ANWENDUNG Abgasturbolader

PROJEKT 1444 · Auslegung von Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen
(MeGraV II) SCHWERPUNKT Werkstoffe EXPERTENGRUPPE Turbomaschinen
ANWENDUNG Optimierte Gleitlagerungen, Gleitringdichtungen

Ressourceneffizienz senkt den Material- und Energieverbrauch **und schützt Umwelt und Klima**

Abgasführende Komponenten moderner Antriebs- und Energiewandlungssysteme sind im Betrieb hohen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt. Dadurch können Risse in den Bauteilen entstehen, die die Lebensdauer verkürzen. Forscher der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin (BAM) haben eine Software entwickelt, mit der sich ein Ermüdungsrisssverlauf numerisch simulieren und vorhersagen lässt. Neuartige Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe ermöglichen höhere Einsatztemperaturen und damit einen effizienteren Betrieb von Maschinen, Motoren und Triebwerken. In einem Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung erstellen Forscher der TU Dresden eine Prozessführungs- und Auslegungsstrategie zur allgemeinen methodischen Entwicklung dieser Werkstoffe.

Die FVV trägt mit ihren Projekten im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) dazu bei, dass Unternehmen ressourceneffizienter und kostensparender produzieren, sich Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Bauteilen und Komponenten erhöhen und Werkstoffe damit länger im Wirtschaftskreislauf verbleiben.

Mit Simulationen in die Zukunft sehen

Viele Bauteile im Motoren- und Turbinenbau, insbesondere heißgehende Komponenten von Turboladern, unterliegen im Betrieb zeitlich veränderlichen thermischen und mechanischen Belastungen. Das führt an exponierten Stellen zu einer thermomechanischen Ermüdung des Werkstoffs und zur Anrissbildung. In der Folge kann sich eine unterkritische Rissausbreitung bis hin zum Versagen anschließen.

Bislang fehlte die Möglichkeit vorherzusagen, wie sich ein detektierter Anriss verhält; etwa ob er sich weiter ausbreiten wird und wenn ja, in welche Richtung und mit welcher Geschwindigkeit. Dieser Umstand führt zu einer erheblichen Unsicherheit bei der rechnerischen Auslegung derart beanspruchter Bauteile. In der Praxis werden daher Komponenten mit detektierten Rissen prophylaktisch

ausgetauscht, da man die weitere Rissentwicklung nicht ausreichend genau vorhersagen kann. Dieses Vorgehen ist ökologisch und ökonomisch kaum zu rechtfertigen, zumal in Turboladengehäusen Risse auftreten können, die für den Betrieb unproblematisch sind, da sie sich nach wenigen Millimetern nicht weiter ausbreiten. Es bedarf also bruchmechanischer Methoden, um das Risiko der weiteren Ausbreitung von detektierten Rissen zu bewerten und damit zu entscheiden, ob ein Bauteil weiterverwendet werden kann oder ausgetauscht werden muss.

Im Projekt ›**TMF-Rissverlaufsrechnung für ATL-Heißteile**‹ wurde an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (TU BAF) ein leistungsfähiges Berechnungswerkzeug zur Finite-Elemente-Simulation und Vorhersage des Risswachstums in 3D-Bauteilen entwickelt [ABBILDUNG 4]. Die Software ProCrackPlast basiert auf einem

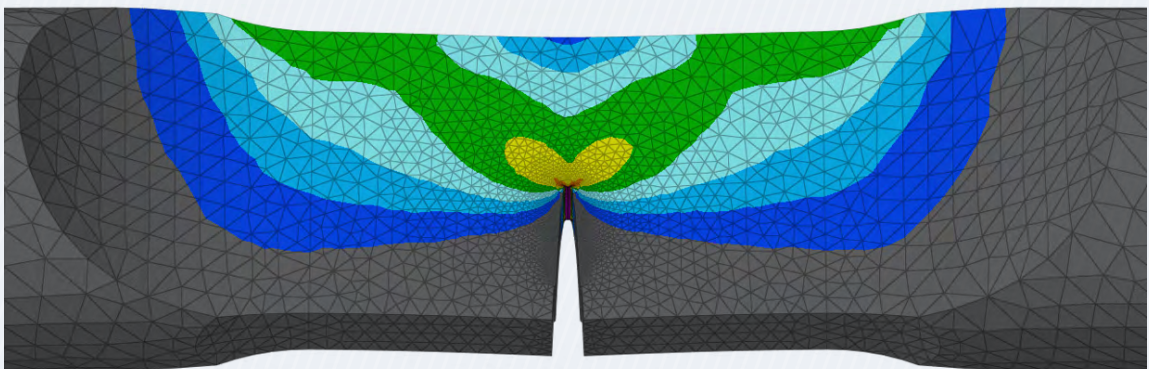


ABBILDUNG 4

SENT-Probe: Simulationsergebnis, das unter Verwendung der im Projekt entwickelten Simulationssoftware erzielt wurde. Konkret zu sehen ist die Visualisierung der Spannungsverteilung während der Ermüdungsrissausbreitung in einer SENT-Probe (Single-Edge Notched Tension)

// TU Bergakademie Freiberg | IMFD

Code, der an der TU BAF zunächst für linear-elastische Bruchmechanik (ProCrack) entwickelt wurde. »Im Bereich der thermomechanischen Ermüdung gibt es jedoch zusätzliche Effekte, die man berücksichtigen muss, etwa eine Kriechneigung«, sagte Prof. Björn Kiefer vom Institut für Mechanik und Fluidodynamik (IMFD). Daher kommen in der erweiterten Simulationsumgebung auch inelastische Materialmodelle zum Einsatz, die zum Teil bereits im Rahmen eines vorangegangenen Projektes an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin (BAM) entwickelt worden waren. Die für die Simulationssoftware benötigten experimentellen Daten zur Kalibrierung und Validierung der Modelle wurden in aufwendigen Versuchen an der BAM erhoben [ABBILDUNG 5].

An gekerbten Flachzugproben wurde das Risswachstum im Temperaturbereich von 20 bis 700 Grad Celsius ermittelt und somit eine belastbare Datenbasis

zur Quantifizierung des Rissfortschritts geschaffen. Die Forscher simulierten zudem alle Versuche mit einer Finite-Elemente-basierten Berechnungsprozedur.

ProCrackPlast lässt sich nun in der Entwicklung applikationsübergreifend anwenden, überall dort, wo Verbrennungskraftmaschinen mit Turboladern oder Turbinen mit Gehäusen aus dem typischen Eisengusswerkstoff Ni-Resist D-5S zum Einsatz kommen. Die Materialkennwerte sind in der Software hinterlegt, der Anwender erfasst die Geometrie des Bauteils, ergänzt die zu erwartenden mechanischen und thermischen Lastwechsel – und erhält als Ergebnis die Vorhersage, wie sich ein Riss wahrscheinlich verhalten wird.

Industriepartner Rolls-Royce Solutions koordinierte das Projekt. Dr. Andreas Koch, Senior Manager Strukturmechanik & Thermische Analysen, zeigte sich sehr zufrieden mit der entwickelten Simulations-

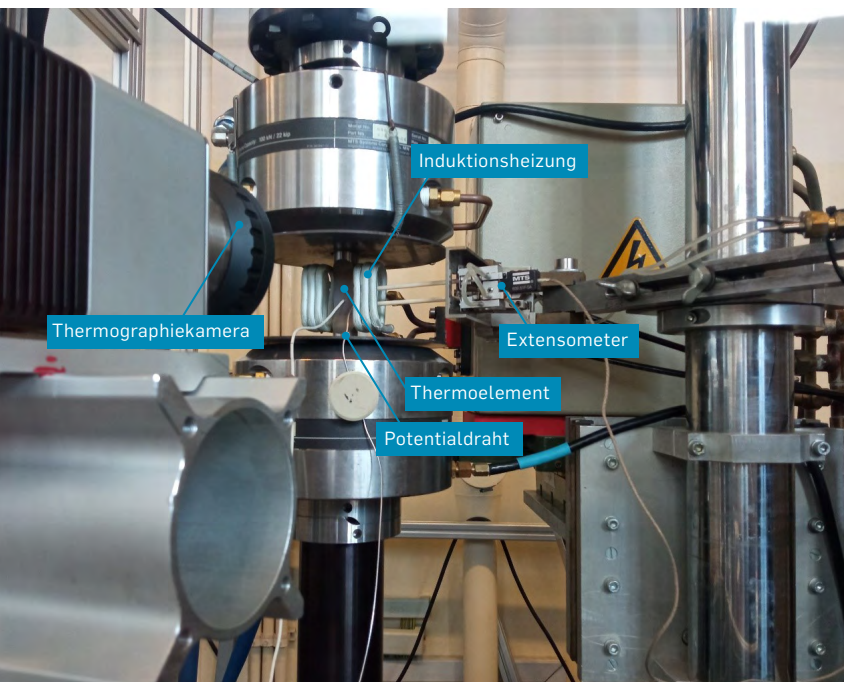


ABBILDUNG 5
BAM-Prüfstand: Alle Rissfortschrittsversuche wurden auf einer servo-hydraulischen Prüfmaschine an Luft durchgeführt

// Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

umgebung: »Für uns ist auch interessant zu wissen, in welche Richtung sich ein Riss ausbreitet, und wie er sich entwickelt, wenn ich ein paar tausend Zyklen mehr fahre als eigentlich vorgesehen.« Ingenieure können einige konstruktive Maßnahmen zur Minimierung der Rissentstehung treffen: »In der Designphase lassen sich die entsprechenden Bereiche mit geringerer thermomechanischer Beanspruchung auslegen, indem wir die Wandstärken an kritischen Stellen beanspruchungsgerecht dimensionieren«, erklärte Koch. Durch den Einsatz von ProCrackPlast sind also längere Wartungsintervalle möglich, bei tolerablen Rissen müssen teure Bauteile nicht mehr vorsorglich und zeitintensiv ausgetauscht werden.

Bei Rolls-Royce Solutions wurde die Berechnungs-Software bereits zur Auslegung eingesetzt und auf eine eigene Geometrie angewendet. Nun gilt es, Erfahrungen zu sammeln, sagte Koch. Die Forscher in Freiberg möchten künftig die Software und Methodik weiter verbessern, die Präzision der Modelle optimieren und weitere Referenzexperimente durchführen. Während im Projekt nur ein Werkstoff betrachtet wurde, sieht Professor Kiefer Bedarf, Tests mit anderen Werkstoffen durchzuführen und somit die Übertragbarkeit der Methodik zu validieren.

Die Software samt Nutzerhandbuch steht allen FVV-Mitgliedsunternehmen zur Verfügung, ebenso die identifizierten Materialparameter und Ermüdungsrisssmodelle. In einem Workshop wurde die Anwendung demonstriert und Fragen beantwortet. Die Übertragung der Ergebnisse in die Industrie gestaltet

sich unkompliziert: Fahrzeughersteller liefern die entsprechenden Spezifikationen an den Turboladerhersteller, auch Produzenten von Abgasanlagen oder Berechnungsdienstleister profitieren unmittelbar von der Software. »Bisher plant man eher konservativ, legt Bauteile mit dickeren Wandungen aus, die dann schwerer sind als nötig«, erklärte Koch. Je besser die Simulation, desto weniger konservativ lässt sich künftig bauen, das spart Gewicht, Material und Kosten.

Im Laufe des Projekts zeigten sich jedoch auch die Grenzen des Bewertungskonzepts. Problematisch ist unter anderem die Beschreibung von Kriechdehnungsakkumulation, Kriechschädigung und oxidationsinduzierter Versprödung, die vor allem bei hohen Temperaturen und langen Haltezeiten auftreten. Für diese Fälle wurden näherungsweise Ansätze vorgeschlagen, die aber noch mit entsprechenden Langzeitversuchen validiert werden müssten. »Auch den Einfluss von Wechselbeanspruchungen aus Zug, Schub und Torsion (Mixed-Mode-Beanspruchung) auf das Ermüdungsrissswachstum konnten wir nicht ausreichend untersuchen, da gibt es durchaus Potenzial für ein späteres Projekt«, sagte Kiefer. Für solche Lastfälle sind in der ProCrackPlast-Software plausible Bruchhypothesen vorgesehen, die jedoch noch spezifiziert werden müssten.



ABBILDUNG 6

Prototypische Bundbuchsen aus aluminium- bzw. magnesiuminfiltriertem Graphit // TU Dresden | ILK

Moderne Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe für effizientere Maschinen und Motoren

Leistungs- und Effizienzsteigerungen im Maschinen- und Anlagenbau führen zu höheren Werkstoffeinsatztemperaturen. Insbesondere an Gleitlagerungen und Gleitringdichtungen sind aufgrund steigender Drehzahlen oder Systemdrücke auch höhere Betriebs- und Notlaufeigenschaften zu gewährleisten. Mit zunehmender Systemtemperatur tritt allerdings in den Reibflächen erhöhter Reibverschleiß auf, der für hohe Wartungs- und Instandhaltungskosten sorgt, zudem für verschleißbedingte Ausfallzeiten.

Gängige Gleitlager-Werkstoffe wie Polyimide, Bronze oder Weißmetall kommen bei höheren Temperaturen an ihre mechanischen Grenzen: Nachteil der häufig verwendeten Polymere ist die relativ geringe Dauergebrauchstemperatur von maximal 250 Grad Celsius. Ein sicherer und zuverlässiger Betrieb von Werkzeugmaschi-

nen, Kompressoren, aber auch Verbrennungsmotoren und Flugzeugtriebwerken wird künftig nur möglich durch die Verwendung verschleiß- und hochtemperaturfester Materialien.

Im Projekt »**Methodische Entwicklung von Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen für Gleitlageranwendungen im Hochtemperaturbereich (MeGrav I)**« (FVV-Projektnummer 1330) wurden in einem Squeeze-Casting-Prozess Aluminium- oder Magnesium-Legierungen unter hohem Druck in die Poren von Graphit gepresst. Dieser metallinfiltrierte Graphit wird wegen der selbstschmierenden Eigenschaften, der Hochtemperaturstabilität sowie guter mechanischer Kennwerte als eine vielversprechende Alternative angesehen. Im Folgevorhaben »**Auslegung von Metall-Graphit-Verbunden (MeGrav II)**« evaluieren René Füßel und sein Team vom Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) der Technischen Universität Dresden nun die Einflüsse von hohen Temperaturen auf das Material,

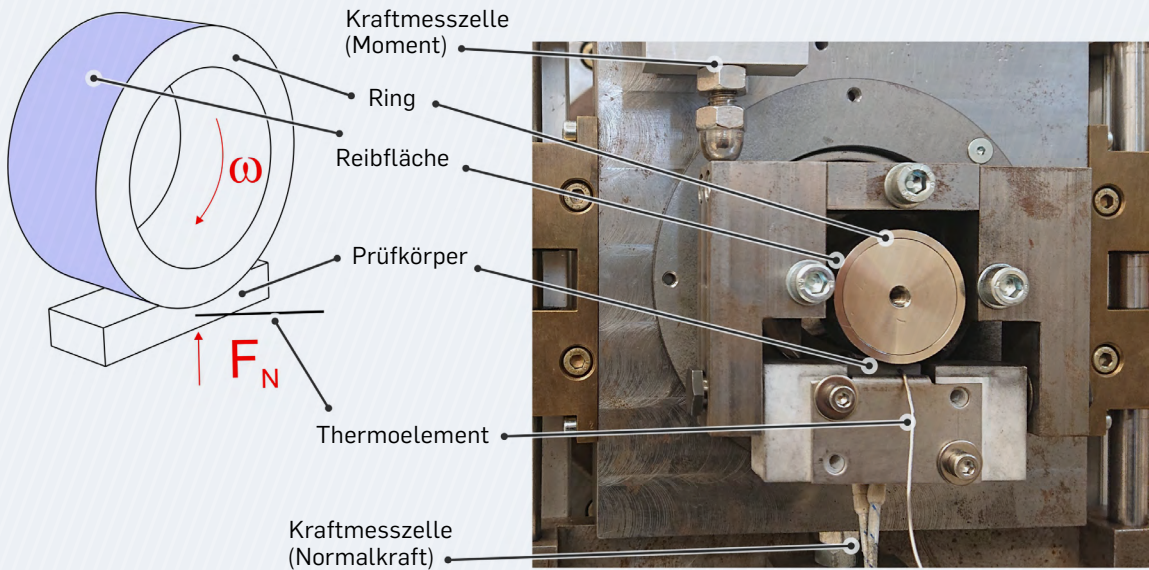


ABBILDUNG 7
Hochtemperatur-Reibprüfstand mit eingebauter
Klötzchen-Ring-Prüfvorrichtung // TU Dresden | ILK

zudem wird erstmalig eine Prozessführungs- und Auslegungsstrategie zur Entwicklung von Metall-Graphit-Produkten erstellt. Als Industriepartner steuerte Rolls-Royce Deutschland neben dem Anforderungskatalog das Probenmaterial bei [ABBILDUNG 6]. Ein typischer Anwendungsbereich der Metall-Graphit-Verbundwerkstoffe seien etwa Gleitlager in Kompressoren, sagte Dr. Susanne Schrüfer von Rolls-Royce Deutschland: »Wenn wir dort künftig eine Dauereinsatztemperatur von 300 Grad Celsius oder mehr erreichen, wäre das ein großer Fortschritt. Aber alles über 250 Grad ist ein Erfolg.«

In der Auslegungsphase sollte der Einfluss der Fertigungsparameter auf das finale Produkt untersucht werden. »Wir wollen für die Herstellungsparameter eine Variation und damit den Einfluss auf die Eigenschaften bestimmen. Damit lässt sich sagen: Wird das Material bei 670 bar infiltriert, wird es einen bestimmten Gleitreibungskoeffizienten aufweisen«, erklärte Füßel. Die verschiedenen Infiltrationsgüten sollen hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften bewertet werden, um daraus eine entsprechende Qualitätsmethodik entwickeln zu können. Dazu wurden Halbzeuge mit unterschiedlichen Parametern aus dem Rohgraphit hergestellt.

Etwa 450 Reibversuche sowie 250 mechanische Tests, unter anderem Dreipunktbiegeversuche, hat das Team um René Füßel in den vergangenen Monaten durchgeführt, bei einer Zykluszeit von etwa einem Tag pro Prüfling ein zeitraubender Prozess, trotz zweier parallel laufender Maschinen. Die Forschenden testeten von Raumtemperatur bis circa 300 Grad Celsius; bei unterschiedlichen Auslagerungszuständen auch bis zu 450 Grad Celsius [ABBILDUNG 7]. Ziel der Modellbildung ist unter anderem, anhand der Parametervariationen im Prozess die Verschleißrate vorhersagen zu können. »Bei einem niedrigen Infiltrationsdruck sollte der Gleitreibungskoeffizient niedriger sein, bei höheren Drücken entsprechend größer«, sagte Füßel. Damit seien künftig Vorhersagen zu Wartungsintervallen möglich: Wie lange können Maschinen in Betrieb sein, bevor sie gewartet werden und bevor Verschleißteile getauscht werden müssen?

Dabei zeichnet sich laut René Füßel bereits ab, dass durch den extrem robusten Fertigungsprozess keine signifikanten Unterschiede in den mechanischen oder tribologischen Eigenschaften zu erwarten sind. Selbst schwankende Fertigungsparameter hätten kaum Einfluss auf die Performance des Materials. »Für die Anwendung selbst ist das ein sehr gutes Ergebnis, weil wir immer die gleichbleibend hohe Qualität erreichen. Aber es macht die Modellierung schwieriger«, erklärte Füßel.

Anhand der gewonnenen Daten wird in den kommenden Monaten die Modellbildung vorangetrieben. Ohne dem Abschlussbericht vorgreifen zu wollen, merkte Füßel an: »Es gibt harte Einsatzgrenzen, aber innerhalb dieser Grenzen läuft das System äußerst stabil.«

Während der Versuche zeigte sich, dass zwar die Verschleißrate des magnesiuminfiltrierten Graphits geringer sei, allerdings ist Magnesium weniger wärmebeständig als Aluminium. Zudem neigt es wegen seiner Reaktivität bei sehr hohen Temperaturen von mehr als 500 Grad zur Spontanentzündung – ein Grund, warum einige Unternehmen Magnesium ungern verarbeiten wollen.

Von den Forschungsergebnissen profitieren Lagerhersteller, aber auch Maschinen- und Anlagenbauer sowie Materialzulieferer, die in einem Spritzguss- oder Druckgussverfahren die metallinfiltrierten Gleitlager und Dichtungen herstellen. Die bislang für die Produktion von Polymer- oder Graphit-Dichtungen genutzten Maschinen können weiterhin verwendet werden. Während die ersten Gleitlager und Dichtungen aus dem neuen Material laut Dr. Schröder im Maschinen- und Anlagenbau oder der Automobilindustrie relativ zeitnah zur Anwendung kommen könnten, wird die Übertragung der Ergebnisse in die Luftfahrtindustrie einige Jahre dauern: »Man muss Lieferanten finden, die die gewünschte Qualität bereitstellen, es braucht Abnahmestandards und eine geeignete Qualitätssicherungsmethodik. Je nach Anwendung kann das mindestens drei Jahre dauern.« //



Tagungsband R 604
The FVV Transfer + Networking Event | Frühjahr 2023
→ www.themis-wissen.de

NR	THEMA FÖRDERGEBER	FORSCHUNGSSTELLEN PROJEKTLEITUNG	TAGUNGSBAND ABSCHLUSSBERICHT
1318	Air-Insulation Dieselmotor: Wirkungsgradsteigerung mittels Luftisolation durch gezielte Sprayauslegung und Brennraumdesign und Brenndauerverkürzung bei Dieselmotoren FVW	Prof. Dr. Jesús Benajes (CMT, Universität Politècnica de València) Prof. Dr. Thomas Koch (IFKM, KIT Karlsruhe) Dr. Patrick Gastaldi (Aramco Fuel Research Center)	R604 (S. 348–394) H1332 (2023)
1321	Arbeitsspielaufgelöster Turbinenwirkungsgrad in Stoß- und Stauaufladung: Transienter Wirkungsgrad, Modellierung für Motorprozess-Simulationen, ein- und zweiflutige Turbinengehäuse FVW/DFG	Prof. Dr. Bernd Wiedemann (ILS, TU Berlin) Dr. Mathias Vogt (IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr)	R604 (S. 67–99) H1330 (2023)
1350	Festigkeitseinfluss Lötnahtqualität: Entwicklung von Bemessungskonzepten zur Beurteilung der Betriebsfestigkeit hartgelötete Fügeverbindungen unter Berücksichtigung prozessbedingter Lötnahtzustände BMWK/AiF	Prof. Dr. Tobias Melz (Fraunhofer LBF) Prof. Dr. Kirsten Bobzin (IOT, RWTH Aachen) Prof. Dr. Wolfgang Tillmann (LWT, TU Dortmund) Prof. Dr. Matthias Türpe (MAHLE International GmbH)	R604 (S. 37–66) H1309 (2022)
1351	TMF-Rissverlaufsrechnung für ATL-Heißeile: Numerische Simulation und Bewertung des örtlichen und zeitlichen Rissverlaufs in Abgas-turbolader-Heißeilen unter thermomechanischer Ermüdungsbeanspruchung (TMF) mit Hilfe von Finite-Elemente Techniken BMWK/AiF	Prof. Dr. Ulrich Panne (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin) Prof. Björn Kiefer (IMFD, TU Bergakademie Freiberg) Dr. Andreas Koch (Rolls-Royce Solutions GmbH)	R604 (S. 579–613) H1320 (2023)
1354	Industrie-Radialverdichter mit breitem Kennfeld: Experimentelle Untersuchung der Strömungsinstabilitäten im Teillastbereich eines durch Eintrittsdrall geregelten Industrie-Radialverdichters mit hoher Kennfeldbreite BMWK/AiF	Prof. Dr. Peter Jeschke (IST, RWTH Aachen) Dr. Matthias Schleer (Howden Turbo GmbH)	R604 (S. 428–454) H1310 (2022)
1371	Robuste Bruchverformungskennwerte: Robuste Bruchkennwert-Ermittlung zur Verwendung der Kriechduktilität innerhalb fortschrittlicher Lebensdauerbewertungskonzepte AVIF/FVV	Prof. Dr. Matthias Oechsner (IfW, TU Darmstadt) Prof. Dr. Arjan Kuijper (GRIS, TU Darmstadt) Prof. Dr. Stefan Weihe (Materialprüfungsanstalt (MPA), Universität Stuttgart) Dr. Torsten-Ulf Kern (Siemens Energy Global GmbH & Co. KG)	R604 (S. 677–710) H1342 (2023)
1374	Kraftstoffeinfluss auf Partikeleigenschaften: Einfluss von Schmier- und Kraftstoffen auf das Partikel-Rohemissionsverhalten von Ottomotoren BMWK/AiF	Prof. Dr. Thomas Koch (IFKM, KIT Karlsruhe) Dr. Wolfgang Samenfink (Robert Bosch GmbH)	R604 (S. 241–277) H1325 (2023)
1379	Tribomaps reibwerterhöhende Laserstrukturen: Entwicklung von Tribomaps für reibwerterhöhende Laserstrukturen BMWK/AiF/FVV	Prof. Dr. Alexander Hasse (IKAT, TU Chemnitz) Prof. Dr. Udo Löschner (LHM, Hochschule Mittweida) Dr. Anton Stich (AUDI AG)	R604 (S. 6–36) H1329 (2023)
1383	Akustik in Druckleitungen II: Entwicklung und Validierung eines Messverfahrens zur Bestimmung der von einem Radialkompressor in die Druckleitung abgestrahlten Schalleistung FVV/DFG	Prof. Dr. Lars Enghardt (ISTA, TU Berlin) Prof. Dr. Peter Jeschke (IST, RWTH Aachen) Vera Kress (MAN Energy Solutions SE) Dr. Irhad Buljina (MAN Energy Solutions SE)	R604 (S. 395–427) H1335 (2023)

NR	THEMA FÖRDERGEBER	FORSCHUNGSSTELLEN PROJEKTLÉITUNG	TAGUNGSBAND ABSCHLUSSBERICHT
1386	<p>› Turbohochtemperaturstahl: Steigerung der Getriebeleistungsdichte durch hochtemperaturbeanspruchbare Werkstoffsysteme für Zahnräder und Wälzlager</p> <p>› BMWK/AiF</p>	<p>› Prof. Dr. Christian Brecher (WZL, RWTH Aachen)</p> <p>› Prof. Dr. Rainer Fechte-Heinen (IWT, Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien Bremen)</p> <p>› Dr. Markus Dinkel (Schaeffler Technologies AG & Co. KG)</p>	<p>› R604 (S. 614–644)</p>
1392	<p>› Werkstoffanwendung FeAl (WAFEAL): Werkstoffanwendungen für Eisenaluminide (FeAl), (WAFEAL)</p> <p>› BMWK/AiF</p>	<p>› Dr. André Schievenbusch (Access e.V. (ACC), Aachen)</p> <p>› Prof. Dr. Ulrich Panne (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin)</p> <p>› Susanne Mosler, Dr. Dan Roth-Fagaraseanu (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)</p>	<p>› R604 (S. 645–676)</p> <p>› H1322 (2023)</p>
1397	<p>› Vorhersage von Gasturbinen-Emissionen: DNS-gestützte Entwicklung von prädiktiven LES-Modellen für Schadstoffemissionen in Gasturbinen</p> <p>› DFG/FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Heinz Pitsch (itv, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Ruud Eggels (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)</p>	<p>› R604 (S. 455–489)</p> <p>› H1337 (2023)</p>
1400	<p>› AdBlue verursachte Ablagerungen II: Untersuchung und Modellierung der Ablagerungsbildung während der Abgasnachbehandlung durch die Einspritzung von AdBlue vor den SCR-Katalysator</p> <p>› BMWK/AiF-CORNET, BMK/FFG, FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Olaf Deutschmann (ITCP, KIT Karlsruhe)</p> <p>› Prof. Dr. Bernhard Geringer (IFA, TU Wien)</p> <p>› Raimund Vedder (ehemals Atlanting GmbH)</p>	<p>› R604 (S. 210–240)</p> <p>› R1324 (2023)</p>
1403	<p>› eSpray: Einspritzung, Mischung und Selbstzündung von E-Kraftstoffen für CI-Motoren</p> <p>› BMWK/AiF-CORNET, BMK/FFG, FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Michael Wensing (FST, FAU Erlangen-Nürnberg)</p> <p>› Prof. Dr. Christof Schulz (EMPI, Universität Duisburg-Essen)</p> <p>› Prof. Dr. Bernhard Geringer (IFA, TU Wien)</p> <p>› Dr. Paul Miles (CRF, Sandia National Laboratories, Livermore, California)</p> <p>› Prof. Dr. Dong Han (IAEPT, Shanghai Jiao Tong University)</p> <p>› Dr. Uwe Leuteritz (Liebherr Components Deggendorf GmbH)</p>	<p>› R604 (S. 312–347)</p> <p>› H1333 (2023)</p>
1411	<p>› Brennstoffzellen-Kaltstart: PEM-FC-Kaltstartsimulation</p> <p>› FVV</p>	<p>› Dr. Peter Beckhaus (ZBT Duisburg)</p> <p>› Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Stefan Kaimer (Ford-Werke GmbH)</p>	<p>› R604 (S. 278–311)</p> <p>› H1336 (2023)</p>
1412	<p>› Zero-Impact-Endrohremission-Antriebsstränge: Identifizierung technischer Lösungen zur Erzielung von Antriebssträngen mit Zero-Impact Tailpipe-Emissionen unter Berücksichtigung eines gesetzlichen Fahrzeug- und Luftschadstoffszenarios 2030+</p> <p>› FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen)</p> <p>› Dr. Frank Bunar (IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr)</p>	<p>› R604 (S. 185–209)</p> <p>› H1334 (2023)</p>
1422	<p>› Erweiterung Betriebsbereich YSZ: Erweiterung des Temperatur-Einsatzbereiches von zirkonoxidbasierten-Wärmedämmschichten durch alternative Beschichtungsverfahren und modifizierter chemischer Zusammensetzung</p> <p>› DFG/FVV</p>	<p>› Prof. Dr. Robert Vaßen (IEK-1, Forschungszentrum Jülich GmbH)</p> <p>› PD Dr. Mathias Galetz (DECHEMA-Forschungsinstitut Frankfurt)</p> <p>› Prof. Dr. Matthias Oechsner (IfW, TU Darmstadt)</p> <p>› Dr. Arturo Flores Renteria (Siemens Energy Global GmbH & Co. KG)</p>	<p>› R604 (S. 729–758)</p>

NR	› THEMA › FÖRDERGEBER	› FORSCHUNGSSTELLEN › PROJEKTLEITUNG	› TAGUNGSBAND › ABSCHLUSSBERICHT
1423	› Kombinierte Dynamische Analysen – Analytik: Nichtlineare Schaufelschwingungsanalyse bei kombinierter Verstimmung der Geometrie und der Anregung für stationären und transienten Betrieb › BMWK/AiF	› Prof. Dr. Jörg Wallaschek (IDS, Leibniz Universität Hannover) › Dr. Andreas Hartung (MTU Aero Engines)	› R604 (S. 546–579)
1428	› Modular Hybrid-Powertrain: Modulare objektorientierte Architekturen für skalierbare Hybridantriebsstränge › FVV	› Prof. Dr. Christian Beidl (vkm, Technische Universität Darmstadt) › Dr. Veit Held (ehemals Stellantis Opel Automobile GmbH)	› R604 (S. 140–143)
1433	› HyFlex ICE: Hochflexible Verbrennungsmotoren für Hybridfahrzeuge › FVV	› Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen) › Marc Sens (IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr)	› R604 (S. 144–184) › H1338 (2023)
1434	› ICE2030: Grenzen der ottomotorischen Wirkungsgradsteigerung in hybridisierten Antriebssträngen › FVV	› Prof. Dr. Christian Beidl (vkm, TU Darmstadt) › Prof. Dr. André Casal Kulzer, Prof. Dr. Michael Bargende (IFS, Universität Stuttgart) › Prof. Dr. Peter Eilts (ivb, TU Braunschweig) › Prof. Dr. Stefan Pischinger (tme, RWTH Aachen) › Arndt Döhler (Stellantis Opel Automobile GmbH)	› R604 (S. 100–139)
1440	› Constraint-Effekt beim Komponenten-Design: Berücksichtigung von Constraint bei der fehlertoleranten Auslegung von Bauteilen gegen duktilen Versagen › BMWK/AiF	› Prof. Dr. Peter Gumbsch (Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM Freiburg) › Prof. Björn Kiefer (IMFD, TU Bergakademie Freiberg) › Dr. Christian Amann (Siemens Energy Global GmbH & Co. KG)	› R604 (S. 711–728)
1444	› Auslegung von Metall-Graphit-Verbunden: Modellbildung für die Auslegung von Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen unter Berücksichtigung anwendungsnahe Einsatzbedingungen (MeGraV II) › BMWK/AiF	› Prof. Dr. Niels Modler (ILK, TU Dresden) › Prof. Dr. Matthias Busse (Fraunhofer IFAM Bremen) › Dr. Susanne Schrüfer (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)	› R604 (S. 558–578)
1451	› Aeroelastische Kaskade DELTA II: Experimentelle und numerische Untersuchung zum Einfluss von aerodynamischer Belastung und Staffelung auf die aeroelastische Stabilität kombinierter Biege-Torsions-Eigenformen von Verdichterschaufeln › BMWK/AiF-CORNET	› Prof. Dr. Dieter Peitsch (ILR, TU Berlin) › Prof. David Nowell (VUTC, Imperial College London) › Dr. Sabine Schneider (Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG)	› R604 (S. 490–523)

Alle Angaben sind ohne Gewähr, Änderungen vorbehalten.
Vervielfältigung und Onlinestellung der Publikation – ganz oder in Teilen – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet. Alle Rechte vorbehalten.

Die Publikation ›The FVV Transfer + Networking Event | Frühjahr 2023‹ ist online abrufbar:

→ www.fvv-net.de | [Transfer](#) | [Projekte](#) | [Transferberichte](#)



Science for a
moving society

HERAUSGEBER

FVV e.V.
Lyoner Straße 18
60528 Frankfurt am Main
www.fvv-net.de

AUSGABE

02 | 2023

AUTOREN

Richard Backhaus, Wiesbaden
Mathias Heerwagen, Leipzig

REDAKTION

Petra Tutsch und
Martin Nitsche, FVV

GRAFISCHE KONZEPTION
UND UMSETZUNG

Lindner & Steffen GmbH, Nastätten

Transfer// Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) ermöglicht Unternehmen, gemeinsame Forschungs- und Technologieprobleme wissenschaftlich fundiert zu lösen. Sie bietet Zugang zu einem kontinuierlichen Strom von neuem Wissen, das für die Entwicklung eigener Produkte, Verfahren und Dienstleistungen genutzt werden kann. Industrielle Forschung und Entwicklung profitiert vom erkenntnis-/ praxisorientierten Austausch mit der Wissenschaft – Hochschulen und gemeinnützigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen – zu technologiebezogenen Zukunftsfragen. So entsteht Innovationskraft in den Unternehmen und Exzellenz in Forschung und Lehre.

Networking // Die von der FVV implementierte Forschung ist auf eine dauerhafte Zusammenarbeit der Partner angelegt. Im Frühjahr und Herbst informieren sich auf den Transfer + Networking Events rund 300 Experten über das Forschungsprogramm der FVV. Der Bericht aus der Wissenschaftsreihe **FVV PrimeMovers. Technologies.** fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen.

FVV e.V.

Lyoner Straße 18 | 60528 Frankfurt am Main
+49 69 6603 1345 | info@fvv-net.de

www.fvv-net.de