



**Fraunhofer** Institut  
Fertigungstechnik  
Materialforschung



05

Jahresbericht 2005

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung (IFAM)

**Jahresbericht 2005**



## Bereich Klebtechnik und Oberflächen

Bereich Klebtechnik und Oberflächen .....	25
Kompetenzen und Know-how .....	26
Arbeitsgebiete und Ansprechpartner .....	28
Ausstattung .....	29
Die klebtechnische Weiterbildung wird internationalisiert .....	30
Computational Chemistry in der Adhäsions- und Grenzflächenforschung .....	33
Überwachung der Oberflächengüte im Produktionsprozess – ein Konzept zur Fehlervermeidung beim Kleben und Lackieren .....	38
Transmissionselektronenmikroskopie: Die Zukunft der hochauflösenden zwei- und dreidimensionalen Materialcharakterisierung .....	42
Wie weich sind sie denn nun? Oder: Akustische Wellen bestimmen mechanische Eigenschaften dünnster Filme .....	48
Neue Wege der klebtechnischen Weiterbildung: BoniH – Klebpraktiker/-in online .....	54
Numerische Simulation der Klebstoffverarbeitung .....	56
Mikrokleben mit reduziertem Montagestress .....	58

## Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe

Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe .....	63
Kompetenzen und Know-how .....	64
Arbeitsgebiete und Ansprechpartner .....	66
Ausstattung .....	67
Intelligente Gussbauteile .....	68
2K-MIM – Kombination zweier Metalle in einem Produktionsschritt .....	71
Aluminiumschaumanwendungen im Transportsektor .....	74
Transferprojekt »IGV-Technologie« .....	77
Maßgeschneiderte Metallbauteile aus dem 3-D-Drucker .....	80
Mikro-Metallpulverspritzgießen – Serienfertigung und Qualitätssicherung .....	82
Thermoelektrische Nanokomposite .....	86
Offenzellige Metallschäume – Vielseitigkeit durch Variabilität .....	88
Reibschicht für Synchronringe .....	91
Preise/Ehrungen .....	95



## Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

Sehr geehrte Damen und Herren,  
 liebe Geschäftsfreunde und Kooperationspartner,  
 liebe Förderer des IFAM!

»Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile«

Vielleicht überrascht es Sie, dass wir das Vorwort zu unserem Jahresbericht 2005 mit einem Zitat beginnen, das von der Antike bis zur Gegenwart von vielen Personen zu unterschiedlichen Anlässen und Sachverhalten verwendet wurde.

Wir sind der Meinung, dass dieses Zitat das Ziel gut beschreibt, welches sich das IFAM für das Jahr 2005 gesetzt hatte:

Kompetenzen, Know-how und Dienstleistungen als Ganzes anzubieten, den Kundenbedarf jeweils spezifisch aufzubereiten, die Effizienz der Zusammenarbeit zu steigern und dadurch den Kunden sowie Kooperationspartnern einen Mehrwert anzubieten.

Der vorliegende Jahresbericht zeigt anhand von ausgewählten Beiträgen einen Teil des Weges, den das IFAM 2005 gegangen ist, um dieses Ziel zu erreichen, und den es auch in den kommenden Jahren stetig weiter gehen wird.

Im zurückliegenden Jahr wurden insbesondere die Aktivitäten in den Kompetenzfeldern Gießertechnik und Funktionsstrukturen ausgebaut. Sehr intensiv wird an der Integration einer erweiterten Funktionalität in Strukturbauteilen gearbeitet. Das Eingießen oder Aufdrucken elektronischer Komponenten sei hier als Beispiel erwähnt. Diese neuen technologischen Möglichkeiten bieten zahlreiche Ansätze zu intensiven Industriekooperationen.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt wurde in Bremerhaven das Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik gegründet. Schwerpunkt ist die Offshore-Windenergie, für die ein spezielles Prüffeld in Bremerhaven eingerichtet wird. Windenergieanlagenbauer sowie ihre Zulieferer, die maritime Anlagen planen, entwickeln und bauen, können ab 2006 vor Ort das Know-how aus Bremen und Darmstadt gezielt nutzen und von der Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Spezialisten profitieren.

In beiden Beispielen geht das IFAM neue Wege in der Zusammenarbeit und Arbeitsorganisation.

Unser Ziel ist erreicht, wenn Auftraggeber und Kooperationspartner das IFAM wie folgt charakterisieren: Das IFAM ist mehr als die Summe seiner Mitarbeiter, seiner Geschäftsfelder, seiner Kompetenzen. Es ist ein kompetenter, zuverlässiger Partner, mit dem man erfolgreich zusammenarbeiten kann.

Zurückblickend auf das vergangene Jahr stellen wir fest, dass sich das IFAM aufgrund seiner Zielsetzung erfolgreich weiterentwickelt hat. Dies war nur möglich durch das entgegengebrachte Vertrauen unserer Auftraggeber und Kooperationspartner sowie den Einsatz unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Dafür möchten wir uns ganz herzlich bedanken.



O.-D. Hennemann



M. Busse

## »Auf das Können unserer Mitarbeiter kommt es an«



**Professor Dr. Otto-Diedrich Hennemann ist sicher: Das Zitat »Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile« passt hervorragend zur strategischen Ausrichtung des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen. Wer seinen Kunden dauerhaft und auf verschiedenen Ebenen einen Mehrwert bieten will, ist jedoch permanent gefordert. Alle Räder müssen optimal ineinander greifen.**

Professor Dr. Hennemann

Herr Hennemann, die hohe Kompetenz des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen wird aus den Fähigkeiten seiner einzelnen »Bestandteile« gespeist. Wissen und Erfahrung gibt es beim einzelnen Mitarbeiter, bei den Arbeitsgruppen, den Organisationseinheiten und in den Netzwerken. Zusammen kommt dann mehr als nur die Summe dieser Kompetenzen heraus.

Richtig. Um es zu verdeutlichen: Wir beschäftigen uns ja mit Materialien. Material besteht zunächst aus den kleinsten Bausteinen, den Atomen. Aus dem Verbund verschiedener Materialien wird dann ein Bauteil in unserem Sinne. Bestünde ein Bauteil nur aus einem einzigen Werkstoff, wäre seine Nutzung oftmals eingeschränkt. Dass man verschiedene, spezifische, am besten geeignete Materialien zusammenbringt, das ergibt den größeren Nutzen, den Mehrwert. Diese Zusammenhänge lassen sich auf das Fraunhofer IFAM übertragen.

**Die Dinge, die das Institut in Forschung und Entwicklung beschäftigen, sind also eine Art Vorlage für das eigene Wirken?**

Wobei es für mich zwei Blickwinkel gibt. »Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile« gilt für das Fraunhofer IFAM im Inneren, aber auch in seinen Außenbeziehungen. Innen und außen müssen miteinander verknüpft sein.

**Schauen wir auf den »kleinsten Baustein« des Fraunhofer IFAM, die Mitarbeiterin oder den Mitarbeiter. Sie bringen ihr Expertenwissen ein, aber auch ihr Erfahrungswissen, ihr Privatleben, ihre ureigenen Besonderheiten. Das alles prägt sie – und sie müssen sich damit unter Kolleginnen und Kollegen bewegen.**

Exakt. Für uns ist die Individualität jedes Menschen sehr wichtig. Doch diese Menschen treffen bei uns auf andere Menschen. Durch ihren Umgang miteinander, über die Verknüpfungen der jeweiligen speziellen Neigungen, Interessen

und Kenntnisse formen sich bei uns Arbeitsgruppen. Aus mehreren Gruppen wird dann eine Organisationseinheit (OE) gebildet. Die Organisationseinheiten sind auch fachliche »Gesprächsrunden«, in die man sich mit seinem speziellen Wissen fruchtbar einbringt. Aus all unseren Organisationseinheiten bildet sich schließlich das Institut – und das ist viel mehr als die Summe der Mitarbeiterzahlen oder der wirtschaftlichen Kennzahlen. Die Mitarbeiter wirken bei uns so, dass sie ihr Wissen und Können zum Nutzen aller anwenden. Die Infrastruktur im Fraunhofer IFAM ist so gestaltet, dass die Mitarbeiter einen optimalen Wirkungsraum vorfinden.

**Wie positionieren Sie Mitarbeiter denn »richtig« – im Institut, aber auch im Kontakt zum Kunden?**

Wenn jemand für ein bestimmtes Arbeitsfeld des Instituts – etwa Windenergie – bereits ein besonderes Interesse mitbringt, kann dies berücksichtigt werden. Natürlich braucht diese Mitarbeiterin oder dieser Mitarbeiter andere Randbedingungen als jemand, der bei uns für die Automobilindustrie arbeitet. Ich muss dabei beachten, dass sich die Arbeitsweisen in den verschiedenen Industriebereichen unterscheiden und sich sogar spezifische »Fachsprachen« entwickelt haben. Experten und Branchen miteinander zu verbinden, das ist die Aufgabe des Fraunhofer IFAM. Wir müssen in der Lage sein, die verschiedenen »Sprachen« der Branchen zu verstehen, sonst werden wir nicht akzeptiert. Wenn man keine Insiderkenntnisse hat, kann man für den industriellen Anwender keinen Mehrwert leisten – und hat mit seinem Angebot keine Chance. Es ist unsere Aufgabe, unseren Beschäftigten die Rahmenbedingungen zu schaffen, unter denen sie den Bedarf in der Industrie erkennen und dort ihr Wissen in Innovation umsetzen können. Sie müssen dabei in der Lage sein, ihr Wissen so zu transformieren, dass es im Unternehmen nutzbar wird. Das ist dann ein »Können«. Auf dieses Können unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kommt es an.

**Sie bilden Arbeitsgruppen und Organisationseinheiten aus Menschen mit unterschiedlichen Interessen und Kenntnissen. Diese greifen dann sozusagen als Räder effizient ineinander – das ist dann »gelebte Interdisziplinarität«. Wie funktioniert so etwas am Fraunhofer IFAM?**

Wir haben viele Spezialisten: z. B. Ingenieure, Physiker, Chemiker, Mathematiker, Werkstoffwissenschaftler, Techniker, Laboranten und Fachkräfte in der Verwaltung. Die bringen zunächst einmal unterschiedliche Denkstrukturen und Fachsprachen mit. Sie lehren an Hochschulen und diskutieren mit Partnern aus der Industrie, müssen eine Vielzahl von fachlichen Anforderungen erfüllen und hohe Flexibilität im Denken aufweisen. Denn sie bekommen ständig unterschiedliche Informationen, die in den persönlichen Netzwerken laufend weiterentwickelt werden. Man muss diesen Mitarbeiterinnen

und Mitarbeitern Entwicklungsfreiräume geben, die Möglichkeit, sich in den Gruppen immer wieder auszutauschen und abzugleichen. Dann wird aus dem speziellen Wissen des Einzelnen ein gemeinsames Wissen, das im Institut verwendet werden kann. So wird für das Institut das nutzbare »Können« generiert, das wir den Auftraggebern anbieten. Diese erkennen dann, dass sie mit uns einen Mehrwert erreichen. Zuerst muss man jedoch genau verstehen, was der Kunde benötigt. Deshalb identifizieren wir uns hochgradig mit dem Kunden, um ihm dann zielgerichtet etwas Nutzbares an die Hand geben zu können.

**Bedeutet das nicht viel kommunikativen Aufwand? Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern muss doch bestimmt immer wieder bewusst gemacht werden, wie wichtig das »Mit-teilen« des Wissens und des Könnens mit allen weiteren Beteiligten innerhalb und außerhalb des Instituts ist.**

Dafür haben wir gezielt Kommunikationsebenen geschaffen. Es gibt Sitzungen, in denen alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter informiert werden. Abwechselnd stellen dort die verschiedenen Arbeitsgruppen ihre Projekte und speziellen Weiterentwicklungen vor. Eine ganz effiziente Kommunikation über Gruppen hinweg entsteht z. B. dadurch, dass die Mitglieder einer Organisationseinheit nicht gemeinsam in einem Gebäudeteil »Tür an Tür« sitzen, sondern im Haus verteilt sind. Daneben gibt es im Institut »Marktplätze«, wie das Sekretariat, die Kopierer, die Küchen usw., Orte, wo man sich trifft und kurze Informationen miteinander austauscht und lernt. Auch dies ist eine bewusst gewählte Gestaltungsform, um ein Netzwerk zu generieren, in das alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Fraunhofer IFAM integriert sind.

**Das Netz endet nicht vor der Institutstür. Der Netzwerkgedanke ist ja in der gesamten Fraunhofer-Gesellschaft sehr wichtig. Wie wird so etwas organisiert? Wie weiß ein Mitarbeiter, wo er innerhalb der Fraunhofer-Welt für einen Kunden noch zusätzliches Wissen und Können generieren kann?**

Es gibt viele Möglichkeiten für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der 58 Fraunhofer-Einrichtungen, miteinander zu kommunizieren. Die Institutsleiter eines Fraunhofer-Verbundes treffen sich regelmäßig. Wir gehören z. B. zu dem Verbund »Werkstoffe, Bauteile«, in dem elf Institute zusammenarbeiten. Die Ebenen darunter bilden so genannte Themenverbände. In Themenverbänden engagiert man sich, bearbeitet gemeinsam Projekte und lernt sich über die Arbeit besser kennen.

Zudem initiiert die Fraunhofer-Gesellschaft eigene Förderprogramme, in denen man Zukunftsthemen gemeinsam bearbeitet. Sinn dieser internen Förderung ist, die Zusammenarbeit und Kommunikation der Institute im Fraunhofer-Verbund voranzutreiben und neues Wissen zu generieren. Allein aus diesen Anreizen heraus ist jeder Mitarbeiter gut beraten, sich darüber zu informieren, was in der Fraunhofer-Gesellschaft los ist. Daneben haben wir mehrere ausgezeichnete, regelmäßig erscheinende Publikationen.

**Ihre technische Ausrüstung ist hervorragend. Sie haben gut ausgestattete Labors, können Produktionsbedingungen nachstellen, haben ein tolles Technikum. Im Zusammenspiel kommt auch hier ein Mehrwert heraus. Wie wird so etwas strategisch aufgebaut?**

Wenn man wie das Fraunhofer IFAM den Netzwerkgedanken verfolgt, muss man das Netz von vornherein definieren – und sich auch entscheiden, was man nicht machen will. Man konzentriert sich auf seine Ziele und verfolgt diese nach innen und außen. Hat man sich entschieden, muss man strategisch investieren. Daraus wird dann wieder eine Abfolge – jede Investition, jedes Labor, jedes Technikum ist ein Schritt hin zum zielgerichtet geplanten Gesamtsystem. Selbst in der Ausstattung ist es also notwendig, dass man sich systemfähig organisiert. Es gehören immer wieder Zielüberprüfungen und Neuinvestitionen dazu, um das Wachstum eines solchen Systems voranzutreiben. Wichtig ist es, in der Gesamtinnovationsdynamik der Wirtschaft mitzuhalten, um dann den Unternehmen das bereits zitierte »Können«, den Mehrwert zu liefern. Alles muss passen, denn Fehlinvestitionen kann man sich nicht leisten. Schwierig ist immer, heute eine Investitionsentscheidung zu treffen, die sich erst in der Zukunft bezahlt macht. Wenn man dabei eine falsche Entscheidung trifft, wird man das später sehr schmerzhaft spüren. Bislang sind wir immer sehr gut aufgestellt gewesen. Es ist daher eine permanente Aufgabe, die gute Position auch in Zukunft zu halten – und die Zukunft zu gestalten.

## »Der Vision ein Stück näher und den Turn-around geschafft«



**Professor Dr.-Ing. Matthias Busse lächelt: Wir haben den richtigen Kurs eingeschlagen. Die Navigation stimmt. Mit »frischem Wind« sowie einer kreativen und hoch motivierten Mannschaft konnten bereits im Jahr 2005 aus den innovativen Impulsen interessante Projekte akquiriert werden. Zielgerichtet in strategischen Partnerschaften rückt die Verwirklichung der Vision vom intelligenten Bauteil näher.**

Professor Dr.-Ing. Busse

**Herr Busse, im Frühjahr 2006 werden es drei Jahre, seit Sie nach Bremen gekommen sind und den Institutsteil Formgebung und Funktionswerkstoffe am IFAM übernommen haben. Welche Bilanz ziehen Sie am Ende des Jahres 2005?**

Gerade das Jahr 2005 war für unseren Institutsteil ein ganz ausschlaggebendes und richtungweisendes Jahr. Denn heute können wir rückblickend sagen, dass die Weichenstellungen, die wir in den Jahren 2003 und 2004 vorgenommen haben, jetzt ihre positiven Ergebnisse zeigen. Eine strategische Neuausrichtung, wie wir sie seinerzeit in die Wege geleitet haben, braucht in einem Forschungsinstitut wie dem IFAM eine gewisse Zeit, bis sie spürbar ist. Dies hängt zum einen damit zusammen, dass die Anbahnung größerer Industrieprojekte oder auch öffentlich geförderter Projekte eine deutliche Vorlaufzeit braucht. Andererseits benötigt auch die Wahrnehmung von außen eine gewisse Zeit, bis unser modifiziertes und erweitertes Themenportfolio bekannt wird und sich im Bewusstsein unserer Kunden und Partner verankert. Beide Aspekte zeigen nun ihre positive Auswirkung.

**Woran machen Sie die positiven Auswirkungen der strategischen Neuausrichtung fest, und wie lässt sich dies messen?**

Nun, einige Dinge lassen sich natürlich eindeutig in Zahlen fassen, andere Faktoren sind eher implizit zu erkennen. Zunächst sind da die betriebswirtschaftlichen Fakten sowohl im Rückblick als auch in der Vorausschau zu nennen. Wir haben es geschafft, aus einer finanziell sehr angespannten Situation innerhalb von nur zwei bis drei Jahren das Ruder herumzuwerfen und wieder eindeutig auf Erfolgskurs zu steuern, wenn ich das als ambitionierter Segler so sagen darf. In der Industrie würde man von einem klassischen Turn-around sprechen, und wir messen hier ja durchaus mit industriellem Maßstab. Im Jahr 2005 haben wir hier sicher die entscheidenden Schritte nach vorne machen können, und wenn ich mir die Perspektive für die nächsten zwei Jahre ansehe, so blicken wir bereits heute auf eine sehr viel versprechende Projektsituation.

**Heißt das, dass die neuen Themen bei den Kunden positiv aufgenommen werden?**

Unbedingt. In vielen Gesprächen machen wir die erfreuliche Erfahrung, dass wir einerseits mit den über viele Jahre gefestigten Kompetenzen bei unseren Kunden neue Projekte initiieren können. Dies betrifft zum Beispiel die pulvermetallurgische Werkstoff- und Fertigungskompetenz in Bremen und in Dresden. Und zum anderen stoßen wir mit unseren neuen Themen, die insbesondere aus den Bereichen der Mikro- und Nanostrukturierung kommen, in vielen Branchen auf ein breites Interesse und können gerade in Bezug auf sehr innovative Ansätze neue Impulse geben. Auch unsere gießereitechnischen Themen profitieren von neuen Ideen, die wir erfolgreich umsetzen konnten. Hier ist es uns beispielsweise gelungen, unsere langjährige Kompetenz des Eingießens empfindlicher Strukturen um die gießtechnische Integration von piezokeramischen Sensoren und Aktoren und sogar zum Eingießen von RFIDs – also elektronischen Bauelementen zur drahtlosen Kommunikation – zu erweitern.

**»Smarter – smaller – safer«, das war das Motto, das Sie vor einem Jahr ausgerufen haben. Inwiefern hat dieses Motto auch heute noch Gültigkeit, und wo findet es thematische Umsetzung?**

»Höher – schneller – weiter« heißt das Motto, wenn man sportliche Höchstleistungen aufstellen will. Um wissenschaftliche Höchstleistungen und deren anwendungsorientierte Umsetzung geht es auch weiterhin bei uns am IFAM. Von daher hat das Motto »smarter – smaller – safer« mehr denn je Gültigkeit für unsere Arbeiten. Und das spiegelt sich natürlich auch inhaltlich in den Themen wider, an denen wir arbeiten.

»Smarter«, weil wir intensiv an der fertigungstechnischen Integration von Struktur- und Funktionswerkstoffen arbeiten. Hier geht es darum, sensorische und aktorische Fähigkeiten in Bauteile zu integrieren, ohne dass man nachträglich Sensoren ans Bauteil montieren muss. Wir wollen den Bauteilen also eine gewisse Intelligenz oder zumindest Sensibilität verleihen. Aber auch Funktionsintegration im Sinne der Reduzierung von Produktionsschritten kann hiermit gemeint sein. Unsere Technologieplattform des »Functional Printing« spielt dabei eine wichtige Rolle, beispielsweise mit dem Aufdrucken elektrischer oder elektronischer Strukturen auf nahezu beliebige Oberflächen.

»Smaller«, weil unsere Ansätze der Mikrofertigung weiter ausgebaut werden. Wir können hier auf unseren pulvermetallurgischen Erfahrungen aufbauen und haben das Mikro-MIM-Verfahren, also den Mikrospritzguss für metallische Werkstoffe, als ein zentrales Formgebungs- und Fertigungsverfahren für kleine und Kleinstbauteile qualifiziert. Wie auch bei den größeren Bauteilen spielt hier unter anderem die 2K-Technologie

– also zwei Werkstoffe in einem Bauteil, hergestellt in einem Formgebungsschritt – eine zukunftsweisende Rolle, auch im Sinne der Funktionsintegration.

Und schließlich spielt auch das dritte Stichwort – »safer« – für uns eine wichtige Rolle. Für mich hat dieser Aspekt auch eine sehr visionäre Bedeutung. Es geht hier um die sichere Auslegung leichter Strukturen – einer Aufgabenstellung, wie sie in vielen Anwendungen, beispielsweise im Flugzeug- und Fahrzeugbau, gefordert wird. Wir arbeiten daran, dass Bauteile zukünftig ihre Betriebsumgebungen erfassen, bewerten und kommunizieren. Wenn ein technisches Bauteil also »Schmerz« empfindet und dies mitteilt, lange bevor es »bricht«, können ganz andere Wege in der Entwicklung und Auslegung von Bauteilen beschritten werden.

**Dieser Ansatz hört sich aber wirklich recht visionär an. Wie soll denn das dafür notwendige Know-how aufgebaut werden?**

Das Team am IFAM bringt hier zunächst seine Erfahrungen und Kenntnisse der Materialwissenschaften und der Fertigungstechnologien ein. Darüber hinaus werden für diesen Ansatz auch Kenntnisse aus der Elektronik, der Datenübertragung und der Systemzuverlässigkeit benötigt. Wir kommen mit unserem Ansatz unmittelbar in das Gebiet der Adaptronik, das ja als eine der Leitinnovationen in der Fraunhofer-Gesellschaft gilt. Ich sehe hier eine große Chance in Kooperationen mit Partnern im Bremer Umfeld, mit anderen Fraunhofer-Instituten und natürlich in Entwicklungspartnerschaften mit der Industrie. Wir werden hier also nicht alles alleine machen, sondern hier setze ich auf strategische Partnerschaften mit Win-win-Situationen.

**Ihre Aktivitäten an der Universität erfordern ja sicherlich auch einiges an Einsatz. Wie haben sich die Dinge dort entwickelt?**

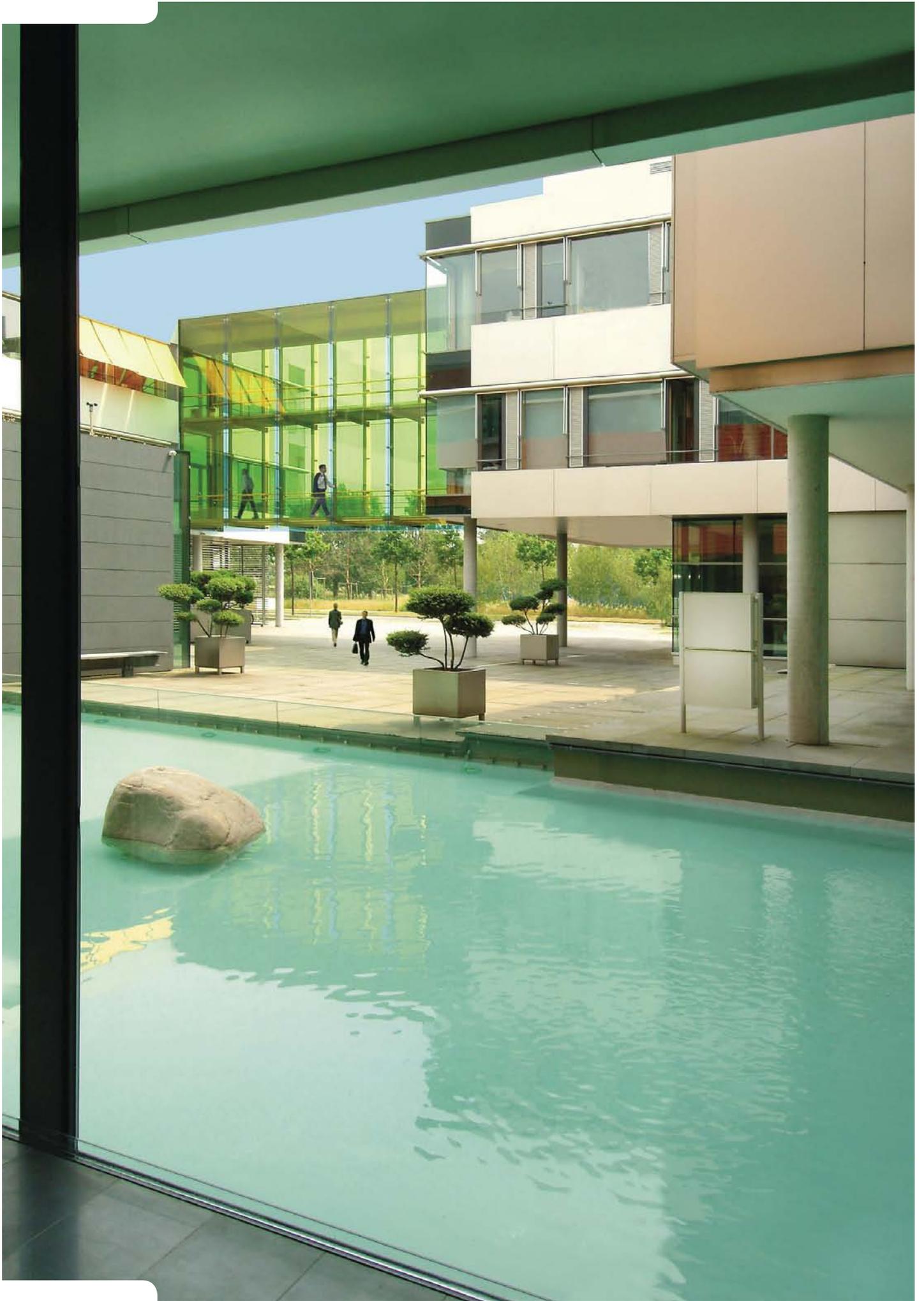
Durchweg positiv. Mit vielen Kollegen aus dem Fachbereich Produktionstechnik konnte ich die Zusammenarbeit intensivieren. Dabei ist sicherlich auch das gegenseitige Verständnis für gemeinsame inhaltliche Ziele gewachsen. Hieraus lassen sich für die nächsten Jahre Kooperationen herleiten, die für alle Beteiligten neue Chancen bieten. Dies geht übrigens inzwischen auch über den Fachbereich Produktionstechnik hinaus, denn die Chancen für interessante Projekte gemeinsam mit Kollegen beispielsweise aus der Physik oder der Elektrotechnik schätze ich sehr positiv ein. Und wenn wir thematisch auch mit dem Fachbereich Biologie weiter vorankommen – und erste spannende Ideen hierzu gibt es bereits –, dann sehe ich meine Ziele vom intelligenten Bauteil im Zusammenwachsen der Ingenieurwissenschaften und mit Ansätzen aus der Biologie ein gutes Stück näher rücken.

**Das hört sich ja alles sehr viel versprechend an. Worin liegt denn Ihrer Einschätzung nach der Schlüssel zu den bisher erreichten Erfolgen?**

Hier kann ich nahtlos an das Motto des diesjährigen Jahresberichtes anknüpfen: Das Ganze ist mit Blick auf das zurückliegende Jahr natürlich um ein Vielfaches mehr als die Summe der Teile. Das bedeutet im Klartext, dass die Erfolge als eine echte Mannschaftsleistung zu sehen sind. Einzelne hätten das so nicht geschafft – das ging nur, weil alle an einem Strang gezogen haben. Und das mit einer Energie und einem Einsatz, den ich großartig finde. Das habe ich auch gemeint, als ich vorhin von den Faktoren sprach, die sich nicht direkt in Zahlen fassen lassen: Die Motivation in der gesamten Mannschaft ist sehr hoch, und die Stimmung ist optimistisch. Es macht wirklich viel Spaß zu sehen, wie viel Kreativität in den Köpfen hier am IFAM vorhanden ist, und ich denke, dass diese Kreativität nicht nur zu den bisherigen, sondern auch für die zukünftigen Erfolge der Schlüssel ist. Ich möchte an dieser Stelle allen Beteiligten meine große Anerkennung aussprechen und mich für das hohe Engagement jedes Einzelnen bedanken.

**Und wie geht es weiter? Was haben Sie sich für 2006 vorgenommen?**

Im Wesentlichen die weitere Ausgestaltung des eingeschlagenen Weges. Wir haben uns 2005 das Potenzial für personelles Wachstum in den kommenden Jahren erarbeitet. Und darauf werden wir aufbauen, im wahrsten Sinne des Wortes. Es gibt viele weiterführende Ideen, die in Kooperation mit Partnern zu neuen inhaltlichen Schwerpunkten unter der Überschrift »Intelligente Bauteile« führen können. Ich bin optimistisch, dass wir in einem Jahr auf unserem Weg weitere Erfolge vermelden können.



# Das Institut im Profil

## Das Institut im Profil

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung leistet aktive Forschungs- und Entwicklungsarbeit in den Bereichen

### **Klebtechnik und Oberflächen, Formgebung und Funktionswerkstoffe.**

Der Institutsbereich Klebtechnik und Oberflächen bietet der Wirtschaft qualifizierte Entwicklungen für die Klebtechnik, Plasmatechnik und Lacktechnik an.

Die Leistungen des Institutsbereichs werden von vielen industriellen Partnern aus sehr unterschiedlichen Branchen nachgefragt. Die wichtigsten Märkte und Kunden sind zurzeit der gesamte Fahrzeugbau – Luft, Straße, Schiene, Wasser – sowie dessen Zulieferer, der Maschinen- und Anlagenbau, die Elektro- und Elektronikindustrie, der Haushaltsgerätebau, die Medizintechnik sowie die Informations- und Kommunikationstechnik.

Ein Angebot, das die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ergänzt und von allen Branchen genutzt wird, ist die zertifizierende Weiterbildung im Bereich der Klebtechnik. Nach der erfolgreichen Implementierung des klebtechnischen Personalqualifizierungskonzeptes im deutschsprachigen Raum und der Durchführung von Weiterbildungslehrgängen in weiteren europäischen Ländern werden die Lehrgänge jetzt auch in den USA für multinational tätige Unternehmen durchgeführt.

Das Arbeitsgebiet Klebtechnik gliedert sich in die Arbeitsgruppen Klebstoffe und Polymerchemie, Biomolekulares Oberflächen- und Materialdesign, Anwendungstechnik, Fertigungstechnik, Kleben in der Mikrofertigung, Werkstoffe und Bauweisen.

Die Plasmatechnik mit ihren Arbeitsgruppen Niederdruck-Plasmatechnik und Atmosphärendruck-Plasmatechnik sowie die Lacktechnik sind im Arbeitsgebiet Oberflächen zusammengefasst.

Ergänzt werden beide Arbeitsgebiete durch die Adhäsions- und Grenzflächenforschung mit den Arbeitsgruppen Angewandte Oberflächen und Schichtanalytik, Elektrochemie und Molecular Modelling.

Der Institutsbereich Formgebung und Funktionswerkstoffe konzentriert sich an den Standorten Bremen und Dresden auf drei Kernkompetenzen: Gießerei- und Leichtmetalltechnologie, Mikro- und Nanostrukturierung, Pulver- und Sintertechnologie. Diese spiegeln sich in den Arbeitsgebieten der sieben Kompetenzfelder:

- Funktionsstrukturen
- Gießereitechnik
- Leichtbauwerkstoffe und Analytik
- Mikrofertigung
- Pulvertechnologie
- Sinter- und Verbundwerkstoffe
- zelluläre Werkstoffe.

Die genannten Kompetenzen adressieren mit Blick auf den Markt insbesondere die Geschäftsfelder Metalle – Präzisionsbauteile und Prozesse, Hochleistungswerkstoffe und funktionelle Oberflächen, Medizintechnik und Biomaterialien sowie den Leichtbau.

Das Spektrum der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegt schwerpunktmäßig im Dreieck Werkstoff – Formgebung – Bauteil.

Im Hinblick auf den anhaltenden Trend zum Leichtbau ist die Reduzierung des Materialeinsatzes in Fahrzeugen, Maschinen und Geräten eine ständige Forderung der Industrie. Mit diesem Fokus sind in den letzten Jahren neuartige Leichtbauwerkstoffe und gießtechnische Verfahren entwickelt worden.

Neue Perspektiven im Bereich der Miniaturisierung von Bauteilen werden z. B. durch das  $\mu$ -MIM-Verfahren aufgezeigt. Die Anwendungsgebiete der bisher gefertigten Teile liegen in der Mikroantriebstechnik, der Elektronik und der Medizintechnik.

Bei der Entwicklung neuer Werkstoffe und Bauteile ist aber nicht nur die Verbesserung der mechanischen Kennwerte bzw. der Formgebung gefragt. Vielmehr rücken zunehmend so genannte »intelligente Werkstoffe« (smart materials) in den Blickpunkt des Interesses. Das Fraunhofer IFAM entwickelt Fertigungsprozesse zur Integration von Funktionen in Werkstoffe und Bauteile. Ziel ist es, Bauteile mit funktionalen Eigenschaften zu versehen, wobei Struktur- und Funktionswerkstoffe fertigungstechnisch zu »intelligenten Bauteilen« (smart products) integriert werden.

## Kurzporträt und Organigramm

1968 als Arbeitsgruppe für angewandte Materialforschung gegründet, hat das Institut über die Erforschung und Weiterentwicklung der Fügeverfahren (Schweißen, Löten, Kleben, Thermisches Spritzen) seine Arbeitsgebiete im Bereich Fertigungs- und Verarbeitungsverfahren systematisch erweitert.

Das Institut hat Standorte in Bremen und Dresden.

Seit 1994 ist Prof. Dr. Otto-Diedrich Hennemann Mitglied der Institutsleitung und leitet den Bereich Klebtechnik und Oberflächen.

Seit 2003 leitet Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse als Mitglied der Institutsleitung den Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe.

In den Arbeitsgebieten Klebtechnik und Oberflächen sowie Formgebung und Funktionswerkstoffe zählt das Institut als neutrale, unabhängige Einrichtung zu den größten in Europa.

Es gehört zum Verbund der 58 Institute der gemeinnützigen Fraunhofer-Gesellschaft. Die Gesellschaft betreibt derzeit an über 40 Standorten in ganz Deutschland rund 80 Forschungseinrichtungen. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über einer Milliarde Euro. Davon entfallen mehr als 900 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Für rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft Erträge aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten.

2005 betrug der Gesamthaushalt des IFAM rund 21,8 Millionen Euro, beschäftigt waren 270 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon 90 Prozent im wissenschaftlich-technischen Bereich.

→ Professor Dr. Otto-Diedrich Hennemann  
(geschäftsführend)  
Leitung Klebtechnik und Oberflächen

Dr.-Ing. Helmut Schäfer  
(Stellvertreter)

● Professor Dr.-Ing. Matthias Busse  
Leitung Formgebung und Funktionswerkstoffe

Dr.-Ing. Frank Petzoldt  
(Stellvertreter)

Professor Dr.-Ing. Bernd Kieback  
Standort Dresden

→ Andreas Heller  
Verwaltungsleitung

## Das Institut in Zahlen

### Haushalt

Der Gesamthaushalt des IFAM (Aufwendungen und Investitionen) im Jahre 2005 setzte sich zusammen aus den Haushalten der beiden Institutsteile Klebtechnik und Oberflächen sowie Formgebung und Funktionswerkstoffe.

**Das vorläufige Haushaltsergebnis betrug insgesamt 21,8 Millionen Euro. Die einzelnen Institutsteile erreichten nachstehende Ergebnisse:**

#### Klebtechnik und Oberflächen

##### Bremen

Betriebshaushalt (BHH)	11,8 Mio. Euro
eigene Erträge	7,3 Mio. Euro
davon	
Wirtschaftserträge	6,4 Mio. Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	0,9 Mio. Euro
Investitionshaushalt (IHH)	0,7 Mio. Euro

#### Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen

Betriebshaushalt (BHH)	4,7 Mio. Euro
eigene Erträge	2,6 Mio. Euro
davon	
Wirtschaftserträge	1,8 Mio. Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	0,8 Mio. Euro
Investitionshaushalt (IHH)	1,6 Mio. Euro

#### Formgebung und Funktionswerkstoffe Dresden

Betriebshaushalt (BHH)	2,9 Mio. Euro
eigene Erträge	2,2 Mio. Euro
davon	
Wirtschaftserträge	1,3 Mio. Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	0,9 Mio. Euro

*Die Entwicklung der Haushalte und Erträge 2001–2005 ist in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.*

### Investitionen

Im IFAM wurden 2005 Investitionen in Höhe von 2,3 Millionen Euro getätigt. Sie verteilen sich wie angegeben auf die verschiedenen Institutsteile. Die wichtigsten Anschaffungen sind aufgeführt.

#### Klebtechnik und Oberflächen Bremen (0,7 Mio. Euro)

- Laser-Plasma-Analysator LIPAN 3002 zur Messung der laserinduzierten Plasma-Spektroskopie
- Arbeitsplatz Elektrochemische Impedanzspektroskopie C14+FAS2
- Kammerfilterpresse
- Folienumwickler
- Roboter für AD-Plasmadüsen
- Messsystem für Bauteiltopographie

#### Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen (1,6 Mio. Euro)

- Aerosol-Druckverfahren zur maskenfreien Applikation von Funktionsstrukturen
- Rheometer
- Oberflächenmessgerät
- Auswerteeinheit zur Qualitätssicherung Mikro-MIM
- Kneterköpfe
- Anlagenteile Vorschäumprozesse, Fertigungsschäumprozesse, Versuchswerkzeuge, Trockenöfen sowie Dampferzeugungsanlage und zugehörige Analyseeinrichtungen zum Aufbau des Fachbereiches Lost-Foam-Gießverfahren

## Personalentwicklung

Am 31. Dezember 2005 waren am IFAM insgesamt 270 Personen (davon 90 Prozent im wissenschaftlich-technischen Bereich) tätig. Im Vergleich zum Vorjahr konnte das Institut bei der Zahl der fest angestellten Mitarbeiter einen Zuwachs von 7 Prozent verzeichnen.

## Personalstruktur 2005

Wissenschaftler	104
Technische Mitarbeiter	76
Verwaltung/Interne Dienste und Azubis	26
Doktoranden, Praktikanten und Hilfskräfte	64

Die Personalentwicklung für die Jahre 2001–2005 ist in Abbildung 3 dargestellt.

### Entwicklung BHH und IHH

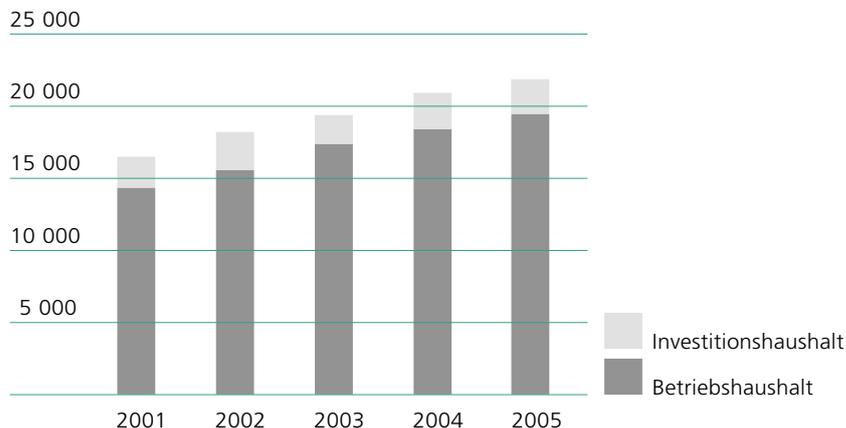


Abb. 1: Aufwendungen (BHH und IHH)

### Ertragsentwicklung Betriebshaushalt

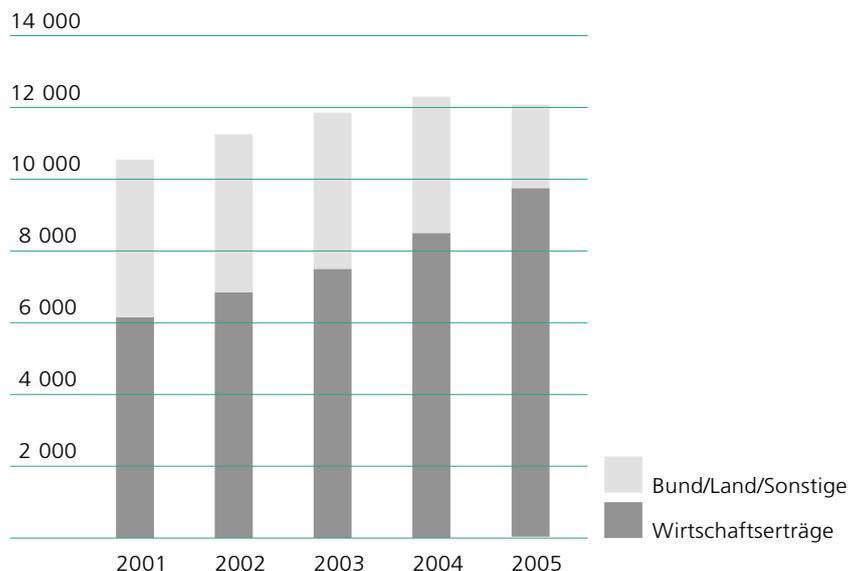


Abb. 2: Erträge (BHH) »IFAM-Gesamt«

### Personalentwicklung

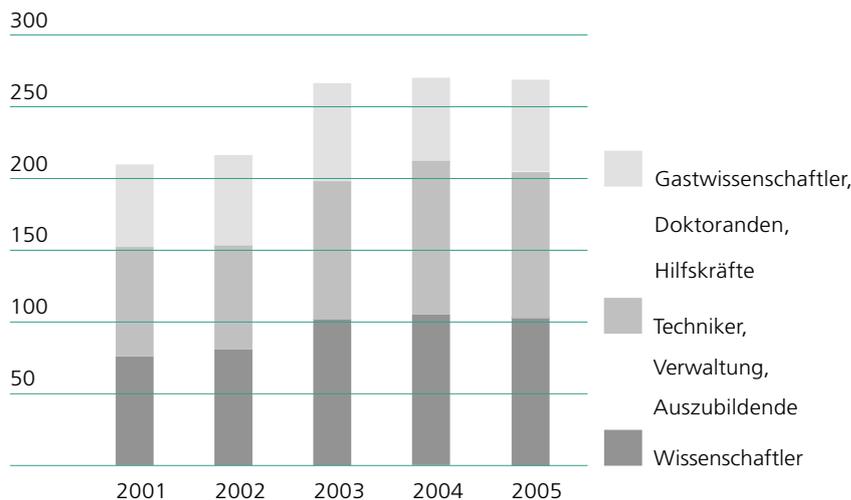


Abb. 3: Personalentwicklung »IFAM-Gesamt«

## Das Kuratorium des Instituts

### Mitglieder

**A. Picker**

Vorsitzender  
Henkel KGaA  
Düsseldorf

**O. R. Dr.-Ing. F. Fischer**

Deutsche Forschungsgemeinschaft  
Bonn

**Prof. Dr. R. X. Fischer**

Universität Bremen

**M. Grau**

Mankiewicz Gebr. & Co.  
Hamburg

**H.-H. Jeschke**

HDO Druckguss- und Oberflächen-  
technik GmbH  
Paderborn

**Prof. Dr.-Ing. J. Klenner**

AIRBUS Société par Actions Simplifiée  
Toulouse, Frankreich

**Staatsrat R. Köttgen**

Der Senator für Bildung und Wissenschaft  
Bremen

**V. Kühne**

Modelltechnik Rapid  
Prototyping GmbH  
Waltershausen

**Dr. rer. nat. A. De Paoli**

Robert Bosch GmbH  
Stuttgart

**Dr. W. Schreiber**

Volkswagen AG  
Wolfsburg

**M. Sc. J. Tengzelius**

Höganäs AG  
Höganäs, Schweden

**C. Weiss**

BEGO Bremer Goldschlägerei  
Bremen

**Dr.-Ing. G. Wolf**

VDG Verein Deutscher Gießerei-  
fachleute  
Düsseldorf

**Min.-Rat Dr. rer. nat. R. Zimmermann**

Sächsisches Staatsministerium für  
Wissenschaft und Kunst  
Dresden

### Gäste

**Prof. Dr. M. Dröscher**

Degussa AG  
Düsseldorf

**Dr. J. Kurth**

KUKA Roboter GmbH  
Gersthofen

**R. Nowak**

Glatt GmbH  
Binzen

**Dr. R.-J. Peters**

VDI-Technologiezentrum GmbH  
Düsseldorf

### Ständiger Gast

**Prof. Dr. G. Müller**

Fraunhofer-Institut für Silicatforschung  
Würzburg

## Die Bremer Wissenschaftslandschaft

Die Wissenschaft hat für das Land Bremen eine besondere Bedeutung: Sie ist Motor für den Strukturwandel und unterstützt mit kreativen Impulsen aus der Forschung maßgeblich die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung der Region.

Innovationen, die hier vor Ort ihre Wirkung entfalten, entstehen aus den internationalen Forschungsnetzwerken Bremer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. So wie in vergangenen Zeiten der Handel dazu beitrug, dass Bremen eine weltoffene Stadt wurde, verbinden heute globale Wissenschaftskooperationen Bremen mit der Welt.

Die lebendige Bremer Wissenschaftslandschaft zeichnet sich nicht nur durch enge Kooperationen von Hochschulen und Forschungseinrichtungen aus, sondern auch durch eine fast einzigartige Verquickung von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Dieser Brückenschlag zwischen Forschern, Unternehmern, Politikern und Bürgern hat vor fünf Jahren bereits im Stadtmarketing seinen Ausdruck im Markenzeichen »city of science Bremen\_Bremerhaven« gefunden, und er war im vergangenen Jahr auch ausschlaggebend dafür, dass Bremen und Bremerhaven bundesweit als »Stadt der Wissenschaft 2005« ausgelobt wurden. Dieser Titel, mit dem der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft gelungene Transferleistungen und gute Kommunikation zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit würdigt, dokumentiert einen weiteren erfolgreichen Schritt im Imagewandel Bremens – von der reinen

Werft- und Kaufmannsstadt hin zum innovationsfreudigen Technologiestandort.

Die Materialwissenschaften bilden in diesem Wissenschaftsgefüge eines der wichtigsten Kompetenzcluster und Wertschöpfungspotenziale in der Region. Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM spielt hierbei eine bedeutende Rolle in dem Verbund von Hochschulen, Forschungsinstituten und Technologieunternehmen und ist durch seine räumliche Nähe zur Universität und zum Technologiepark zentral eingebunden. Mit den Bereichen Klebtechnik und Oberflächen sowie Formgebung und Funktionswerkstoffe ergänzt das IFAM in hervorragender Weise den Wissenschaftsschwerpunkt »Materialwissenschaften« der Universität und passt bestens in die Innovationsoffensive »InnoVision 2010« des Landes Bremen. Trotz der hohen Priorität, die Wissenschaftsförderung in der Landespolitik genießt, drohen Einsparungen von ca. 100 Millionen Euro bis zum Jahr 2010, wodurch allein an der Universität 35 Hochschullehrerstellen abgebaut werden müssen. Ich bin sicher, dass der Verbund materialwissenschaftlicher Einrichtungen auch weiterhin ein stabiles und bedeutendes Element in der Wissenschaftslandschaft darstellen wird, u. a. eingebettet in die lokalen Wirtschafts- und Forschungsschwerpunkte der Luft- und Raumfahrt, Schiffstechnologien und Energietechnik.



Reinhard X. Fischer,  
Mitglied des Kuratoriums,  
Konrektor für Forschung  
und wissenschaftlichen  
Nachwuchs der  
Universität Bremen

## Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum direkten Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftlich erfolgreiche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland.

Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über eine Milliarde Euro. Davon fallen mehr als 900 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, auch um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Namensgeber der Gesellschaft ist der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreiche Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826).

## Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik als ständigem Gastmitglied.

Fraunhofer-Materialforschung umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über die Herstelltechnologie im industrienahen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und deren Verhalten in Systemen. In all diesen Feldern werden neben den experimentellen Untersuchungen in Labors und Technika gleichrangig die Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung eingesetzt. Stofflich deckt der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe ab.

Mit Schwerpunkt setzt der Verbund sein Know-how in den volkswirtschaftlich bedeutenden Handlungsfeldern Energie, Gesundheit, Mobilität, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Bauen und Wohnen ein, um über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen Systeminnovationen zu realisieren.

Mittelfristige Schwerpunktthemen des Verbundes sind unter anderem:

- Steigerung der Effizienz von Systemen der Energiewandlung und Energiespeicherung
- Verbesserung der Biokompatibilität und Funktion von medizin- oder biotechnisch eingesetzten Materialien
- Erhöhung der Integrationsdichte und Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Erhöhung von Sicherheit und Komfort sowie Reduzierung des Ressourcenverbrauchs in den Bereichen Verkehrstechnik, Maschinen- und Anlagenbau.

# Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

## Die Institute

### Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik Ernst-Mach-Institut EMI

Leitung: Prof. Dr. Klaus Thoma  
Eckerstraße 4  
79104 Freiburg  
Telefon: +49 (0) 761 / 27 14-0  
E-Mail [info@emi.fraunhofer.de](mailto:info@emi.fraunhofer.de)  
Internet [www.emi.fraunhofer.de](http://www.emi.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP

Leitung: Dr. Ulrich Buller  
Geiselbergstraße 69  
Wissenschaftspark Golm  
14476 Potsdam  
Telefon: +49 (0) 331 / 5 68-10  
E-Mail [info@iap.fraunhofer.de](mailto:info@iap.fraunhofer.de)  
Internet [www.iap.fraunhofer.de](http://www.iap.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Leitung: Prof. Dr. Gerd Hauser,  
Prof. Dr. Klaus Sedlbauer

#### Institutsteil Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart  
Telefon: +49 (0) 711 / 9 70-00  
E-Mail [info@ibp.fraunhofer.de](mailto:info@ibp.fraunhofer.de)  
Internet [www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)

#### Institutsteil Holzkirchen

Fraunhoferstraße 10  
83626 Valley / Oberlindern  
Telefon: +49 (0) 80 24 / 6 43-0  
E-Mail [info@hoki.ibp.fraunhofer.de](mailto:info@hoki.ibp.fraunhofer.de)  
Internet [www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Eyerer,  
Dr.-Ing. Peter Elsner  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7  
76327 Pfinztal  
Telefon: +49 (0) 721 / 46 40-0  
E-Mail [info@ict.fraunhofer.de](mailto:info@ict.fraunhofer.de)  
Internet [www.ict.fraunhofer.de](http://www.ict.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM

#### Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen

Leitung: Prof. Dr. Otto-Diedrich Hennemann  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 00  
E-Mail [ktinfo@ifam.fraunhofer.de](mailto:ktinfo@ifam.fraunhofer.de)  
Internet [www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

#### Institutsteil Formgebung und Funktionswerkstoffe

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 00  
E-Mail [info@ifam.fraunhofer.de](mailto:info@ifam.fraunhofer.de)  
Internet [www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Leitung: Prof. Dr. Alexander Michaelis  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden  
Telefon: +49 (0) 351 / 25 53-5 19  
E-Mail [info@ikts.fraunhofer.de](mailto:info@ikts.fraunhofer.de)  
Internet [www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung ISC

Leitung: Prof. Dr. Gerhard Sextl  
Neunerplatz 2  
97082 Würzburg  
Telefon: +49 (0) 931 / 41 00-0  
E-Mail [info@isc.fraunhofer.de](mailto:info@isc.fraunhofer.de)  
Internet [www.isc.fraunhofer.de](http://www.isc.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Leitung: Prof. Dr. Joachim Luther  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg  
Telefon: +49 (0) 761 / 45 88-0  
E-Mail [info@ise.fraunhofer.de](mailto:info@ise.fraunhofer.de)  
Internet [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM

Leitung: Prof. Dr. Peter Gumbsch  
Wöhlerstraße 11  
79108 Freiburg  
Telefon: +49 (0) 761 / 51 42-0  
E-Mail [info@iwf.fraunhofer.de](mailto:info@iwf.fraunhofer.de)  
Internet [www.iwf.fraunhofer.de](http://www.iwf.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Leitung: Prof. Dr. Michael Kröning  
Universität, Gebäude 37  
66123 Saarbrücken  
Telefon: +49 (0) 681 / 93 02-0  
E-Mail [info@izfp.fraunhofer.de](mailto:info@izfp.fraunhofer.de)  
Internet [www.izfp.fraunhofer.de](http://www.izfp.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Leitung: Prof. Dr. Holger Hanselka  
Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-1  
E-Mail [info@lbf.fraunhofer.de](mailto:info@lbf.fraunhofer.de)  
Internet [www.lbf.fraunhofer.de](http://www.lbf.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI

Leitung: Prof. Dr. Rainer Marutzky  
Bienroder Weg 54 E  
38108 Braunschweig  
Telefon: +49 (0) 531 / 21 55-0  
E-Mail [info@wki.fraunhofer.de](mailto:info@wki.fraunhofer.de)  
Internet [www.wki.fraunhofer.de](http://www.wki.fraunhofer.de)

## Ständiges Gastinstitut

### Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Leitung: Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters  
Fraunhofer-Zentrum  
Fraunhofer-Platz 1  
67663 Kaiserslautern  
Telefon: +49 (0) 631 / 3 16 00 10 10  
E-Mail [info@itwm.fraunhofer.de](mailto:info@itwm.fraunhofer.de)  
Internet [www.itwm.fraunhofer.de](http://www.itwm.fraunhofer.de)

#### Vorsitzender des Verbundes:

Dr. Ulrich Buller, Fraunhofer IAP

#### Stellvertretender Vorsitzender

des Verbundes:

Prof. Dr. Holger Hanselka, Fraunhofer LBF

#### Assistentin des Verbundes:

Katja Okulla

Fraunhofer IAP

Wissenschaftspark Golm

Geiselbergstraße 69

14476 Potsdam

Telefon: +49 (0) 331 / 5 68-11 51

E-Mail [katja.okulla@iap.fraunhofer.de](mailto:katja.okulla@iap.fraunhofer.de)

*Ausführliche Informationen unter:  
[www.wvb.fraunhofer.de](http://www.wvb.fraunhofer.de)*

## Fraunhofer-Themenverbund Polymere Oberflächen (POLO)

Der Fraunhofer-Themenverbund Polymere Oberflächen (POLO) bündelt die Einzelkompetenzen von sieben Fraunhofer-Instituten und entwickelt innovative Konzepte für die Funktionalisierung von polymeren Oberflächen. Er ist der ideale Partner für Hersteller, Verarbeiter und Kunststoffanwender von der Projektidee bis zur Umsetzung und koordiniert die Kompetenzen und das Know-how der sieben Institute. Diese verfügen über ausgezeichnete Methoden zur Charakterisierung und Analytik von Polymermaterialien, Oberflächen, Grenzflächen und dünnen Schichten. Die technischen Anlagen zählen zu den führenden Ausstattungen weltweit. Die Kompetenzen liegen auf den Gebieten Polymerverarbeitung, Verkapselung von Polymermaterialien, Entwicklung funktioneller Beschichtungsmaterialien, Kaschieren/Verkleben, molekulares Design, polymere Strukturcharakterisierung, Verarbeitungstechnik für Polymere: Flachzeuge, Spritzguss, Tiefziehen, Verbundher-

stellung, Beschichtung, Oberflächenmodifikation, Rolle-zu-Rolle-Verfahren für bahnförmige Materialien sowie Verfahren für großflächige Flachsubstrate und dreidimensionale Teile, Hochskalierung sowie Prozesssicherheit und Automatisierung von Behandlungs- und Beschichtungsprozessen.

### Ansprechpartnerin

Sprecherin des Verbundes:  
Dr. Sabine Amberg-Schwab  
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC  
Neunerplatz 2  
97082 Würzburg  
Telefon: +49 (0) 931 / 41 00-6 20  
Fax: +49 (0) 931 / 41 00-6 98  
E-Mail [sabine.amberg@isc.fraunhofer.de](mailto:sabine.amberg@isc.fraunhofer.de)

### Mitglieder

Fraunhofer-Institute FEP, IAP, IFAM, IGB, IPA, ISC, IVV

## Fraunhofer-Themenverbund Nanotechnologie

Das Schlagwort Nanotechnologie umfasst heute ein breites Spektrum von neuen Querschnittstechnologien mit Werkstoffen, Bauteilen und Systemen, deren Funktion und Anwendung auf den besonderen Eigenschaften nanoskaliger (< 100 Nanometer) Größenordnung beruhen. Die Nanotechnologie ist ein fester Bestandteil unseres alltäglichen Lebens: So sorgen Nanopartikel in Sonnencremes für den Schutz der Haut vor UV-Strahlung. Sie verstärken Autoreifen und ermöglichen pflegeleichte und kratzgeschützte Oberflächen. Die Technologie wird bereits quer durch Branchen und Industriezweige für unterschiedlichste Anwendungen genutzt. In der Fraunhofer-Gesellschaft ist von den derzeit 58 Fraunhofer-Instituten fast ein Drittel aller Institute auf dem Gebiet der Nanotechnologie tätig. Die vielfältigen Kompetenzen und eine große Zahl von Entwicklungsideen wurden im Vorfeld der Gründung des Themenverbunds Nanotechnologie zusammengetragen, evaluiert und konkretisiert. Für den Themenverbund fokussieren sich die

Aktivitäten auf die Leitthemen multifunktionelle Schichten für den Automobilbereich, das Design spezieller Nanopartikel für Biotechnik und Medizin sowie die Verwendung von Carbon-Nanotubes für aktorische Anwendungen.

### Ansprechpartner

Sprecher des Verbundes:  
Dr. Karl-Heinz Haas  
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC  
Neunerplatz 2  
97082 Würzburg  
Telefon: +49 (0) 931 / 41 00-5 00  
Fax: +49 (0) 931 / 41 00-5 59  
E-Mail [haas@isc.fraunhofer.de](mailto:haas@isc.fraunhofer.de)

### Mitglieder

Fraunhofer-Institute IAO, IAP, ICT, IFAM, IFF, IGB, IISB, IKTS, IOF, IPA, ISC, ISE, ITEM, IWM, IWS, IZFP, IZM, LBF, TEG, UMSICHT

## Fraunhofer-Themenverbund Numerische Simulation

Im Fraunhofer-Themenverbund Numerische Simulation von Produkten, Prozessen bündeln achtzehn Fraunhofer-Institute ihre Kompetenzen, die

sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Simulationsverfahren beschäftigen. Die Simulation von Produkten und Prozessen spielt heute eine entscheidende Rolle in allen Phasen des Lebenszyklus eines Produkts, von der modellgestützten Materialentwicklung über die Simulation des Herstellprozesses bis zum Betriebsverhalten und der Platzierung des Produkts am Markt.

Das Ziel des Themenverbunds ist es, institutsübergreifende Aufgabenstellungen aufzugreifen und als Ansprechpartner für öffentliche und industrielle Auftraggeber die Interessen der im Verbund zusammengeschlossenen Fraunhofer-Institute zu vertreten. Insbesondere die Bündelung der Kompetenzen aus dem IuK-Bereich mit dem Werkstoff- und Bauteil-Know-how sowie mit der Oberflächen- und Produktionstechnik verspricht innovative Ergebnisse.

### Ansprechpartner

Sprecher des Verbundes:  
Andreas Burblies  
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 83  
Fax: +49 (0) 421 / 22 46-7 71 83  
E-Mail burblies@ifam.fraunhofer.de

### Mitglieder

Fraunhofer-Institute EMI, FIRST, IFAM, IKTS, ILT, IPA, IPK, IPT, ISC, IST, ITMW, IWM, IWS, IWU, IZFP, LBF, SCAI, UMSICHT

## Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik

Die ständig steigenden Anforderungen an moderne Struktursysteme führen dazu, dass heute zunehmend konventionelle passive, aber auch aktive, mechatronische Ansätze die Grenzen des technisch und wirtschaftlich Machbaren erreichen. Die adaptive Strukturtechnologie, kurz Adaptronik genannt, ist eine innovative, neue Querschnittstechnologie für die Optimierung von Struktursys-

temen und wird als eine der zwölf Leitinnovationen der Fraunhofer-Gesellschaft ausgewiesen. Sie basiert auf einer Funktionsintegration durch die Kombination konventioneller Strukturen mit aktiven Werkstoffsystemen, die die klassischen lasttragenden und formdefinierenden Strukturfunktionen durch sensorische und aktorische Funktionalität erweitern. In Verbindung mit geeigneten adaptiven Reglersystemen können sich adaptive Struktursysteme an die jeweilige Betriebsumgebung optimal selbst anpassen.

Im Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik werden die Kompetenzen von zwölf Fraunhofer-Instituten gebündelt, die in den Bereichen der Entwicklung, Anwendung und Optimierung intelligenter Materialsysteme und Komponenten, Systeme und Anwendungen liegen. Mit ihrer Zusammenarbeit wollen die Institute einen wesentlichen Beitrag leisten, um die komplexen Aufgaben der Adaptronik effizienter zu bearbeiten und dem Anwender einen gemeinsamen, zentralen Ansprechpartner für seine Systementwicklung anzubieten.

### Ansprechpartner

Sprecher des Verbundes:  
Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka  
Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik  
Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt  
Telefon: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 36  
Fax: +49 (0) 61 51 / 7 05-2 14  
E-Mail info@adaptronik.fraunhofer.de

### Mitglieder

Fraunhofer-Institute AIS, EMI, IFAM, IIS, IKTS, ISC, IST, ITWM, IWM, IWU, IZFP, LBF

## Fraunhofer-Allianz Photokatalyse

Die Fraunhofer-Allianz Photokatalyse bietet ein breites Spektrum an Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen im Bereich Photokatalyse: vom Entwurf erster Lösungsansätze bis hin zur fertigen Lösung für den Endanwender. Die Kooperationsmöglichkeiten sind vielfältig – von der Beratung über gemeinsame Projekte zur Material-, Schicht-, oder Produktentwicklung, die Prototypen- und Kleinserienfertigung bis hin zum Transfer unserer Technologien in Ihr Unternehmen.

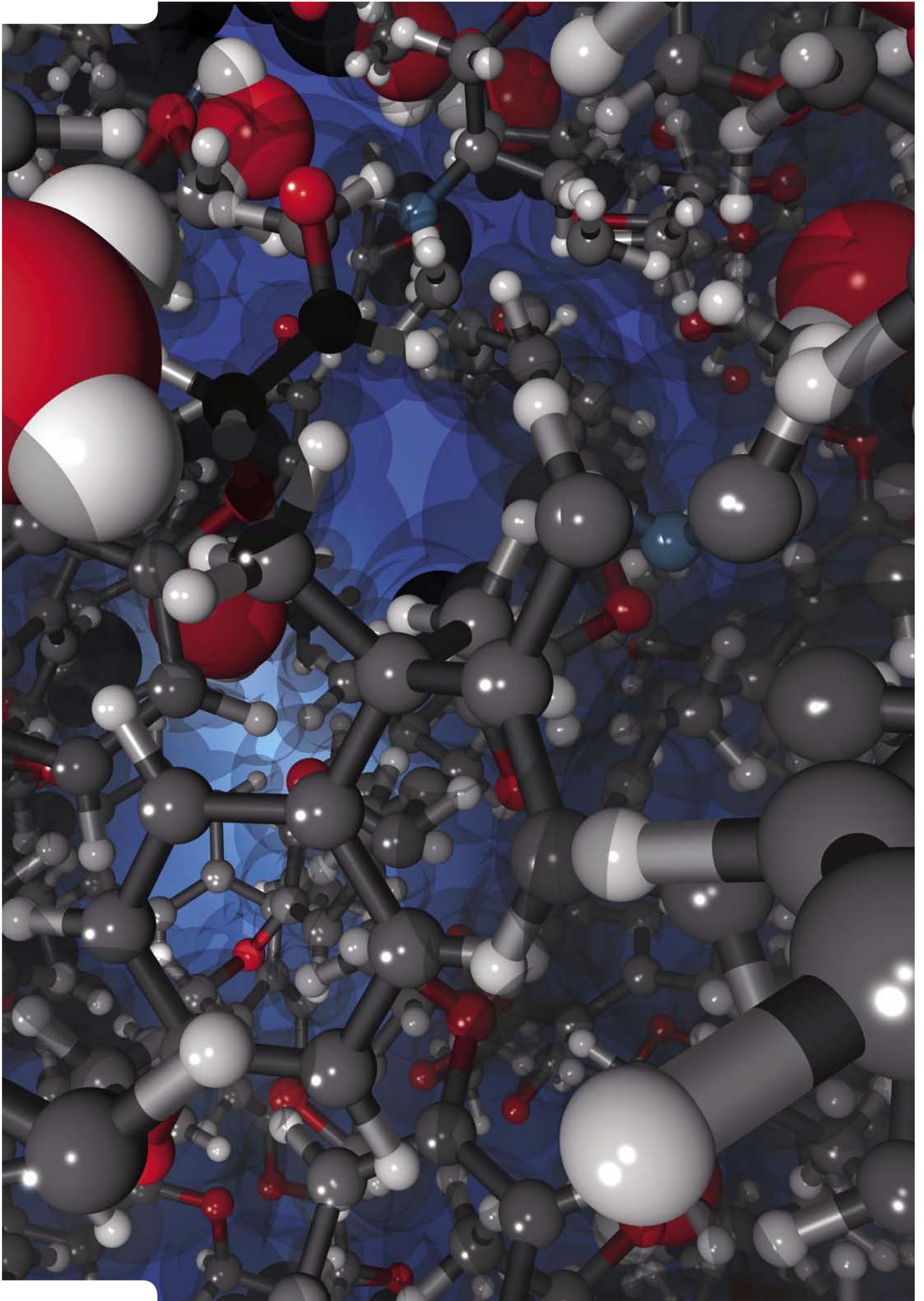
Das Ziel der Fraunhofer-Allianz Photokatalyse ist es, neue wirksamere und leistungsfähigere Photokatalysatoren zu entwickeln. So werden photokatalytisch aktive Schichtsysteme eingesetzt, um Oberflächen selbstreinigend zu machen, Bakterien, Algen und Pilze abzutöten, die Luft zu reinigen oder das Beschlagen von Glasscheiben und Spiegeln zu mindern.

### **Ansprechpartner**

Gesamtprojektleitung:  
Dr. Michael Vergöhl  
Fraunhofer-Allianz für Photokatalyse  
Bienroder Weg 54 E  
38108 Braunschweig  
Telefon: +49 (0) 531 / 21 55-6 40  
Fax: +49 (0) 531 / 21 55-9 00  
E-Mail [vergoehl@ist.fraunhofer.de](mailto:vergoehl@ist.fraunhofer.de)

### **Mitglieder**

Fraunhofer-Institute ICT, IFAM, IGB, IME, ISC, ISE, IST, FEP



# Bereich Klebtechnik und Oberflächen

Ergebnisse Anwendungen Perspektiven



Molekulares Modell zum Transport von Wasser in einer polymeren Beschichtung.

## Kompetenzen und Know-how

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung – Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen – ist die europaweit größte unabhängige Forschungseinrichtung auf dem Gebiet der industriellen Klebtechnik. Mehr als 120 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bearbeiten hier industrienah Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zur Kleb- und Oberflächentechnik. Die Aktivitäten reichen von der Grundlagenforschung bis hin zur technischen Umsetzung und Markteinführung neuer Produkte. Industrielle Einsatzfelder sind überwiegend der Fahrzeug- und Anlagenbau, die Energietechnik mit dem Schwerpunkt Wind- und Solarenergie, die Mikrofertigung sowie die Verpackungs- und Elektroindustrie.

Der Arbeitsbereich Klebtechnik befasst sich mit der Entwicklung und Charakterisierung von Klebstoffen, mit der beanspruchungsgerechten konstruktiven Auslegung und Simulation von Kleb- und Hybridverbindungen sowie deren Charakterisierung, Prüfung und Qualifizierung. Planung und Automatisierung ihrer industriellen Fertigung ergänzen diese Arbeiten. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Prozess-Reviews und zertifizierende Weiterbildungen in der Klebtechnik. Der Arbeitsbereich Oberflächen gliedert sich in die Gebiete Plasmatechnik und Lacktechnik. Maßgeschneiderte Oberflächenmodifizierungen – beispielsweise kleb- und beschichtungsgerechte Oberflächenvorbehandlungen oder korrosionsschützende Beschichtungen – erweitern das industrielle Einsatzspektrum vieler Werkstoffe deutlich oder machen deren technische Verwendung überhaupt erst möglich.

Ein von beiden Bereichen bearbeitetes Feld ist die Oberflächen- und Grenzflächenanalytik. Das dort erlangte Basiswissen trägt zur Sicherheit und Zuverlässigkeit von Klebverbindungen und Beschichtungen bei.

Der Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert, das Werkstoffprüflabor zusätzlich nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Das Klebtechnische Zentrum ist über DVS-PersZert® nach DIN EN ISO/IEC 17024 als akkreditierte Personalqualifizierungsstelle für die klebtechnische Weiterbildung international anerkannt.

### Perspektiven

Die Industrie stellt an die Prozesssicherheit bei der Einführung neuer Technologien sowie der Modifizierung bereits genutzter Technologien hohe Anforderungen. Sie sind für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen maßgebend und richtungweisend. Gemeinsam mit den Auftraggebern werden innovative Produkte entwickelt, die anschließend von den Unternehmen erfolgreich auf den Markt gebracht werden. Die Fertigungstechniken spielen dabei eine immer wichtigere Rolle, weil die hohe Qualität und Reproduzierbarkeit der Fertigungsprozesse wesentliche Voraussetzungen für den Markterfolg sind.

So ist die Klebtechnik im gesamten Fahrzeugbau eine schon länger eingeführte Technologie, deren Potenzial jedoch noch nicht voll ausgeschöpft wird. Leichtbau für den ressourcenschonenden Transport, Recycling und die damit verbundene Frage nach einer gezielten Lösbarkeit von Klebverbindungen sowie der Einsatz von nanoskaligen Materialien bei der Klebstoffentwicklung und -modifizierung sind nur einige Beispiele für die breit gefächerten Tätigkeiten des Instituts. Um weitere Branchen für die Klebtechnik zu gewinnen, gilt für alle Arbeiten der Anspruch:

### **Der Prozess Kleben beziehungsweise das geklebte Produkt soll noch sicherer werden!**

Dieses Ziel lässt sich nur erreichen, wenn alle Stufen der klebtechnischen Fertigung bei der Herstellung von Produkten zusammengefasst und einer ganzheitlichen Betrachtung unterzogen werden.

**Dazu gehören:**

- Anwendungsspezifische Klebstoffauswahl und -qualifizierung, ggf. -modifizierung
- Klebgerechte Gestaltung und Auslegung von Strukturen mit numerischen Methoden (z. B. FEM)
- Vorbehandlung der Oberflächen und Erarbeitung von Korrosionsschutzkonzepten
- Entwicklung klebtechnischer Fertigungsschritte mittels Simulation und Integration in den Fertigungsablauf der Produkte
- Auswahl und Dimensionierung der Applikations-einrichtungen
- Klebtechnische Personalqualifizierung aller, die an der Entwicklung und Fertigung von Produkten beteiligt sind

In allen Bereichen setzt das IFAM verstärkt auf rechnergestützte Methoden. Beispielhaft sind hier die Digitalisierung von Prozessen im Bereich der Fertigungsplanung und die Multiskalen-Simulation von der Molekular-Dynamik in molekularen Dimensionen bis hin zu makroskopischen Finite-Element-Methoden bei der numerischen Beschreibung von Werkstoffen und Bauteilen. Verschiedene spektroskopische, mikroskopische und elektrochemische Verfahren geben einen Einblick in die Vorgänge bei der Degradation und Korrosion von Werkstoffverbunden. Mit diesen »instrumentierten Prüfungen« und begleitenden Simulationsrechnungen werden im IFAM Erkenntnisse gewonnen, die empirische Testverfahren auf der Basis von standardisierten Alterungs- und Korrosionstests nicht bieten.

Weitere wichtige Fragestellungen für die Zukunft lauten: Wo und wie wird in der Natur geklebt? Was können wir daraus für die industrielle Klebtechnik lernen? Untersucht wird bereits der Weg von der Bioadhäsion auf molekularer Ebene bis zu makroskopischen Klebstoffen aus Proteinen. Der Anspruch, Prozesse und Produkte noch sicherer zu machen, wird jedoch nicht nur auf die Klebtechnik beschränkt. Er gilt genauso für die Plasma- und Oberflächentechnik. Branchen mit hohen Ansprüchen an die Oberflächentechnik greifen auf das hohe technologische Niveau des Instituts zurück. Deshalb zählen auf diesem Gebiet namhafte Unternehmen insbesondere aus dem Flugzeug- und Automobilbau zu den Auftraggebern.

**Arbeitsschwerpunkte**

- Formulierung und Erprobung neuer Polymere für Klebstoffe, Laminier-/Gießharze, bis hin zur industriellen Einführung
- Entwicklung von Zusatzstoffen (Nanofüllstoffen, Initiatoren etc.) für Klebstoffe
- Synthese von Polymeren mit Überstruktur und Biopolymeren
- Computergestützte Materialentwicklung mit quanten- und molekularmechanischen Methoden
- Internationalisierung der Lehrgänge zum/zur Klebpraktiker/-in, Klebfachkraft, European Adhesive Engineer (Klebfachingenieur/-in)
- Fertigungstechnik
- Entwicklung innovativer Verbindungskonzepte z. B. für den Fahrzeugbau (Kleben, Hybridfügen)
- Applikation von Kleb-/Dichtstoffen, Vergussmassen (Mischen, Dosieren, Auftragen)
- Kleben in der Mikrofertigung (z. B. Elektronik, Optik, Adaptronik)
- Rechnergestützte Fertigungsplanung
- Ökonomische Aspekte der Kleb-/Hybridfügetechnik
- Konstruktive Gestaltung geklebter Strukturen (Simulation des mechanischen Verhaltens geklebter Verbindungen und Bauteile mithilfe der Methode der Finiten Elemente, Prototypenbau)
- Entwicklung von umweltverträglichen Vorbehandlungsverfahren für das langzeitbeständige Verkleben von Kunststoffen und Metallen
- Funktionelle Beschichtungen durch Plasmaverfahren
- Qualifizierung von Beschichtungsstoffen und Lackierverfahren
- Entwicklung von Lackrezepturen für Spezialanwendungen
- Kennwertermittlung, Schwing- und Betriebsfestigkeit von Kleb- und Hybridverbindungen
- Werkstoffmodellgesetze für Klebstoffe und polymere Werkstoffe (quasi-statisch und Crash)
- Bewertung von Alterungs- und Degradationsvorgängen in Materialverbunden
- Elektrochemische Analytik
- Bewertung und Entwicklung neuer Korrosionsschutzsysteme

# Klebtechnik und Oberflächen

## Arbeitsgebiete und Ansprechpartner

### Institutsleitung Prof. Dr. Otto-Diedrich Hennemann

#### Klebtechnik

Dr.-Ing. Helmut Schäfer  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 21  
E-Mail sch@ifam.fraunhofer.de

#### Arbeitsgruppen

**Klebstoffe und Polymerchemie**  
Entwicklung und Charakterisierung von Polymeren; Nanokomposite; Netzwerkpolymere; Formulierung von Klebstoffen und Funktionspolymeren; chemische und physikalische Analytik.

Dr. Andreas Hartwig  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 70  
E-Mail har@ifam.fraunhofer.de

#### Biomolekulares Oberflächen- und Materialdesign

Peptid- und Proteinchemie; Strukturaufklärung von Proteinen an Oberflächen und in Lösungen; marine Proteinklebstoffe.

Dr. Klaus Rischka  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 82  
E-Mail ris@ifam.fraunhofer.de

#### Fertigungstechnik

Fertigungsplanung; Dosier- und Auftragstechnik; Automatisierung; Hybridfügen; Fertigung von Prototypen; Auswahl, Charakterisierung, Qualifizierung von Kleb-, Dicht- und Beschichtungsstoffen; Schadensanalyse.

Dipl.-Ing. Manfred Peschka  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-5 24  
E-Mail pe@ifam.fraunhofer.de

#### Kleben in der Mikrofertigung

Elektrisch/optisch leitfähige Kontaktierungen; adaptive Mikrosysteme; Dosieren kleinster Mengen; Eigenschaften von Polymeren in dünnen Schichten; Fertigungskonzepte.

Dr.-Ing. Helmut Schäfer  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 41  
E-Mail sch@ifam.fraunhofer.de

#### Werkstoffe und Bauweisen

Werkstoff- und Bauteilprüfung; Faserverbundbauteile; Leicht- und Mischbauweisen; Auslegung von strukturellen Klebverbindungen.

Dr. Markus Brede  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 76  
E-Mail mb@ifam.fraunhofer.de

#### Weiterbildung/Technologietransfer

Qualifizierung zum/zur Klebpraktiker/-in, Klebfachkraft, Adhesive Bonding Engineer (Klebfachingenieur/-in) mit europaweit anerkannten DVS®-EWF-Zeugnissen; Inhouse-Lehrgänge; Beratung; Fertigungsqualifizierung; Studien; Arbeits- und Umweltschutz.

Prof. Dr. Andreas Groß  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 37  
E-Mail gss@ifam.fraunhofer.de

#### Prozess-Reviews

Analysen von Entwicklungs- und/oder Fertigungsprozessen unter klebtechnischen Aspekten und unter Berücksichtigung der Richtlinie DVS® 3310; Prozess- und Schnittstellen; Design; Produkt; Nachweis der Gebrauchssicherheit; Dokumente; Fertigungsumgebung.

Dr. Dirk Niermann  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 39  
E-Mail dn@ifam.fraunhofer.de

#### Oberflächentechnik

Dr. Guido Ellinghorst  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 99  
E-Mail eh@ifam.fraunhofer.de

#### Arbeitsgruppen

**Niederdruck-Plasmatechnik**  
Oberflächenmodifizierung (Reinigung, Aktivierung für z. B. Verkleben, Bedrucken, Lackieren) und Funktionsschichten (z. B. Haftvermittlung, Korrosionsschutz, Kratzschutz, Easy-to-clean, Trennschicht, Permeationsbarriere) für 3-D-Teile, Schüttgut, Bahnware; Anlagenkonzepte und Pilotanlagenbau.

Dipl.-Phys. Klaus Vissing  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 28  
E-Mail vi@ifam.fraunhofer.de

#### Atmosphärendruck-Plasmatechnik

Oberflächenmodifizierung (Reinigung, Aktivierung für z. B. Verkleben, Bedrucken, Lackieren) und Funktionsschichten für Inline-Anwendungen bei 3-D-Teilen, Bahnware.

Dr. Uwe Lommatzsch  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 56  
E-Mail lom@ifam.fraunhofer.de

#### Lacktechnik

Prüfung und Beratung auf dem Gebiet der Farben, Lacke und Beschichtungsstoffe; Charakterisierung und Qualifizierung von Lacksystemen; Farbmanagement.

Dr. Volkmar Stenzel  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 07  
E-Mail vs@ifam.fraunhofer.de

#### Adhäsion- und Grenzflächenforschung

Dr. Stefan Dieckhoff  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 69  
E-Mail df@ifam.fraunhofer.de

#### Arbeitsgruppen

#### Angewandte Oberflächen- und Schichtanalytik

Oberflächen-, Grenzflächen-, Schichtanalytik; Untersuchung von Adhäsions-, Trenn- und Degradationsmechanismen; Analyse reaktiver Wechselwirkungen an Werkstoffoberflächen; Schadensanalyse; Mikrotribologie.

Dr. Ralph Wilken  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 48  
E-Mail rw@ifam.fraunhofer.de

#### Elektrochemie

Korrosion an metallischen Werkstoffen, unter Beschichtungen und in Klebverbindungen; Untersuchung von Anodiserschichten; elektrolytische Metallabscheidung.

Dr. Michael Schneider  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 35  
E-Mail msch@ifam.fraunhofer.de

#### Applied Computational Chemistry in Interface Science

Modellierung molekularer Mechanismen bei Adhäsions- und Degradationsphänomenen; Strukturbildung an Grenzflächen; Anreicherungs- und Transportprozesse in Klebstoffen und Beschichtungen.

Dr. Peter Schiffels  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-5 67  
E-Mail ps@ifam.fraunhofer.de

#### Dienstleistungszentren

##### Klebtechnisches Zentrum

Prof. Dr. Andreas Groß  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 37  
E-Mail gss@ifam.fraunhofer.de  
Internet www.kleben-in-bremen.de

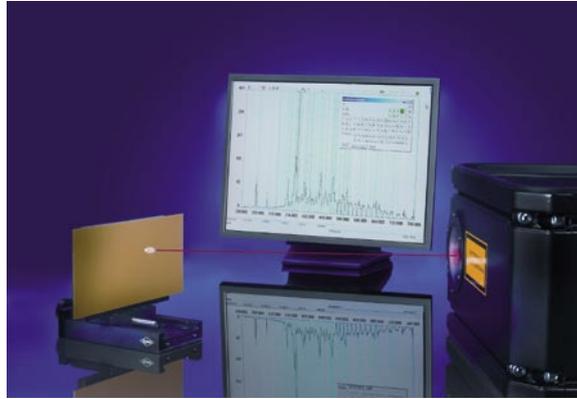
##### Technologiebroker

Dr. habil. Hans-Gerd Busmann  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 18  
E-Mail bu@ifam.fraunhofer.de

# Ausstattung

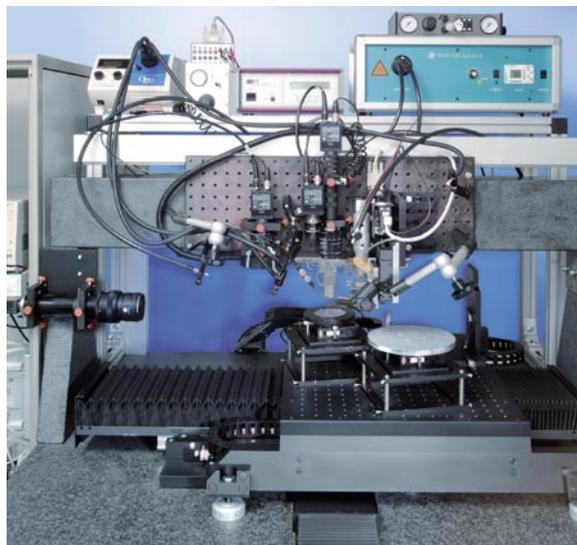
## Bereich Klebtechnik und Oberflächen

- Niederdruck-Plasmaanlagen für 3-D-Teile, Schüttgut und Bahnware bis 3 m<sup>3</sup> (HF, MW)
- Atmosphärendruck-Plasmaanlagen für 3-D-Teile und Bahnware
- Universalprüfmaschinen bis 400 kN
- Anlagen zur Werkstoff- und Bauteilprüfung für hohe Belastungs- und Verformungsgeschwindigkeiten bei ein- und mehrachsigen Spannungszuständen
- Labor-Vakuumpresse mit PC-Steuerung zur Herstellung von Multilayer-Prototypen
- 300-kV- und 200-kV-Transmissions-Elektronenmikroskope mit EDX, EELS und 3-D-Tomograph
- Oberflächenanalytiksysteme und Polymeranalytik mit ESCA, UPS, ToF-SIMS, AES und AFM
- Chromatographie (GC-MS, Headspace, Thermodesorption, HPLC)
- Thermoanalyse (DSC, modulierte DSC, DMA, TMA, TGA, Torsionspendel)
- MALDI-TOF-MS zur Proteincharakterisierung
- Peptidsyntheseautomat
- Lichtstreuung zur Charakterisierung trüber Dispersionen
- Spektroskopisches Ellipsometer
- LIBS (Laserinduced Breakdown Spectroscopy)
- Technikum für organische Synthese
- IR-, Raman-, UV-VIS-Spektrometer
- IR-VCD-Spektrometer (Infrared Vibrational Dichroism)
- Rheologie (Rheolyst AR 1000 N, ARES – Advanced Rheometric Expansion System)
- Wärmeleitfähigkeitsmesseinrichtung
- Dielektrometer
- Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) und Rauschanalyse (ENA)
- Doppelschnecken-Extruder (25/48D) und Knetzer zum Einarbeiten von Füllstoffen in Polymere
- Einschnecken-Messextruder (19/25D) zur Charakterisierung der Verarbeitungseigenschaften von Polymerkompositen
- 12-achsiger Roboter zur Fertigung von Mikroklebverbindungen
- Linux PC-Cluster mit 64 CPUs
- Wave Scan DOI
- Farbmessgerät MA 68 II
- Labordissolver
- Haze Gloss
- Lackapplikationsautomat
- Lacktrockner mit entfeuchteter Luft
- Vollklimatisierte Lackierkabine



Laserinduzierte Breakdown Spektroskopie (LIBS).

- Raster-Kelvin-Sonde
- 6-Achsen-Industrieroboter, 125 kg Traglast, auf zusätzlicher Linearachse, 3000 mm
- Einkomponenten-Kolbendosiersystem SCA SYS 3000/Sys 300 Air
- Einkomponenten/Zweikomponenten-Zahnraddosiersystem t-s-i, umrüstbar auf Exzenter-schneckenpumpen
- Materialzuführungen, von 320-ml-Eurokartusche bis 200-l-Fass, beliebig mit dem t-s-i-Dosiersystem kombinierbar
- PUR-Hotmeltdosierer für wahlweise Raupen- oder Swirlapplikation aus 320-ml-Eurokartusche (Eigenentwicklung)



12-achsiger Roboter zur Fertigung von Mikroklebverbindungen.

## Die klebtechnische Weiterbildung wird internationalisiert

Wenn sich eine gute Idee durchsetzt, ein Produkt überzeugt, eine Marke entsteht, dann ist die Ausbreitung nur eine Frage der Zeit. Das gilt auch für die klebtechnische Weiterbildung, mit der das Fraunhofer IFAM durch seine akkreditierte Bildungseinrichtung »Klebtechnisches Zentrum« seit rund elf Jahren Erfolg hat. Die reichhaltigen Erfahrungen aus mehr als einem Jahrzehnt überbetrieblicher Personalqualifizierung für deutschsprachige Teilnehmer erlauben es dem IFAM jetzt, dieses Know-how über Europa hinaus auch in den USA, China, Japan und weiteren Ländern anzubieten. Das hohe Qualitätsniveau der Ausbildungsgänge zum DVS®-EWF-Klebpraktiker\*, zur DVS®-EWF-Klebfachkraft und zum DVS®-EWF-European Adhesive Engineer (Klebfachingenieur) ist dabei auch international eine absolute Verpflichtung – schließlich hat gerade diese Güte dazu geführt, dass die Fraunhofer-Expertise in der Weiterbildung mittlerweile weltweit anerkannt ist.

Als es Ende Januar 1994 am Fraunhofer IFAM mit dem weltweit ersten Lehrgang zur Klebfachkraft losging, war nicht abzusehen, dass die zunächst auf das deutschsprachige Gebiet beschränkte überbetriebliche Personalqualifizierung in Bremen einmal zum »Exportgut« wird. Als ein zentraler Baustein trug die Weiterbildung des IFAM zur qualifizierten Marktentwicklung der hochmodernen Füge-technik Kleben bei. Schnell wurde klar: In Zeiten rasant zunehmender Innovationsdynamik – auch beim Kleben – müssen die Weiterbildungsangebote für die Anwender in den Unternehmen Schritt halten. Das führte über ein Jahrzehnt zu einer immer dichteren, tieferen und gezielteren Personalqualifizierung in diesem Fachgebiet: Know-how und Qualität entstanden, die sich die Mitarbeiter im Klebtechnischen Zentrum hart erarbeiten mussten.

### »Internationaler Schritt« war zwangsläufig

Eine weitere Bestätigung war das beginnende internationale Interesse an Inhalten und Didaktik der Fraunhofer-Veranstaltungen. Punktuell und mithilfe von Dolmetschern für die jeweilige Landessprache wurden bereits Lehrgänge in Polen und Tschechien durchgeführt; auch bei den Lehrgängen in Bremen begrüßt man immer wieder

Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus anderen Ländern. Dass auf der Basis der erfolgreichen Weiterbildungsgänge der »internationale Schritt« erfolgt, war also letztlich zwangsläufig. Die Premiere fand in Spartanburg (South Carolina) statt, wo der Automobilhersteller BMW sein größtes Werk auf dem amerikanischen Kontinent betreibt. Dort absolvierten 15 Teilnehmer im Jahr 2005 den dreiwöchigen Ausbildungsgang zur DVS®-EWF-Klebfachkraft. Auf diesen Kurs, der für die IFAM-Mitarbeiter Neuland war, bereitete man sich gewohnt gewissenhaft vor. Das Ergebnis war ein harmonischer und erfolgreicher Kurs, bei dem alle 15 Teilnehmer aus dem Rohbau und der Blechfertigung von BMW, aber auch von Zulieferfirmen bestanden.

Die nächsten Entwicklungsschritte führen jetzt zu einer weiteren Ausbreitung. Die erfolgreiche Premiere in den USA hat Mut gemacht und Kontakte zu den richtigen Verhandlungspartnern ermöglicht. Ab Mitte 2006 werden Lehrgänge der Level 1 (Engineer) und 2 (Specialist) von Bremen aus weltweit in englischer Sprache angeboten. In Gesprächen mit dem Adhesive and Sealant Council (ASC), dem Verband der nordamerikanischen Klebstoffhersteller, und der American Welding Society (AWS), dem nordamerikanischen Schweißfachverband, wird derzeit detailliert erörtert, wie das IFAM-Qualifizierungssystem auf diesen Markt übertragen werden kann. Damit nicht genug: Mit dem Klebstoffhersteller Henkel wurde bereits ein Vertrag geschlossen, die Weiterbildung auch in China überbetrieblich durchzuführen. In Japan ist man ebenso interessiert; dort laufen Verhandlungen mit der regierungsnahen Forschungseinrichtung R&D Institute of Metals and Composites for Future Industries (RIMCOF). Gemeinsam mit dem niederländischen Partner Sergem Engineering B. V. wird das Qualifizierungssystem in den Benelux-Staaten vermarktet.

Dass in Nordamerika größtes Interesse an der Weiterbildung »made in Bremen« besteht, ist kein Zufall. Dort hat der Verband der Klebstoffhersteller die Studie »Build the Industry – BTI« anfertigen lassen, in der die Potenziale der Klebtechnik als Ersatz oder Ergänzung für andere Verbindungstechniken herausgearbeitet wurden.

\* DVS = Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.  
EWF = European Federation for Welding, Joining and Cutting



Abb. 1: Theorieunterricht im Klebtechnischen Zentrum in Bremen.

Eine der Kernaussagen dieser Studie ist, dass die Personalqualifizierung dabei ein essenzieller Baustein ist. Das Fraunhofer IFAM stößt mit seinem Angebot exakt in die nordamerikanischen Bedarfe hinein. Indem die dortige Industrie ein bestehendes, bewährtes und anerkanntes Personalqualifizierungssystem übernimmt, spart sie erhebliche Entwicklungskosten. Die in Bremen erdachte und jahrelang in Deutschland durchgeführte Weiterbildung wird dafür an die nordamerikanischen Besonderheiten angepasst.

#### Das Motto lautet »Train the trainer«

Die externen internationalen Kurse werden von den IFAM-Mitarbeitern speziell für die ausländischen Märkte gestaltet; die Durchführung werden Fachkräfte aus den jeweiligen Ländern vornehmen. Für das Institut soll die Vermarktung des Fachwissens in einer Art »Franchise-System« laufen. Dabei gilt, dass die Lehrenden ihr Know-how

durch das Fraunhofer IFAM erhalten – »Train the trainer« ist das Motto. Es wird nicht nur das klebtechnische Know-how weitergegeben, sondern auch die Didaktik und Methodik, mit der die Personalqualifizierung seit Jahren erfolgreich ist. Denn das schlüssige System hinter der Weiterbildung des Fraunhofer IFAM ist ein Ergebnis von mehr als elf Jahren Tätigkeit – ein Erfahrungsschatz, der sich zum Qualitätsprodukt entwickelt hat. Das wissen auch die ausländischen Interessenten.

Das Fraunhofer IFAM achtet bei allen Aktivitäten zur Internationalisierung darauf, dass die hohen Qualitätsmaßstäbe nicht unterschritten werden. Man will sichergehen, dass die klebtechnische Personalqualifizierung weltweit einheitlich durchgeführt wird. Devise: Das, was sich bewährt hat, soll international ausgebaut werden – das ist allemal besser, als Eigenaktivitäten aus allen Ecken und Enden der Welt in einigen Jahren mühsam



Abb. 2: Praxisübungen während des Klebfachkraftkurses bei BMW in Spartanburg, South Carolina (USA).



**Abb. 3:** In Spartanburg wurde jedem Teilnehmer, der den Klebfachkraftkurs erfolgreich abgeschlossen hatte, eine Medaille überreicht.

zusammenzuführen. Die Integration eines bereits anerkannten Systems in viele Klebstoffmärkte ist in Zeiten der Globalisierung die einzig sinnvolle Lösung. Geachtet wird darauf, dass die Personalqualifizierung auch in allen anderen Ländern, die nun damit starten wollen, überbetrieblich läuft.

Durch die Erfolge in der Weiterbildung hat das IFAM in mehrfacher Hinsicht profitiert. So hat es das Institut geschafft, den Begriff Technologietransfer tatsächlich mit Leben zu füllen. Es ist mittlerweile unbestritten, dass die Personalqualifizierung zur Akzeptanzhöhung der Füge-technik Kleben in allen Branchen geführt hat. Zudem ist das Angebot eine erstklassige Maßnahme zur Qualitätssicherung. Dass die Klebtechnik ein Erfolg für die Anwender wird, ist eine Folge gut ausgebildeter Klebpraktiker, Klebfachkräfte und Klebfachingenieure. Das Vertrauen in die Verlässlichkeit der Technologie ist deutlich gestiegen – das ist unser Ziel.

#### Ansprechpartner

Andreas Groß  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 37  
E-Mail: gss@ifam.fraunhofer.de

Dirk Niermann  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 39  
E-Mail: dn@ifam.fraunhofer.de

#### Institut

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
Bremen

### Projektakquisition durch Personalqualifizierung

Zudem ist die Personalqualifizierung für das IFAM längst zu einem unverzichtbaren Akquisitionsinstrument für industriefinanzierte Forschungs- und Entwicklungsprojekte geworden. In der Regel sind die Menschen, die die Weiterbildungsveranstaltungen besuchen, die Entscheider von heute und morgen. Der intensive Direktkontakt und die Diskussionen über fachliche Inhalte münden nicht selten in konkrete Projekte. Weil sich das IFAM der Thematik ganzheitlich nähert, können anwendende Firmen insgesamt beurteilt werden und Verbesserungen vorgeschlagen werden – von der Planung eines geklebten Produktes bis zur möglichen Reparatur. Durch die tiefen Einblicke in Firmen kann auch die Weiterbildung immer wieder angepasst und verbessert werden. Das internationale Engagement des Fraunhofer IFAM in Sachen Weiterbildung wird vom Industrieverband Klebstoffe e. V. (IVK), vom Deutschen Verband für Schweißtechnik und verwandte Verfahren e. V. (DVS) und vom Land Bremen nachhaltig unterstützt. Für den IVK beispielsweise ist die Internationalisierung der bewährten und europaweit anerkannten Lehrinhalte des Fraunhofer IFAM ein idealer Ansatz für eine Markterweiterung – und eine Hilfe für Kolleginnen und Kollegen in aller Welt. Doch auch dem DVS und dem Land Bremen ist klar: Überall dort, wo strukturell geklebt wird und dadurch Hightech-Anwendungen entstehen, sind die IFAM-Weiterbildungen von großem Nutzen – und deshalb eine Initiative, die es wert ist, unterstützt zu werden.

# Computational Chemistry in der Adhäsions- und Grenzflächenforschung

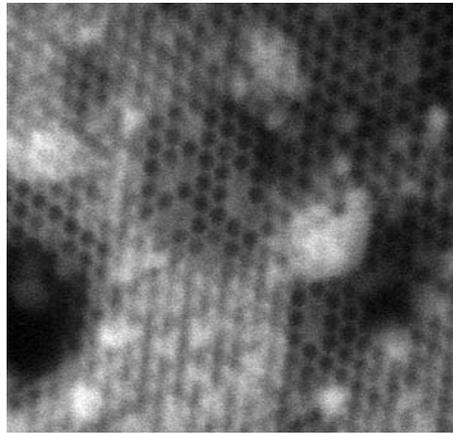
## Atomistische Struktursimulation als Hilfsmittel für die angewandte Materialforschung und Materialentwicklung

### Computergestützte Materialforschung eröffnet neue Betrachtungs- und Optimierungsmöglichkeiten

Computergestützte Simulationen halten seit einigen Jahren verstärkt Einzug in die Materialwissenschaften, denn zahlreiche Aspekte der Materialentwicklung lassen sich bereits im Rechner nachbilden. Der Einsatzbereich der Verfahren reicht dabei vom molekularen Aufbau bis hin zur virtuellen Beschreibung komplexer Werkstücke und Produktionsvorgänge. Als »Computational Chemistry« wird ein Forschungszweig bezeichnet, der sich mit der Simulation in molekularen Dimensionen befasst und chemische Vorgänge am Computer nachvollzieht. Mithilfe von atomistischen Struktursimulationen können experimentelle Untersuchungen ergänzt werden. So eröffnet sich die Möglichkeit, auch dort weiterzuforschen, wo Experimente an ihre Grenzen stoßen. Was vor einigen Jahren in verschiedenen Bereichen der Materialforschung als Nischenanwendung begann, hat sich mittlerweile zu einem erweiterten Forschungsgebiet entwickelt: Heute ist von der »Computational Material Science« – also der computergestützten Materialforschung – die Rede.

In der Fraunhofer-Gesellschaft wurde das Entwicklungspotenzial der computergestützten Materialforschung schon früh erkannt. Die »Simulierte Realität für Werkstoffe, Produkte und Prozesse« wurde zu einem der zwölf Innovationsthemen – »Perspektiven für Zukunftsmärkte« – erklärt. Damit wird der Bedeutung von Simulationsverfahren in allen Bereichen der Materialentwicklung Rechnung getragen.

Für die Klebtechnik und weite Bereiche der Oberflächentechnik stellen die steigenden Anforderungen an Werkstoffverbunde und funktionelle Beschichtungen eine ständige Herausforderung dar. Zu den wichtigen Einsatzgebieten der Computational Chemistry am Fraunhofer IFAM gehören daher Untersuchungen zu molekularen Mechanismen an Grenzflächen sowie zu chemischen Reaktionen in Klebungen und Beschichtungen. Für diese Simulationen steht eine hochmoderne Ausstattung zur Verfügung: Ein High-Performance-Linux-Cluster liefert die notwendige Rechnerbasis. Neben hoch spezialisiertem Fachwissen über die

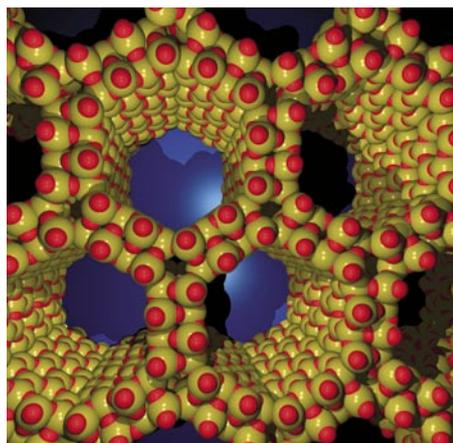


**Abb. 1:** Elektronenmikroskopische Aufnahme (HRSTEM) des Zeoliths MCM-41. Die hexagonalen Kanäle in dem Material sind als wabenförmige Struktur zu erkennen, während helle Bereiche auf größere Partikel aus Zinnoxid zurückzuführen sind (Probe: M. Wark, Universität Hannover).

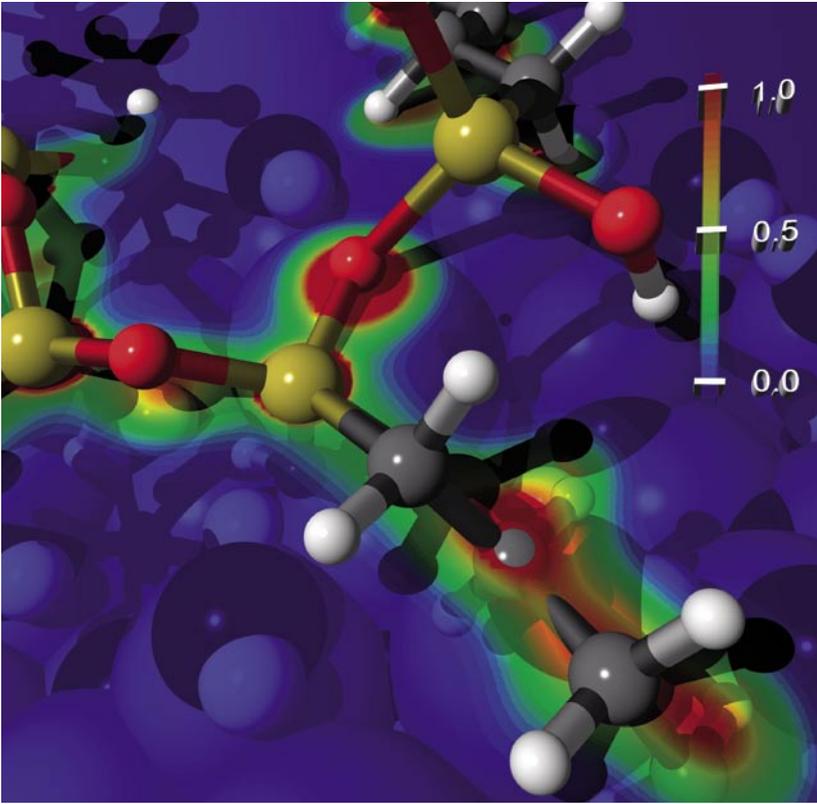
physikalischen und chemischen Eigenschaften von Oberflächenstrukturen, Grenzflächen und Beschichtungen kommt es dabei auch auf die Handhabung numerischer Verfahren an.

### Chemie an Oberflächen und an Grenzflächen

Besonderheiten im atomaren Aufbau können häufig von entscheidender Bedeutung für die Funktion eines Materials sein. So bedingen die wenige Nanometer großen Kanäle in Zeolithen deren Eignung als Molekularsieve und führen zu spezifischen Wechselwirkungen von Partikeln in den Poren (Abb. 1, 2). Auch bei der Klebstoffformulierung sind molekulare Wechselwirkungen von besonderer Bedeutung. Oft stellt sich dabei die Frage nach dem vorrangigen Haftungsmechanismus an der Werkstoffoberfläche. Ein weiteres Beispiel für den Einfluss chemischer Vorgänge sind Degradationsprozesse – also Materialveränderungen oder Schädigungen durch Umwelteinflüsse. So können Materialveränderungen oder elektro-



**Abb. 2:** Computermodell der hexagonalen Kanäle im Zeolith MCM-41.



**Abb. 3:** Darstellung der berechneten Elektronendichteverteilung in Oberflächennähe bei der Anbindung einer Klebstoffkomponente auf einem Aluminiumsubstrat. Die Skala verdeutlicht die Verteilung der Elektronendichte in Oberflächennähe.

chemische Vorgänge an Grenzflächen metallischer Bauteile zur Korrosion führen und die Langzeitbeständigkeit von Werkstoffen beeinflussen. In all diesen Systemen sind die zugrunde liegenden chemischen Reaktionen selbst durch eine Vielzahl von experimentellen Untersuchungen nicht immer eindeutig aufzuklären.

Die Computational Chemistry kann zur Aufklärung dieser in atomaren Dimensionen ablaufenden Mechanismen beitragen. Ein Vorteil der Simulation: Es lassen sich auch Modellstrukturen untersuchen, die im Experiment nicht unmittelbar zugänglich sind. Ein Beispiel dafür ist die Anbindung von Klebstoffkomponenten auf Aluminiumoberflächen (Abb. 3). Da die Anbindungsmöglichkeiten durch die Elektronendichte in Oberflächennähe gegeben sind, werden für diese Simulationen hoch effiziente Elektronenstrukturrechnungen auf der Basis der Dichtefunktionaltheorie (DFT) eingesetzt. Eine molekulare Betrachtung der Reaktionen an der Grenzfläche unterstützt auch die Interpretation analytischer Befunde. Die berechnete Elektronendichteverteilung wird zudem zur Vorhersage von experimentell zu erwartenden Röntgenphotoelektronenspektren (XPS) ausgewertet. Damit können Aussagen über die Art der Anbindung abgeleitet und die in der Simulation entwickelten Modellvorstellungen mit den realen Materialeigenschaften abgeglichen werden.

### Anreicherungsphänomene und Strukturbildung

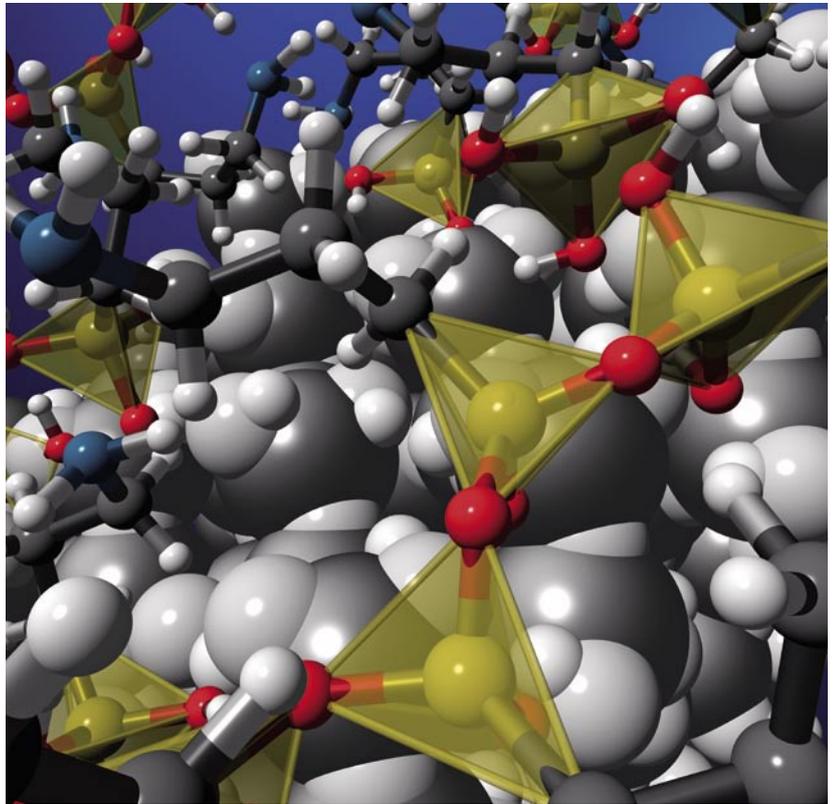
Das Bestreben einzelner Substanzen eines Klebstoffes oder Lackes, sich an Grenzflächen anzureichern, kann die Eigenschaften eines Werkstoffverbundes maßgeblich beeinflussen. In vielen Fällen werden Zusatzstoffe – so genannte Additive – eingesetzt, welche spezifische Wechselwirkungen mit der Werkstoffoberfläche aufweisen. Diese Additive können zur Adhäsionsverstärkung in Klebstoffen oder für den aktiven Korrosionsschutz in Beschichtungen eingesetzt werden. Kommt es zur Anreicherung von Additiven an Grenzflächen, können sich die mechanischen und chemischen Eigenschaften in der Grenzschicht verändern. Gegebenenfalls werden die Hafteigenschaften der Klebverbindung oder des Lackes beeinträchtigt. Ziel der Simulation ist es, die Auswirkung solcher Anreicherungsphänomene vorherzusagen. Dazu müssen neben der Oberflächenaktivität der Sub-

stanzen auch mögliche chemische Reaktionen in den Klebstoffen und polymeren Beschichtungen sowie ihre gegenseitige Beeinflussung betrachtet werden. Von besonderem Interesse ist die unmittelbare Auswirkung einer Anreicherung auf die Struktur in Grenzflächennähe (Abb. 4).

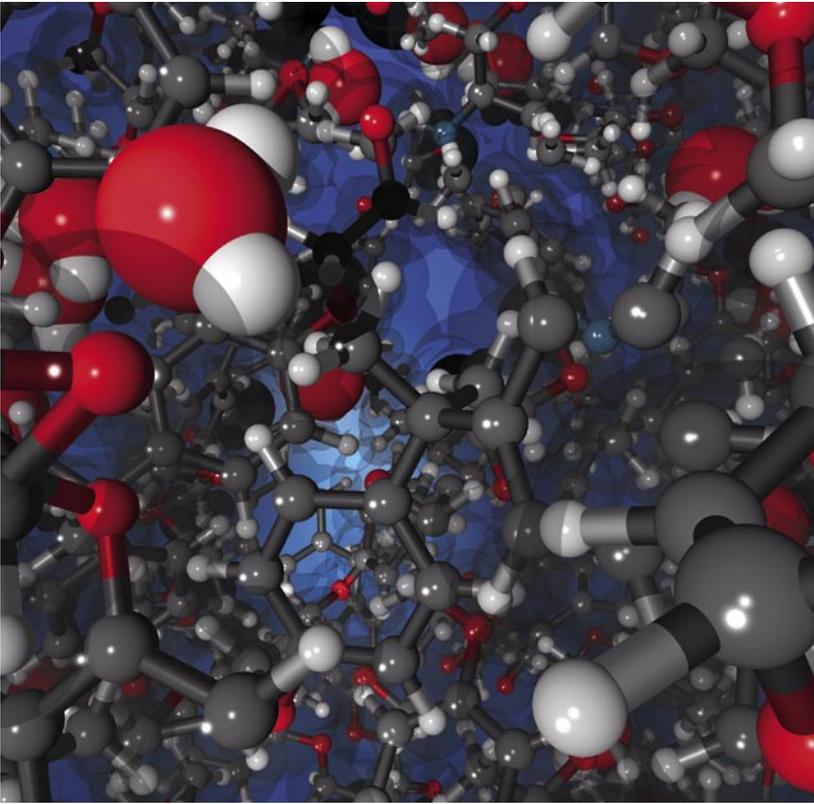
Bei komplexen Fragestellungen wie dieser entstehen durch den intensiven Austausch zwischen den beteiligten Wissenschaftlern aus der Grenzflächenanalytik, der Polymerchemie und der Computermodellierung neue Ideen und Lösungswege. Dabei besteht der Vorteil der Modellierung darin, dass sich innerhalb der Simulation ohne Weiteres neue Lösungswege oder weiterführende Ansätze verfolgen lassen. Sie können anschließend experimentell in einem »Design of Experiment« verifiziert werden.

### Potenzial der Multiskalensimulation

»Materials by Design« – unter diesem Schlagwort versteht man eine virtuelle Vorhersage von neuen Produkteigenschaften ausgehend von der Simulation des atomaren Aufbaus der Materialien. Da die molekulare Struktur im Kleinen das makroskopische Materialverhalten im Großen bestimmt, konzentriert sich die Forschung zunehmend auf Multiskalenverfahren. Weil alle Dimensionen miteinander verknüpft sind und sich bedingen, müssen in diesen Verfahren unterschiedliche Methoden kombiniert werden. Das Ziel ist eine größenordnungsübergreifende Betrachtung durch Kombination von rechenintensiven Methoden und geeigneten Näherungsverfahren. Diese reichen vom Werkstoffdesign auf atomarer Ebene bis zur Frage, wie sich das Bauteil im täglichen Betrieb verhält. Bei der Entwicklung von Multiskalenverfahren ist das Fraunhofer IFAM im Rahmen eines Projekts der Fraunhofer-Gesellschaft zur markt-orientierten Vorlauftforschung (MAVO) in Kooperation mit acht weiteren Fraunhofer-Instituten aktiv in die aktuelle Forschung eingebunden. Ein Schwerpunkt dieses stark interdisziplinären Projekts liegt in der Entwicklung von numerischen Werkzeugen – »MMM-Tools« – für Multiskalensimulationen von Grenzschichtphänomen sowie von Phasen- und Korngrenzen bei Sinterwerkstoffen. Ziel der Beteiligung des Fraunhofer IFAM ist es, neue Verfahren möglichst zeitnah in industriellen Anwendungen umzusetzen, um den Nutzen für die Kunden noch zu erhöhen und ein Höchstmaß an Know-how anbieten zu können.



**Abb. 4:** Schichtbildung durch Vernetzung eines Haftverstärkers in Oberflächennähe. In der Simulation werden neben der Neigung zur Schichtbildung auch die Affinitäten zu unterschiedlichen Oberflächen untersucht.



**Abb. 5:** Molekulares Modell zum Transport von Wasser in einer polymeren Beschichtung. Das Polymer wird durch eine Kugel-Stab-Darstellung repräsentiert, während für die Wassermoleküle eine Kugel-Darstellung gewählt wurde.

### Transportvorgänge in Klebstoffen und in Beschichtungen

Die Diffusion niedermolekularer Substanzen wie z. B. Wasser oder Sauerstoff ist ein bedeutender Prozess. Er kann zur Degradation von Klebungen und polymeren Beschichtungen oder sogar zu deren Ablösung führen. So beeinflusst die Einlagerung von Wasser beispielsweise die Langzeitbeständigkeit von Klebverbindungen und die Haftung organischer Schichten. Dringt Feuchtigkeit durch Oberflächenschutzschichten hindurch, besteht die Gefahr von Korrosionsschäden – ein heutzutage volkswirtschaftlich bedeutendes Problem, das jährlich Kosten in Millionenhöhe verursacht. Das Prinzip von Barrierschichten – beispielsweise von plasmapolymere Beschichtungen für den Korrosionsschutz – beruht daher auf der Behinderung des Stofftransports zur Oberfläche. Die computergestützte Materialforschung kann in Modellen nachbilden, wie Feuchtigkeit infolge von Diffusionsprozessen an die Materialgrenzfläche auf Oberflächen gelangt und welche molekularen Vorgänge dabei ablaufen (Abb. 5). Ebenso ist sie in der Lage, verschiedene chemische Modifikationen der Beschichtung zu variieren, um Möglichkeiten zur Verringerung der Wasserdurchlässigkeit aufzufinden.

In Kombination mit experimentell gemessenen Diffusionseigenschaften (Abb. 6) dient die Simulation der Interpretation der Befunde auf molekularer Ebene. Die Ergebnisse lassen sich in Form von gezielten Hinweisen für die Materialentwicklung umsetzen. Diese Betrachtung erweitert die Erkenntnisse auf der Grundlage experimenteller Befunde deutlich und führt zu zusätzlichen Optimierungsansätzen.

## Ausblick

Die Simulation chemischer Prozesse an Grenzflächen und in Polymeren ist als Teil der »Computational Material Science« ein wichtiges Hilfsmittel in der Adhäsions- und Grenzflächenforschung. Für das Fraunhofer IFAM eröffnet diese attraktive Technologie, die durch die rasanten Sprünge in der Rechnerentwicklung in den vergangenen Jahren sehr effektiv geworden ist, vielfältige Möglichkeiten. Eine wesentliche Herausforderung liegt dabei in der Weiterentwicklung und Anwendung moderner Computerverfahren für aktuelle Fragestellungen in den Bereichen der Klebstoff- und Lackformulierung, der Oberflächentechnik und der Nanotechnologie.

Am Fraunhofer IFAM werden die einzelnen Arbeiten überwiegend im Rahmen industrienaher Fragestellungen durchgeführt. Die Forschung in laufenden Kooperationen wird durch Untersuchungen zur Optimierung von Klebstoffsystemen und durch die Analyse chemischer Vorgänge bei der Haftung geprägt. Aus den Kombinationsmöglichkeiten der computergestützten Materialforschung mit dem Fachwissen der experimentell arbeitenden Gruppen am Fraunhofer IFAM ergibt sich eine umfassende Unterstützung der jeweiligen Entwicklung für den Kunden.

Zu den derzeit wichtigen Entwicklungen mit großem Zukunftspotenzial zählen die Multiskalensimulationen. Durch gezielte skalenübergreifende Simulationen werden Werkstoffprobleme ganzheitlich betrachtet – etwa von den atomaren Wechselwirkungen bei der Haftung von Klebstoffen bis zu dem mechanischen Verhalten geklebter Bauteile. Der simulierte Einblick in den gesamten Prozess des Bauteilverhaltens öffnet neue Betrachtungs- und Optimierungsmöglichkeiten. Dies gilt für die Realisierung von Werkstoffkombinationen ebenso wie für die Gestaltung von Bauteilen oder Produktionsprozessen.

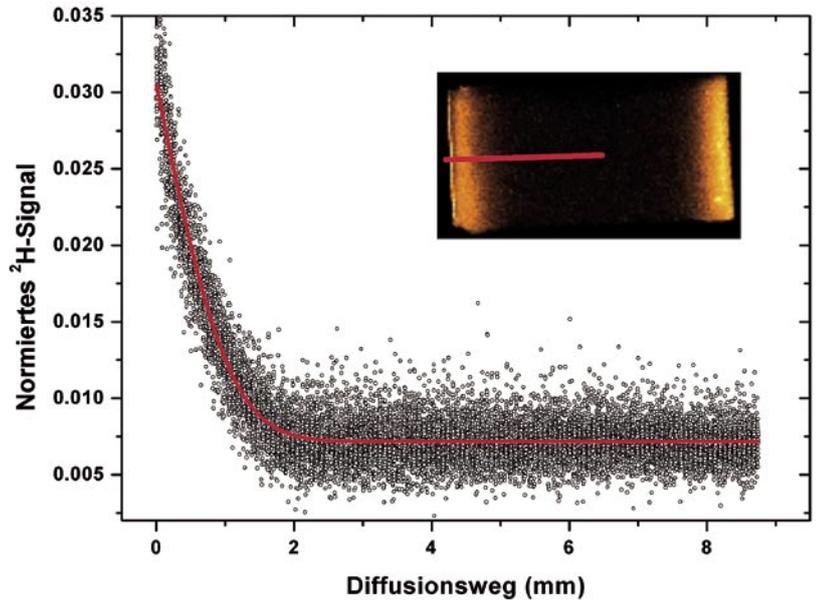


Abb. 6: Experimentell bestimmtes Feuchtigkeitsprofil für das Eindringen von Wasser in eine Klebfuge. Die experimentelle Kurve wurde mithilfe von Tracer-Untersuchungen im ToF-SIMS (Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry) bestimmt.

### Ansprechpartner

Peter Schiffels  
 Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-5 67  
 E-Mail: ps@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
 Bremen

# Überwachung der Oberflächengüte im Produktionsprozess – ein Konzept zur Fehlervermeidung beim Kleben und Lackieren

## Einleitung

Sowohl die Kleb- als auch die Lacktechnik sind auf eine einwandfreie Beschaffenheit der zu klebenden oder zu lackierenden Bauteiloberfläche angewiesen. Fehler, die im Produktionsprozess entstehen, können in der Lacktechnik nur durch zeit- und kostenintensive Nacharbeit ausgebessert werden. Beim Kleben ist die Nachbesserung bereits gefügter Verbindungen nur schwer oder gar nicht möglich. Die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler an Klebverbindungen erst im Gebrauch sichtbar werden, ist hoch, da bisher nur unzureichende Möglichkeiten existieren, am Endprodukt eine zerstörungsfreie Prüfung durchzuführen. Daher sind Fehlervermeidungsstrategien sinnvoll. Die Komplexität der Gesamtprozesse bedingt dabei neben Eingangsprüfungen der Werkstoffe, Klebstoffe und Lacksysteme die Überwachung aller Fertigungsschritte (z. B. Vorbehandlung, Applikation, Aushärtung) sowie der entsprechenden Prozessparameter (Druck, Temperatur, Zeit etc.).

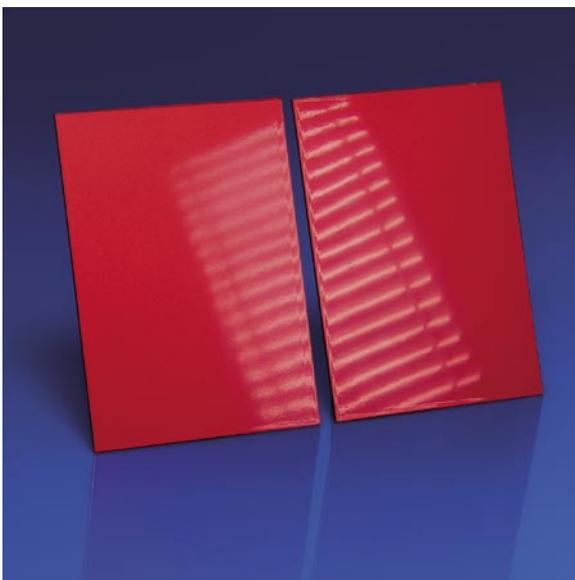
Für Kleb- und Lackierprozesse werden höchste Anforderungen an die Qualität der Oberflächen gestellt. Für beide Vorgänge sind eine gute Benetzbarkeit sowie ein hoher Reinheitsgrad der Oberflächen elementare Fertigungsvoraussetzungen. Aufgrund langjähriger Erfahrungen können z. B. statistisch 70 Prozent der Schadensfälle von



**Abb. 2:** Die linke Probe zeigt einen Kohäsionsbruch in der Klebschicht, die rechte Probe einen Adhäsionsbruch, der durch eine am IFAM entwickelte Trennschicht verursacht wurde.

Klebverbindungen, bei denen Haftungsversagen vorliegt, auf verunreinigte Oberflächen zurückgeführt werden. Zirka 25 Prozent der lackierten Automobilkarosserien müssen aufgrund von Partikeleinschlüssen und Benetzungsstörungen, die auf Oberflächen-Kontaminationen zurückzuführen sind, nachgearbeitet werden.

Um Kosten, die aus der Weiterverarbeitung unzureichend vorbehandelter Bauteile entstehen, zu vermeiden, ist eine Überwachung der Oberflächenqualität direkt im Prozess notwendig. Die Herausforderung, Methoden zur vorausschauenden Qualitätssicherung durch die Kontrolle der Oberflächen vor dem Klebstoff- bzw. Lackauftrag zu entwickeln, hat die Arbeitsgruppe der Angewandten Oberflächen- und Schichtanalytik angenommen.



**Abb. 1:** Links eine schadhafte Lackierung: Orangenhautbildung an einer Lackoberfläche; rechts eine fehlerfreie Lackierung.

## Vorbehandlung der Oberflächen – Schlüsselfunktion im Gesamtprozess

Die Qualität geklebter bzw. lackierter Produkte ist letztlich von der Adhäsion, also der Haftung zwischen Kleb- und Lackschicht sowie der Bauteiloberfläche, abhängig. Die Wirkprinzipien der Adhäsion sind vielfältig, doch die entscheidenden Prozesse spielen sich im Bereich weniger Nanometer ab. Zur Verdeutlichung: Das Größenverhältnis von einem Meter zu einem Nanometer entspricht dem Verhältnis des Durchmessers der Erde zu dem einer Haselnuss.

Der Vorbehandlung kommt damit eine Schlüsselfunktion im Fertigungsprozess zu. Die klassische Vorbehandlung umfasst Maßnahmen zur Reinigung und Aktivierung der Oberfläche. Sie soll reine Oberflächen mit guten Benetzungseigenschaften erzeugen, die zudem funktionelle Gruppen zur Wechselwirkung mit Klebstoff oder Lacksystemen aufweisen.

Die Überwachung des Vorbehandlungsergebnisses ist sinnvoll, da bereits geringste Abweichungen bzw. Fehler im Gesamtprozess zu einer unzureichenden Vorbehandlung und damit zu

Fehklebungen oder schadhafte Lackierungen führen können. Das kann z. B. der Fall sein, wenn unbeabsichtigt Stoffe in den Fertigungsprozess gelangen, die zu Verschmutzungen an den Oberflächen führen, oder wenn der Vorbehandlungsprozess einer unbemerkten Störung unterliegt. Bereits Fingerabdrücke, die durch das Arbeiten ohne Schutzhandschuhe auf Bauteiloberflächen hinterlassen werden, können zum Schadensfall führen.

Bisher finden zur Überwachung der Oberflächenqualität vor dem Verkleben oder Lackieren stichprobenartige Kontrollen mithilfe von Schnelltests (z. B. Testtinten zur Beurteilung der Oberflächenenergie) oder mittels Verfahren der Oberflächenanalytik (z. B. Röntgenphotoelektronenspektroskopie, kurz: XPS, zur Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der Oberfläche) statt. Schnelltests haben den Nachteil, dass sie nur wenige Informationen zur Bewertung der Oberflächen liefern. Aussagekräftigere oberflächenanalytische Untersuchungen lassen sich nur mit einem hohen apparativen Aufwand durchführen. Zudem sind beide Methoden weder zerstörungsfrei, noch lassen sie sich als automatisierte Verfahren in die Fertigungslinie integrieren.

	Informationsgehalt	Investition	Zeitbedarf	Prozessintegration	zerstörungsfrei
<b>Schnelltests</b>	gering	gering	gering	nicht möglich	nicht möglich
<b>Instrumentelle Analytik</b>	sehr hoch	hoch	hoch	nicht möglich	nicht möglich

**Tabelle:** Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Schnelltests und den Verfahren der Oberflächenanalyse.

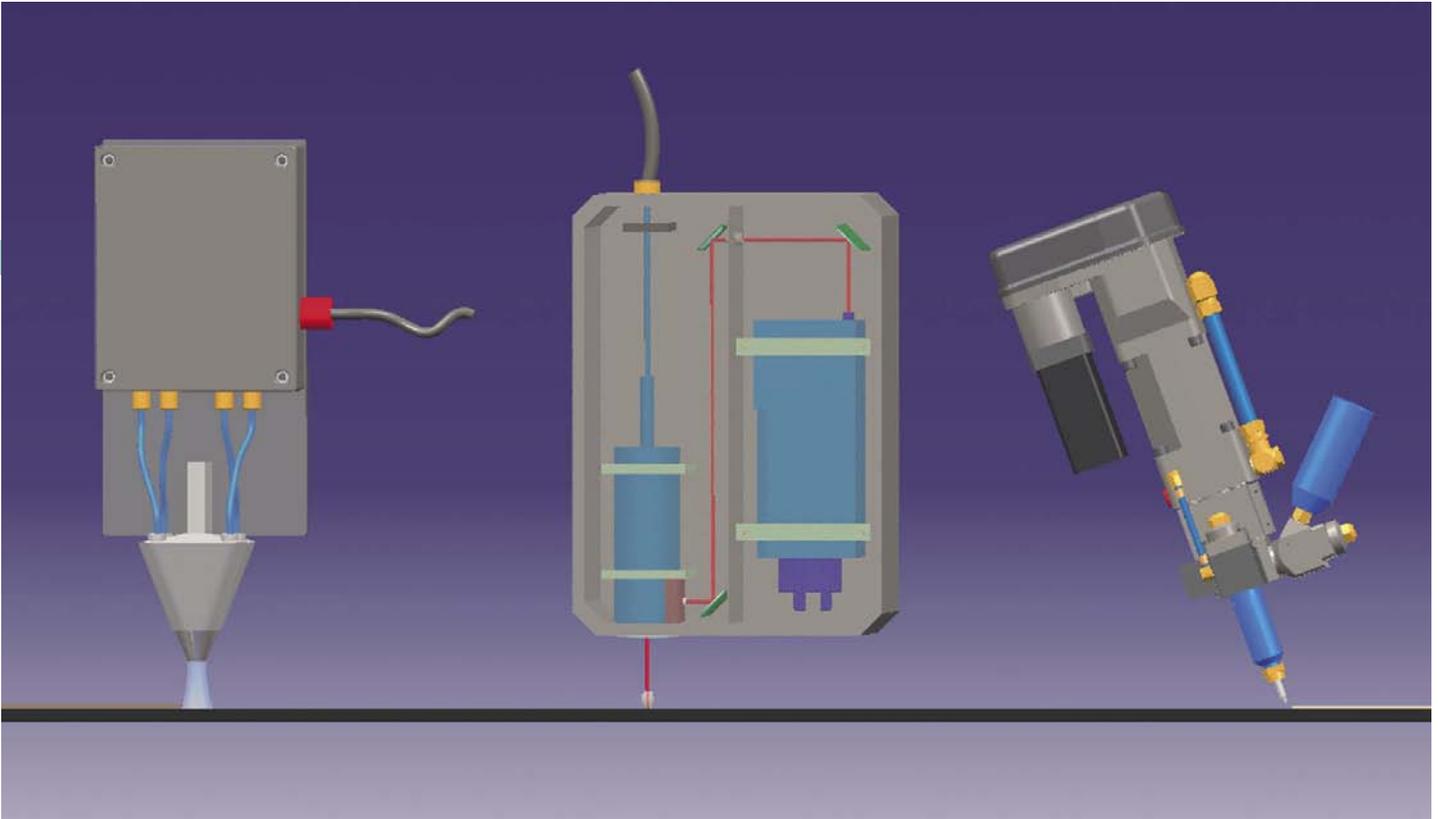


Abb. 3: Ablaufschema: Inline-Monitoring der Oberflächengüte im automatisierten Klebprozess, von links nach rechts: Vorbehandlung der Oberflächen durch Plasma, Inline-Monitoring der Oberflächenqualität, Klebstoffauftrag.

### Inline-Monitoring der Oberflächengüte vor dem Verkleben oder Lackieren

Optimal wäre eine permanente prozessintegrierte Kontrolle – ein so genanntes Inline-Monitoring – des Oberflächenzustandes als qualitätssichernde Maßnahme direkt vor dem Klebstoff- bzw. Lackauftrag. In diesem Fall erfolgt die Bewertung der Kleb- oder Lackierbarkeit von Oberflächen durch die permanente Überwachung vorab anhand von definierten Grenzwerten, z. B. dem Grad an Verschmutzungen. Erfüllt eine Bauteiloberfläche diese Anforderungen nicht, wird das Bauteil dem Prozess entzogen und entweder erneut vorbehandelt oder als Ausschuss deklariert. Damit können Schäden bereits im Vorfeld vermieden werden.

Die Bestimmung der Oberflächengüte im laufenden Produktionsprozess stellt an die Messverfahren mehrere Bedingungen. Generell müssen die Messungen schnell und automatisiert durchführbar sein. Zudem sollen die Verfahren hohe Nachweisempfindlichkeiten für mögliche Verunreinigungen und hohe Wiederholgenauigkeiten bieten und sich für den Einsatz in der industriellen Fertigungsumgebung eignen. Verschiedene Verfahren, die diesen Anforderungen entsprechen, sind bereits identifiziert worden. Dazu gehören spektroskopische Verfahren wie die Laserinduzierte Fluoreszenz (LIF) oder die Laserinduzierte

Breakdown-Spektroskopie (LIBS) sowie optische Verfahren wie die Reflektometrie und die Ellipsometrie. Außerdem werden Verfahren, die sich zur Beurteilung des Benetzungsverhaltens von Oberflächen eignen, untersucht und weiterentwickelt. Die eigentliche Herausforderung besteht in der Anpassung der Systeme an die vom Auftraggeber vorgegebene Problemstellung. Die komplexen Randbedingungen, die sich auf die Bauteilgüte auswirken können, müssen erfasst, bewertet und bei der Kontrolle entsprechend berücksichtigt werden. So stellt sich z. B. die Frage, welche Verunreinigungen erfasst werden müssen und welche Zeitfenster im Prozess dafür zur Verfügung stehen. Daraufhin werden geeignete Verfahren ausgewählt und an die Messaufgabe optimal angepasst. Der letzte Schritt besteht dann in der Überführung des Messverfahrens in den Produktionsprozess.

## Zwei Beispiele aus der Anwendung

Ein Anwendungsgebiet, auf dem bereits erfolgreich die Eignung einer solchen Inline-Messmethode untersucht worden ist, ist der Nachweis von Trennmittelkontaminationen auf Bauteiloberflächen. Häufig werden z. B. silikonbasierte Trennmittel zur Verbesserung der Entformung von Kunststoffbauteilen eingesetzt. Bleibt nach der Vorbehandlung zu viel Trennmittel auf der Bauteiloberfläche zurück, kann dies zu schadhafte Klebungen oder Lackierungen führen. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Laserinduzierte Breakdown-Spektroskopie (LIBS) als Verfahren zum Nachweis entsprechender Kontaminationen im Prozess eignet. Bei dieser Methode wird mithilfe eines Lasers an der Oberfläche ein Mikroplasma gezündet. Die optische Emission dieses Plasmas – also das Spektrum des ausgesendeten Lichtsignals – verrät die Zusammensetzung der Oberfläche und damit geringste Abweichungen durch Kontaminationen.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel stellt die Untersuchung der Benetzungseigenschaften von Bauteiloberflächen vor dem Lackauftrag dar. Weist eine Lackierung Unregelmäßigkeiten auf, kann dies ein Zeichen für nicht erkannte Oberflächenkontaminationen sein, die zu Benetzungsstörungen geführt haben. Die Durchführung von Wasserbenetzungstests mit Aerosolen auf Bauteiloberflächen vor dem Lackauftrag mit anschließender optischer Beurteilung der Benetzungsmuster ermöglicht es, die Benetzungseigenschaften einer Oberfläche großflächig zu erfassen und Abweichungen rechtzeitig festzustellen. Dazu werden spezielle Bilderfassungssysteme und Auswerteroutinen, die am Fraunhofer IFAM erarbeitet wurden, eingesetzt.

## Schlusswort

Für die Arbeitsgruppe der Angewandten Oberflächen- und Schichtanalytik besteht das Ziel im Aufbau diverser modularer Systeme, die zur Anpassung an den jeweiligen Anwendungsfall bereitgehalten werden. Das vorhandene Know-how und die Infrastruktur am Fraunhofer IFAM werden dabei genutzt, um ein breites Spektrum von Fragestellungen abzudecken.

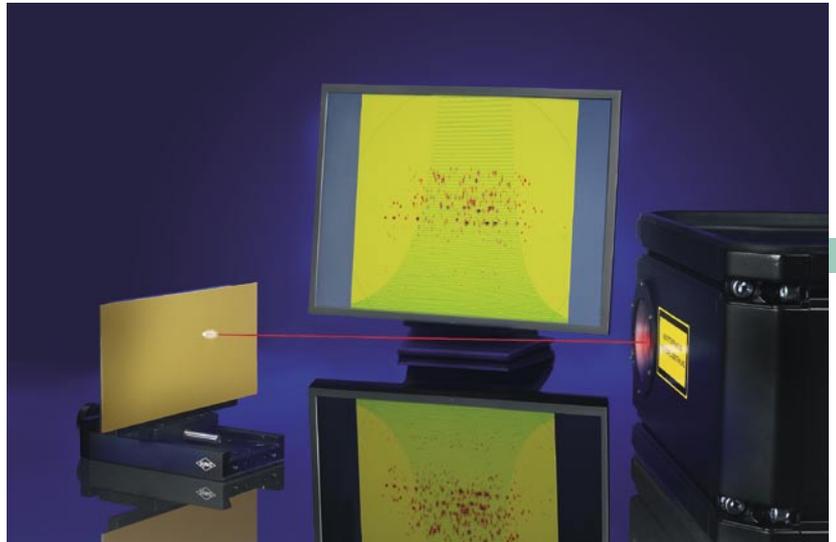


Abb. 4: Laserinduzierte Breakdown-Spektroskopie (LIBS).

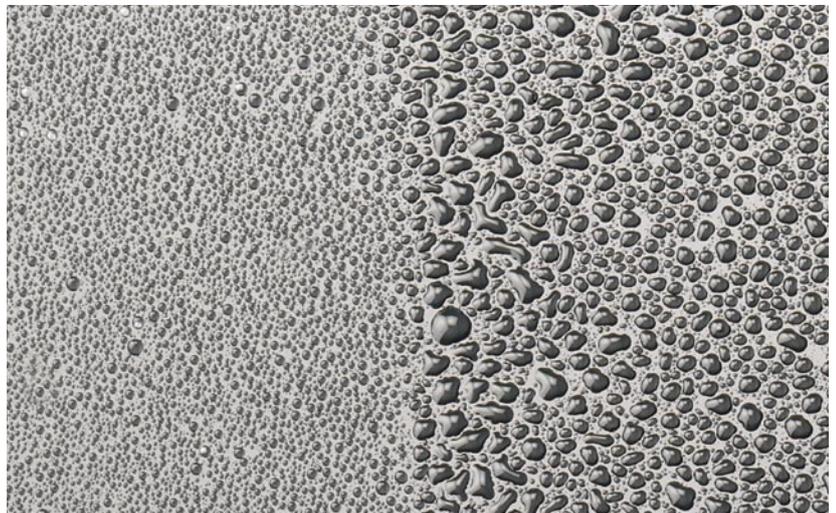


Abb. 5: Beispiel für Benetzungsunterschiede an einer Kunststoffoberfläche. Links: unvorbehandelter Bereich der Probenoberfläche; rechts: vorbehandelter Bereich mit verbesserten Benetzungseigenschaften.

### Ansprechpartner

Susanne Markus  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-6 12  
E-Mail: suma@ifam.fraunhofer.de

Ralph Wilken  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 48  
E-Mail: rw@ifam.fraunhofer.de

### Institut

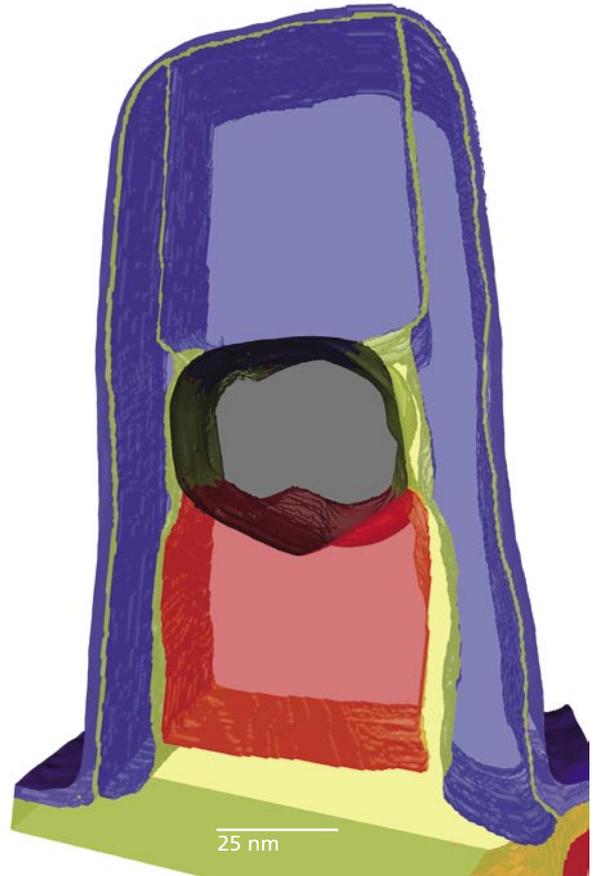
Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
Bremen

## Transmissionselektronenmikroskopie: Die Zukunft der hochauflösenden zwei- und dreidimensionalen Materialcharakterisierung

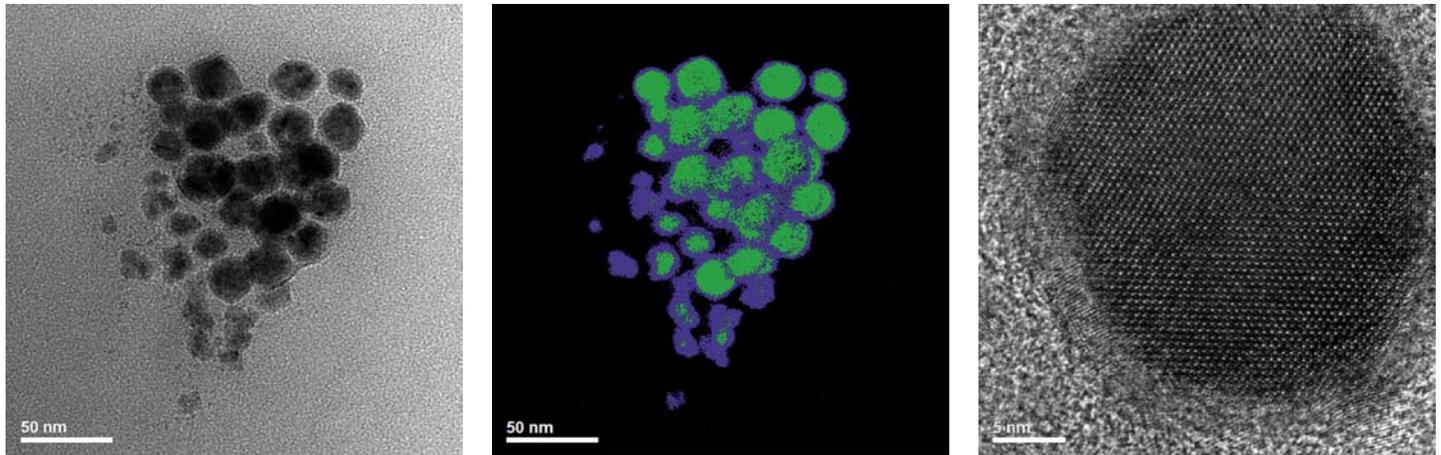
Im Bereich der Nanotechnologie und der Materialwissenschaften ist für die systematische Entwicklung neuer Produkte und Verarbeitungsverfahren neben einer Charakterisierung der Anwendungseigenschaften eine gute instrumentelle Analytik zur Strukturaufklärung notwendig. Nur so kann ein klares Verständnis der Beziehungen zwischen Verarbeitung, Struktur und Eigenschaften entwickelt werden, um darauf basierend Produkteigenschaften und Produktionsverfahren zu optimieren. Dabei verbindet die Transmissionselektronenmikroskopie für die Strukturaufklärung zwei Vorteile: ultimative räumliche Auflösung in zwei- und dreidimensionalen Abbildungen und analytische Möglichkeiten zur Bestimmung der Elementzusammensetzung bzw. -verteilung. Damit ist die Transmissionselektronenmikroskopie eine aussagekräftige analytische Methode: Sie ermöglicht umfassende Materialcharakterisierungen und damit eine gute Korrelation mit den Materialeigenschaften.

Die hohe räumliche Auflösung des Transmissionselektronenmikroskops (TEM) ist besonders für die Charakterisierung in der Nanotechnologie ausschlaggebend. Sie ist aber auch für die Analyse von nano- bzw. mikrostrukturierten Materialien im Allgemeinen wichtig. Die Transmissionselektronenmikroskopie ist eine der wenigen Methoden, mit der die Struktur einer Probe – und nicht nur die Oberfläche – mit Nanometer- bzw. sogar mit atomarer Auflösung abgebildet werden kann. Gleichzeitig kann auch die Elementzusammensetzung der Probe mit Nanometerauflösung bestimmt werden. Weil einige Materialien allerdings empfindlich gegenüber Elektronenbestrahlung sind, muss teilweise mit Low-Dose- und Cryo-Methoden gearbeitet werden, um die ursprüngliche Struktur der Probe mit optimaler Auflösung abzubilden.

Abhängig davon, welche Informationen über ein Material benötigt werden, kann die Elektronenmikroskopie alleine schon alle notwendigen Ergebnisse liefern. Häufig wird allerdings auch eng mit anderen Gruppen am Fraunhofer IFAM zusammengearbeitet, um die Ergebnisse z. B. von mechanischen oder spektroskopischen Messungen mit den Mikroskopieergebnissen zu korrelieren. Dadurch kann ein vollständiges Bild der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen entwickelt werden.



**Abb. 1:** Die dreidimensionale Darstellung der Struktur eines Transistors in einem DRAM-Speicherbaustein zeigt die Rauigkeit verborgener Oberflächen und ermöglicht eine dreidimensionale Vermessung der Struktur (Si – rot,  $\text{SiO}_x/\text{SiO}_x\text{N}_y$  – gelb,  $\text{SiN}_x$  – blau,  $\text{WSi}_x$  – schwarz).  
C. Kübel, J. Kübel, S. Kujawa, J. S. Luo, H. M. Lo, J. D. Russell, »Application of Electron Tomography for Semiconductor Device Analysis« in »8<sup>th</sup> International Workshop of Stress-Induced Phenomena in Metallization«, edited by E. Zschech, AIP Conference Proceedings, American Institute of Physics, Melville, New York (2006).



**Abb. 2:** TEM-Abbildung eines Aggregats von Co/CoO-Core/Shell-Nanopartikeln. Die multivariate Analyse der entsprechenden Co- und O-Elementverteilungsaufnahmen zeigt die Co- (grün) und CoO- (blau) Verteilung innerhalb der Partikel. Probe wurde von Prof. A. Wei, Purdue University, zur Verfügung gestellt.

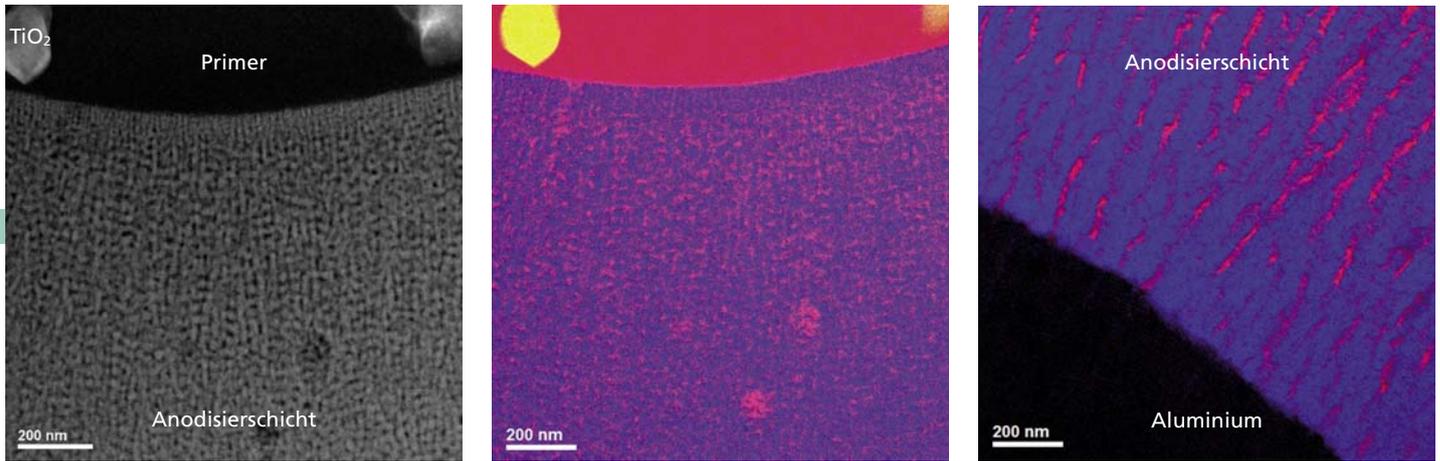
Das hochaufgelöste TEM-Bild eines einzelnen Co/CoO-Nanopartikels zeigt den einkristallinen Kern mit einer etwa 3 Nanometer dicken CoO-Shell.

## Magnetische Nanopartikel

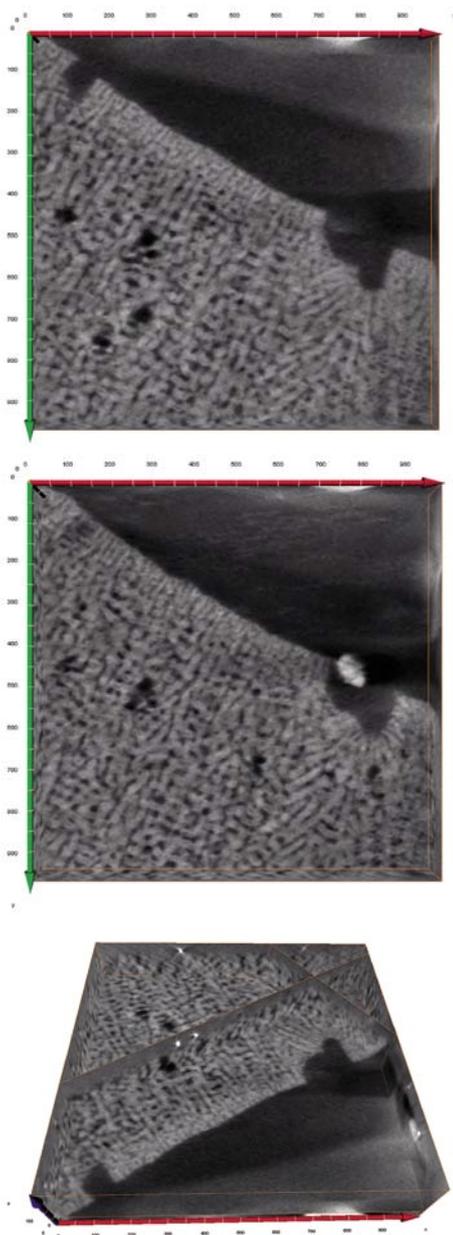
Die Charakterisierung von Nanopartikeln zeigt deutlich die Notwendigkeit einer hohen räumlichen Auflösung in der Analytik. Die in Abbildung 2 dargestellten Co/CoO-Core/Shell-Nanopartikel sind schwach ferromagnetisch. Sie sind damit für so unterschiedliche Anwendungsgebiete wie z. B. Speicherbausteine mit höchster Informationsdichte, neue Abbildungstechniken in der Medizin und magnetische Flüssigkeiten von Interesse. Die magnetischen Eigenschaften dieser Nanopartikel unterscheiden sich deutlich von denen makroskopischer Proben. Sie hängen stark von der Mikrostruktur der Partikel ab, insbesondere deren Größe, Morphologie und Zusammensetzung sowie ihrer »supramolekularen« Anordnung. Mithilfe der Transmissionselektronenmikroskopie ist es möglich, die Struktur dieser Partikel über mehrere Größenordnungen hinweg – vom atomaren Aufbau bis hin zur Struktur der Aggregate – zu charakterisieren. Im hier dargestellten Fall zeigt die Analyse, dass die kleinsten Nanopartikel vollständig oxidiert sind, während die größeren Partikel aus einem 5 bis 25 Nanometer großen, ein- oder polykristallinen Kern und einer 2 bis 4 Nanometer dicken polykristallinen Hülle bestehen.

## Korrosionsschutz – Beschichtungscharakterisierung

Die Elektronenmikroskopie ist nicht nur eine essenzielle Methode in der Nanotechnologie. Sie ist auch für die Analyse vieler klassischer materialwissenschaftlicher Fragestellungen wichtig. Ein technisch bedeutsames Beispiel ist der Korrosionsschutz etwa von Aluminium für die Verwendung in der Flugzeug- oder Automobilindustrie. Hier muss der traditionelle chrom(VI)-haltige Oberflächenschutz des Aluminiums durch umweltfreundliche Alternativen ersetzt werden. In diesem Zusammenhang sind die Charakterisierung der porösen Oxidschichten sowie die Analyse der Grenzfläche zur anschließend aufgetragenen organischen Beschichtung Hauptarbeitsgebiete des IFAM. Die organische Beschichtung sollte dabei das Oxid benetzen und vollständig in die Poren eindringen. Nur so kann eine gute Langzeitstabilität der Beschichtung erreicht werden. Andernfalls würde durch die Polymerschicht diffundierendes Wasser in den Poren der Oxidschicht kondensieren. Die Folge: Es reagiert mit dem Oxid, führt so zu einer Schwächung der mechanischen Stabilität und letztlich zu einer Delamination der Beschichtung.



**Abb. 3:** TEM-Abbildung der mit Primer behandelten Anodisierschicht. Die Kohlenstoffverteilung im entsprechenden Elementverteilungsbild (C – rot, O – blau, TiO<sub>2</sub> – gelb) zeigt, dass der Primer die Poren bis zum Aluminiumsubstrat ausfüllt.

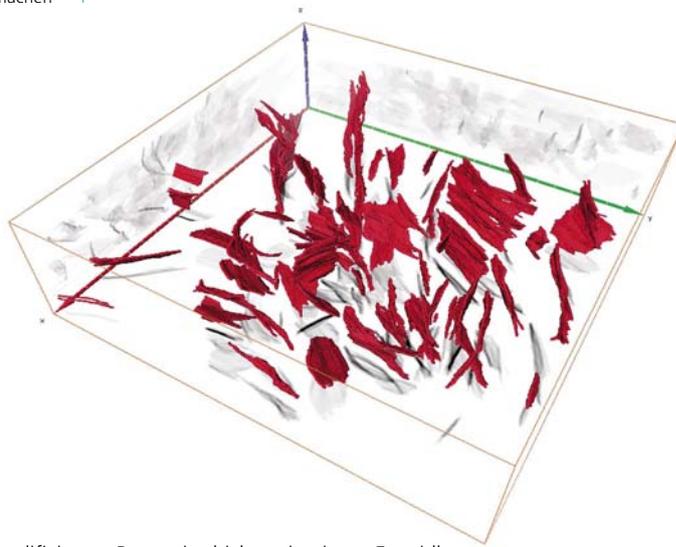
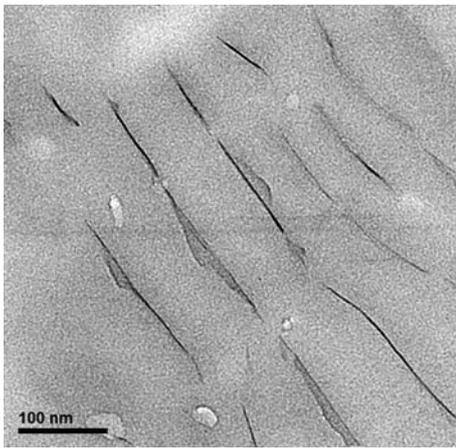


**Abb. 4:** Die digitalen Schnitte durch das Volumen der Anodisierschicht geben einen Eindruck der Porenverteilung und zeigen deutlich die Fehlstellen in der Struktur.

Die Füllung der Oxidporen kann mithilfe von Elementverteilungsbildern dargestellt werden. In Abbildung 3 sieht man, dass der kohlenstoffhaltige Primer die Poren des Oxids bis hinunter zur Grenzfläche mit dem Aluminiumsubstrat ausfüllt. Diese Analyse wurde unter Cryo-Bedingungen durchgeführt. So wurde verhindert, dass sich die Probe aufgrund von Strahlenschädigung während der Messung ändert.

Durch die komplexe dreidimensionale Anordnung der Poren ist es allerdings selbst mit den klassischen hochauflösenden TEM-Methoden nicht möglich, die Porenstruktur direkt abzubilden. Der Grund: Verschiedene Poren liegen in der Projektion übereinander. Eine Alternative bietet die Elektronentomographie. Mit ihrer Hilfe lässt sich die komplette dreidimensionale Struktur einer Probe mit Nanometerauflösung abbilden. Anschließend können die Details der Struktur entweder mithilfe digitaler Schnitte durch das Volumen oder durch Visualisierung des gesamten Volumens dargestellt werden.

Die elektronentomographische Analyse der Anodisierschicht (Abb. 4) zeigt die Verteilung der Oxidporen im Volumen. Dabei erkennt man neben den eigentlichen Poren Fehlstellen in der Oxidschicht und in den Spitzen, die wahrscheinlich durch Auflösen intermetallischer Phasen während des Anodierungsprozesses entstanden sind. Außerdem sind verschiedene Bereiche mit einer unterschiedlichen Vorzugsorientierung des Porennetzwerks sichtbar, die in der zweidimensionalen Projektion nicht zu erkennen waren.



**Abb. 5:** TEM-Abbildung von separierten, organisch modifizierten Bentonitschichten in einem Epoxidharz. In der dreidimensionalen Rekonstruktion erkennt man die genaue Form und Verteilung der Nanopartikel.

## Nanokomposite

Die Modifizierung von Klebstoffen mit Nanopartikeln ist eine am IFAM gut etablierte Methode. Dadurch lassen sich Materialeigenschaften von Klebstoffen verbessern und teilweise sogar Eigenschaftskombinationen erreichen, die sich bei herkömmlicher Erzeugung gegensätzlich verhalten. Ein wichtiges Ziel bei der Herstellung dieser Nanokomposite ist es, eine Aggregation der Nanopartikel im Komposit zu verhindern, um die spezifischen Eigenschaften der Nanopartikel für die Anwendung ausnutzen zu können. Die Transmissionselektronenmikroskopie wird hier üblicherweise für die Bestimmung der Partikelgrößen und -dichte im Komposit eingesetzt. Allerdings erhält man in der zweidimensionalen Projektion nur eine unvollständige Information über die Partikelform und -verteilung. Um die vollständige Struktur der Probe dreidimensional abzubilden und so die Form und Verteilung der Partikel im Volumen genau zu bestimmen, kann stattdessen die Elektronentomographie verwendet werden.

Die Vorteile der dreidimensionalen Abbildung erkennt man beispielsweise bei dem in Abbildung 5 dargestellten Komposit. Es besteht aus einem Epoxidharz mit einem gut separierten, organisch modifizierten Bentonit. In der konventionellen zweidimensionalen TEM-Abbildung erkennt man die senkrecht zur Probe orientierten und leicht gebogenen Silikatschichten. Die Elektronentomographie zeigt dagegen die gebogenen Schichten im Detail – und darüber hinaus die genaue dreidimensionale Verteilung der Nanopartikel.

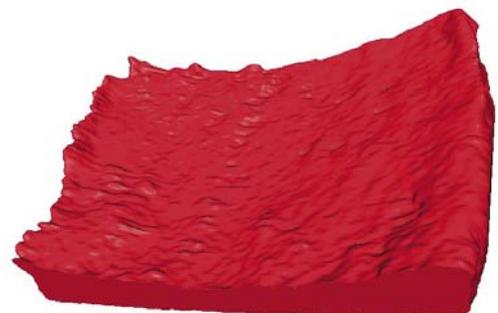
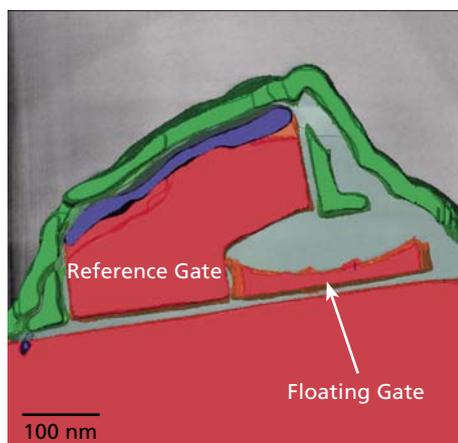
## Halbleiter-Bauelemente und Quantenstrukturen

Durch die routinemäßig am Fraunhofer IFAM eingesetzten modernen elektronenmikroskopischen Methoden ist das Labor auch für neue Anwendungsgebiete interessant – etwa für Halbleiter-Bauelemente oder Quantenstrukturen. In diesen Fällen müssen komplexe dreidimensionale Strukturen von wenigen Nanometern Durchmesser charakterisiert werden. Dabei gehören hochauflösende Elektronenmikroskopie und elementspezifische Abbildungen in der Halbleiterindustrie schon lange zum Standard. In den vergangenen Jahren hat sich jedoch gezeigt, dass die Elektronentomographie die aussichtsreichste Methode ist, um bei diesen kleinen, komplexen Strukturen das Projektionsproblem der konventionellen Transmissionselektronenmikroskopie zu umgehen.

Ein Beispiel für die Möglichkeiten der Elektronentomographie im Bereich der Charakterisierung von Halbleiterstrukturen soll im Folgenden an einem Flash-Memory-Baustein gezeigt werden (Abb. 6). Der Status des Speicherelements wird dadurch bestimmt, dass Ladung durch das Reference Gate auf das Floating Gate induziert wird. Der Abstand zwischen beiden Gates muss daher klein genug sein, um die Ladung induzieren zu können. An-

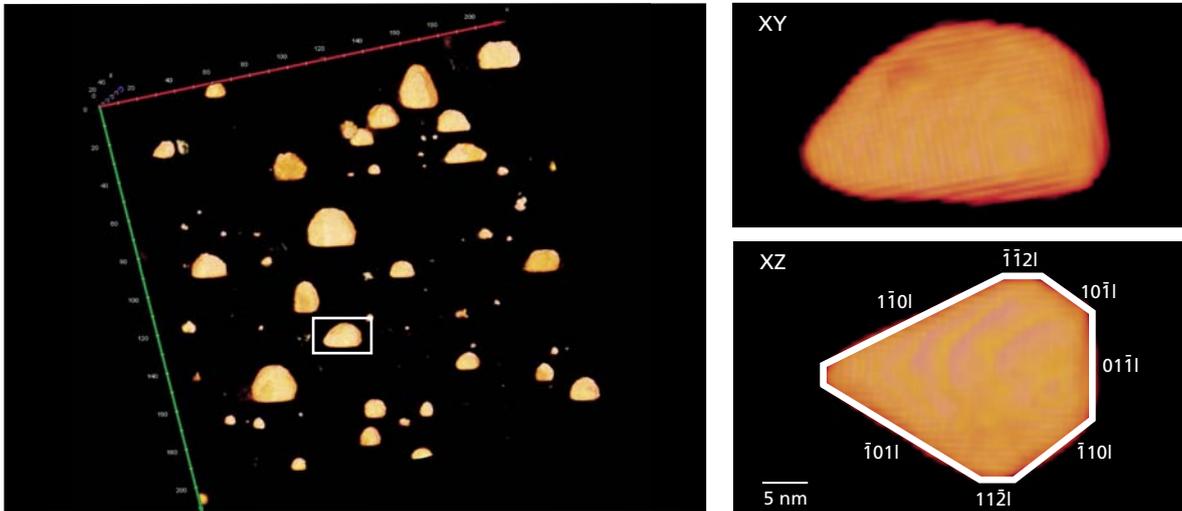
dererseits muss der Abstand so groß sein, dass die Ladung unter normalen Betriebsbedingungen nicht vom Floating Gate zum Reference Gate tunnelt. Aufgrund der Rauigkeit des Reference und des Floating Gate ist es in einer zweidimensionalen Projektion schwierig, den mittleren Abstand zwischen beiden Gates zu bestimmen. In der dreidimensionalen Rekonstruktion kann man dagegen die Rauigkeit der Interfaces direkt darstellen und lokale Abstandsmessungen im Volumen durchführen.

Auch auf dem Gebiet der Quantenstrukturen bietet die Elektronentomographie neue Möglichkeiten. So kann z. B. erstmals die genaue Form von eingebetteten Quantenpunkten dreidimensional charakterisiert werden (Abb. 7). Dies sollte eine verbesserte Korrelation mit ihren elektronischen Eigenschaften ermöglichen. Ein Beispiel sind  $\text{ErSi}_2$ - und  $\text{GeSi}$ -Nanopartikel, die durch Ionenimplantation in SiC – gefolgt von einem kurzen Temperprozess – hergestellt wurden. Ursprünglich bestand die Vermutung, dass die erzeugten Nanopartikel eine recht irreguläre hügelartige Form haben. Die Elektronentomographie hat jedoch gezeigt, dass alle »Hügel« eine sehr definierte Grundfläche mit Facetten entlang niedrig indizierter Gitterebenen im SiC ausbilden.



**Abb. 6:** Dreidimensionale Visualisierung der Struktur einer Flash-Memory-Speicherezelle (Si – rot,  $\text{SiN}_x$  – grün,  $\text{TiSi}_x$  – blau); die rechte Seite zeigt die Oberflächenrauigkeit des Floating Gate.

Bildquelle: C. Kübel, A. Voigt, R. Schoenmakers, M. Otten, D. Su, T. C. Lee, A. Carlsson, J. Bradley, »Recent Advances in Electron Tomography: TEM and HAADF-STEM Tomography for Materials Science and Semiconductor Applications«, in: Microscopy and Microanalysis, 11 (5) Cambridge University Press (2005), 378–400.



**Abb. 7:** Dreidimensionale Visualisierung von  $\text{ErSi}_2$ -Nanopartikeln mit einem Durchmesser von 1 bis 20 Nanometern. Die Detailansicht eines Partikels auf der rechten Seite zeigt die definierten Facetten der Grundfläche dieser Nanopartikel. Die Probe wurde von Prof. U. Kaiser, Universität Ulm, zur Verfügung gestellt.

## Zusammenfassung

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Elektronenmikroskopie wesentlich mehr als nur ein Werkzeug für Abbildungen mit hoher Auflösung ist. Höchstaufklärung ist wichtig, aber die eigentlichen Möglichkeiten der Transmissionselektronenmikroskopie ergeben sich aus der Kombination von zwei- und dreidimensionalen Abbildungen mit Elementverteilungsbildern und einer lokalen Analyse der Elementzusammensetzung. Durch diese vollständige Mikrostrukturcharakterisierung einer Probe erhält man einzigartige Informationen für die weitere Produkt- bzw. Prozessentwicklung. In Kombination mit der richtigen Probenpräparation können so die meisten anorganischen und organischen Materialien charakterisiert werden.

### Ansprechpartner

Christian Kübel  
 Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 52  
 E-Mail: ck@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
 Bremen

## Wie weich sind sie denn nun? Oder: Akustische Wellen bestimmen mechanische Eigenschaften dünnster Filme



Abb. 1: Lisa Marie Meyer: »Die Prinzessin auf der E(r)pse«; Buntstift auf Papier (2005).

### Das Problem

Um herauszufinden, wie hart oder wie weich eine Matratze ist, schmeißt man sich gewöhnlich einfach darauf. Eine im Laden brettharte Matratze kann sich allerdings daheim auf dem ausgeleierten Lattenrost schnell als Bandscheibenkiller entpuppen. Tatsächlich testet man eben immer auch die Güte der Unterlage, auf der sich die Matratze befindet, mit. Man denke nur an die Prinzessin auf der Erbse als prominentes Beispiel (Abb. 1). Die Prinzessin konnte trotz zehn Matratzen und zwanzig Eiderdaunendecken nicht schlafen. Es fällt nicht schwer, sich vorzustellen, wie die Nacht der Prinzessin ausgesehen hätte, wenn sie eine nur 10 Nanometer dünne Unterlage gehabt hätte.

Bei sehr dünnen, vielleicht nur wenige Nanometer dicken und sehr weichen Filmen wird die Frage nach dem »Wie weich?« zu einem sehr schwierigen Problem. Normalerweise bestimmt man die mechanischen Kennwerte durch Belasten mit einem Stempel oder einer Nadel. Was macht man aber mit Schichten, bei denen man sofort mit der Prüfspitze durchstößt?

Vergleichbare Probleme gibt es bei der Untersuchung dünner poröser Filme. Die Porenverteilung und -geometrie haben einen entscheidenden Einfluss auf den E-Modul. Ähnlich wie bei sehr weichen Schichten liefern Indentationstests hier kaum mehr als Anhaltspunkte. Je nachdem, ob direkt die Pore oder das die Pore umgebende Gerüst von der Prüfspitze getroffen wird, erhält man höchst unterschiedliche Festigkeitswerte. Beobachtet man Kleinkinder, wie sie versuchen, einen großen quadratischen Stab in eine dreieckige Öffnung zu drücken, versteht man sofort, dass das Verhältnis von Spitzen- zur Porengeometrie die Werte erheblich beeinflusst, die die Indenter liefern.

### Der Sinn

Wen interessiert das? Handelt es sich um ein »Problem anderer Leute«, ein so genanntes PAL? Darüber muss natürlich im Hinblick auf eine industriennahe Ausrichtung nachgedacht werden. Glücklicherweise kann man mit dem Brustton der Überzeugung sagen, dass die mechanischen Eigenschaften dünnster Schichten und Filme zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die folgenden Beispiele werden das verdeutlichen.

In der Konstruktion ist man bestrebt, die Materialgrenzen möglichst auszunutzen. Immer dünner werdende Klebstoffverbindungen richten unser Augenmerk verstärkt auf den Grenzbereich zwischen Füge teil und Klebstoff. Informationen über Änderungen der Festigkeiten in diesen Regionen würden Parameter für die Elemente der FEM-Simulation liefern und helfen, Klebverbindungen zu optimieren. Kleben als Füge technik der Zukunft würde noch schneller an Akzeptanz in der Industrie gewinnen. Detaillierte Kenntnisse über den Verlauf der mechanischen Eigenschaften in den ersten hundert Nanometern der Klebstoffschicht auf dem Füge teil helfen ebenso, Molecular-Modelling-Methoden mit realen Systemen abzugleichen – ein kleiner Schritt in Richtung Bottom-up-Entwicklung von Klebstoffen.

Jeder, der schon einmal eine Seepocke ärgern wollte und versucht hat, diese von einem Felsen zu schubsen, kennt das Phänomen: Die Pocke rührt sich nicht. Ein Trick der perfiden Pocke ist das Übereinanderschichten von Klebstofflagen

mit geringfügig ansteigendem E-Modul. Dadurch kommt es zu einem sanften Übergang vom möglicherweise sehr hohen Modul der harten Unterlage zum vergleichsweise niedrigen Modul der Pockensubstanz. Den Trick der Seepocke zu übernehmen und künstliche Gradientenschichten zu entwickeln, dazu bedarf es eben auch einer geeigneten Analytik.

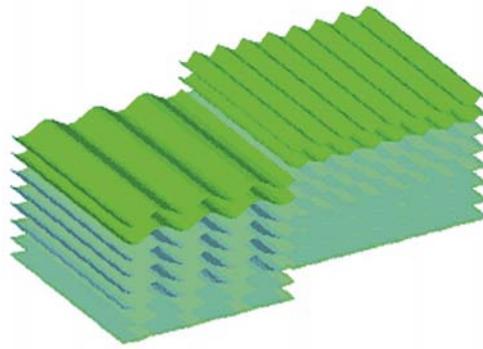
Fast unnötig ist es, die vielen plasmapolymere Funktionsschichten zu erwähnen, die, einige zehn Nanometer dick, entscheidenden Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit von Bauteilen haben. Über die elastischen Parameter dieser Schichten ist wenig bekannt. Ihre Lebensdauer wird jedoch von diesen mitbestimmt.

Schließlich noch ein Wort zur Porosität. Poren beeinflussen natürlich bei allen aufgeführten Systemen entscheidend die mechanischen Eigenschaften und können Festigkeiten rapide zusammenbrechen lassen. Es gibt aber auch Systeme, die von Hause aus porös sind – man denke nur an dünne Anodierschichten auf Metallen. Die Lebensdauer dieser Schichten wird auch hier entscheidend von einer optimalen Anpassung von Schicht- und Substratmodul beeinflusst.

Kurz: Mechanische Eigenschaften sehr dünner und insbesondere viskoelastischer bzw. poroelastischer Filme sind offensichtlich von Interesse; und genauso offensichtlich ist es, dass die Bestimmung nicht ganz einfach ist. Wie kann man an das Problem herangehen?

### Der Trick

Wie schon im Untertitel erwähnt, geht es um Schallwellen. Statt das Eindringverhalten einer Spitze in den Film zu analysieren, wertet man die Ausbreitung von Wellen aus. Ein auf den ersten Blick verblüffender Ansatz. Zerstörungsfrei, schön und gut, aber Polymere und Schall? Eine vernünftige schallabsorbierende Polymerschicht auf den Rümpfen der U-Boote hätte das hässliche Sonar-»Ping« erheblich gedämpft und unzähligen U-Boot-Fahrern die Nerven geschont, leider auch die Dramatik des Films *Das Boot* erheblich gemindert. Polymere zeichnen sich ja gerade dadurch aus, dass sie Schall sehr gut absorbieren. Schlim-



**Abb. 2:** Eindringverhalten von Oberflächenwellen in ein System. Die Schicht ist hellgrün, das Substrat blassgrün dargestellt; vorne große Wellenlängen, hinten kleine Wellenlängen.

mer noch: Die Absorption nimmt mit steigender Frequenz zu. Doch um sehr feine Strukturen zu untersuchen, benötigen wir gerade diese hohen Frequenzen. Ultraschall und Polymere, darüber braucht man an sich nicht nachzudenken. Durch einen kleinen Trick lässt sich dennoch mit Ultraschall arbeiten.

Das, was bei der Indentermethode zum Fluch wird, die Notwendigkeit, ein hartes Substrat zur Unterstützung der dünnen Filme zu verwenden, wird hier zum Segen. Schallharte Substrate wie Silizium, Stahl oder Keramiken werden zu Trägern der Schallenergie und sorgen dafür, dass Schallenergie nicht zu schnell im Polymerfilm aufgezehrt wird.

### Die Oberflächenwelle

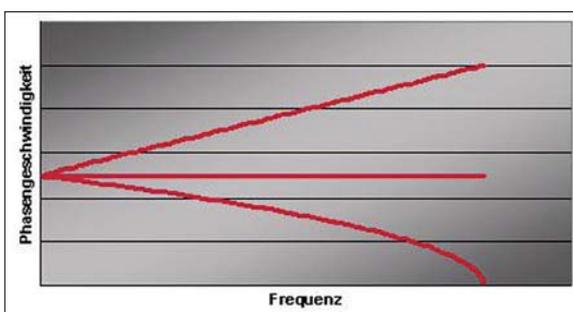
Prinzipiell lässt sich also Ultraschall zur Untersuchung sehr dünner weicher Filme verwenden. Von dem ganzen Zoo an Wellen, die sich in einem Film-Substrat-System ausbreiten, analysiert die hier vorgestellte Methode nur einen einzigen Typ. Oberflächenwellen, in diesem Fall so genannte Rayleigh-Wellen, dringen je nach Wellenlänge unterschiedlich tief in das Film-Substrat-System ein. Als Eindringtiefe bezeichnet man die Strecke, nach der die Wellenenergie auf einen bestimmten Bruchteil abgesunken ist.

Wellen mit sehr kleiner Wellenlänge besitzen eine sehr geringe Eindringtiefe und breiten sich daher fast ausschließlich im Film aus (Abb. 2 hinten), während Wellen mit großer Wellenlänge tief in das Substrat eindringen und sich auch zum größten Teil dort ausbreiten (Abb. 2 vorne).

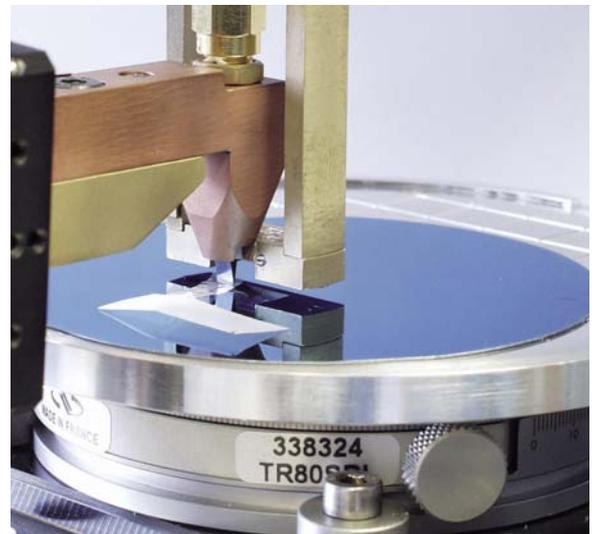
## Die Dispersionskurve

Das Ausbreitungsverhalten, insbesondere die Geschwindigkeit dieser Wellen, wird im Wesentlichen vom E-Modul bestimmt. Wellen, die sich fast ausschließlich im Substrat ausbreiten, bewegen sich daher schneller oder langsamer als Wellen, die sich im weichen Film fortpflanzen. Trägt man die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Wellen gegen die Frequenz auf, erhält man die Dispersionskurve.

In Abbildung 3 sind unterschiedliche Typen von Dispersionskurven aufgetragen. Unterscheiden sich die mechanischen Eigenschaften von Film und Substrat nicht, so breiten sich alle Wellen mit der gleichen Geschwindigkeit aus. Man beobachtet keine Dispersion, die Dispersionskurve verläuft horizontal (mittlere Kurve in Abb. 3). Eine sehr harte Schicht auf einem weichen Grundmaterial würde zu höheren Geschwindigkeiten der Wellen bei zunehmenden Frequenzen führen (obere Kurve in Abb. 3). Im anderen Fall, wenn sich ein sehr weiches Material auf dem Substrat befindet, sinken die Geschwindigkeiten der Wellen mit zunehmender Frequenz, man beobachtet eine fallende Dispersionskurve (untere Kurve in Abb. 3).



**Abb. 3:** Typen von Dispersionskurven: Unbeschichtetes Substrat (mittlere horizontale Kurve). E-Modul des Substrates kleiner als der E-Modul des Films (obere steigende Kurve). E-Modul des Substrates größer als der E-Modul des Films (untere fallende Kurve).



**Abb. 4:** Messkopf des LAWave®-Messplatzes.

## Das Messgerät

Wir verwenden das LAWave®-Gerät, eine Entwicklung des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden. In Abbildung 4 ist der eigentliche Messkopf der Anlage zu sehen.

Auf dem runden, bläulichen Siliziumwafer befindet sich der zu untersuchende Film. Im Vordergrund sieht man einen Stahlspatel, der ein kleines Stück einer piezoelektrischen Folie auf die Probe drückt. Halb verdeckt von der kupferfarbenen Halterung ist eine Zylinderlinse zu erahnen. Von oben kommend wird nun ein Laserpuls von der Zylinderlinse auf die Probe fokussiert. Die Probe wird durch den Puls in einem schmalen linienförmigen Bereich erhitzt. Ähnlich wie sich Wasserwellen um die Einschlagstelle eines Steines herum ausbreiten, regen diese Laserpulse in der Probe Oberflächenwellen an. Je kürzer die Pulsdauer ist, umso größer ist die Bandbreite der dabei entstehenden Oberflächenwellen. Die Wellen laufen unter einem Stahlspatel durch, der eine piezoelektrische Folie auf die Probe presst. Dabei erzeugen sie ein kurzes Spannungssignal, das von einem Oszilloskop aufgezeichnet wird. Das Signal wird fouriertransformiert, und aus dem Phasenspektrum erhält man die Dispersionskurve. Handelt es sich bei dem Film um ein elastisches Material, so kann daraus unmittelbar der E-Modul bestimmt werden.

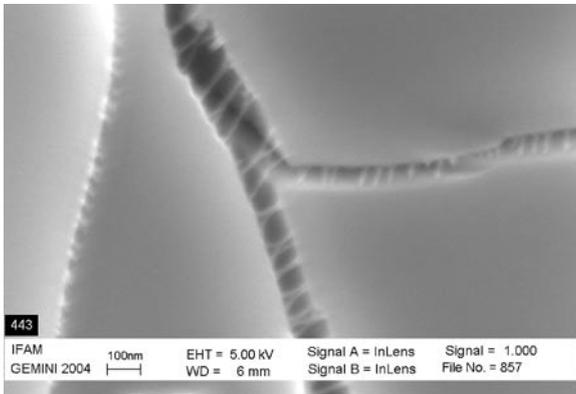


Abb. 5: REM-Aufnahme eines durch Spin-Coating auf einem Siliziumwafer erzeugten ca. 9 Nanometer dicken PS-Films.

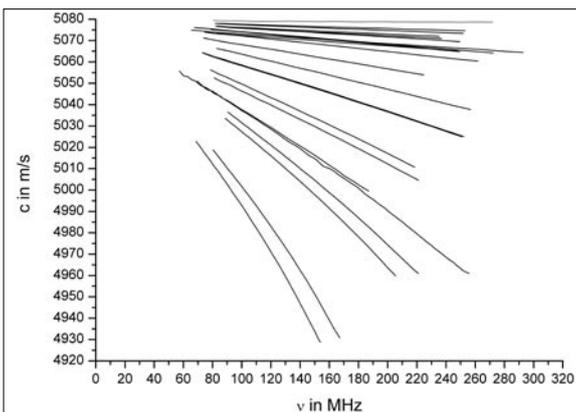


Abb. 6: Dispersionskurven für PS-Filme auf Siliziumwafern. Die nahezu horizontale Linie stammt von dem unbeschichteten Substrat, die unterste Linie von einem ca. ein Mikrometer dicken PS-Film.

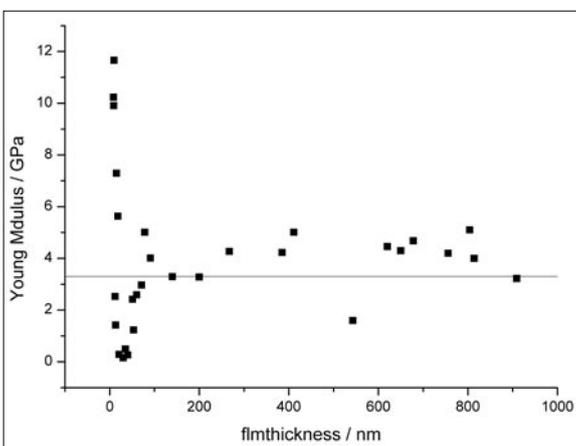


Abb. 7: E-Moduli dünner PS-Filme auf Siliziumwafern. Durchgezogene Linie: Bulk-Modul Polystyrol.

## Beispiel für weiche Materialien

Polystyrol besitzt als Thermoplast ausgeprägte viskoelastische Eigenschaften. In der Literatur häufig beschrieben, dient es als gutes Referenzsystem. In Abbildung 5 ist ein ca. 9 Nanometer dicker Polystyrolfilm (PS-Film) auf einem Siliziumwafer zu sehen. Die Probe wurde nach der Beschichtung gebrochen, um unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) den Film überhaupt nachweisen zu können. Zu erkennen ist der Film nur an den gestreckten faserartigen Strukturen den Bruchkanten.

In Abbildung 6 sind die Dispersionskurven unterschiedlich dicker PS-Filme dargestellt. Die nahezu horizontale Kurve stammt vom unbeschichteten Substrat. Darunter schließen sich die leicht abfallenden Dispersionskurven der sehr dünnen Filme und die stärker gekrümmten Kurven sehr dicker Filme an. Einen beeindruckenden Beweis für die Empfindlichkeit der Messmethode stellen die nur leicht abfallenden Kurven dar, die von nur ca. 10 Nanometer dicken PS-Filmen stammen.

Die Ermittlung der Moduli aus den Dispersionskurven ist in Abbildung 7 dargestellt. Wir beobachten eine starke Abweichung vom Bulk-Modul unterhalb einer Schichtdicke von 50 Nanometern.

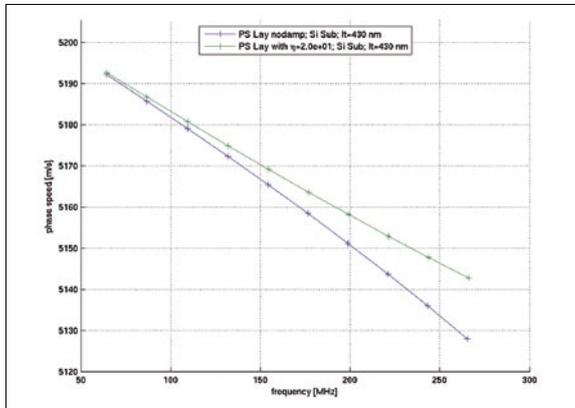


Abb. 8: FEM-Simulation einer Dispersionskurve für einen 430 Nanometer dicken PS-Film auf einem Siliziumwafer. Für die Berechnung der oberen Kurve wurde viskoelastisches Verhalten zugrunde gelegt, für die Berechnung der unteren Kurve elastisches.

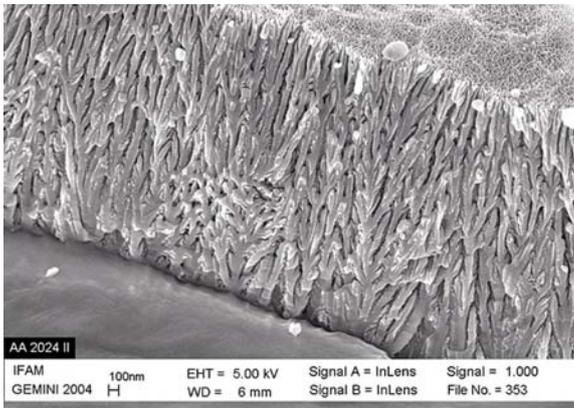


Abb. 9: REM-Aufnahme einer Anodierschicht auf Aluminium.

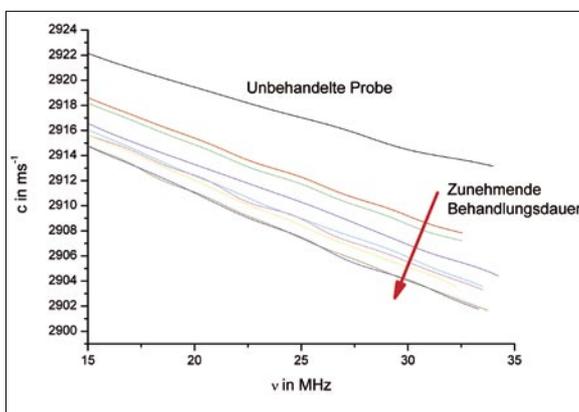


Abb. 10: Dispersionskurven unbehandelter (obere Kurve) und behandelter Proben (untere Kurven).

Die Auswertung der Dispersionskurven beruht noch auf einer rein elastischen Theorie. Um den Einfluss viskoelastischer Anteile auf die Dispersionskurve abzuschätzen, haben wir uns der FEM-Simulation bedient. In Abbildung 8 ist die Simulationsrechnung für einen PS-Film auf einem Siliziumwafer dargestellt. Die Dispersionskurve, die man aus der rein elastischen Rechnung erhält (Abb. 8 untere Kurve), fällt stärker ab als die Kurve, die man unter Berücksichtigung der Viskoelastizität errechnet (Abb. 8 obere Kurve). Die Bestimmung des E-Moduls aus der Dispersionskurve führt also im Fall eines viskoelastischen Anteils zu einer Überschätzung der Moduli.

### Beispiel für poröse Materialien

Ein Material mit ausgeprägt poröser Struktur stellen Anodierschichten dar. In Abbildung 9 sieht man eine REM-Aufnahme einer Anodierschicht auf einem Aluminiumblech.

Aufgrund der großen Härte des Aluminiumoxids kann selbst eine so zerklüftete Struktur mit Oberflächenwellen untersucht werden. In Abbildung 10 sind die Dispersionskurven dieser Schicht dargestellt. Bei der obersten Kurve handelt es sich um die Messung der unbehandelten Probe, während die darunterliegenden Kurven die Veränderung der Probe im Laufe eines Verdichtungsprozesses widerspiegeln.

## Die Zusammenfassung und der Ausblick

Die Frage nach den mechanischen Eigenschaften dünner Filme ist nicht nur von akademischem Interesse. Für viele dünne Schichtsysteme, seien sie nun visko- oder poroelastisch, ist die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften durch die Dispersion der Oberflächenwellen eine echte Alternative zu den klassischen Indentationstests. In vielen Fällen werden Systeme überhaupt erst durch diese speziellen Ultraschalluntersuchungen zugänglich.

Momentan befinden wir uns noch in dem Stadium, das volle Anwendungsspektrum des Verfahrens zu ermitteln. Als Nächstes stehen eine Übertragung der viskoelastischen Theorie auf die Auswertung der Dispersionskurven sowie die Untersuchung vernetzter Polymerfilme an. Ivan Illich schreibt in *Tools for Conviviality*: »Der Mensch braucht ein Werkzeug, um damit zu arbeiten, nicht aber einen Apparat, der an seiner statt arbeitet«. Die Apparatur zur Bestimmung elastischer Eigenschaften mittels Oberflächenwellen ist noch weit davon entfernt, eine Routine-testmaschine wie z. B. eine Universalprüfmaschine zu sein – aber wir arbeiten daran.

### Ansprechpartner

Udo Meyer  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-6 10  
E-Mail: mu@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
Bremen

## Neue Wege der klebtechnischen Weiterbildung: BoniH – Klebpraktiker/-in online

Seit 1994 wurden im Klebtechnischen Zentrum des Fraunhofer IFAM 1133 Klebpraktikerinnen und Klebpraktiker nach DVS®-EWF-Richtlinien\* ausgebildet. Allerdings rekrutierten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bis Anfang 2005 nur zu fünf Prozent aus Handwerksbetrieben, ein Umstand, der angesichts des rasanten Bedeutungszuwachses des Klebens auch im Handwerk bedenklich stimmt.

Die Gründe, warum die bisher nur in einwöchiger Präsenzform angebotene Weiterbildung zur Klebpraktikerin/zum Klebpraktiker von Handwerksbetrieben kaum angenommen wurde, liegen auf der Hand: Gerade die kleineren Firmen können oder wollen ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht für eine komplette Woche für Weiterbildungskurse freistellen, denn die Personaldecke in den Betrieben ist meist dünn, Einzelne sind oft schwer ersetzbar, Aufträge müssen häufig unter Zeitdruck abgearbeitet werden. Andererseits macht natürlich die technologische Entwicklung auch vor dem Handwerk nicht Halt: Erhöhte Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften von Produkten erfordern eine Materialvielfalt, die oft nur noch durch das Kleben erreicht werden kann.

Um vor diesem Hintergrund auch dem Handwerk einen Zugang zu der innovativen Technologie des Klebens zu ermöglichen, hat das Fraunhofer IFAM in Zusammenarbeit mit der Technologietransferstelle der Handwerkskammer Bremen und deren Berufsförderungszentrum das Projekt »BoniH (Bildung online im Handwerk): Klebpraktiker/-in online« realisiert. In zwei Durchläufen nahmen Handwerker aus Betrieben Bremens und des Umlandes an dem Onlinelehrgang teil, in dem theoretische Kenntnisse über das Kleben mittels einer Lernplattform der Firma »Ivy-Group« gelernt werden konnten. Das Besondere an dieser Plattform ist die Tatsache, dass sie so genanntes »Live-E-Learning« ermöglicht: Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sitzen mit einem Headset vor dem Bildschirm, auf dem sie in Echtzeit die Dozentin oder den Dozenten sehen und hören, die wiederum direkt auf Teilnehmerfragen eingehen können, die diese aussprechen und nicht eintippen müssen.



Abb. 1: Dozentin Andrea Paul (IFAM) im Studio.

Wegen der besonderen Arbeitsbedingungen im Handwerk ist es vorteilhaft, dass die Lernplattform eine Aufzeichnung jeder Onlineveranstaltung vorhält, so dass niemand eine Veranstaltung versäumt – er kann sie sich als »Retorte« jederzeit ansehen. Die Lehrgangsinhalte wurden für diese neue Vermittlungsmethode speziell aufbereitet, das Dozententeam wurde mediendidaktisch geschult.



Abb. 2: CD-ROM-Hülle.

\* DVS = Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.  
EWF = European Federation for Welding, Joining and Cutting

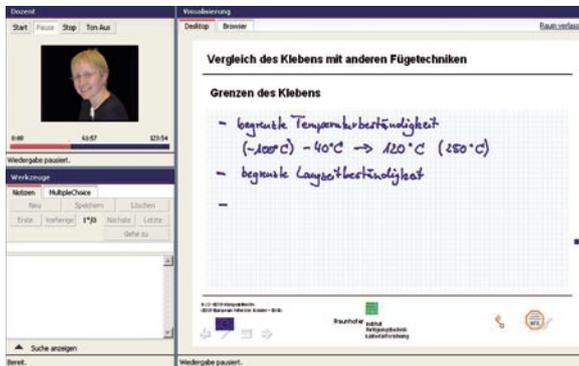


Abb. 3: Bildschirmansicht bei Wiedergabe der Aufzeichnung.

Neben einer bereits in den Präsenzlehrgängen eingesetzten, für die Onlineweiterbildung modifizierten CD-ROM, die die Teilnehmerinnen und Teilnehmer inhaltlich auf den Kurs vorbereitet, erhielten alle für diesen Kurs eine weitere CD-ROM mit interaktiven Übungen zu den einzelnen Lehrgangsmodulen, mit denen sie ihren Wissensstand überprüfen konnten.

Darüber hinaus wurden die Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit einem Video auf das eintägige Praktikum vorbereitet, das am Ende des jeweiligen Durchgangs im IFAM stattfand. Dort wurde im Anschluss auch die Abschlussprüfung durchgeführt.

Als eine entscheidende Quintessenz der Evaluierung des ersten Durchgangs des Projektes »BoniH – Bildung online im Handwerk« kann formuliert werden: E-Learning ist für die klebtechnische Weiterbildung der entscheidende Entwicklungsschritt und unterstützt den Transfer dieser innovativen Füge-technik in das Handwerk nachhaltig. Die besonderen ressourcenbedingten Restriktionen gepaart mit der Arbeitsweise von Handwerksbetrieben, die erhöhte Flexibilität und kurze Reaktionszeiten erfordert, verhindern nicht die Bereitschaft, sich mit innovativen Technologien zu beschäftigen. Sie nehmen Handwerksbetrieben aber häufig die Möglichkeit, an zertifizierenden Weiterbildungen teilzunehmen, die in 40-stündiger Präsenzform durchgeführt werden. Die gewählte Live-E-Learning-Plattform, die neben den

Onlinesitzungen und der synchronen, verbalen Kommunikationsmöglichkeit auch erlaubt, Onlinesitzungen als Retorte noch mal anzuschauen, ist – nach dem ersten Durchlauf zu urteilen – das ideale E-Learning-Instrument für das Handwerk.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass klebtechnische Informationen, die über das in dem Onlinekurs vermittelte konkrete Anwendungs-Know-how hinausgehen, zu neuen Problemlösungsstrategien in den Betrieben führen, indem die Klebtechnik erstmals als fügetechnische Alternative in den Blick gerät und in Betracht gezogen wird. Somit ist festzuhalten, dass die Information über technologische Neuerungen die Bedingung der Möglichkeit von Innovationen darstellt. Die Aufgabe ist hier, Bereichen der Wirtschaft, die aufgrund arbeitstechnischer oder ressourcenbedingter Umstände Schwierigkeiten haben, diese Informationen zu erlangen, Wege und Möglichkeiten zu eröffnen, diese zu erhalten und nicht unwillentlich ins technologische Hintertreffen zu geraten.

Aus diesem Grund soll es in der zweiten Jahreshälfte 2006 eine Neuauflage des Kurses »Klebpraktiker/-in online« geben.

#### Ansprechpartner

Beate Brede  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 21  
E-Mail: bd@ifam.fraunhofer.de

#### Institut

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
Bremen

# Numerische Simulation der Klebstoffverarbeitung

## Ausgangssituation

Eine rationelle Fertigung geht einher mit einer Verkürzung der Taktzeiten und einer entsprechenden Erhöhung der Anforderungen an die Einzelprozesse. Dies gilt für die Klebtechnik hinsichtlich der Verarbeitungsgeschwindigkeiten ebenso wie im Hinblick auf neue, effizientere Applikationsverfahren. Während seiner Verarbeitung wird dem Klebstoff durch die Dosieranlage eine thermo-mechanische Beanspruchung aufgeprägt, und es stellt sich die Frage, ob das System aus Klebstoff und Dosieranlage unter den verschärften Bedingungen sicher funktioniert. Die variablen Beanspruchungsprofile umfassen dabei mit Blick auf den Klebstoff die Parameter Druck, Temperatur, Schergefälle und Zeit.

Die in Dosieranlagen jedweder Bauart eingesetzte Sensorik zur Überwachung des Dosiervorgangs beschränkt sich auf die Messung von Temperaturen und Materialdrücken in Leitungssystemen. Hierbei handelt es sich um globale Messgrößen, die lokal (z. B. innerhalb einer Dosierpumpe oder in einem Ventil) starken Abweichungen unterworfen sind. Diese lokalen Parameter sind mit herkömmlicher Messtechnik nicht erfassbar, entscheiden aber ganz wesentlich mit darüber, ob ein Klebstoff prozesssicher verarbeitbar ist.

## Aufgabe

Es ist eine Methode zu qualifizieren, die es ermöglicht, ausgehend von den messbaren Globalgrößen die lokalen Größen für Druck, Temperatur und Schergefälle zu ermitteln. Die Kenntnis dieser lokalen Größen wiederum gestattet eine genaue Beschreibung des realen Beanspruchungsprofils, welches dem Klebstoff durch die Dosieranlage während der Verarbeitung aufgeprägt wird.

Hier bietet sich die numerische Strömungssimulation CFD (Computational Fluid Dynamics) an. Die Beschreibung von Strömungsvorgängen mittels CFD wird bereits in den unterschiedlichsten technischen Feldern eingesetzt. Die Bandbreite erstreckt sich von der Aerodynamik luft-, schienen- oder straßengebundener Fahrzeuge über die Simulation von Füllvorgängen beim Spritzgießen polymerer und metallischer Werkstoffe bis hin zur Beschreibung von motorischen Verbrennungsvorgängen.

Im Bereich der Klebtechnik, speziell der maschinellen Verarbeitung von Klebstoffen (= nichtlineare Fluide), wurde die numerische Strömungssimulation bislang kaum eingesetzt. Abbildung 1 verdeutlicht den erwarteten Nutzen durch den Einsatz von CFD.

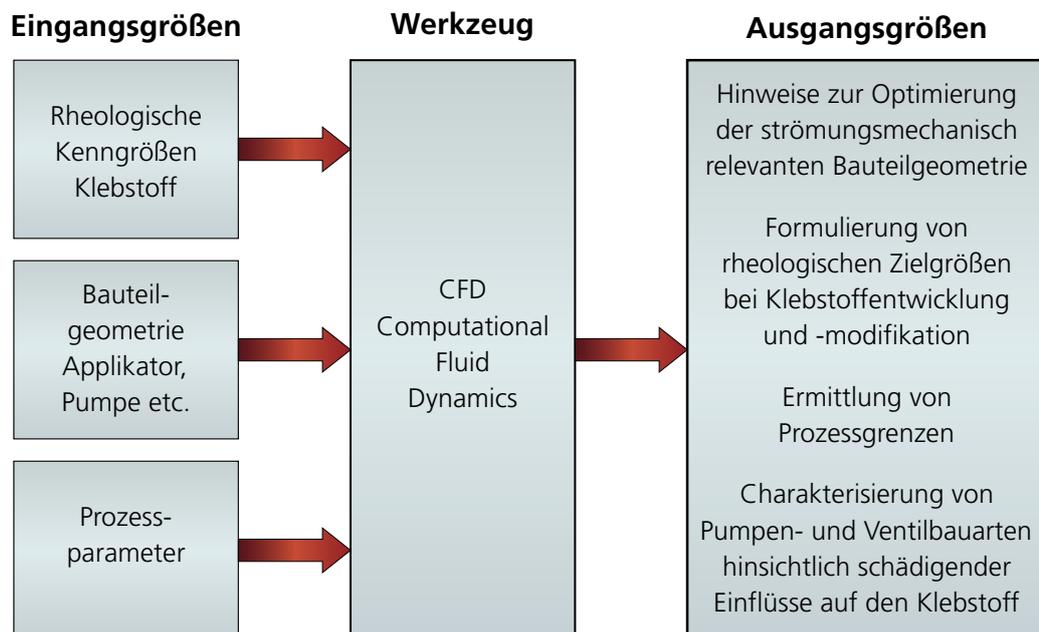


Abb. 1: Ein- und Ausgangsgrößen bei der numerischen Strömungssimulation von klebtechnischen Verarbeitungsprozessen.

## Anwendungsbeispiel

In der Verpackungsindustrie muss die Leistungsfähigkeit der Klebstoffdosierkomponenten proportional zu den steigenden Bandgeschwindigkeiten erhöht werden. Als restriktive Randbedingung wirkt die Vorgabe, die höhere Leistungsfähigkeit der Applikationsventile mit einem standardisierten Bauvolumen zu realisieren. Abbildung 2 zeigt das Schnittmodell eines so genannten Dosierkopfes für die Verarbeitung von Schmelzklebstoffen und das Modell des fluiddurchströmten Bereichs.

Die Betrachtung des Modells verdeutlicht den Zielkonflikt bei der Aufgabe, die Durchströmbarkeit des Ventilkopfes und damit die Applikationsleistung zu verbessern: Durch die mechanische Fertigungstechnik sind einer strömungstechnischen Optimierung Grenzen gesetzt. Hier zeigt sich der generelle Vorteil der numerischen Simulation. Durch vergleichsweise einfache Veränderungen der Geometrie können die Änderungen im Strömungsverhalten – wie in Abbildung 3 dargestellt – ermittelt und durch Iteration optimiert werden.

## Ausblick

Das Anwendungsbeispiel beleuchtet eine von mehreren Einsatzmöglichkeiten der CFD im Bereich der Verarbeitung von Klebstoffen. Die in der Ausgangssituation beschriebene thermo-mechanische Beanspruchung des Klebstoffs mit ihren lokalen Größen ist eine weitere Möglichkeit. Hierbei ist das Ziel, die Grenzen der Verarbeitbarkeit für ein Klebstoffsystem zu quantifizieren. Dazu ist ein Blick in die jeweiligen Komponenten wie Dosierpumpen unter Einbeziehung der Relativbewegungen der Einzelteile notwendig. Die numerische Strömungssimulation wird an dieser Stelle interessante Ergebnisse liefern, deren Interpretation allerdings schwer fallen wird. Hier muss ergänzend ein Experiment durchgeführt werden. Ein derartiges Experiment erfordert eine Vorrichtung, die eine Variation der einzelnen Einflussparameter Druck, Temperatur, Schergefälle und Zeit unabhängig voneinander gestattet. Dies wird Thema in der nächsten Ausgabe des Jahresberichtes sein.

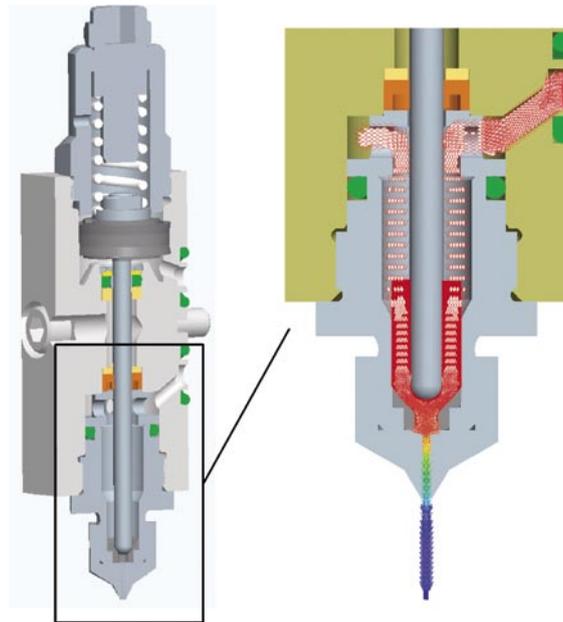


Abb. 2: Schnittmodell eines Dosierkopfes für die Verarbeitung von Schmelzklebstoffen.

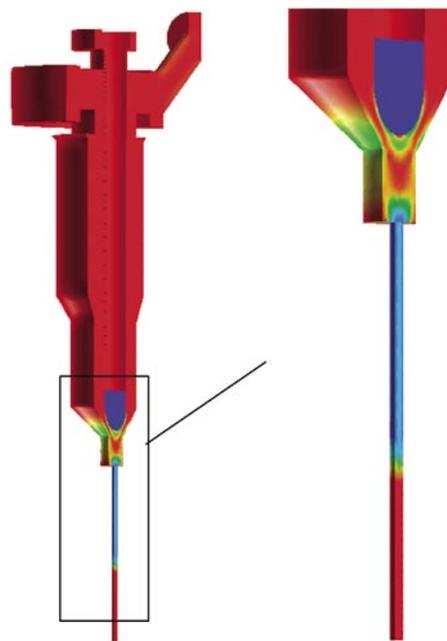


Abb. 3: Viskosität des Klebstoffs im Ventilkopf bei geöffnetem Ventil.

### Ansprechpartner

Manfred Peschka  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-5 24  
E-Mail: pe@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
Bremen

## Mikrokleben mit reduziertem Montagestress

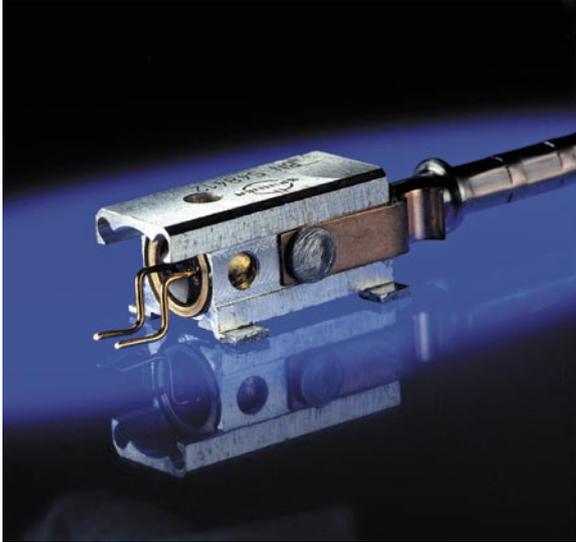


Abb. 1: Mikroklebung einer VCSEL-Diode in einem SMD-Gehäuse.

### Ausgangssituation

In der Aufbau- und Verbindungstechnik der Mikrosystemtechnik, Mikrotechnik, Mikroelektronik usw. nimmt die Klebtechnik einen immer breiteren Raum ein. Art und Qualität der Montage bestimmen dabei maßgeblich die Produktionskosten sowie die Leistung und die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Montagebedingter Stress in der Verbindung ist eine der Hauptursachen für das Auftreten von Fehlern und Ausfällen.

### Aufgabe

Das durchgeführte Projekt sollte Erkenntnisse zur Entstehung von Mikrostress erbringen und damit Wege zur Realisierung stressoptimierter Mikroklebungen aufzeigen sowie Voraussetzungen für verbesserte Simulationsrechnungen schaffen.

### Vorgehen

In dem Projekt wurden die Einflussbereiche Konstruktion, Werkstoffauswahl und Prozessführung mittels Experimenten und Finite-Elemente-Modelling (FEM) untersucht. Aus dem projektbegleitenden Industrieausschuss kamen je eine Anwendung aus Elektro-Optik und Mikro-Optik zur Untersuchung.

### Anwendungsbeispiele

Aus dem Bereich der Elektro-Optik wurde beispielhaft die Klebung einer VCSEL-Diode in ein SMD-Gehäuse bei aktiver Rückkopplung untersucht (Abb. 1). Wegen Toleranzen der zu verklebenden Bauteile können stark inhomogene Klebschichtdicken (10 Mikrometer bis 490 Mikrometer) notwendig werden. Die Klebung muss der Spezifikation entsprechend eine Justage von besser als  $\pm 10$  Mikrometer unter Einsatzbedingungen für 20 Jahre gewährleisten. Das Alterungsverhalten der Verklebung – wie z. B. Positionsveränderungen oder Dejustage – und dessen Optimierung sind heute weitgehend unbekannt. Als beispielhafte mikrooptische Baugruppe wurde ein zylindrisches Endoskopobjektiv gewählt (Abb. 2). Hier treten beim Abschleifen der mit Übermaß verklebten optischen Komponenten auf einen einheitlichen Durchmesser und bei der späteren Sterilisation erhebliche Belastungen für die Klebungen auf. Bei beiden Anwendungsbeispielen gehen die in der Mikroklebungen vorliegenden inneren Spannungen direkt in die Bauteileigenschaften ein.

### Vorarbeiten Mikro-Optik und Elektro-Optik

Für die beiden Anwendungen wurde zur Auswahl potenziell geeigneter Klebstoffe jeweils ein umfangreiches Lastenheft erarbeitet, wurden insgesamt fast 50 potenziell geeignete Klebstoffe beschafft und anwendungsspezifische Screening-Untersuchungen durchgeführt. Je nach Lastenheft wurden dabei Eigenschaften wie Dosierbarkeit, erzielbare Klebschichtdicke, Härtebarkeit, Blasenfreiheit, Verbundfestigkeit sowie thermomechanisches Verhalten im Bulk und in Modellklebungen untersucht. Mit den besten Klebstoffen wurde dann der Einfluss verschiedener Parameter aus Konstruktion, Prozessführung und Belastung auf Modellklebungen systematisch geprüft, um zu realitätsnahen, weiter stressoptimierten Varianten zu gelangen. Die Ergebnisse flossen in den Aufbau nochmals stressoptimierter, realitätsnaher Musterklebungen ein. Parallel erfolgte zur Herstellung von Musterklebungen der VCSEL-Dioden in die SMD-Gehäuse die Entwicklung eines Montageprozesses, der eine automatisierbare Mikromontageanlage nutzt. Nach der automatisierten Justage mittels Maxi-



Abb. 2: Im Strahlengang geklebtes Endoskopobjektiv (Produkt: Richard Wolf GmbH).

mierung der in die Faser eingekoppelten Lichtintensität erfolgten die UV-Härtung des Klebstoffs in der Anlage sowie eine thermische Nachhärtung. Die Plateaubreite des Intensitätsmaximums wurde auf  $\pm 10$  Mikrometer bestimmt und legt die bei den nachfolgenden Fertigungsschritten und im Einsatz langzeitstabil erforderliche Präzision der Justage fest.

### Ergebnisse Mikro-Optik

Bei den Modellklebungen ist an herausragenden Ergebnissen zu nennen, dass bei den meisten Klebstoffen Strukturveränderungen der Klebschicht mit der Intensität der UV-Aushärtung zunehmen, diese meist jedoch erst nach Temperaturzyklen sichtbar werden. Das heißt, es können bei der schnellen, inhomogenen UV-Härtung nach der Fertigung unerkant erhebliche Spannungen im Verbund vorliegen. Dickere Klebschichten im Bereich von 20 bis 100 Mikrometer erbrachten keine thermomechanischen Vorteile, waren teilweise sogar ungünstiger als dünnere (10 bis 20 Mikrometer). Hier deutet sich die Einflussnahme der Grenzschicht im Klebstoff an, was jedoch im Projekt nicht weiter untersucht werden konnte. Ferner wirkte es sich nachteilig aus, wenn die Härtungsschrumpfung in Dickenrichtung durch 20 Mikrometer dicke Abstandhalter behindert wurde. Dies führte teilweise zu Rissen in der Klebschicht und generell zu reduzierten Festigkeiten. Hier war also wichtig, dass die Klebschicht wäh-

rend der Härtung ungehindert schrumpfen und sich verformen konnte, damit in der Klebschicht möglichst wenig Spannungen entstehen. Neben den genannten systematischen Zusammenhängen fiel auf, dass bereits zufällig in der Klebschicht vorhandene Unregelmäßigkeiten, wie zu große Füllstoffpartikel oder Luftblasen, in der Temperaturwechselbeanspruchung optisch störende Strukturveränderungen in der Klebschicht verursachen können. Somit wirken diese Unregelmäßigkeiten wie »Keime«, die den Abbau von Spannungen auslösen.

Bei den Musterklebungen waren Strukturveränderungen nur bei zwei (bewusst besonders schnell gehärteten) der 100 Proben zu beobachten. Dies bestätigt, dass die zuvor geprüften Modellklebungen die realen Bedingungen verschärft simuliert hatten, und zeigt, dass bei fast allen Varianten der Musterklebungen bereits eine gute Stressoptimierung vorlag.

Es wurden klebstoffspezifisch mehr oder weniger starke Abhängigkeiten der Bruchspannung von der Variation der Härtung oder von Lagerdauer und Reinigungsart der Klebflächen gefunden. Vorteilhaft waren insbesondere langsame UV-Härtung niedriger, aber hinreichender Intensität, lange thermische Nachhärtung sowie neue, nicht korrodierte Glasoberflächen. Die besten Klebvarianten zeigten bei dem angewandten – für Klebungen sehr ungünstigen – Schälversuch generell einen Fügeteilbruch, was ein sehr gutes Ergebnis darstellt.

## Ergebnisse Elektro-Optik

Die Musterklebungen wurden hinsichtlich der Position der Diode (relativ zum SMD-Gehäuse) und bezüglich der in die Faser eingekoppelten Intensität untersucht. Dies ermöglichte die Aufstellung von Ursache-Wirkungs-Korrelationen. Zur Bestimmung der Diodenposition wurde ein Messverfahren entwickelt und erprobt, das direkt während der Fertigung und auch nach Alterungen anwendbar war. Die erreichte Messgenauigkeit ist bei einem Messfeld von sechs mal sechs Quadratmillimetern besser als zwei Mikrometer.

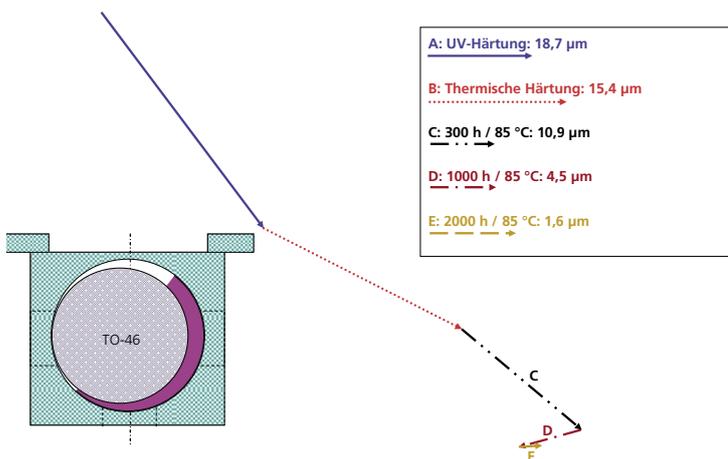


Abb. 3: Dejustage-Messung an einer nicht stressoptimierten Klebung.

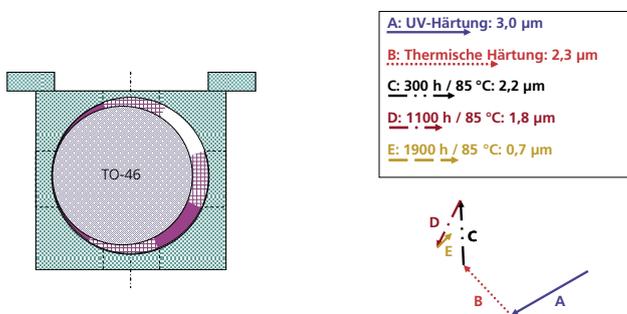


Abb. 4: Dejustage-Messung an einer stressoptimierten Klebung. Im Vergleich zu Abbildung 3 vergrößerte Darstellung der Relativbewegungen.

Bei der Bestimmung der Diodenposition wurde deutlich, dass die größten Positionsverschiebungen während der UV-Härtung, bei der thermischen Nachhärtung und bei den ersten 300 Stunden der Alterung bei 85 °C auftreten. Diese Verschiebungen können bei nicht stressoptimierten, außermittigen Klebungen wegen der stark inhomogenen Klebschichtdicken jeweils 10 bis 20 Mikrometer betragen. Die Gesamtverschiebung von der Justage vor der Klebstoffhärtung bis zum Ablauf von 2 000 Stunden der Alterung bei 85 °C kann bis zu 40 Mikrometer erreichen (Abb. 3). Links unten ist die Klebung schematisch im Querschnitt dargestellt mit der VCSEL-Diode (kreisförmig, innen), dem umgebenden Klebspalt sowie dem SMD-Gehäuse (eckig, außen). Die farbigen Pfeile symbolisieren die Relativbewegungen zwischen Diode und Gehäuse nach verschiedenen Fertigungsschritten bzw. Alterungsdauern wie in der Legende erläutert. Bei stressoptimierten Klebungen ist die Gesamtverschiebung auf fünf Mikrometer reduziert (Abb. 4). Bei Abbildung 4 sind die Verschiebungen gegenüber Abbildung 3 vergrößert dargestellt. Maßgeblich sind jeweils die numerischen Angaben in den Legenden. Somit bleiben nur die stressoptimierten Klebungen sicher auf dem Plateau des Intensitätsmaximums. Durch die Optimierungen gelang also die langzeitstabile Einhaltung der Spezifikationen ohne Rejustage.

Bei der Untersuchung der in die Faser eingekoppelten Lichtintensität waren bei den Klebvarianten während der Herstellung und der Alterung keine von Dejustage bedingten Verschlechterungen zu beobachten. Eine Vergleichsprobe hat die angenommenen Korrelationen von Ursache (Position) und Wirkung (eingekoppelte Lichtintensität) abgesichert.

## Finite-Elemente-Modelling Elektro-Optik

Zum weiteren Verständnis der Einflussfaktoren des Stresses in Mikroklebungen und zu deren Optimierung wurde am Beispiel der elektrooptischen Anwendung ein Finite-Elemente-Modelling (FEM) durchgeführt. Die berechneten Größen waren mechanische Spannungen, Dehnungen und Verschiebungen bzw. Verkipnungen der VCSEL-Diode. Unter Berücksichtigung der temperaturabhängigen Materialkennwerte wurde deutlich, dass tiefe Temperaturen ( $-40\text{ °C}$ ) zu größeren Spannungen in den Fügeteilen und in der Klebschicht führen als höhere ( $+80\text{ °C}$ ). Ferner resultieren außermittige Klebungen mit inhomogenen Klebschichtdicken in größeren Spannungen als symmetrische Klebungen mit homogenen Klebschichtdicken. Dies korreliert mit experimentellen Befunden. Eine Optimierung der Klebschichtgeometrie konnte die Spannungen deutlich reduzieren, was ebenfalls mit Experimenten übereinstimmte.

Schwierig ist bei der FEM die Berücksichtigung des Härtungsschrumpfs. Aus dem Vergleich mit Experimenten folgte, dass ein Großteil des Härtungsschrumpfs bei noch wenig vernetztem Klebstoff stattfindet und durch plastische Verformung bzw. Fließvorgänge ausgeglichen wird, ohne nennenswerte mechanische Spannungen zu bewirken. Mit diesen Erkenntnissen lässt sich der Härtungsschrumpf zukünftig besser modellieren.

## Demonstratoren

Mit den entwickelten Verfahren und Parametersätzen wurden stressoptimierte Demonstrator-klebungen aufgebaut. Diese weisen die industrielle Umsetzbarkeit der entwickelten Montagetechniken zum stressarmen Kleben bei jeweils einer ausgewählten mikrooptischen und elektrooptischen Anwendung nach.

Die Untersuchungen wurden aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen Otto von Guericke e. V. (AiF) (AiF-Nr.: 13.361, N/DVS-Nr.: 10.031) gefördert und von der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS\* unterstützt. Für diese Unterstützung sei gedankt.

### Ansprechpartner

Thomas Gesang  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 74  
E-Mail: ge@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Klebtechnik und Oberflächen,  
Bremen

\* DVS = Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.



# Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe

Ergebnisse   Anwendungen   Perspektiven



Produktion von Gussbauteilen.

## Kompetenzen und Know-how

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung – Formgebung und Funktionswerkstoffe – entwickelt sein Know-how zur Integration von funktionellen Werkstoffen in Strukturbauteile kontinuierlich weiter. Mit den Attributen »smarter – smaller – safer« wird die Vision umschrieben, dieses Wissen branchenübergreifend im Markt umzusetzen. Voraussetzung dafür sind die Pflege und der Ausbau der Kernkompetenzen

- Pulver- und Sintertechnologie,
- Gießerei- und Leichtmetalltechnologie sowie
- Mikro- und Nanotechnologie.

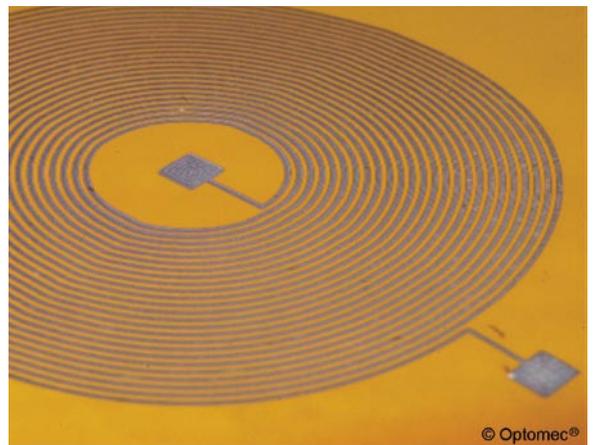
Die hohe Kompetenz und das Know-how der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am IFAM sowie die Vernetzung mit Partnern anderer Fachrichtungen sind die Garanten für die Erarbeitung innovativer Lösungen für die Wirtschaft. Das Spektrum unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten reicht dabei von anwendungsorientierter Grundlagenforschung bis hin zur Umsetzung in Produkte und zur Unterstützung bei der Fertigungseinführung.

In den komplexen Anforderungen an ein intelligentes Bauteil spielen Kombinationen verschiedener Werkstoffe in einer Komponente eine zunehmend wichtige Rolle. Diese Materialkombinationen zu gestalten und in Fertigungsprozessen zu beherrschen ist eine wesentliche Aufgabe beim Ausbau der Kompetenz.

Fertigungsverfahren wie Spritzguss finden heute Anwendung bei der Herstellung von geometrisch anspruchsvollen Bauteilen aus zahlreichen metallischen Legierungen und aus keramischen Werkstoffen. Es ist jetzt gelungen, die unterschiedlichen Eigenschaften von Werkstoffen auch gezielt lokal im Bauteil zur Anwendung zu bringen. Beispielsweise sei hier die Kombination von magnetischem und unmagnetischem Stahl genannt.

Dies lässt sich auch in der Mikrobauteilfertigung realisieren, wo durch solche integrierten fertigungstechnischen Lösungen die Einsparung der Mikromontage erreicht werden kann. Neben der Entwicklung zur Qualitätssicherung von Fertigungsprozessen für metallische Miniaturbauteile wurden neue interdisziplinäre Lösungsansätze im Bereich der Mikroreaktionstechnik und der Bioreaktoren erarbeitet.

Die Technologieplattform »Functional Printing« wurde um neue Möglichkeiten des maskenlosen Druckens mit dem so genannten M<sup>3</sup>D-Verfahren ergänzt. Formulierungen von funktionellen Tinten und Pasten sowie Kenntnisse zu deren Applikation auf Komponenten wurden neu erarbeitet. Damit ist es möglich, Bauteile mit Sensorik auszustatten und so z. B. Betriebs- oder Umgebungsbedingungen zu erfassen.



**Abb. 1:** Verarbeitung nanoskaliger Funktionsmaterialien: »Functional Printing« Silber-Mikroantenne auf einem flexiblen Substrat.

Mit modernster Gießereierrichtung und Analytik sowie einem umfassenden Know-how zur Verarbeitung von Aluminium- und Magnesiumlegierungen mittels Druckguss hat sich das IFAM gut im Markt positioniert. Neben der Optimierung der Gießprozesse für komplexe Bauteile wird der Kompetenzausbau insbesondere im Bereich der Integration von Piezoaktoren und RFIDs in Gussbauteile mit hoher Dynamik vorangetrieben.

Die Umsetzung von zellularen metallischen Werkstoffen in Produkten ist auf einem hohen Know-how-Stand. Hier werden spezielle Lösungen für Märkte wie z. B. den Dieselpartikelfilter erarbeitet und damit das Prozesswissen kontinuierlich erweitert.

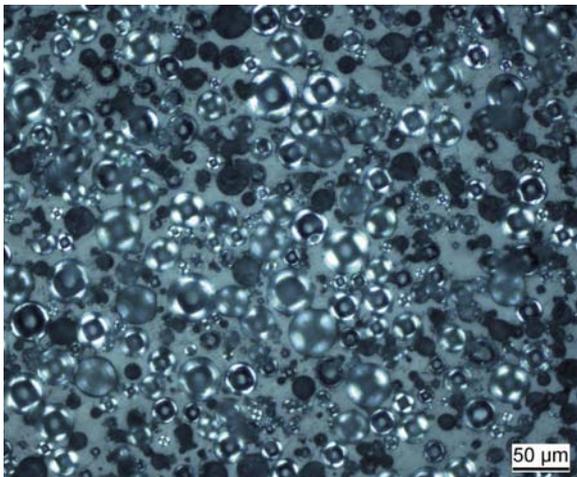
### Perspektiven

Das eigene Themenportfolio wird ständig mit den Bedürfnissen des Marktes abgeglichen, und daraus werden neue technologische Herausforderungen abgeleitet. Hierbei spielen Fragen der

Produktinnovation unter strikten wirtschaftlichen Randbedingungen eine genauso wichtige Rolle wie der Beitrag der Forschungsergebnisse zur Verbesserung der Lebensqualität und einer nachhaltigen Entwicklung für die Bereiche Transport, Energie, Medizin und Umwelt.

Auch weiterhin sind Werkstoffe und deren Verarbeitung in allen Produktinnovationen ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Besonders ist dies für die Urformverfahren hervorzuheben, da im Fertigungsprozess gleichzeitig Werkstoffeigenschaften und die Bauteilgeometrie beeinflusst werden können. Der sich daraus ergebende Markt wächst aufgrund zunehmender Produktkomplexität.

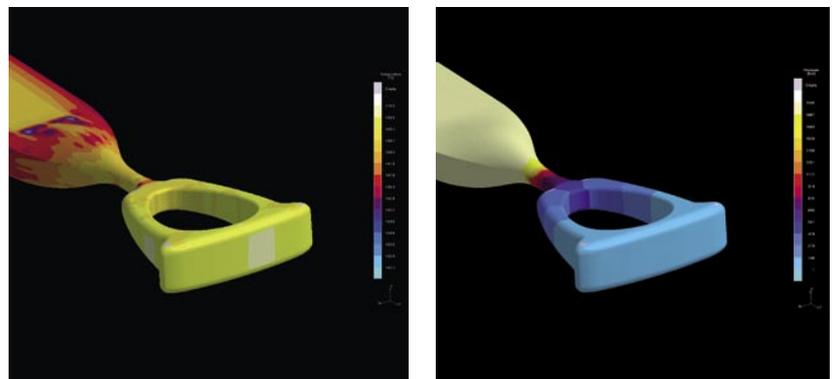
Werkstoffeigenschaften und Technologien für strukturelle und funktionelle Anwendungen werden maßgeschneidert und charakterisiert. Hierzu werden Hochleistungswerkstoffe, Verbundwerkstoffe, Gradientenwerkstoffe und »smart materials« weiterentwickelt sowie Fertigungstechnologien zur Integration der Eigenschaften in Komponenten erarbeitet.



**Abb. 2:** Gießtechnisch hergestellter Verbundwerkstoff aus Metall und mikroskopisch kleinen Glashohlkugeln. Die Größe der Glashohlkugeln beträgt dabei maximal 60 Mikrometer.

Die Vertiefung der Werkstoffkompetenz in den speziellen Bereichen der Funktionswerkstoffe, wie z. B. den Thermal-Management-Materialien, den Carbon-Nanotubes und den Nanokompositen, eröffnet sowohl Chancen für Produktentwicklungen mit bestehenden Kunden als auch zur Erweiterung des Kundenkreises.

Von besonderer Bedeutung für zukünftige Prozess- und Produktweiterentwicklungen ist die Simulation aller für die Bauteilherstellung erforderlichen Prozessschritte. Sowohl für gießtechnisch als auch pulvermetallurgisch hergestellte Bauteile wird angestrebt, die Eigenschaften der Komponenten bereits vor deren Herstellung vorhersagen zu können, um so robuste Fertigungsprozesse zu entwickeln und die Bauteilherstellung besonders effizient zu gestalten.



**Abb. 3:** Simulation von Temperaturverteilung und Formfüllverhalten für den Mikrospritzguss.

Ein vom BMBF geförderter regionaler Wachstumskern und das Demonstrationszentrum »Zellulare Werkstoffe« in Dresden sind wichtige Bausteine, um das volle Anwendungspotenzial poröser Strukturen auch kleinen und mittelständischen Unternehmen zugänglich zu machen. Die mit industriellen Partnern vorangetriebene innovative Entwicklung im Bereich der Dieselrußfilter ist ein Beispiel für die Verknüpfung von erarbeitetem Basis-Know-how und dessen Umsetzung in Werkstoffideen und Fertigungstechnologien für marktgängige Produkte bis zur Produktionsreife.

In Zukunft soll der Bereich Medizintechnik und Biomaterialien weiter erschlossen werden. Eine enge Kooperation im Netzwerk mit institutionellen Partnern ergänzender Kompetenz sowie Unternehmen und klinischen Partnern wird hier aufgebaut. Die Aufgabenstellungen betreffen z. B. antimikrobielle Oberflächen, biokompatible metallische Werkstoffe und Fertigungsprozesse zur Miniaturisierung.

# Arbeitsgebiete und Ansprechpartner

## Institutsleitung Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

### Standort Bremen

#### Pulvertechnologie

Pulvermetallurgische Formgebung;  
Warmkompaktieren zur Herstellung  
hochdichter Sinterenteile; Metallpulverspritzguss;  
2-Komponenten-Spritzguss; Prozess- und  
Materialentwicklung; Rapid Manufacturing;  
Lasersintern; Siebdruck; Simulation.  
Dr.-Ing. Frank Petzoldt  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 11 / -1 34  
E-Mail petzoldt@ifam.fraunhofer.de

#### Funktionsstrukturen

Nanopulver; Gradientenstrukturen; nanoporöse  
Schichten-Funktionsintegration; Ink-Jet-Printing;  
Aerosol-Printing (M<sup>3</sup>D); Sonderanlagen.  
Dr. rer. nat. Volker Zöllmer  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 14  
E-Mail zoellmer@ifam.fraunhofer.de

#### Mikrofertigung

Mikrospritzguss für Metalle und Kunststoffe;  
Mikrostrukturierung; Serienfertigung von  
Miniaturlbauteilen; 2-Komponenten-Spritzguss für  
Mikroteile; Mikroreaktionstechnik; Mikrofluidik.  
Dr.-Ing. Astrid Rota  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 96  
E-Mail rota@ifam.fraunhofer.de

#### Leichtbauwerkstoffe und Analytik

Zellulare Leichtbaukomponenten; funktionale,  
offenporöse Metallschaumstrukturen;  
Aluminiumschaum-Sandwichstrukturen;  
Produktionsverfahren für Metallschaumbauteile.  
Dr.-Ing. Gerald Rausch  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 42  
E-Mail rausch@ifam.fraunhofer.de

#### Gießereitechnik

Zink-, Aluminium-, Magnesium-Druckguss;  
Thixocasting; Aufmusterung von  
Druckgussformen; Lost-Foam-Verfahren;  
Sandguss; Simulation.  
Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 25  
E-Mail woestmann@ifam.fraunhofer.de

### Dienstleistungszentren und Ansprechpartner

#### Anwenderzentrum Metallpulverspritzguss

Dipl.-Ing. Lutz Kramer  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 17  
E-Mail forming@ifam.fraunhofer.de

#### Anwenderzentrum Functional Printing

Dr.-Ing. Dirk Godlinski  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 30  
E-Mail printing@ifam.fraunhofer.de

#### Anwenderzentrum Rapid Prototyping

Dipl.-Ing. Claus Aumund-Kopp  
Telefon: +49 (0) 4 21 / 22 46-2 26  
E-Mail rapid@ifam.fraunhofer.de

#### Anwenderzentrum funktionsintegrierte Gussteile

Dr.-Ing. Jörg Weise  
Telefon: +49 (0) 4 21 / 22 46-1 25  
E-Mail casting@ifam.fraunhofer.de

#### Dienstleistungszentrum Materialographie und Analytik

Jürgen Rickel  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 46  
E-Mail rickel@ifam.fraunhofer.de

#### Demonstrationszentrum SIMTOP

Andreas Burbliès  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 83  
E-Mail info@simtop.de

### Standort Dresden

#### Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback  
Telefon: +49 (0) 351 / 25 37-3 00  
Fax: +49 (0) 351 / 25 37-3 99  
Internet: www.ifam-dd.fraunhofer.de  
Adresse: Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

#### Zellulare metallische Werkstoffe

Fasermetallurgie; hochporöse Strukturen;  
metallische Hohlkugelstrukturen; offenzellige  
PM-Schäume; Siebdruckstrukturen;  
Anwendungen für z. B.: Leichtbaustrukturen;  
Crashabsorber; Wärmetauscher;  
Katalysatorträger.  
Dr.-Ing. Günter Stephani  
Telefon: +49 (0) 351 / 25 37-3 01  
E-Mail guenter.stephani@  
ifam-dd.fraunhofer.de

#### Sinter- und Verbundwerkstoffe

Hochtemperaturwerkstoffe; Aluminide  
(NiAl-Schaum); nanokristalline  
Werkstoffe; Werkstoffe für tribologische  
Beanspruchungen; Sputtertargets;  
Pulvermodifizierung.  
Dr.-Ing. Thomas Weißgärber  
Telefon: +49 (0) 351 / 25 37-3 05  
E-Mail thomas.weissgaerber@  
ifam-dd.fraunhofer.de

### Dienstleistungszentrum und Ansprechpartner

#### Demonstrationszentrum Zellulare Werkstoffe

Dr.-Ing. Günter Stephani  
Telefon: +49 (0) 351 / 25 37-3 01  
E-Mail guenter.stephani@  
ifam-dd.fraunhofer.de

# Ausstattung

## Bauteilfertigung

- Metallpulverspritzgussanlagen (Schließkraft 20 t und 40 t)
- Fertigungszelle Mikrospritzguss
- Heißpresse (Vakuum, Schutzgas, 1800 °C)
- Uniaxiale Pulverpressen (bis 1000 t)
- Pulverpresse zur Warmkompaktierung (125 t)
- Strangpresse (5 MN)
- Anlagen zum Rapid Prototyping durch Lasersintern, Stereolithographie, 3-D-Printing
- Kaltkammer-Druckgussmaschine (echtzeitgeregelt, Schließkraft 660 t); Warmkammer-Druckgussmaschine (echtzeitgeregelt, Schließkraft 315 t)
- Pilotanlagen zur Herstellung von Metallschaumbauteilen
- Zweikomponenten-Spritzgussmaschine
- Mikrowellenanlage
- Siebdruckmaschine

## Mikro- und Nanostrukturierung

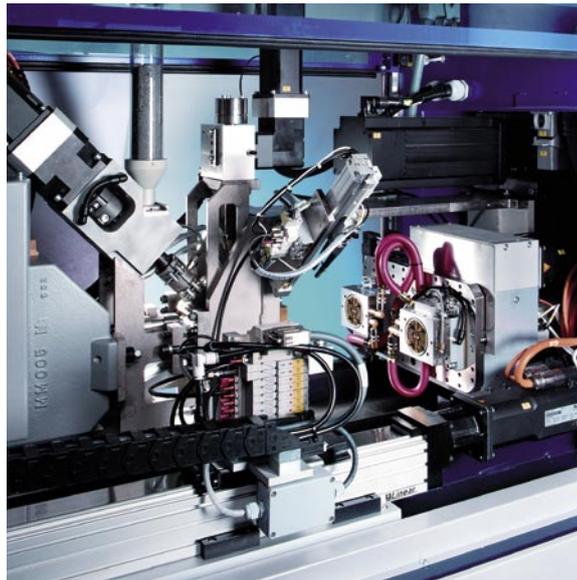
- Ink-Jet-Printing-Technologien
- Aerosol-Printing-Technologie (Maskless Mesoscale Material Deposition M<sup>3</sup>D)
- Mikrofertigungszelle

## Thermische/chemische Behandlung von Formteilen

- Anlage zur chemischen Entwachsung von Spritzgussteilen
- Diverse Sinteröfen (bis 2400 °C, Schutzgas, Wasserstoff, Vakuum)
- Hubherdofen

## Werkstoffsynthese und -verarbeitung

- Induktionsofen zum Metallschäumen
- Anlagen zur Herstellung von Gradientenwerkstoffen (Sedimentation, Nasspulverspritzen)
- Anlagen zur Herstellung metallischer Nanopulver und Nanosuspensionen
- Teststand zur Charakterisierung funktioneller Tinten für Ink-Jet-Printing-Verfahren
- Schmelzextraktionsanlage (Metallfasern)
- Zentrifugalmühle zum Hochenergiemahlen von metallischen und keramischen Pulvern (5–10 kg Mahlgutmenge, auch Schutzgas, Vakuum)
- Schnellmischer und Scherwalzenextruder zur MIM-Feedstockherstellung
- Windsichter zur Klassierung von Pulvern



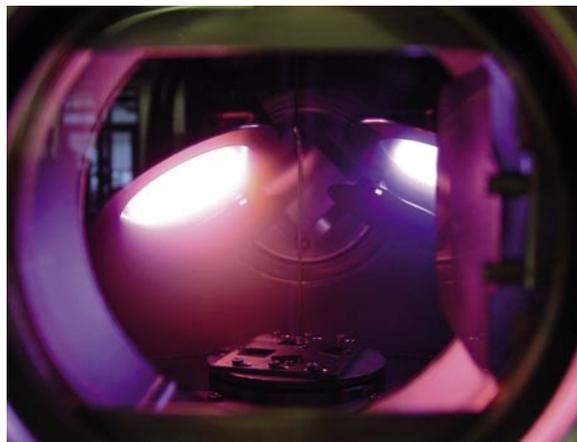
Battenfeld Microsystem 50, Serienfertigungsanlage für Mikroteile und nanostrukturierte Bauteile.

## Instrumentelle Analytik

- FEM-Rasterelektronenmikroskopie mit EDX
- Röntgenfeinstrukturanalyse
- Isolationswiderstand
- Thermoanalytik mit DSC, DTA, TGA
- Sinter-/Alpha-Dilatometrie (akkreditiertes Labor)
- Pulvermesstechnik mit BET-Oberfläche und Lasergranulometrie
- Rheometrie
- Spurenelementanalyse (C, N, O, S)
- Materialographie
- Emissionsspektrometer zur Elementanalyse in Al-, Mg-, Zn-Legierungen
- Mikrozugprüfmaschine

## Rechner

- Hochleistungs-Workstations mit Software zur nichtlinearen FE-Analyse, zur Formfüll- und Erstarrungssimulation sowie zur Bauteiloptimierung



Sputteranlage zur Herstellung nanoporöser Schichten.

# Intelligente Gussbauteile

## Situation

Gussbauteile aus den unterschiedlichsten Metallen sind in den vergangenen Jahrzehnten zu Hightech-Produkten herangewachsen, die in den verschiedensten Bereichen von der Medizin- über die Automobil- bis hin zur Luft- und Raumfahrt-technik zum Einsatz kommen. Dabei zeichnen sie sich durch den kurzen Weg vom Rohstoff zum Endprodukt, gute mechanische Eigenschaften und hohe Gestaltungsfreiheit aus. Der Fortschritt in den einzelnen Gießverfahren erlaubt ein immer komplexeres Design und eine beanspruchungsgerechte Auslegung von Gusskomponenten, wie sie in der Natur z. B. von Bäumen oder dem Knochengestützte der Säugetiere vorgegeben wird. Ein gravierender Unterschied ist jedoch, dass konventionelle Gussteile die auf sie einwirkende Belastung nicht wahrnehmen können und somit auch nicht darauf reagieren.

## Herausforderung

Eine Möglichkeit, sich dem Vorbild der Natur weiter anzunähern, bietet die Kombination von Gussteilen mit sensorischen, aktorischen und weiteren elektronischen Komponenten.

Heute existiert bereits eine Vielzahl von adaptiven Systemen, Sensoren und Aktoren, Kleinstprozessoren und Datenübertragungseinheiten wie Transponder oder RFID (radio frequency identification). Nach dem aktuellen Stand der Technik werden diese Komponenten in einem zusätzlichen Arbeitsgang appliziert. Die aktuell dafür eingesetzten Methoden sind aufwändig und kostenintensiv. Außerdem können sie Komponenten in Form von Sensoren und Aktoren für Druck, Temperatur, elektrischen Widerstand, Schwingungen oder Beschleunigungen nicht direkt in das Bauteil an den für die Messung relevanten Platz bringen. Das Gleiche gilt für aktorische Systeme, die bei den aktuellen Anwendungen nur auf die Bauteilaußenseite aufgebracht werden oder mit aufwändigen Verfahren nachträglich implementiert werden.

Diese zusätzlichen Fertigungsschritte bedeuten zunächst einen erhöhten Arbeitsaufwand und reduzieren damit die Wertschöpfung. Ein weiterer Nachteil, der betrachtet werden muss, ist

die Gefahr äußerer Umwelteinflüsse und Fehler durch eine schlechte Kontaktierung oder weitere Applikationshilfsmittel zwischen Sensor/Aktor und Matrixmaterial. Diese Fehler- und Kostenquellen können durch eine direkte Integration der angeführten Komponenten in den Druckgussprozess weitgehend reduziert werden. Das heißt, die zu integrierenden Komponenten werden vor dem Gießprozess in der Form platziert und anschließend im konventionellen Druckgussprozess umgossen. Damit bietet sich die Möglichkeit, in einem Fertigungsschritt intelligente Gussbauteile zu fertigen. Die Herausforderung, die sich dabei stellt, ist, die Positionstreuung während des Gießprozesses zu gewährleisten und zu verhindern, dass ein zu großer Wärmeeintrag die integrierten Komponenten zerstört.

## Motivation und Ziele

Die direkte Integration sensorischer, aktorischer und weiterer elektronischer Komponenten ermöglicht es, die heute zur Verfügung stehenden Funktionen der Elektronik mit den Möglichkeiten der Gießereitechnologie zu kombinieren. Damit können diese Bauteile passiv durch sensorische Datenerfassung und aktiv durch integrierte Aktoren auf ihre Umwelt reagieren. Weiterhin werden Schnittstellen geschaffen, die eine Datenübertragung und damit eine direkte Vernetzung von Einzelkomponenten in einem Gesamtsystem, wie z. B. einem PKW, zulassen.

Eine erste Anwendung ist die Integration von Transpondern oder auch RFID zur Bauteilerkennung und Verfolgung. RFID übertragen kontaktlos Daten und haben gegenüber dem konventionellen Barcode Vorteile:

- kontaktlose Identifikation,
- Durchdringung verschiedenster Materialien,
- beliebiges Lesen und Beschreiben (Produktdaten etc.),
- Identifizierung in weniger als einer Sekunde,
- gleichzeitige Erfassung vieler Transponder,
- Resistenz gegen Umwelteinflüsse,
- Form und Größe des Transponders sind beliebig anpassbar,
- Transponder können komplett in das Produkt integriert werden,

- hohe Sicherheit durch Kopierschutz/Verschlüsselung,
- schnelle Erfassung möglich,
- keine Beeinträchtigung durch Schmutz,
- flexible Platzierung,
- Senden, Speichern und Erfassen von Daten.

Der Einsatz von RFID erlaubt damit eine direkte Bauteilerkennung sowie Bauteilverfolgung und bietet neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Logistik, Qualitätskontrolle und Fälschungssicherheit. Als Beispiel sei hier die Produktverfolgung über den Fertigungsprozess angeführt. Dabei können jedem einzelnen Bauteil von der direkten Entstehung über jeden einzelnen Fertigungsschritt durch Kombination mit einer Datenbank alle Fertigungsschritte und Parameter zugeordnet und zu jeder Zeit wieder abgerufen werden. Das heißt, das Bauteil erhält sozusagen über die Identifikation mit dem RFID einen lückenlosen Lebenslauf, der bei Bedarf, z. B. einer Reklamierung, aufgerufen und kontrolliert werden kann.

Ein weiterer Schritt, die Bauteilfunktionalität zu erhöhen und die Vorteile verschiedener Technologien zu kombinieren, ist die angesprochene Integration von adaptronischen Komponenten. Durch die Kombination von sensorischen Funktionen mit unmittelbarer aktorischer Reaktion können beispielsweise Schwingungen in Strukturen direkt abgefangen und dadurch Vibrationen minimiert oder ganz eliminiert werden. Durch den Einsatz intelligenter Systeme, die als Sensoren, Aktoren, Prozessoren, Elektronikkomponenten zur Datenverarbeitung, zur Speicherung sowie als Regler und Übertragungseinheiten dienen, lassen sich somit in einem ganzheitlichen Fertigungsprozess adaptronische Halbzeuge/Bauteile herstellen, die quasi »Gefühle« haben und autark auf ihre Umwelt reagieren.

### Aktuelle Arbeiten

Im Zuge der Forschungsarbeiten am IFAM konnten bereits verschiedene elektronische Komponenten im Druckgussverfahren in Aluminium- und Zinkdruckgussbauteile integriert werden. Hier wurden verschiedene RFID und piezokeramische Werkstoffe eingegossen. Sowohl die RFID wie auch die piezokeramischen Werkstoffe können

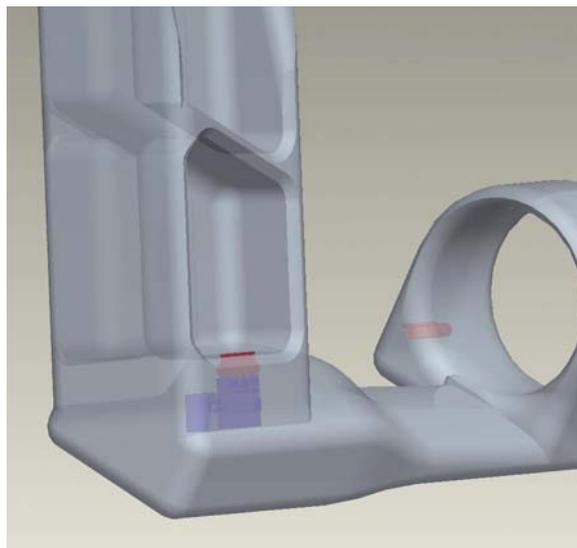
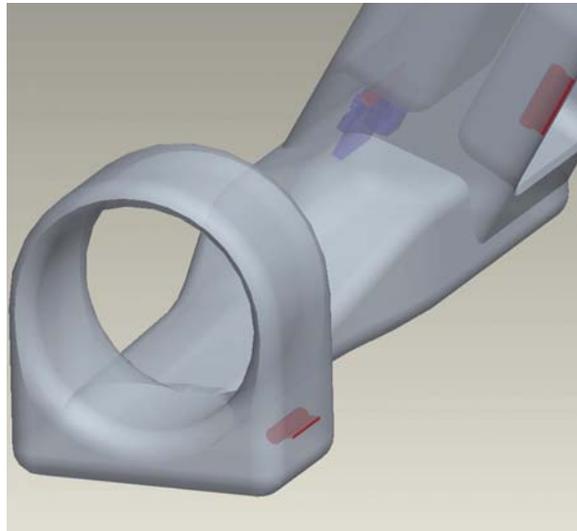


Abb. 1 und 2: Belastungsgerecht eingegossene elektronische und adaptronische Komponenten.

durch eine angepasste Temperaturführung in Gießform und Gussteil vor einem zu starken Wärmeeintrag geschützt werden, so dass die Funktion der Komponenten nach dem Gießprozess gewährleistet ist. In den laufenden Forschungsarbeiten werden Positionierungsmöglichkeiten für die zu integrierenden Komponenten entwickelt und untersucht. Weiterhin werden zur optimalen Positionierung und zur Reduzierung des Wärmeeintrags Simulationstools eingesetzt. In Zusammenarbeit mit dem Verbund Adaptronik und weiteren Instituten wird an der Auswahl, Auslegung und Dimensionierung von adaptronischen Komponenten als Sensor und Aktor gearbeitet.

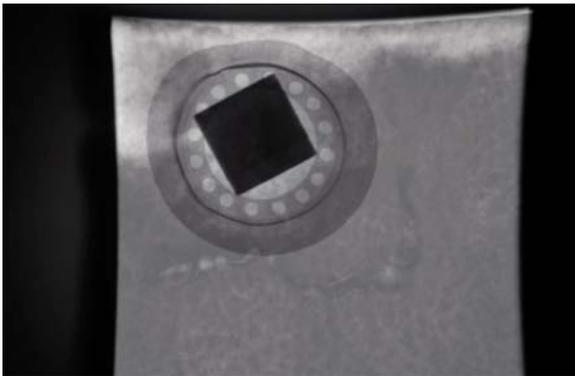


Abb. 3: Röntgenaufnahme eines eingegossenen RFID TAG ID 700.

## Perspektiven

Computerprozessoren und -sensoren sowie nahezu alle am Markt befindlichen elektronischen Komponenten werden immer kleiner und preiswerter. Drahtlose Kommunikation ist nahezu überall verfügbar. Durch die direkte Integration dieser Komponenten wird die Funktionsintegration in Gussbauteile erhöht, der Leichtbau vorangetrieben und eine Vernetzung von intelligenten Bauteilen ermöglicht. Damit wird in Zukunft, beginnend mit dem Jahr 2006 – dem Wissenschaftsjahr der Informatik –, eine weitere Schnittstelle zwischen Hard- und Software geschaffen und das



Abb. 4: Prof. M. Busse, L. Wenk und T. Müller beim Auslesen eines RFID.

»Pervasive Computing«, die Vernetzung von intelligenten Gegenständen des Alltags, gefördert. Diese intelligenten Gussteile sollen in der Lage sein, ihre Umwelt autark zu erfahren, sich dem jeweiligen Betriebszustand anzupassen, Schäden zu detektieren und die erfassten Daten an den Benutzer oder ein Gesamtsystem weiterzugeben. Solche Systeme lassen sich zur Bauteilentwicklung und Auslegung einsetzen, zur Datenerfassung während des Betriebs, zum Healthmonitoring sowie zum Healthcontrolling oder für die X-By-Wire-Technik – elektronische Systeme, die ohne mechanische Verbindung zwischen Bedienfunktion und Bedienelement geschaltet sind.

Durch direktes Erfassen der Betriebsbeanspruchungen werden bedarfsgerechtere Konstruktionen in optimierter Leichtbauweise und eine Minderung der Sicherheitsfaktoren erzielt – Ersatz von Masse durch Information. Weiterhin können z. B. die Bauteilbelastung über die Einsatzdauer aufgezeichnet und somit Wartungsintervalle verkürzt und Neuentwicklungen beschleunigt werden.

### Ansprechpartner

Franz-Josef Wöstmann  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 25  
E-Mail: woestmann@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
Bremen

## 2K-MIM – Kombination zweier Metalle in einem Produktionsschritt

### Ausgangssituation

Der Metallpulverspritzguss (Metal Injection Moulding, MIM) ist ein etabliertes Verfahren zur Herstellung von kleinen und komplexen Metallteilen. Die Materialpalette wurde nicht zuletzt vom IFAM immer weiter vergrößert und wächst immer noch. Dieses Materialangebot, gekoppelt mit der Designfreiheit, wie sie aus dem Kunststoffspritzguss bekannt ist, ist der Grund für das stetige Wachstum und erklärt die Beliebtheit des MIM-Verfahrens. Es kommt damit den Konstrukteuren von Bauteilen entgegen, die immer mehr Funktionen auf immer engerem Raum verwirklichen müssen.

Am IFAM wird verstärkt daran gearbeitet, jetzt auch eine weitere Variante des Kunststoffspritzgusses ebenfalls für metallische Teile nutzbar zu machen, den Mehrkomponentenspritzguss. Jeder kennt mehrfarbige Kunststoffteile. Dafür werden Massen mit unterschiedlichen Farbpigmenten auf Basis des gleichen Polymers verarbeitet. Durch die Kombination im Spritzgussprozess spart man sich ein aufwändiges Fügen und erhält ein optisch ansprechendes, höherwertiges Bauteil. Eine andere Variante ist das Einbringen zusätzlicher Funktionen durch die Verwendung verschiedener Kunststoffe. Ein bekanntes Bauteil sind neuere Zahnbürsten, bei denen ein weicherer Kunststoff als eine Art Gelenk fungiert. Die hohe Kunst der Fertigung wird dann erreicht, wenn bewegliche, unlösbare Verbindungen hergestellt werden, wie man sie von den Playmobil®-Figuren der Firma Geobra Brandstätter kennt.

### Potenzial

Übertragen auf Mehrkomponenten-MIM – für zunächst zwei Komponenten bezeichnet als 2K-MIM – bedeutet dies die direkte Kombination zweier Metalle in einem Produktionsschritt unter Einsparung eines anschließenden Fügeprozesses über hohle Bauteile mit komplizierten Innenstrukturen bis hin zu den beweglichen, unlösbaren Verbindungen. Die folgenden Kombinationen zeigen das Potenzial der 2K-MIM-Technologie:

- magnetisch – unmagnetisch
- hart – zäh
- dicht – porös
- teuer – billig
- dicht – hohl.

Dabei geht es immer um das erklärte Ziel, Bauteile mit einer gesteigerten Funktionalität kostengünstig herzustellen. Beispielsweise können Komponenten, die einem Verschleiß ausgesetzt sind, an den neuralgischen Punkten durch Verwendung eines härteren bzw. beständigeren Materials gestärkt werden. Gerade auch die Kombination magnetisch – unmagnetisch kann ganz neue Konstruktionen unter Vermeidung eines Luftspaltes erlauben.

### Aufgabe

Der Kombination von Metallen durch das 2K-MIM sind leider Grenzen gesetzt. Diese kommen weniger aus dem Formgebungsschritt, dem Spritzguss. Dessen Probleme sind lösbar, wie es die Kunststoffverarbeitung gezeigt hat.

Schwerwiegender ist das meist unterschiedliche Verhalten der Metalle beim Sintern. Ein abweichendes Sinterverhalten und eine unterschiedliche Wärmedehnung der beiden verarbeiteten Materialien führen sofort zu Spannungen und dann auch zum Brechen der Verbindung. Es muss also bei der Auswahl der Kombination darauf geachtet werden, dass nicht das eine Material bereits bei 600 °C anfängt zu schrumpfen, während das zweite Material den Sinterbeginn erst bei 800 °C hat. Im günstigsten Fall verformt sich der labile Braunkörper dadurch, meist wird aber der Verbund aufbrechen.

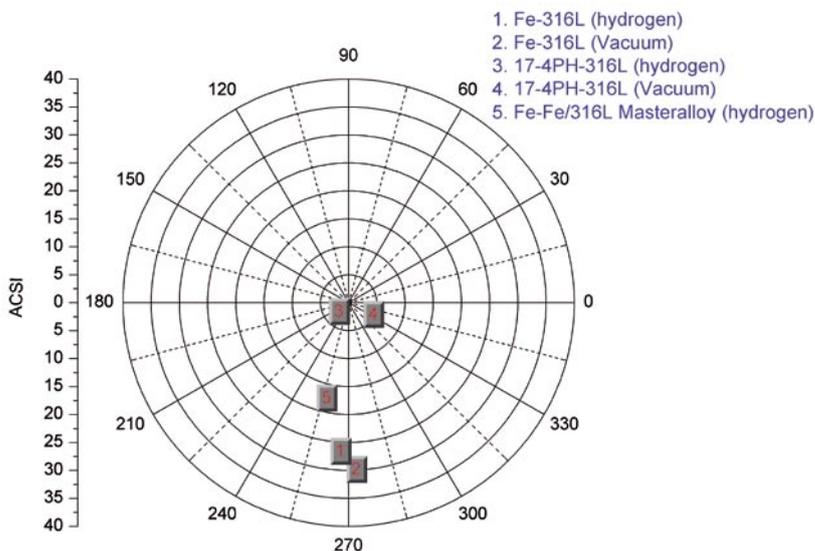


Abb. 1: ACSI (apparent co-sintering index) für fünf verschiedene Varianten zur Herstellung einer Kombination magnetisch – unmagnetisch. Die Kombinationen 3, 4 und 5 mit einem ACSI < 15 ließen sich verwirklichen.

Ein hervorragend versinterter Verbund ist nicht stabil, wenn die beiden Komponenten bei der Abkühlung ungleichmäßig schrumpfen. Die auftretenden Spannungen führen meist schon im Ofen, spätestens im Einsatz des Bauteils zu einem frühzeitigen Versagen.

Diese thermischen Eigenschaften lassen sich in gewissen Grenzen einstellen. Am IFAM werden die dazu geeigneten Werkzeuge aufbauend auf der vorhandenen Erfahrung entwickelt. Um die Arbeiten zielgerichtet und mit guten Erfolgschancen betreiben zu können, wurde am IFAM ein Schnelltest entworfen, der die prinzipielle Kombinierbarkeit von Pulvermaterialien auf Basis ihrer thermischen Eigenschaften überprüft. In den ACSI (apparent co-sintering index, Abb. 1) gehen physikalische Größen der Partner wie die Wärmeausdehnung ebenso ein wie Prozessparameter und die durch die Pulver bzw. die Pulvermischungen festgelegten Eigenschaften wie Temperatur, Geschwindigkeit und Umfang der Sinterschwindung. Durch die Auswertung der eigenen Vorversuche und der Literatur hat sich gezeigt, dass dieser Index einen Wert von 15 oder weniger haben sollte, um gute Chancen auf eine erfolgreiche Herstellung von Verbundteilen zu haben.

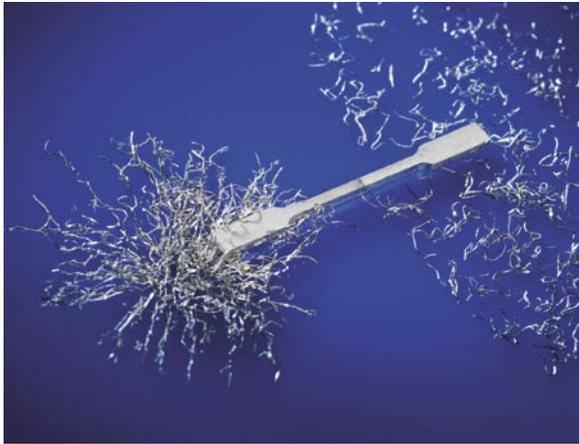
Es sind auch Entwicklungsaufgaben bezüglich einer chemischen Inkompatibilität von Werkstoffen absehbar. Im einfachsten Fall diffundiert z. B. Kohlenstoff an der Verbindungsfläche aus dem einen Material in das andere und ändert dadurch die mechanischen oder magnetischen Eigenschaften. Dieses Problem kann häufig durch die sorgfältige Auswahl der Verbundpartner gelöst werden, wird aber die Anwendungsbreite von 2K-MIM sicherlich begrenzen.

### Erfolgreiche Kombinationen

Das Hauptaugenmerk wurde zunächst auf die Kombination magnetisch – unmagnetisch gelegt. Diese wurde durch die Kombination der beiden Edelstähle 316L und 17-4PH verwirklicht. Der austenitische 316L ist weich und unmagnetisch. 17-4PH lässt sich wegen seiner martensitischen Struktur aufmagnetisieren. Da beide Stähle als vergleichbare Pulver verfügbar waren und sehr ähnlich gesintert werden, konnten die Mikrozugproben in Abbildung 2 erfolgreich auf der am Institut vorhandenen 2K-Spritzgussmaschine gefertigt und gesintert werden.

Einen größeren Spielraum in den einstellbaren magnetischen Eigenschaften weist Eisen auf. Aus diesem Grund wurde auch die Herstellung des Verbundes aus 316L und Eisen untersucht. Die Unterschiede im Sinterverhalten sind in dieser Kombination schon deutlich größer, was sich auch im ACSI widerspiegelt (Abb. 1, Kombination 1 u. 2). Durch die Verwendung einer geeigneten Pulvermischung aus reinem Eisen mit einem Master Alloy, das die Legierungsbestandteile für 316L einbringt (Abb. 1, Kombination 5), wurde das Sinterverhalten an das reine Eisen angepasst, so dass wieder Testgeometrien gefertigt und geprüft werden konnten.

Auch wenn sich der Verbund aus 316L und H13 ebenfalls als magnetisch – unmagnetisch darstellen lässt (Abb. 3), liegen hier die Anwendungen eher in der Kombination aus einem harten, festen Stahl (H13) mit einem weichen, zähen Stahl.



**Abb. 2:** Mikrozugprobe aus der Kombination von 316L mit 17-4PH. Der linke Teil der Probe aus 17-4PH wurde aufmagnetisiert und zieht die Eisenfasern an. Der rechte Teil der Probe bleibt dabei unmagnetisch.



**Abb. 3:** 2K-MIM-Zugprobe aus dem rostfreien, austenitischen Edelstahl 316L und dem harten, martensitischen Warmarbeitsstahl H13. Der H13 wurde aufmagnetisiert, so dass er auf dem Bild die Eisenspäne entlang der Feldlinien ausrichtet und sie anzieht. Der Edelstahl ist unmagnetisch und übt keinen Einfluss auf die Späne aus.

## Mikro- und Makro-MIM

Die Entwicklung für 2K-Spritzguss wird am IFAM sowohl für »normales« MIM als auch für Mikro-MIM vorangetrieben. Dabei wurde festgestellt, dass die Größe der Kontaktfläche einen Einfluss auf die Verwirklichung eines Verbundes hat. Die Herstellung eines 2K-Teils war bei der Mikrozugprobe (Abb. 2) problemloser als bei der Standard-MIM-Zugprobe (Abb. 3).

## Ausblick

Das Fraunhofer IFAM will und wird weitere Materialverbünde mittels 2K-MIM herstellen, um mehr und neue Funktionen in gesinterten Bauteilen zu verwirklichen. Wir arbeiten an dem »Werkzeugkasten«, der es uns erlaubt, Pulver und Materialien so aneinander anzupassen, dass bestehende Hindernisse umgangen werden können. Ein weiteres Ziel auf diesem Weg ist z. B. auch die Kombination von Metall und Keramik, die eine große Herausforderung darstellt, aber aufgrund der Nachfrage aus der Medizin- und der Automobiltechnik verwirklicht werden soll.

### Ansprechpartner

Dr.-Ing. Frank Petzoldt  
 Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 34  
 E-Mail: petzoldt@ifam.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
 Bremen

# Aluminiumschaumanwendungen im Transportsektor

## Ausgangssituation

Geringe Dichte, hohe gewichtsspezifische Steifigkeit, exzellentes Energieabsorptionsvermögen, gute Schall-/Vibrationsdämpfung, Nichtbrennbarkeit sowie chemische Langzeitstabilität sind einige der vielfältigen Eigenschaften von Aluminiumschaum. Diese einzigartige Kombination von Eigenschaften qualifiziert den zellularen Werkstoff u. a. für die Anwendung in Automobilen, Schienenfahrzeugen und Flugzeugen.

## Aufgabenstellung/Ziele des Projektes

Im Rahmen des EU-Projektes »LISA« (Lightweight Structural Applications based on Metallic and Organic Foams, 5. Rahmenprogramm, Projektnr.: GRD1-2000-25415) hat sich ein europäisches Konsortium aus Endanwendern, Materiallieferanten und Forschungseinrichtungen unter der Projektleitung des Fraunhofer IFAM das Ziel gesetzt, die Performance von ausgewählten Bauteilen der Transportbranche (Automobil, Schienenverkehr, Luftfahrt) durch den gezielten Einsatz von Aluminium- und Polymerschäumen zu steigern. Neben der Bauteilentwicklung, u. a. durch iterative Optimierung mithilfe von Simulationstools, war auch die Integration des Werkstoffs Aluminiumschaum und der Schaumbauteile in die existierenden Fertigungslinien der unterschiedlichen Endanwender Gegenstand der Untersuchung und Weiterentwicklung.

## Ergebnis

Während der dreijährigen interdisziplinären Forschungsarbeit entstanden mehrere Prototypen für die verschiedenen Sparten der Transportbranche. Für den Flugzeugbau wurde ein Schutzschild für das Cockpit bestehend aus einem mehrlagigen Verbund aus konventionellen und Aluminiumschaumwerkstoffschichten entwickelt. Geringeres Gewicht bei erhöhter Sicherheit gegen z. B. Vogelschlag ist ein überzeugendes Ergebnis. Als »Nebenprodukt« wurde zur Bauteilsimulation/-optimierung ein Modell entwickelt, mit dem die

Verformung von Metallschäumen mit sehr hohen Geschwindigkeiten (z. B. 160 Meter pro Sekunde) abgebildet werden kann. Dieses Modell steht nun auch zur Simulation von anderen Aluminiumschaumanwendungen zur Verfügung.

Bei wesentlich geringeren Geschwindigkeiten müssen hohe kinetische Energien bei Kollisionen von Schienenfahrzeugen mit festen Gegenständen (z. B. Gleisende) oder anderen Fahrzeugen sicher abgebaut werden. Gewichts- und Kostenreduktion sind gefordert. Durch den Einsatz von Aluminiumschaum wurde ein vollständig neues Energieabsorptionssystem für den Frontbereich von Schienenfahrzeugen entwickelt, das bei geringem Gewicht die Anforderungen des Endanwenders vollständig erfüllt.



Abb. 1: Halbzeug in der Schäumform.

Das aus den guten Ergebnissen herausragende Resultat des Projektes kommt aus dem Automobilbereich. Die A-Säule eines in Produktion befindlichen Mittelklasse-PKWs sollte durch den Einsatz von Aluminiumschaum eine deutlich verbesserte Energieabsorption erreichen, ohne dass eine signifikante Gewichtszunahme zu verzeichnen war.

Dieses Ziel konnte nur erreicht werden, weil die Position des Schaums in der A-Säule sowie die Gestalt und die Dichte des Schaumkerns durch einen iterativen Simulationsprozess virtuell optimiert wurden.



Abb. 2: Schaumkern für die A-Säule.

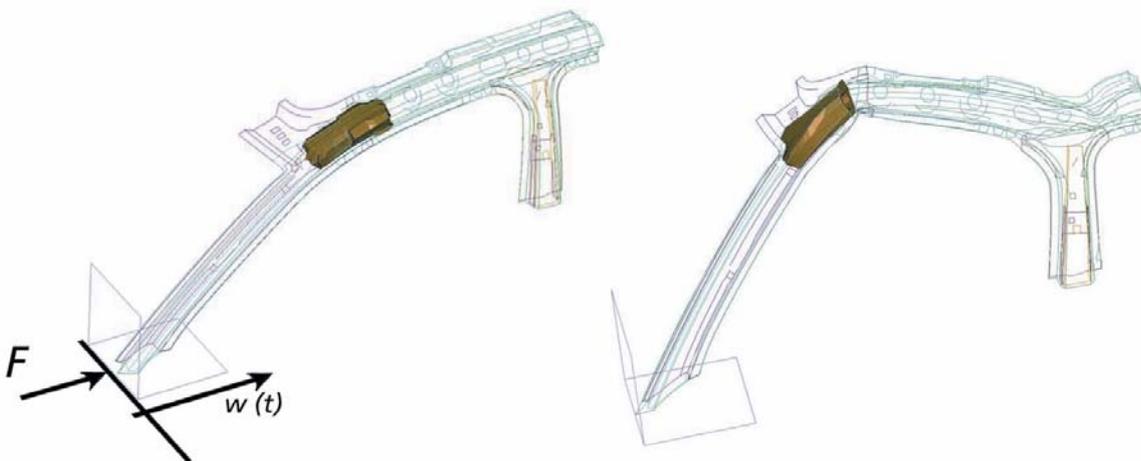


Abb. 3: Position des Aluminiumschaumkerns in der A-Säule ermittelt durch virtuelle Optimierung.

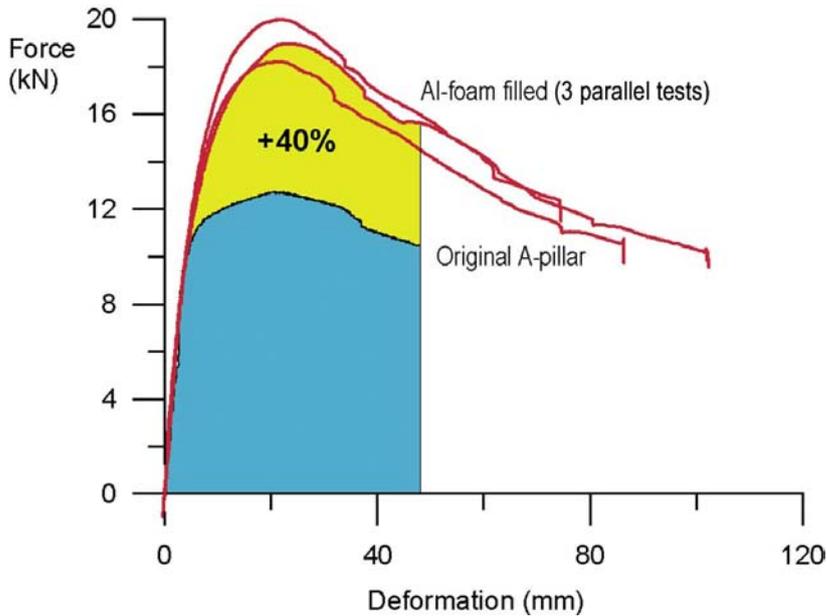


Abb. 4: Crashtestergebnis.

Mit einem Minimum an Aluminiumschaum, an der richtigen Stelle platziert, sollte ein Maximum an Energieabsorptionszunahme erreicht werden. Die abschließenden mechanischen Tests bestätigten das Simulationsergebnis vollständig. Mit nur 3 Prozent Gewichtszunahme durch den Aluminiumschaum konnten 40 Prozent mehr Energie absorbiert werden, ohne dass die originale A-Säule konstruktiv verändert werden musste.

Alle Demonstratorbauteile wurden bei den Endanwendern direkt in der Fertigungslinie bzw. unter vergleichbaren Bedingungen montiert. Die Kompatibilität des Werkstoffs Aluminiumschaum mit den bestehenden Fertigungslinien wird insgesamt als gut bewertet. Häufig geäußerte Bedenken hinsichtlich des Korrosionsverhaltens von Aluminiumschaum in umgebenden Stahlstrukturen konnten entkräftet werden. Bei klebtechnischer Verbindung beider Komponenten wirkt der polymere Klebstoff wie eine Isolierung zwischen Aluminium und Stahl. Kontaktkorrosion ist so ausgeschlossen.

In der Gesamtheit betrachtet, sind die Projektergebnisse ein weiterer großer Schritt für die Aluminiumschaumtechnologie in die breite Serienanwendung. Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile sind eindeutig. Einer breiten industriellen Umsetzung steht nichts mehr entgegen.

#### Ansprechpartner

Karsten Stöbener  
 Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 17  
 E-Mail: [stoebener@ifam.fraunhofer.de](mailto:stoebener@ifam.fraunhofer.de)

#### Projektpartner

Bombardier Transportation (Großbritannien)  
 BMW AG (Deutschland)  
 Centro Ricerche Fiat (Italien)  
 EADS CCR (Frankreich)  
 Ford Forschungszentrum (Deutschland)  
 Henkel Teroson (Deutschland)  
 NTNU – Norwegian University of Science and Technology (Norwegen)  
 Sudamin MHD (Deutschland)

#### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
 Bremen

## Transferprojekt »IGV-Technologie«

### Ausgangssituation

Die Herstellung hochporöser »nanoskaliger« Metallpulver durch Verdampfung in einer Edelgas-Atmosphäre wurde im Jahr 1985 vom IFAM aufgegriffen und als »IGV-Verfahren« bis in den Pilotmaßstab weiterentwickelt. In diversen von der Industrie und öffentlich geförderten Verbundprojekten wurden potenzielle Anwendungsgebiete durch prototypische Entwicklungen evaluiert. Dabei rückten in den vergangenen zehn Jahren antibakteriell wirksame Nanokomposite in den Mittelpunkt des Interesses: In hochdispenser Form kann elementares Silber, eingebettet in organische Matrices, die Funktion eines Depots ausüben, von dem unter bestimmten Bedingungen kontinuierlich Silberionen an die Umgebung abgegeben werden können. Für einige Kunststoffe mit medizinisch relevantem Anwendungspotenzial ist dieser Nachweis gelungen.

Rasch wurde das erhebliche Marktpotenzial silberhaltiger Composite für weitere derartige Anwendungsfelder erkannt. Dementsprechend wurde im Jahr 2001 mit dem Eigenbau einer IGV-Pilotanlage in die neuen Technika des IFAM investiert.

Ein wichtiger Schritt für die Entwicklung und Vermarktung war schließlich die 2002 erfolgte Ausgründung der Bio-Gate Bioinnovative Materials GmbH, deren Geschäftsmodell u. a. die Synthese antibakteriell wirksamer Kunststoff-Compounds unter Einsatz elementaren Silbers vorsieht. Die langfristig angelegte Kooperation mit dem IFAM wurde durch einen Know-how-Lizenzvertrag in Verbindung mit einem Liefervertrag für hochdisperses Silberpulver geregelt.

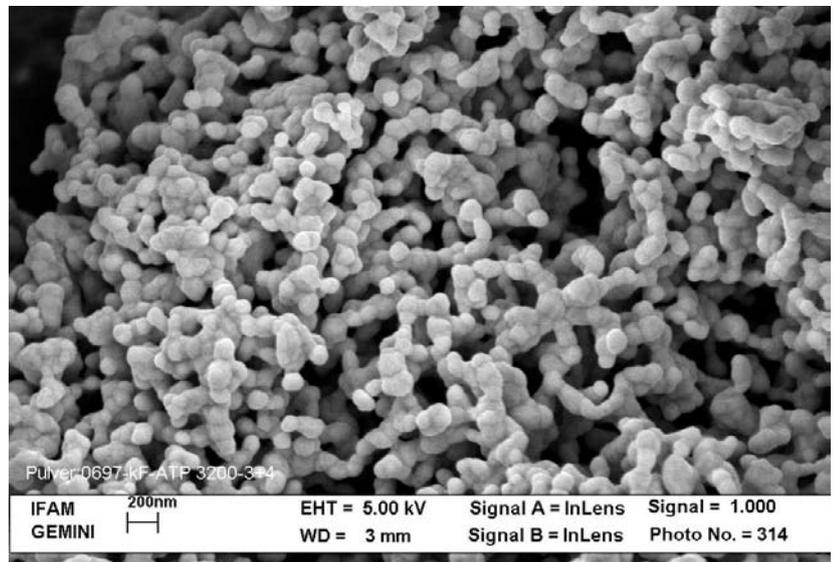


Abb. 1: Typische Morphologie des erzeugten Silberpulvers.

Bio-Gate wurde so mit größeren Mengen dieses Silberpulvers bemustert (Handelsname »MicrosilverBG«), um damit als zukünftig produzierender Partner die Vermarktungschancen besser abschätzen und gegebenenfalls bereits Schlüsselkunden gewinnen zu können. Zur Unterstützung dieser Bemühungen wurde das IGV-Verfahren entsprechend den Anforderungen der EN/ISO-Norm 9001 des IFAM zertifiziert und auditiert. Das Fehlen eines solchen Nachweises hätte insbesondere bei Angeboten an Medizinproduktehersteller ein »Killer-Kriterium« dargestellt. Potenziellen Kunden konnte damit realistisch in Aussicht gestellt werden, dass kurzfristig auch größere Mengen des spezifizierten Silberpulvers mit einem nachprüfbareren Verfahren lieferbar sind.



Abb. 2: IGV-Pilotanlage vor ihrem Umzug und der damit verbundenen Aufrüstung.

## Aufgabenstellung

Nach der gelungenen Positionierung am Markt im Verlauf der Bemusterungsphase, der Akquisition von Schlüsselkunden sowie der Sicherstellung einer soliden Finanzierung fällt Bio-Gate im Juni 2005 die Entscheidung, die bis dahin entwickelte Technologieketten zur Herstellung des Materials »MicrosilverBG« komplett vom IFAM zu übernehmen und auf einen geplanten Produktionsbetrieb umrüsten zu lassen.

Die technische Abnahme der umgerüsteten IGV-Anlage erfolgte anhand der Pulverspezifikationen, die nach störungsfreiem Vollastbetrieb mit denen der in der Bemusterungsphase hergestellten Silberpulver übereinstimmen mussten.

## Umsetzung

Nach Fertigstellung der technischen Infrastruktur am neuen Standort von Bio-Gate im Bremer Innovations- und Technologiezentrum musste die Umsetzung rasch erfolgen, um die Lieferbereitschaft für den Füllstoff möglichst schnell wiederherstellen zu können.

Für einen (qualitäts-)gesicherten Betrieb auch unter Produktionsbedingungen waren folgende Erweiterungen der bestehenden IGV-Pilotanlage erforderlich:

- a) Prozesssteuerung: In der Pharma- und Medizintechnikindustrie darf Software erst nach erfolgreicher Validierung eingesetzt werden. Diese Forderung gilt für alle Software-Produkte, die in der Produktionskette, der Qualitätssicherung oder im Produkt selbst zum Einsatz kommen. Um eine spätere Lieferung der Pulver auch an solche Kunden zu ermöglichen, die medizintechnische Produkte herstellen, musste für den Betrieb der Anlage somit eine neue Software entwickelt werden, die gemäß den Richtlinien internationaler Industriestandards sowie gesetzlicher GxP- und FDA-Richtlinien evaluierbar und validierbar ist. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Validierung ist die Durchführung einer Risiko- und Gefährdungsanalyse.
- b) Implementierung: Einbindung der Anlagentechnik in die Infrastruktur einer Produktionshalle, u. a. Logistik, Remote-Control-Möglichkeit, Pulver-

abfüllung, Integration in die Qualitätssicherung.

c) Arbeitssicherheit: Bei der produktionstechnischen Umsetzung einer jeden gasphasenbasierten Nanopartikeltechnologie ist die Minimierung freigesetzter Schwebeteilchen eine ständige Herausforderung. Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand sind übliche Maximalwerte für Stäube am Arbeitsplatz nicht auf lungengängige (sub- $\mu\text{m}$ ) Partikel übertragbar, da sich derartige Angaben nur auf das Staubgewicht je Kubikmeter Raumluft beziehen, die spezifische Oberfläche jedoch eine weitaus größere Rolle bei der Einstufung in eine Gefährdungsklasse spielt. Gerade unter Produktionsbedingungen ist daher ein weitgehend integriertes Pulverprocessing anzustreben, das von der Synthese bis zur Weiterverarbeitung einen in sich geschlossenen und damit staubfreien Umgang mit den Silberpulvern ermöglicht. Die entwickelte IGV-Technologie erfüllt diese Vorgaben. Die einzige Einschränkung betrifft die – notwendigen – Reinigungsarbeiten, bei denen eine erhöhte Freisetzung von Silberpartikeln nicht ganz ausgeschlossen werden kann. Zwar hat man es durch die hohe Sinteraktivität der nanoskaligen Partikel im Wesentlichen mit großen (weichen) Agglomeraten zu tun, dennoch wird hier weiterhin eine Kombination aus personenbezogenen Schutzmaßnahmen und einer Absaugung mit gezielter Strömungsführung zum Einsatz kommen müssen.

Parallel zum Produktionsbetrieb werden die Langzeit-Stabilität des Silberpulvers und die antibakterielle Wirksamkeit der damit hergestellten Verbundwerkstoffe unter verschiedenen klimatischen Bedingungen getestet. Ziel dieser Untersuchungen ist die Erreichung einer maximalen Lagerstabilität unter wirtschaftlich vertretbaren Rahmenbedingungen. Auch die Prozesssicherheit kann mit diesen Untersuchungen weiter erhöht werden.

## Ausblick

Mittlerweile wurde das IGV-Verfahren bei Bio-Gate in das Zertifizierungsaudit des Unternehmens einbezogen. Auch hier konnten die vorigen Erfahrungen des IFAM genutzt werden. Die zukünftigen Schwerpunkte der Verfahrensoptimierung liegen im Bereich des Pulverprocessing, um die Betriebssicherheit weiter zu erhöhen und Kosten zu senken und so zusätzliche Marktsegmente für diesen Füllstoff in antimikrobiell wirksamen Kompositen, Beschichtungen und Pasten erschließen zu können. Das IFAM wird dafür weiterhin wirksame Unterstützung anbieten.

Nach den Erfahrungen des erfolgreichen Technologietransfers wird die Lizenzierung weiterer Entwicklungen des IFAM zur Herstellung antimikrobieller Komposite und Beschichtungen an Bio-Gate angestrebt.

### Ansprechpartner

Bernd Günther  
 Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 72  
 E-Mail: [guenther@ifam.fraunhofer.de](mailto:guenther@ifam.fraunhofer.de)

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
 Bremen

# Maßgeschneiderte Metallbauteile aus dem 3-D-Drucker

## Ausgangssituation

Ein Erfolg versprechender Ansatz für die Herstellung maßgeschneiderter Produkte ist die Verwendung von Gradientenwerkstoffen. Für die Herstellung gradierter Werkstoffe steht mittlerweile eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung. Bei allen Verfahren gibt es jedoch Einschränkungen hinsichtlich der Komplexität der Bauteilgeometrie und/oder der Gradientenverläufe sowie in der Materialauswahl. Es steht bisher keine Technologie zur Verfügung, mit der komplexe Bauteile in einem Prozess mit einem beliebigen dreidimensionalen Materialgradienten ausgestattet werden können. Für eine solche Technologieplattform eignen sich prozessbedingt generative Fertigungsverfahren (Rapid Manufacturing), die heute an der Schwelle zur Serienproduktion von Bauteilen aus einem einzigen Material stehen.

Dieses Verbundprojekt zielt somit auf die Entwicklung einer neuen Technologieplattform, mit der auch komplexe Bauteile in einem Prozess lokal mit einem beliebigen dreidimensionalen Materialgradienten ausgestattet werden können.

Als technologische Basis wird das 3-D-Printing-Verfahren für Metalle eingesetzt. Bisher konnte man durch 3-D-Printing lediglich mit Bronze infiltrierte Edelstahlteile herstellen. Über zu entwickelnde funktionelle Tinten werden weitere Materialien durch Tintenstrahldruck lokal in ein Bett aus Werkzeugstahlpulver eingebracht. Die so erhaltenen gradierten Grünkörper werden in einem folgenden thermischen Prozessschritt zum Endbauteil verdichtet. Exemplarisch soll die neue Technologieplattform zunächst auf metallische Werkzeugeinsätze mit angepassten mechanischen Eigenschaften für den Spritzguss angewandt werden.

## Aufgabe

Zur Umsetzung dieser Projektidee wurden vom Fraunhofer IFAM als Koordinator und den beteiligten industriellen Projektpartnern die folgenden Aufgabenstellungen bearbeitet:

- Entwicklung von funktionellen nanopartikulären Tinten, die mittels 3-D-Printing-Technologie verdruckt werden können

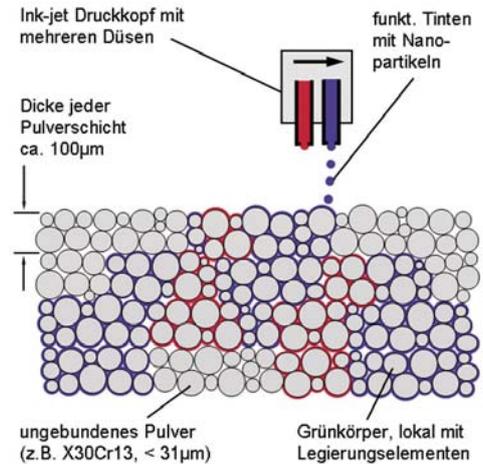


Abb. 1: Herstellung gradierter Strukturen mittels 3-D-Printing im Schema.

- Weiterentwicklung des 3-D-Printing-Prozesses zur Herstellung von dichten Bauteilen aus Werkzeugstahl – ohne zusätzlichen Infiltrationsprozess
- Adaption der 3-D-Printing-Technologie durch Soft- und Hardwareänderungen für den Druck von Gradienten mit mehreren funktionellen Tinten
- Entwurf, Bau, Charakterisierung und Einsatz eines gradierten Werkzeugeinsatzes im Spritzgussprozess

## Projektbeschreibung/Umsetzung

Im Rahmen der kombinierten Anlagen-, Werkstoff-, Software- und Verfahrensentwicklung im Verbundprojekt wurde am Fraunhofer IFAM zunächst der bisherige 3-D-Printing-Prozess, der bronzeinfiltrierte Stahlteile liefert, weiterentwickelt, um dichte metallische Bauteile aus Serienwerkstoffen zu erhalten. Gedruckte Grünkörper aus Werkzeugstahlpulver, die – im Gegensatz zu Edelstahl – durch Flüssigphasensintern verdichtet, eignen sich gut zur Erzielung einer praktisch vollständigen Enddichte. Allerdings ist aufgrund des Anteils an flüssiger Phase bei der thermischen Verdichtung eine präzise Einstellung des Sinterzyklus notwendig: Bei möglichst hoher Enddichte und gleichmäßiger Schwindung soll dennoch die Geometrie des Bauteils erhalten bleiben. Es konnten dennoch relativ große Einsätze aus Werkzeugstahl bis zu einem Gewicht von 640 Gramm,

Abmessungen von 150 Millimetern und je nach Wärmebehandlung mit Härten von bis zu 64 HRC gefertigt werden, die zurzeit von der Erwin Quarder Systemtechnik GmbH im Spritzgusseinsatz getestet werden.

Parallel dazu wurden aus Nanopartikeldispersionen und dem bisherigen organischen Binder funktionelle Tinten formuliert. Anforderungen an die funktionellen Tinten sind Agglomeratfreiheit, Sedimentationsstabilität und hoher Feststoffgehalt bei möglichst geringer Änderung der Viskosität und Oberflächenspannung im Vergleich zum konventionellen Binder. Es konnten gemeinsam mit der Nanosolutions GmbH erfolgreich kohlenstoff-, vanadium-, chrom-, wolfram- und titanhaltige nanopartikuläre Dispersionen synthetisiert werden, durch die als Legierungsbildner das Werkzeugstahlgefüge beim Sintern gezielt beeinflusst werden kann. Auf einem Ink-Jet-Druckkopfteststand wurden die Tinten auf Verdruckbarkeit getestet, bevor sie auf dem 3-D-Printer zum Einsatz kamen.

Der bisherige mit einem Druckkopf ausgerüstete 3-D-Printer ist nur in der Lage, Bauteile aus einem Material zu generieren, indem ein Binder in das Metallpulver gedruckt wird. Ebenso lieferte die CAD-Software bisher nur die geometrischen Oberflächendaten der zu bauenden Teile und keine Informationen über eine maßgeschneiderte lokale Materialverteilung. Die Prometal GmbH implementierte weitere, einzeln ansteuerbare Druckköpfe im Drucker und modifizierte die Druckeransteuerung, so dass mehrere funktionelle Tinten gleichzeitig in das entstehende Bauteil gedruckt werden können. Die geometrischen Konstruktionsdaten inklusive der gewünschten lokalen Materialdaten müssen – wie ein Foto vor dem Druck – gerastert werden, bevor sie auf dem Drucker in Steuerbefehle umgewandelt werden können. Mit diesem modifizierten 3-D-Drucker sind gradierte Demonstratoren unter Verwendung zweier verschiedener nanopartikulärer funktioneller Tinten gedruckt worden.

Als Ergebnis dieses Verbundprojektes steht eine neue Technologieplattform zur Verfügung, mit der komplexe Bauteile in einem Prozess lokal mit einem Materialgradienten ausgestattet werden können. Zukünftig könnten mit dieser Technologieplattform nicht nur Bauteile auf der Basis von



Abb. 2: Dichtgesinterter gedruckter Werkzeugeinsatz aus M2-Werkzeugstahl.

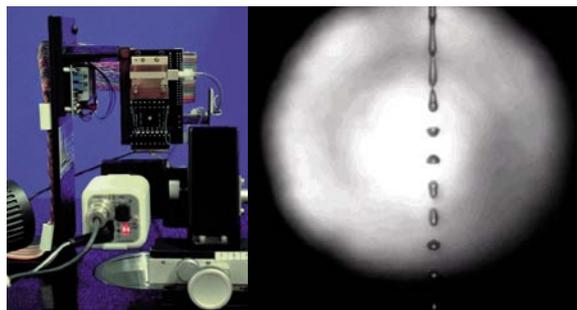


Abb. 3: Ink-Jet-Druckkopfteststand zur Visualisierung der Tropfenbildung funktioneller Tinten.

Werkzeugstahl maßgeschneidert werden, sondern auch andere metallische und nichtmetallische Pulver in Kombination mit verschiedensten nanoskalierten Materialien.

#### Ansprechpartner

Dirk Godlinski  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 30  
E-Mail: godlinski@ifam.fraunhofer.de

#### Auftraggeber

BMBF-Förderprogramm »MaTech – Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts«, Ausschreibung Gradientenwerkstoffe

#### Projektpartner

Erwin Quarder Systemtechnik GmbH, Espelkamp  
Nanosolutions GmbH, Hamburg  
Prometal GmbH, Remscheid

#### Institut

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe, Bremen

# Mikro-Metallpulverspritzgießen – Serienfertigung und Qualitätssicherung

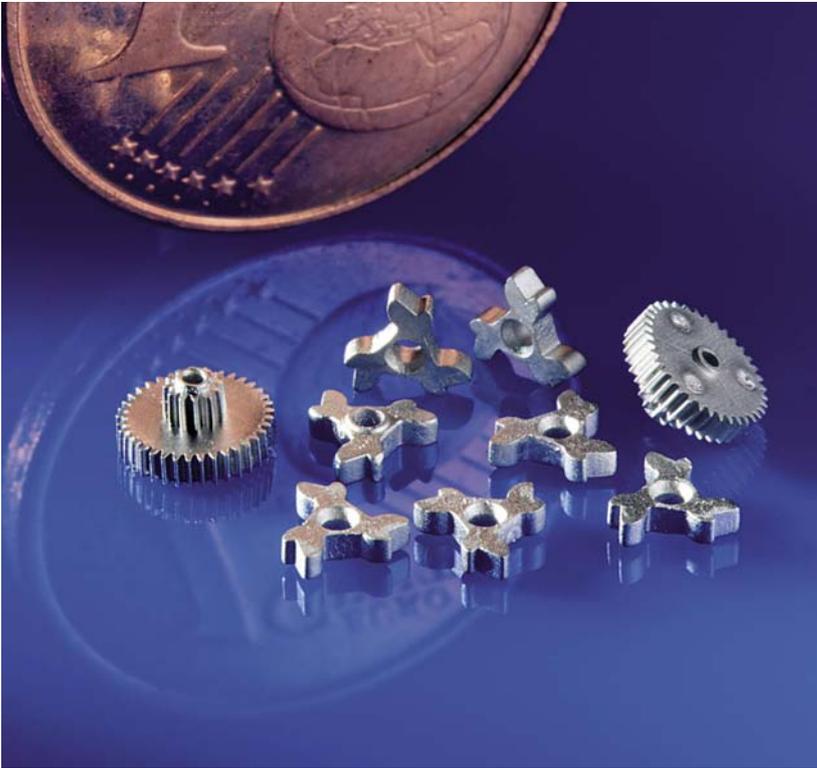


Abb. 1: Zahn- und Flügelräder aus Edelstahl 316L (Kooperation mit der Firma Scholz GmbH, Kronach).

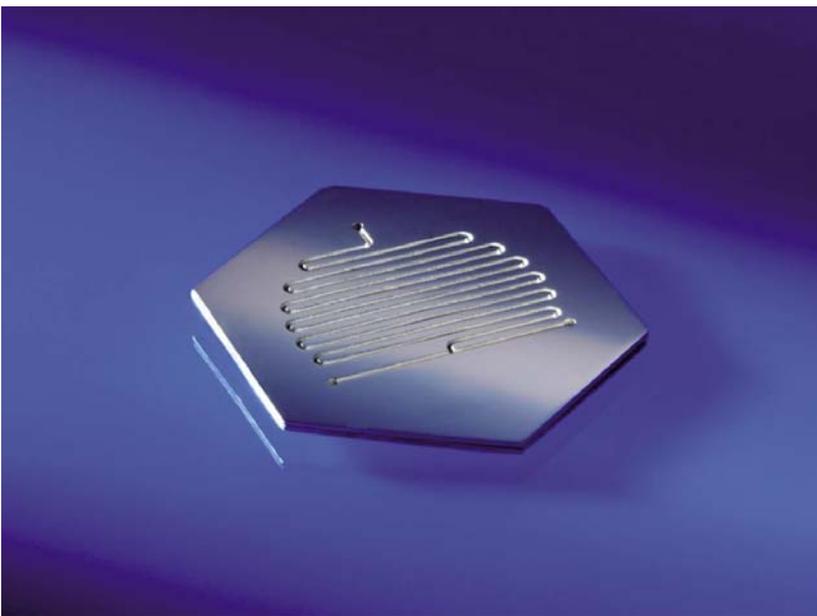


Abb. 2: Mikromischer aus Edelstahl 17-4PH für das Fraunhofer-Mikroreaktionsmodul FAMOS.

## Situation

Die steigende Nachfrage nach höherer Präzision, Funktionalisierung und Miniaturisierung von Komponenten und Systemen in vielen Anwendungsbereichen führt zu einem erhöhten Bedarf an Kleinst- und Mikroteilen aus metallischen Werkstoffen. Gängige Fertigungsverfahren der Mikrotechnik erlauben jedoch nur selten eine nachbearbeitungsfreie, kostengünstige Serienfertigung metallischer Mikroteile. Deshalb wurde in den vergangenen Jahren am IFAM die Entwicklung des Mikro-Metallpulverspritzgießens ( $\mu$ -MIM) vorangetrieben. So wurde im Rahmen verschiedener Projekte am IFAM bereits gezeigt, dass das  $\mu$ -MIM-Verfahren zur Herstellung von Mikroteilen und mikrostrukturierten Teilen aus verschiedenen Metallen und Legierungen geeignet ist. Abbildung 1 zeigt beispielhaft einige durch  $\mu$ -MIM realisierte Mikrozahnräder und -flügelräder für den Einsatz in mikromechanischen Systemen, Abbildung 2 einen Mikromischer für die Mikroreaktionstechnik.

## Aufgabe

Ziel der hier beschriebenen Arbeiten war es, den  $\mu$ -MIM-Prozess hinsichtlich der Reproduzierbarkeit in der Serienfertigung zu charakterisieren und zu optimieren. Dabei wurden Aspekte der Feedstockaufbereitung, des Spritzgießens und der Charakterisierung untersucht.

Beim  $\mu$ -MIM werden sehr feine Pulver mit mittleren Pulverpartikelgrößen von drei bis fünf Mikrometern und Feinanteilen im Bereich von 200 bis 500 Nanometern verarbeitet. Speziell für den Mikrospritzguss konzipierte Bindersysteme ermöglichen durch ihre niedrige Viskosität die vollständige Formfüllung im Spritzgießprozess und besitzen eine hohe Festigkeit für die sichere Entformung der gespritzten Mikroteile. Allerdings muss bei der Feedstockaufbereitung aufgrund der feinen Pulver besonders auf eine gute Durchmischung und Homogenität geachtet werden. Daher wurde die Qualität der Feedstocks durch die Aufnahme rheologischer Kenndaten untersucht.

Das Spritzgießen von Mikroteilen stellt hohe Anforderungen an die Präzision und Reproduzierbarkeit der Fertigungsparameter. Daher wurde in diesem Projekt die Präzision des Dosierens und

Spritzgießens kleinster Feedstockmengen anhand einer größeren Musterserie evaluiert. Die relevanten Daten aus dem Spritzgießprozess wurden hierfür an der Mikrospritzgießmaschine (Battenfeld Microsystem 50) erfasst und anschließend ausgewertet. Darüber hinaus wurden Mikrozugproben durch  $\mu$ -MIM hergestellt und auf ihre mechanischen Werkstoffeigenschaften hin getestet. Das Potenzial des Prozesses für die Serienfertigung wurde durch die Herstellung einer Replikation des kleinsten menschlichen Knochens (Steigbügel) aus Edelstahl aufgezeigt.

## Ergebnis

Zunächst wurden  $\mu$ -MIM-Feedstocks aus den beiden Edelstählen 316L und 17-4PH in einem Doppelschaufelknetter aufbereitet. Anschließend wurde das Fließverhalten durch Messungen an einem Doppelkapillar-Rheometer bestimmt. Dabei wurden die für das Erreichen verschiedener Scherraten benötigten Kräfte aufgezeichnet. Bei diesen Kraft-Zeit-Aufnahmen wurden jedoch wiederholt starke Schwankungen der Stempelkräfte beobachtet. Abbildung 3 zeigt dies am Beispiel des 316L-Feedstocks (rote Kurve). Daher wurde eine weitere Homogenisierung der Formmasse in einem Scherwalzenextruder vorgenommen. Die erneute Prüfung des Kraft-Zeit-Verhaltens ergab für alle angestrebten Scherraten deutlich konstantere Kräfte, das heißt stark verbesserte Feedstockhomogenität (blaue Kurve). Die  $\mu$ -MIM-Feedstocks neigen aufgrund der extrem feinen Pulver eher zur Agglomeratbildung oder Entmischung als konventionelle MIM-Formmassen und erfordern daher eine größere Sorgfalt bei der Aufbereitung. Mit dem aufbereiteten 316L-Feedstock wurden die in Abbildung 4 dargestellten Mikrotreppen abgeformt. Aus einer Serie von 1000 Teilen wurde jede zehnte Probe auf einer Mikrowaage gewogen und das Ergebnis mit den aufgezeichneten Spritzgießparametern abgeglichen. Dabei wurde ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem maximalen Forminnendruck im Werkzeug und dem Gewicht des Mikroteils erfasst (siehe Abb. 5). Allerdings lagen die Schwankungen des Gewichts lediglich im Bereich einiger zehntel Milligramm ( $439,66 \text{ mg} \pm 0,34 \text{ mg}$ ). Insgesamt zeigen die Ergebnisse eine sehr gute Reproduzierbarkeit des Spritzgießprozesses auf.

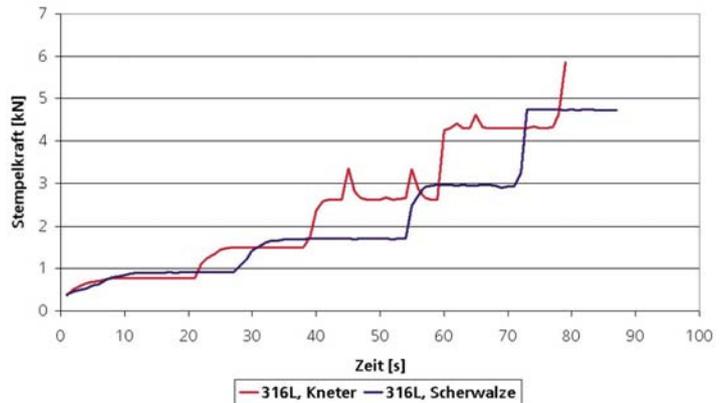


Abb. 3: Online-Aufzeichnung der Stempelkraft bei der Prüfung von 316L-Feedstocks im Doppelkapillar-Rheometer.

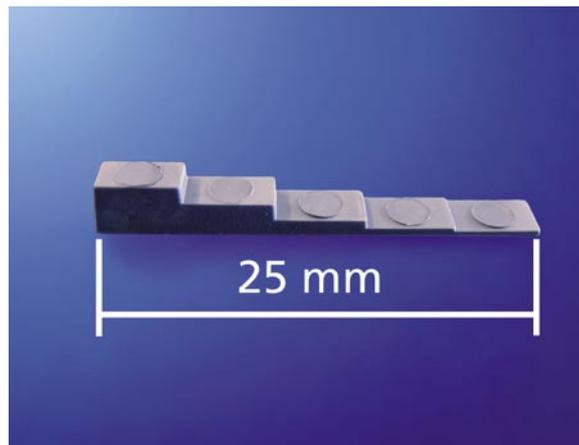


Abb. 4: Probekörper Mikrotreppe.

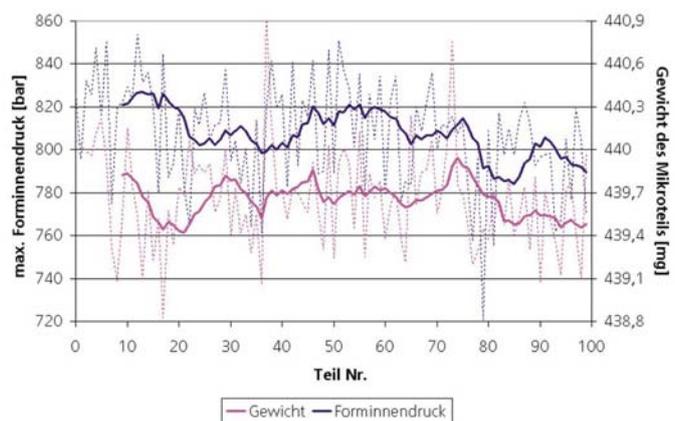


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Forminnendruck und Teilgewicht beim Mikrospritzguss.

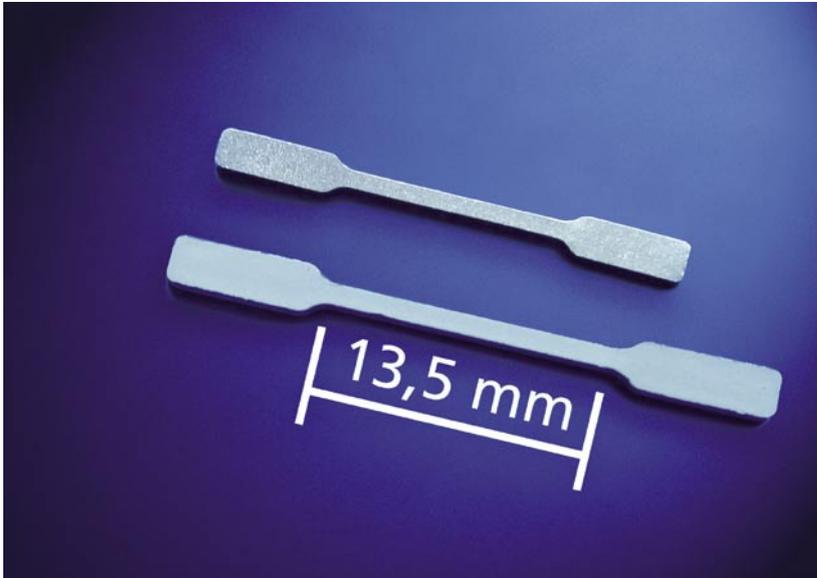


Abb. 6: Probekörper Mikrozugprobe: Grün- und Sinterteil.

Parallel zu den Untersuchungen des Spritzgießprozesses wurde eine Mikrozugprobe für die Fertigung im  $\mu$ -MIM-Verfahren konzipiert (Abb. 6).

Proben aus den Edelstählen 316L und 17-4PH wurden erfolgreich abgeformt und nach der Sinterung bei verschiedenen Temperaturen an einer Mikrozugprüfmaschine getestet.

Die ermittelten Zugfestigkeiten sind in Abbildung 7 dargestellt. Die erzielten Kennwerte sind mit Literaturwerten der Materialien vergleichbar. Darüber hinaus wurde für 316L nachgewiesen, dass der Feedstock ohne Einbußen hinsichtlich der Abformbarkeit und mechanischer Festigkeit recycelt werden konnte. Die Unterschiede in den Festigkeiten beider Werkstoffe bei den verschiedenen Sinter-temperaturen sind auf Gefügeumwandlungen (17-4PH) bzw. Kornwachstum (316L) zurückzuführen.

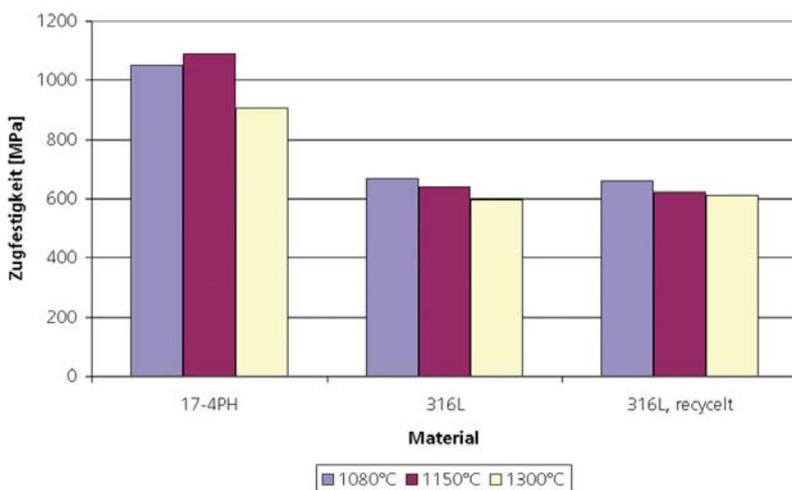


Abb. 7: Zugfestigkeit von 316L- und 17-4PH-Mikrozugproben nach Sinterung bei verschiedenen Temperaturen.

In Zusammenarbeit mit der Firma Krämer Engineering, Rendsburg, wurde für die Battenfeld Microsystem 50 ein Werkzeug zur Abformung des kleinsten menschlichen Knochens, des Steigbügels, aus 316L konzipiert und hergestellt. Auf Basis der Ergebnisse aus den grundlegenden Untersuchungen konnten die Teile bei gleich bleibender Qualität in Serie abgeformt und gesintert werden (Abb. 8).

### Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der dargestellten Untersuchungen wurde gezeigt, dass das  $\mu$ -MIM-Verfahren für eine Serienfertigung metallischer Mikroteile geeignet ist. Zukünftige Arbeiten werden vor allem auf eine weiter erhöhte Reproduzierbarkeit der Spritzgießparameter, insbesondere der Forminnendrücke, zielen. Zudem sollen weitere Funktionswerkstoffe hinsichtlich einer Eignung für den  $\mu$ -MIM-Prozess untersucht und entwickelt werden. Weitere Anwendungsfelder für metallische Mikroteile und Mikrostrukturen sollen in der Sensorik (magnetische Werkstoffe), Elektronik (z. B. Wolfram) und im Bereich des Wärme-Kälte-Managements (Kupferwerkstoffe) erschlossen werden.



**Abb. 8:** Serienfertigung von Steigbügeln aus 316L (Kooperation mit der Firma Krämer Engineering, Rendsburg).

#### Ansprechpartner

Philipp Imgrund  
 Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-2 16  
 E-Mail: imgrund@ifam.fraunhofer.de

#### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
 Bremen

# Thermoelektrische Nanokomposite

## Situation

Die Thermoelektrik ermöglicht die wechselseitige Umwandlung zwischen elektrischer und thermischer Energie durch den so genannten Peltier-Effekt (Erzeugung einer Temperaturdifferenz durch elektrischen Strom) bzw. seine Umkehrung, den Seebeck-Effekt. Damit ist die Thermoelektrik zur alternativen Gewinnung elektrischer Energie ebenso geeignet wie zur Temperierung (Kühlung, Heizung).

Zentraler Punkt für thermoelektrische Anwendungen ist die alles bestimmende Qualität der thermoelektrischen Werkstoffe, gekennzeichnet durch die thermoelektrische Güteziffer  $ZT$ , welche sich aus spezifischen Werkstoffeigenschaften ( $Z$ ) und der Temperatur ( $T$ ) berechnet. Dieser Gütewert ist während der vergangenen fünf Jahrzehnte etwa konstant bei einem Zahlenwert von 1 geblieben. Durch nanotechnologische Methoden wurden jedoch in den vergangenen Jahren Werkstoffe hergestellt, die für  $ZT$  Werte von bis zu 2,5 aufweisen.

Die weltweite Entwicklung dieser Werkstoffe wird derzeit forciert und wird z. B. Peltier-Kühlern das Potenzial verleihen, Temperatursteuerungen in vielfältigen, bisher nicht nutzbaren Bereichen zu realisieren.

Physikalisch denkbar sind Gütewerte für  $ZT$  von 4, doch bereits bei einer Verbesserung von  $ZT$  0,7 bis 1 (heute verfügbar und erprobt) auf etwa 2 (vorhanden, aber kommerziell noch nicht verfügbar) erschließt sich eine Vielzahl von neuen Produkten (z. B. Sensoren, Smart-Cards, Smart-Labels) mit einem Marktvolumen von mehr als einer Milliarde Euro.

## Chance

Insbesondere in den USA wird mit hohem finanziellen Einsatz eine Vielzahl von nanotechnologischen Ansätzen verfolgt, so dass mittelfristig mit der Herstellung von entsprechenden Bauelementen zu rechnen ist. In Deutschland und Europa waren bisher nur geringe Forschungs- und Entwicklungstendenzen zu erkennen.

Die Ansätze zur technischen Realisierung gehen bisher aus von nanoskaligen Schichtsystemen durch PVD-Verfahren (Physical Vapor Deposition), neuen Führungen von chemischen Synthesen aus nanoskaligen Elementschichten, der Züchtung von Nanodrähten in dichter Packung in geeigneten Templaten sowie der Entwicklung spezieller Materialsysteme. Gerade die thermoelektrischen Massivmaterialien, wie sie zur Herstellung von größeren Peltier-Kühlern oder Thermogeneratoren benötigt werden, sind nur sehr aufwändig zu produzieren, da die Werkstoffe als mechanisch wenig belastbare Einkristalle oder durch Abscheidung (geringe Schichtwachstumsraten) hergestellt werden.

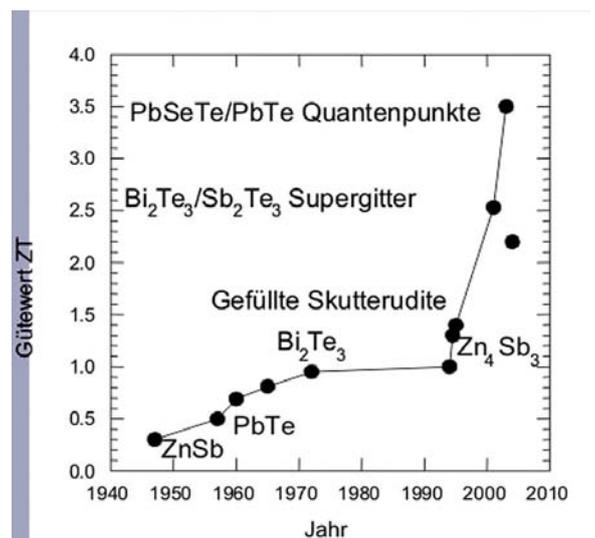


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf des Gütewertes  $ZT$  von thermoelektrischen Werkstoffen nach Venkatasubramanian, Nature 413 (2001), 597.

Das IFAM Dresden hat zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg und dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS in Erlangen eine wirtschaftsorientierte strategische Allianz gegründet, die sich zum Ziel gesetzt hat, das nanoskalige thermoelektrische Konzept verfahrenstechnisch umzusetzen sowie die Modul- und Systemfähigkeit der neuen Werkstoffe zur Herstellung einer autarken Energieversorgung von Sensornetzwerken nachzuweisen.

## Umsetzung

Die Beseitigung der skizzierten Hindernisse für die wirtschaftliche Anwendung von thermoelektrischen Werkstoffen für die (autarke) Energieversorgung liegt in der Herstellung und Verarbeitung von polykristallinen Werkstoffen mit modernen pulvermetallurgischen Verfahren. Hierzu werden schmelzmetallurgisch die entsprechenden Werkstoffe hergestellt, wodurch Eigenschaften wie Homogenität und Nanostrukturierung einfach eingestellt werden können. Nach der Zerkleinerung wird in einem nächsten Schritt das Pulver so gesintert, dass die Nanostrukturierung erhalten bleibt. Von ostasiatischen Wissenschaftlern wurde die Machbarkeit der pulvermetallurgischen Herstellung thermoelektrischer Werkstoffe bei Anwendung des Spark-Plasma-Sinterverfahrens (SPS) nachgewiesen. Dieses mit dem Heißpressen verwandte Kurzzeitsinterverfahren verwendet sehr kurze Strompulse (wenige Mikrosekunden) mit einer Spannung von einigen Volt, aber mehreren tausend Ampere zur direkten Erzeugung von Wärme im Sinterkörper. Durch den »SPS-Effekt«, welcher der Entstehung von Mikrolichtbögen im Pulver zugeschrieben wird, werden die Oberflächen der Partikel von anhaftenden Oxid-/Hydroxidschichten gereinigt, was zu kürzesten Sinterzeiten und verunreinigungsfreien Korngrenzen führt. Hierdurch lassen sich nicht nur nanostrukturierte Massivwerkstoffe sintertechnisch herstellen, sondern auch Gefüge anwendungsangepasst darstellen. Hohe Gütewerte von z. B. polykristallinen Thermoelektrika können bei gleichzeitiger Verbesserung mechanischer Eigenschaften erreicht werden, so dass die industrielle Anwendung wirtschaftlich ist.

Das IFAM Dresden verfügt über eine moderne Spark-Plasma-Sinteranlage, die aufgrund ihrer Flexibilität und industrienahen Größe sowohl zur Grundlagenforschung als auch für Auftragsforschung in produktionsnaher Größe geeignet ist.

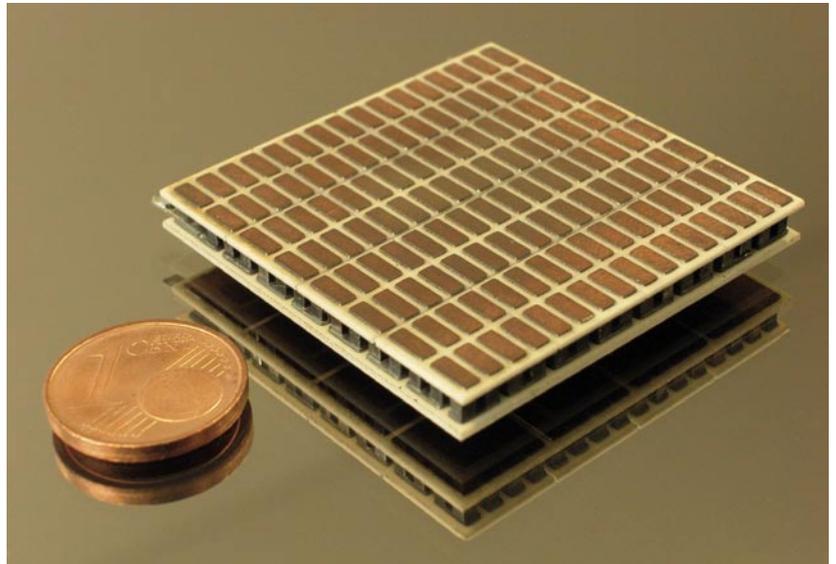


Abb. 2: Peltier-Element (Hersteller Peltron Peltiertechnik GmbH).

### Ansprechpartner

Jürgen Schmidt  
 Telefon: +49 (0) 351 / 25 37-2 24  
 E-Mail: juergen.schmidt@ifam-dd.fraunhofer.de

### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
 Dresden

## Offenzellige Metallschäume – Vielseitigkeit durch Variabilität

Das Fraunhofer IFAM Dresden besitzt eine langjährige Erfahrung bei der Entwicklung zellulärer metallischer Werkstoffe. Aus dieser Arbeit resultiert ein Portfolio verschiedener Strukturen und Verfahren, die für unterschiedliche Anforderungen der Anwender geeignet sind (siehe auch IFAM Jahresbericht 2004, Seiten 96–99). Offenzellige Metallschäume werden in Dresden seit etwa drei Jahren entwickelt.

### Gebündelte Kompetenzen

Die Herstellung offenzelliger Schäume geschieht durch ein Replikationsverfahren. Dabei wird ein retikulärer Polyurethanschwamm in einer Metallpulver-Binder-Suspension beschichtet. In einer anschließenden Wärmebehandlung werden zunächst die Trägerstruktur sowie der Binder thermisch entfernt. Abschließend erfolgt eine Sinterung der vom Binder befreiten Formteile. Das Gebiet der offenzelligen Metallschäume wird von den beiden Fraunhofer-Instituten IFAM sowie dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS gemeinsam bearbeitet.

Das Verfahren ist eng verwandt mit den am IFAM Dresden entwickelten Hohlkugelstrukturen. Insbesondere die Technologie zum Pyrolysieren der organischen Trägerstrukturen sowie der Binder und Zusatzstoffe ist am IFAM Dresden eine Kernkompetenz und wird stetig weiterentwickelt. Das technologische Know-how liegt hier vor allem in der möglichst weitgehenden Entfernung von Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff. In der Legierung gelöst, führen zu hohe Konzentrationen dieser Elemente zu einer Versprödung des Werkstoffs.

Ursprünglich wurde das Replikationsverfahren jedoch für keramische Werkstoffe entwickelt, die z. B. in Gießereifiltern Einsatz finden. Solche offenzelligen keramischen Strukturen und das damit verbundene Know-how der Suspensions- und Beschichtungstechnologie sind ein langjähriges Arbeitsgebiet des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS. Um eine effektive Entwicklung von Metallschäumen zu gewährleisten, wurden daher die Kompetenzen der beiden Institute gebündelt und die Entwicklungsaufgaben geteilt. Die Suspensionsentwicklung und Beschichtung erfolgt am IKTS, die Entbinderungs- und Sintertechnologie wird am IFAM Dresden weiterentwickelt.

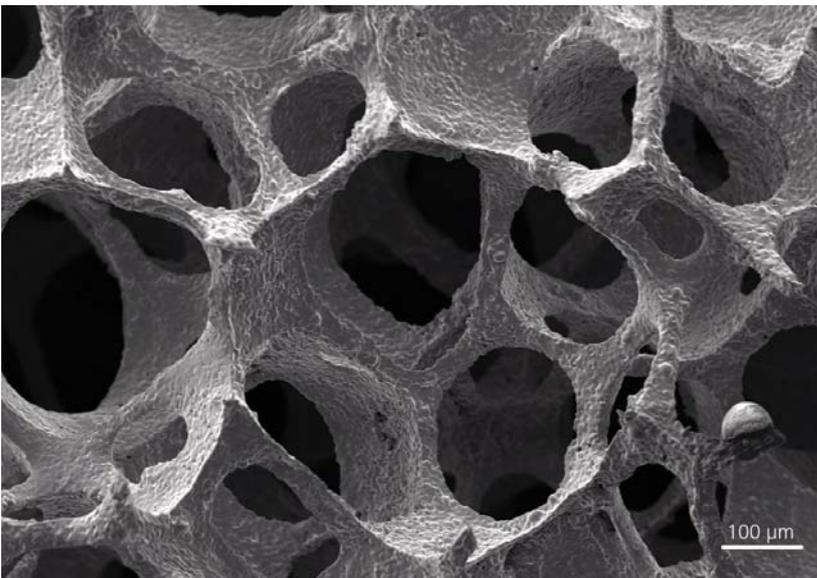


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopisches Bild einer offenzelligen Struktur aus Edelstahl 316L mit einer Zellweite von 60 µm.

### Struktur

Die grundsätzliche Porenstruktur offenzelliger Schäume entspricht im Idealfall dem eines Dodekaeders. Die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Schaums aus Edelstahl zeigt die reale Porenstruktur (Abb. 1). Mit dem Replikationsverfahren ist es inzwischen möglich, offenzellige Metallschäume mit einer außerordentlich homogenen Struktur herzustellen. Dies gilt sowohl für die Porengrößenverteilung als auch für die Stegdickenverteilung.

Die Stegdicke kann durch das Aufbringen unterschiedlicher Beschichtungsstärken definiert eingestellt werden. Diese Besonderheit ermöglicht es, die Dichte des Werkstoffs – und damit die physikalischen Eigenschaften – in einem sehr breiten Bereich gezielt einzustellen. Die Dichten, die mit Schäumen aus Edelstahl 316L realisiert wurden, liegen zwischen 0,3 und 2,0 Gramm je Kubikzen-

timeter. Diese Werte entsprechen Porositäten von 70 bis 95 Prozent. Mit der Verwendung verschiedener Trägerstrukturen kann darüber hinaus die Zellengröße eingestellt werden. Die mit herkömmlichen Stahlpulvern erreichbaren Zellenweiten liegen in einem sehr weiten Bereich von 10 bis 80 Zellen pro Inch (ppi). Das entspricht Porenweiten von 0,2 bis 5 Millimetern (Abb. 2).

### Entwicklung

Die gezielte Einstellung der Struktur ermöglicht die Entwicklung sehr verschiedenartiger Produkte: Kleine Zellgrößen besitzen beispielsweise hervorragende Schallabsorptionseigenschaften und eignen sich daher besonders für den Einsatz als Schalldämpfer. Solche Zellengrößen werden darüber hinaus auch in der Filtration genutzt, wenn eine gute Abscheiderate erreicht werden soll. Größere Zellenweiten verursachen dagegen bei Durchströmung einen deutlich geringeren Druckverlust (Abb. 3).



Abb. 2: Offenzellige Metallschäume aus Edelstahl 316L mit Zellweiten von 20, 45 und 60 ppi.

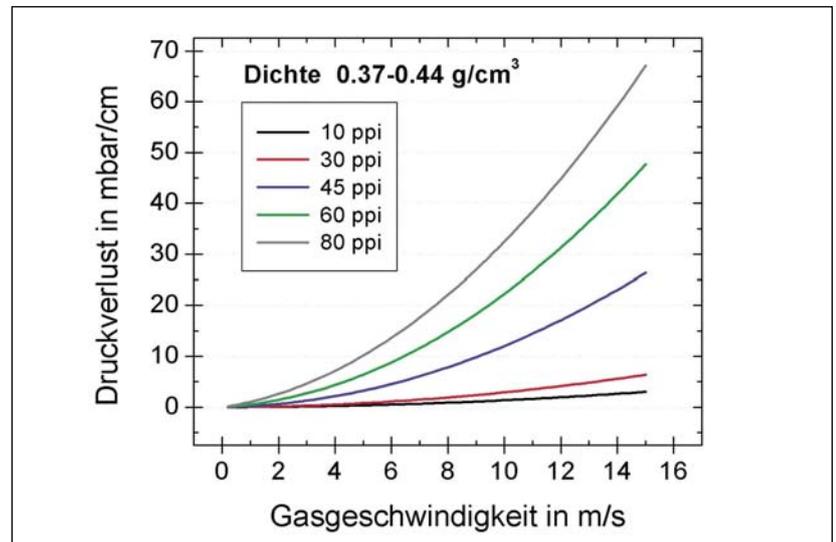
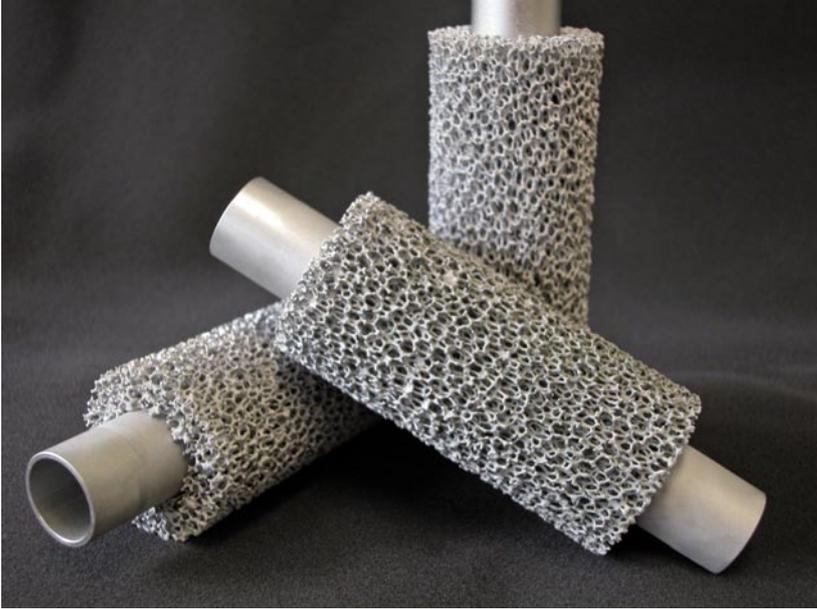


Abb. 3: Permeabilität offenzelliger Metallschäume. Die Porenweite hat einen starken Einfluss auf die Durchströmbarkeit.



**Abb. 4:** Verbundstrukturen aus Stahlrohren und Schäumen aus 316L (Zellweite 20 ppi) für den Einsatz als Luft-Wärmetauscher. Durch Aufschrumpfen der Schäume wird die Oberfläche der Rohre stark erhöht.

Das ist für Anwendungen wichtig, bei denen ein geringer Energieaufwand im Vordergrund steht. Solche Anforderungen gelten z. B. bei Wärmetauschern. Abbildung 4 zeigt einen derartigen Luft-Wärmetauscher, der zusammen mit einem Industriepartner entwickelt wurde. Die Herstellung dieser Verbundstrukturen geschieht durch Aufschrumpfung der endkonturnah gefertigten Metallschäume auf Stahlrohre. Dabei wird die beim Sintern entstehende Bauteilschrumpfung der pulvermetallurgischen Schäume genutzt. Durch eine Anhebung des Oberflächenverhältnisses auf 16 Quadratmeter pro Quadratmeter Rohroberfläche ist mit dieser Technik eine deutliche Verbesserung der Wärmeübertragung möglich.

Durch die Verwendung einer pulvermetallurgischen Route kann darüber hinaus eine außerordentliche Variabilität in der Auswahl der Werkstoffe gewährleistet werden. So lassen sich prinzipiell sämtliche Reinelemente und Legierungen verwenden, die als Pulver darstellbar sind.

### Fazit

Mit den offenzelligen Metallschäumen entwickeln die Fraunhofer-Institute IFAM und IKTS ein innovatives Material, das durch eine große Variabilität seiner Struktur und einsetzbaren Werkstoffe eine enorme Bandbreite von Eigenschaften besitzt. Dies und die Vorteile einer endkonturnahen Fertigung ermöglichen die Abdeckung einer Vielzahl von Anwendungen.

#### Ansprechpartner

Peter Quadbeck  
 Telefon: +49 (0) 351 / 25 37-3 72  
 E-Mail: peter.quadbeck@ifam-dd.fraunhofer.de

#### Institut

Fraunhofer-Institut für  
 Fertigungstechnik und  
 Angewandte Materialforschung IFAM,  
 Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
 Dresden

## Reibschicht für Synchronringe

### Ausgangssituation

Bei Kraftfahrzeug-Schaltgetrieben spielt die Synchronisierung eine zentrale Rolle. Sie gewährleistet einen schnellen Drehzahlgleich der Getriebeteile und somit einen störungsfreien Schaltvorgang. Dabei werden eine oder mehrere Kegelflächen auf Gleitreibung beansprucht. Die Tendenz zur Gewichtsreduzierung durch kleinere, kompaktere Bauweisen bei weiterer Verbesserung des Schaltkomforts hat eine Steigerung der zu übertragenden Reibleistung zur Folge. Diese Reibleistungen erfordern spezielle Reibschichten, die mit dem Synchronring als Träger verbunden werden (Abb. 1). Derzeit sind verschiedene Reibmaterialien im Einsatz, welche nach Kostengesichtspunkten und Eigenschaften für den jeweiligen Anwendungsfall ausgewählt werden.

Da in einem Schaltgetriebe zur Minderung von Reibung und Verschleiß immer Öl vorhanden ist, befindet sich das Öl zwangsläufig auch an der Oberfläche der Reibschicht und ihres Gegenreibrpartners. Zur Gewährleistung kurzer Schaltzeiten ist ein ausreichend hohes Schaltmoment erforderlich. Das erfordert einen hohen Reibwert, der unter den Bedingungen einer hydrodynamischen Schmierung nicht erreicht werden kann. Durch eine geeignete Oberflächenstruktur der Reibschicht muss das Öl möglichst schnell aus dem Reibspalt abgeführt werden, damit die hydrodynamische Reibung minimiert wird und es zu Festkörperkontakten und somit zunächst zur Mischreibung sowie schließlich zur Grenzreibung kommt. Erst in diesem Zustand geht die Relativgeschwindigkeit der beiden Reibpartner zueinander bis auf null zurück. Während für den Zustand der Misch- und Grenzreibung hauptsächlich die Eigenschaften der beteiligten Festkörper ausschlaggebend sind, ist für das Unterdrücken des hydrodynamischen Reibungszustandes die Strukturierung der beteiligten Reibflächen unter dem Gesichtspunkt der Öl-Abführung ein wesentlicher Faktor. Entsprechende Strukturmerkmale sind Nuten, Rillen oder andere kanalartigen Vertiefungen, aber auch Poren. Die Reibeigenschaften eines Reibbelags für Öllauf werden also nicht nur vom Werkstoff, sondern in hohem Maße auch von der Belagstruktur bestimmt.



Abb. 1: Synchronringe mit Reibschicht auf Eisenbasis.

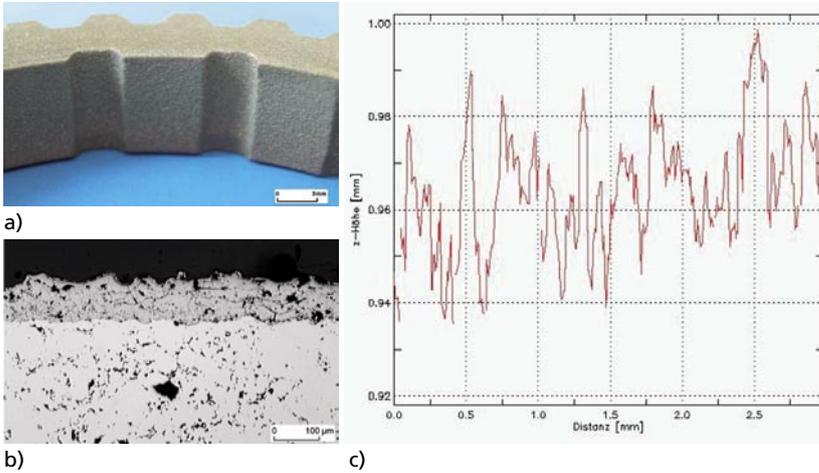


Abb. 2: Molybdänspritzschicht auf Synchronring, a) Draufsicht, b) Querschliff und c) Profildarstellung.

## Aufgabe

Derzeit dominieren Molybdänspritzschichten bei der Anwendung von Reibschichten in Synchronringen (Abb. 2). Sie sind belastbarer als Sondermessing und ausreichend bei mittlerer Belastung. Bei hohen Reibleistungen neigt jedoch der Molybdänbelag zum Fressen. Dieser Nachteil ist letztlich in der Struktur der Reibschicht begründet, die über größere Flächenbereiche keine Ölreservoir in Form feinsten Nuten oder offener Porosität enthält, so dass bei hohen Belastungen kein Schmierstoff, der Mikroverschweißungen verhindern könnte, vorhanden ist. Ausgehend von den so wichtigen Eigenschaften wie Oberflächenstrukturierung und Porosität, sollte speziell für den Einsatzbereich des Molybdäns ein leistungsfähigerer Belag entwickelt werden. Die Neuentwicklung einer Reibschicht für Synchronringe wurde nicht zuletzt aufgrund des zunehmenden Kostendruckes, welcher in großem Maße aus dem steigenden Rohstoffpreis für Molybdän resultiert, in Betracht gezogen.

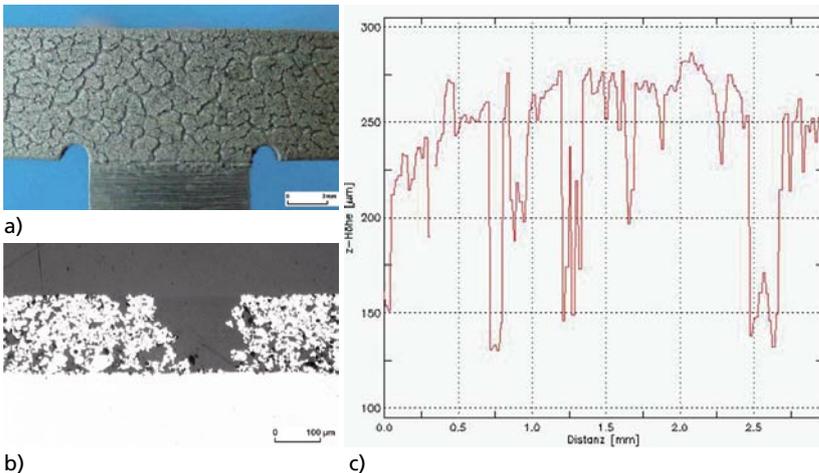


Abb. 3: Doppelkonus-Synchronring mit neu entwickelter Eisenbasis-Reibschicht DS230, a) Draufsicht, b) Querschliff und c) Profildarstellung.

## Ergebnis

Die neu entwickelte Eisenbasis-Reibschicht weist gegenüber den bisher bekannten Reibschichten für Synchronringe zwei wesentlich neue Merkmale auf. Zum einen ist die Schichtoberfläche mit einem unregelmäßigen Rissnetzwerk durchsetzt, zum anderen ist die Struktur der Schicht durch eine extrem feine und hohe Porosität, die mehr als 50 Prozent beträgt, gekennzeichnet (Abb. 3). Der Querschliff und die Messungen des Oberflächenprofils zeigen, dass die Tiefe der Risse bis zum Grund der Reibschicht auf dem Träger gehen kann.

Durch diese beiden Merkmale sind beim Schaltvorgang ideale Bedingungen für eine rasche und intensive Ölabbführung aus dem Reibspalt gegeben. Trotzdem wird durch die feine, hochporöse Struktur der Reibschicht gewährleistet, dass das Öl nicht so weit von der Reibfläche entfernt wird, dass bei hohen Belastungen größere dichte Flächenbereiche entstehen, in denen es zu reiner Festkörperreibung und damit zu starkem Verschleiß oder gar Fresserscheinungen kommt.

Die Herstellung der Schicht erfolgt auf pulvermetallurgischem Weg. Nur dadurch ist es möglich, dem Reibmaterial eine hohe Porosität zu verleihen. Die hohe Porosität, besonders aber das unregelmäßige Rissnetzwerk werden dadurch erreicht, dass sich der Schichtwerkstoff zu Beginn des Sinterns mit dem Grundwerkstoff verbindet. Damit wird ein Dichtsintern der sehr sinteraktiven Schicht verhindert. Durch die extrem hohe Schrumpfung des Schichtmaterials entstehen dann die hohe Porosität und das typische Rissnetzwerk in der Schicht. Diese Schrumpfung erzielt man durch die Verwendung eines hohen Anteils an Eisenoxiden in der Pulvermischung als Ausgangsrohstoff. Durch eine neu entwickelte Technologie wird die Mischung direkt auf den Synchronring aufgetragen und gesintert.

Geprüft wurde die neu entwickelte Reibschicht Sinter DS230 im Vergleich zu den Reibwerkstoffen Molybdän und Carbon DCA auf einem Synchronringprüfstand SSP 180. Gemessen wurde zunächst der Reibwert in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit in einem Stufenprogramm, bei dem

bei einer konstanten Pressung von  $4 \text{ N/mm}^2$  die Gleitgeschwindigkeit bis zu dem vom Prüfstand begrenzten Maximum gesteigert und dann in den gleichen Stufen verringert wurde. Damit wurde gleichzeitig die Reibenergie in Stufen gesteigert und wieder abgesenkt. Das Ergebnis zeigt Abbildung 4. Die dargestellten Säulen demonstrieren die stufenweise Veränderung der Gleitgeschwindigkeit. Die untere Kurve zeigt den Reibwert des Molybdänbelags. Der Reibwert dieses Belags sinkt deutlich mit der Gleitgeschwindigkeit. In der darüber liegenden Kurve ist der Eisensinterbelag dargestellt. Seine Geschwindigkeitsabhängigkeit ist deutlich geringer. Im Niveau liegt er geringfügig über Molybdän. Damit ist er als Ersatz für Molybdänschichten gut geeignet. Vergleichbar gering ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Carbonbelags. Sein Reibwertniveau ist deutlich höher. Dieser Vorteil verlangt allerdings, dass die geometrische Auslegung der Synchronisierung an die hohen Reibwerte des Carbonbelags angepasst werden muss. Synchronringe mit Eisensinterbelag können dagegen problemlos molybdänbeschichtete Ringe ersetzen.

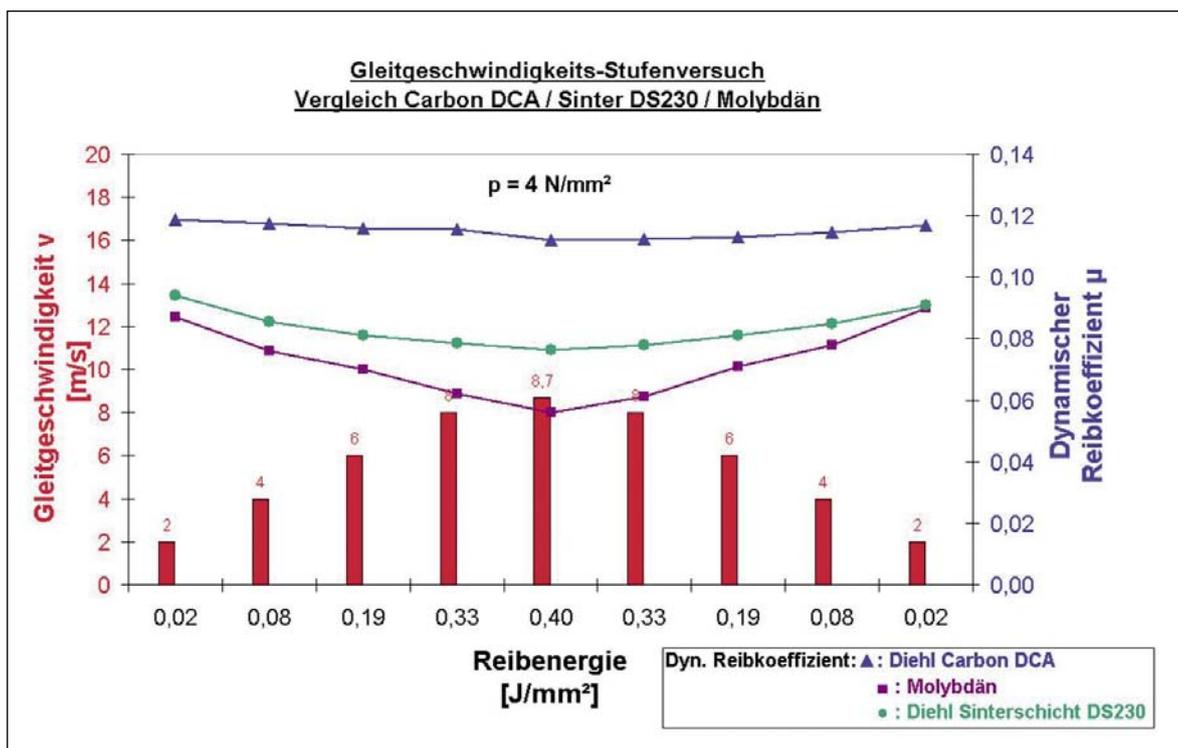


Abb. 4: Ergebnisse des Geschwindigkeits-Stufenversuchs zur Reibwertbestimmung.

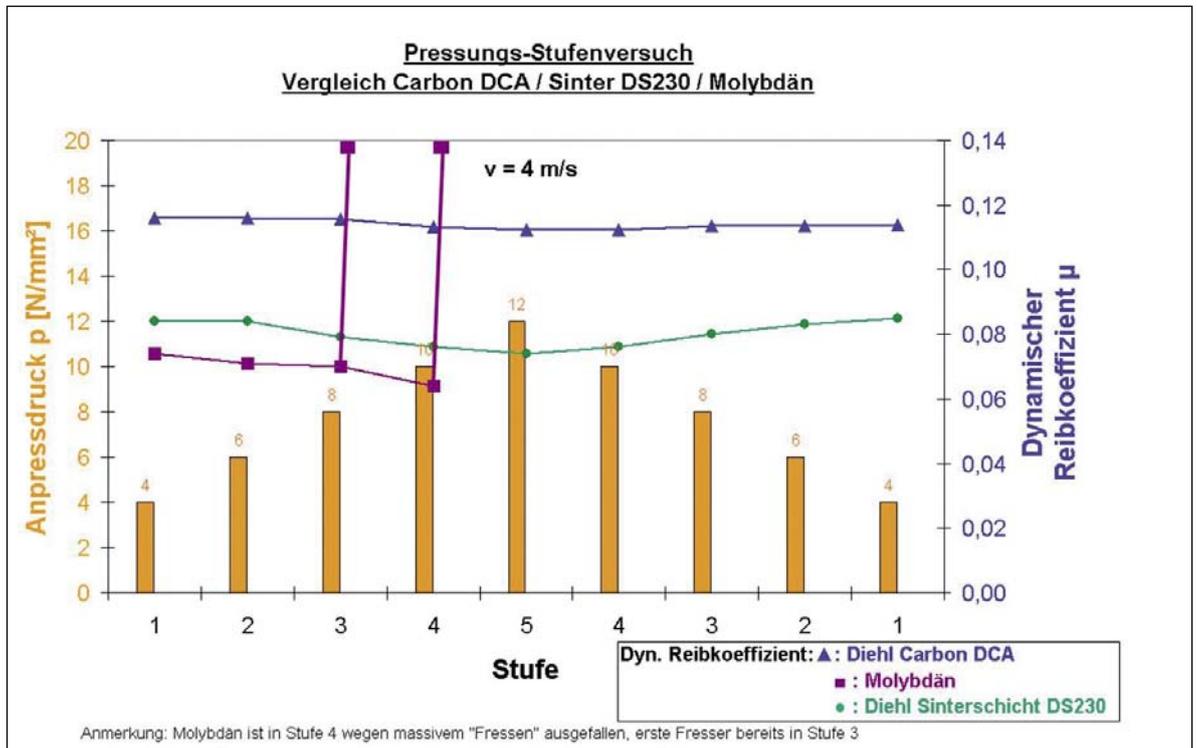


Abb. 5: Ergebnisse des Pressungs-Stufenversuchs zur Reibwertbestimmung.

In Abbildung 5 ist das Ergebnis eines Stufenversuchs zur Bestimmung der Pressungsabhängigkeit dargestellt.

Diese Grafik ist mit dem vorherigen Bild vergleichbar, nur dass bei gleicher Gleitgeschwindigkeit von vier Metern pro Sekunde der Anpressdruck stufenweise erhöht und abgesenkt wurde. Im Ergebnis wird gezeigt, dass der Molybdänbelag zu Fresserscheinungen neigt und deswegen bei höheren Belastungen ausfällt. Ansonsten bestätigen sich die Ergebnisse des vorherigen Versuchs, nämlich die gute Belastbarkeit des Eisenbasis-Sinterbelags und der Carbonschicht, wobei das

Reibwertniveau des Eisenbasisbelags geringfügig, das des Carbonbelags deutlich höher ist. Anzumerken ist, dass das Eigenschaftsbild des Eisenbasisbelags auch in anderen Merkmalen dem Carbonbelag sehr ähnlich ist. Das betrifft den vergleichbar extrem geringen Axialverschleiß, auch bei hohen Belastungen, und die gute Reibwertkonstanz über eine größere Anzahl von Schaltvorgängen. Hervorzuheben ist auch die besonders geringe Empfindlichkeit gegenüber dem Einfluss unterschiedlicher Ölsorten. Ein besonderes Merkmal dieser Reibschicht ist das geringe Losbrechmoment, welches zur Bewegung einer im Eingriff stehenden Synchronisierung erforderlich ist und das sich vom dynamischen Reibmoment in der Höhe nicht unterscheidet. Dieser Umstand macht die so strukturierte Reibschicht auch für Lageranwendungen interessant.

Für die entwickelte Reibschicht mit ihren neuen Merkmalen wurde ein Patent erteilt. Die hohe Leistungsfähigkeit der Eisenbasis-Sinterreibschicht in Verbindung mit einer neu entwickelten kosteneffizienten Fertigungstechnologie war ausschlaggebend für die nun geplante industrielle Umsetzung.

#### Ansprechpartner

Gunnar Walther  
Telefon: +49 (0) 351 / 25 37-3 40  
E-Mail: [gunnar.walther@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:gunnar.walther@ifam-dd.fraunhofer.de)

#### Auftraggeber

DIEHL Metall Stiftung & Co. KG  
Schmiedetechnik

#### Institut

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM,  
Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe,  
Dresden

## Preise/Ehrungen

### 1. VDI-Preis für innovative Werkstoffanwendung 2005 Metallschaum auf Basis von Ni-Superalloys (INCOFOAM® Hightemp)

### 2. EPMA Award 2005 for Powder Metallurgy Materials Development of INCOFOAM® Hightemp

Zur Unterstützung und zur Förderung von werkstofftechnischen Entwicklungen verleihen die VDI-Gesellschaft Werkstofftechnik und der Springer-VDI-Verlag den Preis für Innovative Werkstoffanwendung. Der Preis, den eine durch die VDI-Gesellschaft berufene Jury seit 1991 vergibt, soll herausragende Innovationen aus der gesamten Bandbreite innovativer Materialanwendungen auszeichnen, die in Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachdisziplinen entwickelt wurden und die beispielhaft Produktanforderungen über eine maßgeschneiderte Werkstofftechnik und die dafür erforderliche Produktionstechnologie in funktionsfähige Bauteile umsetzen. Den für 2005 vergebenen Preis erhielten Dipl.-Ing. Gunnar Walther und Dipl.-Ing. Tilo Büttner vom Fraunhofer IFAM Dresden, Dr. Alexander Böhm und Dr. Dirk Naumann von INCO sowie Dipl.-Ing. Stefan Fuss von SÜD-CHEMIE für ihren Beitrag an der Entwicklung eines Metallschaums auf Basis von Ni-Superalloys für den Einsatz in der Partikelfiltration im Hochtemperaturbereich. Das neu entwickelte hochporöse Material zeichnet sich durch sein breites Einsatzspektrum – vom Dieselrußpartikelfilter in Fahrzeugen bis hin zu Katalysatorträgermaterial in Chemieanlagen – aus und kann hinsichtlich seines Eigenschaftsprofils genau auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnitten werden.

Gewürdigt wurde diese Entwicklungsarbeit auch auf der Euro PM 2005 in Prag. Das IFAM Dresden und die INCO Europe Ltd. erhielten den EPMA-Preis in der Kategorie Materialien.



Radialfilter aus INCOFOAM® Hightemp.



VDI-Preis Skulptur »Idee und Materie«.



Entgegennahme des EPMA-Preises durch Dipl.-Ing. Gunnar Walther (IFAM Dresden) und Dr. Alexander Böhm (INCO) auf der Euro PM 2005 in Prag.

### 3. Euro PM 2005 Poster Award

Mit dem Preis wurde die Posterdarstellung folgender Gemeinschaftsarbeit gewürdigt:

»Sintering and Properties of New P/M Aluminium Alloys and Composites«

A. Dudhmande<sup>1</sup>, Th. Schubert<sup>2</sup>,  
M. Balasubramanian<sup>1</sup>, B. Kieback<sup>2,3</sup>

- 1 Composites Technology Centre, Department of Metallurgical and Materials Engineering, IIT Madras, Chennai – 600036, India
- 2 Fraunhofer IFAM  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden
- 3 TU Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
01062 Dresden

Durch die zunehmende Nachfrage nach Leichtbauteilen zur Gewichts- und Massenreduktion im Automobilbau sind pulvermetallurgisch hergestellte Aluminiumwerkstoffe interessant. Es wurden neue Werkstoffkonzepte entwickelt und vergleichend getestet. Die Optimierung von Verschleißbeständigkeit und mechanischer Festigkeit standen hierbei im Vordergrund. Diese Arbeit wurde im Rahmen des IIT-Master-Sandwich-Programms des DAAD durchgeführt.



Entgegennahme des Preises durch Dr. Thomas Schubert auf der Euro PM 2005 in Prag.



**Prof. Dr. rer. nat. O.-D. Hennemann**  
(geschäftsführend)  
– Klebtechnik und Oberflächen –

Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-4 01  
Telefax: +49 (0) 421 / 22 46-4 30  
E-Mail [ktinfo@ifam.fraunhofer.de](mailto:ktinfo@ifam.fraunhofer.de)

**Prof. Dr.-Ing. M. Busse**  
– Formgebung und Funktionswerkstoffe –

Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-1 00  
Telefax: +49 (0) 421 / 22 46-3 00  
E-Mail [info@ifam.fraunhofer.de](mailto:info@ifam.fraunhofer.de)

**Standort Bremen:**

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM

Wiener Straße 12  
28359 Bremen  
Telefon: +49 (0) 421 / 22 46-0  
[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

**Herausgeber:**

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM

ISSN 1439-6009

**Standort Dresden:**

Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und  
Angewandte Materialforschung IFAM

Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

**Redaktion:**

Brigitte Beißel  
Martina Ohle  
Edda Debrassine

Das Interview mit Prof. Hennemann  
führte Kai-Uwe Bohn.

Bildbeschreibungen finden Sie auf:

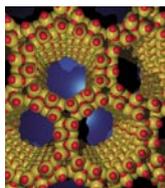
Seite 38



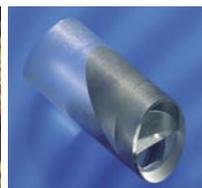
Seite 69



Seite 33



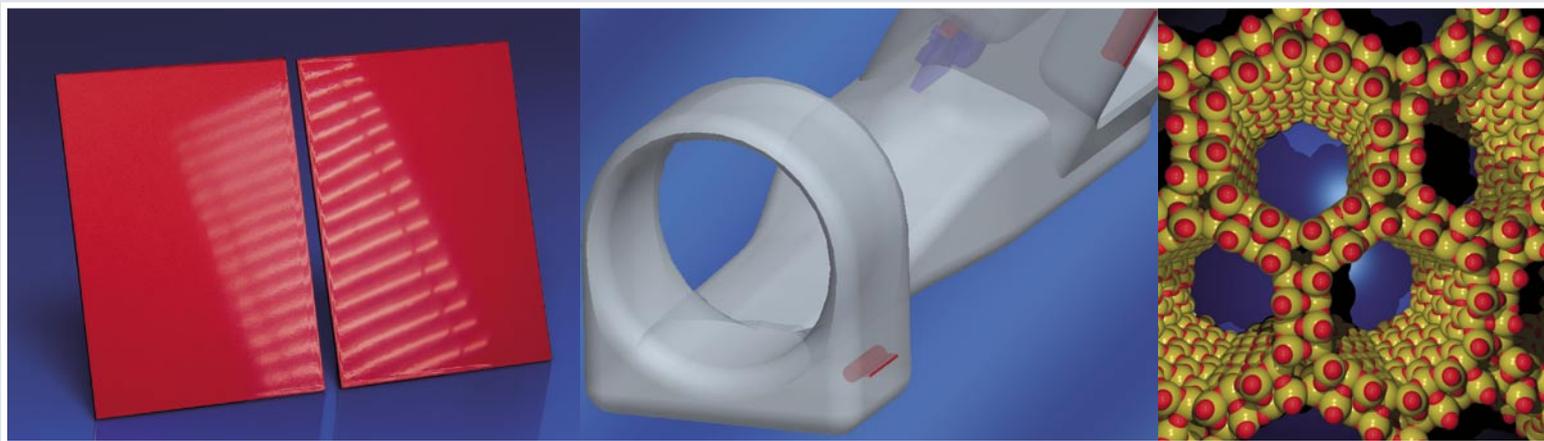
Seite 59



Seite 73



[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)





**Fraunhofer** Institut  
Fertigungstechnik  
Materialforschung

Jahresbericht 2005

Namen, Daten, Ereignisse

# Inhalt

## Kooperation mit ausländischen Instituten

Internationale Gäste .....	3
Europäisches Netzwerk .....	4
Klebtechnik – Weiterbildung .....	4

## Mitarbeit in Gremien

USA .....	5
Europa .....	5
National .....	5
Regional .....	8
Sonstige .....	8

## Kongresse, Tagungen und Messebeteiligungen

Personalqualifizierung im Klebtechnischen Zentrum 2005 .....	9
Tagungen und Messen .....	10

## Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Promotionen .....	12
Vorlesungen .....	12
Veröffentlichungen .....	13
Vorträge und Poster .....	19

## IFAM-Seminarvorträge

Bremen und Dresden .....	29
--------------------------	----

## Patente

Anmeldungen .....	31
Erteilungen .....	32

## Schutzrechte

Eingetragene Markennamen .....	33
--------------------------------	----

# Kooperation mit ausländischen Instituten

## **AGH University of Science and Technology**

Krakau, Polen  
Department of Metallurgy and Materials  
Engineering Physical and Powder Metallurgy  
Research Unit  
Dr. T. Pieczonka

## **Drexel University**

Philadelphia, Pennsylvania, USA  
Modellierung und Simulation der  
Metallschaumstehung

## **European Synchrotron Radiation Facility ESRF**

Grenoble, Frankreich  
M. Wichmann  
Beamline ID19

## **Gazi University**

Ankara, Türkei  
Prof. Dr. M. Türker

## **Institute of Materials Research of the Slovak Academy of Sciences**

Kosice, Slowakei  
Kriechverhalten von Siliziden

## **Institute of Strength Physics and Materials Science of the Russian Academy of Sciences**

Ulyanowsk, Russland  
Prof. A. P. Savitskii  
Nanokristalline Werkstoffe

## **Nanyang Technological University Singapur**

Prof. K.A. Khor  
Hochporöse Werkstoffe

## **Osaka Prefectural College of Technology**

Osaka, Japan  
Prof. K. Nishiyabu  
Zellulare metallische Werkstoffe

## **Pusan National University**

Busan, Korea  
Prof. T.-G. Kim

## **Russian Academy of Sciences Institute of Metallurgy and Materials Science**

Laboratory of Electron Microscopy  
Moskau, Russland  
Nanokristalline Werkstoffe

## **Russian Academy of Sciences Institute of Physics, Strength and Materials Science**

Tomsk, Russland  
Reaktionssintern, Nanokristalline Werkstoffe

## **Rutgers University**

Piscataway, New Jersey, USA  
Prozesstechnik Nanopulverherstellung

## **Sharif University of Technology**

Teheran, Iran  
Prof. Dr. A. Simchi

## **Technological University Moscow Moscow State Institute of Steel and Alloys**

Moskau, Russland  
Nanokristalline Werkstoffe

## **Ufa State Aviation Technical University**

Institute of Physics of Advanced Materials  
Ufa, Russland  
Nanokristalline Werkstoffe

## **Universidad Carlos III de Madrid**

Madrid, Spanien  
Prof. J.M. Torralba

## **Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecanica**

Campinas, Brasilien  
Prof. M.-H. Robert  
Gießtechnische Herstellung  
von Metallschäumen

## **Universidade Federal de Santa Catarina**

Florianópolis, Brasilien  
Prof. P. Wendhausen

## **University of Szeged**

Szeged, Ungarn  
Department of Colloid Chemistry

## **University of Warwick**

Advanced Technology Centre  
Warwick, Großbritannien  
Metallpulverspritzguss

## **Ural Division Russian Academy of Sciences**

Institute of Metal Physics  
Ekaterinenburg, Russland  
Nanokristalline Werkstoffe

## **Zhongshan University Center for Nanotechnology Research**

Guangzhou, China  
Prof. H. Shen

## *Internationale Gäste*

### **Raphael**

Haifa, Israel  
Dr. A. Buchman

## *Europäisches Netzwerk*

### **Multimaterial-Technology**

ETH Zürich

Swiss Federal Institute of  
Technology Institute for Design  
& Construction Methods

Zürich, Schweiz

### **Force Institute**

Brøndby, Dänemark

### **GAIKER**

Zamudio, Spanien

### **IDMEC**

Instituto de Engenharia  
Mecanica

University of Porto

Porto, Portugal

### **IFREMER**

Marine Materials Laboratory

Plouzané, Frankreich

### **INASMET**

Joining Technologies Department  
Centre Technologico de  
Materiales

San Sebastian, Spanien

### **ISQ**

R&D Training Division

Instituto de Soldadura  
e Qualidade

Oeiras, Portugal

### **IVF**

Institutet för

Verkstadsteknisk Forskning

Mölnadal, Schweden

### **Oxford Brookes University**

Oxford, Großbritannien

### **SINTEF Materials Technology**

Oslo, Norwegen

TNO Department of Structural  
Engineering

TNO Building and Construction  
Research

Delft, Niederlande

### **VTT Manufacturing Technology**

Lappeenranta, Finnland

### **University of Bristol**

Department of Mechanical  
Engineering

Bristol, Großbritannien

### **University of Pavia**

Pavia, Italien

## *Klebtechnik-Weiterbildung*

### **CRIF**

Seraing (Liège), Belgien

### **EOLAS**

Dublin, Irland

### **Force Institute**

Brøndby, Dänemark

### **INASMET**

San Sebastian, Spanien

### **ISQ (CNTP)**

Oeiras, Portugal

### **IVF**

Mölnadal, Schweden

### **Österreichisches Institut für Klebtechnik**

Wien, Österreich

### **TechniFutur Assemblage**

Seraing (Liège), Belgien

### **TWI**

Cambridge, Großbritannien

# Mitarbeit in Gremien

## *USA*

### **Adhesion Society, USA**

O.-D. Hennemann (Mitglied)

### **APMI**

#### **American Powder Metallurgy**

#### **International, USA**

#### **(MPIF)**

#### **Metal Powder Industry**

#### **Federation**

Princeton, USA

B. Kieback, F. Petzoldt (Mitglieder)

#### **International Liaison Committee of the International Journal of Powder Metallurgy**

F. Petzoldt (Mitglied)

## *Europa*

### **CEN**

#### **Comité Européen de Normalisation**

#### **Technisches Komitee/TC 240**

#### **Thermal Spraying and**

#### **Thermally Sprayed Coatings**

H. Grützner (Mitglied)

### **EGL**

#### **Europäische Gesellschaft für**

#### **Lackier-Technik e.V.**

S. Buchbach (Mitglied)

### **EPMA**

#### **European Powder Metallurgy Association**

#### **European MIM Group**

B. Kieback (Mitglied)

F. Petzoldt (Chairman)

### **European Federation for**

#### **Welding, Cutting and Joining**

A. Groß (deutscher Vertreter)

### **IISS**

#### **International Institute for Science of Sintering**

B. Kieback (Mitglied)

## *National*

### **AWT**

#### **Arbeitsgemeinschaft**

#### **Wärmebehandlung und**

#### **Werkstofftechnik e.V.**

Arbeitskreis

Plasmaoberflächentechnologie

U. Lommatzsch (Mitglied)

### **Berufsgenossenschaft Chemie**

#### **Unterausschuss IV**

Arbeitskreis

VSK Reaktive PUR Hotmelts

M. Popp (Mitglied)

### **DFO**

#### **Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V.**

Arbeitskreis

Kunststofflackierung

V. Stenzel, A. Kaune (Mitglieder)

Arbeitskreis

Leichtmetall

R. Wilken

### **DECHEMA**

#### **Deutsche Gesellschaft für**

#### **Chemisches Apparatewesen,**

#### **Chemische Technik und**

#### **Biotechnologie**

Fachsektion

Klebtechnik

E. Born, M. Brede, A. Groß, A. Hartwig,

O.-D. Hennemann (Mitglieder)

Fachsektion

Nanotechnologie

A. Hartwig, V. Zöllmer (Mitglieder)

## **Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE**

Arbeitskreis

### **Biokompatible Aufbau- und Verbindungstechnik**

T. Gesang (Mitglied)

## **DGM**

### **Deutsche Gesellschaft für Materialkunde**

Arbeitskreis

#### **Plasmaoberflächentechnologie**

A. Baalman, U. Lommatzsch (Mitglieder)

Fachausschuss

#### **Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe**

T. Schubert, T. Weißgärber (Mitglieder)

Fachausschuss

#### **Computersimulation**

A. Burblies (Mitglied)

Fachausschuss

#### **Magnesium-Anwendungen**

F.-J. Wöstmann (Mitglied)

Arbeitsgruppe

#### **Heterophasengrenzen**

des Fachausschusses

#### **Werkstoffwissenschaftliche Probleme der Mikroelektronik**

O.-D. Hennemann (Mitglied)

Arbeitsgruppe

#### **Mechanisches Verhalten bei hohen Temperaturen**

des Fachausschusses

#### **Werkstoffverhalten unter mechanischer Beanspruchung**

A. Burblies (Mitglied)

Arbeitsgruppe

#### **Edelmetall-Matrix-Verbundwerkstoffe**

des Fachausschusses

#### **Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe**

G. Lotze, T. Weißgärber (Mitglieder)

Arbeitskreis

#### **Zellulare Metalle**

O. Andersen, G. Rausch (Mitglied)

Arbeitskreis

#### **Werkstoffkundliche Aspekte des Verschleißes und der Zerspanung**

G. Walther (Mitglied)

## **DGO**

### **Deutsche Gesellschaft für Galvanik und Oberflächentechnik e.V.**

Arbeitskreis

#### **Plasmaoberflächenbehandlung von Polymeren**

A. Baalman, G. Ellinghorst (Mitglieder)

Arbeitskreis

#### **Plasmaoberflächentechnologie**

U. Lommatzsch (Mitglied)

## **DGPT**

### **Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V.**

Arbeitskreis

#### **Plasmaoberflächentechnologie**

U. Lommatzsch (Mitglied)

## **DPG**

### **Deutsche Physikalische Gesellschaft**

Arbeitskreis

#### **Oberflächenphysik**

S. Dieckhoff (Mitglied)

Arbeitskreis

#### **Festkörperphysik**

M. Noeske (Mitglied)

## **DVG**

### **Deutsche Vakuumgesellschaft e.V.**

Arbeitskreis

#### **Plasmaoberflächentechnologie**

U. Lommatzsch

## **DVS**

### **Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.**

Arbeitskreis der DVS-AG A 7

#### **Fügetechnik im Schienenfahrzeugbau**

M. Brede (Mitglied)

Arbeitskreis

#### **Plasmaoberflächentechnologie**

U. Lommatzsch (Mitglied)

Fachausschuss 8

#### **Kleben und Kunststoffschweißen**

O.-D. Hennemann, M. Peschka (Mitglieder)

Fachausschuss 9

#### **Konstruktion und Berechnung**

O.-D. Hennemann, M. Brede (Mitglieder)

Fachausschuss 10

#### **Mikroverbindungstechnik**

O.-D. Hennemann, H. Schäfer (Mitglieder)

Arbeitsgruppe V 8

#### **Klebtechnik**

A. Groß (Obmann)

Arbeitsgruppe

#### **Schulung und Prüfung**

A. Groß (Mitglied)

Arbeitsausschuss A 3.5

#### **Kleben im Schienenfahrzeugbau**

A. Groß (Obmann)

Arbeitsgruppe A 10

#### **Fügen im Handwerk – Schweißen und verwandte Verfahren**

V. Borst (Mitglied)

Fachgruppe FG 2.9  
**Ausbildung Karosserie**  
M. Peschka (Mitglied)

Hauptzertifizierungsausschuss (HZA)  
**Fachausschuss Kleben**  
A. Groß (Mitglied)

Prüfungs- und Zertifizierungsausschuss (PZA)  
**Klebtechnik**  
A. Groß (Vorsitzender)  
O.-D. Hennemann, M. Peschka (Mitglieder)

## **DIN** **Deutsches Institut für Normung**

Arbeitsausschuss 5.1  
**Metallpulverspritzguss**  
F. Petzoldt (Obmann)

Arbeitsausschuss 5.6  
**Klebtechnik im Schienenfahrzeugbau**  
D. Niermann (Mitglied)

Arbeitsausschuss ISO/TC 119  
**Pulvermetallurgie**  
K. Kümmel (Mitglied)  
Normenausschuss Werkstofftechnologie  
(NWT)

Arbeitsausschuss NAB 14  
**Beschichtungsstoffe und Beschichtungen  
für Luft- und Raumfahrt**  
S. Buchbach (Mitglied)

## **EFDS** **Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V.**

Arbeitskreis  
**Plasmaoberflächentechnologie**  
U. Lommatzsch (Mitglied)

## **FEE** **Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V.**

Bundesweite Arbeitsgruppe  
**Biogene Gase – Brennstoffzellen**  
I. Morgenthal (Mitglied)

## **FhG** **Fraunhofer-Gesellschaft**

Themenverbund  
**Adaptronik**  
T. Gesang (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Biokompatible Aufbau- und  
Verbindungstechnik**  
T. Gesang (Mitglied)

Themenverbund  
**Nanotechnologie**  
B. Günther, A. Hartwig (Mitglieder)

Themenverbund  
**Numerische Simulation von Produkten  
und Prozessen (NUSIM)**  
A. Burbliès (Vorsitzender)

Informations- und Demonstrationszentrum  
**Numerische Simulationstechniken zur  
Verfahrens- und Bauteiloptimierung  
(SIMTOP)**  
A. Burbliès (Leiter der Geschäftsstelle)

Arbeitskreis  
**IT-Manager**  
A. Burbliès, G. Peter (Mitglieder)

## **DIN/DVS** **Gemeinschaftsausschuss**

Arbeitsausschuss 14/Arbeitskreis AG V 7  
**Thermisches Spritzen und thermisch  
gespritzte Schichten**  
H. Grützner (Mitglied)

## **Gemeinschaftsausschuss Pulvermetallurgie**

Arbeitsausschuss  
B. Kieback (Vorsitzender)

Expertenkreis  
**Aluminium**  
T. Schubert (Mitglied)  
T. Weißgärber (Obmann)

Expertenkreis  
**Metallpulverspritzguss**  
F. Petzoldt (Obmann)  
T. Hartwig (Mitglied)

Expertenkreis  
**Metallpulvererzeugung**  
B. Günther (Mitglied)

Expertenkreis  
**Sintern**  
B. Kieback (Obmann)

Expertenkreis  
**Simulation in der Pulvertechnologie**  
A. Burbliès (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Sinterstähle**  
G. Veltl (Mitglied)

## **FZK/PFT** **Projekträger für Produktion und Fertigungstechnologien**

Industriearbeitskreis  
**Strukturoptimierung**  
A. Burbliès, H. Fricke (Mitglieder)

## **GDCh** **Gesellschaft Deutscher Chemiker**

Fachgruppe  
**Anstrichstoffe und Pigmente**  
A. Hartwig (Mitglied)

Fachgruppe  
**Festkörperchemie und  
Materialforschung**  
M. Noeske (Mitglied)

Fachgruppe  
**Makromolekulare Chemie**  
A. Hartwig, M. Noeske (Mitglieder)

**GfKORR  
Gesellschaft für  
Korrosionsschutz e.V.**

Arbeitskreis  
**Kontaktkorrosion**  
M. Schneider (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Korrosion und Korrosionsschutz von  
Aluminium und Magnesium**  
M. Schneider (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Korrosion von Polymerwerkstoffen**  
T. Kowalik, R. Wilken (Mitglieder)

**IVK  
Industrieverband Klebstoffe**

Technischer Ausschuss (TA)  
A. Groß (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Strukturelles Kleben und Dichten (SKD)**  
A. Groß (Mitglied)

Technische Kommission  
**Strukturelles Kleben und Dichten (SKD)**  
A. Groß (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Industrieklebstoffe**  
A. Groß (Mitglied)

**VDG  
Verein Deutscher  
Gießereifachleute**

Fachausschuss  
**Druckguss**  
T. Müller, F.-J. Wöstmann (Mitglieder)

Fachausschuss  
**Leichtmetallguss**  
F.-J. Wöstmann (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Zink**  
F.-J. Wöstmann (Mitglied)

Initiative  
**Zink**  
F.-J. Wöstmann (Mitglied)

**Lost Foam Council e.V.**  
F.-J. Wöstmann (Geschäftsführer)

***Regional***

**GfT  
Gesellschaft für Tribologie**

Arbeitskreis  
**Sachsen**  
G. Walther (Mitglied)

**Materialforschungsverbund  
Dresden e.V.**

Arbeitsgruppe  
**Öffentlichkeitsarbeit**  
I. Morgenthal (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Materialforschungsverbund Dresden**  
B. Kieback (Mitglied)

**VDI  
Verein Deutscher Ingenieure**

**VDI Bremer Bezirksverein**  
F. Petzoldt (Vorsitzender)

Arbeitskreis  
**Kunststofftechnik**  
G. Pauly (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Plasmaoberflächentechnologie**  
U. Lommatzsch (Mitglied)

Arbeitskreis  
**Systemplanung und Projektgestaltung**  
G. Veltl (Obmann)

Arbeitskreis  
**Werkstofftechnik**  
D. Lehnhus (Obmann)

Wachstums Kern  
**InnoZellMet**  
O. Andersen (Mitglied der Geschäftsleitung)

***Sonstige***

**adhäsion/Kleben&Dichten**  
Redaktionsausschuss  
O.-D. Hennemann (Mitglied)

**FOSTA – Forschungsvereinigung  
Stahlanwendung e.V.**  
im Stahlzentrum Düsseldorf  
Kuratorium  
O.-D. Hennemann (Mitglied)

**Journal of Adhesion Science and  
Technology**  
Editorial Advisory Board  
O.-D. Hennemann (Mitglied)

## Kongresse, Tagungen und Messebeteiligungen

Personalqualifizierung im  
Klebtechnischen Zentrum 2005

*Lehrgang und Prüfung zum/zur  
Klebpraktiker/in nach Richtlinie  
DVS®/EWF 3305 jeweils  
1 einwöchiger Kurs inkl. Prüfung*

Termin KP 1	24.–28.01.2005
Termin KP 2	21.–25.02.2005
Termin KP 3 GL	09.–13.05.2005
In Kooperation mit dem Germanischen Lloyd	
Termin KP 4	10.–14.10.2005
Termin KP 5	14.–18.11.2005
Termin KP 6	28.11.–02.12.2005

*Lehrgang und Prüfung zur  
DVS®-Klebfachkraft nach  
Richtlinie DVS®/EWF 3301 in  
drei jeweils einwöchigen Kursen  
inkl. Prüfung*

DVS®-Klebfachkraft Teil I: Grundlagen  
der Klebtechnik

Termin KFK GL 1	31.01.–04.02.2005
Termin KFK GL 2	07.–11.03.2005
Termin KFK GL 3	26.–30.09.2005
Termin KFK GL 4	17.–21.10.2005

DVS®-Klebfachkraft Teil II: Kleben von  
Metallen und anderen Werkstoffen

Termin KFK MK 1	28.02.–04.03.2005
Termin KFK MK 2	11.–15.04.2005
Termin KFK MK 3	24.–28.10.2005
Termin KFK MK 4	14.–18.11.2005

E-Learning

Termin BoniH 1 KP	21.–22.04.2005
Termin BoniH 2 KP	24.–25.11.2005

Externe Lehrgänge

Delo, Landsberg	13.–17.06.2005
Arvin Meritor, Gifhorn	19.–23.09.2005

DVS®-Klebkraft Teil III: Kleben von  
Kunststoffen und anderen Werkstoffen

Termin KFK KK 1	04.–08.04.2005
Termin KFK KK 2	30.05.–03.06.2005
Termin KFK KK 3	21.–25.11.2005
Termin KFK KK 4	05.–09.12.2005

DVS®-Klebfachkraft: Prüfung

Termin KFK P 1	26.04.2005
Termin KFK P 2	14.06.2005
Termin KFK P 3	25.11.2005
Termin KFK P 4	09.12.2005

Externe Lehrgänge

ALSTOM, Salzgitter	17.–21.01.2005
BMW, Spartanburg, USA	24.01.–11.02.2005
ALSTOM, Salzgitter	21.–25.02.2005

*Lehrgang und Prüfung zum  
European Adhesive Engineer  
nach Richtlinie DVS®/EWF 3309  
8 einwöchige Kursteile*

Termin KFI 1. Woche	17.–21.01.2005
Termin KFI 2. Woche	14.–18.02.2005
Termin KFI 3. Woche	14.–18.03.2005
Termin KFI 4. Woche	18.–22.04.2005
Termin KFI 5. Woche	06.–10.06.2005
Termin KFI 6. Woche	12.–16.09.2005
Termin KFI 7. Woche	10.–14.10.2005
Termin KFI 8. Woche	07.–11.11.2005
Prüfung	11.11.2005

## Tagungen

DGM-Fortbildungsseminar  
**Pulvermetallurgie**

Dresden  
13.–15.4.2005

Workshop  
**Bonding for the Future**

IFAM  
Bremen  
28.4.2005

**Klebtechnische Fertigung**

IFAM  
Bremen  
10.–11.5.2005

Internationales Symposium  
**Cellular Metals for Structural and  
Functional Applications**

CellMet 2005  
Dresden  
18.–20.5.2005

Frühjahrssitzung  
**Arbeitsausschuss Pulvermetallurgie des  
Fachverbandes Pulvermetallurgie**

Dresden  
15.6.2005

Seminar  
**Kleben in der Elektronik**

Bremen  
20.–21.6.2005

Erfahrungsaustausch  
**4. Bremer Klebtage**

IFAM  
Bremen  
21.–22.6.2005

Seminar  
**Kleben in der Elektronik**

Stuttgart  
21.–22.6.2005

**Lange Nacht der Wissenschaft**

Dresden  
1.7.2005

**FEICA European Adhesives Conference  
2005 / Exhibition**

St. Hélier, Großbritannien  
14.–16.9.2005

Workshop  
**In Zukunft Zink**

IFAM  
Bremen  
27.–28.9.2005

Fachtagung  
**Fertigungssystem Kleben – FSK 2005  
Klebtechnik für Fahrzeuge von morgen**

Hotel Strandlust  
Bremen  
29.–30.9.2005

Bremer Oberflächentage  
**Aktuelle Entwicklungen der  
Oberflächentechnik**

IFAM  
Bremen  
11.–12.10.2005

Seminar  
**Kleben in der Elektronik**

Reutlingen  
6.–7.12.2005

Seminar  
**Kleben in der Elektronik**

Bremen  
14.–15.12.2005

Seminar  
**Elektronikleben für Automobilzulieferer**

Bremen  
19.12.2005

## Messen

Auftaktveranstaltung  
**Stadt der Wissenschaft 2005**

Bremen  
16.2.2005

**Hannover Messe 2005  
Lackiertechnik**

Praxispark  
Hannover  
11.–15.4.2005

**Hannover Messe 2005  
Micro Technology**

IVAM Gemeinschaftsstand  
Hannover  
11.–15.4.2005

**Hannover Messe 2005  
Simulation**

FhG Gemeinschaftsstand  
Hannover  
11.–15.4.2005

**Hannover Messe 2005  
Subcontracting**

Innovationszentrum INGENIEUR-WERKSTOFFE  
Hannover  
11.–15.4.2005

**Hannover Messe Industrie 2005  
SurfPlaNet**

Praxispark/Hannover  
11.–15.4.2005

**SMT/Hybrid/Packaging 2005  
Systemintegration in der Mikroelektronik**

Nürnberg  
19.–21.4.2005

**European Coatings Show**

Nürnberg  
26.–28.4.2005

Transfertag <b>Stadt der Wissenschaft 2005</b> Bremen 9.6.2005	<b>material_vision 2005</b> <b>Neue Materialien für Design und Architektur</b> Konferenz und Fachmesse Forum Messe Frankfurt Frankfurt am Main 10.–11.11.2005
<b>Schweißen und Schneiden</b> <b>Structural Bonding International – SBI</b> Essen 12.–17.9.2005	Fachausstellung <b>Hagener Symposium Pulvermetallurgie</b> Hagen 24.–25.11.2005
<b>HUSUMwind</b> <b>Windenergie</b> Husum 18.–22.9.2005	<b>WISSENSWERTE</b> <b>Bremer Forum</b> <b>für WirtschaftsJournalismus</b> Bremen 28.–30.11.2005
<b>MetFoam 2005</b> Kyoto, Japan 21.–23.9.2005	<b>Hausmesse Continental</b> Frankfurt am Main 29.11.2005
<b>Euro PM 2005</b> Prag, Tschechien 2.–5.10.2005	Highlights <b>Stadt der Wissenschaft 2005</b> Bremen 30.11.2005
<b>BerufsInfoMesse - BIM 2005</b> Bremerhaven 7.–8.10.2005	<b>EuroMold 2005</b> <b>Rapid Prototyping</b> FhG Gemeinschaftsstand 30.11.–3.12.2005
<b>Nanosolutions 2005</b> Köln 8.–10.11.2005	
<b>IndustrieFachMesse IFM</b> Fachausstellung mit 5. Dresdner Material- forschungstag des Materialforschungs- verbundes Dresden (MFD) Messe Dresden 9.–11.11.2005	
<b>1. Technologietransfer- und Netzwerkmesse TransferX</b> Messe Dresden 9.–11.11.2005	

# Wissenschaftliche Veröffentlichungen

## Promotionen

### D. Fata

Epoxidsysteme im Verbund mit rostfreien  
Stählen – Vernetzung und Alterung  
Universität des Saarlandes  
Gutachter: Prof. Dr. W. Possart

Prof. Dr. rer. nat. O.-D. Hennemann

Tag der mündlichen Prüfung: 26.9.2005

### J. Götz

Dispensen von gefüllten Klebstoffen im  
Sub-Nanoliter-Bereich in der automatisierten  
Fertigung  
Universität Bremen

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. O.-D. Hennemann

Prof. Dr.-Ing. G. Sepold

Tag der mündlichen Prüfung: 27.1.2005

### T. Kaese

Synthese monomerer flüssigkristalliner  
Diepoxide, deren Charakterisierung und  
Ausrichtung im elektrischen Feld  
Gutachter: Prof. Dr. D. Wöhrle

Prof. Dr. rer. nat. O.-D. Hennemann

Tag der mündlichen Prüfung: 28.1.2005

### S.J.-M. Kim

Eine rechnergestützte Methode zur Pas-  
sungsanalyse von toleranzbehafteten Füge-  
teilen mit abschließender Programmierung  
eines automatisierten Klebstoffauftrags  
Universität Bremen

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. O.-D. Hennemann

Prof. Dr. W. Possart

Tag der mündlichen Prüfung: 3.11.2005

## Vorlesungen

### A. Burbliès

Finite Elemente Methode  
Hochschule Bremerhaven  
SS 2005

### A. Burbliès

Werkstoffmodelle und Simulation  
Hochschule Bremerhaven  
WS 2005/2006

### M. Busse

Forschung und Entwicklung im  
Automobilbau  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2005

### M. Busse

Leadership im Automobilbau  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
WS 2005/2006

### U. Echterhoff

Werkstoffkunde und Schweißtechnik  
Hochschule Bremen  
SS 2005

### H. Fricke

Simultaneous Engineering and  
Rapid Prototyping  
Hochschule Bremen  
Studiengang Master of Engineering in  
Computer Based Mechanical Engineering  
(CBME) – Fachbereich 5  
WS 2005/2006

### A. Groß

Werkstoffe: Klebtechnik  
Hochschule Bremen  
SS 2005

### B. Günther

Funktionswerkstoffe im Automobilbau –  
Funktionalisierung von Oberflächen  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2005

### A. Hartwig

Grundlagen der Makromolekularen Chemie  
Universität Bremen  
Fachbereich Chemie  
WS 2005/2006

### O.-D. Hennemann

Niedertemperaturfügen  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2005

### O.-D. Hennemann

Polymertechnik  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
WS 2005/2006

### B. Kieback

Pulvermetallurgie und Sinterwerkstoffe II  
Technische Universität Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
SS 2005

### B. Kieback

Festkörperchemie II  
Technische Universität Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
SS 2005

### B. Kieback

Verbundwerkstoffe  
Technische Universität Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
SS 2005

### B. Kieback

Pulvermetallurgie und Sinterwerkstoffe I  
Technische Universität Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
WS 2005/2006

**B. Kieback, T. Schubert**

Technologien zur Werkstoffherstellung  
und -verarbeitung I  
Technische Universität Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
WS 2005/2006

**B. Kieback, M. Zumdick**

Festkörperchemie I  
Technische Universität Dresden  
Institut für Werkstoffwissenschaft  
WS 2005/2006

**U. Meyer**

Mathematik und Physik I  
Hochschule Bremen  
SS 2005

**U. Meyer**

Laborrechnung und Statistik  
Hochschule Bremen  
SS 2005

**U. Meyer**

Grundverständnis wissenschaftlicher Technik  
Hochschule Bremen  
SS 2005

**U. Meyer**

Mathematik und Physik II  
Hochschule Bremen  
WS 2005/2006

**U. Meyer**

Das Funktionieren technischer Systeme  
Hochschule Bremen  
WS 2005/2006

**U. Meyer**

Mathematik Vertiefung II  
Hochschule Bremen  
WS 2005/2006

**F. Petzoldt**

Endformnahe Fertigungstechnologien  
I und II  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2005 und WS 2005/2006

**P. Plagemann**

Korrosionsschutz  
Hochschule Bremerhaven  
WS 2005/2006

**M. Popp**

Klebstofftechnologie  
Fachhochschule Bremerhaven  
WS 2005/2006

**J. Weise**

Metal Foams  
Universidade Estadual de Campinas, Brasilien  
Oktober 2005

**R. Wilken**

Grundlagen der Chemie I  
Hochschule Bremen  
WS 2005/2006

**R. Wilken**

Grundlagen der Chemie II  
Hochschule Bremen  
SS 2005

**R. Woltmann**

Bauteilentwicklung für automobiler Guss-  
komponenten  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
SS 2005

**R. Woltmann**

Leichtmetallgießen im Automobilbau  
Universität Bremen  
Fachbereich Produktionstechnik  
WS 2005/2006

## Veröffentlichungen

**J. Adler, K. Kümmel, P. Quadbeck,**

**G. Standke, G. Stephani**

Synthesis of Open-Celled Metal Foams  
Proceedings, International Symposium  
Cellmet 2005, Dresden, in Druck

**B. Ballóková, P. Hvizdoš, M. Besterici,**

**M. Zumdick, A. Böhm**

Microstructure and Mechanical Properties of  
MoSi<sub>2</sub>-based Composites  
Powder Metallurgy Progress, 5, 1 (2005),  
65-70

**B. Ballóková, P. Hvizdoš, M. Besterici,**

**J. Ivan, M. Zumdick, A. Böhm,**

**T. Weißgärber, B. Kieback**

Microstructure and Mechanical Properties of  
ZrO<sub>2</sub>-reinforced MoSi<sub>2</sub> Matrix Composites  
International Journal of Materials and  
Product Technology (IJMPT), 22, 4 (2005),  
322-327

**J. Baumeister, D. Labuhn, L. Pambaguian**

Space Applications for Highly Porous Materials  
Proceedings, MetFoam (2005), in Druck

**J. Baumeister**

Metallschäume machen Maschinenteile  
leichter und leiser  
Maschinenmarkt (2005), in Druck

**A. Berg, J. Weise, G. Rausch, M. Haesche,**

**F.-J. Wöstmann, M. Busse**

Druckgießtechnische Herstellung von  
offenporösen Aluminiumschäumen und  
Aluminium-Polymer-Hybridstrukturen  
Gießerei, 92, 2 (2005), 24-27

**R. Brüning, P. Scholz, I. Morgenthal,**

**U. Waag, A. Weißbach, F. Hollstein,**

**B. Ondruschka**

Innovative Katalysatoren zur oxidativen De-  
hydrierung in der Gasphase – beschichtete  
Eisenhohlkugeln  
Chemie Ingenieur Technik 77, 1-2 (2005),  
119-124

- R. Brüning, P. Scholz, I. Morgenthal, O. Andersen, J. Scholz, G. Nocke, B. Ondruschka**  
Innovative Catalysts for Oxidative Dehydrogenation in the Gas Phase – Metallic Short Fibers and Coated Glass Fabrics  
Chemical Engineering & Technology 28, 9 (2005), 1056-1062
- S. Bryde, I. Grunwald, A. Hammer, A. Krippner-Heidenreich, T. Schiestel, H. Brunner, G.E. Tovar, K. Pfizenmaier, P. Scheurich**  
Tumor Necrosis Factor (TNF)-functionalized Nanostructured Particles for the Stimulation of Membrane TNF-specific cell responses  
Bioconjug. Chem., 11/12, 16, 6 (2005), 1459-1467
- M. Busse, F.J. Wöstmann,**  
Rapid Casting for Manufactures and Suppliers – Trends, Potentials, Concepts and Synergies  
Proceedings, Euro-uRapid 2005 Leipzig (2005)
- M. Busse,**  
Zink bietet zahlreiche innovative Lösungen  
Giesserei 11 (2005), 14
- M. Busse,**  
Neue Wege in der Gießerei – Kombination von Adaptronik und Gießereitechnik  
Tagungsband, Schlüsseltechnologie Leichtmetallguss im Automobilbau, Bad Nauheim (2005)
- E.C. Chirwa, D. Lehmus, M. Mao, T. Chen, L. Lanzi**  
Mechanics of Lightweight Aluminium Foam Wrapped in Carbon Fibre Reinforced Composites  
WIT Transactions on Engineering Science, WIT PRESS, 49 (2005)
- A. Dudhmande, T. Schubert, M. Balasubramanian, B. Kieback**  
Sintering and Properties of New P/M Aluminium Alloys and Composites  
Proceedings, EuroPM2005, 2 (2005), 293-298
- S. Esmaeelzadeh, A. Simchi, D. Lehmus**  
Effects of AlSi7-TiH2 Powder Compacts  
Proceedings, MetFoam (2005), in Druck
- T. Gesang, U. Netzelmann**  
Reproduzierbares Dispensieren von Leitlebstopfen im Sub-Nanoliter-Bereich  
Adhäsion Kleben und Dichten, 3 (2005), 18-24
- T. Gesang, V. Klocke**  
Die Welt unter der Lupe – Modular konzipierte Mikroproduktionsanlage setzt für die Montage auf das Mikrokleben  
MM Maschinenmarkt, 21 (2005), 48-51
- A. Godin, L. Kramer, F. Petzoldt, A. Balashov, V. Ryabinin, A. Radaev**  
Development and Tests of MIM Feedstock Based on Carbonyl Iron Powder and Wax Polymer Binder  
Proceedings, New Materials and Parts from Metal Powders – TPP PM 2005 Conference, Joshkar Ola, Russland (2005), 33-36
- A. Godin, L. Kramer, F. Petzoldt, A. Balashov, V. Ryabinin, A. Radaev**  
Development and Tests of MIM Feedstock Based on Carbonyl Iron Powder and Wax Polymer Binder  
Proceedings, Ural Forgers 2005 Conference, Werchnjaja Salda, VSMOP, Russland (2005), 380-381
- D. Godlinski, S. Morvan**  
Steel Parts with Tailored Material Gradients by 3D-Printing Using Nano-particulate Ink  
Materials Science Forum, 492-493 (2005), 679-684
- D. Godlinski, I. Wirth, G. Veltl**  
3D-Printing of Powder Metallurgical Tool Steel Parts  
Proceedings, Euro-uRapid 2005, Hrsg. R. Meyer, Fraunhofer Allianz Rapid Prototyping (2005)
- D. Godlinski, G. Veltl**  
Rapid Manufactured Complex PM-Tool Steel Parts  
Proceedings, 16<sup>th</sup> International Plansee Seminar, Hrsg. G. Kneringer, R. Rödhammer, H. Wildner, 2 (2005), 82-96
- D. Godlinski, G. Veltl**  
Three Dimensional Printing of PM-Tool Steels  
Proceedings, Euro PM2005, European Powder Metallurgy Association, 3 (2005), 49-54
- U. Gustke, R. Bärsch, B. Bendjus, G. Lotze**  
Möglichkeiten der Optimierung an Stromabnehmerkontakten der Bahn  
VDE-Fachbericht, 61, (2005), 111-121
- M. Haesche, O. Marchetto, F. Höcker, J. Baumeister, J. Weise**  
Einsatz von Recyclingspänen zur Herstellung von Aluminiumschaum  
Aluminium, 81, 7/8 (2005), 688-695
- A.G. Hansen, K. Stöbener, G. Rausch, M. Langseth, H. Keller**  
Optimisation of Energy Absorption of the Ford Mondeo A-pillar by Metal Foam Insert  
International Journal of Crashworthiness, in Druck
- A. Hartwig, M. Sebald, D. Pütz, L. Aberle**  
Preparation, Characterization and Properties of Nanocomposites Based on Epoxy Resins – An Overview  
Macromol. Symp., 221 (2005), 127-136
- A. Hartwig, M. Sebald, M. Kleemeier**  
Cross-linking of Cationically Polymerised Epoxides by Nanoparticle  
Polymer, 46 (2005), 2029-2039

- A. Hartwig, K. Koschek, A. Lühring**  
Influence of Proton Donors on the Cationic Polymerization of Epoxides  
Current Research and Application,  
Hrsg. W. Possart (2005)
- A. Hartwig, T.K. Mahato, T. Kaese, D. Wöhrle**  
Preparation and Properties of Cholesteric Network Polymers Based on Liquid Crystalline Epoxides  
Macromol. Chem. Phys, 206 (2005), 1718-1730
- A. Hartwig**  
Für das Vergießen verwendete Materialien – Eine Übersicht  
Tagungsband, OTTI-Profiforum Vergießen in Elektrotechnik und Elektronik, Regensburg (2005), 1-19
- A. Hartwig**  
Nanokomposite – Zukunft der Vergusscharze?  
Tagungsband, OTTI-Profiforum Vergießen in Elektrotechnik und Elektronik, Regensburg (2005), 191-208
- A. Hartwig, A. Lühring, D. Pütz, O. Schorsch, M. Sebald, J. Trautmann**  
Improvement of the Properties of Epoxy Resins by Nanoparticles  
Proceedings, STICK!, Nürnberg (2005)
- A. Hartwig**  
Optimization of Adhesives and Thermosets by Nanoparticles  
Proceedings, NanoTrends 2005, München (2005)
- A. Hartwig, D. Pütz**  
Preparation and Combustion Properties of Nanocomposites Based on Epoxy Resins and Organically Modified Clays  
Proceedings, FRPM'05, Berlin (2005)
- A. Hartwig, A. Buchman, O. Schorsch, M. Sebald, J. Trautmann**  
Einfluss von Struktur und Oberflächenmodifikation von Nanofüllstoffen auf die Eigenschaften von Klebstoffen und Klebverbindungen  
Tagungsband, Fachtagung Fertigungssystem Kleben – FSK 2005, Bremen (2005), 109-118
- M. Hedges, M. Renn, M. Kardos, S. Stührmann, V. Zöllmer, I. Wirth**  
Advanced Packaging mit MD – Mesoskalige Depositionstechnologie  
PLUS, 8 (2005), 1435-1440
- K. Herzl, S. Schröder, M. Powalla, G. v. W. Wuyswinkel, G. Dreezen, G. Luyckx, H. Schäfer, T. Kowalik, K. Marnitz, R. Züst, B. Dimmler, F. Krautter**  
Cigs Solar Modules Contacted by Conducting Adhesives and Ultrasonic Welding  
Proceedings, 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spanien (2005)
- P. Imgrund**  
Serienfertigung metallischer Mikroteile mit Mikro-Metallpulverspritzguss  
INNO 10, 29 (2005), 20-21
- P. Imgrund, A. Rota, L. Kramer**  
Processing and Properties of Bi-material Parts by Micro Metal Injection Moulding  
Proceedings, 1<sup>st</sup> International Conference on Multi-material Micro manufacture – 4M, Karlsruhe (2005)
- P. Imgrund, A. Rota, A. Simchi**  
Co-sintering of Magnetic-Nonmagnetic Components Produced by Micro Co-injection Moulding Process  
Proceedings, 4<sup>th</sup> International Conference on Science, Technology and Applications of Sintering, Grenoble, Frankreich (2005), 208-211
- P. Imgrund, A. Rota, T. Hartwig, F. Petzoldt, A. Simchi**  
Adjustment of Materials and Sintering Processes for MIM of Bi-material Parts  
Proceedings, EuroPM 2005, Prag, Tschechien, 3 (2005), 307-312
- T. Kaese, D. Wöhrle, A. Hartwig, G. Schnurpfeil**  
Synthesis of Dialkenes and Diepoxides, and the Influence of Their Structural Parameters on Liquid Crystalline Properties  
Liqu. Cryst, 32 (2005), 921-931
- M. Kleemeier, A. Hartwig**  
Praxistaugliche Charakterisierung von Dispersionsklebstoffen  
adhäsion Kleben&Dichten, 49, 11 (2005), 37-40
- T. Krüger, M. Amkreutz, P. Schiffels, B. Schneider, T. Frauenheim, O.-D. Hennemann**  
A Theoretical Study of the Interaction between Selected Adhesives and Oxide Surfaces  
Journal of Physical Chemistry, B, 109, 11 (2005), 5060-5066
- T. Krüger, M. Elstner, P. Schiffels, T. Frauenheim**  
Validation of the Density-functional Based Tight-binding Approximation Method for the Calculation of Reaction Energies and Other Data  
Journal of Chemical Physics, 122 (2005), 114110-114115
- C. Kübel, A. Voigt, R. Schoenmakers, M. Otten, D. Su, T.-C. Lee, A. Carlsson, J. Bradley**  
Recent Advances in Electron Tomography: TEM and HAADF-STEM Tomography for Materials Science and Semiconductor Applications  
Microscopy and Microanalysis, 11, 5 (2005), 378-400

- C. Kübel, A. Thust**  
Truelmage: Introduction to Focal Series Reconstruction  
Nato Science Series E, Hrsg. T.E. Weirich, J.L. Labar, X. Zou (2005)
- D. Lehmhus, M. Wichmann**  
Optimising Process Strategies for Fraunhofer Type AI Foams Using Kinetic Analysis of Foaming Agent Variants  
Proceedings, MetFoam (2005), in Druck
- U. Lommatzsch**  
Vorbehandeln mit Plasma bei Atmosphärendruck  
JOT Journal für Oberflächentechnik, 45 (2005), 58-61
- U. Lommatzsch**  
Erfolgreicher Einsatz von Plasma-Jets in der Produktion  
adhäsion Kleben&Dichten, 49 (2005), 46-50
- D.C. Martin, J. Chen, J. Yang, L.F. Drummy, C. Kübel**  
High Resolution Electron Microscopy of Ordered Polymers and Organic Molecular Crystals: Recent Developments and Future Possibilities  
J. Polym. Sci. Part B. Polym. Phys., 43 (2005), 1749-1778
- U. Martin, U. Mosler, A. Müller, G. Heinzl, D. Lehmhus**  
Microstructure of Aluminium Foams and relationships to Compression Strength  
Proceedings, MetFoam (2005), in Druck
- M.U. Martines, E. Yeong, M. Persin, A. Larbot, W.F. Voorhout, C. Kübel, P. Kooyman, E. Prouzet**  
Hexagonal Mesoporous Silicia Nanoparticles with Large Pores and a Hierarchical Porosity Tested for HPLC  
C. R. Chimie, 8 (2005), 627-634
- W. Maysenhölder, A. Berg, P. Leistner**  
Akustische Eigenschaften von Aluminiumschäumen – Messungen und Modellierung  
IBP-Mitteilung, 32 (2005), 459
- U. Meyer, R. Wilken, P.-L. M. Noeske, S. Dieckhoff, O.-D. Hennemann**  
Study of Viscoelastic Behaviour in Thin and Ultra-thin Polymer Films with Laser Induced Surface Acoustic Waves  
Proceedings, Adhesion '05, St. Catherine's College, Oxford, Großbritannien
- D. Niermann, A. Groß, M. Brede, O.-D. Hennemann**  
Qualitätssicherung in der Klebtechnik  
adhäsion Kleben&Dichten, 9 (2005), 7-8
- D. Niermann, A. Groß, M. Brede, O.-D. Hennemann**  
Quality Assurance in Adhesive Bonding Technology  
adhesion Adhesives&Sealants, 9 (2005), 30-32
- P.-L.M. Noeske, R. Wilken, S. Dieckhoff, J. Ihde, A. Hartwig, O.-D. Hennemann**  
Special Aspects in Bonding of Magnesium Materials  
Proceedings, Symposium Adhesive Bonding, Swiss Bonding 05 (2005), 219-228
- V.I. Parvulescu, V. Parvulescu, U. Endruschat, R. Richards, G. Filoti, F.E. Wagner, C. Kübel**  
Characterization and Catalytic Hydrogenation Behaviour of SiO<sub>2</sub> Embedded Nanoscopic Pd, Au and Pd-Au Alloy Colloids  
Chemistry a European Journal (2005), in Druck
- F. Petzoldt, H. Pohl, A. Simchi, B. Alcantara**  
Advanced Steel Powder For Direct Metal Laser Sintering  
Proceedings, EuroPM 2005, Prag, Tschechien, 3 (2005), 35-40
- M. Popp, O.-D. Hennemann**  
Emissions from PUR Hotmelts  
adhesion Adhesives&Sealants (2005)
- M. Popp, K. Teczyk, A. Hartwig**  
Emissionen von PUR-Hotmelts bei unterschiedlichen Applikationstechniken  
Chemie Ingenieur Technik (2005), in Druck
- M. Popp, K. Teczyk, A. Hartwig**  
Emissions from PUR-Hotmelts  
International Journal of Polymers (2005), in Druck
- M. Popp, M. Wirts, K. Teczyk, A. Hartwig**  
Monomeremissionen bei der Verarbeitung von Polyurethanklebstoffen  
PU-Magazin, in Druck
- A. Pretorius, T. Yamaguchi, M. Schowalter, R. Kröger, C. Kübel, D. Hommel, A. Rosenauer**  
Investigation of In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N Islands with Electron Microscopy  
Journal of Physics (2005), in Druck
- M. Pridöhl, G. Zimmermann, A. Hartwig, A. Lühring**  
Kleben und Lösen – Just in Time  
Trendbarometer Technik,  
Hrsg. H.-J. Bullinger, chinesische Ausgabe (2005)
- G. Rausch, K. Stöbener**  
Improving Structural Crashworthiness Using Metallic Foams  
Proceedings, MetFoam (2005), in Druck
- G. Rausch, K. Stöbener, D. Bassan**  
Improving Structural Crashworthiness Using Metallic and Organic Foams – Selected Results from the LISA Project  
Proceedings, 1<sup>st</sup> International Symposium on Cellular Metals for Structural and Functional Applications, Cellmet 2005, Dresden (2005)

- S. Reyntjens, C. Kübel**  
Scanning/Transmission Electron Microscopy and Dual-beam Sample Preparation for the Analysis of Crystalline Materials  
J. Cryst., Growth, 275, 1-2 (2005), 1849-1856
- A. Rota, C. Schlüter, N. Salk**  
Oberflächenmodifikation von Biomaterialien durch Mikrostrukturierung  
MP Materialprüfung, 47 (2005), 2-5
- A. Rota, F. Petzoldt**  
Developments in Metal Injection Moulding – MicroMIM Manufacturing  
Proceedings, PMAAsia 2005, Shanghai, China (2005), 557-566
- A. Rota, P. Imgrund, L. Kramer, R. Meyer, J. Haack**  
Micro Metal Injection Moulding – Quality Assurance in Series Production  
Proceedings, EuroPM 2005, 2 (2005), 377-382
- A. Rota**  
Funktionalisierte Mikroteile durch Mikro-Metallpulver-Spritzgießen  
Industrie Management, 6 (2005), 57-60
- N. Salk, P. Imgrund, A. Rota**  
Mikro-Metallpulverspritzguss als innovatives Fertigungsverfahren in der Mikrotechnik  
Tagungsband, Mikrosystemtechnik Kongress, Freiburg (2005)
- D. Salz, M. Wagener**  
Silber-Nano-Cluster in einer plasmapolymere Release-Schicht  
Vakuum in Forschung und Praxis, 4 (2005), 191-193
- P. Schiffels, M. Amkreutz, A.T. Blumenau, T. Krüger, B. Schneider, T. Frauenheim, O.-D. Hennemann**  
Modelling Fundamental Aspects of the Surface Chemistry of Oxides and their Interactions with Coupling Agents Adhesion – Current Research and Applications, Hrsg. W. Possart (2005)
- J. Schmidt, P. Schmid, T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Microwave-Assisted Sintering of Co-based Composites  
Proceedings, 4<sup>th</sup> International Conference on Science, Technology and Application of Sintering (Sintering 2005), Grenoble, Frankreich (2005), 72-75
- J. Schmidt, N. Reinfried, T. Schubert, T. Weißgärber, Y. Grin, B. Kieback**  
Synthesis and Properties of  $Ti_3SiC_2$  and  $Ti_3SiC_2$ -composites by Powder Metallurgical Route  
Proceedings, 4<sup>th</sup> International Conference on Science, Technology and Application of Sintering (Sintering 2005), Grenoble, Frankreich (2005), 147-150
- J. Schmidt, K. Heinze, N. Reinfried, T. Schubert, T. Weißgärber, Y. Grin, B. Kieback**  
Synthesis of  $Ti_3SiC_2$  and  $Ti_3SiC_2$ -composites by the Powder Metallurgical Route  
Proceedings, 16<sup>th</sup> International Plansee Seminar, Reutte, Österreich, 1 (High Performance Materials) (2005), 869-882
- J. Schmidt, T. Weißgärber, T. Schubert, B. Kieback**  
Spark Plasma Sintering of Intermetallics and Metal Matrix Composites  
Proceedings, EuroPM 2005, Prag, Tschechien, 1 (2005), 93-98
- J. Schmidt, R. Niewa, M. Schmidt, Y. Grin**  
Spark Plasma Sintering Effect on the Decomposition of  $MgH_2$   
Journal of the American Ceramic Society 88, 7 (2005), 1870-1874
- T. Schmidt, E. Roventa, T. Clausen, J.I. Flege, G. Alexe, S. Bernstorff, C. Kübel, A. Rosenauer, D. Hommel, J. Falta**  
Ordering Mechanism of Stacked CdSe/Zn-x S<sub>1-x</sub> Se Quantum Dots: A Combined Reciprocal-space and Realspace Approach  
Phys. Rev. B. (2005), 72
- B. Schneider, M. Amkreutz, M. Beneke, A. Fangmeier, S. Dieckhoff, E. Kock, T. Kowalik, P. Schiffels, M. Schneider**  
Application of Density Functional Calculations to Investigate Corrosion Inhibition Mechanisms  
Proceedings, 10<sup>th</sup> European Symposium on Corrosion and Scale Inhibitors, Ferrara, Italien, 274<sup>th</sup> Manifestation of the European Federation of Corrosion, 2 (2005), 935-953
- B. Schneider, P. Schiffels, R. Wilken**  
Bonding of Amine Curing Agents to Native Aluminium Oxide Surfaces  
Proceedings, 28<sup>th</sup> Annual Meeting of the Adhesion Society, Mobile, Alabama, USA (2005)
- M. Schneider, V. Stenzel, A. Momber**  
Vergleichende Untersuchungen von Korrosionsschutzkonzepten für Offshore-Windenergieanlagen (WEA)  
Korrelation von Labortests mit Praxisbedingungen im schweren Korrosionsschutz, Hrsg. GfKORR-Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V. (2005), 81-97
- O. Schorsch, A. Hartwig, W.D. Stohrer**  
Curing of Epoxy Resins with Nanoparticles adhesion Adhesives&Sealants, 4 (2005), 22-24
- T. Schubert, T. Pieczonka, S. Baunack, B. Kieback**  
Sintering Behaviour of Aluminium in Different Atmospheres  
Proceedings, 4<sup>th</sup> International Conference on Science, Technology and Applications of Sintering, Grenoble, Frankreich (2005), 331-334
- T. Schubert, T. Pieczonka, S. Baunack, B. Kieback**  
The Influence of the Atmosphere and Impurities on the Sintering Behaviour of Aluminium  
Proceedings, EuroPM2005, 1 (2005), 3-8

- A. Simchi, F. Petzoldt**  
Co-sintering of 316L/17-4PH Stainless Steel Powders  
Proceedings, PM Auto 2005, Isfahan, Iran (2005), 180-187
- A. Simchi, F. Petzoldt, T. Hartwig**  
An Approach for Assessment of Sintering Behaviour of Co-injection Moulded PIM Feedstocks by Dilometric Analysis  
Proceedings, EuroPM 2005, Prag, Tschechien, 2 (2005), 357-362
- A. Simchi, F. Petzoldt, H. Pohl**  
Direct Metal Laser Sintering of Fe-C-Cu Steel Powder  
Proceedings, EuroPM 2005, Prag, Tschechien, 3 (2005), 41-48
- G. Stephani**  
Iron Based Cellular Structures – Status and Prospects  
Proceedings, MetFoam 2005, Kyoto, Japan, in Druck
- K. Stöbener, A. Godin, J. Baumeister, G. Rausch**  
Aluminium Foam (Advanced Pore Morphology – APM)  
Proceedings, Ural Forgers 2005 Conference, Werchnjaja Salda, VSMOP, Russland (2005), 377-379
- K. Stöbener, J. Baumeister, G. Rausch**  
Advanced Pore Morphology (APM) Metal Foam – Process and Characteristics  
Proceedings, MetFoam (2005), in Druck
- K. Stöbener, J. Baumeister, G. Rausch, M. Busse**  
Neues Konzept für die Serienfertigung – Aluminiumschäume für die industrielle Produktion  
ATZ, 107, 1 (2005), 10-15
- K. Stöbener, J. Baumeister, G. Rausch**  
Proceedings, APM Aluminium Foams – Process and Properties, CellMet 2005, in Druck
- T. Studnitzky**  
Fertigungstechnik für zellulare Mikrostrukturen  
Produktion, 36 (2005), 11
- T. Studnitzky**  
Metallischer Siebdruck als Fertigungsverfahren für Mikrosystemtechnik und funktionellen Leichtbau  
Metall-Fachzeitschrift für Metallurgie, 11 (2005), in Druck
- T. Studnitzky**  
Metallischer Siebdruck als Fertigungsverfahren für dreidimensionale Strukturen  
Konstruktion, Sonderdruck Ingenieurwerkstoffe, 11/12 (2005), in Druck
- T. Studnitzky**  
Serienfertigung mit Siebdruck  
Mikroproduktion, 3 (2005), 55
- T. Studnitzky**  
Metallischer Siebdruck als Fertigungsverfahren für die Mikrosystemtechnik  
Werkstoffe in der Fertigung, 5 (2005), 33
- T. Studnitzky, O. Andersen**  
Direct Typing As Promising Method For The Production Of Cellular P/M Parts  
Proceedings, International Symposium Cellmet 2005, Dresden, in Druck
- C. Tornow, P.-L.M. Noeske, S. Dieckhoff, R. Wilken, K. Gärtner**  
Preparation and Characterization of Carbonate Terminated Polycrystalline Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Al Films  
Applied Surface Science, 252, 5 (2005), 1959-1965
- M. Turker, D. Godlinski, H. Pohl, F. Petzoldt**  
Rapid Prototyping of Inconel Alloys by Direct Laser Sintering and Three Dimensional Printing  
Proceedings, Euro PM2005, European Powder Metallurgy Association, 3 (2005), 93-98
- G. Veltl, F. Petzoldt, A. Simchi, C. M. Sonsino, K. Lipp, A. Eksi**  
Warmkompaktieren von Aluminiumpulvern – Mechanismen und Einfluss auf die Eigenschaften Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis, 212 (2005)
- G. Walther, L. Schneider, T. Weißgärber, F. Gebhard, M. Holderied**  
Unter Öl laufende Reibschichten für Synchronringe  
Tagungsband, GfT-Tagung, 2, 58 (2005), 1-12
- G. Walther, L. Schneider, T. Weißgärber, B. Kieback, F. Gebhard, M. Holderied**  
Hochleistungsreibschicht auf Eisenbasis für Synchronringe  
Tagungsband, 24. Hagener Symposium Pulvermetallurgie (2005)
- M. Wiegemann, I. Grunwald, T. Kowalik, A. Hartwig**  
Non Covalent Bounds are Key Mechanism for the Cohesion of Barnacle (balanus crenatus) Adhesin Proteins  
Marine Biology, in Druck
- M. Zumdick, J. Schmidt, A. Böhm, T. Weißgärber, B. Kieback, G. Heinze**  
In situ – Erfassung von Mahlparametern in Batchmühlen  
Tagungsband, Aufbereitung und Recycling 2005, in Druck

## Vorträge und Poster

### **O. Andersen**

Hochporöse Faserstrukturen  
Konstituierenden Sitzung des DGM-Arbeitskreises Zellulare Metalle im Fachausschuss Metallische Verbundwerkstoffe und zellulare Metalle  
Chemnitz  
25.1.2005

### **O. Andersen**

Zelluläres Metall –  
ein konstruierter Werkstoff  
3. Kolloquium Konstruktionstechnik  
Magdeburg  
16.–17.6.2005

### **O. Andersen**

InnoZellMet - Vielseitige Leichtgewichte aus Metall für den multifunktionalen Einsatz in Maschinenbau, Energieerzeugung und Biotechnologie  
Messe TransferX  
Dresden  
11.11.2005

### **A. Arp, F. Calderone, J. Kolbe, E.M. Meyer,**

**W. Meyer, M. Stuve, H. Schäfer**  
Adhesives and Conductives – Injekttable Nano-filled Inks for Use in Microelectronics and Microsystems Technology  
Nanotech 2005  
Anaheim, Kalifornien, USA  
8.–12.5.2005

### **C. Aumund-Kopp, I. Wirth**

Neue Entwicklungen und Trends in der generativen Fertigung  
10. Fachtagung Rapid Prototyping  
Fachhochschule Lippe und Höxter  
Lemgo  
18.11.2005

### **J. Baumeister**

Herstellung von Metallschaumbauteilen mit Hilfe der APM-Technologie  
2. Landshuter Leichtbaukolloquium LLC 2205  
Landshut  
24.2.2005

### **J. Baumeister**

Advanced Energy Absorbing Materials and Structures  
5<sup>th</sup> International Symposium on Passive Safety of Rail Vehicles  
Berlin  
17.3.2005

### **J. Baumeister**

Hybride Leichtbauwerkstoffe mit Metallschaum – APM  
Strategiekonzepte für den hybriden Leichtbau  
Hildesheim  
7.9.2005

### **J. Baumeister**

Space Applications for Highly Porous Materials  
MetFoam2005  
Kyoto, Japan  
21.9.2005

### **A. Berg**

APSN-based Networking Idea  
APSN-Workshop  
Warschau, Polen  
10.–18.5.2005

### **A. Berg**

Advanced Pore Morphology (APM) Foaming Technology  
APSN-Workshop  
Gratkorn, Österreich  
8.6.2005

### **V. Borst**

Fügeverfahren Kleben  
SFI-Lehrgang  
SLV  
Hannover  
13.3., 7.11.2005

### **V. Borst**

Klebstoffe – Experimente mit Molekülen, die verbinden  
Lehrerkongress  
VCI Landesverband Nord  
Hannover  
18.6.2005

### **V. Borst**

Klebstoffe – Experimente mit Molekülen, die verbinden  
Lehrerkongress  
VCI Landesverband Nord  
Bad Bramstedt  
19.11.2005

### **A. Burblies**

Robust Design und Optimierung von Gradientstrukturen  
Industriearbeitskreis Strukturoptimierung  
Stuttgart  
18.10.2005

### **A. Burblies**

Neue Methoden zur Berechnung von optimalen Werkstoffgradienten für Strukturbauteile  
2. WING-Konferenz  
Aachen  
10.11.2005

### **M. Busse,**

Intelligenz einbauen –  
Werkstoffe als Schlüssel für  
Zukunftsprodukte  
Bremen  
4.11.2005

### **M. Busse,**

Neue Wege in der Gießerei – Kombination von Adaptronik und Gießtechnik  
Schlüsseltechnologie Leichtmetallguss im Automobilbau  
Bad Nauheim  
17.–18.11.2005

- M. Busse, F.-J. Wöstmann**  
Rapid Casting für Produzenten und Zulieferer – Trends, Potenziale, Konzepte und Synergien  
Euro-uRapid 2005  
Leipzig  
10.–12.5.2005
- E.C. Chirwa, D. Lehmhus, M. Mao, T. Chen, L. Lanzi**  
Mechanics of Lightweight Aluminium Foam Wrapped in Carbon Fibre Reinforced Composites  
International Conference on Impact Loading of Lightweight Structures  
Florinópolis, Brasilien  
8.–12.5.2005
- S. Dieckhoff**  
Characterisation of Chromate-free Surface Protection System for Aircraft Application  
1<sup>st</sup> World Congress on Corrosion in the Military  
Sorrento, Italien  
6.–8.6.2005
- S. Dieckhoff, W. Brockmann, F. Faupel, W. Possart, J.K. Krüger**  
Adhäsions- und Alterungsmechanismen in Polymer-Metall-Übergängen  
2. WING-Konferenz  
9.–11.11.2005
- S. Esmaelzadeh, A. Simchi, D. Lehmhus**  
Effects of SiC Addition on Foaming Behaviour and Mechanical Properties of AlSi7-TiH<sub>2</sub> Powder Compacts  
MetFoam2005  
Kyoto, Japan  
21.–23.9.2005
- F. Garcia-Moreno, J. Banhart, M. Haesche, K. Vignodhar, J. Weise**  
Investigation of the Influence of Blowing Agent and Alloy Composition on the Foaming Behaviour of Thixcast AlSi6Cu4 Precursor Material  
Cellular Metals for Structural and Functional Applications, Cellmet 2005  
Dresden  
18.–20.5.2005
- T. Gesang, N. Marengo**  
Low Stress Assembly and Micro-Optical Components by Means of Micro Adhesive Bonding  
Innovation Symposium  
Research and Association Welding and Allied Processes of the German Welding Society (DVS)  
Essen  
12.–16.9.2005
- T. Gesang, W. Possart, B. Schneider, S. Dieckhoff, A. Hartwig**  
Adhäsion – Vom Mikroskopischen zum Makroskopischen  
Kleben – Die moderne Verbindungstechnik für die Industrie  
VDI Wissensforum  
Bremen  
22.–23.11.2005
- A. Godin, L. Kramer, F. Petzoldt, A. Balashov, V. Ryabinin, A. Radaev**  
Development and Tests of MIM Feedstock Based on Carbonyl Iron Powder and Wax Polymer Binder  
New Materials and Parts from Metal Powders – TPP PM 2005  
Joshkar Ola, Russland  
21.–24.6.2005
- A. Godin, L. Kramer, F. Petzoldt, A. Balashov, V. Ryabinin, A. Radaev**  
Development of Tests of MIM Feedstock Based on Carbonyl Iron Powder and Wax Polymer Binder  
Ural Forgers 2005  
Werchnjaja Salda, VSMOP, Russland  
12.–15.9.2005
- D. Godlinski, I. Wirth, G. Veltl**  
3D-Printing von pulvermetallurgischen Werkzeugstahlbauteilen  
Euro-uRapid2005  
Leipzig  
10.–12.3.2005
- D. Godlinski, P. Imgrund, A. Rota, F. Petzoldt**  
Micro Co-injection Moulding of Ultrafine Stainless Steel Powders  
PIM2005  
San Diego, Kalifornien, USA  
21.–23.3.2005
- D. Godlinski, F. Petzoldt**  
Low Volume Series Production of Large Complex Shaped PIM Parts by Means of Three Dimensional Printing  
PIM 2005  
San Diego, Kalifornien, USA  
21.–23.3.2005
- D. Godlinski, G. Veltl**  
Rapid Manufactured Complex PM-Tool Steel Parts  
16<sup>th</sup> International Plansee Seminar  
Reutte, Österreich  
30.5.–3.6.2005
- D. Godlinski, G. Veltl**  
Three Dimensional Printing of PM-Tool Steels  
EURO PM2005  
Prag, Tschechien  
2.–5.10.2005

- D. Godlinski**  
Dreidimensional funktionell gradierte Bauteile mit lokaler Materialkontrolle durch 3D-Printing  
2. WING-Konferenz  
Aachen  
9.–11.11.2005
- D. Godlinski**  
Vom Rapid Prototyping zum Rapid Manufacturing  
DKG-Symposium Rapid Prototyping: Verfahren und Anwendung in der Keramik  
Erlangen  
29.–30.11.2005
- A. Groß**  
Qualitätsmanagement in der Klebtechnik  
DVS-Seminar  
Ulm  
26.1.2005
- A. Groß**  
Reinigen vor dem Kleben mit Plasmen  
15. Fachforum Kleben  
OTTI-Technologie-Kolleg  
Regensburg  
15.2.2005
- A. Groß**  
Modern Surface Treatment Methods  
AFERA Conference  
Brüssel, Belgien  
8.3.2005
- A. Groß**  
Workforce Qualification in Adhesive Bonding Technology  
ASC Conference  
Columbus, Ohio, USA  
19.4.2005
- A. Groß**  
Neue polymere Werkstoffe: Faserverstärkte Kunststoffe  
VCI-Seminar  
Bensheim  
23.4.2005
- A. Groß**  
Klebtechnische Personalqualifizierung: Baustein modernen Qualitätsmanagements  
BAIKA-Kooperationsforum  
Nürnberg  
26.4.2005
- A. Groß**  
Bonding for the Future  
Internationaler Workshop  
IFAM  
Bremen  
28.4.2005
- A. Groß**  
Fraunhofer IFAM – Core Activities  
Workshop SHM Project Planning  
Tokio, Japan  
30.8.2005
- A. Groß**  
Workforce Qualification in Adhesive Bonding Technology  
Workshop SHM Project Planning  
Tokio, Japan  
31.8.2005
- A. Groß**  
Qualitätsmanagement in der Klebtechnik  
Forum Structural Bonding International – SBI  
Messe Schweißen & Schneiden  
Essen  
17.9.2005
- A. Groß**  
Aus- und Weiterbildung im Fraunhofer IFAM  
BMBF-Workshop  
IFAM  
Bremen  
1.11.2005
- A. Groß**  
Bonding for the Future – Fraunhofer IFAM  
Project Activities  
Steering Committee Meeting  
Paris, Frankreich  
2.11.2005
- A. Groß**  
Bonding as a Means of Fastening in Marine Applications  
26. Symposium Yachtentwurf und Yachtbau  
Hamburg  
4.11.2005
- A. Groß**  
Kleben – eine Schlüsseltechnologie in der modernen Produktion  
VDI Seminar  
IFAM  
Bremen  
22.11.2005
- B. Günther**  
Nanoscale Fillers for Polymer-nanocomposites  
Functional Polymer-based Nanocomposites  
IIR Nanotrends  
Workshop Polymer-based Nanocomposites  
München  
8.6.2005
- B. Günther**  
Fine, Ultrafine and Nanosized Powders – Characteristics and Applications  
EPMA Summer School  
Aachen  
7.9.2005
- B. Günther**  
Nanoscale Metal Powders – Synthesis, Processing and Applications  
Euro PM 2005  
Nanotechnology Workshop  
Prag, Tschechien  
4.10.2005
- B. Günther, F. Griehl**  
Metal Vapor Condensation and Agglomeration  
ESA-Workshop Materials Science in Microgravity  
Nordwijk, Niederlande  
2.12.2005

**A. Hartwig, A. Lühring, D. Pütz, O. Schorsch, M. Sebald, J. Trautmann**  
Improvement of the Properties of Epoxy Resins by Nanoparticles  
4<sup>th</sup> European Congress on Adhesive and Sealant Raw Materials  
Nürnberg  
27.4.2005

**A. Hartwig, A. Buchmann, O. Schorsch, M. Sebald, J. Trautmann**  
Einfluss von Struktur und Oberflächenmodifikationen von Nanofüllstoffen auf die Eigenschaften von Klebstoffen und Klebverbindungen  
Fachtagung Fertigungssystem Kleben FSK '05  
Bremen  
30.9.2005

**K. Herz, S. Schröder, M. Powalla, G.v.W. Wuytswinkel, G. Dreezen, G. Luyckx, H. Schäfer, T. Kowalik, K. Marnitz**  
Cigs Solar Modules Contacted by Conducting Adhesives and Ultrasonic Welding  
20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition  
Barcelona, Spanien  
6.–10.6.2005

**J. Ihde, K.-D. Vissing, A. Baalman, D. Salz**  
Korrosionsschutz durch polymere Beschichtungen mit Niederdruck- und Atmosphärendruck-Plasmen  
Korrosionsschutz von metallischen Oberflächen  
Regensburg  
6.–7.6.2005

**J. Ihde, F.-J. Wöstmann, J. Weise, M. Schneider**  
Aus Forschung und Entwicklung  
Tagung in Zukunft Zink  
IFAM  
Bremen  
27.–28.9.2005

**J. Ihde, K.-D. Vissing, A. Baalman, D. Salz**  
Korrosionsschutz von Leichtmetallen durch plasmapolymere Beschichtung  
Bremer Oberflächentage  
IFAM  
Bremen  
11.–12.10.2005

**P. Imgrund**  
Micro Moulding of Metals and Ceramics: State of the Art and Future Trends  
MicroMan Seminar  
Tullamore, Irland  
4.4.2005

**U. Kaiser, C. Kübel**  
Electron Tomographic Characterization of ErSi<sub>2</sub> und GeSi Nanocrystals  
Dreiländertagung  
Davos, Schweiz  
28.8.–2.9.2005

**U. Kaiser, A. Chuvilin, C. Kübel**  
Z-contrast Imaging and Tomography in a Conventional Transmission Electron Microscope  
Microscopy & Microanalysis Conference  
Honolulu, Hawaii, USA  
31.7.–4.8.2005

**B. Kieback**  
Composite and Cellular Materials  
Materials' Days Rostock 2005  
Rostock  
23.–24.5.2005

**B. Kieback**  
Grundlagen und innovative Verfahren der Sintertechnik  
Festvortrag, feierliche Verabschiedung von Herrn Dr. Burggraf,  
GF EHW Thale Sintermetall GmbH  
Thale  
3.6.2005

**B. Kieback**  
Functionally Graded W-Cu-Materials by Powder Metallurgy  
IPP Kolloquium, MPI für Plasmaphysik  
Garching  
22.7.2005

**B. Kieback**  
Sintered Materials  
Autumn School – Applications of Neutrons and Synchrotron Radiation in Engineering Materials Science  
Hamburg  
10.–12.10.2005

**J. Kolbe, A. Arp, F. Calderone, E.M. Meyer, W. Meyer, H. Schäfer, M. Stuve**  
Injektate Conductive Adhesives for Use in Microelectronics and Microsystems Technology  
Polytronic 2005  
Wroclaw, Polen  
21.–23.10.2005

**J. Kolbe**  
Charakterisierung von Klebstoffen und Klebverbindungen mittels thermischer Analyse  
Untersuchungen an Hochleistungswerkstoffen mittels thermischer und rheologischer Analytik – Trends und Zukunft  
Clausthal-Zellerfeld  
26.–27.10.2005

**C. Kübel**  
Electron Tomography for Materials Research and Industrial Applications  
DPG Jahrestagung  
Berlin  
4.–9.3.2005

**C. Kübel, T.-C. Lee, D. Su, J.L. Luo, H.M. Lo, J. Russell**  
Application of Electron Tomography for Semiconductor Device Characterization  
Dreiländertagung  
Davos, Schweiz  
28.8.–2.9.2005

- C. Kübel**  
Focal-series Reconstruction Using Truelmage  
ElCryst2005 Workshop  
Brüssel, Belgien  
2.–8.9.2005
- C. Kübel, S. Kujava, J.L. Luo, H.M. Lo, J. Russell**  
Electron Tomography Analysis of  
Microelectronic Devices  
8<sup>th</sup> International Workshop on  
Stress-induced Phenomena in Metallization  
Dresden  
12.–14.9.2005
- D. Lehmus**  
Metallschäume  
VDI-Arbeitskreis Werkstofftechnik  
Chemnitz  
24.5.2005
- D. Lehmus, M. Wichmann**  
Optimising Process Strategies for Fraunhofer  
Type AI Foams Using Kinetic Analysis of  
Foaming Agent Variants  
MetFoam2005  
Kyoto, Japan  
21.–23.9.2005
- D. Lehmus**  
Metal Foam Sandwich Structures – a New  
Class of Materials with Promise for Yacht  
Design  
Symposium Yachtentwurf & Yachtbau  
Hanseboot  
Hamburg  
4.–5.11.2005
- U. Lommatzsch**  
Plasma Modifications of Textiles: Dyebility,  
Anti-Soil Properties, Microbial Effects  
Plasmatech International Symposium  
Plasma Technologies for Industrial Applications  
Stresa, Italien  
18.–19.5.2005
- U. Lommatzsch, M. Noeske, T. Fladung, J. Degenhardt, T. Wübben, S. Strudthoff, G. Ellinghorst, O.-D. Hennemann**  
Pretreatment and Surface Modifications of  
Polymers by Atmospheric Pressure Plasma Jet  
Treatment  
5<sup>th</sup> International Symposium on Polymer  
Surface Modification: Relevance to Adhesion  
Toronto, Kanada  
20.–22.6.2005
- S. Markus**  
Oberflächenanalytik in der Klebtechnik  
Moderne Oberflächenanalytik in der Praxis  
OTTI-Profiforum  
Regensburg  
15.–16.6.2005
- S. Markus, U. Meyer, R. Wilken, S. Dieckhoff, O.-D. Hennemann**  
Detection of Contaminations on Polymer  
Surfaces Using Laser Induced Breakdown  
Spectroscopy  
5<sup>th</sup> International Symposium on Surface  
Modification  
Toronto, Kanada  
20.–22.6.2005
- S. Markus**  
Perspektiven von Inline-Verfahren zur  
Überwachung der Oberflächengüte  
Bremer Oberflächentage  
IFAM  
Bremen  
11.–12.10.2005
- U. Martin, U. Mosler, A. Müller, G. Heinzl, D. Lehmus**  
Microstructure of Aluminium Foams and  
Relationships to Compression Strength  
MetFoam2005  
Kyoto, Japan  
21.–23.9.2005
- U. Meyer, R. Wilken, P.-L.M. Noeske, S. Dieckhoff, O.-D. Hennemann**  
Study of Viscoelastic Behaviour in Thin and  
Ultra-thin Polymer Films with Laser Induced  
Surface acoustic Waves  
Adhesion '05  
St. Catherine's College  
Oxford, Großbritannien  
7.–9.9.2005
- U. Meyer**  
Untersuchung viskoelastischer Eigenschaften  
dünner Filme durch laserinduzierte Ober-  
flächenwellen  
BOB-Treffen  
Saarbrücken  
14.9.2005
- U. Meyer**  
Computer Algebra Systeme im Mathematik-  
unterricht – ein Akzeptanzproblem  
4. Workshop Mathematik für Ingenieure  
Bremen  
20.10.2005
- U. Meyer**  
Computer Algebra Systeme in der  
Ingenieurausbildung  
Schiffbauertreffen 2005  
Bremen  
11.11.2005
- I. Morgenthal**  
Neuartige Materialien auf der Basis zellulärer  
metallischer Strukturen für katalytische  
Anwendungen  
Umweltkolloquium, Hochschule für Technik  
und Wirtschaft (HTW )  
Dresden  
20.1.2005
- T. Müller, F.-J. Wöstmann**  
Gießereitechnik in Bremen – Entwicklung  
von Werkstoffen und Verfahren  
Anwenderzentrum Funktionsintegrierte  
Gussteile, Internationaler Druckgusstag  
Düsseldorf  
9.–10.3.2005

- T. Müller, H. Pleiteit**  
Gießtechnische Simulation von Zahnimplantaten  
Uni Transfertag, Kontaktmesse für Wissenschaft und Wirtschaft  
Bremen  
9.6.2005
- T. Müller, H. Pleiteit**  
Gießtechnische Simulation von Zahnimplantaten  
Abschlussveranstaltung,  
Stadt der Wissenschaft 2005  
Bremerhaven  
30.11.2005
- D. Niermann**  
Workforce Qualification in Adhesive Bonding Technology  
FEICA European Adhesives Conference 2005  
St. Hélier, Jersey, Channel Islands, Großbritannien  
16.9.2005
- P.-L.M. Noeske, R. Wilken, S. Dieckhoff, J. Ihde, A. Hartwig, O.-D. Hennemann**  
Spezielle Aspekte beim Kleben von Magnesium-Werkstoffen  
Swiss Bonding 05  
19. Internationales Symposium  
Rapperswil, Schweiz  
23.-25.5.2005
- D. Pasedag, R. Reimer, H.-E. Wagner, R. Brandenburg, P. Michel, K.V. Kozlov, A. Baalman, G. Ellinghorst, U. Lommatzsch**  
Charakterisierung reaktiver Spezies in Atmosphärendruck-Strahlplasma mittels räumlich und zeitlich aufgelöster Spektroskopie  
Poster, 12. Bundesdeutsche Fachtagung Plasmatechnologie  
Braunschweig  
21.-23.3.2005
- F. Petzoldt**  
Advanced Material Properties by Direct Laser Sintering  
PMAsia 2005  
Shanghai, China  
5.4.2005
- F. Petzoldt**  
Einführung in das Powder Injection Moulding  
DGM-Fortbildungstagung Pulvermetallurgie  
Dresden  
13.4.2005
- F. Petzoldt, H. Pohl**  
Aktuelle Werkstoffentwicklungen für die schnelle Prototypenherstellung  
DGM-Fortbildungstagung Pulvermetallurgie  
Dresden  
14.4.2005
- F. Petzoldt**  
Metallpulverspritzguss – aktuelle Entwicklungen und Trends  
Mescheder Hochschulreferate  
Meschede  
8.6.2005
- F. Petzoldt**  
Metal Injection Moulding  
EPMA PM Summer Courses 2005  
Aachen  
7.9.2005
- F. Petzoldt, H. Pohl, A. Simchi, B. Alcantara**  
Advanced Steel Powder for Direct Laser Sintering  
EuroPM 2005  
Prag, Tschechien  
4.10.2005
- F. Petzoldt**  
Vom Rapid Prototyping zum Rapid Manufacturing – Werkstoffe und Trends  
IMW-Seminar  
Dresden  
3.11.2005
- P. Plagemann, A. Anton, O. Yezerka, M. Schneider, P. Schrems**  
Anwendung eines mehrkanaligen ZRA in Screeningprozessen  
5. Workshop Elektrochemisches Rauschen  
Magdeburg  
21.-22.9.2005
- M. Popp**  
Monomeremissionen bei der Verarbeitung von Polyurethanklebstoffen  
Klebkaschieren von Kfz-Innentteilen  
Würzburg  
21.4.2005
- M. Popp**  
Cold UV-curing  
RadTech Europe 05  
Barcelona, Spanien  
19.10.2005
- P. Quadbeck, J. Adler, K. Kümmel, G. Standke, G. Stephani**  
Synthesis of Open-Celled Metal Foams  
International Symposium Cellmet 2005  
Dresden  
18.-20.5.2005
- G. Rausch, K. Stöbener**  
Improving Structural Crashworthiness Using Metallic Foams  
MetFoam2005  
Kyoto, Japan  
21.-23.9.2005
- K. Rischka**  
Kleben in der Natur – Ein Lernfeld für die Technik  
Öffentlicher Vortrag in der Lehrveranstaltung Bionik – Ökologische Technik nach dem Vorbild der Natur?  
Universität Bremen  
8.11.2005

- K. Rischka**  
Kleben in der Natur – Anregungen für die Technik  
32<sup>nd</sup> Aachen Textile Conference ACT'05  
Eurogress  
Aachen  
24.11.2005
- A. Rota**  
Neue Möglichkeiten für die Mikrosystem-technik durch Pulvertechnologie  
Bremen  
2.1.2005
- A. Rota**  
Developments in Metal Injection Moulding – MicroMIM Manufacturing  
PMAAsia 2005  
Shanghai, China  
6.4.2005
- A. Rota**  
Quality Assurance in Series Production  
EuroPM 2005  
Prag, Tschechien  
5.10.2005
- A. Rota**  
Gender Aspects within KMM – Knowledge-based Multicomponent Materials for Durable and Safe Performance  
Castellón, Spanien  
21.11.2005
- S. Rout, P. Imgrund, A. Rota, G. Veltl, T. Hartwig**  
Advanced P/M Processes  
New Materials and Parts from Metal Powders – TPP PM 2005  
Joshkar Ola, Russland  
21.-24.6.2005
- N. Salk, P. Imgrund, A. Rota**  
Mikro-Metallpulverspritzguss als innovatives Fertigungsverfahren in der Mikrotechnik  
Poster, Mikrosystemtechnik Kongress  
Freiburg  
10.-12.10.2005
- M. Schlüter, M. Hoffmann, N. Rübiger, N. Salk, T. Seemann, A. Rota, C. Harms**  
New Functions for Microfluidic Components by Using Micro Metal Injection Moulding ( $\mu$ MIM)  
AIChE Spring National Meeting  
8<sup>th</sup> International Conference on Microreaction Technology  
Atlanta, Georgia, USA  
10.–14.4.2005
- J. Schmidt**  
Mikrowellensintern  
DGM-Fortbildungsseminar Pulvermetallurgie  
Dresden  
13.4.2005
- J. Schmidt, K. Heinze, N. Reinfried, T. Schubert, T. Weißgärber, Y. Grin, B. Kieback**  
Synthesis of  $Ti_3SiC_2$  and  $Ti_3SiC_2$ -composites by the Powder Metallurgical Route  
16<sup>th</sup> International Plansee Seminar  
Reutte, Österreich  
2.6.2005
- J. Schmidt, P. Schmid, T. Schubert, T. Weißgärber, B. Kieback**  
Microwave-Assisted Sintering of Co-based Composites  
4<sup>th</sup> International Conference on Science, Technology and Application of Sintering, Sintering 2005  
Grenoble, Frankreich  
30.8.2005
- J. Schmidt**  
Reaktionssintern in SPS-Anlagen  
Feldaktivierte Synthese und Kompaktierung moderner Werkstoffe  
Dresden  
19.10.2005
- J. Schmidt, N. Reinfried, F. Thoss, P. Schmid, B. Kieback, J.C. Schuster, Y. Grin**  
SPS-Synthesis of Ternary Carbides ( $Zr,Hf$ ) $AlC_{2-x}$  and  $Ti_3SiC_2$   
Chemical Physics of Complex Adaptive Matter  
Institute for Complex Adaptive Matter (I<sup>2</sup>CAM)  
Burg Ringberg  
6.–9.2.2005
- J. Schmidt, K. Heinze, N. Reinfried, T. Schubert, T. Weißgärber, Y. Grin, B. Kieback**  
Synthesis and properties of  $Ti_3SiC_2$  and  $Ti_3SiC_2$ -composites by Powder Metallurgical Route  
4<sup>th</sup> International Conference on Science, Technology and Application of Sintering, Sintering 2005  
Grenoble, Frankreich  
29.8.–1.9.2005
- M. Schneider, V. Stenzel, A. Momber**  
Vergleichende Untersuchungen von Korrosionsschutzkonzepten für Offshore-Windenergieanlagen (WEA)  
Korrelation von Labortests mit Praxisbedingungen im schweren Korrosionsschutz  
GfKORR-Seminar  
Frankfurt am Main  
14.2.2005
- M. Schneider, O. Yezerska, P. Plagemann, J. Kintscher, R.W. Röhrkase**  
Untersuchungen zur Degradation von Beschichtungen mittels Elektrochemischer Impedanzspektroskopie  
1. Symposium Korrosionsschutz durch Beschichtungen  
St. Goar  
19.–22.4.2005

**M. Schneider, K. Galle**

Investigation of the Initial Stage of Crevice Corrosion on Al 99.5  
5. Workshop Elektrochemisches Rauschen  
Magdeburg  
21.–22.9.2005

**M. Schneider, O. Yezerska, P. Plagemann**

Elektrochemische Impedanzspektroskopie an hochhohmigen Schichten  
Bunsenkolloquium  
Dresden  
2.–3.11.2005

**O. Schorsch, A. Hartwig**

Organisch modifizierte Schichtsilikate als Initiatoren für die Darstellung von Nanokompositen auf Basis von Epoxiden  
Makromolekulares Kolloquium  
Freiburg  
24.2.2005

**O. Schorsch, A. Hartwig**

Organically Modified Clays: A New Class of Thermal Initiators for the Preparation of Nanocomposites Based on Epoxy Resin  
Nanofun Poly Symposium  
Dresden  
26.4.2005

**O. Schorsch, A. Hartwig, J. Trautmann**

Verbesserung des Eigenschaftsprofils von Duromeren mit Nanopartikeln  
Fachtagung Nanotechnologie in der Kunststofftechnik  
Würzburg  
27.10.2005

**T. Schubert, T. Pieczonka, S. Baunack, B. Kieback**

Sintering Behaviour of Aluminium in Different Atmospheres, Sintering 2005  
Grenoble, Frankreich  
29.8.–1.9.2005

**T. Schubert**

Sintering of Aluminium  
PM Training Courses  
Aachen  
3.–11.9.2005

**T. Schubert, T. Pieczonka, S. Baunack, B. Kieback**

The Influence of the Atmosphere and Impurities on the Sintering Behaviour of Aluminium  
EuroPM2005  
Prag, Tschechien  
2.–5.10.2005

**T. Schubert, A. Dudhmande,**

**M. Balasubramanian, B. Kieback**  
Sintering and Properties of New P/M Aluminium Alloys and Composites  
EuroPM2005  
Prag, Tschechien  
2.–5.10.2005

**T. Schubert, B. Kieback, T. Weißgärber, V. Kruzhanov, V. Arnhold**

Powder Metallurgy Processes for Low Cost Titanium Parts  
EuroPM2005  
Prag, Tschechien  
2.–5.10.2005

**G. Standke, T. Müller, J. Weise, R. Westerheide, A. Neubrand**

Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde  
Kassel  
6.–8.4.2005

**G. Stephani, O. Andersen, T. Studnitzky, K.A. Khor**

Metal hollow sphere structures a new material for biomedical implants  
3<sup>rd</sup> International Symposium on Advanced Biomaterials  
Montreal, Kanada  
3.–5.4.2005

**G. Stephani**

Zellulare metallische Werkstoffe – Herstellung, Eigenschaften und Anwendungen  
DGM-Fortbildungsseminar Pulvermetallurgie  
Dresden  
15.4.2005

**G. Stephani, U. Waag, H. Göhler, M. Reinfried, K. Kümmel**

Metal Hollow Sphere Structures – Manufacturing, Properties and Applications  
EUROMAT 2005  
Prag, Tschechien  
5.–8.9.2005

**G. Stephani**

Iron Based Cellular Structures – Status and Prospects  
4. International Conference  
MetFoam 2005  
Kyoto, Japan  
21.–23.9.2005

**G. Stephani**

Cellular Metals and Foams  
Metal Foam Taiwan 2005 Conference  
Kaohsiung, Taiwan  
12.–13.12.2005

**G. Stephani**

Cellular Metals and Alloys – Manufacturing, Properties and Applications  
Ansan Technology Centre  
Korea  
15.–16.12.2005

**K. Stöbener**

APM Schaumtechnologie  
für Leichtbaukomponenten  
Leichtbau mit metallischen Werkstoffen  
VDI Wissensforum  
IFAM  
Bremen  
26.–27.4.2005

- K. Stöbener, A. Godin, J. Baumeister, G. Rausch**  
Aluminium Foam  
(Advanced Pore Morphology – APM)  
New Materials and Parts from Metal Powders – TPP PM 2005  
Joshkar Ola, Russland  
21.–24.6.2005
- K. Stöbener, A. Godin, J. Baumeister, G. Rausch**  
Aluminium Foam  
(Advanced Pore Morphology – APM)  
Ural Forgers 2005  
Werchnjaja Salda, VSMPO, Russland  
12.–15.9.2005
- T. Studnitzky**  
Siebdruck – ein Verfahren zur Herstellung von zellularen Präzisionsstrukturen  
Werkstoffforum Hannover Messe Industrie Hannover  
14.4.2005
- T. Studnitzky, O. Andersen**  
Direct Typing As Promising Method For The Production Of Cellular P/M Parts  
International Symposium CELLMET 2005  
Dresden  
18.–20.5.2005
- T. Studnitzky, O. Andersen, J. Bauer**  
Direct Typing – A New Method for the Production of Cellular P/M Parts  
EUROMAT 2005  
Prag, Tschechien  
5.–8.9.2005
- T. Studnitzky, O. Andersen**  
An approach to Scaling Laws for Hollow Sphere Structures  
EUROMAT 2005  
Prag, Tschechien  
5.–8.9.2005
- G. Veltl, F. Petzoldt, A. Simchi, C.M. Sonsino, K. Lipp, A. Eksi**  
Warmkompaktieren von Aluminiumpulvern – Mechanismen und Einfluss auf die Eigenschaften  
24. Hagerer Symposium Pulvermetallurgie Hagen  
24.–25.11.2005
- G. Walther, L. Schneider, T. Weißgärber, F. Gebhard, M. Holderied**  
Unter Öl laufende Reibschichten für Synchronringe  
Tribologie Fachtagung 2005  
Göttingen  
26.–28.9.2005
- G. Walther**  
Reibbeläge für Synchronisierungen in Kraftfahrzeug-Schaltgetrieben  
Kolloquium Universität Karlsruhe, SFB 483  
Karlsruhe  
20.10.05
- G. Walther**  
Pulvermetallurgische Herstellung von hochtemperatur- und korrosionsbeständigen Schäumen auf Basis von Nickellegierungen  
Sitzung des Arbeitsausschusses des Ausschusses für Pulvermetallurgie Hagen  
23.11.2005
- G. Walther, L. Schneider, T. Weißgärber, B. Kieback, F. Gebhard, M. Holderied**  
Hochleistungsreibschicht auf Eisenbasis für Synchronringe  
24. Hagerer Symposium Pulvermetallurgie 2005  
Hagen  
24.–25.11.2005
- J. Weise, O. Marchetto, M. Haesche, F. Garcia-Moreno, J. Banhart**  
Influence of the Alloying Additions on the Foaming Behaviour of Thixocast AlSi11 Precursor  
MetFoam 2005  
Kyoto, Japan  
21.–23.9.2005
- T. Weißgärber, T. Schubert, B. Kieback**  
PM-Aluminium – Microstructure, Properties, Applications  
PMAsia 2005  
Shanghai, China  
4.–6.4.2005
- T. Weißgärber, B. Kieback**  
Trends in Nanopowder Production and Applications  
PMAsia 2005  
Shanghai, China  
4.–6.4.2005
- T. Weißgärber**  
Pulvermetallurgie – Vom Pulver zum Bauteil  
Steinbeis-Technologie Seminar 2005  
Dresden  
9.4.2005
- T. Weißgärber**  
Dispersionsverfestigte Werkstoffe  
Fortbildungsseminar Pulvermetallurgie Dresden  
13.–15.4.2005
- T. Weißgärber**  
Metallische Verbundwerkstoffe für passive Kühlkörper in der Elektronik  
Fortbildungsseminar Pulvermetallurgie Dresden  
13.–15.4.2005
- T. Weißgärber, J. Schmidt, T. Schubert, B. Kieback**  
Spark Plasma Sintering of Intermetallics and Metal Matrix Composites  
EuroPM 2005  
Prag, Tschechien  
2.–5.10.2005

**T. Weißgärber**

Pulvermetallurgische Herstellung von  
Cu-SiC – Verbundwerkstoffe für passive  
Kühlkörper in der Elektronik  
IPP Garching, Seminarvortrag,  
Garching  
13.9.2005

**T. Weißgärber**

Basics of Sintering – An Overview  
PM-Summer School, ausgerichtet von EPMA  
Aachen  
5.–11.9.2005

**T. Weißgärber, J. Schmidt, T. Schubert,  
B. Kieback**

Spark Plasma Sintering of Intermetallics and  
Metal Matrix Composites  
SAMPE Conference 2005  
Tokio, Japan  
28.11.–1.12.2005

**F.-J. Wöstmann, J. Weise, A. Berg,  
T. Müller**

Verbundguss für Leichtbauanwendungen  
VDI Wissensforum Leichtbau mit  
metallischen Werkstoffen  
Bremen  
26.–27.4.2005

**Q. Yang, J. Mardinly, C. Kübel, C. Nelson,  
C. Kisielowski**

Electron Tomography of Microelectronic  
Device Interconnects  
Microscopy & Microanalysis Conference  
Honolulu, Hawaii, USA  
31.7.–4.8.2005

**V. Zöllmer, I. Wirth, B. Günther, M. Busse,  
M. Hedges, M. Kardos, M. Renn**

Functional Printing with High Viscosity Inks  
European Coatings Conference – The Power  
of Ink-jet Materials III  
Berlin  
1.–2.12.2005

## IFAM-Seminarvorträge, Bremen

### *Interne Referenten*

21.1.2005

**S. Markus**

Online Monitoring of the Surface Cleanliness of Carbon Fibre

21.1.2005

**K.-D. Vissing**

Technical and Commercial Aspects on New Handling Procedures for Ultra-thin Wafers

4.2.2005

**T. Gesang**

Kleben in der Mikrofertigung

4.2.2005

**A. Rota**

Neue Möglichkeiten für die Mikrosystemtechnik durch Pulvertechnologie

25.2.2005

**U. Meyer**

Laser-acoustic Measurements on Thin Films – Dispersion of Surface Waves

25.2.2005

**D. Salz**

WISA Photokatalyse: Development and Application of New Photocatalysts

4.3.2005

**J. Ihde, F.-J. Wöstmann**

Magnesium WISA

11.3.2005

**A. Burblies**

Mechanisches Verhalten von Kugelpackungen

1.4.2005

**C. Kübel**

Neue Entwicklungen in der Transmissions Elektronen Mikroskopie: 3D Strukturaufklärung und Nanoanalytik

1.4.2005

**G. Rausch**

Materialografie & Analytik

22.4.2005

**A. Buchman**

Introduction of Raphael and the Adhesive Bonding Research in Israel

22.4.2005

**O. Schorsch**

Working at Loctite Aerospace and Having Fun in California

3.6.2005

**J. Kolbe**

Schnelle Klebstoffhärtung mittels Mikrowellen

3.6.2005

**G. Veltl**

Mikrowellenbehandlung von PM-Bauteilen

7.6.2005

**M. Kleemeier, J. Kolbe**

Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität von Klebstoffen  
Thermische Analyse und Rheologie in der Materialcharakterisierung

17.6.2005

**A. Buchman**

Preadhesion Laser Treatment of Peek Composites

1.7.2005

**M. Popp**

Kalte Photohärtung

1.7.2005

**I. Wirth**

Drucktechnologien zur Funktionsintegration

2.9.2005

**I. Grunwald**

Protein-Chips zur Blutkrebsdiagnose

2.9.2005

**N. Salk**

Bioreaktor

7.10.2005

**J. Baumeister**

APM-Technologien

7.10.2005

**U. Lommatzsch**

Atmosphärendruckplasma

14.10.2005

**C. Behrens**

Global Gain or Global Risk? How to Avoid the Pitfalls of Establishing International R&D Centers by Implementing a Flexible Decision Model

14.10.2005

**V. Stenzel**

Novel Approach to Effect-Colour Measurement in the Automotive Industry

4.11.2005

**B. Brede**

Aufbau eines TheoPrax-Netzwerkes

4.11.2005

**P. Imgrund**

Qualitätssicherung beim Mikrospritzgießen mit Mikrofertigungseinheit Battenfeld

2.12.2005

**S. Kim**

Eine rechnergestützte Methode zur Passungsanalyse von toleranzbehafteten Fügeteilen mit anschließender Programmierung eines automatisierten Klebstoffauftrags

2.12.2005

**J. Weise**

Permanentkerne für den Druckguss

## **Externe Referenten**

19.1.2005

**R. Adelung**

CAU Kiel, Technische Fakultät,  
Lehrstuhl für Materialverbunde  
Metal Growth on Organic Surfaces: From  
Clusters to Nanowire Networks

## **IFAM-Seminarvorträge, Dresden**

## **Interne Referenten**

28.1.2005

**P. Schmid**

Mikrowellensintern von Kobaltbasis-  
Verbundwerkstoffen

18.3.2005

**T. Büttner**

Entwicklung von pulvermetallurgisch  
hergestellten schleiffähigen Halbzeugen  
für die Verwendung als Zahnersatz

29.4.2005

**H. Göhler, M. Zumdick**

Nichtfasernde Isolierstoffe auf MoSi<sub>2</sub>- und  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Basis

10.6.2005

**M. Reinfried**

3-D Polyederzellstrukturen

24.6.2005

**T. Schubert**

PM-Leichtmetall – neue Entwicklungen

14.10.2005

**T. Studnitzky**

Herstellung großer Edelmetallvliese

19.10.2005

**J. Schmidt**

Reaktionssintern in SPS-Anlagen

28.10.2005

**P. Quadbeck**

Offenzellige Metallschäume vom  
Knochenersatz bis zum Wärmetauscher

28.10.2005

**D. Wald**

Kupfergelötete Stahlhohlkugelstrukturen als  
Permanentgießkerne im Aluminiumguss

11.11.2005

**H. Weidmüller, T. Hutsch**

Kohlenstoff-Nanofaser-verstärkte  
Kupferverbundwerkstoffe

## **Externe Referenten**

21.1.2005

**U. Klotzbach**

Fraunhofer IWS, Dresden  
Laser-Materialbearbeitung am Fraunhofer  
IWS: Technologien und Applikationen

25.2.2005

**J.J. Brandner**

Forschungszentrum Karlsruhe  
Mikroverfahrenstechnik – Überblick über die  
Arbeiten des Forschungszentrums Karlsruhe

13.5.2005

**A. Dudhmande**

IIT, Madras, Indien  
Sintering and Properties of New P/M  
Aluminium Alloys and Composites

27.5.2005

**D. Handtrack**

TU Technische Universität Dresden, Institut  
für Werkstoffwissenschaft  
Herstellung nanokristalliner und dispersions-  
verfestigter Ti-Werkstoffe für Implantate

24.6.2005

**G. Bäuml**

quo data GmbH, Dresden  
Schnellere Entwicklung, geringere Kosten  
– tiefere Einblicke – Statistische Versuchs-  
planung in der Materialforschung

8.7.2005

**K. Flemmig**

TU Technische Universität Dresden, Institut  
für Werkstoffwissenschaft  
Sinterverhalten und Sintermechanismen  
beim Festphasensintern beschichteter  
Teilchen

30.9.2005

**M. Nebelung**

Fraunhofer IKTS, Dresden  
Möglichkeiten der Pulververarbeitung im  
Fraunhofer IKTS, Dresden

9.12.2005

**A. Böhm**

Inco GmbH, München  
Incofoam® HighTemp – ein innovatives  
Material für Dieselrußpartikelfilter

19.12.2005

**O. van der Biest**

Katholieke Universiteit Leuven, Belgien,  
Department of Metallurgy and Materials  
Engineering  
Field Assisted Sintering Technology in  
Review

# Patente

## Anmeldungen

C. Bockenheimer, H. Stehmeier

**Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen eines Sensorwerkstückes an einem Körperbauteil**

DE 10 2004 057 290.9

Anmeldetag: 26.11.2004

J. Adler, G. Standke, D. Kopejzny,

G. Stephani, K. Kümmler

**Strahlungsschutzschirm**

DE 10 2005 001 502.6

Anmeldetag: 10.1.2005

M. Schütze, A. Böhm, G. Walther,

T. Büttner, T. Weißgärber, D. Naumann

**Turbinenschaufel für Strömungsmaschinen und Verfahren zu ihrer Herstellung**

DE 10 2005 002 671.0

Anmeldetag: 14.1.2005

T. Büttner, A. Böhm, T. Weißgärber,

A. Böhm, W.-G. Drossel, J. Böhm, H. Kunze

**Metallisches Bauteil**

DE 10 2005 010 249.2

Anmeldetag: 28.2.2005

G. Walther, A. Böhm, T. Büttner,

D. Naumann

**Verfahren zur Herstellung eines offenporigen Metallschaumkörpers, ein so hergestellter Metallschaumkörper sowie seine Verwendungen**

DE 10 2005 010 248.4

Anmeldetag: 28.2.2005

K.-D. Vissing, G. Neese, M. Ott, C. Dölle

**Beschichtungsverfahren**

DE 10 2005 026 359.3

Anmeldetag: 7.6.2005

R. Wilken, S. Markus, M. Amkreutz,

C. Tornow, A. Seiler, S. Dieckhoff

**Prüfverfahren und Prüfvorrichtung**

DE 10 2005 027 106.5

Anmeldetag: 10.6.2005

R. Wilken, S. Dieckhoff, A. Hartwig,

M. Kleemeier

**Rückstandsfrei abnehmbares Beizmittel**

DE 10 2005 037 335.6

Anmeldetag: 4.8.2005

J. Weise

**Poröse Verbundwerkstoffe auf Basis eines Metalls und Verfahren zu deren Herstellung**

DE 10 2005 037 069.1

Anmeldetag: 5.8.2005

A. Baalman, J. Ihde, D. Salz, P. Gröppel

**Einsatz von metallischen Füllstoffen zur Erhöhung der thermischen Leitfähigkeit in elektrisch isolierenden Kunststoffen für die Elektronik und Elektrotechnik**

DE 10 2005 042 109.1

Anmeldetag: 5.9.2005

J. Kolbe, M. Stuve, E. Born

**Klebstoffzusammensetzung für Klebverbindungen, die mittels Anlegen von elektrischer Spannung**

DE 10 2005 050 632.1

Anmeldetag: 20.10.2005

## Erteilungen

A. Baalman, G. Ellinghorst, K.-D. Vissing,  
P. Förnsel, C. Buske, U. Hartmann  
**Verfahren und Vorrichtung zur  
Plasmabeschichtung von Oberflächen**  
US 6,800,336 B1  
Erteilungstag: 5.10.2004

A. Baalman, G. Ellinghorst, K.-D. Vissing,  
P. Förnsel, C. Buske, U. Hartmann  
**Verfahren und Vorrichtung zur  
Plasmabeschichtung von Oberflächen**  
EP 1 230 414 B1  
Erteilungstag: 6.10.2004

R. Scholl, A. Böhm  
**Verbundpulver sowie Verfahren und  
Vorrichtung zu seiner Herstellung**  
DE 101 26 377 B4  
Erteilungstag: 23.12.2004

R. Scholl, B. Voigtsberger, C. Korhammer,  
A. Böhm, G. Stephani, L. Schneider  
**Thermische Isolation zum Einbringen  
zwischen zu isolierende Gebilde**  
DE 199 17 874 B4  
Erteilungstag: 17.3.2005

L.B. Aberle, J. Loschen, M. Kleemeier,  
E. Born, W. Staude  
**Verfahren und Vorrichtung zur Unter-  
drückung der Mehrfachstreuung bei  
Untersuchungen an trüben Medien  
mittels dreidimensionaler Kreuzkorrela-  
tionstechnik**  
US 6,873,412 B2  
Erteilungstag: 29.3.2005

J. Baumeister, D. Lehmus, K. Stöbener,  
N. Zimmer  
**Aus Metallschaumbausteinen aufge-  
bautes Bauteil und Verfahren zu seiner  
Herstellung**  
DE 103 28 047 B3  
Erteilungstag: 14.4.2005

J. Hübelt, C. Kostmann, U. Waag,  
G. Stephani, G. Lotze  
**Schallabsorber**  
DE 103 47 226 B3  
Erteilungstag: 25.5.2005

A. Hartwig, K. Albinsky  
**Additionsprodukt, seine Herstellung  
und seine Verwendung als Korrosions-  
inhibitor**  
DE 101 43 521 B4  
Erteilungstag: 2.6.2005

K. Pannkoke, M. Clüver, T. Gesang  
**Mikrosystem und Verfahren zur  
Herstellung**  
DE 198 29 202 B4  
Erteilungstag: 30.6.2005

O. Andersen, U. Waag, E. Bernhard,  
G. Elfinger  
**Schalldämpfer für die Abgasanlage eines  
durch einen Verbrennungsmotor  
angetriebenen Kraftfahrzeuges**  
DE 199 49 271 B4  
Erteilungstag: 18.8.2005

D. Lehmus  
**Trägerstrukturen zur Aufnahme von  
Kräften und Verformungsenergie**  
DE 101 58 627 B4  
Erteilungstag: 25.8.2005

R. Hellmann, M. Kaune  
**Vorrichtung zur Bestimmung von  
Gewichtsveränderungen**  
DE 10 2004 016 243 B3  
Erteilungstag: 8.9.2005

P. Jörn, A. Herrmann  
**Verfahren und Vorrichtung zur Binder-  
aktivierung auf einem Faserhalbzeug/  
Preform durch direktes Erwärmen von  
Kohlenstoffasern über eine angelegte  
elektrische Spannung**  
DE 103 53 070 B4  
Erteilungstag: 15.9.2005

L. Schneider, G. Walther, T. Weißgärber,  
F. Gebhard, M. Holderied  
**In einem Medium laufende Reibschicht**  
DE 102 39 093 B4  
Erteilungstag: 3.11.2005

# Schutzrechte

## Eintragungen in das deutsche Markenregister

**permaclean plas**

Nr. 305 09 812

Eintragungstag: 11.8.2005

**best skin plas**

Nr. 305 09 813

Eintragungstag: 21.10.2005