

**Institut für  
Werkstoff-Forschung**



# Institut für Werkstoff-Forschung



Werkstofftechnik – Wegbereiter für komplexe Bauteilanwendungen

**Der Forschungsschwerpunkt des Instituts für Werkstoff-Forschung liegt in der Entwicklung neuer Werkstofflösungen und ihrer Prozesstechniken für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, im Energiebereich und im Automobilsektor.**

In Kooperation mit anderen DLR-Instituten sowie nationalen und internationalen Partnern arbeitet das Institut für Werkstoff-Forschung an grundlagenorientierten Themen und im Bereich angewandter Forschung.

Das Forschungsportfolio erstreckt sich entlang der Bereiche metallischer Strukturen, hybrider Werkstoffsysteme und Intermetallics, keramischer Strukturwerkstoffe, thermoelektrischer Materialien und Systeme sowie Hochtemperatur- und Funktionsschichten. Die Entwicklung von numerischen Methoden zur Simulation des Material- und Bauteilverhaltens komplettiert diese Kompetenzen mit dem Ziel, den Transfer von Materialien in industrielle Applikationen zu unterstützen.

Neben der wissenschaftlichen Forschungsarbeit beteiligt sich das Institut an der Ausbildung und Weiterbildung von Jungwissenschaftlern an renommierten deutschen Universitäten mit Professuren und Lehraufträgen.



Numerisches Modell der Matrix des keramischen Faserverbundwerkstoffs WHIPOX®



Neue Schichtsysteme werden komplexen Herstellungs- und Prüfverfahren unterzogen



Komponente aus dem oxidkeramischen Faserverbundwerkstoff WHIPOX®



Die Reduktion der Herstellungskosten und des Gewichts ist auch bei metallischen Strukturen durch neue Werkstoffe und innovative Herstellungsverfahren möglich

## Hochtemperatur- und Funktions-schichten

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf zentrale Triebwerkskomponenten wie Verdichter- und Turbinenschaufeln oder Brennkammer, die ein erhebliches Potenzial für die zukünftige Generation von Triebwerken besitzen.

Bei der Weiterentwicklung von Wärmedämmschichten liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Verminderung der Wärmeleitfähigkeit, der Erhöhung der Einsatztemperatur und dem Verständnis der Schädigungsmechanismen sowie daraus resultierender Arbeiten zur Verlängerung der Lebensdauer.

Um das Potenzial moderner Titanlegierungen und Titanaluminide in Verdichter und Niederdruckturbine vollständig nutzen zu können, wird die Weiterentwicklung wirkungsvoller Oxidationsschutz- und Wärmedämmschichten verfolgt.

Funktionsschichten für Gassensorik und Katalyse werden zur Überwachung von Abgaskatalysatoren, Effizienzerhöhung von Hochtemperatursensoren und Reformerkatalysatoren zur Syngas- und H<sub>2</sub>-Produktion eingesetzt. Hierzu werden nicht nur Einzelkomponenten entwickelt; durch den integrierten und intelligenten Aufbau von Dünnschichten werden multifunktionelle und hocheffiziente Systeme erarbeitet.

## Keramische Strukturwerkstoffe

Für zukünftige, effizientere und umweltfreundlichere Turbinentechnologien in der Luftfahrt und Energiegewinnung werden Materialien benötigt, welche die gute Hochtemperaturstabilität keramischer Werkstoffe besitzen und gleichzeitig ein nicht sprödes Versagensverhalten ähnlich dem metallischer Werkstoffe aufweisen. Vergleichbare Anforderungen werden auch an Materialien für wiederverwendbare und kostengünstige Thermalschutzsysteme für den Wiedereintritt von Raumtransportsystemen benötigt.

Der im Institut entwickelte oxidkeramische Faserverbundwerkstoff WHIPOX® (Wound highly porous oxide) erfüllt diese Anforderungen in idealer Weise und kann in einem einfachen und kostengünstigen Herstellungsprozess gefertigt werden.

Durch funktionelle Beschichtungen können die Eigenschaften der oxidkeramischen Faserverbundwerkstoffe den Anforderungen weiter angepasst und das Anwendungspotenzial der Strukturwerkstoffe deutlich erweitert werden.

## Metallische Werkstoffe und Strukturen

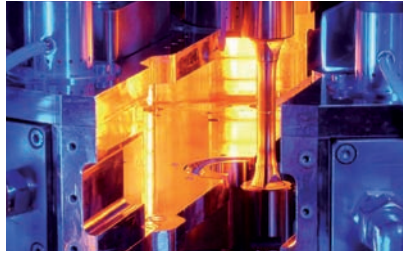
Im Forschungsfeld metallischer Werkstoffe und Strukturen werden neue Werkstoffe und innovative Herstellungsverfahren untersucht, mit dem Ziel die Herstellungskosten und das Gewicht von Flugzeugprimärstrukturen weiter zu verringern. Im Forschungsfeld werden neue und wirtschaftlichere Methoden zur Bestimmung der versagensrelevanten Kenngrößen entwickelt und angewendet. Das Spektrum reicht dabei von der mikroanalytischen Charakterisierung lokaler Schädigungsmechanismen bis zur Bewertung des Lebensdauerverhaltens eines Bauteils.

Die experimentellen Kompetenzen werden komplettiert durch numerische Simulationen, mit denen das Verhalten von Strukturen im Versuch modelliert und somit die Brücke zur realen Flugzeugstruktur geschlagen werden kann. Dabei werden auch stochastische Methoden entwickelt und angewendet.

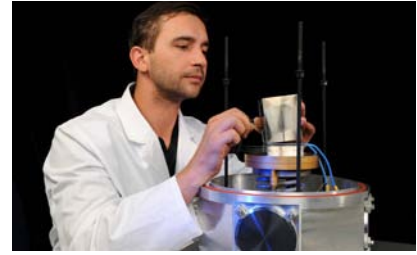
Zur Herstellung kostengünstiger, integraler Strukturen wird das Reibrührschweißen untersucht. Dabei wird der Zusammenhang zwischen den Schweißparametern, der Mikrostruktur in der Schweißnaht und den Festigkeits- und Korrosionseigenschaften untersucht. Außerdem werden Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von reibrührgeschweißten Verbindungen entwickelt und angewendet.



Demonstration unterschiedlicher Schaufelbauweisen in Hybrid- und MMC-Technologie



Thermomechanische Prüfanlage für Hochtemperaturwerkstoffe



Messsäule eines Teststands für thermoelektrische Module

## Hybride Werkstoffsysteme und Intermetallics

Jeder Werkstoff hat seine spezifischen Eigenschaften und Vorteile. Aufgrund zunehmender Komplexität und vielfältiger Anforderungen an Konstruktionen ist die Wahl eines Werkstoffs oft mit Einbußen bei bestimmten Einsatzbedingungen verbunden. Um diesem Dilemma zu entgehen, bietet sich die intelligente Kombination verschiedener Werkstoffe zu einem hybriden Werkstoffsystem an, bei der die jeweiligen Vorteile der Einzelwerkstoffe zum Tragen kommen.

Derartige hybride Werkstoffsysteme sind zum Beispiel faserverstärkte Metalle (MMC) oder Faser-Metall-Lamine. Die Fasern übernehmen hier die Aufgabe der Festigkeits- und Steifigkeitserhöhung und der Reduktion der Rissausbreitung. Die Metalle erhöhen die Zähigkeit und den Zusammenhalt bei Versagen der Fasern. Titanaluminide, intermetallische Legierungen mit den Hauptlegierungselementen Titan und Aluminium, zählen zu den vielversprechenden Werkstoffsystemen für künftige Anwendungen im Hochtemperatur- und Strukturbereich. Das Institut für Werkstoff-Forschung arbeitet zusammen mit namhaften deutschen Flugzeugtriebwerks-Herstellern an der Optimierung und dem Verständnis dieser Werkstoffe.

## Experimentelle und numerische Methoden

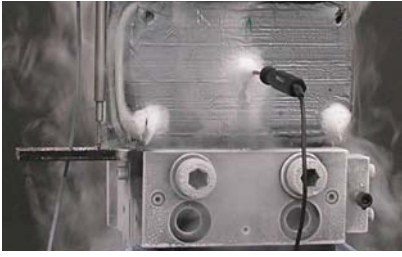
Die Forschungsaktivitäten zielen darauf, Hochleistungswerkstoffe für Luft- und Raumfahrt-Anwendungen berechenbarer zu machen. Dazu werden experimentelle und numerische Methoden kombiniert und für spezielle Fragestellungen neu entwickelt. Dabei wird typischerweise wie folgt vorgegangen:

Die Charakteristika der Werkstoffe werden auf Gefügeebene vom Nano- bis zum Zentimeterbereich mittels mikroskopischer und mikromechanischer Methoden dargestellt. Mit diesen experimentell gewonnenen Daten werden numerische Modelle erstellt. Unter Verwendung dieser Modelle wird das Verhalten von Laborproben oder auch einfachen Bauteilen unter betriebsrelevanten Lasten simuliert; die Rechnungen werden durch begleitende Labortests validiert. Für die Untersuchung des Werkstoffverhaltens unter komplexen Beanspruchungen werden auch aufwändige Versuchseinrichtungen aufgebaut, wie z. B. eine Anlage, mit der sich die thermischen und mechanischen Ermüdungslasten innen gekühlter Flugzeugturbinenschaufeln auf Laborproben aufbringen lassen.

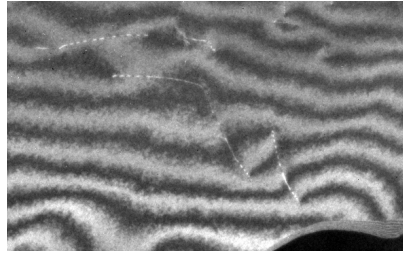
## Thermoelektrische Materialien und Systeme

Thermogeneratoren sind seit Langem aus der Raumfahrt als äußerst langlebige und zuverlässige elektrische Stromquellen zur Versorgung sonnenferner Raumsonden und planetarer Landemissionen bekannt. Die Abteilung „Thermoelektrische Materialien und Systeme“ entwickelt Werkstoffe und Technologien für die thermoelektrische Energiewandlung zum Einsatz über weite Temperaturbereiche. Terrestrische Anwendungsbereiche sind die Sekundärenergienutzung im Fahrzeug durch Wandlung der Abgaswärme in Elektrizität, autarke Heizungsanlagen und Kleinstromversorgungen. Das Methodenspektrum der Abteilung umfasst die Materialherstellung, Kontaktierungs- und Verbindungsverfahren, die Material- und Systemcharakterisierung sowie numerische Simulation und modellbasierte Systemdimensionierung.

Einen Schwerpunkt der Materialentwicklung bilden pulvertechnische Verfahren mit Aufskalierbarkeit zu industrietauglichen Fertigungsprozessen. Die langjährige Tradition zur Methodenentwicklung der thermoelektrischen Funktionscharakterisierung widmet sich vor allem den Materialeigenschaften bei mittleren und höheren Temperaturen sowie der Präzisionsmessung an Thermogenerator-Modulen und zielt auf die Vorbereitung und Einführung von Verfahrens- und Materialstandards ab.



Tiefemperaturtest bei -196 Grad Celsius



Transmissionselektronenmikroskopische Dunkelfeldabbildung von Versetzungen in  $\gamma$ -TiAl

## Werkstoffmechanische Prüfung

Die Gruppe „Werkstoffmechanische Prüfung“ bietet die Charakterisierung von Werkstoffen als wissenschaftlich-technische Leistung für alle Abteilungen des Instituts und für externe Auftraggeber an. Es werden mechanische Werkstoffuntersuchungen unter ein- und mehrachsigen Belastungen durchgeführt. Messungen sind an der Luft, im Vakuum und in korrosiver Umgebung sowie im Temperaturbereich von -196 bis +1.400 Grad Celsius möglich. Mess- und Prüfapparaturen für komplexe Prüfaufgaben werden von der Gruppe entwickelt und aufgebaut. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt bei betriebsnahen Ermüdungs- und Bruchmechanikversuchen an unterschiedlichen Werkstoffen.

Untersucht wird unter anderem das Rissausbreitungsverhalten mit Bestimmung der Rissinitiierung, Ermittlung des Schwellenwertes der Rissausbreitung  $\Delta K_{th}$ , Aufnahme von  $da/dN$  -  $\Delta K$ -Kurven, Bestimmung von Risswiderstandskurven sowie des kritischen Spannungsintensitätsfaktors.

Die Versuchsauswertung umfasst die mechanischen Ergebnisse und die Schädigungsanalysen, wie z. B. fraktografische Untersuchungen.

## Mikroanalytik und Metallografie

Die makroskopischen Eigenschaften von Werkstoffen werden von deren mikrostrukturellem Aufbau bestimmt. Ausgehend vom Gefüge eines Werkstoffs umfasst dieser zudem Ausscheidungen, Grenzflächen, Baufehler und auch den atomaren Aufbau der verwendeten Materialien wie auch deren Orientierung zum makroskopischen Werkstück. Präparation, Dokumentation sowie Analyse der Mikrostruktur sind daher Voraussetzung für eine zielgerichtete Werkstoffforschung.

Die bei der Untersuchung gewonnenen Ergebnisse erlauben es, die Prozesse und Mechanismen zu verstehen, welche für Eigenschaften, Herstellung und Schädigungen der bearbeiteten Werkstoffe relevant sind.

Mikrostrukturelle Fragestellungen werden im Institut mittels Lichtmikroskopie und Raster- sowie Transmissions- Elektronenmikroskopie bearbeitet. Zur Phasenanalytik und für Texturmessungen verfügt das Institut über ein Pulver- und ein Texturdiffraktometer. Die wesentliche Voraussetzung für mikroskopische Untersuchungen ist eine effektive und artefaktfreie Probenpräparation. Die Basis hierfür ist durch das Metallografielabor des Instituts gegeben.

Kristallorientierung:  
Farbliche Darstellung der Euler-Winkel

## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 13 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem, Forschung für den Erhalt der Umwelt und umweltverträgliche Technologien, zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung zu innovativen Anwendungen und Produkten von morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandorts Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.



DLR

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

**Institut für Werkstoff-Forschung**  
Linder Höhe  
51147 Köln

**Prof. Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter**  
Telefon: 0 2203 601-3570  
Telefax: 0 2203 68936

[www.DLR.de/wf](http://www.DLR.de/wf)