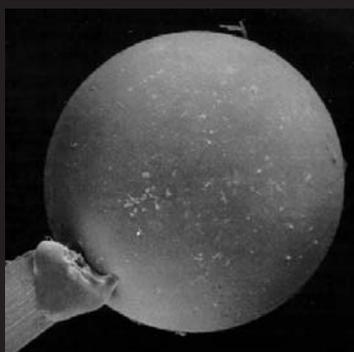
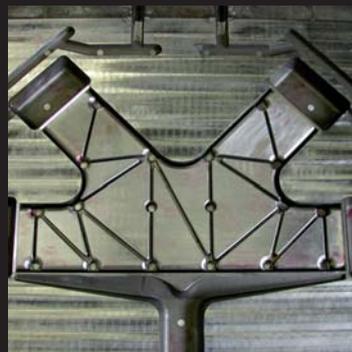
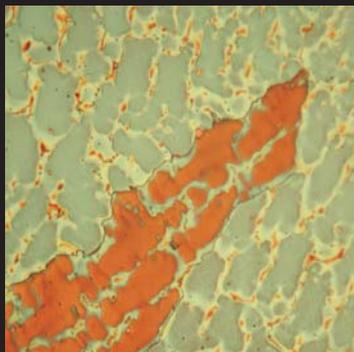
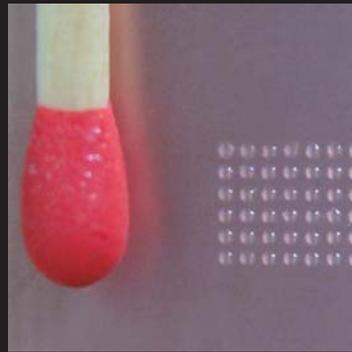
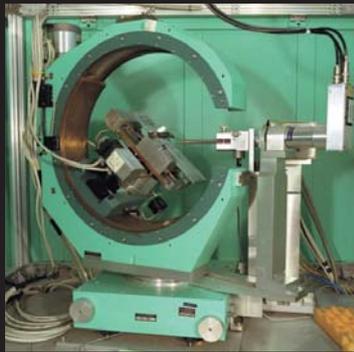
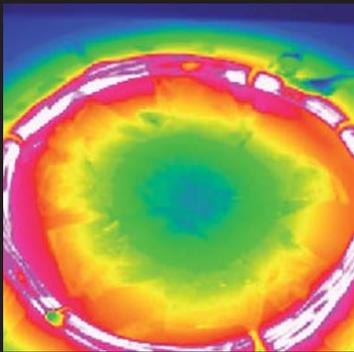
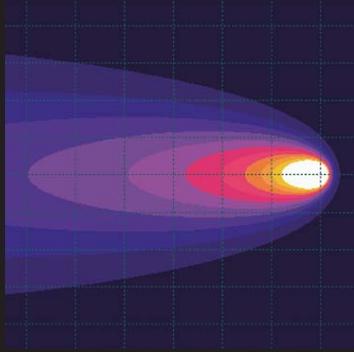


# INSTITUT FÜR FÜGE- UND SCHWEISSTECHNIK

*ifs*

TU BRAUNSCHWEIG



**NEU** Kompetenzbereich  
Faserverbundtechnologie



Geschäftsführender Leiter  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

## Das Institut für Füge- und Schweißtechnik

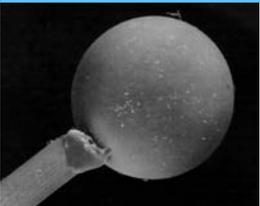
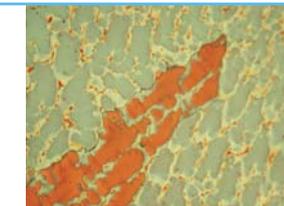
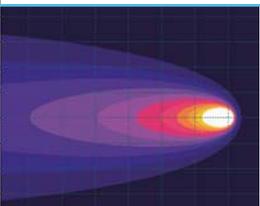
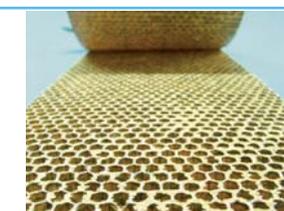
Fügeverfahren werden bei Konstruktionen und Bauteilen aller Größenordnungen, vom Schiffsrumpf bis zum Mikrochip, benötigt. Fügetechnische Fragestellungen sind daher für praktisch alle Bereiche des Maschinen- und Anlagenbaus, insbesondere auch im Kraftwerks-, Fahrzeug- und Schiffbau sowie in der Luft- und Raumfahrttechnik und in der Verfahrens- und Elektrotechnik von Bedeutung. Neben dem Maschinen- und Fahrzeugbau werden in interdisziplinären Kooperationen im Bauwesen, der Medizin und der Zahnmedizin fügetechnische Problemstellungen, wie z. B. die Lebensdauererlängerung von Ingenieurbauwerken oder die Befestigung von Prothesen im menschlichen Körper bearbeitet.

Das Institut für Füge- und Schweißtechnik behandelt solche Fragestellungen in der ganzen Breite des Fachgebiets in Forschung und Lehre. Damit steht das *ifs* nicht nur für das Verbinden von Bauteilen sondern auch für das Zusammenwachsen von Menschen und Fachrichtungen.

Die Herstellung innovativer Produkte mit neuen Werkstoffen wird erst durch die richtige Fügetechnik möglich. Hierzu müssen die Tätigkeitsfelder Aus- und Weiterbildung, Qualitätssicherung sowie Forschung und Entwicklung in Werkstoff- und Fertigungstechnik interdisziplinär vereint werden. Dies ermöglicht in einer traditionell gewachsenen Beziehung die Innovation fügetechnischer Prozesse in gleicher Weise, wie den Wissenstransfer über Köpfe und den intensiven Kundenkontakt auf der Basis eines breiten Dienstleistungsangebotes.

Die Mitarbeiter, Doktoranden und Studenten des Instituts sind hierzu in den neun nachfolgend vorgestellten Arbeitsgruppen sowie in der Institutswerkstatt tätig.

Klaus Dilger

<p><b>KLEBEN UND MECHANISCHES FÜGEN</b> Dipl.-Ing. Michael Frauenhofer</p>			<p>4</p>
<p><b>SCHWEISSTECHNIK</b> Dr.-Ing. Thomas Nitschke-Pagel</p>			<p>6</p>
<p><b>STRAHLTECHNIK</b> Dr.-Ing. Helge Pries</p>			<p>8</p>
<p><b>MIKROFÜGEN</b> Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger</p>			<p>10</p>
<p><b>FESTIGKEIT UND BAUTEILVERHALTEN</b> Dr.-Ing. Thomas Nitschke-Pagel</p>			<p>12</p>
<p><b>WERKSTOFFE UND ANALYTIK</b> Dr.-Ing. Helge Pries</p>			<p>14</p>
<p><b>SIMULATION UND BERECHNUNG</b> Dipl.-Ing. Martin Vogt</p>			<p>16</p>
<p><b>LEICHTMETALL-DRUCKGUSS</b> Dr.-Ing. Helge Pries</p>			<p>18</p>
<p><b>FASERVERBUNDTECHNOLOGIE</b> Dipl.-Ing. Michael Frauenhofer</p>			<p>20</p>

Das Kleben – insbesondere das Struktur- bzw. Semi-Strukturkleben – das mechanische Fügen und das Hybridfügen – die Kombination aus beiden Fügetechnologien – haben in den letzten Jahren einen großen Nachfrage- und Entwicklungsschub erfahren. Ausgelöst wurde dieser Schub unter anderem vom erhöhten Interesse der Automobilindustrie durch deren Zwang zum Leichtbau und die damit verbundene Notwendigkeit, unterschiedliche Werkstoffe in einem so genannten Materialmix miteinander zu fügen. Das Interesse aus der Automobil- bzw. Fahrzeugindustrie, die als Schlüsselindustrie in Deutschland betrachtet werden kann, löste eine weite Nachfrage in anderen Industriezweigen aus, was dazu führte, dass die Akzeptanz zum Einsatz struktureller Klebungen und mechanischer Fügetechnik in technisch orientierten Industrieunternehmen spürbar zunahm.

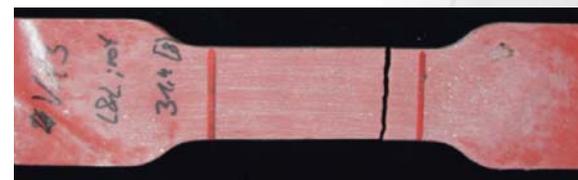
Klebungen bieten eine Vielzahl von Vorteilen, wie z.B. eine gleichmäßige Spannungsverteilung und Kraftübertragung. Sie verbinden ganz unterschiedliche Werkstoffe miteinander und beeinflussen dabei die Fügepartner nicht. Neben strukturellen Anwendungen können Klebstoffe auch als Dicht- und Isolationsmaterial eingesetzt werden. Der Einsatz der Klebtechnik bringt jedoch auch einige Besonderheiten mit sich: Eine grundsätzliche Herausforderung bei der Herstellung von Klebungen ist der Umgang mit einem viskosen Medium. Es werden spezielle Anlagen benötigt, die einen gewissen Kostenaufwand darstellen und Anlauf- und Wartungsprobleme mit sich bringen können. Eine weitere verarbeitungstechnische Besonderheit ist die im Vergleich zum Nieten oder Schweißen relativ lange Zeit, bis eine Klebung die notwendige Anfangsfestigkeit erreicht und somit ohne zusätzliche Fixierung handhabbar wird.

Beim Hybridfügen übernehmen die mechanischen Fügeverfahren die Fixierung der Fügepartner bis zur Klebstoffaushärtung. Die mechanischen Fügeverfahren – hauptsächlich mit punktförmiger, aber auch linienförmiger Fügegeometrie – haben sich in den letzten Jahren durch eine ständige Weiterentwicklung und ein hohes Anwendungspotential ausgezeichnet. Heute können mit mechanischen Fügeverfahren sogar nicht oder nur schwer umformbare Werkstoffe, wie z.B. Metallschäume sicher verbunden werden. Sie werden als Alternative zum Widerstandspunktschweißen immer häufiger eingesetzt.

Das ifs unterstützt Firmen bei fügetechnischen Fragestellungen im Bereich Kleben, mechanisches Fügen und Hybridfügen durch ein weites Spektrum an Kompetenzen und Leistungen. Das Team verfügt über eine langjährige Erfahrung, ist gut ausgebildet, die Ausstattung ist umfassend und aktuell.

#### Forschungsschwerpunkte und Kompetenzbereiche

- Kleben, mechanisches Fügen und Hybridfügen in Fahrzeugen und im Leichtbau
- Kleben von (technischen) Textilien
- Kleben und mechanisches Fügen im Glas- und Fassadenbau sowie dem Stahlbau
- Kleben in der (Zahn-) Medizin und der chemischen und biologischen Verfahrenstechnik
- Anwendungsnahe Prüfverfahren und zerstörungsfreie Prüfmethoden
- Automatisierung und Fertigungsintegration
- Vorgelierung und Schnellhärtung
- Oberflächenvorbehandlung
- Auftrags- und Dosiertechniken
- Alterungsuntersuchungen
- Einsatz von Polymerschäumen im Automobilbau, Schienenfahrzeugbau und im Bauwesen
- Haftklebstoffe, Formulierung und Charakterisierung
- Computergestützte Methoden, Klebstoffauswahl, Berechnung und Auslegung von Klebverbindungen

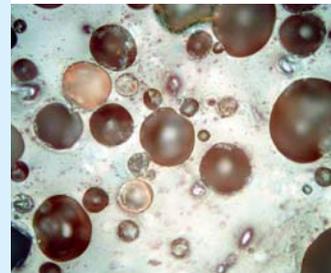
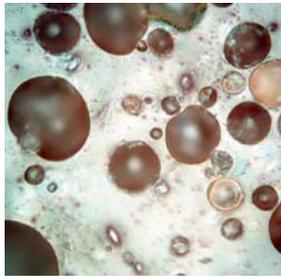


Bulk-Schulterprobe zur Ermittlung von Klebstoff-Kennwerten

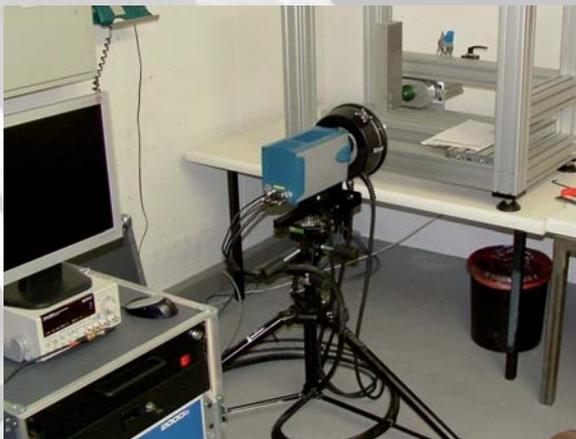


Tiefgezogene Struktur mit regelloser Markierung für Stereogrammetriemessungen

Vergrößerung eines Schnittes durch einen Polymerschäum



Clinchanlage – Werkfoto der Eckold GmbH & Co.KG



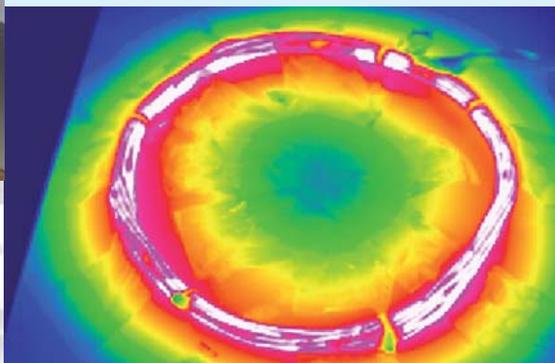
Thermographie-Prüfstand und Thermographiebild eines flexiblen Ringinduktors zur beschleunigten Klebstoffaushärtung

### Leistungsspektrum

- Klebsystemauswahl, -erprobung und Qualitätsabsicherung
- Prozess- und Produktionsplanung
- Individuelle Klebstoffformulierung
- (Zerstörungsfreie) Werkstoff- und Bauteilprüfung
- Auswahl und Modifizierung von Polymerschäumen
- Firmenspezifische Schulung
- Fortbildungsseminare
- Kleben von Kleinserien

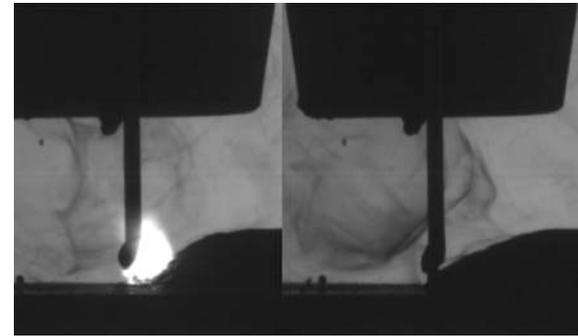
### Ausstattung

- 1+2-K-Auftragsanlagen
- Hotmelt-Auftragsanlagen
- C-Bügel-Ständermaschine mit elektro-mechanischem Antrieb und Stanzniet- und Clinchwerkzeugen
- Prüfstände für statische und dynamische Bauteilprüfung, auch mehraxial
- Crashprüfstände
- Thermografiebasierter zerstörungsfreier Prüfstand
- Spannfeld für Bauteilprüfungen
- Salzsprühkammern, Klimaschränke, UV-Prüfkammern
- Oberflächenvorbehandlungsverfahren, z.B. Laservorbehandlung, Atmosphärendruckplasma, Corona, Niederdruckplasma
- Roboter zum automatisierten Kleben
- Induktionsanlagen MF, HF
- Gonio-, Tensio-, und Viskosimeter
- DSC, DMA, FTIR, REM, EDX, AES, ESCA
- Klebtechnische Musterarbeitsplätze
- Siebdruckanlage, Pulverauftrag
- IR Kamera, High speed Kamera
- Stereogrammetrie Messsystem



Schutzgasschweißverfahren wie das Metall-Aktivgas-(MAG-), das Metall-Inertgas-(MIG-) oder das Wolfram-Inertgas-(WIG-) und das Wolfram-Plasma-Schweißen ermöglichen bei vollmechanisierter Ausführung mit modernsten Stromquellen hochwertige Verbindungen auch bei Werkstoffen mit eingeschränkter Schweißbarkeit.

Der Einfluss dieser und anderer Schmelzschweißverfahren auf die Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften und besonders auf die Festigkeit unter schwingender Beanspruchung wird mit unterschiedlichsten Methoden der zerstörungsfreien und der zerstörenden Werkstoffprüfung untersucht. Besonderes Augenmerk wird dabei darauf gelegt, durch die Optimierung von Schweißprozessen, Verfahrensabläufen und mittels schweißtechnischer Nachbehandlungsverfahren die Schwingfestigkeit im Vergleich zu konventionellen Herstellungsweisen zu verbessern.



Ermittlung der Lichtbogendynamik mittels Hochgeschwindigkeitskamera

## Forschungsschwerpunkte

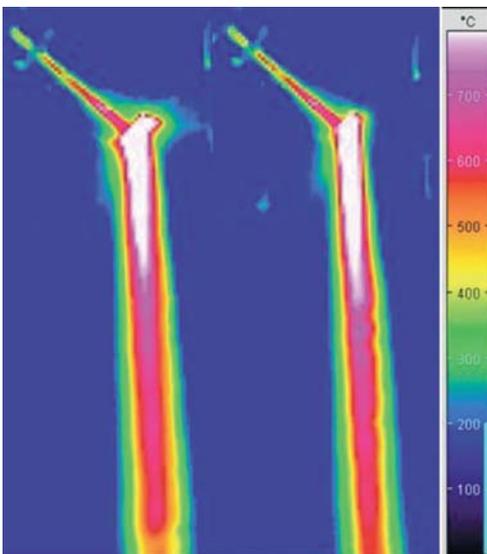
- Mechanisiertes MIG-Schweißen von Magnesiumlegierungen
- Einsatzmöglichkeiten von Band-Elektroden beim automatisierten MAG-Schweißen von nicht rostenden Stählen und MIG-Schweißen von Aluminium
- Schweißen von Aluminiumlegierungen
- Schweißen hochfester Stähle
- Einfluss der Schutzgaszusammensetzung auf den Schweißprozess und die Qualität von Schweißverbindungen aus Aluminiumlegierungen
- Durchschweißkontrolle beim Impulsschweißen anhand der Frequenzen von Schmelzbad-schwingungen
- Hybridprozesse



Flachdrahtschweißen



Lichtbogenprozess



Bestimmung des Wärmeeinflusses mittels Thermokamera

### Kompetenzbereiche

- Lichtbogenschweißen
- Brennschneiden
- Aus- und Fortbildung

### Leistungsspektrum

- Optimierung von Lichtbogenschweißprozessen
- Schweißen von hochfesten Stählen und Nickelbasiswerkstoffen
- Schweißen von Al- und Mg-Legierungen
- Schweißtechnische Optimierung von Kerbstellen
- Optimierung von Pressschweißverbindungen
- Schweißtechnische Beratung und Fortbildung

### Ausstattung

- Lichtbogenschweißlabor mit drei 6-Achsen-Robotern
- Modernste Stromquellen für alle Schutzgasschweißverfahren und zum Unterpulverschweißen
- MIG/MAG-Schweißanlage für Mehrdraht-, MIG/MAG-Plasma- und Flachdrahtanwendungen
- Gasmischanlage im ppm-Bereich
- Anlagen zum Abbrennstumpf- und Reibschweißen
- Plasmaschneideanlage
- Digitale Hochgeschwindigkeitskamera



Laserhybridschweißen



Vollmechanisiertes Magnesium-Zwangslagen-Schweißen

Die Strahlschweißtechnik hat sich in den letzten Jahren ständig weiterentwickelt, stark an industrieller Bedeutung gewonnen und lässt auch für die Zukunft ein enormes wirtschaftliches Potential bei entsprechend verstärkter Forschung erwarten. Insbesondere bei neuen Werkstoffen im Fahrzeugleichtbau, wie höherfesten Stählen, Aluminium oder Magnesium, ist das Strahlschweißen heute neben dem mechanischen Fügen und dem Kleben das führende Fügeverfahren.

Die Strahlverfahren, die neben dem Schweißen auch zum Trennen und zur Materialbearbeitung eingesetzt werden können, zeichnen sich durch einen hohen Grad von Präzision und Reproduzierbarkeit und durch eine sehr gute Automatisier- und Steuerbarkeit bei sehr guter Wirtschaftlichkeit aus. Das thermische Werkzeug der Strahltechnik ist der fokussierte Elektronen- oder Laserstrahl. Der extrem kleine Strahldurchmesser im Fokus bzw. Arbeitspunkt bildet die Basis für eine hohe geometrische Präzision. Schmale Schweißnähte von wenigen Mikrometern bis zu wenigen Millimetern Breite, je nach Dicke des Materials, geringer Wärmebeeinflussung und Verhältnisse von Schweißtiefe zu Nahtbreite bis zu 40:1 erlauben die Realisierung völlig neuer Produkte.

Alle wesentlichen Arbeitsparameter werden elektrisch mit hoher Genauigkeit bereitgestellt und geregelt. Hohe Arbeitsgeschwindigkeiten und die berührungslose Arbeitsweise bestimmen direkt die Wirtschaftlichkeit der Strahltechnik.

Durch die hohe Präzision, die kleinen Strahldurchmesser, die ausgezeichnete Regelbarkeit und das berührungslose Arbeiten bieten sich die Strahlschweißverfahren auch als Fügeverfahren im Mikrosystembereich an.



*MIG Laserhybridschweißkopf*



## Forschungsschwerpunkte und Kompetenzbereiche

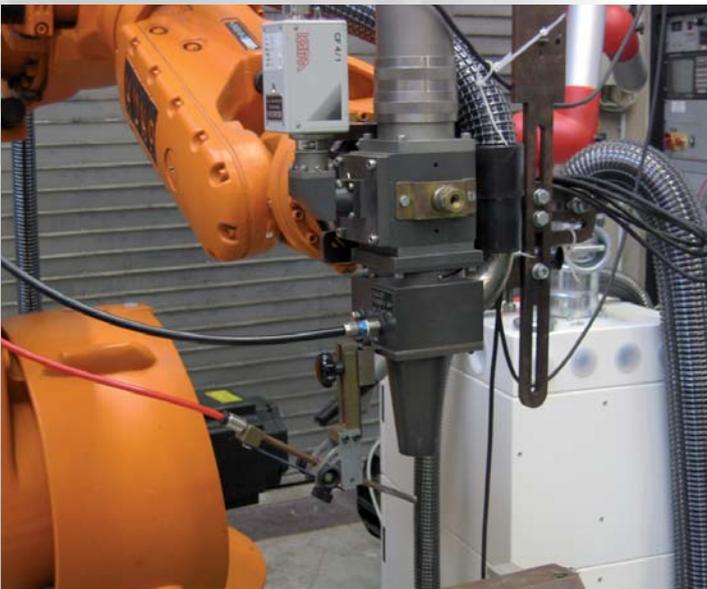
- Elektronen- und Laserstrahlschweißen von konventionell schwer schweißbaren Werkstoffen
- Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen von Aluminium-Bauteilen
- Laserunterstütztes WIG- und MIG-Schweißen
- Laserstrahlschneiden
- Strahl-Stoff-Wechselwirkung
- Qualitätssicherung bei der Lasermaterialbearbeitung durch Strahl- und Prozessdiagnostik
- ZfP beim Laserstrahlschweißen
- Simulation und Modellierung von Strahlwerkzeugen
- Entwicklung von Sensoren zur Charakterisierung der Strahlverfahren
- Fügerechtes Konstruieren

## Leistungsspektrum

- Fügeconsulting
- Prototypenfertigung
- Parameterentwicklung und -optimierung für Elektronen- und Laserstrahlanwendungen
- Gutachten für Schadensfälle
- Fortbildungsseminare



3 kW Nd:YAG Festkörperlaser,  
Blick auf die Cavitäten



Laser-Musterarbeitsplatz mit Schweißkopf  
mit integrierter, kapazitiver Abstandsregelung

## Ausstattung

- 5 kW CO<sub>2</sub>-Gaslaser mit Schweiß- und Schneidoptik
- 3 kW cw Nd:YAG-Festkörperlaser
- 15 kW EB-Schweißanlage
- 60 W gepulster Nd:YAG-Laser
- 8 W cw Scheibenlaser 1064 nm zur Feinstbearbeitung und Beschriftung mit hervorragendem Cut
- Roboter zur Bauteil- oder Laserkopf-bewegung
- Hybridköpfe für Laser-WIG und MIG-Anwendungen

In dem Konzept zu dem Förderprogramm „Mikrosystemtechnik 2000+“ des BMBF wird die Mikrosystemtechnik (MST) als Schlüsseltechnologie bezeichnet. In allen wichtigen Industrieländern sind umfangreiche und in ihrer Dynamik zunehmende Aktivitäten zur Entwicklung und Nutzung dieser Technologie zu erkennen. In der Mikrosystemtechnik werden eine Vielzahl von Materialien, Komponenten und Technologien eingesetzt, mit denen elektronische und nicht-elektronische Funktionen realisiert werden können, um sie zu intelligenten, miniaturisierten Gesamtsystemen zu verknüpfen. Treibende Faktoren für den Einsatz der MST sind Trends wie die Internationalisierung der Märkte, das Erfordernis einer nachhaltigen Entwicklung und der gesellschaftliche Wandel. Zukünftig werden in diesem Zusammenhang mehr und mehr intelligente und flexible technische miniaturisierte Systeme erforderlich.

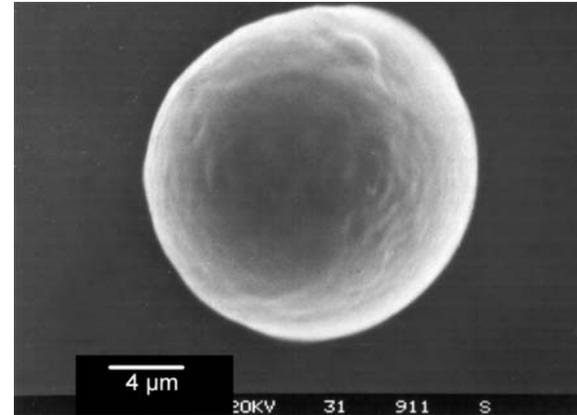
Das Mikrofügen ist hierbei die Voraussetzung zur rationellen Herstellung von Mikrostrukturen und für den Einsatz neuer Werkstoffe in der Mikrosystemtechnik. Beides wird benötigt, um neue Mikrosysteme entwickeln, produzieren und vermarkten zu können.

Die Herstellung von Mikrosystemen erfolgt aus prozesstechnischen und wirtschaftlichen Gründen in der Regel in Batch-Verfahren, bei denen eine große Anzahl von Systemen auf einem Wafer prozessiert wird. Können diese Systeme nicht monolithisch hergestellt werden, werden Fügeverfahren angestrebt, die ebenfalls im Batch angewendet werden können.

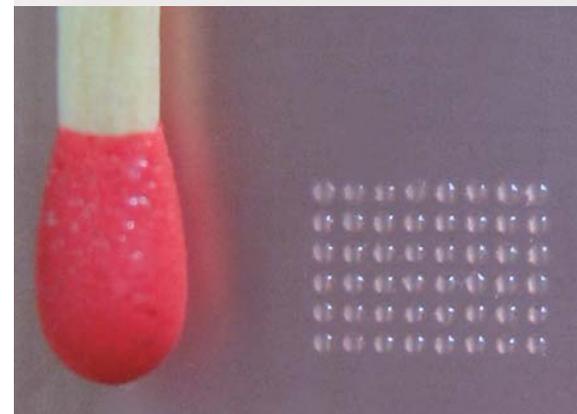
Der hohe Miniaturisierungsgrad von Mikrosystemen erfordert darüber hinaus Fügeverfahren, die ein Fixieren kleinster Flächen ermöglichen. Eine immer größere Bedeutung erlangt dabei das Kleben. Gründe hierfür sind die Möglichkeit, unterschiedliche Werkstoffpaarungen ohne thermischen Verzug mit ausreichender Festigkeit und guten dynamischen Eigenschaften zu verbinden. Weiterhin können Klebstoffe eine elektrische und thermische Leitfähigkeit, optische Transparenz oder eine entsprechende Isolation übernehmen.

Gründe, die einen noch stärkeren Einsatz des Klebens in der Mikrosystemtechnik verhindern, liegen in den Eigenschaften derzeit eingesetzter viskoser Klebstoffe. Dies sind die zu dosierenden Minimalvolumina, die kleinste Fügegeometrien nicht zulassen, die Prozesszeit, die benötigt wird, bis die Fügeverbindung handhabungsfest ist und die klebstoffabhängige Topfzeit, in der der aufgetragene Klebstoff noch verwendet werden kann und in der sich die Eigenschaften des Klebstoffs ändern können.

Eine weitere Mikrofügetechnik, die intensiv am *ifs* erforscht und entwickelt wird, ist das Mikroelektronenstrahlschweißen. Hier wird in einem Industrieverbund innerhalb eines mehrjährigen öffentlich geförderten Projektes eine Elektronenstrahlquelle entwickelt, die aufgrund ihres extrem feinen Strahles bei mehreren hundert Watt Leistung neben der reinen Fügetechnik auch Materialbearbeitung und -abtrag realisieren kann.

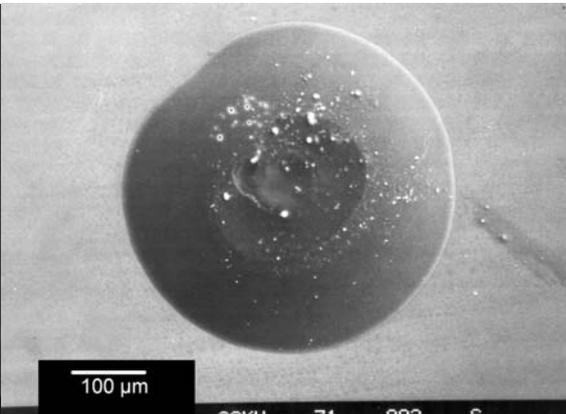


Schmelzklebstoffkugel mit einem Durchmesser von ca. 20 µm und ca. 4 pl Volumen

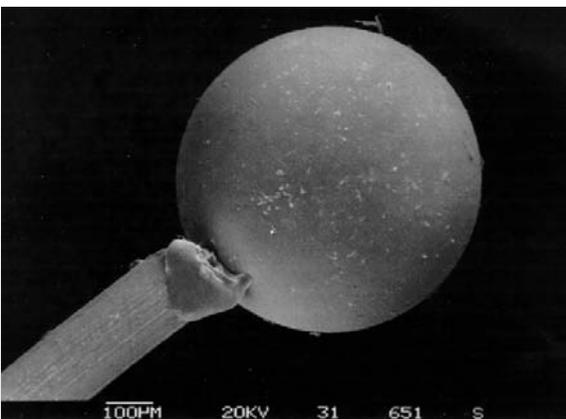


Mikrodosierte Schmelzklebstoffpunkte





*Klebstoffmeniskus, 2 K Epoxidharzklebstoff, viskos aufgetragen, sichtbare Klebstoff-schrumpfung, Durchmesser ca. 350 µm*



*Saphirkugel, aufgeklebt auf einem Wolframdraht*

### Forschungsschwerpunkte und Kompetenzbereiche

- Prozess- und Produktionsplanung
- Mikroleben
- Einsatz nicht-viskoser und vorbeschichtbarer Klebstoffe in der Feinwerk- und Mikrosystemtechnik
- Auftragstechniken, Mikrodosierverfahren, Kleben in Batchtechnologie
- Mikroelektronen- und Mikrolaserstrahlschweißen
- Charakterisierung von Mikrofügeverbindungen

### Leistungsspektrum

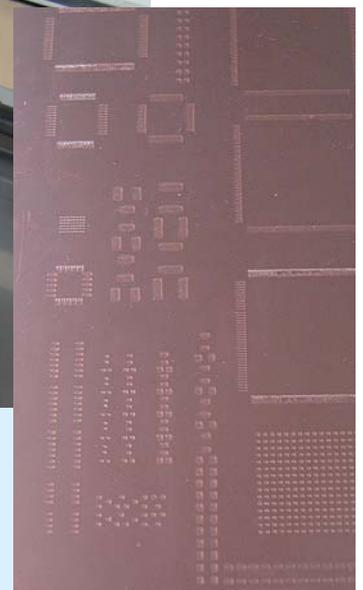
- Mikrofügeconsulting
- Entwicklung von Fertigungstechnologien für kundenspezifische Anwendungen

### Ausstattung

- 8 Watt cw Scheibenlaser 1064 nm zur Feinstbearbeitung und Beschriftung mit hervorragender Strahlgüte
- 60 Watt gepulster Feinschweißlaser 1064 nm zum Feinstbearbeiten
- Diverse Mikroskope und Handhabungseinrichtungen
- Diverse Mikrodispenseinrichtungen
- Halbautomatischer Sieb-/Schablonendrucker für feinste Strukturen



*Schablonendrucker für Lot- und Klebstoffapplikation  
Teststruktur für die Bewertung der Druckqualität*

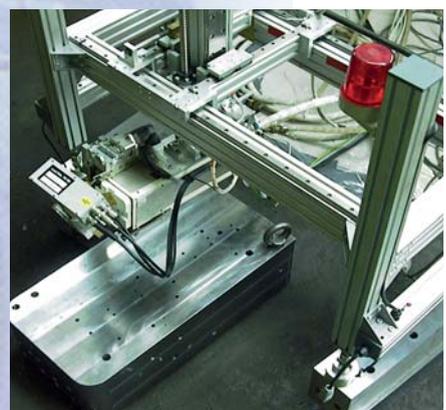


Der Arbeitsbereich Festigkeit und Bauteilverhalten beschäftigt sich mit den Auswirkungen, die verschiedene Fügeprozesse bei unterschiedlichsten Randbedingungen auf das Festigkeitsverhalten von Fügekonstruktionen ausüben können. Besondere Kompetenzschwerpunkte bestehen hier auf dem gesamten Feld der Entstehung und Auswirkung von Eigenspannungen bei Fügeprozessen und den daraus abzuleitenden Abhilfemaßnahmen gegen nachteilige Auswirkungen. Weitere Schwerpunkte bilden die Optimierung von Fügeprozessen zur Herstellung von Fügeverbindungen mit günstigen Schwingfestigkeitseigenschaften sowie der Einsatz unterschiedlicher Nachbehandlungsverfahren zur Schwingfestigkeitssteigerung.

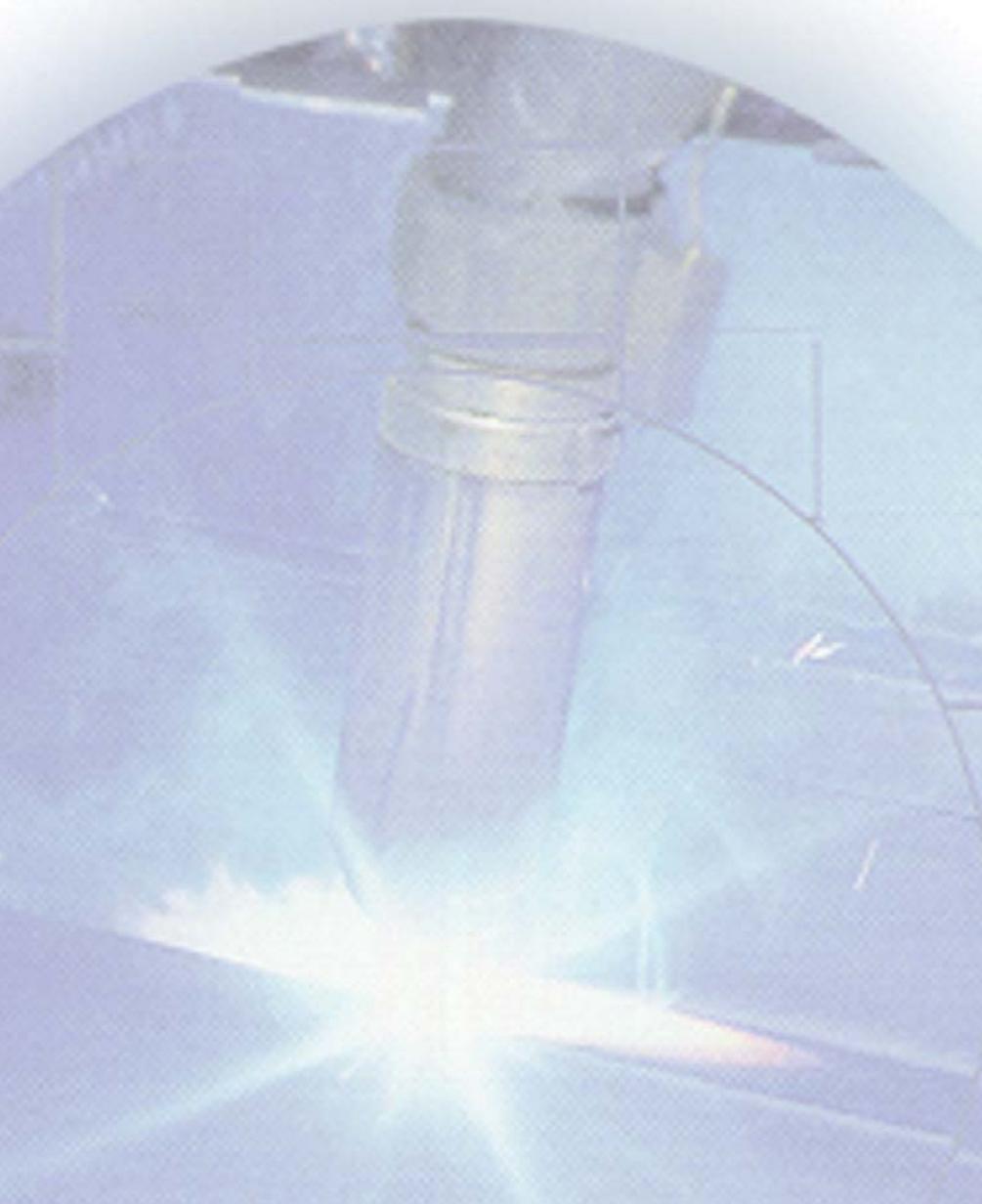
Für die vielfältigen Untersuchungen stehen moderne Laboreinrichtungen zur Verfügung, die sich über die gestellten Anforderungen hinaus für ein breites Anwendungsspektrum auch auf anderen Gebieten für vielfältige Untersuchungen einsetzen lassen. Daraus ergibt sich ein weit gefächertes Dienstleistungsangebot, das gerade der kleinen mittelständischen Industrie ein großes Potential bietet.



*Ortsfeste Röntgendiffraktometer für Eigenspannungsbestimmungen, Textur- und Phasenanalysen*



*Transportables  $\psi$ -Diffraktometer für Eigenspannungsbestimmungen an Bauteilen und Großproben*



## Forschungsschwerpunkte

- Entstehungsursachen und Auswirkungen von Eigenspannungen in Schweißverbindungen
- Abhilfemaßnahmen gegen Zugeigenspannungen und Verzug
- Schwingfestigkeitsverhalten von Fügeverbindungen
- Wirksamkeit von Verfahren zur Schwingfestigkeitssteigerung
- Lebensdauervorhersage schwingbeanspruchter Schweißkonstruktionen mit Hilfe zerstörungsfreier Prüfverfahren
- Einfluss betriebsbedingter Schwingbeanspruchungen auf die Eigenschaften von Schweißverbindungen in Stahlkonstruktionen
- Einfluss betriebsbedingter Beanspruchungen während des Schweißens auf die Festigkeit
- Mechanisches Verhalten geklebter Strukturen bei komplexen Beanspruchungen
- Crashverhalten von Fügeverbindungen



Servohydraulische Prüfmaschine für kombinierte Zug-Druck- und Torsionsbeanspruchung



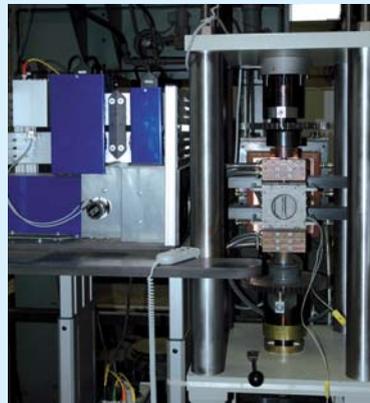
Spannfeld für Schwingfestigkeitsuntersuchungen an Bauteilen und Großproben

## Kompetenzbereiche

- Eigenspannungsanalyse
- Bewertung von Eigenspannungen
- Schwingfestigkeit von Fügeverbindungen
- Crashverhalten von Fügeverbindungen

## Leistungsspektrum

- Röntgenographische Eigenspannungsbestimmung an metallischen und keramischen Werkstoffen
- Eigenspannungsbestimmung mittels Bohrlochmethode
- Mikromagnetische Werkstoffanalyse
- Werkstoffkundliche Beratung
- Schwingfestigkeitsuntersuchungen
- Ermittlung temperaturabhängiger Werkstoffkennwerte
- Crashprüfung an Proben und Bauteilen



Schweißsimulationsanlage mit servohydraulischer Prüfeinrichtung und Laserextensometern

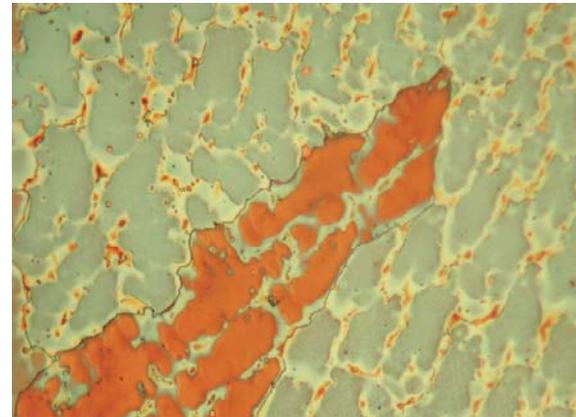
## Ausstattung

- Röntgendiffraktometer zur Eigenspannungs- und Phasenanalyse, Bohrlochapparatur, 3MA-Analysatoren
- Servohydraulische und elektromechanische Prüfmaschinen von 50...2000 kN, ein- und zweiachsig
- Spannfeld für bauteilangepasste Beanspruchungsversuche
- Schweißsimulationsanlage für quasistatische und zyklische Versuche bei Temperaturen bis 1300°C
- Zug-Druck-Torsionsprüfmaschine
- Servohydraulische Hochgeschwindigkeitsprüfmaschine
- Fallturm
- Instrumentierter Kerbschlagbiegeversuch

Der Werkstoff und seine Eigenschaften nehmen eine zentrale Funktion in der Entwicklung und Herstellung technischer Bauteile ein und bestimmen deren Gebrauchseigenschaften. Die Werkstoffentwicklung der letzten Jahrzehnte hat zu einer großen Palette von Werkstoffgruppen geführt, die speziell für ihren Einsatzbereich optimiert worden sind. Dazu gehören zum Beispiel die klassischen Leichtbauwerkstoffe wie Magnesium und Aluminium, Nickelbasislegierungen für Hochtemperaturbelastungen im Turbinenbau, hochlegierte und korrosionsbeständige Stähle für den Rohrleitungsbau, Mehrphasenstähle für die aktuelle Entwicklung des Stahlleichtbaus oder auch duktile Aluminium-Druckgusslegierungen für den Einsatz in crashrelevanten Bereichen des Automobilbaus. Allen Werkstoffen ist aber gemeinsam, dass sie bei einer schweißtechnischen Verarbeitung im wärmebeeinflussten Bereich ihre Grundwerkstoffeigenschaften verlieren. Die eingebrachte Schweißwärme führt in Abhängigkeit des Schweißverfahrens zu Gefügeveränderungen, die sich im Betrieb negativ auswirken können. Die Folge sind Schäden, die in vielen Fällen auf Unkenntnis dieser werkstoffkundlichen Vorgänge und den daraus resultierenden veränderten Gebrauchseigenschaften zurückzuführen sind.

Schwerpunkt der Abteilung Werkstoffe und Analytik des Institutes ist die Analyse der werkstoffkundlichen Beeinflussung durch die Prozesswärme in Korrelation zum Schweißverfahren und dessen Parametern. Nur durch eine genaue Kenntnis dieser komplexen Zusammenhänge können Forschungs- und Entwicklungsaufgaben optimiert und Schäden vermieden werden. Für die metallkundliche Charakterisierung unterschiedlichster Werkstoffe stehen in der Analytik eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung. Angefangen von der lichtmikroskopischen Gefügebeurteilung über die Rasterelektronenmikroskopie bis zur Durchstrahlungsmikroskopie können Strukturen bis in den atomaren Bereich dargestellt werden. Für eine Mikrobereichsanalyse der Elementzusammensetzung und -verteilung stehen eine Elektronenstrahlmikrosonde und für die Oberflächenanalytik eine Augersonde zur Verfügung.

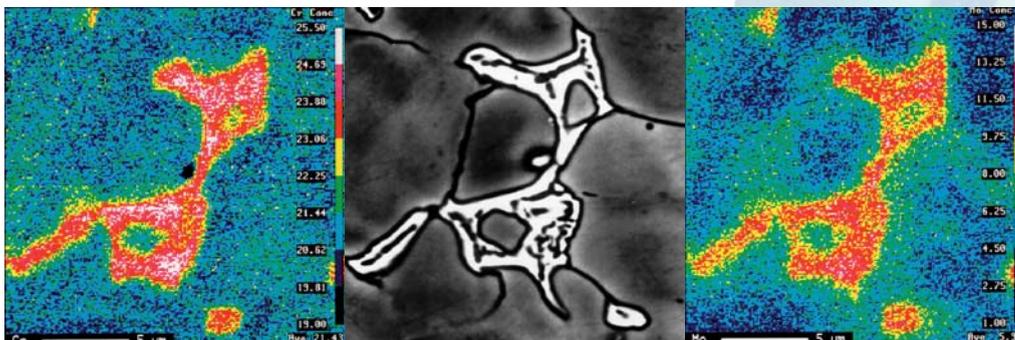
Die langjährige Kompetenz auf dem Gebiet der Werkstoffe und deren Analytik wird nicht nur in Forschungsaufgaben, sondern auch in bilateralen Entwicklungsprojekten und Schadensuntersuchungen eingesetzt.



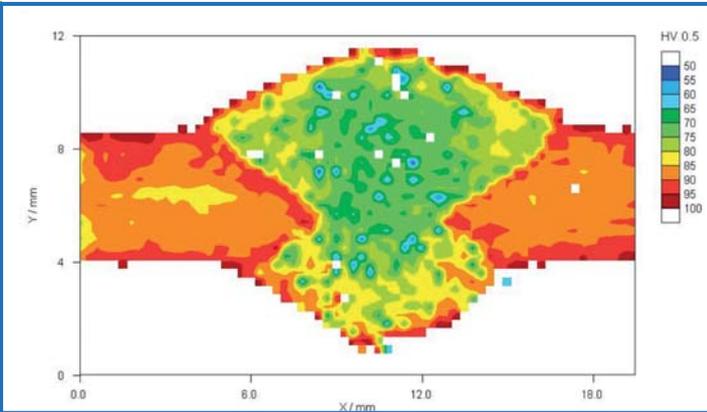
Schweißgutgefüge einer Nickelbasislegierung

#### Werkstoff- und Forschungsschwerpunkte

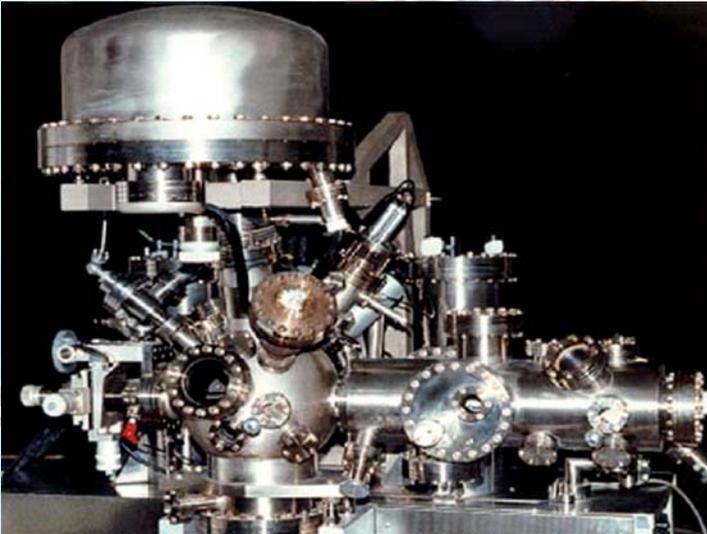
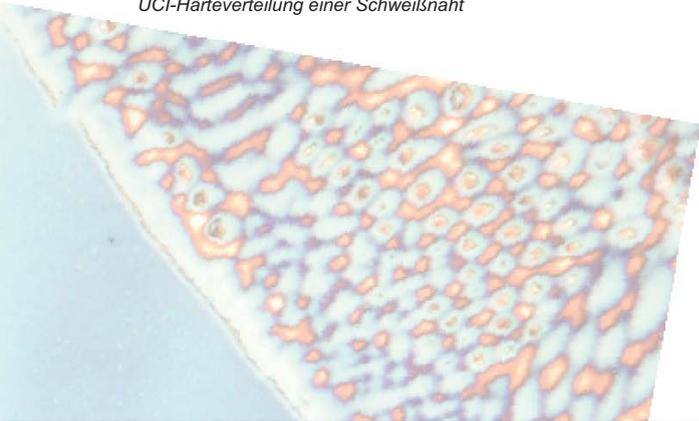
- Aluminium-Druckguss
- Kleben von Aluminium-Druckguss
- Anlauffarben an CrNi-Stählen
- Ni-Basiswerkstoffe
- Schweißen in kaltverformten Bereichen hochfester Stähle
- Mehrphasen-Stähle
- Thermowechselverhalten von Warmarbeitsstählen
- Werkstoffbedingte Schäden in der Schweißtechnik
- Magnesium-Legierung



Nachweis einer Sigma-Phase – Elementverteilungsbilder und Compobild mit der Elektronenstrahlmikrosonde



UCI-Härteverteilung einer Schweißnaht



Augersonde - Escalab



### Kompetenzbereiche

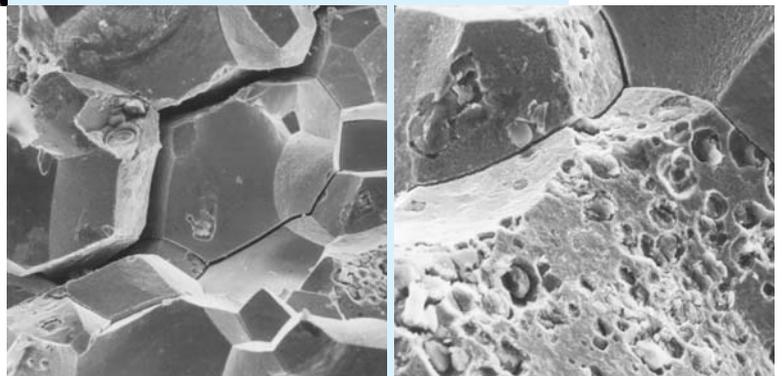
- Werkstoffanalytik
- Schadensanalyse
- Online-Qualitätssicherung

### Leistungsspektrum

- Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
- Werkstoffkundliche Beratung
- Metallographie
- Mikrobereichsanalytik
- Korrosionsuntersuchung
- Firmenspezifische Schulung
- Fortbildungsseminare

### Ausstattung

- Auflichtmikroskope
- Fluoreszenzmikroskop
- Quantitative Bildanalyse
- Härteprüfung
- Rasterelektronenmikroskop
- Elektronenstrahlmikrosonde
- Auger- und ESCA-Sonde
- Durchstrahlungsmikroskop
- Korrosionslabor
- FTIR
- DMTA
- DSC



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer interkristallinen Korrosion

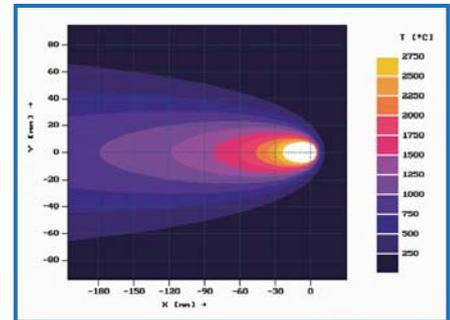
Immer kürzere Produktwechselzeiten, erhöhter nationaler und internationaler Kostendruck sowie gestiegene Anforderungen an die Produktsicherheit und -qualität führen zu der Notwendigkeit, schon in einem frühen Stadium der Entwicklung möglichst viel über die späteren Eigenschaften eines Produktes in Erfahrung zu bringen.

Die heutigen Simulations- und Berechnungsmethoden bieten in vielen Fällen bereits die Möglichkeit, das Verhalten gefügter Bauteile zu berechnen. Hierzu sind genaue Kenntnisse über das Verhalten der beteiligten Werkstoffe unter verschiedenartigsten Beanspruchungen und über die Auswirkung der eingesetzten Fügeprozesse notwendig. Die Umsetzung dieses Wissens in eine praktisch anwendbare Methodik erlaubt schließlich die rechnerische Vorhersage. In anderen Fällen sind die heutigen Verfahren jedoch noch nicht hinreichend und bieten vielfältige Ausgangspunkte für unsere Forschungstätigkeit.

Die Mitarbeiter des Arbeitsgebietes Simulation und Berechnung setzen sich seit Jahren mit der Auslegung und Berechnung gefügter Verbindungen und der Simulation von Fügeprozessen auseinander. Sie befassen sich z.B. mit der numerischen Beanspruchungs- und Beanspruchbarkeitsanalyse von Werkstoffen in und für Konstruktionen unter Berücksichtigung der angewandten Fertigungsverfahren, der vorliegenden Werkstoffzustände und der relevanten Umgebungsbedingungen. Diese Arbeiten decken einen großen Bereich der in der Praxis auftretenden Beanspruchungen, z.B. statische, zyklische und stoßartige Beanspruchungen (Crash) ab.

In verschiedensten öffentlich geförderten und bilateralen Projekten konnten Erfahrungen mit der Modellbildung für die unterschiedlichsten Werkstoffe (z.B. für Metalle, Kunststoffe/Klebstoffe und polymere Schäume) und Fügeprozesse (z.B. Schweißen und Kleben) gesammelt werden. Einen wichtigen Schwerpunkt bilden die verschiedenen Konzepte zur Lebensdauerabschätzung von geschweißten Strukturen bei Betriebsbeanspruchung.

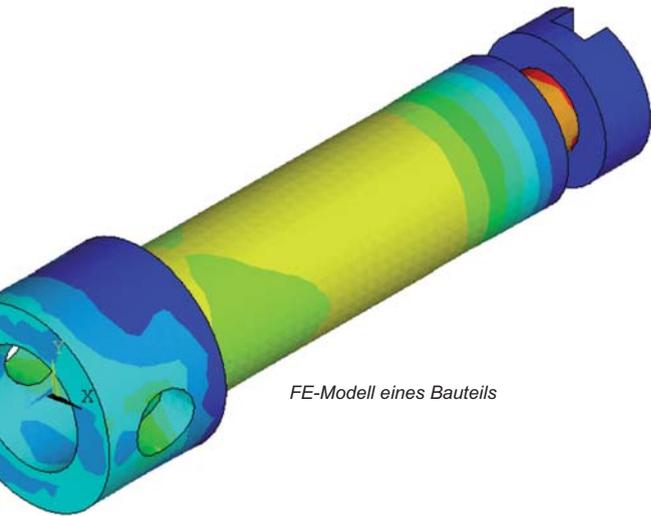
Wichtiges Ziel neben der Weiterentwicklung von Berechnungs- und Simulationsmethoden ist es, die Ergebnisse auch für klein- und mittelständische Unternehmen nutzbar zu machen.



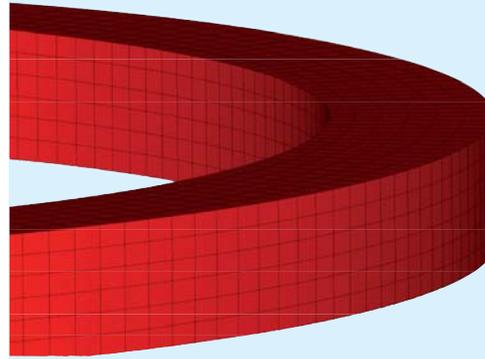
Temperaturverteilung beim Schweißen (FE-Modell)

### Forschungsschwerpunkte

- Anwendung und Weiterentwicklung von Werkstoffgesetzen zur numerischen Vorhersage des Verhaltens von Schweiß- und Klebverbindungen im Vergleich mit experimentellen Ergebnissen
- Verzugs- und Eigenspannungsberechnung bei gefügten Bauteilen
- Anwendung und Weiterentwicklung moderner Konzepte zur Lebensdauerabschätzung bei zyklischer Beanspruchung (Strukturspannungskonzepte, örtliche Konzepte)
- Berechnung des Verhaltens von gefügten Strukturen bei Crashbeanspruchung
- Wasserstoff im Schweißgut – rechnerische Simulation seiner Verteilung und Auswirkungen



FE-Modell eines Bauteils

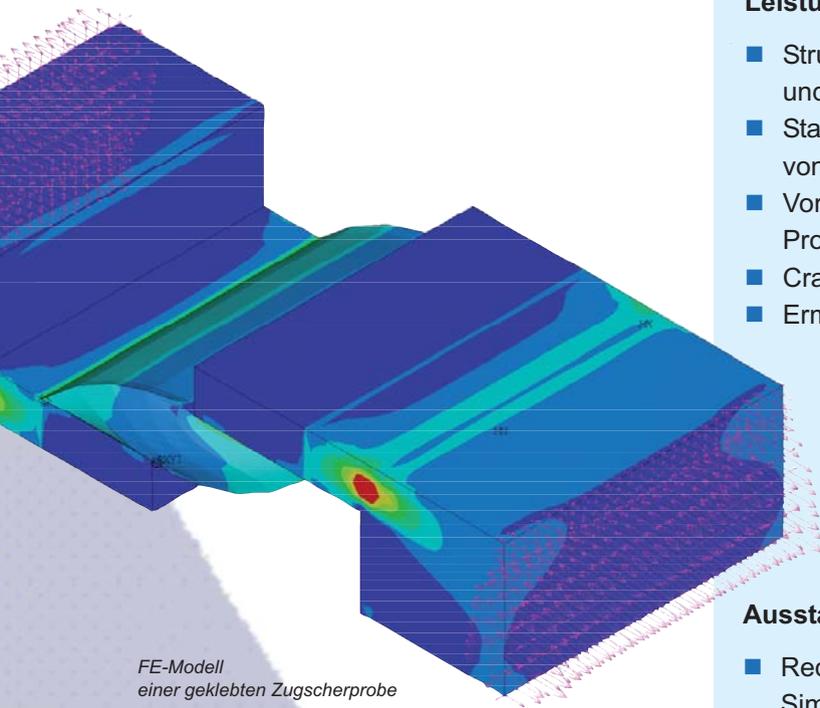


### Kompetenzbereiche

- Struktursimulation
- Prozesssimulation
- Werkstoffsimulation
- Festigkeitskonzepte

### Leistungsspektrum

- Strukturberechnungen an geschweißten und geklebten Verbindungen
- Statische und dynamische Auslegung von Strukturen
- Vorhersage und Optimierung von Prozessergebnissen
- Crashberechnungen
- Ermittlung von Werkstoffkennwerten



FE-Modell einer geklebten Zugscherprobe

### Ausstattung

- Rechner zur Durchführung von Simulationsrechnungen
- Explizite und implizite FE-Solver zur Struktur- bzw. Crashsimulation
- Softwarewerkzeuge zur Prozesssimulation
- Softwarewerkzeuge zum Pre- und Postprocessing, CAD-Software

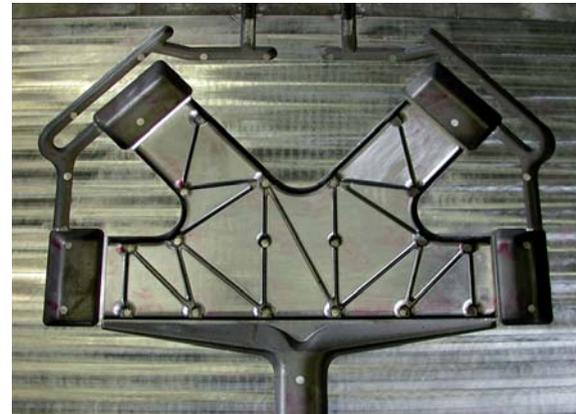
Zur Werkstoffkennwertermittlung und Validierung von Berechnungsergebnissen stehen die experimentellen Einrichtungen der anderen Abteilungen zur Verfügung.

Das Druckgießen ist für die Fertigung endabmessungsnaher, komplexer und dünnwandiger Leichtbauteile ein Verfahren, das aufgrund der hohen Produktivität entscheidende wirtschaftliche Vorteile in der Massenfertigung hat. Der Anteil von Motor- und Getriebeteilen, die im Druckgießverfahren hergestellt werden, macht mittlerweile 34 Prozent des Aluminiumverbrauchs und die Fertigung von Fahrwerks- und Karosseriekomponenten weitere 24 Prozent aus. Ein neuer viel versprechender Beitrag zu modernen Leichtbaukonzepten ist das Gießen von großen, multifunktionalen Integralteilen, durch die zahlreiche, bisher notwendige Einzelteile zu einem Bauteil vereinigt werden.

Das Institut für Füge- und Schweißtechnik an der TU Braunschweig beschäftigt sich seit über 15 Jahren mit der Herstellung und schweißtechnischen Verarbeitung von Aluminium-Druckguss. Entscheidenden Einfluss auf die Schweiß- und Wärmebehandelbarkeit von Aluminium-Druckgussteilen hat ihr Gasgehalt, der heute mit geeigneten Methoden hinreichend niedrig gehalten werden kann, und die Auswahl und Optimierung des Schweißprozesses. Auf diesem Wege ist es am ifs gelungen, den ersten schweißbaren Druckguss herzustellen. Die für Aluminium-Druckguss typischen, eingeschlossenen Gase führen beim Aufschmelzen des Werkstoffs zu einer Makroporenbildung oder gar zu einer Deformation des Bauteils. Eine Abhilfe ist nur durch eine systematische Reduzierung aller Begasungsquellen im Druckgießprozess möglich. Die beim Aluminium-Druckguss eingesetzten Formtrennmittel spielen dabei eine entscheidende Rolle und sind damit einer der Forschungsschwerpunkte der Abteilung.

Darüber hinaus beschäftigt sich die Abteilung seit fünf Jahren intensiv und in enger Zusammenarbeit mit namhaften Druckgießereien mit der Standzeit von Druckgießformen und der Trennstoffapplikation, beides auch unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten.

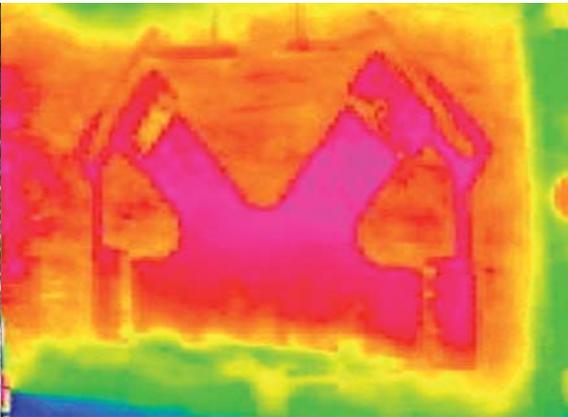
Dem Institut ist eine eigene, moderne Forschungsgießerei angegliedert. Sie wird von einer industriellen Fördergemeinschaft, in der Gießereien, Trennstoffhersteller und Formenbauer vertreten sind, finanziert. In Diskussion mit den Mitgliedern werden aktuelle Forschungsprojekte initiiert, bearbeitet und vorgestellt.



Druckgießform – Knotenelement

### Forschungsschwerpunkte

- Schweißen von Aluminium-Druckguss
- Kleben von Aluminium-Druckguss
- Einfluss des Trennstoffs auf die Bauteilqualität
- Optimierung der Schweißprozesse zum porenarmen Fügen
- Untersuchungen zur Standzeit von Druckgießformen
- Energiebilanz – Druckgießprozesse



Thermographiebild der Druckgießform



Computergesteuerter Prototyp eines neu entwickelten Sprühkopfes

### Kompetenzbereiche

- Herstellung von schweiß- und klebgeeignetem Druckguss
- Optimierung des Trennstoffauftrages
- Schweißen von Standard- und duktilen Druckgusslegierungen
- Wasserstoffproblematik
- Trennstoffeinfluss auf die Bauteilqualität
- Standzeit von Druckgießformen

### Leistungsspektrum

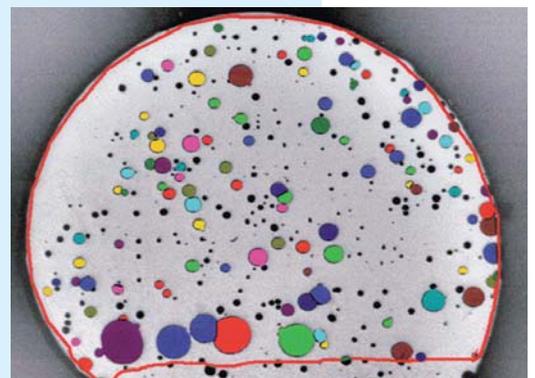
- Gießtechnische Optimierung neuer Legierungen
- Erprobung neuer Trennstoffe
- Erstellung von Energiebilanzen
- Gießen von Kleinserien
- Bestimmung der Gussqualität
- Untersuchung der Schweißeignung von Aluminium-Druckgussbauteilen
- Bestimmung der Porenverlustfläche
- Schadensuntersuchung von Druckgießformen

### Ausstattung

- Bühler Evolution B 53D
- StrikoWestofen 40 S
- Formsprühanlage Wollin PSM 2
- Vakuumsystem VDS ProVac
- Thermographiekamera



Schweißnaht in einer duktilen Aluminium-Druckgusslegierung



Quantitative Bildanalyse der Porenverlustfläche

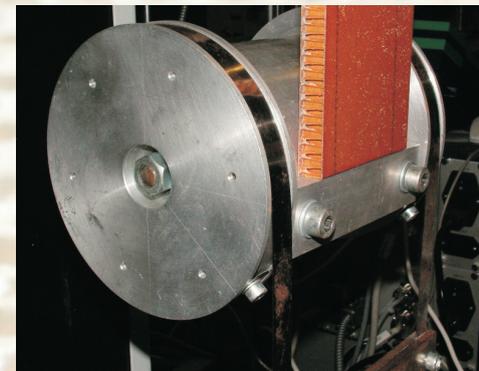
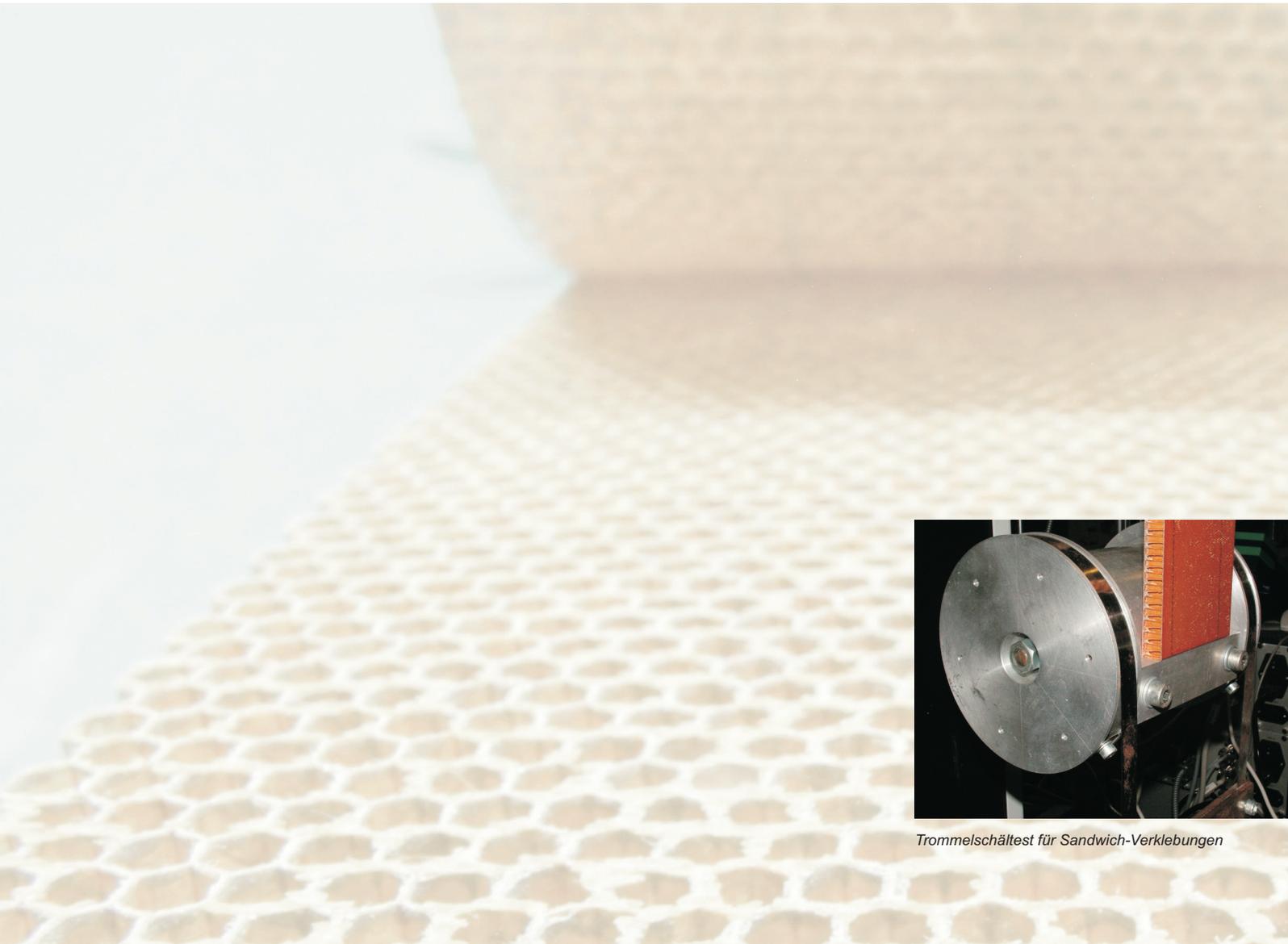
Die Faserverbundtechnologie hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung zugenommen. Sowohl ökonomische als auch ökologische Gründe erfordern den zunehmenden Einsatz von Leichtbauwerkstoffen. Innerhalb der Klasse der Leichtbauwerkstoffe besitzen insbesondere die kohlefaserverstärkten Kunststoffe ein sehr hohes Leichtbaupotential.

Aufgrund des einzigartigen Eigenschaftsniveaus dieses Verbundmaterials wächst der Werkstoffanteil in den verschiedensten Branchen erheblich. Einem großserientechnischen Einsatz stehen jedoch oft die hohen Material- und Prozesskosten im Wege, so dass der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen oft nur bei kleinen Stückzahlen sinnvoll ist. Neben dem Herstellen der Strukturen ist insbesondere die Füge­technologie eine der entscheidenden Herausforderungen für die Zukunft. Es gilt; faserverbundgerechte Fügeverfahren zu entwickeln, die einen hohen Automatisierungsgrad, Prozesssicherheit und Prozessgeschwindigkeit aufweisen.

Die Forschung am *ifs* zur Thematik „Faserverbund“ fokussiert sich daher auf innovative Herstell- und Fügeverfahren, die entscheidend dazu beitragen sollen, die Kosten zu senken und somit den Faserverbundkunststoffen neue Märkte zu öffnen.

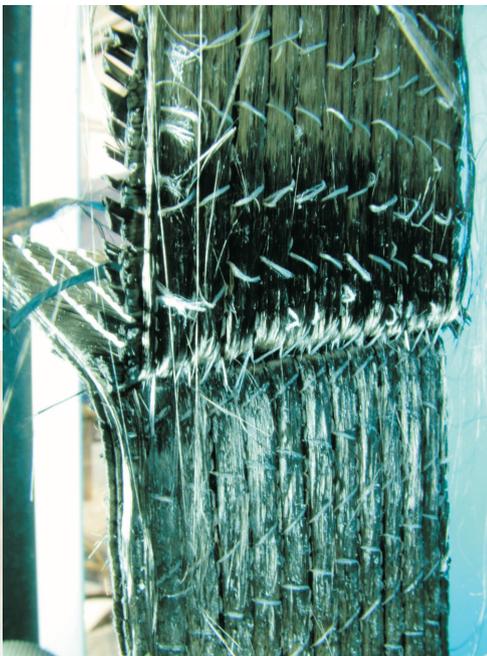
#### **Forschungsschwerpunkte und Kompetenzbereiche**

- Preformen von Faserverbundstrukturen
- Kleben von technischen Textilien
- Innovative Methoden zum Aushärten der polymeren Matrix
- Induktive Erwärmung von trockenen und getränkten CFK-Bauteilen
- Induktive Erwärmung von CFK-Substraten zum Schnellaushärten von Klebstoffverbindungen
- Optimierung des Lagenaufbaus hinsichtlich einer induktiven Erwärmung
- Vorbehandlungsmethoden von Faserverbundstrukturen



*Trommelschältest für Sandwich-Verklebungen*

- Kleben von Faserverbundstrukturen und Mischbauweisen
- Mechanisches Fügen von Faserverbundstrukturen
- Zerstörungsfreie Prüfung von Faserverbundstrukturen und Faserverbundverbindungen



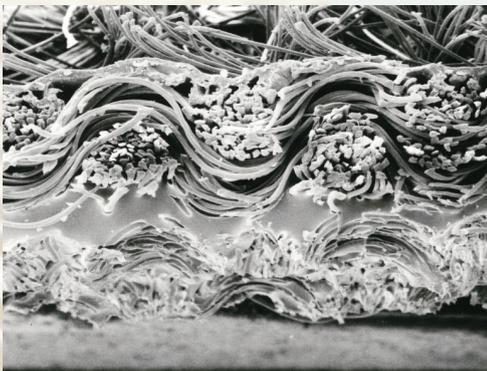
Schältest von verklebten Karbon-Textilien

### Leistungsspektrum

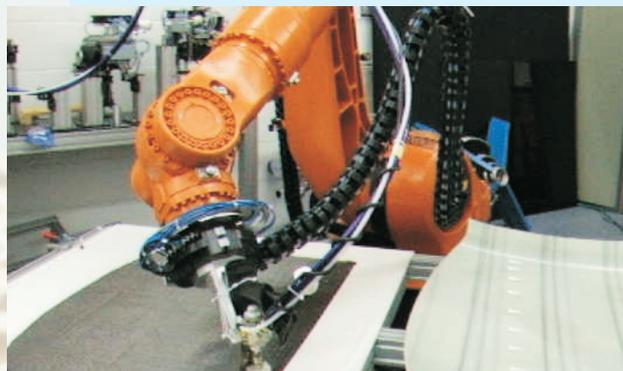
- CFK-Prozesskette
  - Preformherstellung
  - Bauteilfügen
  - Prüfen der Bauteileigenschaften auch von komplexen Bauteilen
- Prozess- und Produktionsplanung
- Zerstörungsfreie Prüfung

### Ausstattung

- CFK-Labor
- verschiedene Induktionsgeneratoren
- verschiedene Anlagen zum Herstellen von Faserverbundbauteilen
- Viskosimeter
- DSC, DMA, FT-IR
- Crashprüfstände
- Prüfstände für statische und dynamische Bauteilprüfung auch mehraxial
- Thermografiebasierter zerstörungsfreier Prüfstand



REM Aufnahme Glasfasergewebe mit Klebstoffbeschichtung



Automatisierter Klebstoffauftrag auf Karbonfasertextil



## Kontakt

Technische Universität Braunschweig  
Institut für Füge- und Schweißtechnik  
Prof. Dr.-Ing. K. Dilger  
Langer Kamp 8  
38106 Braunschweig

Tel.: +49 (0)531-391-7820  
Fax: +49 (0)531-391-5834  
E-mail: [ifs-bs@tu-bs.de](mailto:ifs-bs@tu-bs.de)  
Internet: [www.ifs.tu-braunschweig.de](http://www.ifs.tu-braunschweig.de)  
Anfahrtsskizze: [www.ifs.tu-braunschweig.de/anfahrt](http://www.ifs.tu-braunschweig.de/anfahrt)

