



Fraunhofer

IFAM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM

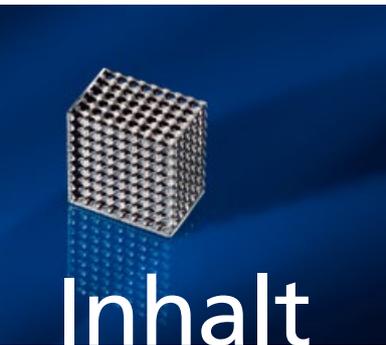


JAHRESBERICHT

2008/2009

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM

Jahresbericht 2008/2009



Das Institut im Profil

Vorwort	4
40 Jahre Fraunhofer IFAM: »Im Mittelpunkt unseres Erfolges stehen die Mitarbeiter«	6
MultiMaT-Eröffnungsfeier im Bremer Rathaus – mit Freude, Informationen und Zuversicht	10
Das Institut im Profil.....	13
Kurzporträt und Organigramm.....	15
Das Institut in Zahlen.....	16
Das Kuratorium des Instituts.....	20
Forschung in turbulenten Zeiten.....	21
Die Fraunhofer-Gesellschaft.....	22
Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile.....	23
Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik.....	24
Fraunhofer-Themenverbund Nanotechnologie.....	25
Fraunhofer-Themenverbund Polymere Oberflächen (POLO).....	26
Fraunhofer-Allianz Photokatalyse....	26
Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation.....	27
Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik.....	27
Fraunhofer-Allianz Bau	28
Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping.....	29
Fraunhofer Technology Academy....	30
Fraunhofer-Netzwerk Windenergie....	31

Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe

Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe.....	33
Kompetenzen und Know-how.....	34
Arbeitsgebiete und Ansprechpartner.....	36
Ausstattung	37
Biomaterial-Technologie – ein neues Kompetenzfeld am Fraunhofer IFAM	38
Bioprinting – biologische Materialien präzise gedruckt	42
Design und Herstellung biomime- tischer Werkstoffe.....	46
CellForce: Entwicklung eines ein- zelzell-basierten Biosensors für die sub-zelluläre Online-Detektion des Zellverhaltens in den Bereichen Diagnose und Gesundheit.....	50
Metallische Nano-Tinten für gedruckte Kontaktierungen in der Mikrosystemtechnik	54
Zunderbeständige Aluminid-Schichten durch Aufsintern pulvergefüllter Pasten.....	58
Pulvermetallurgische Technologien zur Herstellung nanostrukturierter Werkstoffe.....	62
Neue Biowerkstoffe auf der Basis zellulärer metallischer Werkstoffe....	65
Aluminiumfaser-Sandwich- strukturen für Wärmeüberträger- anwendungen.....	68

Bereich Klebtechnik und Oberflächen

Bereich Klebtechnik
und Oberflächen..... 71

Kompetenzen und Know-how..... 72

Arbeitsgebiete und
Ansprechpartner..... 75

Ausstattung 77

Raus aus dem Labor: Das Fraunhofer
IFAM arbeitet bei den CFK-Werk-
stoffen bald mit Großstrukturen.... 78

Hybridfügen: Kombiniertes Nieten
und Kleben 82

Neue Ansätze bei Plasmatechnik und
Oberflächen: Multifunktionale Schich-
ten in nur einem Arbeitsschritt..... 86

Synthetische Peptide und funktionali-
sierte Nanopartikel als Grundlage
für medizinische Klebstoffe der
Zukunft..... 90

Silikone – überraschend gute
Klebstoffe 94

Automotive Quality Saar (AQS) –
Entwicklungszentrum für Auto-
mobilerhersteller und -zulieferer..... 97

Berechnung von höherfesten
Stahlklebverbindungen des Fahrzeug-
baus unter Crashbelastung – schnel-
lere Produktentwicklung durch nume-
rische Simulation..... 100

Ressourcenschonende Miniaturring-
leitung des Fraunhofer IFAM – neues
Messverfahren zur Charakterisierung
des Scherverhaltens polymerer
Flüssigkeiten..... 102

Fraunhofer-Talent-School Bremen
2008 – Schülerinnen und Schüler erle-
ben die Welt der Wissenschaft.... 106

Fraunhofer-Center für Windenergie
und Meerestechnik CWMT –
Fraunhofer-Institut für Windenergie
und Energiesystemtechnik IWES ... 109

Windenergie auf See: Frische Brise für
Deutschlands Stromversorgung 110

Menschen und Momente

TheoPrax-Preisverleihung 2008
im Fraunhofer IFAM in Bremen –
Auszeichnung von Schülern und
Studierenden für praxisrelevante
Projektarbeiten..... 114

Förderpreis für Wissenschaft und
Forschung..... 116

Innovations-Wettbewerb der deut-
schen Automobilindustrie..... 117

Besuch der EU-Kommissarin Prof. Dr.
Danuta Hübner – erste Meilensteine
des Innovationsclusters »MultiMat«
wurden vorgestellt 118

Internationales Symposium zur
Anwendung zellulärer metallischer
Werkstoffe in Dresden –
CELLMET2008..... 119

Impressum 120

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



Institutsleitung Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse (links),
 Dr.-Ing. Helmut Schäfer.

das Jahr 2008 war nicht nur das 40. Jahr unseres Bestehens – es war auch erneut ein sehr erfolgreiches Geschäftsjahr. Unser Wachstumskurs hat sich fortgesetzt: Haushaltsvolumen und Personal des Instituts stiegen jeweils um rund zehn Prozent. Trotz des ausgeprägten Mangels an Naturwissenschaftlern und Ingenieuren auf dem Arbeitsmarkt ist es dem Fraunhofer IFAM 2008 erneut gelungen, engagierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu gewinnen. Unsere positive Entwicklung stößt im gesamten Institut immer wieder neue Projekte an – mit der Folge, dass wir einmal mehr mit Raumangel konfrontiert sind und uns gedanklich bereits mit Baumaßnahmen beschäftigen.

Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft FhG zählt das Institut zu den größten Einrichtungen. Auch im Fraunhofer-Verbund »Werkstoffe und Bauweisen« spielt es eine führende Rolle. Bremen hat sich in der FhG als bedeutender Standort im Norden etabliert, der sogar noch weiter expandiert. Wir freuen uns, dass am 1. Januar 2009 das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES im nahen Bremerhaven seine Tätigkeit aufgenommen hat. Diese Einrichtung wurde von den Fraunhofer-Instituten IFAM und LBF (Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt) als Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT auf den

Weg gebracht. Mit dem Fraunhofer-Institut für Bildgestützte Medizin MEVIS ist zum gleichen Zeitpunkt ein nur wenige hundert Meter vom IFAM entfernt gelegenes Institut gestartet. Hier gibt es bereits persönliche Kontakte, die die Basis für eine künftige Zusammenarbeit bilden können. Das IFAM bearbeitet viele biologisch und biomedizinisch initiierte Themen, das MEVIS beschäftigt sich mit Informatik und Software-Engineering für den medizinischen Bereich – Felder, bei denen Synergien zu erwarten sind.

Seit Anfang 2008 wird mit voller Kraft im neu gestarteten Bremer Innovationscluster »Multifunktionelle Materialien und Technologien« (MultiMaT) gearbeitet. In Abstimmung mit den beteiligten Industrieunternehmen und den wissenschaftlichen Partnern wurden nicht nur die Ziele der fünf Pilotprojekte festgelegt, sondern bereits konkrete erste Ergebnisse erzielt. Zu den Aufgaben gehört auch der intensive Aufbau des Innovationscluster-Netzwerks. In dieses werden des Weiteren überregionale Firmen und Einrichtungen eingebunden, die mit ihrer Expertise zu den von »MultiMat« bearbeiteten Aufgaben passen. Ebenso bedeutend ist für das Institut die Beteiligung am europäischen Forschungsprogramm »Clean Sky«. Im Mittelpunkt des insgesamt mit 1,6 Milliarden Euro ausgestatteten Projekts steht die nachhaltige Förderung der Umweltverträglichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Luftfahrt. Das Fraunhofer IFAM gehört zu einem Konsortium von 86 Industrie- und Forschungspartnern aus 16 Nationen, das die durch den wachsenden Luftverkehr verursachten Emissionen in den kommenden sieben Jahren verringern will.

Der Institutsteil Formgebung und Funktionswerkstoffe hat 2008 für die Leitung des neu strukturierten Kompetenzfelds Biomaterial-Technologie Professor Kurosch Rezwan von der Universität Bremen, Fachgebiet Keramische Werkstoffe mit Schwerpunkt Biokeramik, gewonnen. Zwischen den Forschungen dieses Fachgebiets an der Universität und den Aktivitäten des IFAM an der Schnittstelle von biologischen Zellen und technischen Materialien gibt es zahlreiche Berührungspunkte. Wir sind zuversichtlich, dass die Kombination von Grundlagenforschung und anwendungsbezogenen Entwicklungen auf dem Gebiet schon bald Früchte trägt. Auch dem bedeutenden Thema der Elektromobilität wendet sich

der Institutsteil verstärkt zu. Die Entwicklung von abgasarmen oder sogar abgasfreien Fahrzeugen wird künftig ein starkes Gewicht bekommen. Das IFAM ist an der strategischen Entwicklung dieses Themas für die FhG beteiligt und forscht mit materialwissenschaftlichen Ansätzen in wichtigen Teilbereichen, etwa der optimierten Speicherung elektrischer Energie in zukünftigen Batterien oder bei der Schaffung hocheffizienter Antriebe.

Auf Erfolgskurs befindet sich ebenfalls weiterhin der in Dresden ansässige IFAM-Institutsteil für Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe. Trotz der großen Entfernung zwischen den beiden Standorten sind konstruktive Kooperation zwischen verschiedenen Arbeitsgruppen entstanden, die kontinuierlich ausgebaut werden.

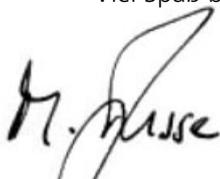
Der Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen hat 2008 weiterhin intensiv und fruchtbar im »Bremer Tandem« mit dem Flugzeugbauer Airbus Deutschland GmbH als wichtigstem Auftraggeber zusammengearbeitet. Das Arbeitsspektrum wird erweitert durch den Aufbau einer Projektgruppe im neuen Forschungszentrum CFK Nord in Stade, die sich mit der Montage von CFK-Großstrukturen beschäftigt. Ergebnisse aus der Arbeit des IFAM werden dort für ihre Eignung in der Serienfertigung weiterentwickelt. Zielmärkte sind neben dem Flugzeugbau auch andere Branchen wie die Automobil- und Schienenfahrzeughersteller. Intensiviert wurden die Forschungen im zukunftsreichen Bereich der proteinbasierten Materialien. Die Beschäftigung mit Biopolymeren und ihren Wechselwirkungen mit technischen Oberflächen ist ein Thema, das stark an Bedeutung gewinnt. Ziel ist es, die in der Natur vorherrschenden Wirkprinzipien von Adhäsionen auf biologischer Grundlage zu entschlüsseln. Über das Verständnis der Zusammenhänge sollen Klebprozesse in Bereichen wie der Medizintechnik ermöglicht werden, wo die Verbindung von organischem und anorganischem Material bislang noch auf große Schwierigkeiten stößt. Eine wichtige Rolle spielt dabei die rechnerische Simulation, mit der die komplexen Vorgänge bis auf die molekulare Ebene hinunter untersucht werden können.

In die Bremer Aktivitäten zur Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder ist das IFAM weiter federführend eingebunden. 2007 waren zwei materialwissenschaftlich geprägte Anträge hervorragend beurteilt worden, verfehlten aber um Haaresbreite eine Förderung. Die im Rahmen der Antragstellung vertiefte interdisziplinäre Zusammenarbeit des IFAM mit wissenschaftlichen Instituten im Technologiepark und in der Universität Bremen wurde 2008 noch ausgebaut und führte schließlich zur Gründung einer Zentralen Wissenschaftlichen Einheit (ZWE) an der Universität. Unter dem Namen iSense »Integrated solutions sensorial structure engineering« ist damit eine Plattform entstanden, mit der für die nächste Runde der Exzellenzinitiative ein erneuter Antrag im Bereich sensorischer Materialien für innovative Anwendungsfelder vorbereitet wird.

Im letzten Drittel des Jahres 2008 zeichnete sich bereits ab, dass sich weltweit in vielen Wirtschaftszweigen die ökonomischen Vorzeichen nachhaltig ändern. Für das IFAM bedeutet das, die Entwicklung aufmerksam zu verfolgen und in der eigenen Geschäftstätigkeit flexibel zu agieren. Weil das Institut inhaltlich sehr breit aufgestellt ist und konsequent neue Themenfelder erschließt, ist es mit seiner zukunftsorientierten Forschung und Entwicklung gerade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten ein wichtiger Ansprechpartner und Ideengeber.

Doch keine Entwicklung, keine Forschungsarbeit, kein Projekt kommt ohne die Menschen aus, die sich dafür begeistern und engagieren. Deshalb gilt unser ganz besonderer Dank unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die sich täglich mit großem Einsatz um das Fraunhofer IFAM verdient machen. Sie sind die Triebkräfte unseres Erfolges, über den wir Sie mit den Trend- und Projektberichten in diesem Bericht gerne informieren.

Viel Spaß beim Lesen unseres Jahresberichtes wünschen


Matthias Busse


Helmut Schäfer

40 Jahre Fraunhofer IFAM: »Im Mittelpunkt unseres Erfolges stehen die Mitarbeiter«



Eröffnung des Festkolloquiums durch Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse.



Senatorin Renate Jürgens-Pieper.

Viele Blicke zurück, einige Blicke nach vorn: Wenn ein 40. Geburtstag ansteht, lohnt sich ein zufriedenes Resümee des Geleisteten ebenso wie ein optimistischer Ausblick in die Zukunft. Das war beim Festkolloquium des Fraunhofer IFAM aus Anlass des 40-jährigen Bestehens am 3. Juni 2008 nicht anders. Aktuelle und ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Partner aus Industrie und Wirtschaft sowie Vertreter aus Politik und Wissenschaft hatten sich im Institutsgebäude in Bremen zusammengefunden, um die »Erfolgsgeschichte IFAM« gemeinsam zu feiern. Die Vorträge gaben einen Einblick in vier erfolgreiche Jahrzehnte angewandter Forschung, in 40 Jahre intensiver Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft. Anekdoten und Bemerkenswertes aus der Institutshistorie wechselten ab mit Einblicken in die aktuellen und zukünftigen Tätigkeiten des IFAM. In den Pausen und am Abend – bei einer Festveranstaltung im Chocoladium und im Universum Science Center – wurde die Möglichkeit zum Austausch intensiv genutzt.

Schon bei seiner Begrüßung stellte Institutsleiter Professor Matthias Busse diejenigen in den Mittelpunkt, die die Erfolge des IFAM erst ermöglichen: »Es sind immer die Menschen – unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter – die hinter den vielfältigen Leistungen des Instituts stehen.« Zwei Personen hob Busse dabei ganz besonders hervor: die ehemaligen Institutsleiter Professor Hans-Dieter Kunze und Professor Otto-Diedrich Henneemann, die beide eng mit der Institutsgeschichte

verwoben sind. »40 Jahre IFAM – das ist mehr Zeit, als ein Berufsleben dauert. Deshalb arbeitet heute auch niemand mehr im IFAM, der im Gründungsjahr 1968 dabei war«, konstatierte Matthias Busse. Immerhin waren beim Festkolloquium aber ehemalige Mitarbeiter anwesend, die beim Start als »Arbeitsgruppe für angewandte Materialforschung« (AfaM) unter Werkstofftechniker Professor Alexander Matting in Bremen-Lesum dabei waren.

Dem Institutsleiter gelang es, die wechselvolle Geschichte und Entwicklung des IFAM anschaulich zusammenzufassen. Wichtig sei vor allem der Wechsel in den Technologiepark und damit in die Nähe der Universität gewesen – denn »es gäbe das IFAM in seiner heutigen Form nicht, wenn nicht die Universität Bremen das Institut seit Mitte der 1990er-Jahre begleitet hätte«, ist sich Busse sicher. Nicht zu vergessen sei dabei aber auch, dass das IFAM durch die Politik stets wohlwollend begleitet wurde: »Wir arbeiten hervorragend mit den senatorischen Behörden zusammen.«

Anerkennung aus Bremen und München

Das hörte Renate Jürgens-Pieper, Senatorin für Bildung und Wissenschaft in Bremen, natürlich gerne. Beim Festkolloquium knapp ein Jahr im Amt, hatte sie bereits sehr viel mit dem Bremer Fraunhofer-Institut zu tun – und das durchweg aus angenehmen Anlass. Die Senatorin hatte



Prof. Dr. Ulrich Buller.



Prof. Dr. Jürgen Klenner.

die Akten gewälzt: »Die Entwicklung der Drittmittel und des Gesamtetats des Instituts sind beachtlich«, so Jürgens-Pieper. Auch dem Anstieg der Mitarbeiterzahl in diesem Zeitraum zollte die Senatorin Respekt. »Es ist dem IFAM immer gelungen, sich an zukunftsweisenden Themen auszurichten und den Bedarf der Wirtschaft sowie der Wissenschaft abzudecken«, so Renate Jürgens-Pieper. »Dass es dabei weiterhin auf einem guten Weg ist, dokumentieren beispielsweise das Containerdorf auf dem Institutsgelände und die Entwicklung in Bremerhaven, wo sich das Center für Windenergie und Meerestechnik ganz hervorragend entwickelt – ganz zu schweigen vom Fraunhofer-Innovationscluster ›MultiMat‹, das einen Kern des Bremer Wissenschaftsschwerpunktes Materialwissenschaften bildet!«

»Erfolg durch Wandel« war das Stichwort für Professor Ulrich Buller, Fraunhofer-Vorstand für Forschungsplanung. Er hat das IFAM bislang 24 der 40 Jahre begleitet und die hatten es in sich: »Ich kenne kein anderes Fraunhofer-Institut, das sich so intensiv dem Wandel gestellt hat.« Bei seinem ersten Kontakt 1984 habe man noch mit »Wuchtgeschossen« zu tun gehabt. Später entwickelte sich das Institut von einem Dienstleister für das Verteidigungsministerium zu einem Auftragsforschungsinstitut für die zivile Industrie. Buller berichtete anschaulich von der Aufbauarbeit der Professoren Hennemann und Kunze, von anspruchsvollen Projekten und Außenstellen in Dresden, Teltow, Delaware und kurzzeitig auch Clausthal.

»Was das IFAM kennzeichnet, ist die stetige Weiterentwicklung – trotz harten Wettbewerbs, auch innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft.« Eine Besonderheit in der Geschichte der FhG sei der erfolgreiche Ansatz gewesen, durch die klebtechnische Weiterbildung eine innovative Hochtechnologie in größtmöglicher Breite in der Wirtschaft zu verankern – »ein Modellfall, von dem heute die ganze Fraunhofer-Gesellschaft profitiert.«

Erfolgreiches Tandem: IFAM und Airbus

Wenn es um die erfolgreiche Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft geht, wird das »Bremer Tandem« von IFAM und Airbus oft als Beispiel genannt. Von der fruchtbaren Forschungs- und Entwicklungspartnerschaft zwischen Institut und Flugzeugbauer berichtete IFAM-Kuratoriumsmitglied Professor Jürgen Klenner (Airbus Toulouse), der seit vielen Jahren in Bremen mit dem IFAM zusammenarbeitet. »Wir sind Partner der ersten Stunde und begleiten das IFAM von den Anfängen bis heute«, erinnerte sich Klenner an Zeiten, als Airbus noch Vfw, Vfw Fokker, DASA oder MBB hieß. Er erinnerte auch an schwierige Zeiten – etwa das »Klebdesaster« im Flugzeugbau, als es Ende der 1970er-Jahre zu erheblichen Schäden durch Delaminationen kam. »Die gemeinsame Bewältigung dieser Krise durch das IFAM, Airbus und die Klebstoffhersteller hat zu großen Fortschritten in der Forschung geführt und dem Kleben im Flugzeugbau erst richtig zum Durchbruch



Dr. Dietrich Zeyfang.



Prof. Dr. Rolf Drechsler.

verholfen«, so Klenner. Der damals begonnenen exzellenten Kooperation sei es mit zu verdanken, dass man das Gebiet »Material and Processes« innerhalb des Airbus-Konzerns für den Standort Bremen gesichert habe.

Fraunhofer IFAM und Universität im Wandel

Der langjährige IFAM-Kuratoriumsvorsitzende und ehemalige Leiter des Bremer Mercedes-Benz-Werks, Dr. Dietrich Zeyfang, erinnerte an die besondere Beziehung zwischen der Bremer Wirtschaft und den Wissenschaften in den 1970er-Jahren: »Die AfaM, später das IFAM, gehörte damals direkt zum sogenannten »militärisch-industriellen Komplex«. Als ich mich 1978 in der »linken Uni Bremen« vorstellte, wurde ich dort hinausgeworfen!« Die Konversion des IFAM einerseits und die Veränderung der Universität andererseits – insbesondere durch die Gründung des Fachbereichs Produktionstechnik, in dem heute auch IFAM-Mitarbeiter lehren – habe Wissenschaft und Wirtschaft einander langsam näher gebracht. Mit dem Umzug an die Wiener Straße habe sich die positive Entwicklung dann potenziert: Ob Etat-Verdreifachung, enormer Mitarbeiterzuwachs oder intensive, fruchtbare Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen und Instituten: Das IFAM sei aus Bremens Wissenschaftslandschaft nicht mehr wegzudenken.

Dem konnte Professor Rolf Drechsler, Konrektor für Forschung der Universität Bremen, nur zustimmen. Drechsler bestätigte, dass die Kooperation zwischen IFAM und Universität »mit Leben gefüllt« sei. Mit Blick auf das erfolgreiche Zusammenwirken bei den Anträgen zur Exzellenzinitiative habe sich erwiesen, dass Verbünde dieser Art immer größeren Stellenwert bekämen: »In der Exzellenzinitiative waren nur die Universitäten erfolgreich, die in Clustern mit großen Instituten wie dem IFAM kooperieren.« Der IFAM-Entwicklung habe es sicher gut getan, dass das Institut bei seinem Umzug in den Technologiepark an der Universität eine ausdifferenzierte Forschungslandschaft in Physik, Chemie, Elektro- und Produktionstechnik vorgefunden habe. Auch der Ansatz, die Institutsleiter als Hochschullehrer in die Uni-Strukturen zu integrieren, sei richtig und wichtig gewesen. Dass die Zusammenarbeit noch enger werde, sei fast zwangsläufig – gerade mit Blick auf die nächste Runde der Exzellenzinitiative 2011 habe man noch viel miteinander vor.

40 Jahre Kleben in Bremen

»Das Wissen darüber, woher wir kommen, ist die Basis für den Weg, den wir zukünftig gehen wollen«, war sich Dr.-Ing. Helmut Schäfer, Leiter des Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen, sicher. Er hatte Fotos und Infos aus den ersten Jahren der Institutsgeschichte parat – und stellte eine Konstante fest: »Solange es das IFAM gibt, war



Dr.-Ing. Helmut Schäfer.

immer zu wenig Platz da und demzufolge wurde immer gebaut.« Einstmals standen 1500 Quadratmeter für Forschungszwecke zur Verfügung. Heute ist die vorhandene Fläche mehr als zehnmal so groß und das IFAM wächst beständig weiter. Schäfer sprach über die Standorte Bremen-Lesum und Neuer Steindamm, über Rüstungsforschung, Metallkleben und die Anfänge der klebtechnischen Weiterbildung. Er schlug den Bogen zu den heute aktuellen Aufgabenstellungen wie der Kombination zwischen Kleben und mechanischen Fügeverfahren, dem Kleben von Faserverbundwerkstoffen, neuen Herausforderungen für die Oberflächentechnik und vielem mehr. Sein Fazit: »Aus kleinen Anfängen ist der Institutsteil Klebtechnik und Oberflächen zum europaweit größten unabhängigen Forschungsinstitut auf diesem Gebiet geworden – eng mit der Industrie vernetzt und wirtschaftlich gesund!«

Die Zukunft: Intelligente und leichte Bauteile

Institutsleiter Matthias Busse blieb es vorbehalten, in die Zukunft zu schauen. »Wir machen uns intensiv über bestehende Trends Gedanken. Unsere künftige Entwicklung geht hin zu den Themen, die die Menschen bewegen: Energie, Sicherheit, Umwelt, Gesundheit, Kommunikation und Mobilität.« An Beispielen aus der Automobilindustrie verdeutlichte Busse, dass die Komplexität von Produkten extrem zugenommen habe. Die Entwicklung gehe zu leichten, intelligenten Systemen –

beim Auto zum Beispiel in Richtung »sicher und sauber«. Zu bewerkstelligen sei das durch »multi material design«, also durch das Fügen differenzierter Werkstoffe; diesen könne zudem durch die Integration von Funktionen eine »Intelligenz« verliehen werden. Die Zukunft gehöre »führenden Bauteilen, die technischen Schmerz signalisieren« – beispielsweise bei Offshore-Windkraftanlagen. Durch die Integration in leistungsfähige Netzwerke sei das IFAM für die Zukunft gut aufgestellt. Neue Anknüpfungs- und Entwicklungspunkte liegen für Busse an den Rändern klassischer Wissenschaftsfelder; in Kooperation mit Universitäten und anderen Instituten werde sich das Fraunhofer IFAM in dieser Richtung weiterbewegen. Wichtigster Erfolgsfaktor – und hier schloss sich der Kreis des Festkolloquiums – sei aber immer wieder der Mensch: »Wir brauchen auch zukünftig zahlreiche motivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die mit Begeisterung hier arbeiten!«

MultiMaT-Eröffnungsfeier im Bremer Rathaus – mit Freude, Informationen und Zuversicht



Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse.

Diese Eröffnung des Innovationsclusters »Multi-funktionelle Materialien und Technologien« (MultiMaT) wird vielen Beteiligten sicherlich in Erinnerung bleiben: Im festlichen Ambiente des Bremer Rathauses trafen sich am 22. April 2008 mehr als 200 Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft, um das Cluster auf den Weg zu bringen. Eine Veranstaltung, die sich nicht in Grußworten erschöpfte – es wurde auch konkret über das informiert, was in den kommenden Jahren im Innovationscluster bewegt werden soll. Bei der gelungenen Festveranstaltung in der Oberen Rathauhalle hatten die Vertreter der wichtigsten Beteiligten das Wort. Sie äußerten nicht nur Freude über die Einrichtung des Innovationsclusters, sondern gaben durch Präsentationen und ein moderiertes Expertengespräch auch gleich anschauliche Einblicke in die künftige Kooperation von Wissenschaft und Wirtschaft.

Ob bei der Festveranstaltung oder der kurz zuvor durchgeführten Pressekonferenz, mit der die breite Öffentlichkeit über das Innovationscluster »MultiMaT« und seine Ziele informiert wurde: Stets wurde der Gewinn für die Wirtschaft und Wissenschaft Bremens und der Metropolregion Bremen-Oldenburg in den Mittelpunkt gestellt. Schließlich wurde mit MultiMaT an diesem Tag das erste und einzige norddeutsche Innovationscluster unter insgesamt 14 Einrichtungen dieser Art in Deutschland gestartet. Die Kosten von 8,1 Millionen Euro für zunächst vier Jahre teilen sich die Fraunhofer-Gesellschaft, die beteiligten Unternehmen und das Land Bremen. Für Bürgermeister Jens Böhrnsen ist

der finanzielle Anteil des Landes, der aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) der Ressorts Wirtschaft und Bildung/Wissenschaft kommt, gut angelegt: »Das Innovationscluster passt hervorragend in unsere Strategie, Bremen und Bremerhaven zu einem der führenden Technologiestandorte in Deutschland zu machen. Nach unserer Rechnung liegen wir dabei im Moment auf Rang 11. Mit MultiMaT sollte es uns gelingen, unter die ersten Zehn zu kommen!«

»Die Stärken stärken« mit MultiMaT

Renate Jürgens-Pieper, Senatorin für Bildung und Wissenschaft, freute sich über die gute Zusammenarbeit aller Beteiligten, »um das hinzubekommen.« Dass man eines von 14 Clustern in Deutschland im Land habe, mache sie stolz – und es passe exakt in die Strategie ihres sowie des Wirtschaftsressorts, im Land Bremen »die Stärken zu stärken.« Jürgens-Pieper freute sich, dass die Einrichtung des Innovationsclusters auch eine Auszeichnung für das IFAM bedeute – »denn das ist ein Spitzen-Institut!« In Vertretung von Wirtschaftsminister Ralf Nagel zeigte sich auch Staatsrat Dr. Heiner Heseler hocherfreut über die MultiMaT-Ansiedlung – wohl wissend, dass namhafte Einrichtungen wie die am Cluster beteiligten Firmen Airbus, Daimler, Hella Fahrzeugkomponenten, ThyssenKrupp Krause, OHB System und viele mehr schon länger erfolgreich mit Forschungsinstituten in Bremen und Bremerhaven zusammenarbeiten. Diese Kooperationen im Alltag hätten den Boden für ein Innovationscluster wie MultiMaT in der »Hauptstadt der Materialwissenschaft« überhaupt erst bereitet.

Professor Ulrich Buller machte als Vorstand der Forschungsplanung der bei den Innovationsclustern federführenden Fraunhofer-Gesellschaft erst einmal klar, warum man sich 2005 im »Pakt für Forschung und Innovation« mit der Bundesregierung unter anderem für die Schaffung dieser Einrichtungen stark gemacht hatte. »Man kennt Schwarzwalduhren oder Plauener Spitzen. Seit Jahrhunderten gibt es schon Regionen, die ganz besondere Stärken haben. Das greifen wir mit den Innovationsclustern auf und entwickeln es weiter.« Weil Bremen einerseits ausgesprochene Stärken im Fahrzeug-, Raumfahrt-, Flugzeug-, Schiff- und

Windenergieanlagenbau samt verbundener Zulieferindustrie habe, andererseits aber auch in den Universitäten und Forschungseinrichtungen eine hohe Kompetenz bei den Werkstoffen und Prozessen aufweise, biete sich ein materialwissenschaftliches Innovationscluster nachhaltig an. Ganz besonders freute sich Professor Buller für das IFAM, dass dieses Institut MultiMaT koordiniert: »Das ist ein weiterer Erfolg für das Institut, das sich an diesem Standort hervorragend entwickelt hat!«

Anschauliches Beispiel: Der menschliche Zahn

IFAM-Leiter Professor Matthias Busse sah keinen Grund, dieser Einschätzung zu widersprechen. Er hatte ein auch für Laien nachvollziehbares Beispiel parat, um die Inhalte von MultiMaT zu verdeutlichen: den menschlichen Zahn. Dieser wird mechanisch extrem beansprucht und müsste viel größer sein, um die hohen Dauerbelastungen auszuhalten – doch seine Eigenschaft, zu fühlen und im Schadensfall einen »Alarm« zu senden, lasse ihn klein und schlank über Jahrzehnte seine Aufgabe erfüllen. Auch technische Bauteile »fühlen« zu lassen, sei das Ziel von MultiMaT: »Das defekte Getrieberad oder das angeknackste Rotorblatt einer Offshore-Windenergieanlage melden dann über integrierte Sensoren selbst, wenn ein Schaden vorliegt.« Professor Busse stellte mit einer anschaulichen Präsentation die zunächst fünf Pilotprojekte vor, in denen die Partner aus Wissenschaft und Industrie eng zusammenarbeiten.

Für die Wirtschaft des Landes freute sich Dr. Matthias Fonger, Hauptgeschäftsführer der Handelskammer, auf die kommenden Jahre der Kooperation. »Solch eine Zusammenarbeit bringt den Standort langfristig voran. Die Spitzentechnologie in Bremen befeuert auch die wirtschaftlichen Wachstumspotenziale.« Die Initiative falle in eine Zeit, in der durch eine günstige gesamtwirtschaftliche Lage bei vielen Unternehmen wieder Mittel für Forschung und Entwicklung vorhanden seien. Die paritätische Finanzierung des Innovationsclusters mache den »Gemeinschaftsgeist der Zusammenarbeit« am Standort deutlich – eine wichtige Grundlage für das Gelingen der anspruchsvollen Projekte, in denen neueste wissenschaftliche Erkenntnisse schnell in konkrete Produkte umgesetzt werden sollen.



Bürgermeister Jens Böhrnsen.



Von links nach rechts: Dr. Matthias Fonger, Prof. Dr. Ulrich Buller, Bürgermeister Jens Böhrnsen, Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse.

Informative Gesprächsrunde – gespannte Zuhörer

Worum es dabei im Einzelnen geht und wie das Zusammenspiel zwischen den Wissenschaftlern einerseits und den kooperierenden Firmen andererseits funktioniert – das verdeutlichte die informative Diskussionsrunde, die Dr. Matthias Fonger in der Oberen Rathaushalle leitete. Im lockeren Gespräch mit Dr.-Ing. Helmut Schäfer, Leiter des IFAM-Institutsteils Klebtechnik und Oberflächen, Dr. André Walter (Manager Metalltechnologie Airbus Deutschland) und den Geschäftsführern Klaus Müller (WeserWind GmbH Offshore Construction Georgsmarienhütte) und Manfred Meise (Hella Fahrzeugkomponenten GmbH) wurde aufschlussreich über die Inhalte gesprochen, die MultiMaT ausmachen. Das gespannte Zuhören der zahlreichen Anwesenden zeigte, dass diese Art der Vermittlung eine gute Wahl war.

40

Forschen Entwickeln Anwenden

40

Das Institut im Profil



Das Institut im Profil

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

Formgebung und Funktionswerkstoffe, Klebtechnik und Oberflächen.

Der Institutsbereich Formgebung und Funktionswerkstoffe konzentriert sich an den Standorten Bremen und Dresden auf maßgeschneiderte Werkstofflösungen mit optimierten Fertigungsverfahren und Prozessen. Das Spektrum der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegt schwerpunktmäßig im Dreieck Werkstoff–Formgebung–Bauteil. Eine weitere Kompetenz des Institutsteils ist die mikrosystemtechnische Oberflächenstrukturierung und die Integration von Funktionen in Bauteile. Die Leistungen zur Erarbeitung kundenspezifischer Lösungen werden in so unterschiedlichen Branchen wie der Automobilindustrie, der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt, dem allgemeinen Maschinen- und Anlagenbau oder der Elektronikindustrie nachgefragt.

Im Themenfeld der Formgebung stehen Entwicklungen zur wirtschaftlichen und ressourcenschonenden Fertigung von immer komplexer werdenden, teilweise miniaturisierten, Präzisionsbauteilen im Fokus des Interesses. Das Angebot umfasst hierbei neben der Simulation der Formgebungsprozesse auch die technische Umsetzung in die Produktion und die zugehörige Schulung des Personals der Unternehmen. Fertigungsverfahren zur Mikrostrukturierung von Oberflächen finden Anwendung von der Medizintechnik bis hin zur Energietechnik. Innovative gießtechnische Verfahren führen durch die direkte Integration von elektronischen Funktionselementen zu neuen multifunktionalen Bauteilen für verschiedenste industrielle Anforderungen.

Im Mittelpunkt der Werkstoffentwicklungen stehen die Verbesserung der Eigenschaften bestehender Materialien und deren Verarbeitung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Funktionswerkstoffe sowie die Integration von deren sensorischen Eigenschaften in Bauteile. Funktionelle Beschichtungen können direkt auf strukturierten Oberflächen und unterschiedlichsten Materialien erzeugt werden. Die spezifischen Eigenschaften von zellularen Werkstoffen finden eine breite Anwendung im Bereich der Energieabsorption, der

Schallabsorption, der Wärmetauscher oder des Stofftransports. Biomaterialien aus Metall, Keramik oder Polymeren stehen im Mittelpunkt der Entwicklungen für die Umwelt- und Medizintechnik.

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 angeboten.

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.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit betreibt der Bereich Klebtechnik und Oberflächen das Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT.

Kurzporträt und Organigramm

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM wurde 1968 als Arbeitsgruppe für angewandte Materialforschung gegründet und 1974 als Institut in die Fraunhofer-Gesellschaft eingegliedert. Als Vertragsforschungsinstitut mit neuen Schwerpunkten und systematischer Erweiterung entstand eine enge Kooperation mit der Universität Bremen. Die Institutsleiter wurden auf die Lehrstühle im Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen berufen.

Das Institut hat Standorte in Bremen, Bremerhaven und Dresden.

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

Seit 2007 ist Dr.-Ing. Helmut Schäfer Mitglied der Institutsleitung und leitet den Bereich Klebtechnik und Oberflächen.

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute. 15 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,4 Milliarden Euro. Davon fallen 1,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten.

2008 betrug der Gesamthaushalt des Fraunhofer IFAM rund 31,3 Millionen Euro, beschäftigt waren 379 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon 89 Prozent im wissenschaftlich-technischen Bereich.

→ Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse
(geschäftsführend)
Leitung Formgebung und Funktionswerkstoffe

Dr.-Ing. Frank Petzoldt
(Stellvertreter)

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback
Standort Dresden

→ Dr.-Ing. Helmut Schäfer
Leitung Klebtechnik und Oberflächen

Priv.-Doz. Dr. habil. Andreas Hartwig
(Stellvertreter)

Priv.-Doz. Dr. habil. Hans-Gerd Busmann
Standort Bremerhaven CWMT

→ Andreas Heller
Verwaltungsleitung

Das Institut in Zahlen

Haushalt

Der Gesamthaushalt des Fraunhofer IFAM (Aufwendungen und Investitionen) im Jahr 2008 setzte sich zusammen aus den Haushalten der beiden Institutsteile Formgebung und Funktionswerkstoffe sowie Klebtechnik und Oberflächen und dem CWMT.

Das vorläufige Haushaltsergebnis betrug insgesamt 31,3 Millionen Euro. Die einzelnen Institutsteile erreichten nachstehende Ergebnisse:

Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen

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

Formgebung und Funktionswerkstoffe Dresden

Betriebshaushalt (BHH)	3,5 Mio. Euro
eigene Erträge	2,6 Mio. Euro
davon	
Wirtschaftserträge	1,7 Mio. Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	0,9 Mio. Euro
Investitionshaushalt (IHH)	0,3 Mio. Euro

Klebtechnik und Oberflächen Bremen

Betriebshaushalt (BHH)	13,1 Mio. Euro
eigene Erträge	9,9 Mio. Euro
davon	
Wirtschaftserträge	7,0 Mio. Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	2,9 Mio. Euro
Investitionshaushalt (IHH)	1,3 Mio. Euro

Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT

Bremerhaven	
Betriebshaushalt (BHH)	2,8 Mio. Euro
eigene Erträge	2,5 Mio. Euro
davon	
Wirtschaftserträge	0,2 Mio. Euro
Bund/Land/EU/Sonstige	2,3 Mio. Euro
Investitionshaushalt (IHH)	2,7 Mio. Euro

Investitionen

Im Fraunhofer IFAM wurden 2008 Investitionen in Höhe von 5,1 Millionen Euro getätigt. Sie verteilen sich wie angegeben auf die verschiedenen Institutsteile. Die wichtigsten Anschaffungen sind aufgeführt.

Formgebung und Funktionswerkstoffe Bremen (0,8 Mio. Euro)

- Labor-Planetenmischer PMS 0.2
- Applikationstechnik für leitfähige Kunststoffe
- Mini-VERL
- Massenspektrometer GAM 200
- Vertikal-Vibrationsförderer für Schüttgüter
- Induktionsofen

Formgebung und Funktionswerkstoffe Dresden (0,3 Mio. Euro)

- HF-Generator
- Modulares Hochleistungsreometer

Klebtechnik und Oberflächen Bremen (1,3 Mio. Euro)

- C-Bügel-Nietautomat
- Klimaprüfschrank WK3-180/70-UKA
- Beschichtungsanlage Coatema-Deskcoater
- Atmosphärendruck-Plasmapolymerisation-Anlage für ortselektive Schichtabscheidung

Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT (2,7 Mio. Euro)

- zwei Balkenprüfstände
- Coupon Prüfstand
- Messwerterfassungssystem für 90-Meter-Prüfstand

Entwicklung BHH und IHH

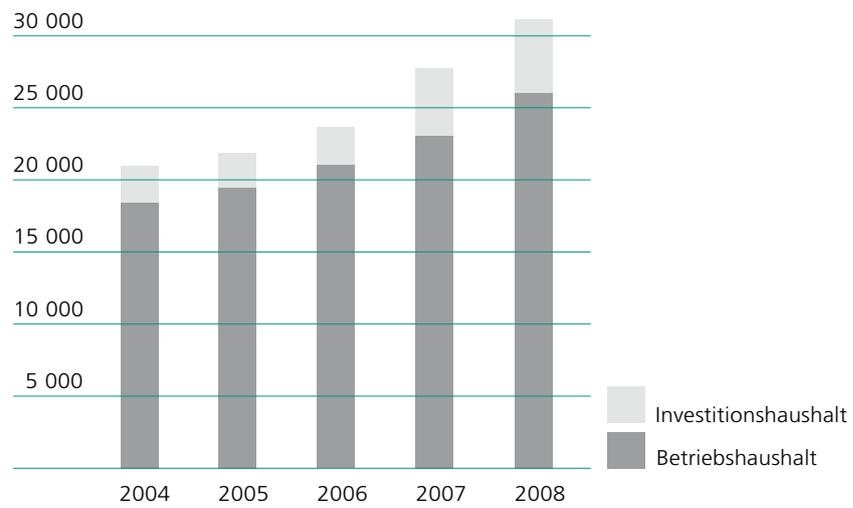


Abb. 1: Aufwendungen (BHH und IHH).

Ertragsentwicklung Betriebshaushalt

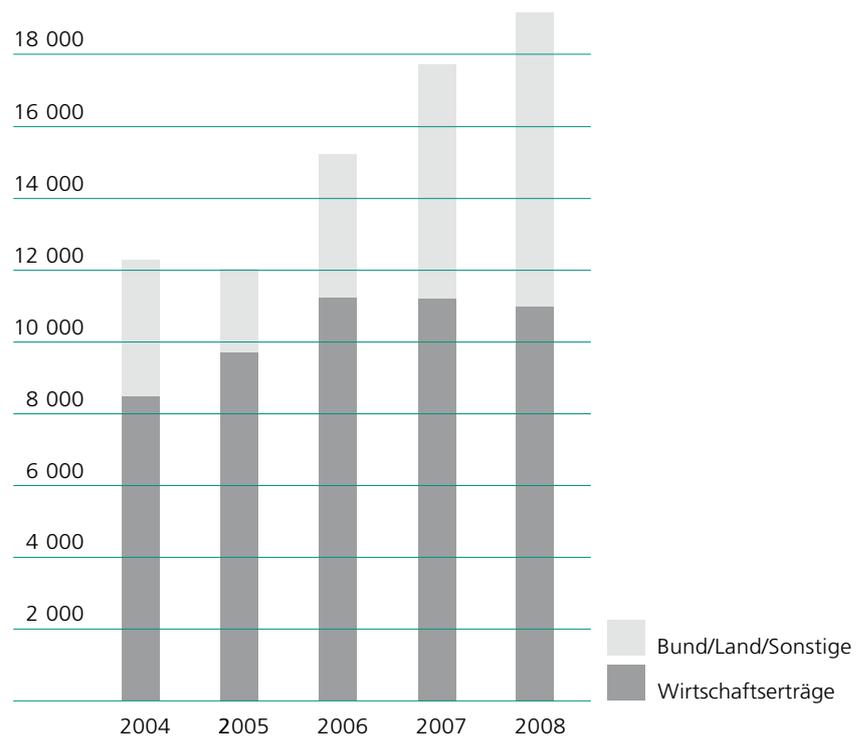


Abb. 2: Erträge (BHH) »IFAM-Gesamt«.

Personalentwicklung

Am 31. Dezember 2008 waren am Fraunhofer IFAM insgesamt 379 Personen (davon 89 Prozent im wissenschaftlich-technischen Bereich) tätig. Im Vergleich zum Vorjahr konnte das Institut bei der Zahl der fest angestellten Mitarbeiter einen Zuwachs von 9 Prozent verzeichnen.

Personalstruktur 2008

Wissenschaftler	161
Technische Mitarbeiter	87
Verwaltung/Interne Dienste und Azubis	41
Doktoranden, Praktikanten und Hilfskräfte	90

Personalentwicklung

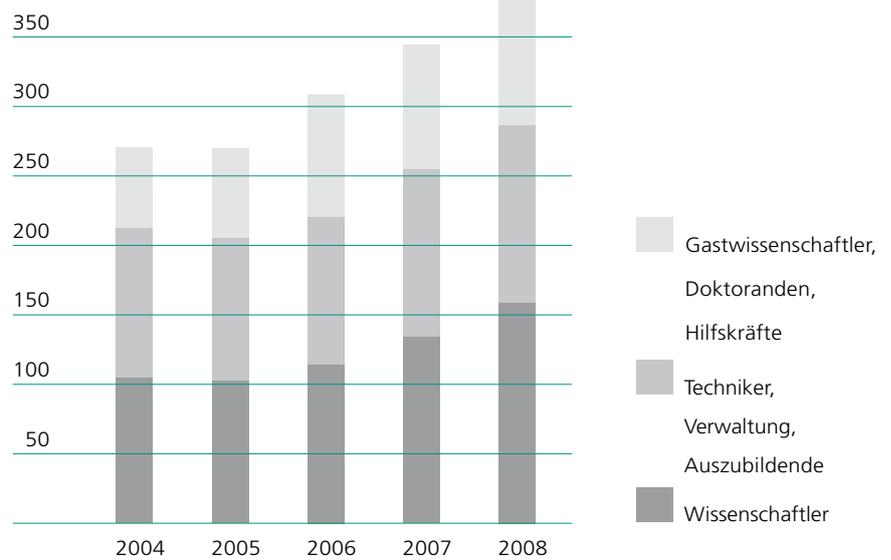
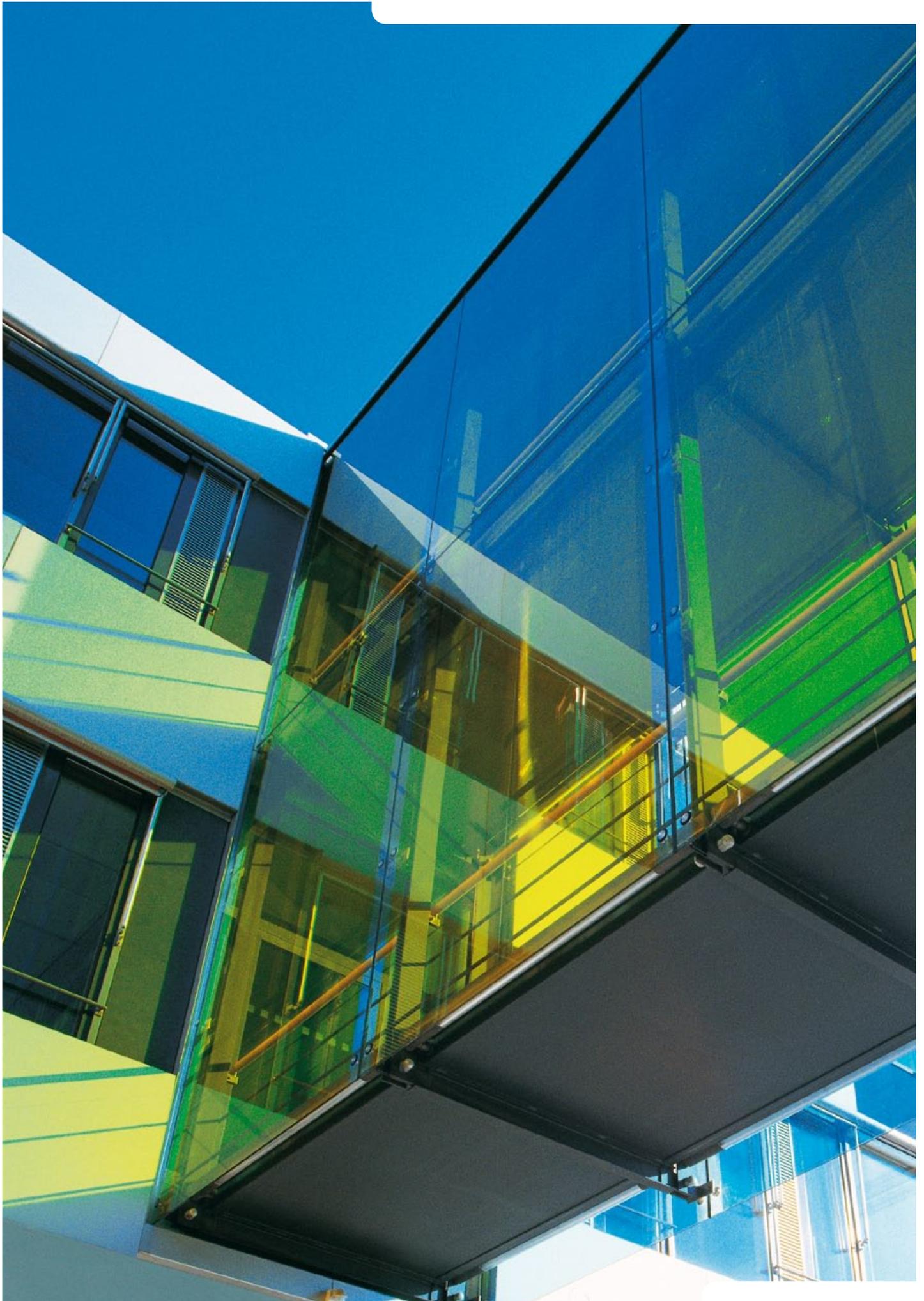


Abb. 3:
»IFAM-Gesamt«.



Das Kuratorium des Instituts

Mitglieder

A. Picker (bis Juni 2008)
Vorsitzender
Henkel Adhesives Technologies
Japan, Tokyo

Prof. Dr. J. Klenner (ab Juni 2008)
Vorsitzender
Airbus S.A.S.
Toulouse, Frankreich

Dr. R. Bacardit
Henkel AG & Co. KGaA
Düsseldorf

K. Dröder
Volkswagen AG
Wolfsburg

Prof. Dr. M. Dröscher
EVONIK Degussa GmbH
Essen

Prof. Dr. O. R. Fischer (bis Juli 2008)
Deutsche Forschungsgemeinschaft
Bonn

Prof. Dr. R. X. Fischer
Universität Bremen
Bremen

M. Grau
Mankiewicz Gebr. & Co.
Hamburg

Dr. S. Kienzle
Daimler AG
Ulm

Dr. J. Kurth
KUKA Roboter GmbH
Augsburg

R. Nowak
Glatt GmbH
Binzen

Staatsrat C. Othmer
Die Senatorin für Bildung
und Wissenschaft der
Freien Hansestadt Bremen
Bremen

Dr. R.-J. Peters
VDI-Technologiezentrum GmbH
Düsseldorf

Dr. R. Rauh
Airbus Deutschland GmbH
Bremen

J. Tengzelius M. Sc.
Höganäs AB
Höganäs, Schweden

C. Weiss
BEGO Bremer Goldschlägerei
Wilh. Herbst GmbH & Co. KG
Bremen

Dr. G. Wolf
VDG Verein Deutscher Gießereifachleute
Düsseldorf

MinRat Dr. R. Zimmermann
Sächsisches Staatsministerium
für Wissenschaft und Kunst
Dresden

Forschung in turbulenten Zeiten

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM blickt erneut auf ein sehr erfolgreiches Jahr zurück – und das in einer deutlich schwieriger werdenden Zeit. Die exzellenten Ergebnisse in allen Instituts-teilen und die gelungene Trendwende im Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe sind das Ergebnis hervorragender Leistungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie des Managements. Das IFAM ist in einer grundsoliden Verfassung und kann sich gut gewappnet den Herausforderungen der Zukunft stellen.

Die Randbedingungen werden in den nächsten Jahren sicher ungünstiger werden. Nach einer langen Phase steten Wachstums hat uns die Krise in der Finanzwelt in eine kritische Situation gebracht. Es bleibt zu hoffen, dass die Turbulenzen nicht zu sehr auf die Wirtschaft und den industriellen Bereich sowie die damit eng verbundene Forschung übergreifen. Auswirkungen wie das Einfrieren der Fertigungsraten oder gar das vorübergehende Aussetzen der Produktion sind bereits an der Tagesordnung. Die Politik versucht mit ihren Mitteln gegenzusteuern, um Schlimmeres zu verhindern. Aber es kommt jetzt entscheidend auf die Verantwortlichen in der Wirtschaft an, trotz der widrigen Umstände den Blick nach vorn zu richten und sich »auf die Zeit danach« vorzubereiten. Dabei müssen Forschung und Entwicklung im Vordergrund stehen.

So wie die Umweltkrise und die Globalisierung zeigt uns die Finanzkrise erneut: Es ist entscheidend, Technologien durch Forschung weiterzuentwickeln, um die zukünftigen Herausforderungen zu bestehen. Hier sind wir nicht in einer »virtuellen« Welt, hier werden durch viele gute Ideen und harte Arbeit konkrete Fortschritte erarbeitet zur Ressourcen- und Umweltschonung, zum Erzielen höherer Leistung, zur Verbesserung von Sicherheit und Komfort, zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit. Das IFAM hat hier – und wird hier in Zukunft – einen wesentlichen Beitrag leisten.

Fortschritte in der Technologieentwicklung gibt es nicht umsonst, sie kosten sehr viel Geld. Viel hängt von den Verantwortlichen in Politik und Industrie ab, in schwierigen wirtschaftlichen Zeiten die notwendigen FuE-Investitionen zu tätigen. Aber nur durch sie sichern wir alle unsere Zukunft. Dabei hat es die anwendungsnahe Auftragsforschung mit ihrem vergleichsweise schnellen »return on invest« noch relativ einfach, Auftraggeber zu überzeugen, darin zu investieren. Problematischer ist es da schon in der längerfristigeren Forschung und noch schwieriger in der notwendigen Ausbildung und Förderung des technisch-wissenschaftlichen Nachwuchses. Aber gerade dieses schafft die Voraussetzung für eine langfristig erfolgreiche Entwicklung.

Als Kurator bin ich zuversichtlich, dass das IFAM diese »Schlechtwetterzone« gut durchfliegen kann und sogar noch gestärkt aus der vor uns liegenden Phase herauskommen wird.



Prof. Dr. J. Klenner
Vorsitzender des
Kuratoriums
Airbus S.A.S.
Toulouse, Frankreich.

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute. 15 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,4 Milliarden Euro. Davon fallen 1,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst 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.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunfts-

relevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826), der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich war.

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

Fraunhofer-Materialforschung umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über die Herstelltechnologie im industriennahen 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. Dabei werden experimentelle Verfahren und Methoden der mathematischen Modellierung und Simulation komplementär zueinander gesetzt.

Der Verbund deckt den gesamten Bereich an metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffen ab.

Kernkompetenzen

- Material/Werkstoffentwicklung, -charakterisierung
- Modellierung und Simulation
- Technologieentwicklung (Herstellungs-, Be- und Verarbeitungsverfahren, Prüfverfahren)
- Bewertung des Einsatzverhaltens von Werkstoffen, Bauteilen und Systemen

Geschäftsfelder

- Energie
- Gesundheit
- Mobilität
- Informations- und Kommunikationstechnologie
- Bauen und Wohnen

Ansprechpartner

Verbundvorsitzender:
Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

Stellvertretender Vorsitzender:
Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal

Geschäftsstelle:
Dr. phil. nat. Ursula Eul
Telefon: +49 6151 705-262
ursula.eul@lbf.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

www.werkstoffe-bauteile.de

Mitglieder
Beteiligte Institute: IAP, IBP, LBF, ICT, IFAM, WKI, IKTS, EMI, ISC, ISE, ISI, ITWM (Gast), IWM, IZFP

Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik

Die Adaptronik integriert aktorische und sensorische Funktionen in die mechanischen Lastpfade von Strukturen und verknüpft diese durch regelungstechnische »Intelligenz«. Damit lassen sich adaptive Struktursysteme realisieren, d. h. Strukturen, die sich an veränderliche Betriebsbedingungen selbstständig anpassen. Die Einbeziehung der Adaptronik in die Entwicklung technischer Systeme ist Basis für die Realisierung einer neuen Klasse intelligenter, zukunftsfähiger Produkte.

Durch die Integration aktiver mechanischer Funktionen können moderne Leichtbaustrukturen vibrations- und lärmarm sowie formstabil und selbstüberwachend ausgeführt werden. Die Adaptronik bietet Optimierungspotenzial besonders in den Bereichen der Fahrzeugtechnik, des Werkzeugmaschinen- und Anlagenbaus, der Medizin, Luft- und Raumfahrttechnik, der Optik und der Verteidigungstechnik.

Dadurch können mechanische Eigenschaften, die Effizienz oder die Leistungsfähigkeit von Systemen verbessert werden. Dazu zählen wirtschaftlicher Materialeinsatz, Funktionserweiterung und Komfortsteigerung und auch Sicherheitsaspekte wie die Optimierung fahrzeugtechnischer Crasheigenschaften oder die Schadenüberwachung.

Geschäftsfelder

- Materialien und Komponenten
- Numerische und experimentelle Methoden
- Elektronik und Regelungstechnik
- Systeme

Ansprechpartner

Verbundvorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka
 Institutsleiter Fraunhofer-Institut für
 Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
 Barthingstraße 47
 64289 Darmstadt

Geschäftsführer:

Dr.-Ing. Tobias Melz
 Fraunhofer-Themenverbund Adaptronik
 Postfach 10 05 61
 64205 Darmstadt
 Telefon: +49 6151 705-236
 Fax: +49 6151 705-214
 info@adaptronik.fraunhofer.de

Mitglieder

Beteiligte Institute: LBF, IFAM, IKTS, EMI,
 IAIS, IIS, IST, ISC, ITWM, IWM, IWU, IZFP

Fraunhofer-Themenverbund Nanotechnologie

Nanotechnologie umfasst heute ein breites Spektrum von neuen Querschnittstechnologien mit Werkstoffen, Bauteilen und Systemen, deren Funktion und Anwendung auf den besonderen Eigenschaften nanoskaliger (< 100 nm) Größenordnung beruhen.

Die Nanotechnologie ist fester Bestandteil unseres alltäglichen Lebens: Zum Beispiel sorgen Nanopartikel in Sonnencremes für den Schutz der Haut vor UV-Strahlung oder verstärken Autoreifen; mit Nanotechnologie werden pflegeleichte und kratzgeschützte Oberflächen erreicht, und ultradünne Schichten sind wesentliche Bestandteile z. B. von Datenspeichern. Die Technologie wird bereits quer durch Branchen und Industriezweige für unterschiedlichste Anwendungen genutzt und ist weltweit für einen Umsatz von 80 bis 100 Milliarden Euro verantwortlich.

Bei der Fraunhofer-Gesellschaft sind fast ein Drittel aller Institute auf diesem Gebiet tätig. Im Themenverbund fokussieren sich die Aktivitäten auf multifunktionelle Schichten, beispielsweise für die Optik, das Design spezieller Nanopartikel als Füll- und Effektstoffe (Biomedizin) sowie neuartige Aktuatoren auf der Basis von Kohlenstoffnanoröhren. Auch Fragestellungen zur Toxikologie und Arbeitssicherheit beim Umgang mit Nanopartikeln werden in nationalen und europäischen Forschungsprojekten behandelt.

Geschäftsfelder (Querschnittstechnologien)

- Nanomaterialien/-chemie
- Nanooptik/-elektronik
- Nanobiototechnologie
- Modellierung/Simulation
- Produktionstechnologien, Handhabung

Ansprechpartner

Verbundvorsitzender und Leiter der Geschäftsstelle:

Dr. Karl-Heinz Haas
 Telefon: +49 931 4100-500
 Fax: +49 931 4100-559
 karl-heinz.haas@isc.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
 Neunerplatz 2
 97082 Würzburg

Stellvertretender Verbundsprecher

Priv.-Doz. Dr. Günter Tovar
 Telefon: +49 711 970-4109
 Fax: +49 711 970-4200
 Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und
 Bioverfahrenstechnik IGB
 Nobelstraße 12
 70569 Stuttgart

Mitglieder

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

Fraunhofer-Themenverbund Polymere Oberflächen (POLO)

Der Themenverbund Polymere Oberflächen (POLO) fasst die Kernkompetenzen von sieben Fraunhofer-Instituten auf dem Gebiet der Entwicklung von polymeren Produkten mit funktionellen Oberflächen, Grenzflächen oder dünnen Schichten strategisch und operativ zusammen und betreibt eine gemeinsame Vermarktung. Dadurch vermittelt er einen deutlich erweiterten Leistungsumfang gegenüber dem Angebot der einzelnen Institute.

Der Themenverbund erarbeitet wesentliche Vorentwicklungsergebnisse und dazugehörige Schutzrechte für Polymerprodukte mit neuen oder entscheidend verbesserten Eigenschaften. Die bereits entwickelten Produkte in den Arbeitsgebieten »Flexible Ultra-Barrieren« und »Antimikrobiell wirksame Polymeroberflächen« zielen auf Anwendungen in der optischen und optoelektronischen Industrie, der Verpackungswirtschaft, der Textilindustrie, der medizinischen Industrie, der Automobilindustrie und der Bauwirtschaft ab.

Ansprechpartnerin

Verbandsprecherin und Leiterin der Geschäftsstelle:

Dr. Sabine Amberg-Schwab
 Telefon: +49 931 4100-620
 Fax: +49 931 4100-698
 sabine.ambergschwab@isc.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
 Neunerplatz 2
 97082 Würzburg

Mitglieder

Beteiligte Institute: IAP, FEP, IFAM, IGB, IPA, ISC, IVV

Geschäftsfelder

- Schichten mit Barrierefunktionen gegenüber Gasen und Dämpfen
- Oberflächen mit mechanischen Schutzfunktionen
- Verbunde mit Sauerstoff-Indikatoren und Sauerstoff-Scavengern
- Antistatisch wirksame Beschichtungen
- Oberflächen mit antimikrobiellen Eigenschaften

Fraunhofer-Allianz Photokatalyse

Photokatalytisch aktive Schichtsysteme mit selbstreinigenden, antibakteriellen, bewuchshemmenden oder beschlagsmindernden Eigenschaften stehen im Mittelpunkt der FuE-Aktivitäten der

Fraunhofer-Allianz Photokatalyse. Ziel der Allianz ist die Entwicklung neuer Material- und Schichtkonzepte für leistungsfähigere Photokatalysatoren sowie deren Applikation auf unterschiedlichsten Substraten wie Glas, Kunststoffen und Metallen. Die Kompetenzen der acht beteiligten Institute sind breit gefächert und umfassen: Material-, Schicht- und Prozessentwicklung, Analytik und Messtechnik für die biologische Wirksamkeit sowie für ökotoxikologische Umweltauswirkungen.

Ansprechpartner

Sprecher der Allianz:

Dr. Michael Vergöhl
 Telefon: +49 531 2155-640
 Fax: +49 531 2155-900
 michael.vergoehl@ist.fraunhofer.de

Marketing und Kommunikation:

Dr. Simone Kondruweit
 Telefon: +49 531 2155-535
 Fax: +49 531 2155-900
 simone.kondruweit@ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST
 Bienroder Weg 54 E
 38108 Braunschweig

Mitglieder

Beteiligte Institute: ICT, FEP, IFAM, IGB, IST, ISC, ISE, IME

Geschäftsfelder

- Schaltbare Schichten
- Schichten für Innenanwendungen
- Schichten auf Glas und Keramik
- Schichten auf Kunststoffen
- Analyseverfahren und Wirksamkeitsmesstechnik
- Biologische Untersuchungen und Umweltauswirkungen

Fraunhofer-Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen

In der Allianz Numerische Simulation von Produkten, Prozessen bündeln 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 der Allianz ist es, institutsübergreifende Aufgabenstellungen aufzugreifen und als Ansprechpartner für öffentliche und industrielle Auftraggeber die Interessen der im Verbund zusammengeschlossenen Institute zu vertreten. Insbesondere die Bündelung der Kompetenzen aus dem IuK-Bereich mit dem Werkstoff- und Bauteil-Know-how sowie mit der Oberflächentechnik, Produktionstechnik und Mikroelektronik verspricht innovative Ergebnisse.

Geschäftsfelder

- Numerische Methoden und Softwareentwicklung
- Werkstoffmodellierung und Bauteilsimulation
- Simulation von Fertigungsverfahren und Produktionsprozessen
- Simulation in der Oberflächentechnik, Photonik und Mikroelektronik

Ansprechpartner

Sprecher der Allianz und Leiter der Geschäftsstelle:

Andreas Burbliès
 Telefon: +49 421 2246-183
 Fax: +49 421 2246-77183
 andreas.burbliès@ifam.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
 Wiener Straße 12
 28359 Bremen

Mitglieder

Beteiligte Institute: SCAI, LBF, IFAM, IGD, EAS, IIS/EAS, IKTS, EMI, ILT, IPK, IPA, IPT, FIRST, IST, ISC, ITWM, UMSICHT, IWS, IWM, IWU, IZFP

Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik

Die Reinigung von Oberflächen ist in einer Reihe inhaltlich unterschiedlich ausgerichteter Fraunhofer-Institute Forschungsgegenstand. Kein Institut beschäftigt sich ausschließlich mit der Reinigungstechnik. In der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik werden die Kompetenzen der einzelnen Institute gebündelt, sodass die gesamte Prozesskette der Reinigung angeboten werden kann. Diese umfasst neben unterschiedlichen Reinigungsverfahren die vor- und nachgelagerten Prozesse.

Vorgelagerte Prozesse beschäftigen sich mit Fragestellungen der Prozessanalyse, um Verunreinigungen zu vermeiden oder den Reinigungsaufwand zu vermindern. Nachgelagerte Prozesse sind die Kontrolle des Reinigungserfolgs in der Qualitätssicherung, die Trocknungstechnologie bei nasschemischen Reinigungsverfahren sowie die Entsorgung der Verunreinigung und der Reinigungshilfsstoffe im Rahmen des Umweltschutzes.

Geschäftsfelder

- Bauwerksreinigung
- Reinigung in hygienerelevanten Bereichen
- Reinigung in der Mikrosystemtechnik
- Oberflächenreinigung vor der Beschichtung
- Bauteilreinigung

Ansprechpartner

Sprecher der Allianz:

Dipl.-Ing. Mark Krieg
 Telefon: +49 30 39006-159
 Fax: +49 30 3911037
 mark.krieg@ipk.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
 Pascalstraße 8–9
 10587 Berlin

Mitglieder

Beteiligte Institute: ICT, FEP, IFF, IFAM, IGB, ILT, IPK, IPA, IST, IWS

Fraunhofer-Allianz Bau

Die Bauindustrie hat ein hohes Innovationspotenzial, das die in der Fraunhofer-Allianz Bau zusammengeschlossenen Institute nutzen wollen. Die Fraunhofer-Allianz Bau bietet Bau-Kompetenz aus einer Hand durch integrale Systemlösungen. Die systematische Betrachtung von Gebäuden – vom Werkstoff, Bauteil, Raum, Gebäude bis zur Siedlung – fällt ebenso ins Portfolio der Allianz Bau wie die chronologische Betrachtung eines Gebäudes – der gesamte Lebenszyklus von der Idee bis zum Recycling.

Angefangen bei der Prozesskette des Bauens über Baumaterialien und -systeme bis hin zu Umnutzung und Rückbau von Gebäuden sind Rationalisierungsmöglichkeiten und Optimierungspotenziale vorhanden.

In Zeiten explodierender Energiepreise ist die Energieeffizienz von Gebäuden sowohl für Privat- als auch für gewerbliche Gebäude ein wesentliches Thema. Der Fokus der Allianz Bau geht aber deutlich darüber hinaus. Es gilt Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung und Gesundheitsverträglichkeit des Bauens und Wohnens sicherzustellen und Fragestellungen wie Produkt-, System- und Prozessoptimierung zu beantworten. Die Bauforschung weist Schnittstellen zu den Fraunhofer-Kompetenzen in den Forschungsbereichen Energie, Informations- und Kommunikationstechnik, Werkstoffe und Bauteile, Life Sciences, Produktion, Mikroelektronik sowie Verteidigungs- und Sicherheitsforschung auf.

Ansprechpartner

Sprecher der Allianz:

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer
 Telefon: +49 8024 643-243
 Fax: +49 8024 643-366
 klaus.sedlbauer@ibp.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
 Fraunhoferstraße 10
 83626 Valley/Oberlaindern (Holzkirchen)

Stellvertretung:

Prof. Dr. Peter Elsner
 Telefon: +49 721 4640-401
 peter.elsner@ict.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
 Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
 76327 Pfinztal

Geschäftsführer:

Andreas Kaufmann
 Telefon: +49 8024 643-240
 Fax: +49 8024 643-366
 andreas.kaufmann@ibp.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
 Fraunhoferstraße 10
 83626 Valley/Oberlaindern (Holzkirchen)

Mitglieder

Beteiligte Institute: IBP, EMI, AO, ICT, IFAM, IGB, IMS, IRB, ISC, ISE, LBF, UMSICHT, WKI

Themenfelder

- Produktentwicklungen
- Bauteile, Bausysteme, Gebäude als Gesamtsystem
- Software
- Bauablauf, Bauplanung, Logistik, Baubetrieb, Lebenszyklusbetrachtung eines Gebäudes
- Internationale Projekte, Bauen in anderen Klimazonen

Ziele der Fraunhofer-Allianz Bau

Die Endkunden der Bauindustrie haben steigende Ansprüche an Behaglichkeit, Energieeffizienz, Leistungsunterstützung und Nachhaltigkeit. Die Fraunhofer-Allianz Bau schafft zwischen den beteiligten Instituten jene Synergien, die den Kunden in die Lage versetzen, seine Produkte mit Mehrwert auszustatten. Gemeinsam arbeiten die Fraunhofer-Wissenschaftler an neuen und innovativen Technologien rund um das Thema »Bauen«. Die Fraunhofer-Spezialisten unterstützen dabei Bauunternehmen bei sämtlichen Fragen von der Auswahl der richtigen Planungssoftware bis hin zum Baustoff-Recycling.

Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping

Rapid Tooling und Rapid Manufacturing bieten enorme Erfolgspotenziale für die extrem rasche und effiziente Umsetzung von Produktinnovationen für Prototypen und kleinen Fertigungsserien. Die Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping gilt als größtes interdisziplinäres europäisches Kompetenznetz für High-Speed-Prozesse zur individuellen Produktherstellung aus Metallen, Kunststoffen, Keramiken und anderen Materialien.

Ein breites Kompetenzspektrum der Allianz umfasst relevante Bereiche und Methoden der Entwicklung, Bewertung, Auswahl, Optimierung und Einführung von Produkten und Prozessen zur Erschließung betrieblicher Leistungs- und Wettbewerbspotenziale: Design, Engineering, 3-D-Digitalisierung, Simulation, Prototyping, Tooling, Manufacturing, Repairing, Testing und Quality Management.

Die Allianz entwickelt gemeinsam mit nationalen und internationalen Partnern neue Rapid-Strategien, Konzepte, Technologien und Prozesse zur Verbesserung der Leistungs- und Konkurrenzfähigkeit der KMUs. Sie unterstützt mit fortgeschrittenen Rapid-Methoden und Tools alle bedeutenden Industriebranchen: z. B. Automotive, Luft- und Raumfahrt, Maschinen- und Werkzeugbau, Medizin und Medizintechnik.

Die Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping ist Mitglied im Management der EU-Plattform Rapid Manufacturing in Brüssel und zuständig für die Organisation der Arbeitsgruppe »Deutschland« in der EU-Plattform.

Kompetenzen

- Engineering
 - Entwurf und Entwicklung
 - Integration und Reduktion
 - Simulation
- Technologien
 - Drucktechnik
 - Laserbasierte Verfahren
 - Prozessketten und Folgeverfahren
- Werkstoffe
 - Metalle
 - Keramik
 - Polymere
- Qualität
 - Prozessqualität
 - Produktqualität
 - Qualitätssysteme

Geschäftsfelder

- Rapid for Design / Design for Rapid
- Rapid Engineering
- 3-D-Digitalisierung und Reverse Engineering
- Virtual Reality und Simulation
- Rapid Prototyping
- Rapid Tooling
- Rapid Manufacturing
- Rapid Repairing
- Rapid Testing und Quality Management

Ansprechpartner

Sprecher der Allianz:

Andrzej Grzesiak
 Telefon: +49 711 970-1746
 Fax: +49 711 970-1004
 info@rapidprototyping.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Allianz Rapid Prototyping
 Nobelstraße 12
 70569 Stuttgart

Mitglieder

Beteiligte Institute: IFF, IFAM, IKTS, ILT, IPA, IPT, UMSICHT, IWM, IZM

Fraunhofer Technology Academy

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa und hat die Funktion eines Innovationsmotors für die Wirtschaft. Um eine erfolgreiche Umsetzung von Innovationen in der Wirtschaft zu fördern, setzt die Fraunhofer-Gesellschaft systematisch auf die Komponenten Auftragsforschung für die Wirtschaft, Ausgründung von Unternehmen und den Transfer durch Köpfe. Die Fraunhofer Technology Academy erweitert dieses Spektrum nun um das Instrument professioneller Weiterbildung für Fach- und Führungskräfte.

Das gekonnte Zusammenspiel von Management und Einsatz innovativer Technologien ist heute der Schlüssel zum Erfolg. Mit der Fraunhofer Technology Academy bieten wir qualifizierten Bewerbern die Möglichkeit, sich das Rüstzeug für eine innovationsgeprägte Welt anzueignen. In Kooperation mit exzellenten universitären Partnern können Teilnehmer angesehene Abschlüsse erwerben – von qualifizierten Zertifikaten bis hin zu unterschiedlichen Master-Degrees.

Mit diesem Weiterbildungsangebot trägt die Fraunhofer-Gesellschaft dazu bei, eine neue Innovationskultur in Deutschland zu gestalten. Ziel ist es, Fach- und Führungskräfte zu qualifizieren, damit diese neue, bessere, einzigartige Produkte sowie innovative Verfahren und Dienstleistungen entwickeln.

Die Fraunhofer Technology Academy stellt Wissen aus innovativen Technologiefeldern zur Verfügung, das für die Märkte von morgen entscheidend sein wird. Die enge Verbindung von Forschung und Praxis und die ständige Rückkopplung mit Marktentwicklungen führen zu einem optimalen Zuschnitt der Kurse. Die Fraunhofer Technology Academy konzentriert sich dabei auf die Bereiche Technologiewissen und Technologiemanagement.

Kooperationspartner

Universität St. Gallen und die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen

Ansprechpartner

Fraunhofer-Gesellschaft
Dr. Roman Götter
Telefon: +49 89 1205-1116
roman.goetter@zv.fraunhofer.de
Hansastraße 27C
80686 München

Mitglieder

Beteiligte Institute: Klebtechnisches Zentrum im IFAM, IML, IWS, UMSICHT

Fraunhofer-Netzwerk Windenergie

Die nachhaltige Energieversorgung durch erneuerbare Energien gilt als zentrale Zukunftsaufgabe für das 21. Jahrhundert. Unter quantitativen energie-wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist die Windenergie bei netzgebundenen Großturbinen global von Bedeutung. Bereits heute schon ist die Windenergie wirtschaftlich konkurrenzfähig und hat einen bedeutenden Markt geschaffen.

Das Fraunhofer-Netzwerk Windenergie ist das Portal zu diesem Markt. Als größte Organisation für angewandte Forschung in Europa hat sich die Fraunhofer-Gesellschaft zur Aufgabe gemacht, die Innovationsfähigkeit der Windenergie zu stärken. Von der Windenergieeinspeisung ins europäische Verbundnetz bis zur Betriebsführung einzelner Windkraftanlagen im lokalen Energiesystem, von der Anlagensimulation, -steuerung und -wartung bis zur Entwicklung und Prüfung von Materialien und Komponenten präsentieren Fraunhofer-Institute ein einzigartiges Spektrum an Spitzenforschung und Dienstleistungen.

Entwicklung und Betriebsführung von Windenergieanlagen sowie deren Integration ins Stromnetz sind komplexe Aufgaben. Der Fraunhofer-Verbund Energie hat daher zusammen mit sechs weiteren Fraunhofer-Instituten aus den Bereichen Materialforschung, Betriebssicherheit, Simulation und Leistungselektronik das Fraunhofer-Netzwerk Windenergie ins Leben gerufen. Zusammen bieten zehn Institute ein durchgehendes Kompetenzspektrum für die Auslegung und den Betrieb von Energiesystemen mit angekoppelten Windturbinen.

Im Bereich Forschung und Entwicklung gehören hierzu Vorhersageverfahren für Windenergie auf verschiedenen Zeitskalen, Methoden des Lastmanagements und der Netzauslegung, Algorithmen für Leittechnik und Simulationswerkzeuge sowie zerstörungsfreie Prüfmethode für Anlagenkomponenten.

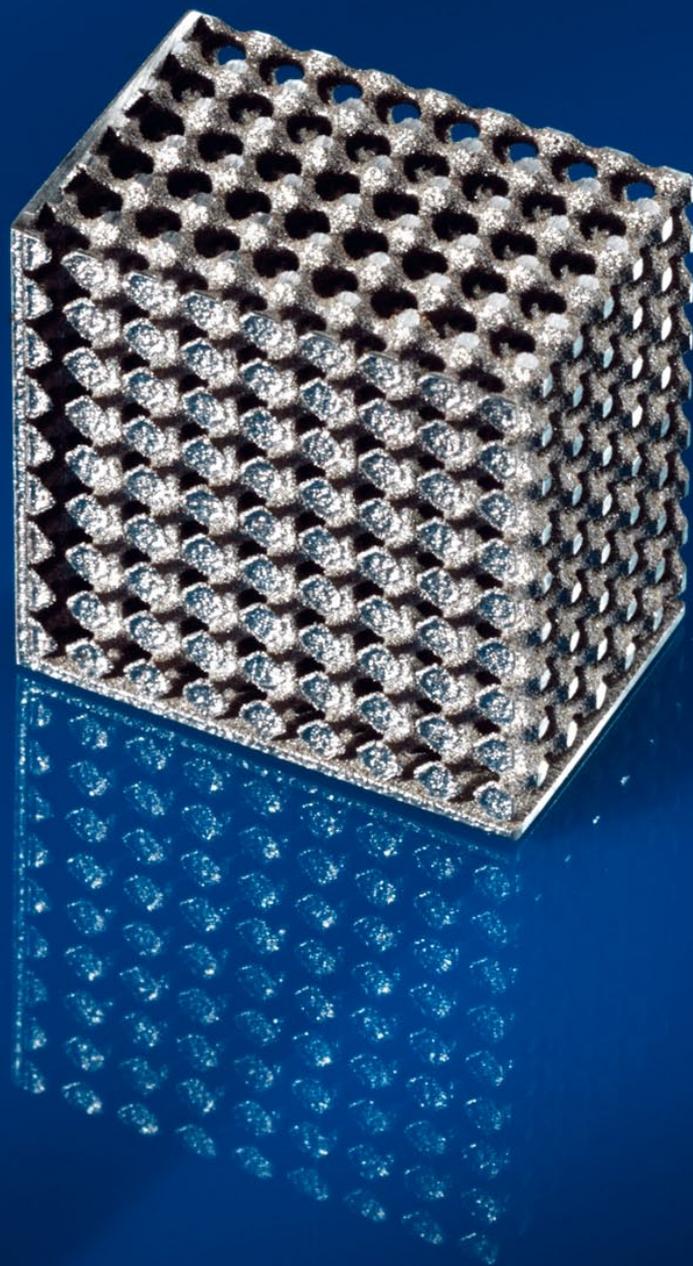
Ansprechpartner

Koordination Fraunhofer-Netzwerk Windenergie:

Dr. Mario Ragwitz
 Telefon: +49 721 6809-157
info@windenergie.fraunhofer.de
 Fraunhofer-Institut für System- und
 Innovationsforschung ISI
 Breslauer Straße 48
 76139 Karlsruhe

Mitglieder

Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT, Fraunhofer-Anwendungszentrum Systemtechnik IITB/AST, Fraunhofer-Institute: IFF, IIS/EAS, ISE, ISI, ITWM, IZFP, WKI



Bereich Formgebung und Funktionswerkstoffe

Ergebnisse Anwendungen Perspektiven



Lasergesinterte Designstrukturen aus Edelstahl.

Kompetenzen und Know-how

Der Transfer von anwendungsorientierter Grundlagenforschung in produktionstechnisch umsetzbare Lösungen oder bauteilbezogene Entwicklungen ist eine Aufgabe, die eine ständige Erweiterung der Wissensbasis und der Methodenkompetenz erfordert. Deshalb hat der kontinuierliche Ausbau von spezifischen Kompetenzen und Know-how des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung – Formgebung und Funktionswerkstoffe – einen hohen Stellenwert. Auf der Basis unserer Kernkompetenzen Pulver- und Sintertechnologie, Gießerei- und Leichtmetalltechnologie sowie Mikro- und Nanotechnologie erarbeiten wir innovative und wirtschaftliche Lösungen für unsere Kunden.

Zunehmend spielen bei der Erarbeitung von komplexen Systemlösungen Netzwerke von Partnern aus der Wirtschaft und Forschungseinrichtungen eine wichtige Rolle. Hier sind, insbesondere an den Schnittstellen der unterschiedlichen Fachrichtungen, Methodenkompetenz und exzellentes Fachwissen gefordert. Die Kompetenz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im IFAM und die Vernetzung mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft sind der Garant 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 der Unterstützung bei der Fertigungseinführung.

Multifunktionsbauteile mit integrierter Sensorfunktion stellen spezifische Anforderungen an die eingesetzten Werkstoffe. Durch Kombinationen verschiedener Werkstoffe in einer Komponente können Eigenschaften lokal maßgeschneidert werden. Diese Materialkombinationen zu gestalten und in Fertigungsprozessen zu beherrschen ist eine wesentliche Aufgabe beim Ausbau der Kompetenz. Die Bandbreite reicht hier von Materialkombinationen Metall-Metall, Metall-Keramik bis hin zu Kombinationen mit CFK.

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. So lassen sich Werkstoffeneigenschaften wie z. B. hart/weich, dicht/porös, Werkstoffe mit sensorischen Eigenschaften oder auch teure und billige Werkstoffe maßgeschneidert in Bauteile integrieren. Besonders interessant sind diese Entwicklungen in der Mikrobauteilfertigung, wo durch solche integrierten fertigungstechnischen Lösungen die Einsparung der Mikromontage erreicht werden kann.

Besonders für die Entwicklung des »INKtelligent printing®« sind Formulierungen von funktionellen Tinten und Pasten sowie Kenntnisse zu deren Applikation auf Komponenten erarbeitet worden. Damit ist es möglich, Bauteile mit Sensorik auszustatten und so z. B. Betriebs- oder Umgebungsbedingungen zu erfassen.

Mit modernster Gießereianrichtung 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 mit Dauerform wird der Kompetenzausbau mit dem Lost-Foam-Gießverfahren kontinuierlich vorangetrieben. Bei der jüngsten Entwicklung des »CASTronics®« wird ein verfahrenstechnischer Ansatz verfolgt, der es den Gießereien erlauben soll, Funktionskomponenten direkt im Gießprozess selbst zu integrieren.

Die Umsetzung von zellularen metallischen Werkstoffen in Produkte 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 kontinuierlich 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 bei 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.

Die Vertiefung der Werkstoffkompetenz in den speziellen Bereichen der Funktionswerkstoffe wie z. B. den Thermal-Management-Materialien, thermoelektrischen und magnetokalorischen Werkstoffen sowie Nanokompositen eröffnen 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 und so robuste Fertigungsprozesse zu entwickeln und die Bauteilherstellung besonders effizient zu gestalten.

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 Themen reichen von der Rapid Manufacturing Prozesskette zur Fertigung individueller metallischer Bauteile bis hin zur gezielten Strukturierung von Oberflächen für das Zellwachstumsmanagement. Die zur Anwendung kommenden Werkstoffe schließen hierbei alle Materialklassen von Kunststoffen über Keramiken bis hin zu Metallen und deren Verbunde ein. Schwerpunkte der neuen Arbeiten liegen in der Material- und Fertigungstechnik sowie der Schnittstelle der Biologie zum Material.

Das große Potenzial der direkten Integration von Funktionen in metallische Bauteile, aber auch auf CFK-Komponenten, wird auf der Basis eines sich ständig erweiternden Know-how am IFAM in der Prozesskette vom Werkstoff zum intelligenten Bauteil erschlossen. Hierzu sollen zunehmend produktspezifische Lösungen für unterschiedliche Branchen erarbeitet werden.

Von wachsendem Interesse sind für die zyklischen Fertigungsprozesse zur Herstellung metallischer Komponenten Fragen der Qualitätskontrolle im Produktionsprozess. Hierzu wird Methodenkompetenz erarbeitet, um selbstlernende Systeme mit dem jeweiligen Fertigungsverfahren zu verknüpfen.

Ein neuer Fokus am Fraunhofer IFAM wird das Thema elektrische Antriebstechnik mit den beiden Schwerpunkten Energiespeicher und Systemprüfung werden. In enger Zusammenarbeit mit Partnern der Metropolregion Nordwest wird an neuen Batteriesystemen gearbeitet sowie eine Testinfrastruktur für komplette elektrische Antriebskonzepte aufgebaut.



Compoundiertes Halbzeug als Strang und Granulat.

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: +49 421 2246-134
frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de

Funktionsstrukturen

Nanokomposite; Nanosuspensionen; nanoporöse Schichten; Funktionsintegration; INKtelligent printing®; Ink-Jet-Printing; Aerosol-Printing (M³D®); Sonderanlagen.
Dr. rer. nat. Volker Zöllmer
Telefon: +49 421 2246-114
volker.zoellmer@ifam.fraunhofer.de

Mikrofertigung

Mikrospritzguss für Metalle, Kunststoffe und Nanokomposite; Mikrostrukturierung; Serienfertigung von Miniaturlauteilen; 2-Komponenten-Spritzguss für Mikroteile; Mikroreaktionstechnik; Mikrofluidik.
Dr.-Ing. Frank Petzoldt
Telefon: +49 421 2246-134
frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de

Leichtbauwerkstoffe und Analytik

Funktionsintegrierter Leichtbau, zelluläre Leichtbaukomponenten; funktionale, offenporöse Metallschaumstrukturen; Aluminiumschaum-Sandwichstrukturen; Produktionsverfahren für Metallschaumbauteile.
Dr.-Ing. Gerald Rausch
Telefon: +49 421 2246-242
gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de

Gießereitechnik

Zink-, Aluminium-, Magnesium-Druckguss; Funktionsintegrierte Gussteile (CAST^{trionics}®) Thixocasting; Aufmusterung von Druckgussformen; Lost-Foam-Verfahren; Sandguss; Simulation; Rapid Prototyping.
Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann
Telefon: +49 421 2246-225
franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de

Biomaterial-Technologie

Verarbeitung und Charakterisierung von Biomaterialien; Spritzguss, Extrusion und Mikrostrukturierung von Metallen, Biokeramiken, Polymeren und Nanokompositen.
Prof. Dr.-Ing. Kurosch Rezwan
Dr.-Ing. Philipp Imgrund
Telefon: +49 421 2246-216
philipp.imgrund@ifam.fraunhofer.de

Dienstleistungszentren und Ansprechpartner

Anwenderzentrum Metallpulverspritzguss

Dipl.-Ing. Lutz Kramer
Telefon: +49 421 2246-217
forming@ifam.fraunhofer.de

Anwenderzentrum Functional Printing

Dr.-Ing. Dirk Godlinski
Telefon: +49 421 2246-230
printing@ifam.fraunhofer.de

Anwenderzentrum Rapid Prototyping

Dipl.-Ing. Claus Aumund-Kopp
Telefon: +49 421 2246-226
rapid@ifam.fraunhofer.de

Anwenderzentrum funktionsintegrierte Gussteile

Dr.-Ing. Jörg Weise
Telefon: +49 421 2246-125
casting@ifam.fraunhofer.de

Dienstleistungszentrum Materialographie und Analytik

Jürgen Rickel (bis 31.12.2008)
Dr.-Ing. Andrea Berg (ab 01.01.2009)
Telefon: +49 421 2246-146
andrea.berg@ifam.fraunhofer.de

Demonstrationszentrum SIMTOP

Numerische Simulationstechniken zur Verfahrens- und Bauteiloptimierung
Andreas Burblies
Telefon: +49 421 2246-183
info@simtop.de

Standort Dresden

Pulvermetallurgie und Verbundwerkstoffe

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kieback
Telefon: +49 351 2537-300
Fax: +49 351 2537-399
Adresse: Winterbergstraße 28
01277 Dresden
www.ifam-dd.fraunhofer.de

Zelluläre metallische Werkstoffe

Fasermetallurgie; hochporöse Strukturen; metallische Hohlkugelstrukturen; offenzellige PM-Schäume; Siebdruckstrukturen; 3-D-Drahtstruktur; Anwendungen für z. B. Leichtbaustrukturen; Crashabsorber; Wärmetauscher; Katalysatorträger.
Dr.-Ing. Günter Stephani
Telefon: +49 351 2537-301
guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de

Sinter- und Verbundwerkstoffe

Hochtemperaturwerkstoffe; Aluminide (NiAl-Schaum); nanokristalline Werkstoffe; Werkstoffe für tribologische Beanspruchungen; Sputtertargets; Pulvermodifizierung; Werkstoffe für die Wasserstoffspeicherung.
Dr.-Ing. Thomas Weißgärber
Telefon: +49 351 2537-305
thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de

Dienstleistungszentrum und Ansprechpartner

Demonstrationszentrum Zelluläre Werkstoffe

Dr.-Ing. Günter Stephani
Telefon: +49 351 2537-301
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 von Metallen; Konzeptmodelle durch 3-D-Printing auch in Farbe
- Kaltkammer-Druckgussmaschine (echtzeitgeregelt, Schließkraft 660 t)
- Warmkammer-Druckgussmaschine (echtzeitgeregelt, Schließkraft 315 t)
- Pilotanlagen zur Herstellung von Metallschaumbauteilen
- 2-Komponenten-Spritzgussmaschine
- Mikrowellenanlage
- Siebdruckmaschine
- Modellfertigung Lost-Foam-Verfahren
- Spark-Plasma-Sinteranlage (bis 300 mm Bauteildurchmesser)
- Styroporfräse
- Heißdrahtschneideanlage

Mikro- und Nanostrukturierung

- Ink-Jet-Printing-Technologien
- Aerosol-Printing-Technologie (Maskless Mesoscale Material Deposition M³D®)
- Mikrofertigungszelle
- Vierpunkt-Spitzenmessplatz
- Tintenteststand – Drop on demand
- Sputtertechnologie

Thermische/chemische Behandlung von Formteilen

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

Werkstoffsynthese und -verarbeitung

- 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)



Doppelschneckenextruder.

- Rascherstarrungsanlage zur Herstellung nano-kristalliner oder amorpher Bänder oder Flakes
- Schnellmischer und Scherwalzenextruder zur MIM-Feedstockherstellung
- Doppelschneckenextruder

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
- Röntgen-Tomograph (160 kV)
- Tensiometer
- Partikelgrößenanalyse
- 2-D-/3-D-Laser-Oberflächen-Profilometrie
- Wärmeleitfähigkeitmessung von Formstoffen
- Gasdurchlässigkeitsbestimmung von Formstoffen
- IR-Laser zur Dichtebestimmung transluzenter Materialien

Rechner

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

Biomaterial-Technologie – ein neues Kompetenzfeld am Fraunhofer IFAM

Motivation

Biomaterialien haben in den vergangenen Jahren in einer Vielzahl von technischen Anwendungen rasant an Bedeutung gewonnen. Von der Medizintechnik über die Umwelttechnik, Mikrotechnik und Sensorik bis hin zur Energietechnik steht die biologische Wechselwirkung von Materialien mit ihrer biologischen Umgebung zunehmend im Fokus. Der Bedarf an neuen Materialien, Prozessen und technischen Systemen mit besonderer Berücksichtigung von biologischen Funktionen wird sich aufgrund der vielfältigen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts weiter verstärken. Die zur Anwendung kommenden Werkstoffe schließen hierbei alle Materialklassen von Kunststoffen über Keramiken bis hin zu Metallen und deren Verbunde ein. Basierend auf den bestehenden Kompetenzen des Bereichs Mikrofertigung wird sich das neue Kompetenzfeld Biomaterial-Technologie mit der Entwicklung von Werkstoffen, Fertigungsverfahren und Systemkonzepten im Bereich der Biomaterialien befassen. Die Grundkompetenzen in der Fertigung von Kleinstbauteilen und mikrostrukturierten Oberflächen aus Metallen und Kunststoffen durch Mikrospritzgießen wird in der Neuausrichtung gestärkt durch eine enge Kooperation mit der Arbeitsgruppe Biokeramik an der Universität Bremen. Diese bringt eine breite Expertise zur Verarbeitung und zum Einsatz keramischer Werkstoffe in der Medizin- und Umwelttechnik ein. Durch die enge Zusammenarbeit und damit einhergehende weitere Verstärkung des Teams im Bereich Biomaterial-Technologie wird die bestehende fertigungstechnische Kompetenz hinsichtlich des Verständnisses der Wechselwirkungen von Werkstoffen mit ihrer biologischen Umgebung umfassend erweitert.

Aktuelle Projektbeispiele

Die neue Ausrichtung des Kompetenzfelds hin zur Biomaterial-Technologie geschieht auf Grundlage einer breiten Erfahrung in der Werkstoff- und Fertigungstechnik, die bereits in verschiedenen Projekten mit Anwendungsbereich Medizin- und Umwelttechnik gewonnen wurde. Beispielhaft sollen hier zwei aktuelle Entwicklungsprojekte aus der Mikrofertigung vorgestellt

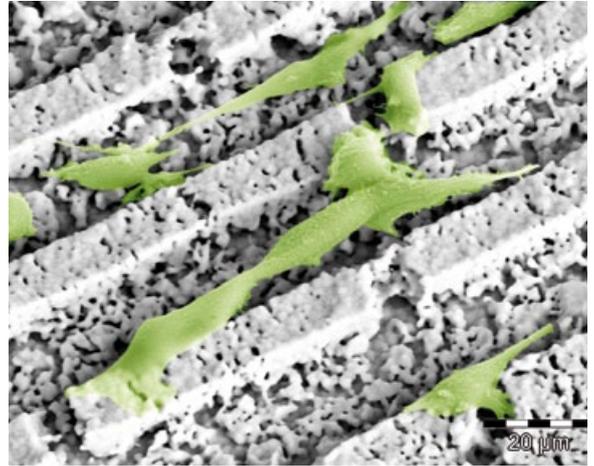


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Knochenzellen in keramischen Mikrokanälen zur Untersuchung von neuartigen Knochenersatzmaterialien (Fachgebiet Biokeramik, Universität Bremen).

werden, die bereits die neue Ausrichtung auf die zukünftigen Arbeitsbereiche widerspiegeln.

Funktionalisierung von Implantatoberflächen durch kombinierte Mikro- und Nanostrukturierung

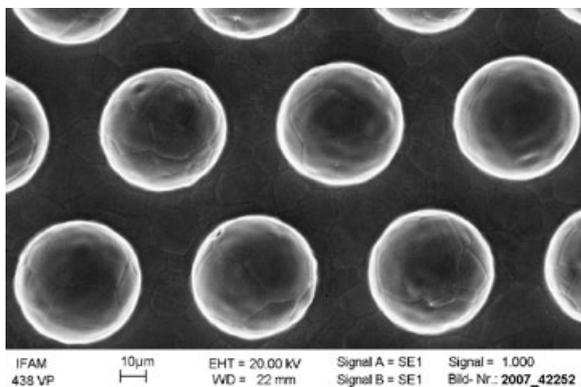
Ziel des Projekts »Nano Metal Injection Moulding for the Functionalisation of Metal Surfaces« ist die Entwicklung eines innovativen Fertigungsverfahrens zur integrierten Fertigung funktionaler mikro- und nanostrukturierter Oberflächen. Der neue Prozess basiert auf dem Metallpulverspritzgießverfahren (MIM), bezieht aber den Einsatz von Nanopulvern sowie definierte neue Sinterstrategien für biokompatible Werkstoffe im Hinblick auf die Anwendung als Implantate ein. Damit soll ein neuer und kostengünstiger Serienfertigungsprozess für bioaktive metallische Implantate entwickelt werden. Die Bioaktivität soll durch eine kombinierte Mikro- und Nanostrukturierung der Oberfläche bewerkstelligt werden.

Für die Mikrostrukturierung der Probenoberflächen wurde eine hexagonale Anordnung von Halbschalen mit Durchmessern zwischen 5 und 50 Mikrometern sowie einem Hemisphärenabstand von 20 Mikrometern gewählt (Abb. 2a). Als Werkstoffe werden der biokompatible Edelstahl 316L und Titan eingesetzt. Zur Herstellung

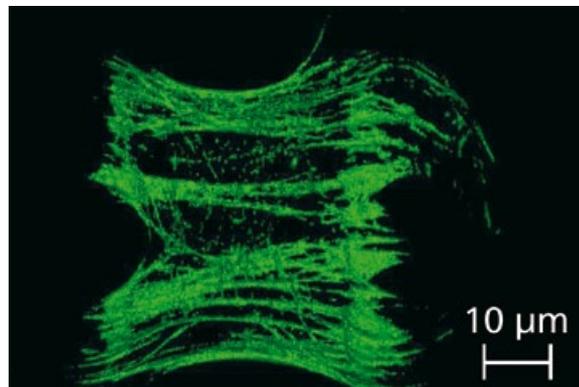
der entsprechenden Formmassen wurde im ersten Projektjahr bereits ein Aufbereitungsverfahren unter Luftabschluss entwickelt, mit dem es möglich ist, spritzgießfähigen Feedstock mit Nanopulveranteilen bis zu 33 % aufzubereiten. Anhand eines Eisenpulvers konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass die Aufbereitung von Feedstock mit 100 % Nanopulver ebenfalls möglich ist. Bedingt durch die Mikrostrukturierung und durch höhere Anteile an Nanopulver wurde auch der Spritzgießprozess durch entsprechende Anpassungen (höhere Abformtemperaturen und Spritzdrücke) für das neue Material optimiert. In den Sinterungen wurden Dichten über 98 % der theoretischen Dichte erreicht. Der positive Einfluss der Nanopulver auf die Ausbildung der angestrebten Gefügeausbildung wurde im Rasterelektronenmikroskop (REM) und Rasterkraftmikroskop (AFM) bestätigt. Mit höherem Anteil an Nanopulvern konnten die Sintertemperaturen reduziert und Substrukturierungen bis hinunter in den Sub-Mikrometer-Bereich erzielt werden. Eine erste Serie von Proben wurde bei unserem Projektpartner, der EMPA Materials Science and Technology in St. Gallen, hinsichtlich Biokompatibilität und Bioaktivität geprüft. Die Biokompatibilität sowie die verbesserte Anhaftung menschlicher Knochenmarkzellen an den Halbschalen-Mikrostrukturen wurden dabei bestätigt (Abb. 2b).

Entwicklung des Metallpulverspritzgießens für Nickel-Titan

Auf dem Gebiet der intermetallischen Werkstoffe wird neben Automobil- und Luftfahrtanwendungen vor allem den intelligenten Werkstoffen (»smart materials«) ein hohes zukünftiges Anwendungspotenzial attestiert. Der bekannteste Vertreter dieser Werkstoffklasse, Nickel-Titan (NiTi), kann je nach Zusammensetzung und Vorbehandlung als superelastisches oder als Formgedächtnismaterial vorliegen. NiTi wird für verschiedene Aktuatoranwendungen bereits in Form von Drähten, Rohren oder dünnen Blechen industriell eingesetzt. Im Projekt NiTiBiT (Nickel-Titanium for Biomedical and Transport applications) werden nun auch pulvermetallurgische Fertigungsprozesse hinsichtlich ihrer Eignung für eine kostengünstige und nachbearbeitungsarme Herstellung kleiner, komplexer Komponenten untersucht. Das Projekt ist Teil des europäischen Network of Excellence »Knowledge-based multicomponent materials for durable and safe performance (KMM)« mit einem Konsortium aus 37 internationalen Partnern. Aufgabe des IFAM innerhalb des Projekts ist es, das Mikro-Metallpulverspritzgießen (μ -MIM) zur Herstellung filigraner Komponenten aus NiTi zu entwickeln. Dabei wird die gesamte Prozesskette von der Pulverauswahl und -aufbereitung über die Entbinderungs- und Sintertechnik bis hin zur



a)

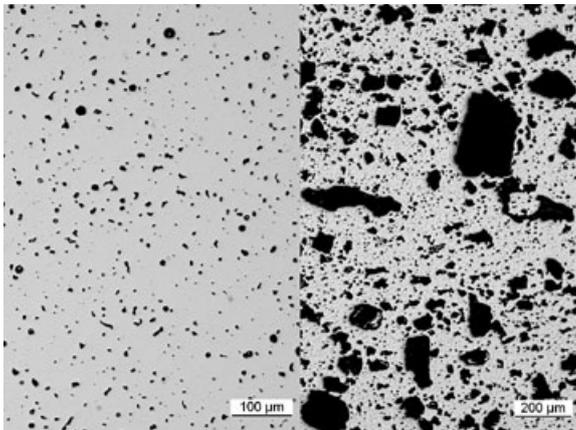


b)

Abb. 2: a) REM-Aufnahme der mikrostrukturierten Oberfläche aus Edelstahl zur Entwicklung neuer Implantate; b) Anhaftung von menschlichen Knochenmarkzellen an den Hemisphären aus der Vogelperspektive; Quelle: EMPA.



a)



b)

Abb. 3: Durch MIM hergestellte Proben aus superelastischem Nickel-Titan: **a)** Mikrozugprobe und Dichtungselement-Demonstratoren, die zu vollständiger Dichte gesintert wurden; **b)** Schliff einer dicht gesinterten und hoch porösen Probe im Vergleich.

Charakterisierung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften betrachtet. Eine wesentliche Herausforderung ist dabei, die den superelastischen bzw. den Formgedächtniseffekt bestimmende Phasenumwandlungstemperatur von Martensit zu Austenit reproduzierbar einzustellen. Die am IFAM erfolgten Entwicklungen haben im Laufe des Projekts zur Entwicklung eines Demonstrators geführt, der im Automobil als Dichtungselement eingesetzt werden soll (Abb. 3a). Parallel dazu wurde ein auf Platzhaltermethoden basierender Prozess zur Herstellung von porösem NiTi durch MIM entwickelt. Die Abbildung 3b zeigt exemplarisch eine Gegenüberstellung von dicht gesintertem und porösem Gefüge. Die sich damit ergebende Möglichkeit, komplex geformte Bauteile mit hoher Porosität herzustellen, eröffnet die Chance, beispielsweise gezielt mechanische Eigenschaften von Knochen einzustellen, die einen Einsatz des Werkstoffs als Knochenersatzmaterial ermöglichen können. Die entsprechenden weitergehenden Entwicklungen, zum Beispiel das Einstellen reproduzierbarer Porositäten, die Entwicklung und Applikation von Beschichtungen sowie die Charakterisierung und Optimierung der Biokompatibilität stellen auch über die Fragestellungen dieses Projekts hinausgehende Entwicklungsaufgaben dar, die in neuen Projekten weiter vorangetrieben werden sollen.

Neue Anwendungsgebiete

Das neue Kompetenzfeld Biomaterial-Technologie wird mit seiner Ausrichtung vielfältige Anwendungsgebiete ansprechen, in denen die Ausstattung von Werkstoffen und Komponenten mit biologischen Funktionen sowie die fertigungstechnischen Aspekte von entscheidender Bedeutung sind (Abb. 4). So besteht z. B. bedingt durch den demographischen Wandel in den Industrieländern schon heute ein dringender Entwicklungsbedarf im Bereich innovativer Materialien und Fertigungsverfahren für die Medizin- und Implantattechnik. Mit der neuen Aufstellung des Kompetenzfeldes besteht nun die Möglichkeit, neben den Material- und Prozessentwicklungen für alle Werkstoffklassen auch die zelltechnischen Untersuchungen der entwickelten Bauteile aus einer Hand anzubieten.

Auf Seiten der Fertigung werden die Themen Miniaturisierung von Komponenten und Mikrostrukturierung von Oberflächen weiterhin eine zentrale Rolle spielen. So können durch innovative Material- und Prozessentwicklungen zum Beispiel mikrofluidische Systeme, wie sie für Diagnostik- bzw. Lab-on-a-Chip-Systeme notwendig sind, kostengünstig in Serie produziert werden. Im Hinblick auf Anwendungen in der Umwelt- und Energietechnik sind vielfältige Fragestellungen hinsichtlich der Gestaltung von Grenzflächen zwischen Sensor- oder Filterwerkstoffen und der biologischen Umgebung wie z. B. Zellkulturen oder Meereswasser zur Entwicklung effizienterer Systeme zu adressieren. In der Umwelttechnik ist das sogenannte Biofouling (Verschmutzung von Materialoberflächen durch biologische Moleküle oder Organismen) eine wichtige industrielle Herausforderung.

Mit der engen Anbindung zwischen dem Fachgebiet Biokeramik der Universität Bremen und der anwendungsorientierten Forschung am IFAM bietet das neue Kompetenzfeld Biomaterial-Technologie seinen Kunden innovative Werkstoff-, Prozess- und Systementwicklungen auf Basis einer soliden wissenschaftlichen Grundlage an. Es ist somit ein idealer Partner für die schnelle und kompetente Durchführung von Entwicklungsprojekten in direkter Zusammenarbeit mit der Industrie. Nicht zuletzt sind durch die starke Vernetzung der Mitarbeiter, die von institutsinternen Kooperati-

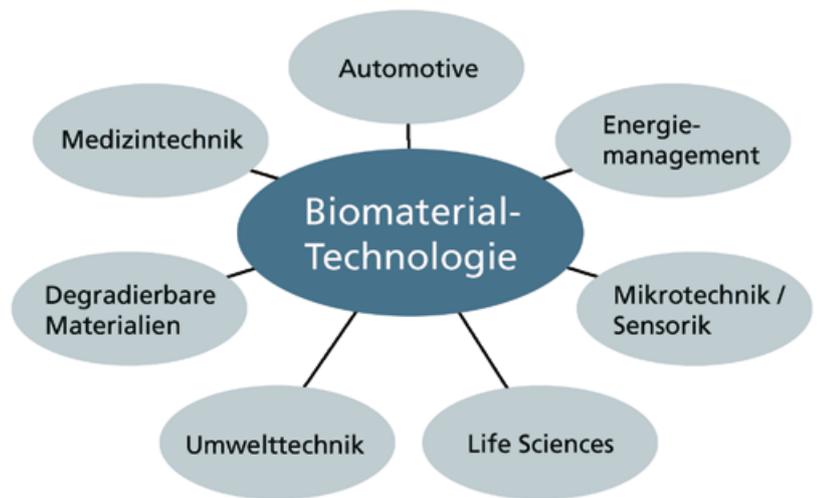


Abb. 4: Anwendungsgebiete der Biomaterial-Technologie.

onen bis hin zu internationalen Forschungs- und Industrienetzwerken reicht, optimale Voraussetzungen für langfristige strategische Verbundprojekte mit Forschungs- und Industriepartnern gegeben.

Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Kurosch Rezwan
Telefon: +49 421 218-4507
kurosch.rezwan@ifam.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Philipp Imgrund
Telefon: +49 421 2246-216
philipp.imgrund@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Bioprinting – biologische Materialien präzise gedruckt



Abb. 1: Fraunhofer-IFAM-Mitarbeiterin beim Verdrucken von biologischen Materialien.

Situation

Ein ganzes Labor auf einem kleinen Chip ist heute in der Genomforschung schon Realität. Gefragt sind solche kompletten Systeme jedoch auch im Bereich der medizinischen Diagnostik. Hierfür sind unter anderem kleine Detektorsysteme notwendig. Die Miniaturisierung eines Sensorfelds ist jedoch nur möglich, wenn biologische Materialien präzise auf Oberflächen appliziert werden können. Diese präzise Applikation der biologischen Materialien ist auch zur Herstellung von kleinen Biochips eine zentrale Voraussetzung. In der Regel sollen möglichst viele experimentelle Untersuchungen auf kleinstem Raum ohne großen personellen Aufwand gleichzeitig und schnell durchgeführt werden. Die Rede ist hierbei von mehreren Hundert bis hin zu Tausenden biochemischer Reaktionen. Diese Charakterisierungen auf molekularer Ebene unter diesen Bedingungen

erfordern Sensorfelder, die eine große Spotdichte aufweisen. Hierzu werden verschiedene Applikationsverfahren eingesetzt, die die gestellten Anforderungen mehr oder weniger gut erfüllen. Ein großes Potenzial zur Erfüllung dieser Anforderungen versprechen hierbei kontaktfreie maskenlose Applikationsverfahren.

Herausforderung

Bei der Herstellung von Biochips, Biosensoren oder auch biokompatiblen und bioaktiven Implantaten spielt die präzise Oberflächenfunktionalisierung eine entscheidende Rolle. Neben der weiter fortschreitenden Miniaturisierung, die auch in diesem Bereich ein zentrales Thema ist, werden zusätzlich höhere Anforderungen an die Oberflächenstrukturierung gestellt. Herkömmliche Applikationsverfahren stoßen

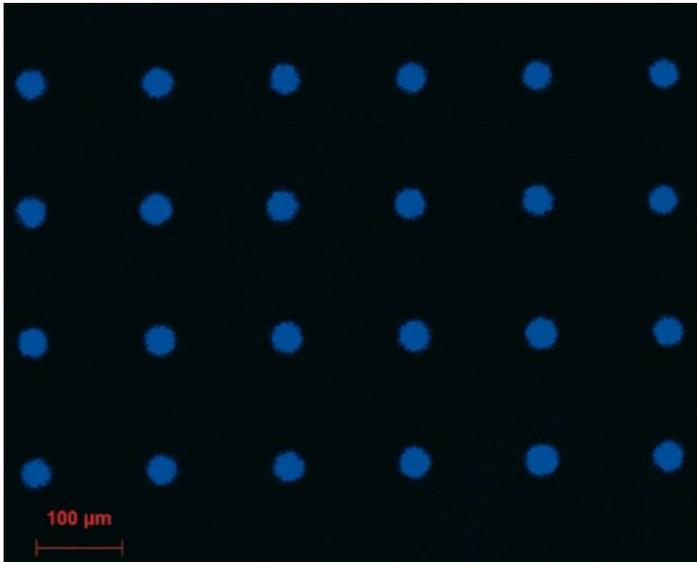
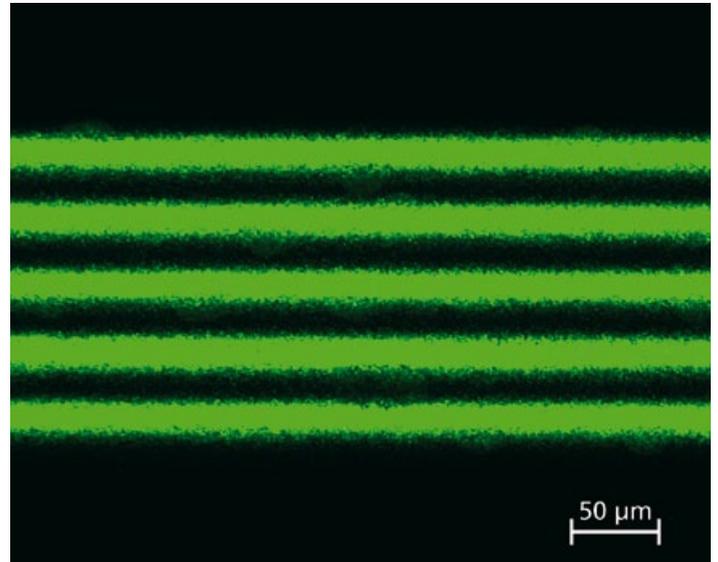


Abb. 2: Gedrucktes DNA-Microarray.

Abb. 3: DNA-Linienstruktur gedruckt mittels M³D[®].

dabei an ihre Grenzen. Deshalb werden aktuell die Printing-Technologien Inkjet-Printing und das Aerosolprinting M³D[®] (Maskless Mesoscale Materials Deposition) in Hinblick auf diese Thematik näher erforscht, da es mit diesen Verfahren technologisch möglich ist, kleine Strukturen schnell und präzise auf verschiedenste Oberflächen strukturiert zu applizieren. Generell besteht somit die Möglichkeit biologi-

sche Materialien, wie beispielsweise Proteine oder DNA, mit diesen Printing-Verfahren zerstörungsfrei auf Oberflächen zu applizieren.

Beim Inkjet-Printing werden kleine Mengen des zu verdruckenden Materials durch kurze Druckstöße aus den Düsen gepresst, woraufhin sich einzelne Tröpfchen bilden. Durch entsprechende Wahl der Druckparameter können die dabei auftretenden Scherkräfte minimiert werden, sodass sich auch biologische Materialien zerstörungsfrei in einzelnen Tropfen verdrucken lassen. Die Tropfengröße kann durch Wahl eines entsprechenden Druckkopfes variiert werden (z. B. 1 Pikoliter oder 10 Pikoliter Tröpfchengröße).

Die Aerosoldrucktechnologie M³D[®] ist ebenfalls ein maskenloses Non-Contact-Druckverfahren. Bei der M³D[®]-Technologie werden biologische Materialien jedoch mittels eines Aerosolstrahls auf Substratoberflächen appliziert. Je nach Art der Aerosolzeugung wirken bei diesem Verfahren teilweise noch geringere Scherkräfte auf die biologischen Materialien als beim Inkjet-Printing. Da die Größe der einzelnen Tröpfchen innerhalb des Aerosolstrahls mit einem Volumen von ca. 60 Femtolitern sehr klein ist, kann mit der M³D[®]-Technologie eine feine Oberflächenstrukturierung mit weniger als 10 Mikrometern Strukturbreite erzielt werden.

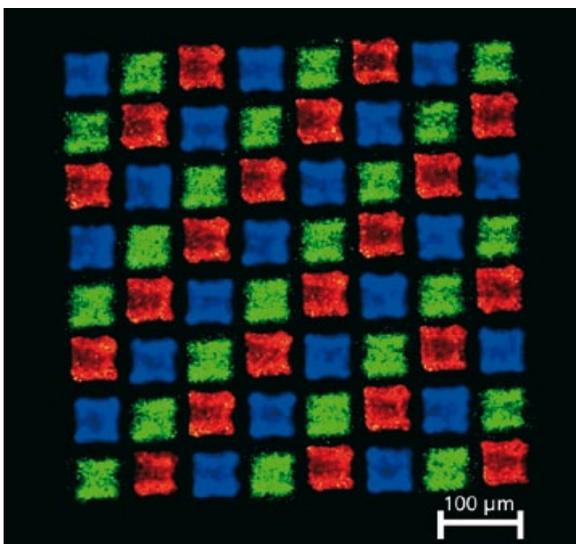


Abb. 4: Gedruckte Struktur aus fluoreszenzmarkierten Proteinen.

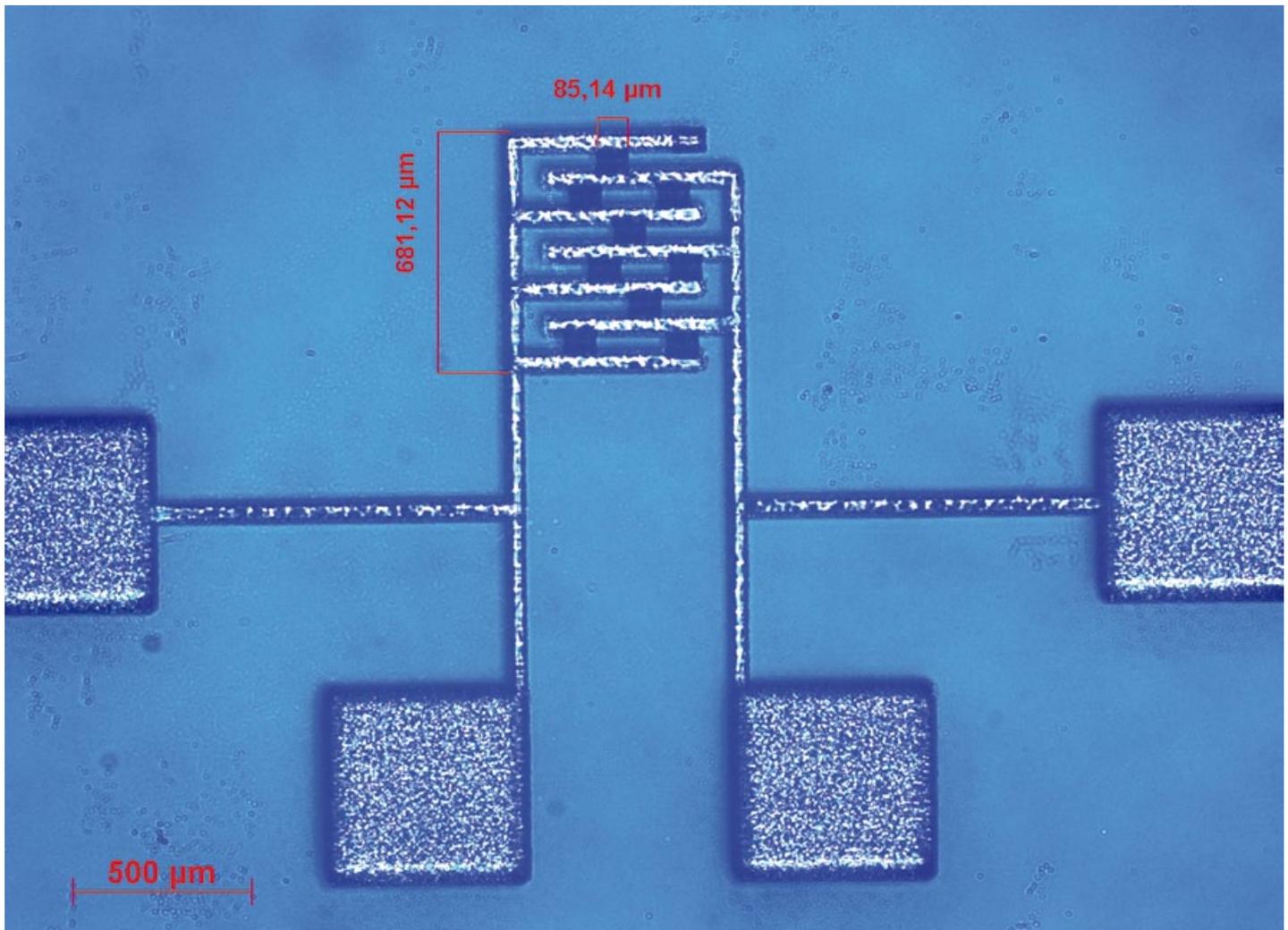


Abb. 5: Funktionalisierte Sensorstruktur.

Forschungspotenzial

Ein großer Vorteil des Inkjet-Printings und vor allem der M³D[®]-Technologie besteht insbesondere darin, dass sich nahezu beliebige Materialien auf verschiedenste Oberflächen präzise applizieren lassen. Die enorme Bandbreite der verdruckbaren Materialien reicht von metallischen bis hin zu biologischen Suspensionen. Aufgrund des angesprochenen Bedarfs hinsichtlich der biologischen Oberflächenfunktionalisierung ist vor allem das Potenzial der M³D[®]- und Inkjet-Technologie bezüglich der Eignung zur Applikation von DNA-, Peptid- und Protein-Suspensionen von großem Interesse.

Aktuelle Arbeiten

Sowohl das Inkjet-Verfahren als auch die M³D[®]-Technologie wurden bezüglich möglicher Anwendungen in der Biosensorik näher untersucht. Dabei wurden zunächst DNA und Proteine mit den Printing-Verfahren verdruckt. Um die applizierten Strukturen besser bewerten zu können, wurden die zu verdruckenden Proteine mit drei verschiedenen Fluoreszenzfarbstoffen markiert. Die Untersuchungen zeigten, dass sich die Proteine mittels M³D[®] gezielt und zerstörungsfrei auf die Substratoberflächen applizieren lassen.

Weiterhin zeigen aktuelle Arbeiten reproduzierbar, dass DNA in einem Größenbereich von 100 bis zu 10 000 Basenpaaren zerstörungsfrei mittels Inkjet-

Printing verdruckt werden kann. Ebenfalls konnte mittels M³D[®] verdruckte DNA, die mit dem pneumatischen Zerstäuber in ein Aerosol überführt wurde, zerstörungsfrei auf die Substratoberfläche appliziert werden.

Mit der Inkjet-Technologie können 27 700 Spots pro Quadratcentimeter bei Verwendung eines 10-Pikoliter-Druckkopfes appliziert werden. Bei Verwendung eines 1-Pikoliter-Druckkopfes konnten sogar Spotdichten von bis zu 40 000 Spots pro Quadratcentimeter erreicht werden. Dagegen erreichen herkömmliche Spotter oft nur Spotdichten von wenigen 1000 Spots pro Quadratcentimeter. Mit der M³D[®]-Technologie können sogar noch höhere Spotdichten als beim Inkjet-Printing erzielt werden.

Die M³D[®]-Technologie wurde zur gezielten Sensorfunktionalisierung eingesetzt. Dazu wurden zunächst Fingerstrukturen mit Silber- bzw. Goldtinte auf Glasobjektträger appliziert. Anschließend wurden kleine Bereiche zwischen der Fingerstruktur mit dem Enzym Meerrettichperoxidase überdruckt. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Enzyme nicht nur die Applikation mittels M³D[®], sondern auch höhere Temperaturen während des Druckprozesses ohne Denaturierung überstehen.

Ausblick

Zukünftig wird die Miniaturisierung auch bei der Herstellung von Biochips und Biosensoren weiter voranschreiten. Verstärkt werden deshalb Technologien zur Oberflächenfunktionalisierung und -strukturierung zum Einsatz kommen, die es ermöglichen, biologische Materialien schnell, präzise und kostengünstig fein strukturiert auf diverse Oberflächen zu applizieren, wie dies für kleinste biologische Sensoren benötigt wird. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass sich sowohl die M³D[®]-Technologie als auch die Inkjet-Technologie zur strukturierten Applikation biologischer Materialien eignen. Beide Technologien besitzen das Potenzial, um den Anforderungen vor allem in Bezug auf die schnelle kostengünstige Herstellung von Biosensoren und Microarrays gerecht zu werden, die insbesondere in der Diagnostik zum Einsatz kommen. Die vorgestellten Drucktechniken bieten somit die Möglichkeit, sowohl den Sensor selbst direkt auf verschiedene Oberflächen zu applizieren als auch die benötigten Sensormoleküle zu verdrucken.

Ansprechpartner

Dr. Ingo Wirth
Telefon: +49 421 2246-232
ingo.wirth@ifam.fraunhofer.de

Dr. Ingo Grunwald
Telefon: +49 421 2246-630
ingo.grunwald@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Design und Herstellung biomimetischer Werkstoffe



Abb. 1: Proximaler Femur eines menschlichen Oberschenkels mit gradierter Knochen-schwammstruktur (Spongiosa); (Foto: Fraunhofer ILT).

Ausgangssituation

Materialstrukturen, die nach dem Vorbild des Knochenschwamms aufgebaut sind, bezeichnet man als biomimetische Werkstoffe. Seit 1981 gibt es sogenannte Spongiosametalle, die mit Zellgrößen zwischen 0,5 und 5 Millimetern und einem Oberflächenöffnungsgrad von bis zu 70 Prozent zum Beispiel für Hüftimplantate eingesetzt werden. Diese Spongiosametalle wurden gusstechnisch hergestellt und verfügten über keine Gradierung, wie sie beim natürlichen Knochenschwamm zu beobachten ist (Abb. 1).

Der lebende Knochen durchläuft einen stetigen Auf- und Abbauprozess, den man als »Remodelling« bezeichnet. Der Prozess befindet sich beim gesunden Knochen im dynamischen Gleichgewicht, sodass die Knochenmasse erhalten bleibt. Verantwortlich dafür sind bestimmte Zellen der Knochensubstanz: Osteoklasten für den Knochenabbau und Osteoblasten für den Knochenaufbau. Gesteuert wird der Prozess durch das Einwirken mechanischer Lasten auf die Knochenstruktur. Am Fraunhofer IFAM wurde in den letzten Jahren ein computerbasiertes numerisches Optimierungsverfahren (MPTO = Multi Phase Topology Optimisa-

tion) entwickelt, welches das »Bone Remodelling« relativ genau simulieren kann. Dabei werden Materialien unterschiedlicher Dichten so in einem Bauraum verteilt, dass sich unter Einwirkung einer bestimmten mechanischen Last eine maximale Steifigkeit ergibt. Materialkonzentrationen und -massen bleiben erhalten.

Mithilfe des neuen numerischen Verfahrens lassen sich belastungsgerechte gradiertere zelluläre Strukturen finden, die zu einer neuen Generation von Spongiosametallen führen können, wenn dies fertigungstechnisch möglich ist.

Motivation und Ziele

Die Herstellung von Bauteilen mit exakt vorausberechneter Mikrostruktur mit Stegbreiten im Submillimeterbereich ist heute durch generative Fertigungsverfahren möglich. Ausgehend vom dreidimensionalen CAD-Modell des gewünschten Bauteils wird ein Schichtenmodell inklusive notwendiger Stützstrukturen erzeugt, das an das Fertigungssystem übergeben wird. Während des Bauprozesses wird beim SLM (Selective Laser Melting) metallisches Pulver durch einen fokussierten Laserstrahl lokal aufgeschmolzen und erstarrt anschließend. Ohne nachträglichen Sintervorgang werden Bauteile mit annähernd 100 % Dichte entnommen. Im aktuellen Markt ist das Laserschmelzen der am weitesten verbreitete Prozess zur generativen Metallpulver-Verarbeitung.

Das aus der Titan-basierten Leichtmetalllegierung Ti6Al4V generierte Bauteil (Abb. 2) steht exemplarisch für Produkte mit komplexen inneren Strukturen. In der abgebildeten Implantat-Studie dient die innere Geometrie zum einen der Gewichtsersparnis bei gleichzeitigem Erhalt der mechanischen Festigkeit. Zum anderen ist auch die Einbringung interner Geometrien, die den menschlichen Knochenaufbau nachbilden, oder die Anlage von Reservoirs für eine Langzeitmedikation denkbar. Mittelfristiges Ziel ist es, computergenerierte Spongiosastrukturen, die für bestimmte äußere mechanische Belastungen optimiert werden, mittels generativer Fertigungsverfahren herzustellen. Anwendungsbereiche sind Dauerimplantate und Leichtbaustrukturen.

Aktuelle Arbeiten

Die am Fraunhofer IFAM entwickelte MPTO-Methode verteilt Materialien unterschiedlicher Dichte zunächst zufällig auf die zwei- oder dreidimensionale Geometrie eines mechanisch belasteten Teils, zum Beispiel auf einen Oberschenkelknochen beim Gehen (Abb. 3). Danach wird mit einer Finite-Elemente-Analyse die Energiedichteverteilung der elastischen inneren Energie berechnet. Anhand der Ergebnisse erfolgt eine Umverteilung der Materialien, analog zum »Bone Remodelling«. Materialien mit hohen Dichten werden zu Bereichen mit hohen Energien, Materialien mit niedrigen Dichten zu Bereichen mit niedrigen Energien transportiert. Dieses Verfahren führt zu einer Verminderung der totalen inneren Energie und damit zu einer Erhöhung der Steifigkeit (allgemeines Leichtbauprinzip). Anschließend wird der Vorgang solange wiederholt, bis Konvergenz eintritt. Wie in Abbildung 3 dargestellt, entwickelt sich nach 24 Iterationen eine Knochendichteverteilung, die die im realen Knochen auftretenden Druck- und Zugfaserbündel der Spongiosa relativ exakt wiedergibt.



Abb. 3: 2-D-Simulation des »Bone Remodelling« am menschlichen Femur beim Stand auf einem Bein. Nach 24 Iterationen ergibt sich eine Knochendichteverteilung, die mit einem Röntgenbild eines Realknochens gute Übereinstimmungen zeigt.

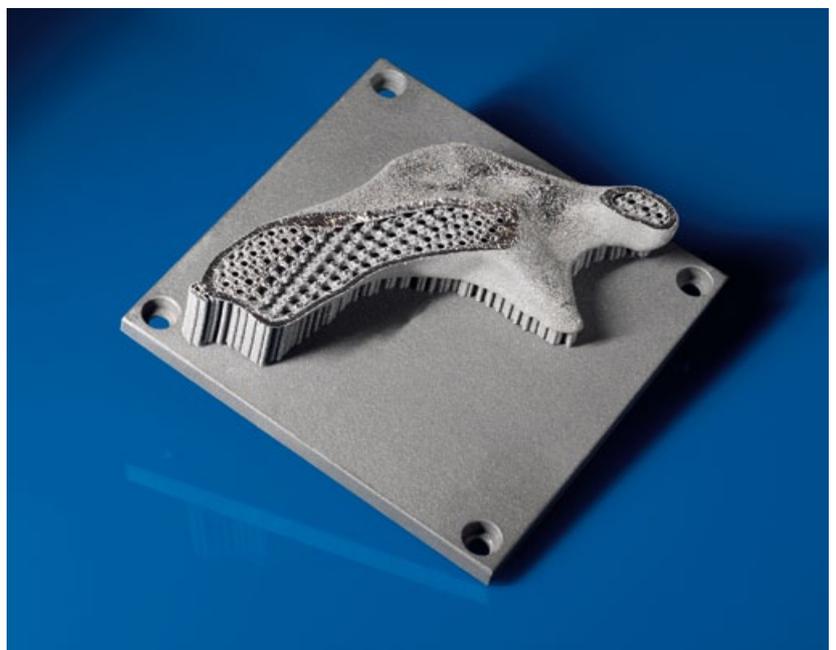
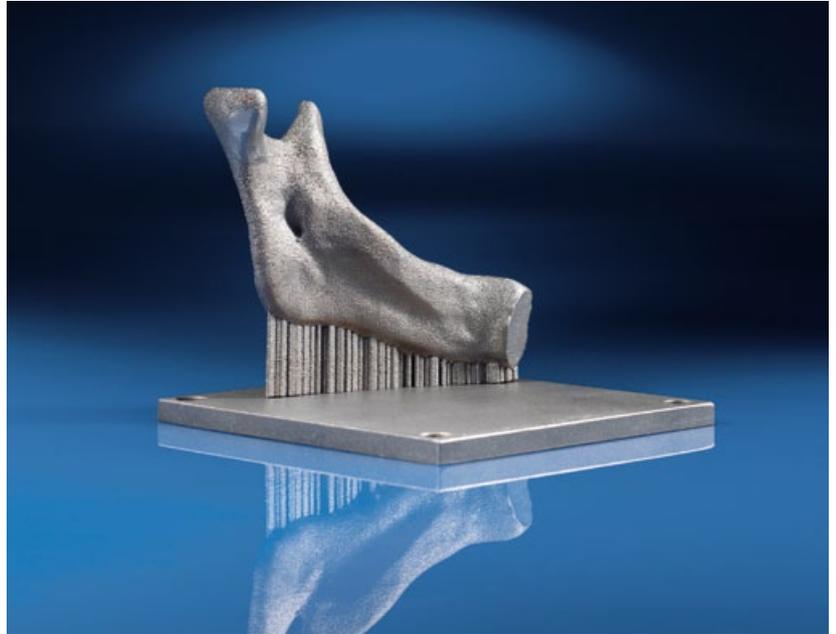


Abb. 2: Teil eines menschlichen Kieferknochens (oben: mit Supportstruktur auf der Bauplattform, unten: offen mit erkennbarer komplexer Innenstruktur (Werkstoff: TiAl6V4; generiert auf einem EOS-M270-System).

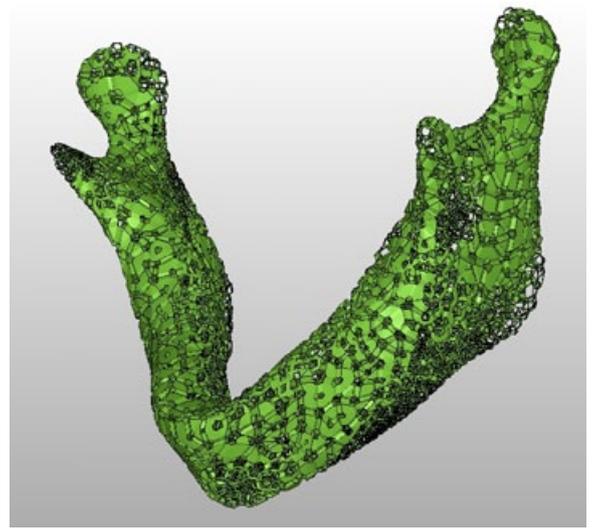
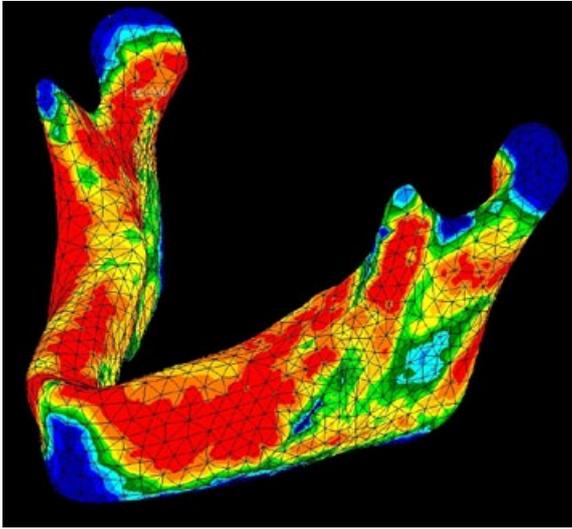


Abb. 4: 3-D-Simulation des »Bone Remodelling« am menschlichen Kiefer für einen asymmetrischen zentralen Biss (links: belastungsgerechte Knochendichteverteilung, rechts: Abbildung der Dichteverteilung auf eine gradierte zelluläre Struktur).

Die Dichteverteilung kann nun im Computer geometrisch in ein gradiertes trabekuläres Gitter umgerechnet werden. Dies ist in Abbildung 4 am Beispiel eines menschlichen Unterkieferknochens unter asymmetrischer Bisslast dargestellt. Das Netzwerk besteht aus der Dichteverteilung angepassten, unterschiedlich großen Tetraedern, deren Seitenflächen mit den Seitenflächen der nächsten Nachbarn über »Trabekel« verbunden sind. Die trabekuläre Struktur wird anschließend durch Triangulation in ein Format (STL) umgewandelt, das durch generative Fertigungssysteme verarbeitet werden kann.

Umsetzung und Ausblick

Erste Versuche haben gezeigt, dass sich die beschriebenen trabekulären Strukturen zum Beispiel mittels SLM fertigen lassen (Abb. 5). Die tetraedrische Grundstruktur weist aber eine geringere Festigkeit gegenüber Strukturen mit höherer Koordinationszahl auf (hexaedrisch, oktaedrisch, dodekaedrisch). Deshalb beschäftigen sich zukünftige Arbeiten mit der geometrischen Teilerlegung unter Verwendung von Polyedern mit einer höheren Anzahl von Seitenflächen.



Abb. 5: Mittels SLM hergestellter menschlicher Unterkiefer mit biomimetisch gradierter zellulärer Struktur (metallischer Knochenschwamm).

Auch die Verbesserung der fertigungstechnischen Qualität soll verbessert werden, insbesondere bei

Trabekeldurchmessern unter 0,5 Millimetern. Eine besondere Herausforderung stellt die Robustheit des Fertigungsprozesses bei Variation der Fertigungsrichtung dar, da davon die Qualität der Trabekel abhängt.

Zukünftige Anwendungen für die Methode gibt es im Bereich von Dauerimplantaten, insbesondere für den Ersatz von Rekonstruktionsplatten im Kieferbereich zum Beispiel beim tumorbedingten Fehlen größerer Knochenteile. Der Einsatz von biomimetischen Spongiosamaterialien würde hier zu einer erheblich verbesserten Qualität für den Patienten führen (Abb. 6).

Aber auch neue Ideen für Leichtbauteile in Automobil- und Flugzeugindustrie sind denkbar.

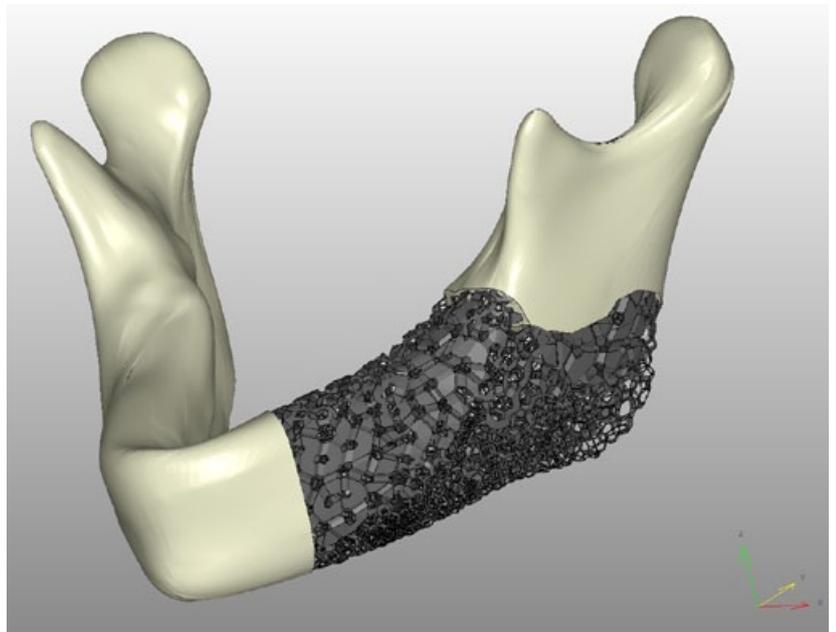


Abb. 6: Metallisches biomimetisches Implantat als Ersatz von Rekonstruktionsplatten in der Mund- und Kieferchirurgie.

Ansprechpartner

Andreas Burbliès
Telefon: +49 421 2246-183
andreas.burbliès@ifam.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Claus Aumund-Kopp
Telefon: +49 421 2246-226
claus.aumund-kopp@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

CellForce: Entwicklung eines einzelzell-basierten Biosensors für die sub-zelluläre Online-Detektion des Zellverhaltens in den Bereichen Diagnose und Gesundheit

Ausgangssituation

Biosensoren spielen eine immer stärkere Rolle in den verschiedensten Bereichen des täglichen Lebens. So werden immer mehr Lab-on-a-Chip-Systeme (LoC-Systeme) entwickelt, die in der Medizintechnik, in der Diagnose von Krankheiten oder der Biotechnologie und dem Life-Science-Bereich angewendet werden [1]. In diesem im 6. Rahmenprogramm der EU geförderten Verbundprojekt (CellForce) wird die Entwicklung eines biologischen Sensors zur Messung von Zellkräften vorgestellt. Dabei sind gerade der Fertigungsaspekt des Biosensors und die notwendige Strukturierung der Oberfläche von entscheidender Bedeutung für die Funktionsweise des Sensors.

Für die Detektion von Zellkräften ist ein Säulenteppich notwendig, auf dem die Zellen anhaften. Dabei werden die Säulen durch die aufgebrachte Zellkraft verbogen. Durch diese Auslenkung der Säule vom Zentrum kann direkt auf die aufgebrachte Kraft der jeweiligen Zelle geschlossen werden. Das Prinzip des Zellkraftsensors ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Säulenteppiche werden zurzeit mittels aufwendiger Gießtechnik hergestellt, bei der nur wenige Bauteile pro Tag produziert werden können. Ziel des Projektes ist es daher, den Biosensor kostengünstig in

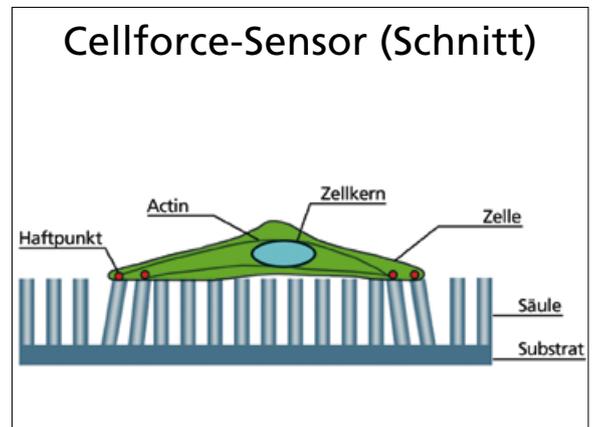


Abb. 1: Schematische Seitenansicht des CellForce-Biosensors.

großen Stückzahlen durch das Serienfertigungsverfahren Mikrospritzguss zu fertigen. Die Herausforderung ist hierbei, Bauteile mit Oberflächenstrukturen im Mikrometerbereich reproduzierbar abzuformen. Für einen solchen CellForce-Sensor zur Detektion von Zellkräften ist eine Matrix erforderlich, die es je nach Steifigkeit des Materials und des Säulendurchmessers erlaubt, mehrere hunderttausend identische Säulen mit einem definierten Durchmesser von 2–5 Mikrometern und einer Säulenlänge von bis zu 30 Mikrometern exakt abzuformen.

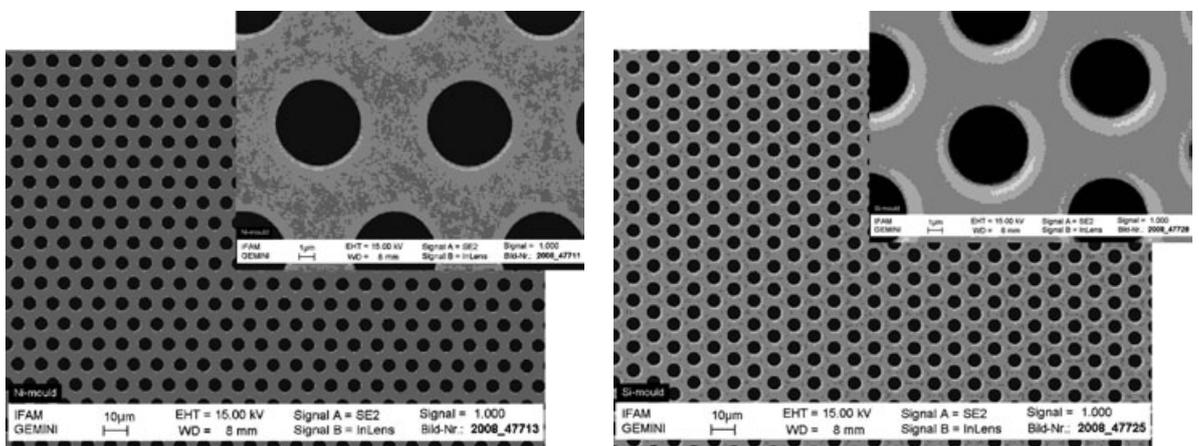


Abb. 2: Strukturierte Formeinsätze für den Mikrospritzguss, links Ni, rechts Si.

Aktuelle Arbeiten

Der Mikrospritzguss ist ein Verfahren, bei dem thermoplastische Kunststoffe unter Beaufschlagung von Temperatur fließfähig gemacht und in ein strukturiertes Werkzeug eingespritzt werden. Der Kunststoff erstarrt und bildet die Negativstruktur des Werkzeugs ab. In diesem Projekt liegen die technologischen Herausforderungen des Prozesses darin, die Säulendimensionen und -abstände in den für die Funktion des Biosensors notwendigen Größen zu realisieren. Ein Ausschnitt des Werkzeugeinsatzes mit 250 000 Kavitäten mit einem Durchmesser von 5 Mikrometern und einer Tiefe von 25 Mikrometern ist in Abbildung 2 dargestellt. Als Werkzeugeinsatz wurden ein geätzter Silizium-Wafer (Si) und ein mit UV-LIGA [2] strukturierter Nickel-Formeinsatz (Ni) verwendet.

Die Formeinsätze wurden in ein Mikrospritzgusswerkzeug integriert (Abb. 3) und auf einer Spritzgussmaschine Microsystem 50 von Battenfeld abgeformt. Die Maschine zeichnet sich besonders durch die Fähigkeit aus, Mikrobauerteile und mikrostrukturierte Oberflächen in höchster Präzision zu fertigen, und durch die Möglichkeit der automatischen Qualitätskontrolle sowie Bauteilentnahme. Diese anlagentechnischen Vorteile sind extrem wichtig, je kleiner und filigraner die zu realisierenden Bauteile sind. Zusätzlich ermöglicht das Microsystem 50 eine variotherme Temperaturführung, wie sie gerade für die Herstellung der Säulenteppe unanbringbar ist.

Vor dem Mikrospritzgussprozess war es notwendig, ein geeignetes thermoplastisches Polymer zu finden, welches sehr gute elastische Eigenschaften (E-Modul < 17 MPa) aufweist und biokompatibel ist. Nach anfänglichen Biokompatibilitätstests verschiedener Materialien unter Beachtung deren Verarbeitbarkeit und Anwendbarkeit als Biosensor wurde das thermoplastische Polyurethan Elastollan[®] mit einem E-Modul von 11,4 Megapascal als Grundmaterial ausgewählt. Abbildung 4 zeigt dabei, dass sich die Zellen auf dem Elastollan[®] Material wohlfühlen und ihre typische Zellmorphologie ausbilden.

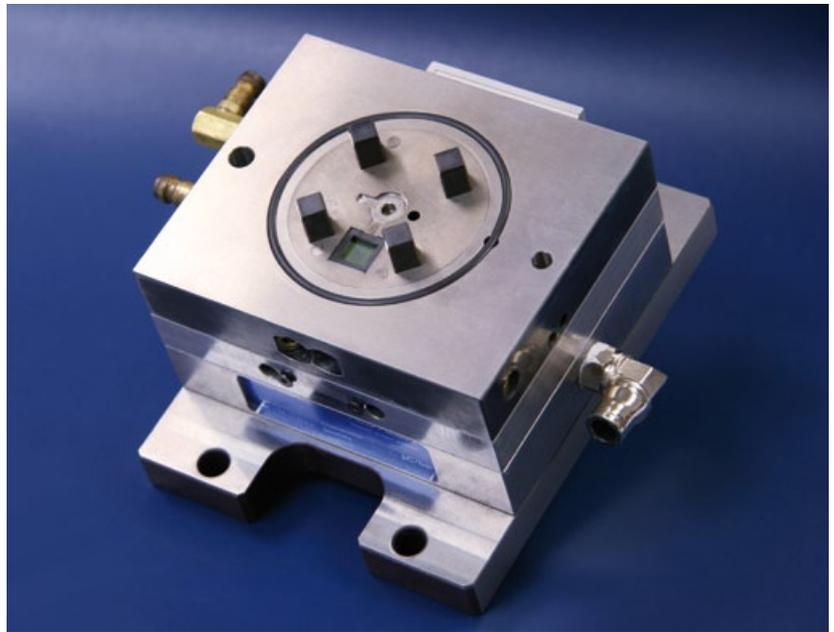


Abb. 3: Mikrospritzgusswerkzeug für die Spritzgussmaschine Microsystem 50 von Battenfeld.

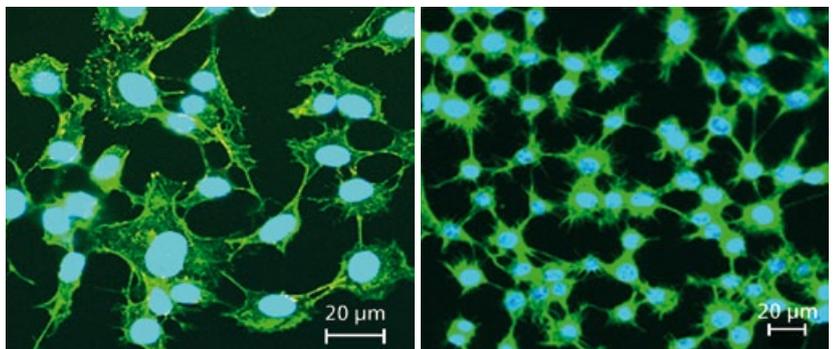


Abb. 4: Darstellung der Biokompatibilität von Elastollan[®]. Links: Mausfibroblasten auf Elastollan[®] mit typischer Ausbildung der Zellmorphologie, rechts: Mausfibroblasten auf Polystyrol mit veränderter Zellmorphologie. Die Aktinfasern der Zelle sind grün angefärbt und die Zellkerne blau, Balken: 20 Mikrometer.

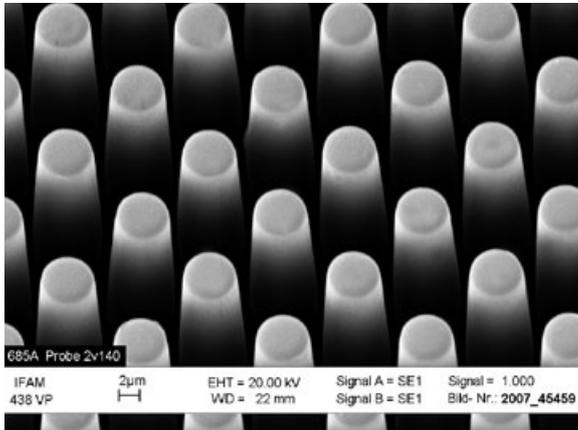


Abb. 5: Senkrechte Säulenstruktur mit einem Durchmesser von 5 Mikrometern und einer Höhe von 25 Mikrometern aus Elastollan®.

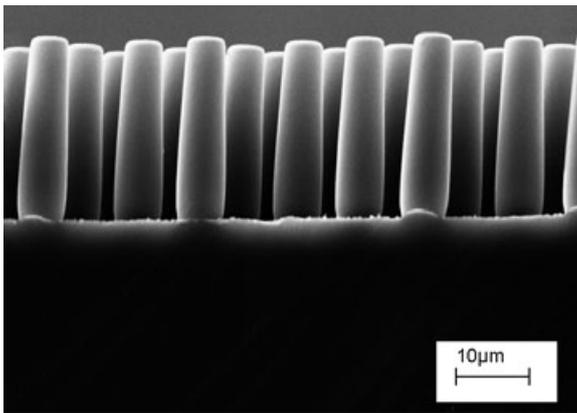


Abb. 6: REM-Aufnahme von einigen verkippten Säulen im Randbereich der Probe.

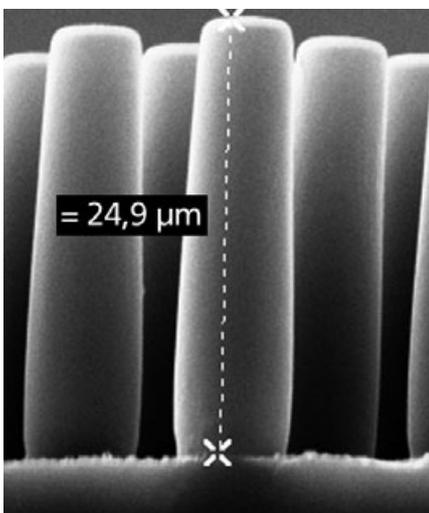


Abb. 7: Messung der Säulenhöhe im REM.

Für die Abformung solcher filigranen Mikrostrukturen, wie sie für den CellForce-Sensor nötig sind, ist es entscheidend, den Mikrospritzgussprozess optimal zu beherrschen. So wurde speziell für die Herstellung des Biosensors eine variotherme Prozessführung auf dem Microsystem 50 von Battenfeld realisiert. Hierbei wird das Werkzeug vor dem Spritzgussprozess aufgeheizt. Direkt nach dem Einspritzen der Formmasse wird das Werkzeug etwa um 30 °C abgekühlt, um den Biosensor ohne Verkippung der Säulen entformen zu können. Zur besseren Entformung wurde der verwendete Formeinsetz mit einer hydrophoben Plasmapolymerschicht beschichtet. Nur durch diese innovativen Optimierungen des Mikrospritzgussprozesses war es möglich, eine gute Abformbarkeit der Säulenstruktur zu erhalten (Abb. 5). Lediglich im Randbereich kann es vereinzelt zum Verkappen oder Verbiegen der Säulen kommen (Abb. 6). Auch konnte eine Säulenhöhe von 25 Mikrometern bei einem Säulendurchmesser von 5 Mikrometern erreicht werden (Abb. 7).

Ergebnis und Perspektiven

Durch den Mikrospritzguss von thermoplastischem Elastollan® konnten 250 000 Mikrosäulen mit einem Durchmesser von 5 Mikrometern, einer Höhe von 25 Mikrometern und einem Abstand von 5 Mikrometern realisiert werden. Die Strukturierung des Polymers ist ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung von Biosensoren im Allgemeinen. Die über Mikrospritzguss hergestellten Säulentepiche werden nun hinsichtlich ihrer Eignung als Zellkraftsensor getestet und gegebenenfalls weiter modifiziert. Parallel hierzu wird ein optisches Messsystem entwickelt, welches die Säulenauslenkung erfassen kann. Nur durch diese interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Mikrofertigung, Biologie und Optik wird es möglich, biologische Sensoren nicht nur für die Messung von Zellkräften, sondern auch für weitere Anwendungsbereiche in der Medizin, der Biotechnologie und dem Life-Science-Bereich zu entwickeln.

Referenzen

- [1] Padinger, M., Sonnleitner, M., Schnelle Analyse mit »Lab-on-a-Chip«, Elektronik Praxis 2007
- [2] Brück, R., Rizvi, N., Schmidt, A., Angewandte Mikrotechnik – LIGA-Laser-Feinwerktechnik, Hanser Verlag, München 2001

Auftraggeber

EU-Brüssel, Sixth Framework Programme. IST-NMP-2 Biosensor for Diagnosis and Healthcare, Contract No.: FP6-016626

Projektpartner

Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA), Schweiz
Faculty of Material Science and Engineering (FMSE), Polen
University Coimbra, Department Engineering Quimica, Portugal
Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Deutschland
Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Deutschland

Projektlaufzeit

1.11.2005 bis 30.6.2009

Ansprechpartner

Dr. Natalie Salk
Telefon: +49 421 2246-175
natalie.salk@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Metallische Nano-Tinten für gedruckte Kontaktierungen in der Mikrosystemtechnik

Ausgangssituation

Die Mikrosystemtechnik umfasst den Entwurf, die Herstellung und die Anwendung von Baugruppen mit integrierten Funktionen im Mikrometer-Bereich. Die zur Integration erforderliche Miniaturisierung von einzelnen, isolierten Sensor/ Aktor-Systemen ist oft nicht mehr ausreichend, vielmehr spielt zukünftig die Aufbau- und Verbindungstechnik eine entscheidende Rolle. Mikrosysteme, die bisher in Elektronikgehäuse eingebaut wurden, werden in Zukunft mehr und mehr direkt in verschiedene Materialien eingebettet sein, was eine wesentlich höhere Integrationsdichte ermöglicht. Dazu ist insbesondere die Integration von Nanomaterialien mittels maskenlosen Drucktechnologien notwendig.

Eine vielversprechende Möglichkeit zur Sensorierung und Kontaktierung ist die am Fraunhofer IFAM entwickelte Prozesskette INKtelligent printing[®]. Zum Einsatz kommen hier berührungsfreie, maskenlose Druckverfahren wie der Aerosol- oder Inkjetdruck für funktionelle Feinststrukturen von weniger als einem Mikrometer Dicke und Strukturbreiten bis zu 10 Mikrometern. Voraussetzung dafür ist u. a. die Entwicklung verdruckbarer Tinten mit neuer oder verbesserter Funktionalität auf Basis von nanoskaligen metallischen Werkstoffen.

Projektbeschreibung

Die Qualifikation solcher neuartiger Tinten in Verbindung mit dem Aerosol-Druckverfahren in einem mikrosystemtechnischen Gesamtprozess (INKtelligent printing[®]) wird in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Microsystems Center Bremen (MCB) demonstriert.

Die wesentlichen Aufgaben liegen in der Herstellung von reinen, verdruckbaren Metall-Tinten ohne Zusatz von Dispergierhilfsmitteln, dem Drucken feinsten Strukturen mit hoher Leitfähigkeit durch thermische Aktivierung, der Bestimmung der wesentlichen elektrischen Eigenschaften mittels Teststrukturen und in der Erstellung von Designrules. Als Demonstrator für den Einsatz der gesamten INKtelligent printing[®]-Prozesskette wurde die Kontaktierung eines vom MCB entwickelten eingebetteten thermoelektrischen Strömungssensors gewählt.

Grundlage für die Herstellung der verdruckbaren Tinten ist der am Fraunhofer IFAM entwickelte VERL-Prozess (Vacuum Evaporation on Running Liquids). Bei dem auf physikalischer Sputtertechnologie beruhenden Verfahren ist die erreichbare Partikelreinheit sehr hoch. Die Partikelgrößen können von wenigen Nanometern bis 50 Nanome-

INKtelligent printing[®] Prozesskette

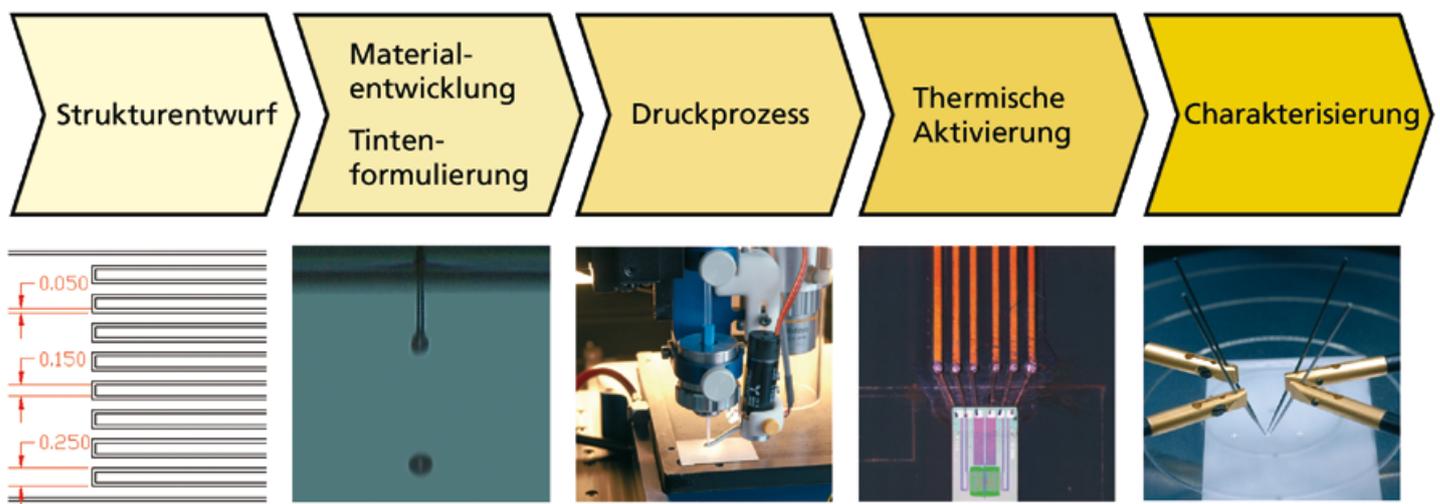


Abb. 1: INKtelligent printing[®] Prozesskette.

tern eingestellt werden und entsprechen denen kommerzieller, chemisch gefällter Nanopartikel. Die im Gegensatz dazu aber sehr reinen, ohne oberflächenaktive Substanzen gut dispergierbaren VERL-Nanosuspensionen werden für die Druckprozesse entsprechend aufkonzentriert und in Viskosität und Oberflächenspannung eingestellt. Das breitere Prozessfenster beim kontinuierlichen Aerosol-Druckverfahren hinsichtlich Viskosität und Stabilität des zu verdruckenden Materials erfordert bei der Tintenformulierung weniger Aufwand als dies für die bekannteren Inkjet-Druckverfahren notwendig ist.

Die Aktivierung bzw. die Funktionalisierung – also die Einstellung der gewünschten Leitfähigkeit – erfolgt durch thermische Prozesse. Das Ofensintern weist den Nachteil auf, dass der komplette Chip mit Aufbauten thermisch im Bereich 150 bis 250 °C beaufschlagt werden muss, um die gedruckte Struktur zu sintern. Beim Lasersintern wird dagegen nur die gedruckte Struktur lokal thermisch beansprucht, was insbesondere bei temperaturempfindlichen Substraten vorteilhaft sein kann.

Ergebnis

Es konnte am Beispiel der Kontaktierung eines thermoelektrischen Strömungssensors im Projekt nachgewiesen werden, dass INKtelligent printing® das Potenzial zur Kontaktierung von Embedded Systems in der Mikrosystemtechnik hat. Konventionelle Kontaktierungsverfahren mithilfe von Drahtbonds eignen sich kaum für die Kontaktierung mikrosystemtechnischer Strömungssensoren, da sie aufgrund ihrer Größe das Strömungsverhalten im Umfeld des Sensors stark beeinflussen können.

Nach den Charakterisierungen bestätigten sich die erwarteten Vorteile: Aufgrund der sehr geringen Höhe der gedruckten Leiterbahnen von etwa 0,5 bis 3 Mikrometern beeinflussen diese auch kaum das Strömungsverhalten des Sensors.

Der Kontaktwiderstand zu Gold- oder Platinbondpads ist sehr gering und die Kontaktierung ist relativ unempfindlich gegenüber mechanischen Einflüssen. Die Kontaktwiderstände zu gesput-

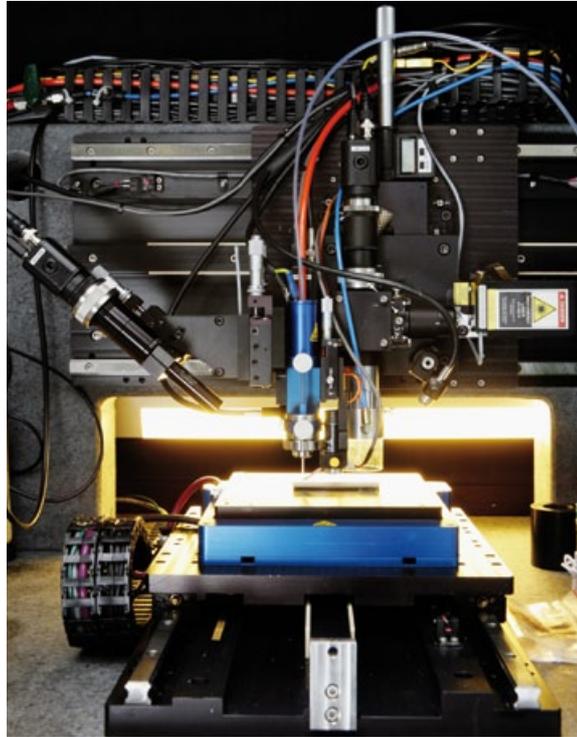


Abb. 2: Blick in das Herzstück des Aerosoldruckers für Feinstrukturen.

terten Aluminium- oder Kupferpads sind wegen oberflächlicher Oxidschichten bisher hoch bzw. nicht zuverlässig reproduzierbar. Der elektrische Widerstand der gedruckten Kontaktierungen ist höher als der von Bonddrähten. Der Grund hierfür liegt vor allem an den wesentlich geringeren Querschnitten der gedruckten Feinstrukturen. Materialspezifisch konnten elektrische Leitfähigkeiten von bis zu $\frac{1}{4}$ des Literaturwerts von Silber erreicht werden. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass die Kontaktierungen eine hohe Haftfestigkeit auf vielen Leiterplattenmaterialien sowie eine hohe Langzeitstabilität (in der Klimakammer bei 85 °C und 85 % rel. Feuchte) aufweisen.

Im derzeitigen Entwicklungsstand ist die Kontaktierung mikrosystemtechnischer Sensoren mittels INKtelligent printing® komplexer als die Kontaktierung mittels Drahtbonds. Das liegt zum einen an den topographischen Anforderungen, die an die zu bedruckenden Substrate gestellt werden müssen. Während gekrümmte oder stumpfwinkliger stufige Oberflächen bis zu einigen Millimetern Höhenunterschied problemlos bedruckt werden

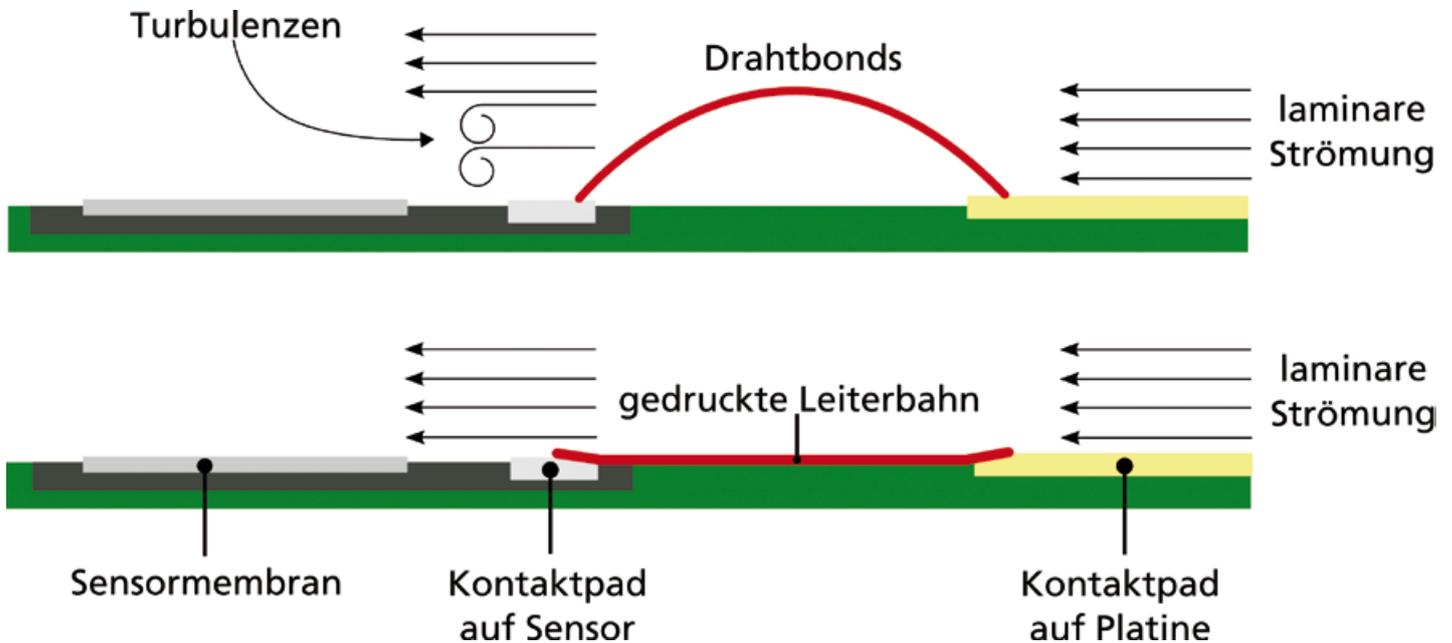


Abb. 3: Strömungsverhältnisse beim drahtgebondeten Strömungssensor im Vergleich zur gedruckten Kontaktierung.

können, sind bereits niedrige 90-Grad-Stufen oder Hinterschneidungen Herausforderungen, die zu Fehlstellen in der gedruckten Leiterbahn führen können. Verfahrenstechnisch lässt sich dies jedoch einfach durch entsprechendes Schrägstellen des Substrates bzw. Druckkopfes lösen.

Zum anderen kann es durch die notwendige thermische Aktivierung aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten der Materialien Sensor/Vergussmasse/Leiterplatte an den Materialübergängen zu Spannungen oder gar Rissen der gedruckten Leiterbahnen kommen. Im Anwendungsbeispiel konnte diese Herausforderung unter Verwendung spezieller hochtemperaturstabiler Leiterplatten und Vergussmassen mit angepasstem thermischen Ausdehnungskoeffizienten sowie Silber-Nanotinten, die bereits bei 150 °C prozessierbar sind, gelöst werden.

Perspektive

Der Aerosoldruck mit metallischen Nano-Tinten ist neben der hier beschriebenen Kontaktierung von thermoelektrischen Strömungssensoren für Verbrennungsmotoren oder die Mikrofluidik insbesondere auch für die Reparatur von Leiterbahnen auf Leiterplatten oder die Herstellung von prototypischen, auch mehrlagigen, Schaltkreisen in Kleinserie wirtschaftlich interessant. Dazu werden aktuell neben den Silber-Tinten in sowohl öffentlich geförderten Vorhaben als auch Projekten mit Industriepartnern weitere verdruckbare nanoskalige Funktionsmaterialien entwickelt, wie z. B. Cu- bzw. spezielle Legierungstinten. Letztere sind neben dem Druck von Widerständen oder Heizern auch für gedruckte Sensoren wie DMS oder Thermoelemente besonders interessant.

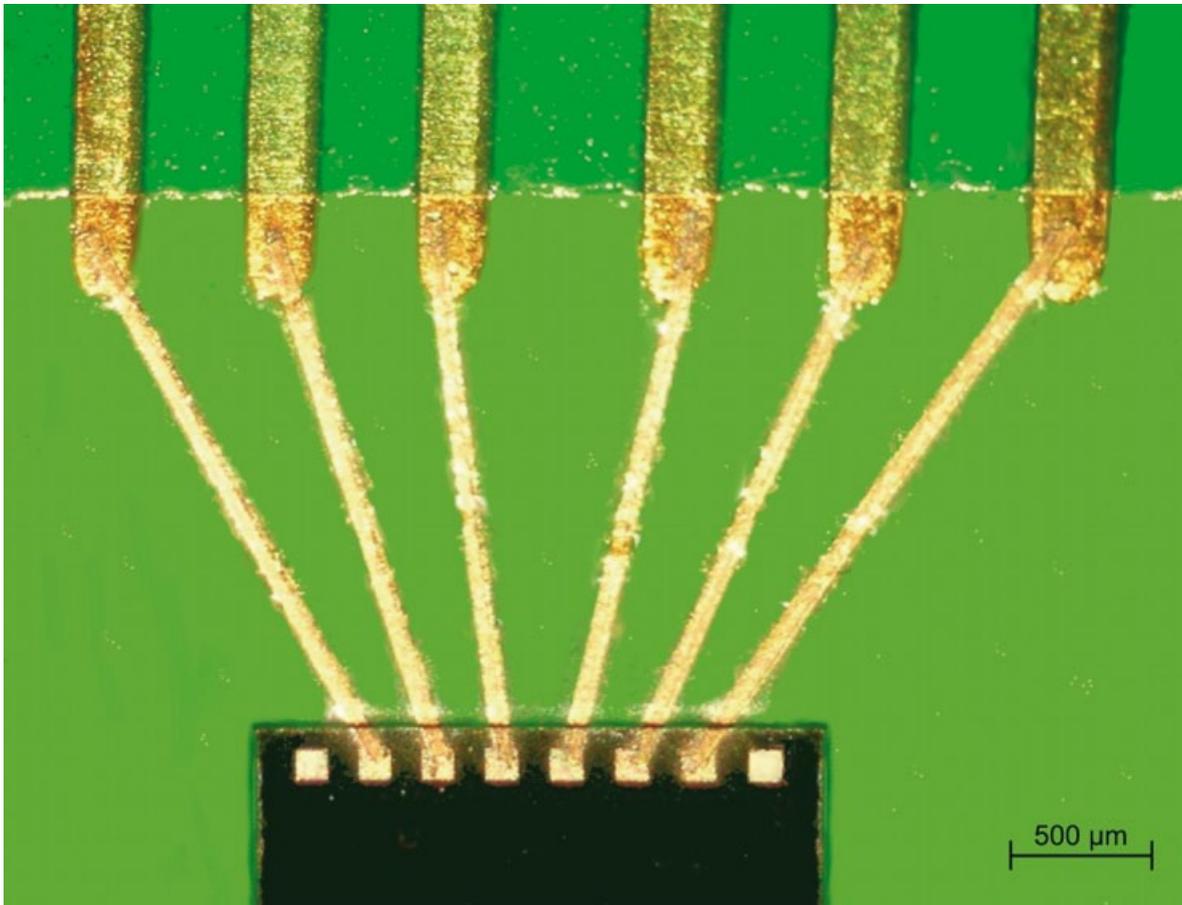


Abb. 4: Kontaktierung des eingebetteten Strömungssensors vom Chip zur Leiterplatte mittels INKtelligent printing®.

Auftraggeber

Gefördert wurde das Projekt unter dem Titel »Nanomaterialien für eine skalenübergreifende Aufbau- und Verbindungstechnik« von April 2007 bis März 2008 im Rahmenprogramm »Mikrosysteme 2004–2009« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem thematischen Schwerpunkt »Mikro-Nano-Integration für die Mikrosystemtechnik«.

Projektpartner im Teilprojekt »Nanotinten« ist das Microsystems Center Bremen (MCB) der Universität Bremen.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Dirk Godlinski
Telefon: +49 421 2246-230
dirk.godlinski@ifam.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Christian Werner
Telefon: +49 421 2246-142
christian.werner@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Zunderbeständige Aluminid-Schichten durch Aufsintern pulvergefüllter Pasten

Ausgangssituation

Bauteile, die hohen Temperaturen an oxidierender, korrosiver Atmosphäre ausgesetzt sind, müssen aus hoch legierten sehr teuren Stählen oder Superlegierungen hergestellt werden, um ihre Funktion erfüllen zu können. Es sind dies Bauteile in der Feuerungstechnik, Abgastechnik von Fahrzeugmotoren und der thermischen und chemischen Verfahrenstechnik. Die besten Eigenschaften lassen sich durch Aluminiumoxid-Schichten erzielen, die durch einen ausreichenden Aluminiumgehalt des Grundwerkstoffes gebildet werden. Diese haben auch eine Art Selbstheilungseffekt, da Aluminium an die Oberfläche diffundiert und die Schicht durch Reaktion mit der Atmosphäre erneuert wird.

Projektbeschreibung

Ziel des Vorhabens ist es, gängige Edelstähle des Apparate- und Behälterbaus durch eine Modifizierung der Oberfläche zunderbeständiger gegen oxidierende Atmosphären zu machen. Auf diese Weise soll der Einsatzbereich konventioneller Edelstähle erweitert werden und kostengünstige Lösungen für Endanwender angeboten werden.

Auf den Oberflächen der Stähle sollen hoch aluminiumhaltige Schichten aufgebracht werden, die lokal die Zundereigenschaften verbessern. Diese Schichten sollen aus sogenannten Aluminiden bestehen, das sind intermetallische Verbindungen von Übergangsmetallen mit Aluminium, die hohe Schmelzpunkte aufweisen und die das Potenzial haben, dichte Aluminiumoxid-Deckschichten zu bilden. Diese Aluminide sollen vor Ort durch Reaktion des Grundmaterials mit reinem Aluminium entstehen.

Als Ausgangsmaterial dienen je ein ferritischer Edelstahl (410L, WSt.Nr. 1.4000) und ein austenitischer Edelstahl (316L, WSt.Nr. 1.4404), die in Form von gewalztem Blech und als pulvermetallurgisches Pressteil untersucht werden. Die Aluminiumpaste wurde aus zwei Pulvern mit verschiedener Teilchengröße ($< 80 \mu\text{m}$ und $< 4 \mu\text{m}$) hergestellt. Als Binder für die Pasten kam ein kommerziell erhältliches Produkt der Firma Zschimmer&Schwarz (Decoflux) zur Anwendung.

Die Pulver wurden mit dem Binder zu einer Paste verrührt, die eine geeignete Viskosität für den Siebdruck aufweist. Grundsätzlich sind durch die Veränderung des Verhältnisses von Pulver und Binder weite Bereiche von Viskositäten einstellbar, sodass auch andere Beschichtungsverfahren wie Tauchen, Sprühen oder einfaches Aufpinseln möglich sind. In den Untersuchungen hier wurden die Pasten in Schablonen auf die Bleche und die Presslinge aufgezogen. Die Dicke des Pastenfilms beträgt dabei 80 Mikrometer und ist durch die Dicke der Schablone bestimmt, über die die Paste mit einer Stahl-Rakel abgezogen wird. Die Pasten werden bei $80 \text{ }^\circ\text{C}$ im Umluftofen getrocknet und anschließend in einem Sinterzyklus unter Stickstoff oder Argon auf Temperaturen bis $1250 \text{ }^\circ\text{C}$ aufgeheizt.

Im Laufe dieser Wärmebehandlung versintert und schmilzt das Aluminium-Pulver. Speziell in der schmelzflüssigen Phase entstehen sehr schnell die der lokalen Zusammensetzung entsprechenden Aluminide. Durch Diffusionsprozesse bei hohen Temperaturen gleichen sich die Konzentrationen aus und es entsteht ein Nebeneinander von nahezu im Gleichgewicht befindlichen Phasen. Dies gilt insbesondere für die sehr hohe Sintertemperatur der Edelstähle von $1250 \text{ }^\circ\text{C}$, die für die Edelstahlbleche an sich bereits zu hoch ist und dort zur Grobkornbildung führt.

Die Schichten wurden metallographisch untersucht und in Glühversuchen unter Luft auf ihre Zunderbeständigkeit getestet. Die unbeschichteten Bereiche der Proben dienen dabei gewissermaßen als Referenzmaterial. Die Phasenzusammensetzungen der Schichten nach den Reaktionsglühungen und nach den Zunderversuchen wurden durch Röntgenbeugung bestimmt.

Ergebnisse

Die metallographischen Schliffbilder in Abbildung 1a und 1b zeigen Aluminid-Schichten auf den pulvermetallurgischen Stählen 410L und 316L. Es ist zu sehen, dass die Schichten unabhängig von der Ausgangsteilchengröße des Aluminium-Pulvers sehr porös vorliegen. Ursache dafür ist die Behinderung der Sinterung des Aluminiums und die Benetzung des Stahls durch Kohlenstoff-

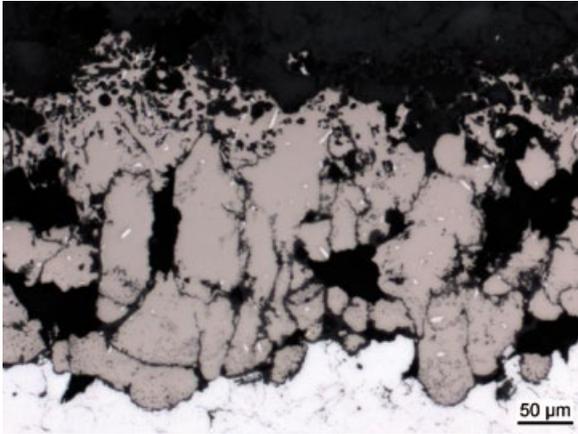


Abb. 1a: Pulvermetallurgischer Pressstahl 410L mit grobem Aluminium-Pulver beschichtet.

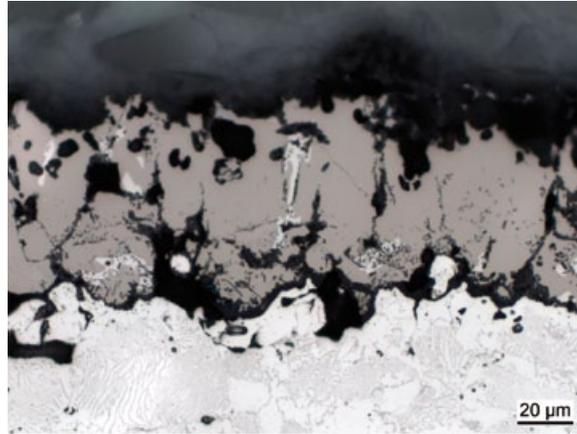


Abb. 1b: Pulvermetallurgischer Pressstahl 316L mit feinem Aluminium-Pulver beschichtet.

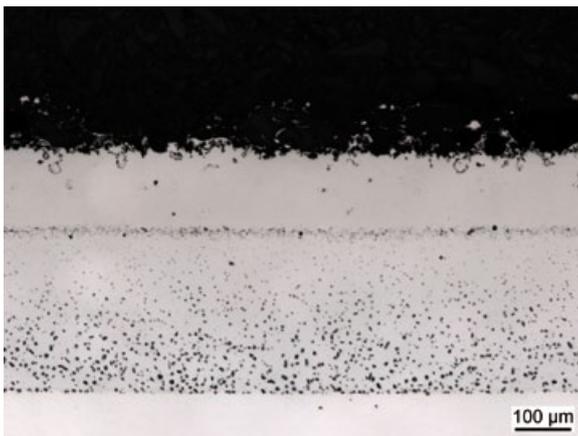


Abb. 1c: Blech aus 316L mit grobem Aluminium-Pulver beschichtet.

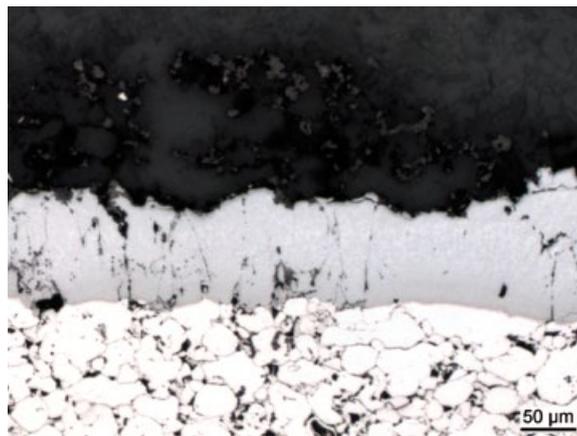


Abb. 1d: Pulvermetallurgischer Pressstahl 316L mit kupferlegiertem Aluminium-Pulver beschichtet.

reste des Binders. Die Benetzungsverhältnisse sind beim Blech (Abb. 1c) weitaus günstiger, da die Binderreste nur durch die dünne Aluminium-Lage abdampfen müssen. Auf dem Blech ist auch deutlich die tiefe Diffusionszone des Aluminiums zu erkennen, in der sich dunkel Aluminium-Nitride ausgeschieden haben. Die Benetzung, das Sinterverhalten und die Sintertemperatur können jedoch auch legierungstechnisch beeinflusst werden. In Abbildung 1d ist eine mit Kupfer legierte Aluminium-Schicht zu sehen, die dicht und gleichmäßig den gesinterten Pulverpressling bedeckt. Es zeigte sich, dass der geringe Kupfergehalt ($< 5\%$) die Zündereigenschaften des Materials nicht beeinträchtigt.

In Abbildung 2a sind nebeneinander ein mit der Paste beschichtetes Blech, ein geglühtes Blech mit Reaktionsschicht sowie ein Blech nach dem Verzunderungsversuch zu sehen. Es ist zu erkennen, wie die Paste im Sinterschritt zum grauen Aluminium abreagiert. Nach dem Zünderversuch ist die freie Stahloberfläche stark angegriffen. Im Detail (Abb. 2b) ist zu sehen, dass die Aluminid-Schicht im Gegensatz zum Grundmaterial kaum angegriffen wurde. Das Blech verlor bei der Glühung über zehn Stunden bei 850 °C einige Zehntelmillimeter an Stärke.

Bemerkenswert ist auch der Vergleich zwischen der verzunderten Blechprobe und der pulvermetallurgisch hergestellten Probe (Abb. 3a und 3b).

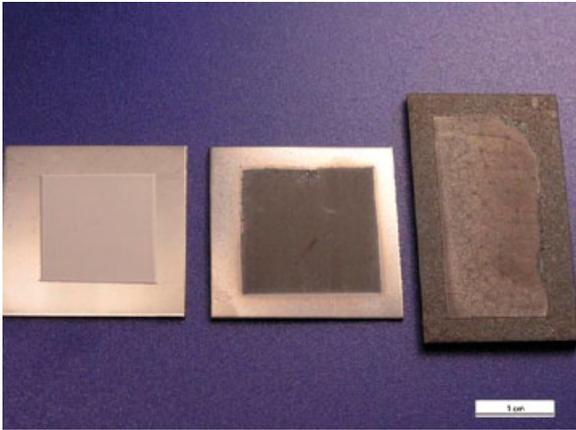


Abb. 2a: Von links: Blech mit Aluminium-Paste, Blech nach der Reaktionsinsinterung, nach dem Zünderversuch zehn Stunden bei 850 °C.

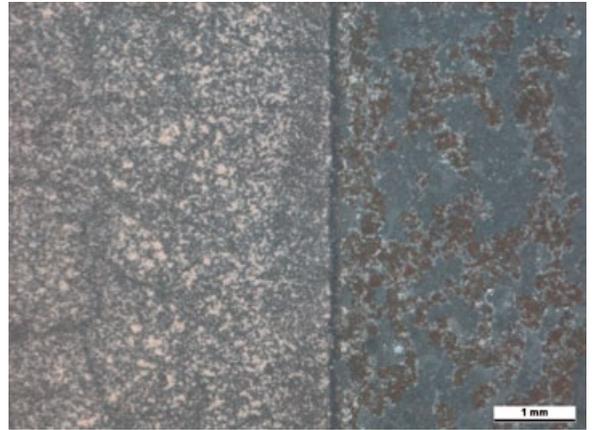


Abb. 2b: Detailaufnahme: links Aluminid-Schicht, rechts unbeschichtetes Stahlblech nach dem Verzunderungsversuch.

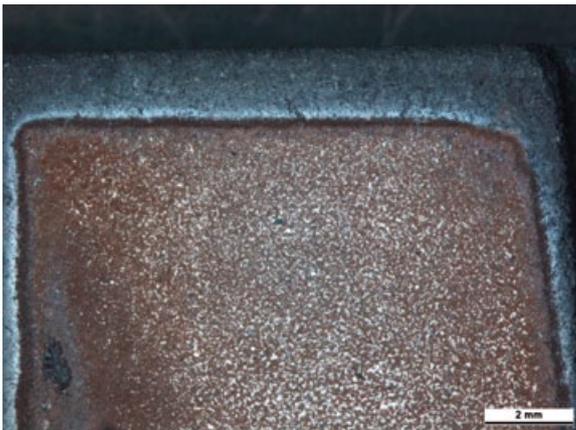


Abb. 3a: Aluminid-Schicht auf pulvermetallurgischem Stahl 316L nach Verzunderungsversuch. Wenig Verzunderung am unbehandelten Rand.

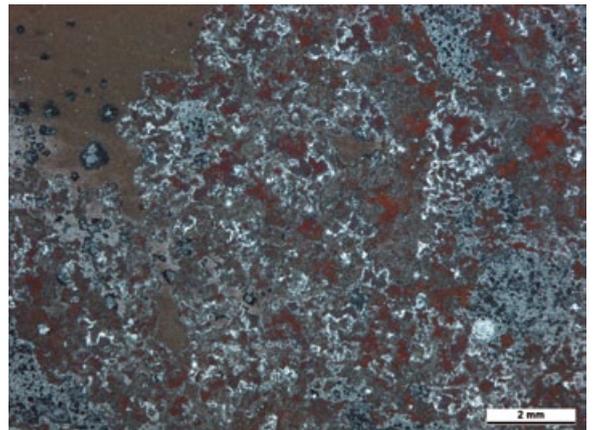


Abb. 3b: Blechprobe aus 316L mit starker Kraterbildung.

Der pulvermetallurgische Stahl 316L weist auch in den unbeschichteten Bereichen kaum Schädigungen auf. Dies ist im vorherrschenden Verzunderungsmechanismus begründet. Das Oxid des Edelstahls nimmt ein größeres Volumen ein als das unverzundernte Metall.

Da das Oxid sehr spröde ist, platzen die oxidierten Lagen vom Grundmaterial ab. Dies ist offensichtlich der geschwindigkeitsbestimmende Schritt der Verzunderung. Beim pulvermetallurgischen Material erlauben die vorhandenen Poren einen Ausgleich der Spannungen und ein freies Wachstum des Oxids in den Bereich der Poren. Dadurch werden keine oder geringere Spannungen im Oxid aufgebaut und es bleibt auf dem Grundmaterial

haften. Porenbehaftetes pulvermetallurgisches Material hat hier einen Vorteil gegenüber dem Massivmaterial.

Die Schichten wurden nach der Sinterung und nach den Zünderversuchen röntgenographisch auf ihre Phasenzusammensetzung untersucht. Das Röntgenbeugungsspektrum nach der Sinterung (untere, schwarze Kurve) zeigt die charakteristischen Reflexe der Phasen FeAl und ansatzweise Fe₃Al. Ferner sind Peaks von Aluminiumnitrid zu finden, das in den Schliffbildern Abbildung 1c als schwarze Einschlüsse zu sehen ist. Das Beugungsspektrum der Schicht nach dem Zünderversuch (obere, rote Kurve) zeigt zusätzlich noch kleine Reflexe des Aluminiumoxids Al₂O₃, die die Bildung der zunderbeständigen Schicht belegen.

Perspektive

Die Versuche zeigen, dass es möglich ist, durch die beschriebene Vorgehensweise Edelstähle für Hochtemperaturanwendungen zunderbeständig zu machen. Durch eine geeignete Legierungstechnik konnte die Mikrostruktur der Beschichtung und die Haftung entscheidend verbessert werden. Ebenso konnte die Sintertertemperatur abgesenkt werden. Durch das Aufsintern und Abreagieren der Aluminium-Pasten zu Aluminiden konnten gut haftende, dichte Schichten erzeugt werden. Der Vergleich von gewalzten Blechen und pulvermetallurgisch hergestellten Proben zeigt, dass das pulvermetallurgisch verarbeitete Material durchaus Vorteile hat, da der Verzunderungsmechanismus durch die Porosität abgeschwächt wird. In weiteren Untersuchungen sollen die Thermoschockbeständigkeit der Schicht und die Beständigkeit über längere Zeiträume bei unterschiedlichen Temperaturen überprüft werden. Die Reaktionstemperaturen sollen durch weitere Modifizierung der Legierung weiter gesenkt werden, damit sich der Prozess noch besser in bestehende Fertigungsabläufe bei Kunden und Anwendern integrieren lässt.

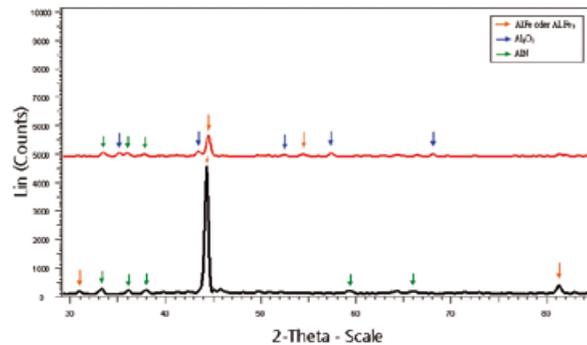


Abb. 4: Röntgenbeugungsspektrum nach der Sinterung (untere, schwarze Kurve) und nach dem Zunderversuch (obere, rote Kurve).

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Georg Veltl
 Telefon: +49 421 2246-148
georg.velt@ifam.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Claudia Drescher
 Telefon: +49 421 2246-104
claudia.drescher@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Pulvermetallurgische Technologien zur Herstellung nanostrukturierter Werkstoffe

Situation

Zur konsequenten Nutzung des Potenzials nanostrukturierter Werkstoffe ist die Entwicklung effizienter und somit kostengünstiger Fertigungstechnologien notwendig. Hierbei hat die Pulvermetallurgie und insbesondere die Verbindung von Nanotechnologie und Pulvermetallurgie ein großes Innovationspotenzial. Durch den nanokristallinen Aufbau von Werkstoffen können mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen, das Verschleißverhalten, aber auch physikalische Eigenschaften erheblich verbessert und aufgrund der Möglichkeiten des Gefügedesigns anwendungsspezifisch angepasst werden. Zur Beherrschung der pulvermetallurgischen Herstellung nanostrukturierter Werkstoffe muss vor allem den Mechanismen der Kornwachstumshemmung und effektiven Verdichtungsverfahren besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Entwicklung und Herstellung interessanter nanokristalliner Werkstoffe und der Erhalt der Nanostruktur bei der Bauteilherstellung durch neue Verfahrensvarianten sind demnach wesentliche Zielstellungen.

Chance

Ob für den Einsatz zur direkten Umwandlung von thermischer in elektrische Energie, einer effizienteren chemischen Reaktion bei der Elektrolyse von Wasserstoff oder für hochwarmfeste Leichtbauteile – die Nachfrage nach ultrafeinkristallinen oder teilweise noch amorphen Werkstoffen ist ansteigend hoch. Es ist ein interessanter Ansatz, kleinste, teilweise nur wenige nanometergroße Strukturen zu erzeugen und damit deutlich bessere Eigenschaften gegenüber den konventionellen Gefügen zu erzielen. Zahlreiche Kombinationen von Legierungselementen oder die Herstellung von Nanokompositen kann eine Vielzahl von Anwendungsgebieten für ultrafeinkristalline Werkstoffe ermöglichen:

- Aluminium-Hochleistungswerkstoffe mit verbesserten mechanische Eigenschaften sowohl bei Raumtemperatur als auch bei erhöhten Temperaturen ($< 400\text{ °C}$).
- Gesinterte sehr feinkristalline thermoelektrische Werkstoffe wandeln effizienter Rest- oder Abfallenergie, z. B. im Abgasstrang eines Verbrennungsmotors, direkt in elektrische

Energie (Seebeck-Effekt; thermoelektrischer Gütewert: $ZT > 1$).

- Aufgrund der sehr großen »inneren Oberfläche« (Korngrenzen, Versetzungen) nanostrukturierter Werkstoffe werden H_2 -Feststoffspeichersysteme auf Basis von Magnesium als vielversprechende Alternative gegenüber konventionellen Druckgaspeichern gesehen.
- Kathoden, Anoden und Katalysatoren steigern ihre Effizienz ebenfalls mit vergrößerten inneren Oberflächen bei relevanten chemischen Reaktionen.

Forschungspotenzial und aktuelle Arbeiten

Feinkristalline oder amorphe Gefüge in Werkstoffen können durch entsprechende Legierungsauswahl in Kombination mit einem schnellen Entzug von Wärme, einem quasi Einfrieren der Schmelze, erzeugt werden. Insbesondere unter dem Aspekt der Entwicklung nanostrukturierter Werkstoffe bietet das »Melt Spinning« (Hochgeschwindigkeitserstarrung) beste Voraussetzungen zur Rascherstarrung von metallischen Schmelzen. Hier wird eine metallische Schmelze auf eine wassergekühlte rotierende Rolle gegossen und ein nur wenige Mikrometer dünnes Band oder Bandstücke (Flakes) erzeugt. Dabei erstarrt der Werkstoff mit einer Abkühlgeschwindigkeit von bis zu 10^6 K/s . Der neue Melt Spinner des Fraunhofer IFAM ermöglicht die Verarbeitung von Schmelzmengen zwischen 100 bis 2000 g (volumenmäßig auf Aluminium bezogen) bei Temperaturen bis ca. 1700 °C und in verschiedenen Atmosphären z. B. Vakuum (10^{-5} mbar), Inertgas oder Luft (Abb. 1).



Abb. 1: Melt-Spinning-Anlage zur Erzeugung der metallischen Werkstoffe mit homogenen Eigenschaften.



Abb. 2: Mittels SPS kompaktierte Bolzen einer verdüsten Al-Legierung (\varnothing 75 mm, h 85 mm, nahezu 100 % theoretische Dichte).

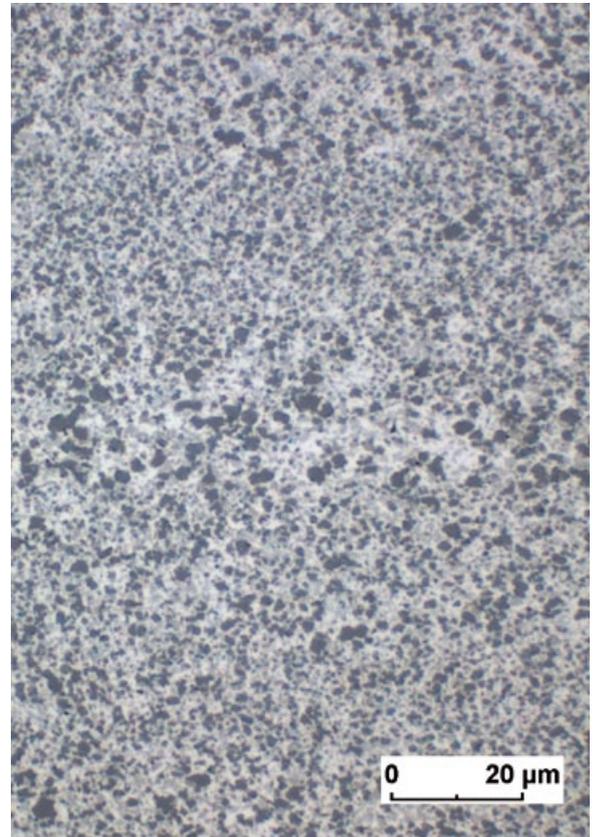


Abb. 3: Gefüge von AlSi20FeNiMgCu nach SPS und anschließender Warmumformung.

Üblicherweise erfolgt anschließend die Verdichtung der Pulver oder Flakes mit Pressen und höheren Temperaturen, wobei die Mikrostrukturen durch Kornwachstum verloren gehen können. Ein interessantes Verfahren zur Kompaktierung stellt das Spark-Plasma-Sintern (SPS) dar. Die direkte Erwärmung mittels hochfrequenter Strompulse kombiniert mit einer Presskraft können das Material in sehr kurzer Zeit und bei Erhalt der gewünschten sehr feinen Mikrostrukturen verdichten. Aufgrund der Schnelligkeit dieses Verfahrens ist eine sehr sorgfältige und werkstoffspezifische Wahl und Optimierung der relevanten Verfahrensparameter notwendig.

Innerhalb von Verbundprojekten, gefördert vom BMBF bzw. durch die AiF, konnte das Spark-Plasma-Sintern von Al-Hochleistungswerkstoffen sowohl anlagen- als auch verfahrenstechnisch weiterentwickelt werden. Einfache Geometrien konnten somit mit nahezu voller Dichte und bei Erhalt von homogenen und ultrafeinkristallinen Gefügen

gepresst werden (Abb. 2 und 3). Zur umfassenden Nutzung der Werkstoffeigenschaften sind bei Al-Werkstoffen noch zusätzliche Umformschritte notwendig, jedoch können Vorteile durch Reduzierung der Prozessschritte erwartet werden. Einen vergleichbaren technologischen Ansatz verfolgt die Herstellung hocheffektiver thermoelektrischer Werkstoffe. In rasch erstarrten Legierungen auf der Basis von $(\text{Bi,Sb})_2(\text{Te,Se})_3$ werden ultrafeine Ausscheidungen erzeugt, welche die Wärmeleitfähigkeit bei Erhalt der elektrischen Leitfähigkeit reduzieren. Nach einer Kurzzeitsinterung mittels SPS können mit derartigen Werkstoffen Thermogeneratoren hergestellt werden, die Abwärme direkt in elektrischen Strom umwandeln. In dem von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Projekt WISA »Thermoelektrische Nanocomposite« konnten sowohl die Werkstoffbasis, deren Herstellungstechnologie als auch die notwendige Einsatzelektronik bis zur Marktreife entwickelt werden.

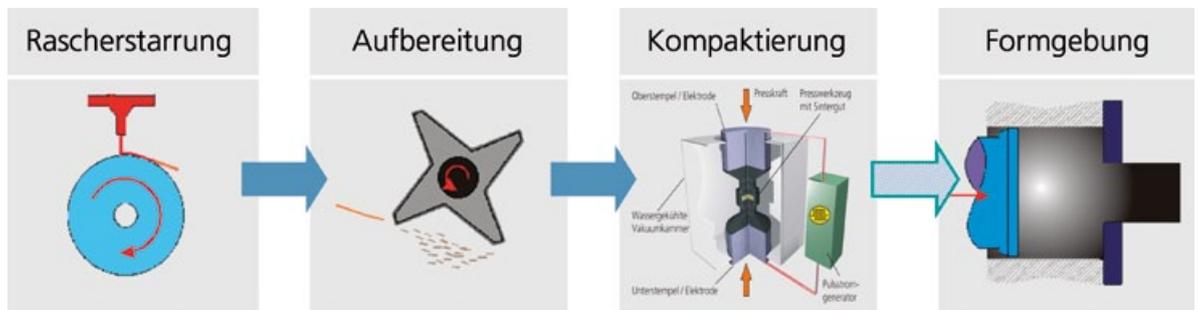


Abb. 4: Fertigungskette für kompakte Halbzeuge bzw. Bauteile mit ultrafeinkristallinem Gefüge am Fraunhofer IFAM.

Das Melt-Spinning-Verfahren kommt in aktuellen FuE-Arbeiten auch zur Synthese nanokristalliner Leichtmetalllegierungen zur Anwendung, die als reversible und sichere H_2 -Feststoffspeicher (Metallhydride) entwickelt werden. Das ultrafeinkristalline Gefüge beeinflusst hierbei die Kinetik von Wasserstoffsorptionsreaktionen aufgrund der deutlich erhöhten Grenzfläche sehr positiv. Interessante hydridbildende Leichtmetalllegierungen (vorrangig Magnesium-basiert), mit denen man gravimetrische Wasserstoffspeicherdichten von > 6 Gewichtsprozent erreicht, können vorteilhaft und zuverlässig mit dem Melt-Spinning-Verfahren in Bandform hergestellt werden. Im Vergleich zu der weitläufig eingesetzten Technologie des mechanischen Legierens von Metallpulvern über Hochenergiemahlprozesse bietet das Melt-Spinning-Verfahren deutliche Vorteile bezüglich der Materialertragsrate, Homogenität der Elementverteilung, Prozesskosten sowie Up-Scaling. Die Bedeutung dieser Entwicklungsarbeiten lassen sich im Hinblick auf die geforderte Realisierung

eines wasserstoffbasierten Energiekreislaufes klar erkennen, wobei besonders für mobile Anwendungen der Technologie einer verlässlichen, volumeneffizienten, leichtgewichtigen und kostengünstigen Speicherung von Wasserstoff sowie die schnelle Be- und Entladung des Wasserstoffspeichers eine Schlüsselrolle zufällt.

Umsetzung und Ausblick

Am Fraunhofer IFAM wurde eine Technologieketten zur Herstellung ultrafeiner bzw. nanostrukturierter Werkstoffe, beginnend von der Pulver-/Flakeerzeugung bis zur Verdichtung durch ein Kurzzeitsintern und eventuell anschließender Warmformgebung, aufgebaut (Abb. 4). Neben »klassischen« mechanischen Verfahren der Pulverherstellung und -modifizierung bietet das Melt Spinning die Möglichkeit nanostrukturierte oder amorphe Pulver im Kilogramm Maßstab herzustellen. Aufgrund der Mikrometer-Größe der Pulverteilchen ist ihre Handhabung gegenüber metallischen Nanopulvern einfacher. Mit dem Spark-Plasma-Sinterverfahren bietet sich die Möglichkeit, die innerhalb der Pulverteilchen erzeugte Nanostruktur auch ins kompakte Bauteil zu übertragen. Schwerpunkt der Arbeiten bildet dabei das Upscaling auf bauteilrelevante Größen von bis zu 300 Millimeter Durchmesser. Die Anwendung der Technologieketten erfolgt heute bereits für Aluminiumwerkstoffe und Thermoelektrika. In der zukünftigen Entwicklung werden weitere Werkstoffgruppen, wie etwa zur Wasserstoffspeicherung oder hochschmelzende Metalle, eine wichtige Rolle spielen.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Thomas Weißgärber
Telefon: +49 351 237-305
thomas.weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de

Institut

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

Neue Biowerkstoffe auf der Basis zellulärer metallischer Werkstoffe

Ausgangssituation

Knochen- und Knochen-/Knorpeldefekte stellen ein großes medizinisches Problem dar. Nicht nur bei Sportverletzungen des jüngeren Menschen, sondern auch bei der Entstehung der Arthrose des älteren Menschen sind lokalisierte Knorpelläsionen mit Beteiligung des darunter liegenden Knochens gefürchtete Defekte. Aber auch in der Traumatologie oder bei der operativen Behandlung von Knochentumoren oder Absiedlungen anderer bösartiger Tumore im Knochen (Metastasen) entstehen Defekte, welche vom Körper nicht spontan kompensiert werden können. Dabei müssen diese Läsionen solange stabil ersetzt werden, bis neu gebildeter körpereigener Knochen in der Lage ist, die mechanische Funktion wieder selbstständig zu übernehmen. Typischerweise werden derartige Defekte heutzutage durch körpereigene Knochen oder durch massives Knochenersatzmaterial ersetzt. Ersteres erfordert zusätzlich risikobehaftete Eingriffe, letztere sind aufgrund ihrer hohen Steifigkeit unvorteilhaft. Diese Implantate übertreffen die Steifigkeit des umgebenden Knochens weit und übernehmen an dieser Stelle die Last, die auf den betreffenden Körperteil wirkt. Da die Knochenneubildung der Lastverteilung folgt, neigen massive Implantate zum vorzeitigen Lockern.

Zelluläre metallische Werkstoffe besitzen aufgrund ihrer porösen Struktur eine stark verringerte Steifigkeit. Dieser Wert liegt typischerweise im Bereich der Steifigkeit eines spongiösen Knochens. Der Knochen eines erwachsenen Menschen setzt sich histologisch aus zwei Knochenformen zusammen, der Kortikalis und der Spongiosa (Abb. 1). Als Spongiosa wird die am Ende des Knochens im gelenknahen Bereich vorliegende hochporöse Struktur des Knochens bezeichnet, die gerade bei osteoporotischen Patienten häufig Defektfrakturen erleidet. Offenzellige Metalle erlauben das Einwachsen von Knochenzellen und von Blutgefäßen, die für das Knochenwachstum unbedingt notwendig sind. Darüber hinaus ist auch die Festigkeit dieser Werkstoffe vergleichbar mit der von Knochen. Aufgrund dieser Eigenschaften ist das Interesse der Medizin an derartigen Werkstoffen sehr groß.



Abb. 1: Struktur eines gesunden spongiösen Knochens (mit freundlicher Genehmigung der rs media GmbH).

Projektbeschreibung

Offenzellulare Metalle werden am Fraunhofer Institutszentrum IZD in Dresden in einer Kooperation der Fraunhofer Institute IFAM und IKTS entwickelt. Schwerpunkte dieser Entwicklungen sind Implantate aus Stahl oder Titan. Hergestellt werden diese Werkstoffe mit einer pulvermetallurgischen Replikationstechnik, bei der retikuliert Polyurethanschwämme mit einer Metallpulver-Binder-Suspension imprägniert werden. Die Organik wird im nächsten Schritt thermisch entfernt und das Pulverskelett gesintert. Dabei entstehen sehr homogene schwammartige Strukturen mit einer Dichte von $\sim 1 \text{ g/cm}^3$ (Abb. 2). Insbesondere können die mechanischen Eigenschaften des Knochenersatzmaterials durch eine gezielte Einstellung der Dichte und der Struktur an die des Knochens angepasst werden. Dies kann z. B. durch Einstellung einer gewünschten Beschichtungsstärke oder Auswahl eines geeigneten Trägermaterials geschehen. Insbesondere ist es mit dieser Technologie möglich, eine individuelle Anpassung an

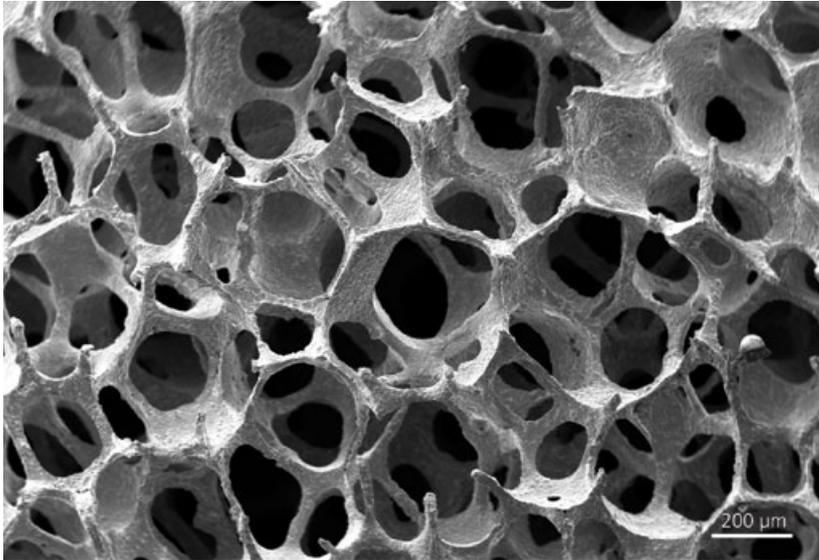


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines offenzelligen Metallschaums. Die Struktur zeigt eine sehr große Ähnlichkeit zur spongiösen Knochenstruktur.

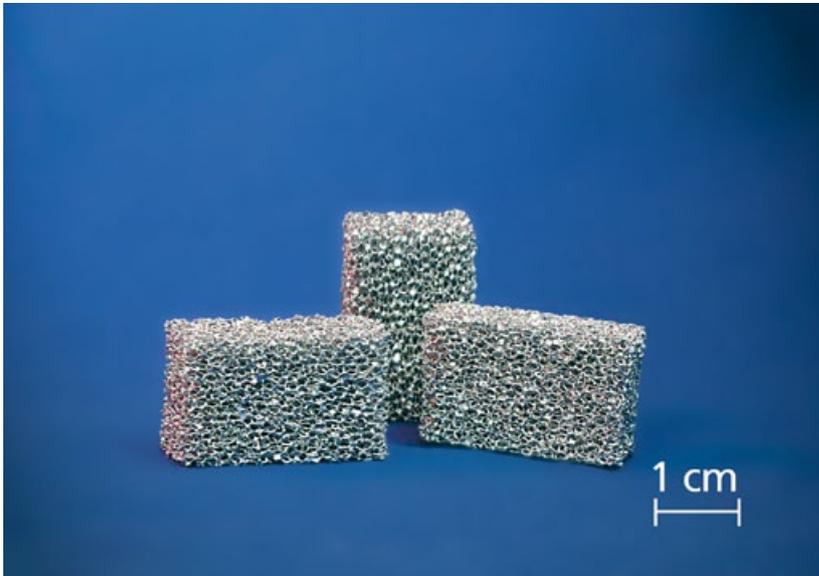


Abb. 3: Offenzelliger Metallschaum aus der Titanlegierung Ti6Al4V.

den Zustand des umgebenden Knochenmaterials vorzunehmen. Dadurch kann das Material sowohl an einen jugendlichen Knochen als auch an einen osteoporotischen alten Knochen angepasst werden.

Mit diesem neuen Werkstoff mit faszinierenden Eigenschaften beschäftigen sich interdisziplinäre Projekte, in denen an den Fraunhofer-Instituten in Kooperation mit Industriepartnern und Kliniken werkstoffwissenschaftliche, biologische und medizinische Aspekte der Entwicklung bis zur Anwendung im Tiermodell untersucht werden.

Dauerimplantate

Zunächst wird der neue Implantatwerkstoff als Dauerimplantat konzipiert. Das bedeutet, dass das Implantat nach der Operation dauerhaft im Körper verbleibt. Für derartige Implantate ist Titan der gängige Werkstoff. Dies ist vor allem begründet in der niedrigen Dichte, der außerordentlich guten Biokompatibilität, gepaart mit einer exzellenten Korrosionsbeständigkeit. Bei nicht resorbierbaren Knochenersatzmaterialien bedeutet das eine bindegewebs- und entzündungsfreie Knochenbindung. Für den Einsatz als Endoprothese spricht darüber hinaus insbesondere die gute Osteokonduktivität von Titan. Titan und seine Legierung Ti6Al4V genießt aus diesen Gründen die höchste Marktakzeptanz unter den metallischen Ersatzmaterialien. Es liegt daher nahe, die Entwicklung eines Knochenersatzmaterials auf der Basis von Titan durchzuführen. Dies ist das Thema des vom BMWi geförderten Verbundprojekts TiFoam.

Die Herausforderung der Umsetzung des Konzeptes auf den Werkstoff Titan ist vor allem die außerordentliche Affinität von Titan gegenüber den Elementen Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, die als Oxide, Karbide oder Nitride schon in sehr geringen Mengen zur Versprödung des Materials führen. Hier ist es nun gelungen, durch Prozessoptimierung offenzellige Titanschäume mit den gewünschten duktilen Eigenschaften zu fertigen (Abb. 3). Auf der medizinischen Seite steht die Überprüfung der Eignung des entwickelten Materials im Mittelpunkt. Diese Tests werden von der Uniklinik Dresden durchgeführt. Dabei wird das neue Implantatmaterial als Ersatz von Wirbelkörpern in Schafen eingesetzt. Die ersten Tests mit

Dauerimplantaten zeigen dabei ein hervorragendes Einwachsverhalten von Knochenzellen in das Material.

Resorbierbare Implantate

Ein anderes Konzept wird mit der Entwicklung biodegradierbarer Werkstoffe verfolgt. Ein ideales Implantat übernimmt hier zu Beginn der Heilung zunächst die volle Stabilisierung. Bei zunehmender Knochenregeneration wird durch die Resorption des Implantatmaterials eine vermehrte Lastübertragung auf den Knochen eingeleitet. In diesem Idealfall wird durch fortschreitende Osteointegration (d. h. das Einwachsen des Knochens) einerseits und Zersetzung des Implantats andererseits jederzeit eine optimale Anpassung an den jeweiligen Festigkeitszustand erreicht (Abb. 4).

Ein für den Einsatz als Knochenersatz seit einiger Zeit diskutierter Werkstoff ist Magnesium. Dieser Werkstoff weist zwar eine gute Biokompatibilität auf, korrodiert allerdings so schnell, dass im Regelfall der neu gebildete Knochen noch nicht die volle Last übernehmen kann. Eine Alternative ist die Verwendung von Eisen als Biomaterial. Degradierbare Eisenimplantate wurden ebenfalls in der kardiovaskulären Chirurgie experimentell erprobt. Die implantierten Stents wurden vollständig resorbiert und hinterließen keine ausgeprägten Entzündungsreaktionen. Implantate aus degradierbarem Eisen werden dagegen in der Knochenchirurgie weit weniger diskutiert. Sie sind aber sehr interessant, weil Eisen sehr viel langsamer als Magnesium korrodiert. Außerdem ist Eisen mechanisch stabiler.

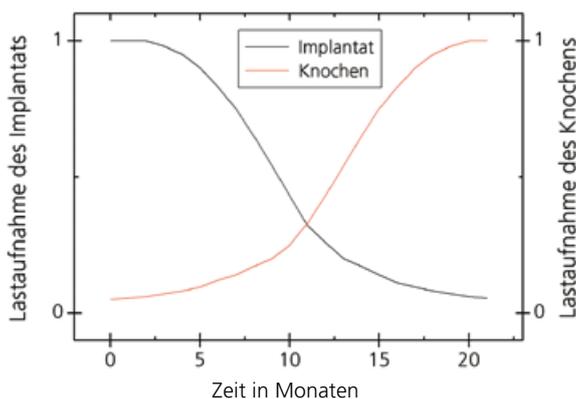


Abb. 4: Ideale Heilung und Lastübernahme eines resorbierbaren Knochenimplantates und des einwachsenden Knochens.

Am Fraunhofer IFAM werden daher offenzellige Metallschäume auf der Basis von unlegiertem und niedriglegiertem Stahl entwickelt. Dabei wird auch der Einfluss von geringen Legierungszugaben geprüft. Hier kommen vor allem Legierungselemente infrage, die als körpereigene Spurenelemente eine hohe Biokompatibilität besitzen. So zeigen beispielsweise Metallschäume schon bei einem geringen Zusatz von Phosphor < 1% einen signifikanten Festigkeitsanstieg. Interessant ist vor allem die Degradationsgeschwindigkeit der Schäume. In-vitro-Untersuchungen beim Partner InnoTERE GmbH zeigen bei diesem Werkstoff, dass die Zersetzung innerhalb von etwa zwei Jahren stattfindet. Zurzeit wird an der Uniklinik Großhadern die Resorption dieser Implantatwerkstoffe im Tiermodell überprüft.

Perspektive

Die bisherigen Arbeiten zeigen, dass offenzellige Metallschäume für die Verwendung als synthetischer Knochenersatz sowohl als Dauerimplantat als auch als degradierbares Implantat geeignet sind. Der wesentliche Prüfstein ist nun die Bestätigung der In-vivo-Ergebnisse im Tiermodell. In der Zwischenzeit stehen die Umsetzung der Ergebnisse insbesondere zu Titanimplantaten in größere Fertigungsstrecken sowie weitere Optimierungsarbeiten im Fokus. In wirtschaftlicher Hinsicht muss nun die Ausweitung der Nutzung der Projektergebnisse für die Entwicklung von Knochenimplantaten für die verschiedenen klinischen Einsatzgebiete überprüft werden.

Ansprechpartner

Dr. Peter Quadbeck
Telefon: +49 351 2537-372
peter.quadbeck@ifam-dd.fraunhofer.de

Institut

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

Aluminiumfaser-Sandwichstrukturen für Wärmeüberträgeranwendungen

Ausgangssituation

Adsorptions-Kältemaschinen erzeugen Nutzkälte durch Verdampfung von Wasser aus einem Reservoir (Verdampfer), dem der Dampf durch Adsorption an einem Zeolithen (im sogenannten Adsorber) entzogen wird (Abb. 1). Um dieses Prinzip auch in mobilen Anwendungen nutzen zu können, ist eine gegenüber dem Stand der Technik vervielfachte Leistungsdichte erforderlich. Dafür müssen dem schlecht wärmeleitenden Zeolithen auf engstem Raum hohe Wärmeströme zu- und abgeführt werden können, sodass herkömmliche, auf Schüttungen beruhende Bauarten für den Adsorber nicht mehr verwendet werden können.

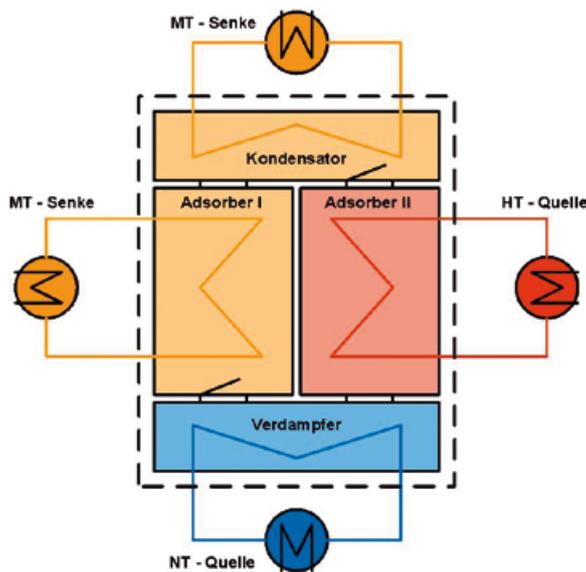


Abb. 1: Funktionsprinzip von Adsorptions-Kältemaschinen.

Lösungsansatz

Eine mögliche Lösung beruht auf dünnen Zeolith-Schichten, die auf einem gut wärmeleitenden Material aufgebracht werden. Das Gesamtmaterial sollte dabei immer noch offenporös sein, damit der Wasserdampf überall gut hinkommt. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des Fraunhofer-internen Projektes THOKA (Thermisch angetriebene Hochleistungs-Kälteverfahren) Aluminium-Faserstrukturen entwickelt, die eine hohe spezifische Oberfläche aufweisen, damit möglichst große Mengen des Zeolithen aufgebracht werden können.

Ergebnis und Perspektive

Mithilfe thermodynamischer Berechnungen konnte eine Aluminium-Legierung gefunden werden, die das Flüssigphasensintern loser Faserschüttungen erlaubt. Zur Herstellung der Fasern aus den gewünschten Sonderlegierungen wurde das Fraunhofer-IFAM-Schmelzextraktionsverfahren eingesetzt (Abb. 2). Auch die Anbindung an Bleche ist durch das Flüssigphasensintern möglich (Abb. 3).



Abb. 2: Schmelzextraktionsanlage.



Abb. 3: Aluminium-Fasersandwich.

Damit war die Herstellung von Aluminium-Faserstrukturen möglich, die spezifische Oberflächen von bis zu $15\,000\text{ m}^2/\text{m}^3$ bei einer Porosität von 65 % aufwiesen. Durch die Versinterung der Fasern untereinander kommt es dabei zu einer signifikanten Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit auf Werte um $15\text{ W}/(\text{m K})$.

Solche Strukturen wurden bei einem Industriepartner erfolgreich mit Zeolithen beschichtet. Von dem Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM als Projektpartner wurden tomographische Aufnahmen der Struktur (Abb. 4) ausgewertet, um Rechenmodelle zur Auslegung des Adsorbers zu erhalten. Mit den neuen Strukturen konnte auf Anhieb eine deutliche Steigerung der Leistungsdichte auf weit über 300 W/l erreicht werden, wie Kinetik-Tests, durchgeführt vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesystem ISE, zeigen (Abb. 5). Damit sind Leistungsdichten erreicht, die die mobile Anwendung von Adsorptions-Kälteprozessen in greifbare Nähe rücken. Die weiteren Arbeiten befassen sich mit einer Optimierung der Herstellungsprozesse und der weiteren Steigerung der Leistungsdichten, um den Prozess so ökonomisch wie möglich gestalten zu können.

Projektpartner

WISA THOKA

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesystem ISE

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen

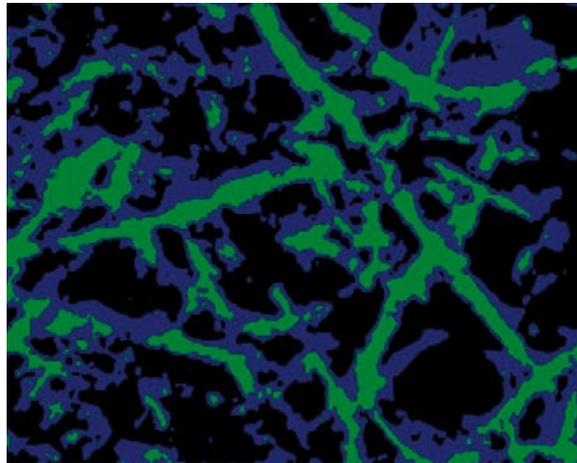


Abb. 4: Tomographische Falschfarbenaufnahme einer zeolithbeschichteten Faserstruktur. Grün: Aluminiumfasern, blau: Zeolith-Beschichtung.

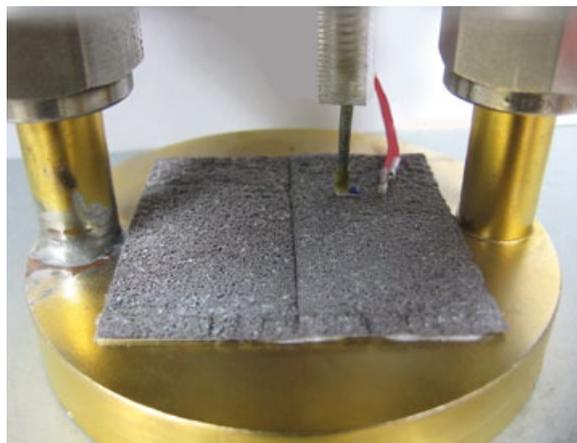


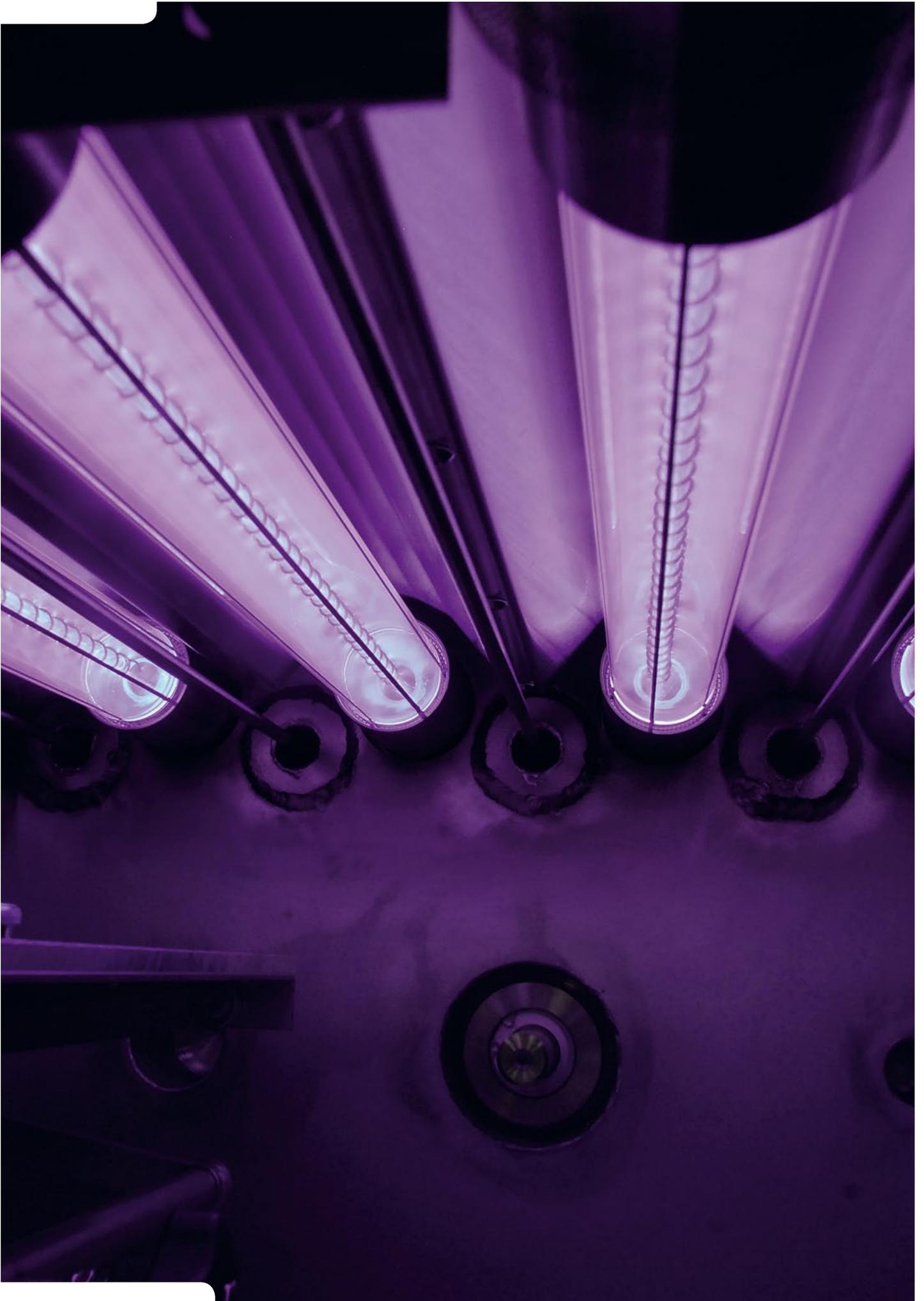
Abb. 5: Zeolithbeschichtete Aluminium-Faserstruktur im Kinetik-Prüfstand des Fraunhofer ISE.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Olaf Andersen
Telefon: +49 351 2537-319
olaf.andersen@ifam-dd.fraunhofer.de

Institut

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



Bereich Klebtechnik und Oberflächen

Ergebnisse Anwendungen Perspektiven



VUV-Excimeranlage des Fraunhofer IFAM zur
Aktivierung und Beschichtung von Oberflächen.

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 170 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 und Faserverbundtechnologie.

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 und das Korrosionsprüflabor 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. Das Kunst-

stoff-Kompetenzzentrum ist gemäß der Anerkennungs- und Zulassungsverordnung – Weiterbildung (AZVV) zugelassen. Die »Anerkannte Stelle« für das Kleben von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen ist nach DIN 6701-2 und partiell nach DIN EN 45012 durch das EBA akkreditiert.

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, gegebenenfalls -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 Applikationseinrichtungen
- Klebtechnische Personalqualifizierung aller, die an der Entwicklung und Fertigung von Produkten beteiligt sind
- Personalqualifizierung in der Faserverbundtechnologie für die ausführende Ebene

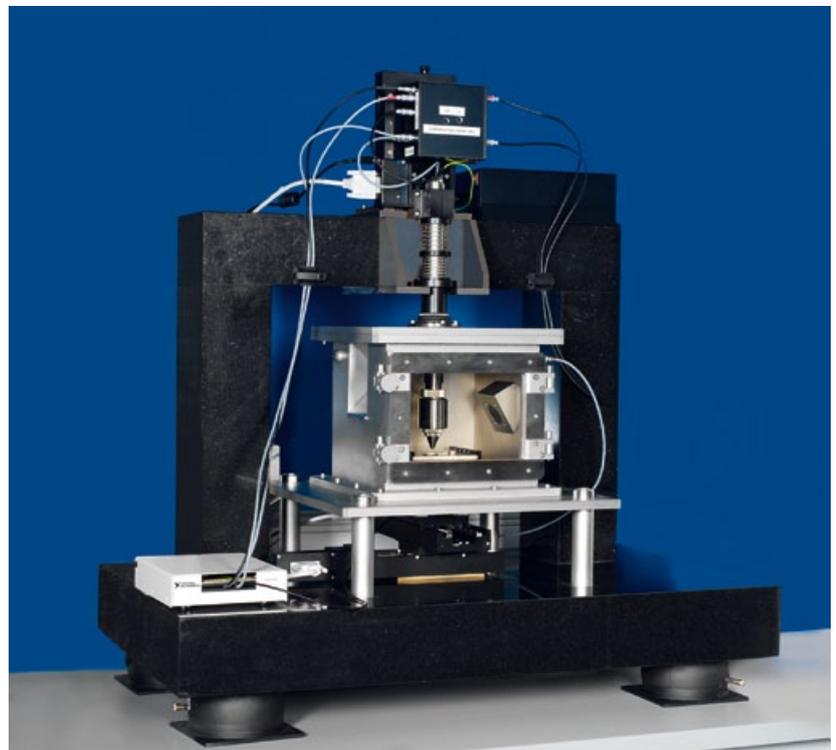
In allen Bereichen setzt das IFAM verstärkt auf rechnergestützte Methoden. Beispielhaft sind hier die numerische Beschreibung von Strömungsvorgängen in Dosierpumpen/-ventilen und die Multiskalen-Simulation von der Molekulardynamik in molekularen Dimensionen bis hin zu makroskopischen Finite-Elemente-Methoden 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 medizinischen Klebstoffen mit Proteinbestandteilen.

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.



Berührungslose Potentialmessung zur Korrosionsuntersuchung mit der Rasterkelvin-Sonde.

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-/molekularmechanischen Methoden
- Internationalisierung der Lehrgänge zur/zum Klebpraktiker/-in, Klebfachkraft, European Adhesive Engineer (Klebfachingenieur/-in)
- Entwicklung und Qualifizierung klebtechnischer Fertigungsprozesse
- Entwicklung innovativer Verbindungskonzepte z. B. für den Fahrzeug- und Flugzeugbau (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 industrietauglicher, umweltverträglicher Vorbehandlungsverfahren für das langzeitbeständige Kleben und Lackieren von Kunststoffen und Metallen
- Funktionelle Beschichtungen durch Plasma- und Kombinationsverfahren
- Prüfung und Qualifizierung von Beschichtungsstoffen, Rohstoffen und Lackierverfahren
- Entwicklung funktioneller Lacke für Spezialanwendungen
- Entwicklung von Spezialprüfverfahren (z. B. Eis)
- 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
- Analyse klebtechnischer Entwicklungs- und Fertigungsprozesse
- Qualitätssicherungskonzepte für kleb- und lacktechnische Anwendungen durch fertigungsintegrierte Analyse von Bauteiloberflächen



Vereisungskammer.

Arbeitsgebiete und Ansprechpartner

Institutsleitung Dr.-Ing. Helmut Schäfer

Klebtechnische Fertigung

Dipl.-Ing. Manfred Peschka
 Telefon: +49 421 2246-524
 manfred.peschka@ifam.fraunhofer.de
 Fertigungsplanung; Dosier- und Auftragstechnik;
 Automatisierung; Hybridfügen; Fertigung
 von Prototypen; Auswahl, Charakterisierung,
 Qualifizierung von Kleb-, Dicht- und
 Beschichtungsstoffen; Schadensanalyse;
 elektrisch/optisch leitfähige Kontaktierungen;
 adaptive Mikrosysteme; Dosieren kleinster
 Mengen; Eigenschaften von Polymeren in
 dünnen Schichten; Fertigungskonzepte.

Klebstoffe und Analytik

Dr. Jana Kolbe
 Telefon: +49 421 2246-446
 jana.kolbe@ifam.fraunhofer.de

Applikationsverfahren

M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Uwe Maurieschat
 Telefon: +49 421 2246-491
 uwe.maurieschat@ifam.fraunhofer.de

Prozesse und Automatisierung

Dr. Holger Fricke
 Telefon: +49 421 2246-637
 holger.fricke@ifam.fraunhofer.de

Mikrosystem- und Medizintechnik

Dr. Thomas Gesang
 Telefon: +49 421 2246-474
 thomas.gesang@ifam.fraunhofer.de

Plasmatechnik und Oberflächen (PLATO)

Dr. Ralph Wilken
 Telefon: +49 421 2246-448
 ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de
 Oberflächenmodifizierung (Reinigung,
 Aktivierung für z. B. Kleben, Bedrucken,
 Lackieren) und Funktionsschichten (z. B.
 Haftvermittlung, Korrosionsschutz, Kratzschutz,
 antimikrobielle Wirkung, Easy-to-clean,
 Trennschicht, Permeationsbarriere) für 3-D-Teile,
 Schüttgut, Bahnware; Anlagenkonzepte und
 Pilotanlagenbau.

Niederdruck-Plasmatechnik

Dr.-Ing. Klaus Vissing
 Telefon: +49 421 2246-428
 klaus.vissing@ifam.fraunhofer.de

Atmosphärendruck-Plasmatechnik

Dr. Jörg Ihde
 Telefon: +49 421 2246-427
 joerg.ihde@ifam.fraunhofer.de

Anlagentechnik/Anlagenbau

Dr. Alfred Baalmann
 Telefon: +49 421 2246-473
 alfred.baalmann@ifam.fraunhofer.de

Klebstoffe und Polymerchemie

Priv.-Doz. Dr. habil. Andreas Hartwig
 Telefon: +49 421 2246-470
 andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de
 Entwicklung und Charakterisierung von
 Polymeren; Nanokomposite; Netzwerkpolymere;
 Formulierung von Klebstoffen und
 Funktionspolymeren; chemische und physikalische
 Analytik; Peptid- und Proteinchemie; Peptid-
 Polymer-Hybride; Kleben in der Medizin; mit
 Peptiden funktionalisierte Oberflächen; marine
 Proteinklebstoffe.

Biomolekulares Oberflächen- und Materialdesign

Dr. Klaus Rischka
 Telefon: +49 421 2246-482
 klaus.rischka@ifam.fraunhofer.de

Lacktechnik

Dr. Volkmar Stenzel
 Telefon: +49 421 2246-407
 volkmar.stenzel@ifam.fraunhofer.de
 Entwicklung von Funktionsbeschichtungen,
 z. B. Anti-Eis-Lacke, Anti-Fouling-Systeme,
 schmutzabweisende Systeme, selbstheilende
 Schutzbeschichtungen, strömungsgünstige
 Beschichtungen; Rezepturoptimierung;
 Rohstoffuntersuchung; Entwicklung von
 Richtrezepturen; Charakterisierung und
 Qualifizierung von Lacksystemen sowie
 Rohstoffen; Produktfreigaben; Farbmanagement;
 Optimierung von Beschichtungsanlagen;
 Qualifizierung von Beschichtungsanlagen
 (Vorbehandlung, Applikation, Trocknung);
 Schadensuntersuchungen; anwendungsbezogene
 Methodenentwicklung.

Entwicklung von Beschichtungsstoffen

Dipl.-Ing. (FH) Yvonne Wilke
 Telefon: +49 421 2246-613
 yvonne.wilke@ifam.fraunhofer.de

Anwendungs- und Verfahrenstechnik

Dipl.-Ing. (FH) Sascha Buchbach
 Telefon: +49 421 2246-497
 sascha.buchbach@ifam.fraunhofer.de

Adhäsions- und Grenzflächenforschung

Dr. Stefan Dieckhoff
 Telefon: +49 421 2246-469
 stefan.dieckhoff@ifam.fraunhofer.de
 Oberflächen-, Grenzflächen-, Schichtanalytik;
 Untersuchung von Adhäsions-, Trenn- und
 Degradationsmechanismen; Analyse reaktiver
 Wechselwirkungen an Werkstoffoberflächen;
 Schadensanalyse; Qualitätssicherung
 durch fertigungsintegrierte Analysen
 von Bauteiloberflächen; entsprechende
 Konzeptentwicklung für klebtechnische,
 lacktechnische und oberflächentechnische
 Anwendungen; Korrosion an metallischen
 Werkstoffen, unter Beschichtungen und
 in Klebverbindungen; Untersuchung
 von Anodisierschichten; elektrolytische
 Metallabscheidung; akkreditiertes
 Korrosionsprüflabor; Modellierung
 molekularer Mechanismen bei Adhäsions-
 und Degradationsphänomenen;
 Strukturbildung an Grenzflächen;
 Anreicherungs- und Transportprozesse in
 Klebstoffen und Beschichtungen.

Oberflächen- und Nanostrukturanalytik

Dr. Thorsten Fladung
 Telefon: +49 421 2246-451
 thorsten.fladung@ifam.fraunhofer.de

Fertigungsintegrierte Oberflächenanalytik

Dr.-Ing. Susanne Markus
 Telefon: +49 421 2246-612
 susanne.markus@ifam.fraunhofer.de

Elektrochemie/Korrosionsschutz

Dr.-Ing. Peter Plagemann
 Telefon: +49 421 2246-530
 peter.plagemann@ifam.fraunhofer.de

Applied Computational Chemistry

Dr. Peter Schiffels
 Telefon: +49 421 2246-567
 peter.schiffels@ifam.fraunhofer.de

Werkstoffe und Bauweisen

Dr. Markus Brede
 Telefon: +49 421 2246-476
 markus.brede@ifam.fraunhofer.de
 Werkstoff- und Bauteilprüfung; Crash- und Ermüdungsverhalten von Niet- und Klebverbindungen; Faserverbundbauteile; Leicht- und Mischbauweisen; Auslegung und Dimensionierung von Klebverbindungen; Qualifizierung von mechanischen Verbindungselementen; Optimierung mechanischer Fügeprozesse; Auslegung und Dimensionierung von Nietverbindungen.

Strukturberechnung und numerische Simulation

Dr. Christof Nagel
 Telefon: +49 421 2246-477
 christof.nagel@ifam.fraunhofer.de

Mechanische Fügetechnik

Dr.-Ing. Oliver Klapp
 Telefon: +49 421 2246-479
 oliver.klapp@ifam.fraunhofer.de

Klebtechnisches Zentrum/ Weiterbildung

Prof. Dr. Andreas Groß
 Telefon: +49 421 2246-437
 andreas.gross@ifam.fraunhofer.de
 www.kleben-in-bremen.de
 Qualifizierung zur/zum Klebpraktiker/-in, Klebfachkraft, Adhesive Bonding Engineer (Klebfachingenieur/-in) mit europaweit anerkannten DVS®-EWF-Zeugnissen; Inhouse-Lehrgänge; Beratung; Fertigungsqualifizierung; Studien; Arbeits- und Umweltschutz; Weiterbildung zur/zum Faserverbundkunststoff-Praktiker/in.

Kunststoff-Kompetenzzentrum Bremen und Bremerhaven

Dr. Silke Mai
 Telefon: +49 421 2246-625
 silke.mai@ifam.fraunhofer.de
 www.kunststoff-in-bremen.de

Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM

Dr. Dirk Niermann
 Telefon: +49 421 2246-439
 dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de
 Industrialisierungsgerechte Montage mittels Kleben, Nieten oder Kombinationen daraus; adaptive Präzisionszerspannung; automatisierte Mess- und Positionierverfahren; zerstörungsfreies Prüfen von Faserverbundkunststoff-(FVK-) Großstrukturen.

Geschäftsfeld Entwicklung

Dr.-Ing. Helmut Schäfer
 Telefon: +49 421 2246-401
 helmut.schaefer@ifam.fraunhofer.de

Technologiebroker

Dr. Michael Wolf
 Telefon: +49 421 2246-640
 michael.wolf@ifam.fraunhofer.de

Neue Forschungsfelder

Dr. Uwe Lommatzsch
 Telefon: +49 421 2246-456
 uwe.lommatzsch@ifam.fraunhofer.de

Anerkannte Stelle des Eisenbahnbundesamtes nach DIN 6701-2

Dr. Dirk Niermann
 Telefon: +49 421 2246-439
 dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de
 Beratung; Prüfung und Zulassung von Schienenfahrzeugbaubetrieben und ihrer Zulieferer hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Klebarbeiten gemäß den Vorgaben der DIN 6701 ausführen zu können.

Weiterer Ansprechpartner

Dr. Markus Brede
 Telefon: +49 421 2246-476
 markus.brede@ifam.fraunhofer.de

Prozess-Reviews

Analyse 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.

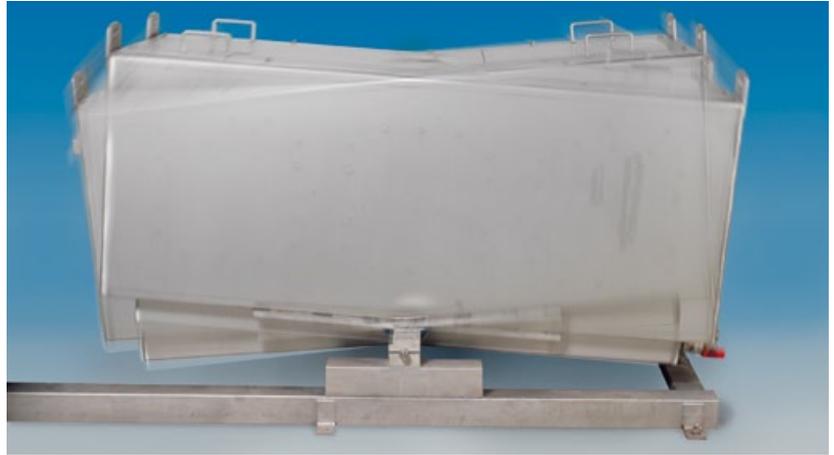
Dr. Dirk Niermann
 Telefon: +49 421 2246-439
 dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Manfred Peschka
 Telefon: +49 421 2246-524
 manfred.peschka@ifam.fraunhofer.de

Ausstattung

Bereich Klebtechnik und Oberflächen

- Niederdruck-Plasmaanlagen für 3-D-Teile, Schüttgut und Bahnware bis 3 m³ (HF, MW)
- Atmosphärendruck-Plasmaanlagen für 3-D-Teile und Bahnware
- Robotergeführte Atmosphärendruck-Plasmaanlage (6-achsig) zur flächigen und Linienbehandlung und -beschichtung
- VUV-Excimer-Anlage zur Oberflächenbehandlung und Beschichtung
- CO₂-Schneestrahlanlagen
- Laserscanner zur 3-D-Vermessung von Bauteilen bis 3500 mm
- Universalprüfmaschinen bis 400 kN
- Anlagen zur Werkstoff- und Bauteilprüfung für hohe Belastungs- und Verformungsgeschwindigkeiten bei ein- und mehrachsigen Spannungszuständen
- All-Electric Labornietautomat mit halb automatischer Installation von ein- und zweiteiligen Verbindungselementen, C-Bügel-Bauweise mit 1,5 m Rahmentiefe, maximale Stauchkraft: 70 kN, Bohrspindel für Drehzahlen bis 18 000 U/min und Bohrrinnenschmierung sowie Hochgeschwindigkeitsarbeitsraumüberwachung
- Labor-Vakuumpresse mit PC-Steuerung zur Herstellung von Multilayer-Prototypen
- 300-kV- und 200-kV-Transmissionselektronenmikroskope mit EDX, EELS und 3-D-Tomograph
- Oberflächenanalytiksysteme und Polymeranalytik mit XPS, 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
- Dielektrimeter
- Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) und Rauschanalyse (ENA)



IMO-Prüfkammer zur Korrosionsuntersuchung für Anwendungen im Bereich Ballastwassertanks.

- 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
- Verschiedene Dispergieraggregate
- Lackapplikationsautomat
- Vollklimatisierte Lackierkabine
- Lacktrockner mit entfeuchteter Luft
- UV-Härtungstechnik
- Mechanisch-technologische Prüfungen
- Farbmessgerät MA 68 II
- Optische Prüftechnik
- Prüftechnik Ant-Icing-Lacke
- IMO-Prüfkammer
- Prüfringleitung für Lackbelastungstests
- Miniaturprüfringleitung für Lackbelastungstests
- Freibewitterung an verschiedenen Standorten
- Raster-Kelvin-Sonde
- Coatema Deskcoater
- 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
- Frei konfigurierbare 1K-/2K-Dosiertechnik, an spezifische Aufgaben anpassbar, mit umfangreicher Messtechnik (Eigenentwicklung)
- Fluoreszenzmikroskop

Raus aus dem Labor: Das Fraunhofer IFAM arbeitet bei den CFK-Werkstoffen bald mit Großstrukturen

Ein rassiges Auto, das so manches Herz höher schlagen lässt: der Porsche Carrera GT. Sportwagenfans mögen sich an den 334 km/h Spitzengeschwindigkeit und der unglaublichen Beschleunigung erfreuen, die den 450 000 Euro teuren Boliden in weniger als zehn Sekunden auf 200 km/h bringt. Werkstofftechniker sind eher aus einem anderen Grund an dem Carrera GT interessiert – es ist das erste Serienfahrzeug, bei dem das Chassis und der Aggregateträger vollständig aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) gefertigt werden. Der Wagen ist ein Beispiel dafür, dass sich der Einsatz von CFK-Bauteilen im Fahrzeugbau immer stärker durchsetzt.

Das Fraunhofer IFAM ist bei solchen Entwicklungen mit von der Partie: Das Institut beschäftigt sich bereits seit rund 20 Jahren mit Fragen des Fügens von CFK-Werkstoffen und hat die Weiterentwicklung auf diesem Sektor mit wichtigen Forschungsergebnissen unterstützt. Die Erkenntnisse werden in der Regel im Labor gewonnen und auf Anwendungen im größeren Maßstab übertragen. Jetzt weitet das IFAM sein Angebot aus: Mit der neu gegründeten Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM wird im zukünftigen Forschungszentrum CFK Nord bald auch das Fügen von CFK in Großstrukturen inklusive der dazugehörigen Untersuchungen möglich sein.

Beim CFK sind Carbonfasern in mehreren Lagen als Verstärkung in eine Kunststoffmatrix – etwa Epoxidharz – eingebettet (Abb. 1). Insbesondere für stark beanspruchte Bauteile im Hochleistungsbereich lässt sich die Ausrichtung der Fasern mit Computerunterstützung berechnen. Dadurch ist eine sehr hohe Festigkeit und Steifigkeit erreichbar. Zudem gibt es einen weiteren Vorteil: CFK ist leicht. Und leicht sowie hoch belastbar sollen die Werkstoffe sein, die für die Flugzeuge, Autos, Züge und Schiffe der Zukunft eingesetzt werden. Denn geringeres Gewicht ist ein Weg, bei stetig steigenden Energiepreisen den Verbrauch zu drosseln und gegebenenfalls auch noch höhere Geschwindigkeiten zu erzielen. Dazu kommen ein gutmütiges Ermüdungsverhalten bei schwingender Beanspruchung, gute Dämpfungseigenschaften und viele weitere Vorteile, die CFK für die Strukturen im Flugzeugbau, im Verkehrsmittelbau allgemein oder für Windkraftanlagenbauteile interessant macht.

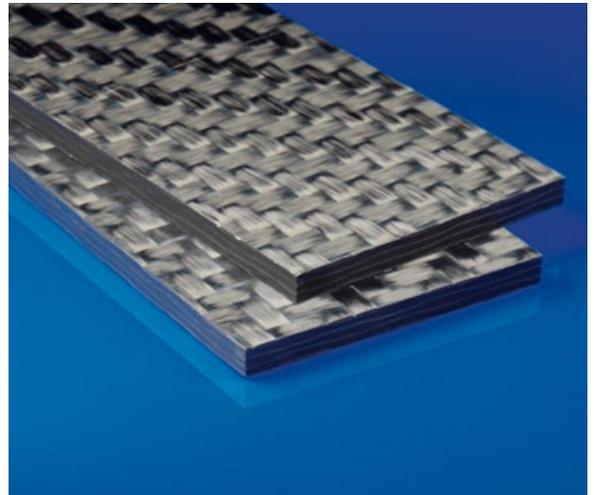


Abb. 1: Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK-Werkstoff).

Die Materialkosten für die Carbonfasern und die Matrixharze werden ebenso wie Werkzeug- und Energiekosten vom Markt bestimmt und lassen sich daher nur schwer beeinflussen. Umso bedeutender sind daher die Möglichkeiten der Kosteneinsparung bei Herstellungs- und Montageprozessen. Insbesondere Letztere stehen im Fokus des Fraunhofer IFAM: Beispielsweise ist die automatisierte kleb- und niettechnische Montage der CFK-Strukturen im Flugzeugbau ein Schlüssel, um den Anforderungen der nahen Zukunft hinsichtlich Produktivität und Fertigungskosten gerecht zu werden. Dazu gehören auch optimierte zerstörungsfreie Prüf- und Inspektionstechniken zur Qualitätssicherung.

Für das sichere und zuverlässige Kleben von CFK-Komponenten hat das Fraunhofer IFAM bereits vielfältige Beiträge geliefert. Ob es um verschiedene Vorbehandlungsverfahren oder um Applikations- und Prüftechniken ging: Mit dem Know-how der Expertengruppen im eigenen Haus oder in Zusammenarbeit mit anderen Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft ließen sich bereits viele Fragen lösen, die bei der Anwendung und Weiterentwicklung von CFK auftraten. Nicht immer waren die im Labormaßstab entwickelten Lösungen jedoch vom Kunden unmittelbar in die Großanwendung überführbar, sondern erforderten dort den zeit- und kostenintensiven Einsatz eigener Ressourcen. Aus diesem Grund hat sich das Fraunhofer IFAM dazu entschlossen, seine



Abb. 2: Montage des Airbus A380 in Hamburg (Quelle: Airbus Deutschland).

Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen auf dem CFK-Gebiet bis zum 1:1-Maßstab auszuweiten. Der stark ansteigende Anteil von Faserverbundstrukturen bei Großstrukturen – bei den Airbus-Großraumflugzeugen soll er beispielsweise von derzeit 20 auf 50 Prozent ausgedehnt werden – bekräftigt den zukunftsgerichteten Schritt. Der Einsatz der Technologie im industriellen Alltag wird durch das Institut so vorbereitet, dass die Anwender sich auf ihre eigentlichen Aufgaben der Konstruktion und des Betriebes konzentrieren können.

Neuer Maßstab – neue Herausforderungen

Für die Fachleute aus dem Fraunhofer IFAM bedeutet der Schritt in reale Größenordnungen eine Reihe neuer Herausforderungen. So muss in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden das Design der zu fügenden Teile, aber auch die Art und Weise des Fügeprozesses abgestimmt werden. Ein Beispiel aus dem Flugzeugbau: Dort gibt es verschiedene Vorgaben an Form und Aussehen eines Bauteils – formuliert aus aerodynamischen Gründen oder mit Blick auf eine möglichst ressourcensparende Montage (Abb. 2). Dem stehen

Anforderungen aus Sicht der Verbindungstechnik von CFK-Großstrukturen gegenüber. Reichen die Schichtdicken des Klebstoffs und die Überlappungen der Bauteile für eine sichere Klebung aus? Wie lassen sich meterlange Klebnähte zerstörungsfrei und automatisch prüfen? Welche Kräfteinleitungen und Verformungen treten an der Fügestelle auf, wie reagieren sie auf äußere Einflüsse wie Wasser, Säuren oder UV-Strahlung? Fragestellungen, die in Laborversuchen mittlerweile eindeutig und routiniert beantwortet werden können, müssen um die zusätzlichen Aspekte des Großmaßstabes erweitert werden.

Die Ausgestaltung der oben genannten Verfahren im 1:1-Maßstab stellt das Fraunhofer IFAM somit vor neue Aufgaben. Zwar ist das Auslegen einer Struktur mit dem Ziel einer optimalen Überlebenswahrscheinlichkeit eine Kernkompetenz des Instituts. In den nun angestrebten Größenordnungen bestehen jedoch veränderte Rahmenbedingungen. Was im Labormaßstab reibungslos funktioniert, wird im realen Maßstab mit völlig anderen Toleranzanforderungen konfrontiert. Es gilt zu klären, bei welchen Abweichungen von der optimalen, gleichmäßigen Schichtdicke – die an den Labormaßstäben orientiert ist – ein Klebstoff



Abb. 3: Autoklav zur Herstellung von Faserverbund-Kunststoffen im Fraunhofer IFAM.

noch den erweiterten mechanischen Anforderungen genügt. Deshalb muss beispielsweise ein effizientes »Toleranzmanagement« aufgebaut werden, um einen ungleichmäßigen Fügespalt in der Produktion – etwa beim Zusammenfügen großer Rumpftonnen mit mehreren Metern Durchmesser im Flugzeugbau – oder einen Klebstoff so zu gestalten, dass die Sicherheitsanforderungen zu 100 Prozent erfüllt werden.

Eine weitere Aufgabe für das Fraunhofer IFAM ist das Übertragen der im Labor bewährten Verfahren auf den realen Maßstab. Sowohl die Oberflächenvorbehandlung als auch der Klebstoffauftrag müssen auf großen Flächen reproduzierbar und in gleichbleibender Qualität ablaufen. Das kann bei Großstrukturen nur noch durch Roboter ausgeführt werden. Bei der Applikation müssen exakte Klebstoffmengen an den richtigen Stellen aufgetragen werden. Ebenso kommt es auf eine montagegerechte Aushärtung an, die sich optimal in den Produktionsprozess einfügt. Hier heißt es für das Fraunhofer IFAM, die beste Lösung für die jeweilige Anwendung zu finden – selbst wenn es bedeutet, gegebenenfalls neue Klebstoffe zu formulieren.

An den erfolgreichen Montageprozess schließt eine sichere Qualitätsprüfung im großen Maßstab an. Auch dies ist in großen Dimensionen eine wesentlich anspruchsvollere Aufgabe als im Zentimeterbereich des Labormaßstabes. Die Auswertung der umfangreichen Prüfergebnisse von mehreren Hundert Metern Klebnaht pro Tag kann nicht mehr alleine durch Menschen geleistet werden, sondern erfordert die Unterstützung durch entsprechend zu gestaltende Software.

In der Zusammenfassung bedeuten die oben genannten Aspekte: Wenn die Erfolgsgeschichte der CFK-Technologie fortgeschrieben werden soll, sind künftig effizientere Fertigungs-, Montage-, Inspektions- und Reparaturverfahren notwendig. Um diese optimal zu gestalten, ist eine enge Zusammenarbeit der anwendenden Industrie mit einem Forschungs- und Entwicklungsdienstleister wie dem Fraunhofer IFAM unabdingbar. Doch neben der fruchtbaren Zusammenarbeit beider Seiten gibt es einen weiteren Gesichtspunkt, der unter keinen Umständen zu vernachlässigen ist: Die Klebungen der CFK-Strukturen müssen bei den Anwendern durch ausgebildetes Fachpersonal vorgenommen werden, das über alle spezifischen Kenntnisse auf diesem Gebiet verfügt.

INFO

→ Fraunhofer FFM und das Forschungszentrum CFK Nord in Stade

Am 23. Dezember 2008 hat das Land Niedersachsen die erforderlichen Fördermittel zum Bau des Forschungszentrums CFK Nord in Stade bewilligt. Die Inbetriebnahme ist für die Jahresmitte 2010 geplant.

Aufgabe des neuen Forschungszentrums ist es, die industrialisierungsgerechte Weiterentwicklung der Herstellungs- und Montageverfahren von CFK-Komponenten für Großstrukturen voranzutreiben. Im Fokus stehen insbesondere der Flugzeugbau, aber auch boden- und wassergebundene Fahrzeuge, Windenergieanlagen und Großformen. Dabei wird die gesamte Prozesskette im 1:1-Maßstab abgebildet:

von den Herstellungsverfahren – unter der Regie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) – bis zur Montage mit den Themenfeldern Fügen, Bearbeiten, Reparieren und zerstörungsfreies Prüfen, die von der neu gegründeten Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren FFM bearbeitet werden.

Die Projektgruppe FFM wird als Abteilung des Fraunhofer IFAM auf dem Arbeitsgebiet CFK-Technologie die Lücke zwischen Labor- bzw. Technikumsmaßstab und industrieller Anwendung im Dienstleistungsportfolio der Fraunhofer-Gesellschaft schließen.

Weiterbildung zum Faserverbundkunststoff-Praktiker

Allerdings gibt es keinen Ausbildungsberuf, in dem der Umgang mit Faserverbundwerkstoffen samt Fertigungsverfahren gelehrt wird. Qualifiziertes Personal auf dem Gebiet wird in vielen Branchen dringend gesucht.

Auch hier setzt das Fraunhofer IFAM Maßstäbe: Zusammen mit industriellen Partnern hat es die Weiterbildung zur/zum Faserverbundkunststoff-Praktiker/in (FVK-Praktiker/in) im Kunststoff-Kompetenzzentrum Bremen und Bremerhaven etabliert, die auch das Gebiet der CFK-Materialien einschließt. Der vierwöchige Lehrgang über 160 Stunden ist nach der Anerkennungs- und Zulassungsverordnung Weiterbildung (AZWV) zertifiziert. Er umfasst sowohl theoretische als auch praktische Übungen (Abb. 3). Seit Mai 2007 wurden bereits über 180 Teilnehmer – sowohl betriebliche Mitarbeiter als auch Arbeitssuchende – qualifiziert. Von Letzteren fanden weit mehr als 80 Prozent daraufhin eine feste Anstellung.

Darüber hinaus wird der Kurs 2009 erstmals in vier einwöchigen Blöcken ausschließlich für betrieblich Beschäftigte durchgeführt. Dadurch ist eine optimale Integration der Weiterbildung in die

betrieblichen Abläufe der Unternehmen möglich. Weil die Inhalte der Weiterbildung gemeinsam von Wissenschaft und Wirtschaft konzipiert und vermittelt werden, sind sie den speziellen und praktischen Anforderungen der Betriebe sowie des Marktes optimal angepasst – eine wichtige Voraussetzung, um dem CFK-Einsatz zum Erfolg zu verhelfen.

Ansprechpartner

Fraunhofer-Projektgruppe Fügen und Montieren (FFM)
Dr. Dirk Niermann
Telefon: +49 421 2246-439
dirk.niermann@ifam.fraunhofer.de

Kunststoff-Kompetenzzentrum Bremen und Bremerhaven
Dr. Silke Mai
Telefon: +49 421 2246-625
silke.mai@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Hybridfügen: Kombiniertes Nieten und Kleben



Abb. 1: Hybridgefügte CFK-Verbindung.

Wissenschaftler der Abteilung Werkstoffe und Bauweisen im Fraunhofer IFAM arbeiten seit mehreren Jahren intensiv an einer Kombination zweier Fügetechniken, die sich im Verkehrsmittelbau optimal ergänzen können: Nieten und Kleben (Abb. 1). Sie sind überzeugt, vor allem im Flugzeugbau mit ihren Lösungen schon bald dem Kleben zu einer Art Renaissance verhelfen zu können – mit vielen Vorteilen für den Kunden. In der Luftfahrtindustrie werden zunehmend hochmoderne, leichte Werkstoffe aus Metall und aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) eingesetzt. Vor allem für das »schwarze Blech«, wie CFK in Fachkreisen wegen seiner tiefschwarzen Färbung gerne genannt wird, ist Kleben die ideal geeignete Fügetechnik, weil sie den Werkstoff – im Gegensatz zum Nieten, welches auf das Durchbohren der zu verbindenden Bauteile angewiesen ist – kaum schwächt. Leistungsfähige und sichere Klebungen sollen daher helfen, beim CFK-Fügen die Anzahl von Nietlöchern zu verringern. Die Luftfahrtindustrie ist an derartigen kombinierten Fügeverfahren, dem sogenannten »Hybridfügen«, stark interessiert und führt erste Projekte mit den Experten des Fraunhofer IFAM durch.

Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass Kleben im Flugzeugbau nicht neu ist, sondern eine Tradition hat. Allerdings ist die Bedeutung dieser Fügetechnik dabei sehr unterschiedlich ausgeprägt. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurden im Flugzeugbau erfolgreich geklebte Holzkonstruktionen eingesetzt. Doch schon damals herrschte das Streben nach den Attributen »leichter – schneller – günstiger«, was bald den Werkstoff Aluminium in das Zentrum der Überlegungen rückte. Aluminium ließ sich mit den bewährten Holzklebstoffen ebenfalls gut fügen. Da die Flugzeuge aber immer größer und komplexer wurden, kamen zunehmend andere Fügetechniken – wie das Nieten und das Schweißen – ins Spiel, zumal viele Klebstoffe giftig waren und ihre Aushärtung bei hohen Temperaturen und unter Druck erfolgen musste. Alternativ entwickelte Klebstoffe erwiesen sich dann als nicht leistungsfähig genug. Unter anderem gab es Defizite bei der Korrosionsbeständigkeit. Die Folge: Das Kleben geriet trotz unbestrittener Vorteile im Flugzeugbau auf ein Abstellgleis, die Nietentechnik erhielt bis heute den Vorzug.

Das lag nicht zuletzt daran, dass in der Branche sogenannte »Fail-Safe-Anforderungen« an die Verbindungen gestellt werden: Das Versagen genieteter Fügeverbindung im Flugzeugbau darf nicht spontan und katastrophal erfolgen. Bei einer Inspektion etwa können Risse erkannt und die Reparatur eingeleitet werden. Klebverbindung hingegen sind jedoch nach »Save-Life-Gesichtspunkten« zu bemessen: Sie können sehr lange Zeit halten, aber ein Versagen kündigt sich bisweilen nicht an – wie etwa bei genieteten Verbindungen durch feine Risse im Material. Zwar arbeiten die Experten im Fraunhofer IFAM mit Hochdruck daran, den Zustand einer im Betrieb befindlichen Klebverbindung zu bestimmen, um ein mögliches Versagen vorab erkennen zu können. Noch ist dies jedoch Zukunftsmusik, obwohl auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Prüftechnik in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht wurden. Aus dem Grund wird im Flugzeugbau vorerst aus Sicherheitsgründen beim Fügen – insbesondere von primären CFK-Strukturen – das Kleben nur in Verbindung mit dem Nieten, also in Form von Hybridfugung, Berücksichtigung erfahren.

Die Niettechnik hat sich für das Fügen von metallischen Strukturen, etwa aus Aluminium oder Titan, bewährt. Doch das Verlangen der Luftfahrtbranche nach immer mehr Gewichtseinsparung – bei gleichbleibender, wenn nicht sogar steigender Beanspruchung der Strukturen – brachte in den vergangenen Jahren neue, hochmoderne Werkstoffe ins Spiel. Carbonfaserverstärkte Kunststoffe sind ideal, weil sie nicht nur eine hohe Festigkeit und Steifigkeit aufweisen, sondern auch bei schwingender Beanspruchung sehr resistent gegen Ermüdung sind und gute Dämpfungseigenschaften aufweisen (siehe dazu den Trendbericht »Raus aus dem Labor: Das Fraunhofer IFAM arbeitet bei den CFK-Werkstoffen bald mit Großstrukturen« auf Seite 78). Bereits das Airbus-Großraumflugzeug A380 besteht zu 20 Prozent aus CFK-Komponenten; beim künftigen A350 sollen es schon 50 Prozent sein.

CFK zu nieten heißt, auf viele seiner Vorteile zu verzichten

Bei dem hohen Anteil von Faserverbundwerkstoffen im Flugzeugbau stellt sich automatisch die Frage nach der werkstoffgerechten Füge-technik. Aus den oben genannten Gründen ist das Nieten zwar noch unverzichtbar, jedoch nimmt es dem Werkstoff CFK viele seiner Vorteile. Das Material hat große Stärken, da sich die Fasern bei der Herstellung der Bauteile optimal in Beanspruchungsrichtung ausrichten lassen. Der Lastfluss lässt sich computergestützt berechnen und gibt Aufschluss darüber, wie die Fasern angeordnet werden müssen, um die auftretenden Kräfte ideal aufzunehmen und weiterzuleiten. Nietlöcher hingegen unterbrechen den Kraftfluss: Zumindest langfristig gesehen ist die Niettechnik also eine unvorteilhafte Verbindungsart, weil mit ihr das Potenzial der modernen CFK-Werkstoffe nicht voll ausgeschöpft werden kann.

Da das Kleben als stoffschlüssige Verbindungstechnik ohne das Einbringen von Nietlöchern in die zu fügenden Strukturen auskommt, bietet es sich als die optimale werkstoffgerechte Füge-technik an. Allerdings hat die Technologie in einigen Bereichen noch nicht die ausreichende Prozessreife erlangt, die einen vorbehaltlosen Einsatz ermöglicht.

Deshalb ist das Fraunhofer IFAM seit geraumer Zeit dabei, zusammen mit dem Flugzeugbauer Airbus Deutschland GmbH das Hybridfügen – sowohl von metallischen Strukturen als auch mit CFK-Komponenten – weiterzuentwickeln und zu erforschen. Geprüft wird beispielsweise, ob die Kombination beider Füge-techniken es ermöglichen kann, bei einer Längsnaht am Flugzeugrumpf eine von drei Nietreihen einzusparen. Würde die bisher aus Dichtigkeits- und Korrosionsschutzgründen stets erforderliche Dichtmasse durch einen geeigneten Klebstoff ersetzt werden, könnte die Belastbarkeit der Verbindung trotz der eingesparten Nieten erheblich gesteigert werden. Zudem würde dies die Fertigungszeit verkürzen. Zu klären sind dabei Fragen wie die Applikation des Klebstoffs, das Zusammenwirken mit dem Nietvorgang usw.



Abb. 2: C-Bügel-Nietautomat des Fraunhofer IFAM.

Dabei geht es nicht darum, das Nieten eines Tages überflüssig zu machen. Schon als Fixierungen für zwei zu klebende Großstrukturen bieten sich Niete an ausgewählten Punkten an, die die Komponenten während des Aushärtungsprozesses der Klebung zusammenhalten. Mittelfristig muss jedoch die momentan praktizierte Übertragung der Niettechnologie aus der Fertigung metallischer Strukturen auf CFK-Strukturen überdacht werden. Denn das hat letztendlich zur Folge, dass die Faserverbundstoffe nicht werkstoffgerecht gefügt werden.

Sämtliche Prozessdaten genau erfassen – der C-Bügel-Nietautomat des Fraunhofer IFAM

Um die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur beschriebenen Hybridtechnologie unter Industriebedingungen vorantreiben zu können, hat das IFAM 2008 einen hochmodernen C-Bügel-Nietautomat in Betrieb genommen (Abb. 2 und 3). Das Gerät repräsentiert den neuesten Stand der Technik und ist optimal auf das Nieten von CFK-Werkstoffen abgestimmt. Ziel der Arbeiten mit dem Gerät ist es, die beiden erfolgreichen Fügeverfahren Nieten und Kleben bestmöglich miteinander zu vereinen und die daraus entstehenden Synergien für bessere, widerstandsfähigere, einfacher und günstiger zu realisierende Verbindungen zu nutzen. Erreicht werden soll dies dadurch, dass die Vorteile der jeweiligen Fügeverfahren genutzt werden.

Im Gegensatz zu älteren, hydraulisch angetriebenen Nietmaschinen werden bei dem Nietautomaten des Fraunhofer IFAM alle Arbeitsachsen elektrisch angetrieben. Dadurch ist es möglich, sämtliche Prozessdaten kontinuierlich und mit großer Genauigkeit zu erfassen. Das ist unter anderem notwendig, weil die Abteilung Werkstoffe und Bauweisen des IFAM darüber hinaus auch intensiv an den Simulationen des mechanischen Verhaltens von Nietverbindungen mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) arbeitet. Ziel hierbei ist es, die Festigkeit von Niet- und Hybridverbindungen auf Basis von Simulationsrechnungen vorherzusagen. Die Belastbarkeit solcher Verbindungen ist zusätzlich zu den von außen angreifenden Lasten auch im erheblichen Umfang von den im Innern der Verbindungen wirkenden Eigenspannungen

abhängig. Im Wesentlichen rühren die Eigenspannungen aus dem Installationsprozess der Niete her, weshalb es gilt, auch diesen exakt simulieren zu können: angefangen von der Positionierung der Nietteile über das Bohren des Nietlochs bis zum Schließen des Niets. Gleiches gilt im Fall des Klebens oder Hybridfügens auch für eine Klebverbindung mit Applikation und Aushärtung des Verbindungselements »Klebstoff«. Durch den Vergleich der Simulationsergebnisse mit den mithilfe des Nietautomaten empirisch gewonnenen Prozessdaten lassen sich die Berechnungsmodelle validieren und deren Vorhersagegenauigkeit erheblich verbessern.

Die Steuerung des C-Bügel-Nietautomaten erfasst beispielsweise neben Stauchkräften und Stauchwegen auch Klemmkräfte, Bohrvorschübe sowie Bohrdrehmomente. Eine Hochgeschwindigkeitskamera überwacht den gesamten Prozess im Arbeitsraum und zeigt zum Beispiel, wie das kritische Anbohren von CFK-Materialien und der Bohreraustritt aus den Materialien erfolgt, wie die Schließkopfbildung vonstattengeht und vieles mehr. Auch mit diesen Informationen wiederum lassen sich die rechnerischen Simulationsergebnisse validieren und die Qualität der Simulationsrechnungen weiter verbessern. Mit der Vorgehensweise wird nicht nur das Prozessverständnis vertieft. Mittelfristig ist es auch das Ziel, über die Kombination von Experiment und Simulation die Prozessgrößen so bewerten zu können, dass Aussagen über die Haltbarkeit und Belastbarkeit der hybridgefügtten Verbindungen möglich sind.

Damit ist der Verwendungszweck des C-Bügel-Nietautomaten jedoch noch nicht vollständig beschrieben. Mit der Anlage bietet das Fraunhofer IFAM der Luftfahrtindustrie auch die Möglichkeit zur Qualifikation von Verbindungselementen. Entsprechend den industriellen Fertigungsabläufen können ein- und zweiteilige Verbindungselemente sehr fertigungsnah installiert werden.

Eine weitere Dienstleistung des IFAM ist es, die gefügten Proben anschließend im institutseigenen Werkstoffprüflabor unter definierten klimatischen Bedingungen in vielfältiger Weise mechanisch zu testen. Als Ergebnis erhalten die Kunden dann klare Aussagen, ob die Verbindungselemente für die Produktion geeignet sind oder nicht.

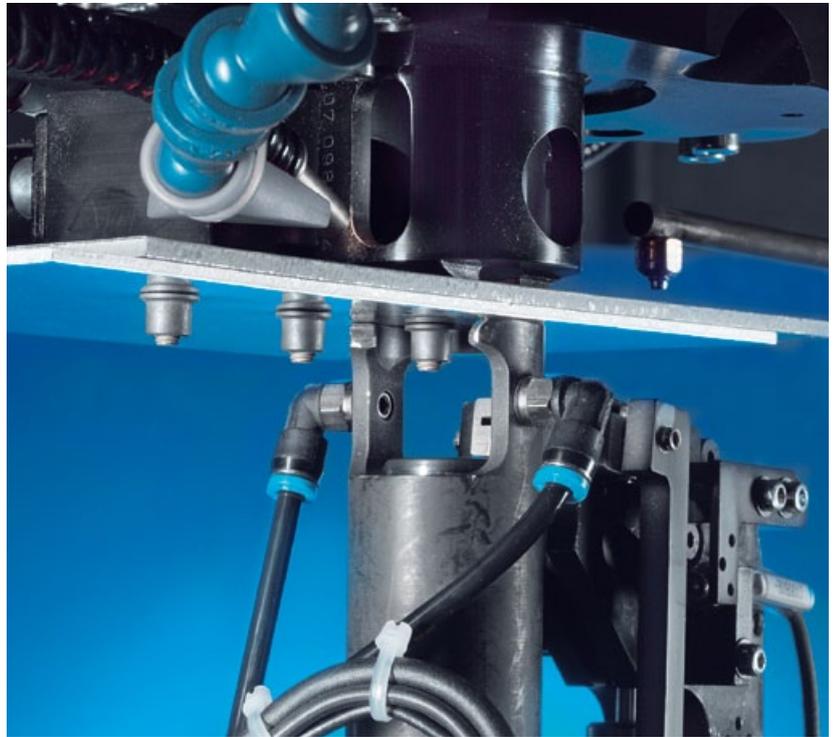


Abb. 3: Automatisches Setzwerkzeug Lockbolt.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Oliver Klapp
Telefon: +49 421 2246-479
oliver.klapp@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Neue Ansätze bei Plasmatechnik und Oberflächen: Multifunktionale Schichten in nur einem Arbeitsschritt

Seit mehr als 40 Jahren beschäftigt sich das Fraunhofer IFAM mit der Klebtechnik – und damit auch mit den Oberflächen von Materialien, die geklebt oder beschichtet werden. Denn den Oberflächen und ihren Eigenschaften kommt eine tragende Rolle zu: Viele Werkstoffe bekommen erst durch gezielte Vorbehandlung und Modifikation die Zusatzfunktionen, die den Gebrauchswert der Bauteile ausmachen. Die Anfang der 1990er-Jahre eingerichtete IFAM-Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen (PLATO) hat auf diesem Sektor eine Vielzahl wichtiger Entwicklungen angestoßen und bis zur Marktreife begleitet, die sich heute in praktisch allen Industriebereichen wiederfinden – von der Elektrotechnik bis zum Fahrzeugbau, von der Medizintechnik bis zur Verpackungsindustrie.

Mit verschiedensten Verfahren werden Materialien gereinigt und aktiviert, damit Lacke, Farben und Klebstoffe besser darauf haften. Sie werden anschließend beschichtet, um neue Funktionen zu bekommen: kratzfest, schmutz- und wasserabweisend, beständig gegen Korrosion oder auch dehäisiv wirkend, also nicht haftend. Die Abteilung PLATO pflegt ihre zahlreichen bestehenden Kooperationen mit Industriepartnern, sucht aber stets auch nach neuen Feldern und Anwendungsbereichen, um weitere Kundenkreise und Märkte zu erschließen. Durch zukunftsweisende Entwicklungen und positive Ergebnisse aus Forschungsprojekten ergeben sich immer wieder neue Ansätze, um Materialien oder Produkte mit einer geeigneten Oberflächenvorbehandlung zu funktionalisieren. Ein besonderes Augenmerk liegt zurzeit auf der Entwicklung von Verfahren, mit denen multifunktionale Schichten in einem Durchgang erzeugt werden können. Das Zusammenfassen bisher getrennt ablaufender Funktionalisierungsschritte soll Produktionsprozesse verkürzen und Schichtkombinationen ermöglichen, die bislang einen erheblich höheren Aufwand erfordern.

Die Oberflächentechnik ist eine Querschnittstechnologie

Neuentwicklungen in einem Bereich haben immer auch Auswirkungen auf andere Branchen. Funktionelle Oberflächen sind überall gefragt – im Luft- und Raumfahrtbereich, in der Automobilindustrie, in der Elektronikbranche und der



Abb. 1: Antimikrobielle Beschichtung von Kathetern durch Plasmatechnik.

Fertigungstechnik, im Maschinenbau oder der Konsumgüterindustrie. Bewährt und anerkannt ist die Niederdruck-Plasmatechnik des Fraunhofer IFAM. Hier wurde beispielsweise die Perma-CLEAN^{PLAS}®-Beschichtung entwickelt – eine ultradünne plasmapolymere Antihafbeschichtung. Sie hat die Eigenschaft, dass auf ihrer Oberfläche Lacksysteme nur extrem schwach haften. In der Lackiertechnikindustrie werden Gitterroste mit dieser Beschichtung versehen, die auch der Reinigung mit extremem Wasserhochdruck standhält. Die Gitterroste lassen sich dank Perma-CLEAN^{PLAS}® erheblich leichter von Lackrückständen reinigen.

In eine ähnliche Richtung gehen verschiedene dehäusive Schichten, etwa die patentierte schmutzabweisende Oberfläche DryClean^{PLAS}® oder die Trennschichten BestSkin^{PLAS}® und ACMOS Co-verel®. Die Beschichtungen werden durch eine plasmagestützte Abscheidung erzielt, auf der Fette, Schmutzpartikel und selbst Klebstoffe kaum haften. Damit versehene Komponenten – etwa bei formgebenden Prozessen – ermöglichen es, dass beispielsweise Kunststoffbauteile leichter aus der Form gelöst werden können. So lassen sich die herkömmlich eingesetzten Trennmittel bei der Kunststoffverarbeitung vermeiden und damit saubere Kunststoffbauteile fertigen. Weitere erfolgreiche Ergebnisse der IFAM-Abteilung PLATO reichen von der Haftvermittlung über verlässlichen Korrosionsschutz bis hin zu antibakteriellen Beschichtungen für biologisch-medizinische Systeme (Abb. 1).

Vorteile durch die Kombination von PVD- und CVD-Beschichtung

Die reichhaltigen Entwicklungen und Erfahrungen aus der bisherigen Tätigkeit von PLATO sind die Basis, um sich Herausforderungen auf neuen Gebieten zuzuwenden. Besonders interessant ist dabei das Generieren multifunktionaler Schichten in einem Arbeitsgang, wobei entstehende Synergien genutzt werden. Noch läuft in der Regel für jede spezifische Oberflächenfunktionalisierung ein eigener Prozess. Die Wissenschaftler der Abteilung arbeiten nun daran, ähnliche Prozesse so miteinander abzustimmen, dass sie künftig in einem einstufigen Verfahren ablaufen können. Ein Beispiel für das Prinzip ist die Kombination von PVD-Beschichtungen (Physical Vapour Deposition) und CVD-Beschichtungen (Chemical Vapour Deposition) bei transparenten Polycarbonat-Kunststoffen. Diese kommen bei Fahrzeugscheinwerfern, Helikopterkuppeln oder Helmvisieren zum Einsatz (Abb. 2). Beide Verfahren laufen unter Vakuum ab, wobei durch physikalisches Aufdampfen oder chemische Reaktionen Schichten auf ein Substrat aufgebracht werden. Die Polycarbonat-Kunststoffe erhalten durch die Behandlungen sowohl einen Kratzschutz als auch Schutz vor ultravioletter Strahlung. Bislang waren dafür zwei Arbeitsdurchgänge notwendig. Die PLATO-Wissenschaftler wollen diese nun in einer Anwendung zusammenfassen und die Beschichtungsqualität dabei sogar noch verbessern. Zusätzlich ist das Hinzufügen einer schmutz- und wasserabweisenden Schicht möglich, was die Reinigung der Bauteile erleichtert. Künftige Anwender erzielen also nicht nur Kostenvorteile aufgrund kürzerer Prozesszeiten, sondern profitieren auch von den multifunktionalen Beschichtungen in hoher Qualität.

Kombinationen von Prozessen auch bei Atmosphärendruck

Die Verknüpfung mehrerer Arbeitsgänge wird nicht nur für Vakuum-Anwendungen, sondern auch für Bedingungen unter Atmosphärendruck angestrebt. Ein Beispiel dafür ist die Kombination von Aerosolprozessen und Atmosphärendruck-Plasmen (AD-Plasmen). Mit AD-Plasmen kann schon heute durch die Plasmapolymersation ein



Abb. 2: Transparenter Kratzschutz von Kunststoffoberflächen.

sehr guter passiver Korrosionsschutz erreicht werden: Es entstehen Schichten mit einer Barrierewirkung gegenüber Wasser, Elektrolyten oder Sauerstoff (Abb. 3). Wird die Beschichtung mechanisch verletzt, kann das Substrat an den Stellen lokal begrenzt korrodieren.

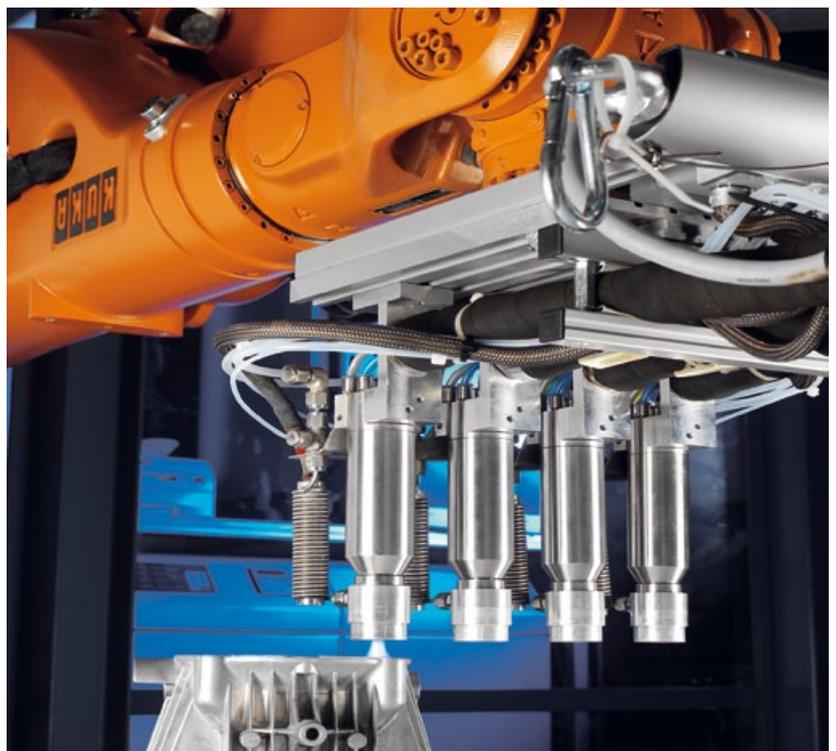


Abb. 3: Korrosionsschutz von Aluminium-Druckgussteilen durch Atmosphärendruck-Plasmatechnik (AD-Plasmatechnik).

Im Fraunhofer IFAM arbeiten die Wissenschaftler nun an einer aktiven Korrosionsschutzschicht, in die chemische Hemmstoffe (Inhibitoren) eingelagert sind. Sie sollen bei einer Beschädigung der Schicht austreten und das an der beschädigten Stelle ungeschützte Material durch die Inhibitionswirkung wieder schützen.

Durch eine geeignete Einspeisung lassen sich im AD-Plasma sogar Partikel gezielt vorbehandeln. Diese können dabei trocken oder auch in Form eines Aerosols in die reaktive Zone der Entladung eingebracht werden. Das ist zum Beispiel bei der Funktionalisierung von Kohlenstoffnanoröhren (englisch: carbon nanotubes; CNT) interessant. In Kunststoffe oder Beschichtungsmaterialien eingebracht, können die neuartigen Füllstoffe etwa die Festigkeit oder Leitfähigkeit erhöhen. Aufgrund der Funktionalisierung ihrer Oberflächen und ihrer damit erhöhten chemischen Reaktivität lassen sich die Kohlenstoffnanoröhren gleichmäßiger und mit höheren Anteilen im Beschichtungsmaterial dispergieren, was die Wirkung erhöht.

Dazu werden neue Möglichkeiten der Partikelverdüsung und Partikelbehandlung in der reaktiven Entladungszone untersucht. Ziel ist es, durch die Anpassung der Anlagen- und Prozessbedingungen eine möglichst hohe Behandlungseffizienz zu erreichen, ohne die gewünschten Eigenschaften der CNT negativ zu beeinflussen.

VUV-Bestrahlung und Aerosolbehandlung in einem Durchgang

Ein anderer Ansatz geht dahin, Materialien durch eine Kombination aus Aerosolauftrag und Vakuum-Ultraviolett-Strahlung (VUV) mit Funktionsbeschichtungen zu versehen. Die Technik der VUV-Bestrahlung ist ein noch junges Feld in der Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen. Durch die ausgezeichnete apparative Ausstattung mit einer hochmodernen VUV-Excimeranlage (Abb. 4 und 5) ist PLATO in der Lage, unterschiedliche Prozessabläufe unter verschiedenartigen Atmosphären zu realisieren.



Abb. 4: VUV-Excimeranlage des Fraunhofer IFAM zur Aktivierung und Beschichtung von Oberflächen.



Abb. 5: Innenansicht der VUV-Excimeranlage.

Interessant für den Medizinsektor ist das Bestreben des Fraunhofer IFAM, gezielte Zusammensetzungen von Oberflächenfunktionalitäten über Radikale zu generieren. Dabei handelt es sich um reaktionsfreudige Atome oder Moleküle, die durch VUV-Strahlung oder über ein Plasma angeregt wurden. Sie werden genutzt, um spezifische biokompatible Schichten zu erzeugen – wichtig beispielsweise für Implantate, um deren Abstoßung durch den Körper zu verhindern. Dieses biologische System ist auch auf den Gebieten der Haftvermittlung oder der Funktionalisierung von Textilien interessant.

Ähnlich funktioniert die selektive Oberflächenfunktionalisierung mittels Niederdruck-Plasma (ND-Plasma) und einer nasschemischen Nachbehandlung: Eine nach der Aktivierung mit ND-Plasma mit einer Vielzahl von Funktionalitäten versehene Oberfläche wird in dem Fall so vereinfacht bzw. reduziert, dass nur die für die geplante Anwendung gewünschten Funktionalitäten auf der Oberfläche verbleiben. Auch so können beispielsweise die spezifischen Anforderungen von biokompatiblen Material – etwa bei einer Herzklappe aus speziellem Kunststoff oder Titanimplantaten – erreicht werden.

Ansprechpartner

Dr. Ralph Wilken
Telefon: +49 421 2246-448
ralph.wilken@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Synthetische Peptide und funktionalisierte Nanopartikel als Grundlage für medizinische Klebstoffe der Zukunft

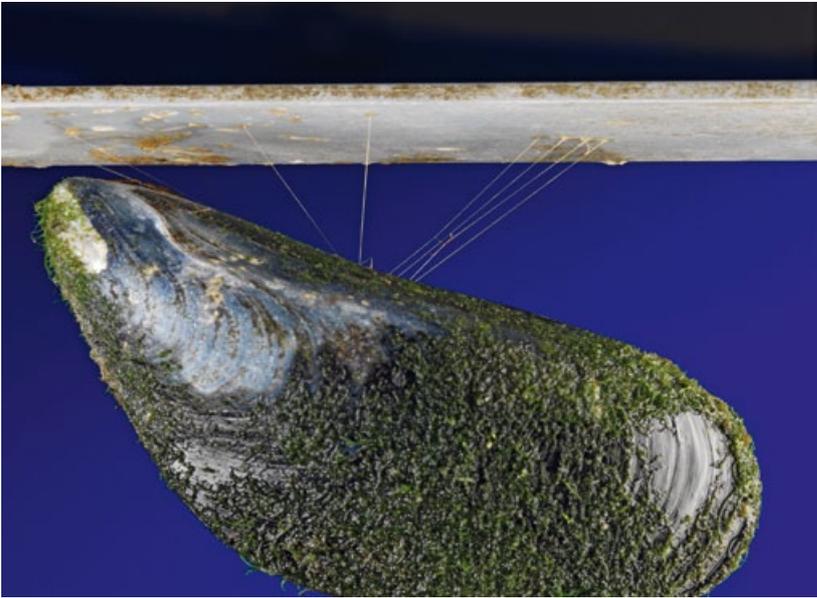


Abb. 1: Miesmuschel *Mytilus edulis*.

Die Arbeitsgruppen Biomolekulares Oberflächen- und Materialdesign (BIOM) und Applied Computational Chemistry (ACC) des Fraunhofer IFAM arbeiten derzeit mit weiteren Projektpartnern in einem dreijährigen fachübergreifenden Forschungsvorhaben an neuen Ansätzen zur Synthese von Klebstoffen für den medizinischen Bereich. Bei den Projektpartnern handelt es sich um die Arbeitsgruppe für Oberflächen- und Materialtechnologie vom Institut für Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und um die Forschungsgruppe Werkstoffliches Labor der Zahnklinik 1 des Universitätsklinikums Erlangen.

Ziel des durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts ist ein biologisch inspiriertes Hybrid-Adhäsivsystem. Unter dem offiziellen Titel »Peptidbasierte Nanohybride als Adhäsivsystem für medizinische Anwendungen« erforschen die Wissenschaftler die Wechselwirkungen zwischen Peptiden, Polymeren und oxidischen Keramiken.

Eine wichtige Rolle spielen dabei die Suche nach geeigneten adhäsiven Peptidstrukturen, die Untersuchung der adhäsiven Prozesse an biogenen Bindegeweben bzw. Proteinen und die Entwicklung einer angepassten Nanopartikel-

Funktionalisierung. Die Ergebnisse dieser Grundlagenforschungen sollen die Basis für künftige Hochleistungsklebstoffe in medizinischen Anwendungen auf dem Gebiet der Zahnheilkunde und Orthopädie bilden.

Ein Beispiel aus der Zahnarztpraxis macht den Hintergrund der Forschungen deutlich. Wenn keramischer Zahnersatz nach der Herstellung und Anpassung endgültig verankert wird, geschieht das heute in der Regel mit einem speziellen Klebstoff. Er wird mit einer UV-Lampe sofort ausgehärtet. Auf Dauer kann die Klebung allerdings ihre Festigkeit verlieren, da der Zahnersatz extremen Belastungen ausgesetzt ist – einerseits durch die hohen Kräfte, die beim Kauen auf ihn wirken, andererseits durch die aggressive Umgebung im Mundraum. Wasser, Zucker und Säuren setzen der Klebverbindung im Laufe der Jahre stark zu. Dabei unternimmt der Zahnarzt Einiges, um eine optimale Verankerung zu garantieren:

Die Oberfläche des Zahnes wird zunächst durch eine Säurebehandlung geätzt und demineralisiert, um die organische Komponente darunter freizulegen. Weitere Behandlungsschritte sollen eine optimale chemische und mikromechanische Ankopplung der Füllmaterialien garantieren. Dabei soll der Klebstoff möglichst tief in die sogenannte »Hybridschicht« eindringen. Allerdings ist die Hybridschicht extrem empfindlich gegenüber Feuchtigkeit und deshalb beim Verankern von Zahnersatz die »Achillesferse«. Kleinste Feuchtigkeitsspuren verringern die Haftfähigkeit ebenso wie zu starkes Trocknen des Dentins.

Schlüssel zum besseren Haften: Die Miesmuschel

Um das Problem zu lösen, kann ein Vorbild aus der Natur weiterhelfen – die Miesmuschel *Mytilus edulis* (Abb. 1). Sie ist in der Lage, auch unter widrigsten Bedingungen im aggressiven salzhaltigen Meerwasser an Steinen, Felsen, Schiffsrümpfen oder Hafenanlagen zu haften.

Die Arbeitsgruppe BIOM des Fraunhofer IFAM beschäftigt sich bereits seit Jahren mit den Haftungsmechanismen der Miesmuschel und untersucht insbesondere die Wechselwirkungen an den Grenzflächen zwischen synthetischen Materialien wie Metall, Keramik, Kunststoff oder Glas und

der organischen Biomaterie. Die Arbeitsgruppe hat in der Vergangenheit bereits erfolgreich Teile des auf Proteinen basierenden Adhäsivmaterials der Muschel synthetisch hergestellt. Im laufenden DFG-Forschungsvorhaben konzentrieren sich die Forscher auf einen bestimmten Bestandteil des Proteins Mefp-1 (*Mytilus edulis* foot protein 1).

Dieses Miesmuschel-Protein ist aus sich wiederholenden Peptidsequenzen, den sogenannten Dekapeptiden, zusammengesetzt. Die Peptide wiederum sind aus Aminosäuren aufgebaut. Eine für die ausgeprägte Haftungsfähigkeit der Miesmuschel maßgebende Aminosäure ist das Dihydroxyphenylalanin (Dopa). Daneben sind weitere Aminosäuren in einer bestimmten Anordnung notwendig, um eine optimale Haftung zu garantieren.

Im DFG-Projekt gehen die Wissenschaftler der Frage nach, wie die Aminosäuren konkret im Klebstoff angeordnet sein müssen, um einerseits an der keramischen Oberfläche des Zahnersatzes und andererseits an den organischen Kollagenfasern des Zahnes ideal zu kleben. Dazu müssen die Wechselwirkungen des im Protein Mefp-1 enthaltenen Dekapeptids mit diesen beiden Oberflächentypen detailliert untersucht werden. Eine von vielen zu klärenden Fragen ist beispielsweise, wie sich die für die Klebung maßgeblichen Aminosäuren optimal mit dem Zahnmaterial verbinden lassen. Der momentan in der Praxis verwendete flüssige Klebstoff wird durch Kapillarkräfte in die extrem feinen Vertiefungen des Dentins gezogen, die durch das Demineralisieren freigelegt wurden. Damit geht der Klebstoff eine mikromechanische Bindung mit dem Dentin ein. Ziel der Forscher ist es, neben dieser physikalischen Bindung zusätzlich auch eine starke chemische Bindung zu realisieren. Die Aminosäuren sollen möglichst gut an den Kollagenfasern im Dentin anbinden und dadurch eine hochgradig feste Verbindung mit dem organischen Material eingehen.

Suche nach den besten Peptidmodifikationen

Die leistungsstarken Möglichkeiten der Festphasenpeptidsynthese, über die das IFAM verfügt, erweisen sich hier als eine wichtige Grundlage: Im Fraunhofer IFAM können durch diese Synthesemethode Peptide hergestellt, modifiziert,

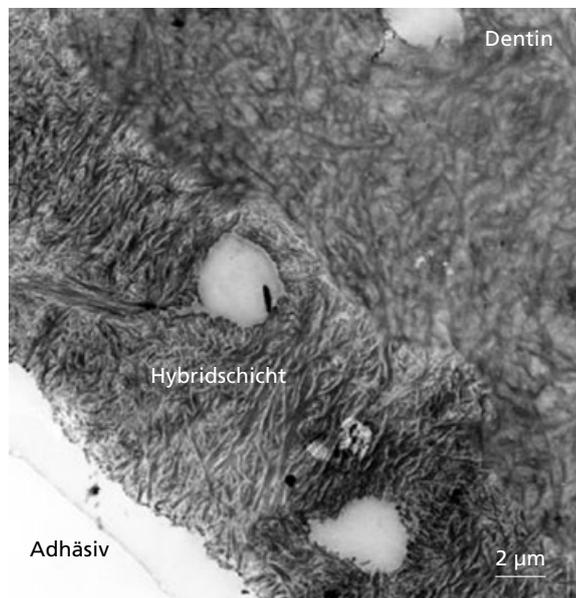


Abb. 2: Laser-Raster-Mikroskopie-Aufnahme der Adhäsiv-Dentin-Grenzschicht zur Untersuchung der Eindringtiefe der Peptide in das Kollagengerüst: Der mit Hybridschicht gekennzeichnete Bereich (Bereich der quer gestreiften Kollagenfasern von links oben bis rechts unten) ist deutlich von dem auf den Zahn aufgetragenen Klebstoff (Adhäsiv, heller Bereich links unten) durchdrungen (Quelle: Universitätsklinikum Erlangen).

variiert und mit Farbstoffen versehen werden. Mithilfe der synthetisierten Variationen der Mefp-1-Dekapeptide lässt sich nun ermitteln, welche Peptide eine optimale Verbindung sowohl mit der Keramik als auch mit dem Kollagen eingehen. Dazu ist eine Vielzahl von Versuchen notwendig, für die die Peptidstruktur immer wieder verändert wird. Die Wechselwirkungen zwischen den jeweiligen Peptiden und den oxidischen Keramiken werden mittels Fourier-transformierter Infrarot- und Vibrational-Circular-Dichroism-Spektroskopie (FT-IR- bzw. VCD-Spektroskopie) sowie Molecular Modelling untersucht und erlauben es auf diesem Weg, die am Besten geeigneten Peptidmodifikationen auszuwählen. Für die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Peptiden und Kollagen wiederum werden synthetisierte Dekapeptide mit fluoreszierenden Markierungen versehen. Mithilfe der Laser-Raster-Mikroskopie (LSM) lässt sich anschließend feststellen, ob die Peptide in das Kollagengerüst eingedrungen sind (Abb. 2).

Diese Untersuchungen finden in enger Zusammenarbeit mit der Zahnklinik 1 des Universitäts-

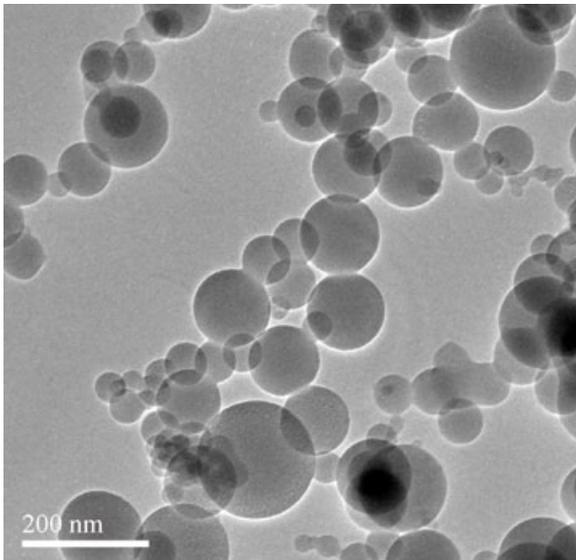


Abb. 3: Nanopartikuläres Kalziumphosphatpulver zur Klebstoffmodifizierung, hergestellt durch Laserevaporierung (Quelle: Friedrich-Schiller-Universität Jena).

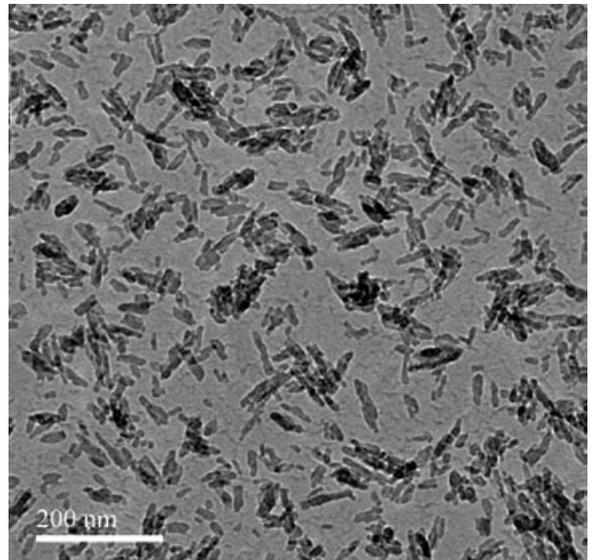


Abb. 4: Nanopartikuläres Kalziumphosphatpulver, hergestellt durch nasschemische Fällung (Quelle: Friedrich-Schiller-Universität Jena).

linikums Erlangen statt, während die Wechselwirkungen zwischen Peptiden und Keramik gemeinsam mit dem Institut für Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena bearbeitet werden.

Bei der Analyse der Haftungsmechanismen an Keramik sowie Kollagen und der Ermittlung der daran beteiligten Aminosäuren spielt die computergestützte Simulation mittels Molecular Modeling eine wichtige Rolle. Bei der Untersuchung der Haftungen liefert die Mikroskopie lediglich die Information, ob sich ein Peptid im Material verankert, aber nicht, welche Aminosäuren dabei die entscheidende Rolle spielen. Die VCD-Spektroskopie wiederum ergibt ein aus verschiedenen Frequenzen bestehendes Spektrum. Überlagerungen machen es jedoch schwer, den einzelnen Komponenten des Spektrums die beteiligten Struktureinheiten exakt zuzuordnen.

Aus diesem Grund simulieren die Wissenschaftler parallel zu den Laborversuchen das jeweilige Klebstoffsystem mit der entsprechenden Anordnung der Aminosäuren am Computer. Dabei wird ein optimiertes Modell auf atomarer Ebene erstellt, das – da »selbst gebaut« – schon alle relevanten

Informationen über die Struktureinheiten beinhaltet: Der Aufbau des Peptids – somit auch die Anordnung seiner Aminosäuren – ist bereits bekannt, da im Modell vorgegeben. Im Anschluss lässt sich ein VCD-Spektrum daraus berechnen. Dies ermöglicht, dass die Struktureinheiten des Modells dann exakt den einzelnen Komponenten des Spektrums zugeordnet werden können.

Das berechnete Spektrum lässt sich nun mit dem im Laborversuch gemessenen Spektrum abgleichen, bis eine Übereinstimmung erreicht wird. Dadurch ist feststellbar, welche Anteile des experimentellen Spektrums zu welchen Struktureinheiten gehören. Der Vergleich der Spektren ermöglicht zudem Rückschlüsse, welche Aminosäuren mit der Oberfläche reagiert haben – also für die Anhaftung entscheidend sind (Abb. 3 und 4).

Auf dieser Basis können mittels Simulation zusätzlich Aussagen über noch nicht synthetisierte Peptide getroffen werden, um so schließlich ein Modell eines Klebstoffs zu finden, der eine optimale Anhaftung aufweist. So erfahren die Forscher, an welchen Stellen sie die Peptide bei der Synthese gezielt verändern müssen, um dem berechneten Ideal möglichst nahe zu kommen.

Die Simulation verkürzt demnach die Forschungs- sowie Entwicklungszeit erheblich und ist ein wichtiges Instrument auf dem Weg zu belastbaren Ergebnissen. Parallel zu den Untersuchungen finden darüber hinaus Zugversuche an der Zahnklinik 1 in Erlangen statt, mit denen die Haftung der Klebstoffsysteme getestet wird.

Bei allen vorgestellten Forschungs- und Entwicklungsansätzen können die Arbeitsgruppen BIOM und ACC nicht nur leicht und unkompliziert auf das vorhandene Wissen innerhalb des Fraunhofer IFAM zugreifen, sie profitieren auch von der hervorragenden apparativen Ausstattung des Instituts: Für die synthetische Herstellung, Aufreinigung sowie Analyse der Peptide und Proteine stehen unter anderem eine Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie-Anlage (HPLC), ein Matrix-Assoziiertes-Laser-Desorptions-Ionisations-Flugzeitmassenspektrometer (MALDI-ToF MS), FT-IR- und VCD-Spektrometer sowie Normallicht- und Fluoreszenzmikroskope zur Verfügung. Für die Simulation der Strukturen und der VCD-Spektren stehen am Fraunhofer IFAM zwei Hochleistungsrechencluster mit insgesamt 128 Prozessoren und verschiedenste kommerziell erhältliche sowie selbst entwickelte Simulationsverfahren zur Verfügung.

Die Expertisen aller beteiligten Partner sind hierbei essentiell für das Gelingen des Projekts.

Projektpartner

Universitätsklinik Erlangen
Zahnklinik 1 – Zahnerhaltung und Parodontologie
Priv.-Doz. Dr.-Ing. Ulrich Lohbauer

Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Materialwissenschaft und
Werkstofftechnologie
Prof. Dr.-Ing. Frank Müller

Ansprechpartner

Arbeitsgruppe ACC
Dr. Marc Amkreutz
Telefon: +49 421 2246-647
marc.amkreutz@ifam.fraunhofer.de

Arbeitsgruppe BIOM
Dr. Klaus Rischka
Telefon: +49 421 2246-482
klaus.rischka@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Silikone – überraschend gute Klebstoffe

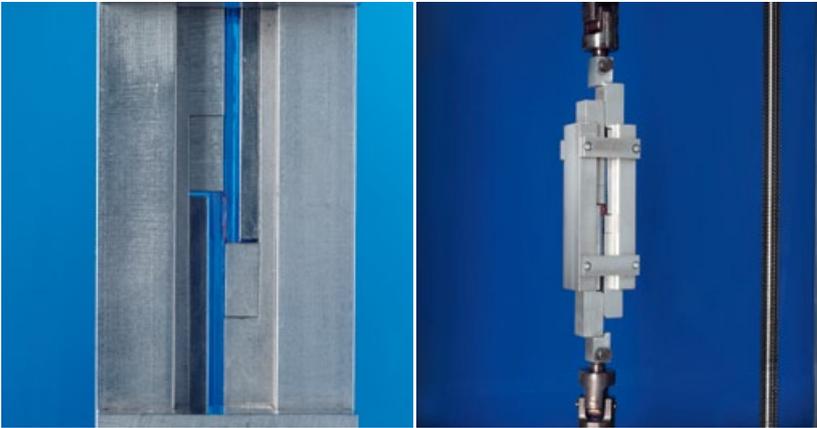


Abb. 1a und 1b: Druck-Scher-Prüfung eines Glasprobekörpers, der mit Silikon geklebt ist.

Einführung

Silikone werden einerseits üblicherweise als Trennmittel eingesetzt, da die Haftung auf ihnen nur sehr gering ist – zum Beispiel beim Silikonpapier für Etiketten. Andererseits finden Dichtstoffe auf Silikonbasis breite Anwendung: Sie sind für ihre gute Adhäsion bekannt. Dies gilt insbesondere für die Typen, die in einer Kondensationsreaktion über die feuchtigkeitsinduzierte Abspaltung von Essigsäure aushärten. Die Eigenschaften der Klebstoffe können durch die Grundstruktur der Silikone und die Formulierung eingestellt werden.

Typische Eigenschaften sind:

- Shore-A-Härte 25 bis 80
- Reißfestigkeit 0,3 bis 7,0 MPa
- Reißdehnung 100 bis 800 %
- Zug-Scher-Festigkeit 1 bis 13 MPa
- Einsatztemperatur –100 bis +200 °C
(spezielle Sorten bis zu +300 °C)

Bei einer weiteren Gruppe von Silikonklebstoffen erfolgt die Aushärtung durch die platinkatalysierte Addition von Silikon, die Si-H-Gruppen tragen, an solche mit Vinylgruppen. Die Reaktionsfähigkeit des Katalysators kann durch die Zugabe von Retardern eingestellt werden. Es ist aber schwierig, Einkomponenten-Silikone mit ausreichender Lagerstabilität herzustellen, die durch diesen Mechanismus härten. Außerdem gibt es viele Katalysatorgifte für das Platin, was sich darin zeigt, dass nach dem Kontakt mit den relevanten Werk-

stoffen eine Härtung nicht mehr möglich ist. Das bekannteste Katalysatorgift ist Schwefel in fast jeder chemischen Form, so beispielsweise Schwefelverbindungen in Gummiwerkstoffen.

Eine dritte Härtungsvariante ist die Peroxid-Vulkanisation bei Silikon mit hoher Molmasse und Viskosität bei erhöhter Temperatur. Für Silikone, die aufgrund ihrer ausreichend niedrigen Viskosität für die Verarbeitung als Klebstoff geeignet sind, lässt sich diese Reaktion bislang nicht nutzen.

Der größte Vorteil von Silikon ist ihre hohe Wärmebeständigkeit in Verbindung mit einer hohen Elastizität bis hin zu niedrigen Temperaturen.

Typische Anwendungsbereiche für Klebstoffe auf Silikonbasis sind die Elektronik, medizinische Geräte, Luft- und Raumfahrt sowie die Automobilindustrie – insbesondere die Motorelektronik. Häufig werden Silikone auch zum Kleben von Glas genutzt. Um bei der mechanischen Prüfung Glasbruch zu vermeiden, wurde im Fraunhofer IFAM eine modifizierte Druck-Scher-Prüfung entwickelt (Abb. 1a und 1b).

Verstärkung von Silikon

Meist werden Silikone durch hydrophob modifizierte pyrogene Kieselsäure verstärkt. Sobald eine bestimmte Zugabemenge überschritten ist, steigt jedoch die Viskosität sprunghaft an. Dies ist nicht der Fall, wenn einzelne Siliziumdioxid-Nanopartikel (Nanococone®, Hanse Chemie) zum Einsatz kommen.

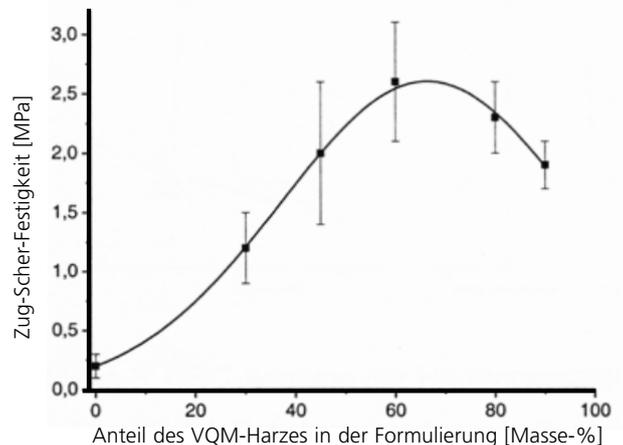


Abb. 2: Einfluss der Menge der VQM-Zubereitung auf die Zug-Scher-Festigkeit von mit Peroxid gehärteten Silikonklebstoffen präparierten Klebverbindungen.

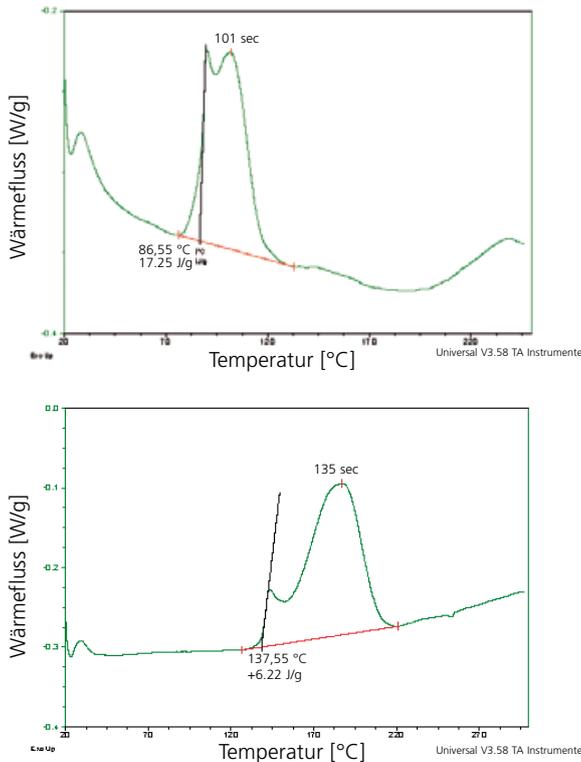


Abb. 3: DSC-Analyse der Härtingsreaktion mit 1,5 Masse-Prozent Peroxid, mit hoher Reaktivität (oben) und geringerer Reaktivität (unten).

Gleiches gilt für die Verstärkung von Silikonen mit VQM-Harzen. Die Stoffe haben eine gewisse Ähnlichkeit mit POSS® – ihre Struktur ist jedoch nicht so geordnet und fehlerfrei – und enthalten reaktive Vinylgruppen. Über die Vinylgruppen wird das VQM während des Aushärtens in das vernetzte Silikon eingebaut. Bei der Vernetzungsreaktion reagieren die Si-H-Gruppen des Vernetzers mit den Vinylgruppen des Basissilikons sowie denen des VQM-Harzes. Im Unterschied zu POSS® sind VQM-Harze gut in den Silikonen löslich.

Abbildung 2 zeigt den Einfluss der VQM-Menge auf die Zug-Scher-Festigkeit von geklebten Polyester substraten. Ein lineares Polydimethylsiloxan mit Vinylendgruppen und ein Silikon mit Si-H-Gruppen wurden als Basisformulierung verwendet. Die Menge des VQM-Harzes wurde variiert und die Menge des Vernetzers so eingestellt, dass Si-H- und Vinylgruppen äquimolar vorlagen. Das eingesetzte VQM-Harz ist eine Zubereitung aus dem Basissilikon und 45 Prozent VQM-Harz. Es wurden 1,5 Prozent Peroxid zur Initiierung

der Härtingsreaktion eingesetzt. Das Aushärten erfolgte bei 170 °C über einen Zeitraum von 30 Minuten. Mit zunehmender Menge VQM-Harz erhöhte sich der Modul des Klebstoffs und bei höheren Mengen bildet sich ein zähelastischer Werkstoff. Das Bild zeigt, dass die Klebfestigkeit mit zunehmender Menge des VQM-Harzes steigt, bei einem zu großen Gehalt aber auch wieder abfällt. Das Maximum bei circa 60 Masse-Prozent VQM-Zubereitung stellt ein Optimum aus Verstärkung und notwendiger Elastizität dar.

Härtungsreaktionen

Für die Additionsreaktion zwischen dem silikonhaltigen Si-H und -Vinyl werden normalerweise Spuren von Platin als Katalysator eingesetzt. Der Katalysator wird zerstört, wenn die Oberflächen der zu klebenden Teile verunreinigt sind, beispielsweise durch Spuren von schwefel-, zinn- oder stickstoffhaltigen Mischungen. Außerdem härtet dann entweder das gesamte Silikon oder aber eine dünne Phasengrenzschicht nicht aus: Das ist einer der größten Nachteile des Aushärtens beim Einsatz von Platin als Katalysator. Dies kann jedoch durch die Verwendung von Peroxiden als Katalysatoren überwunden werden. In Abhängigkeit vom eingesetzten Peroxid kann das Aushärten bei unterschiedlichen Temperaturen erfolgen. Abbildung 3 veranschaulicht das. Die DSC-Kurven (Differenzialkalorimetrie) der Aushärtereaktionen der Klebstoffzusammensetzungen – wie im vorigen Abschnitt beschrieben – zeigen Spitzen bei 100 °C bzw. 180 °C je nach der Reaktivität des gewählten Peroxids. Bei den Klebstoffen handelt es sich um Einkomponenten-Systeme mit guten Hafteigenschaften, die bei Außentemperaturen gelagert werden können. Eine mangelhafte Oberflächenaushärtung an den angeklebten Teilen, die Katalysatorgifte enthalten, tritt bei Einsatz dieser Klebstoffe nicht auf.

Silikone als Additiv

Aufgrund ihrer niedrigen Oberflächenenergie sind Silikone in der Lage, die meisten Oberflächen zu benetzen, die Verteilung von Füllstoffen zu verbessern oder eine Schaum- oder Blasenbildung zu verhindern. Demzufolge beinhalten sehr viele

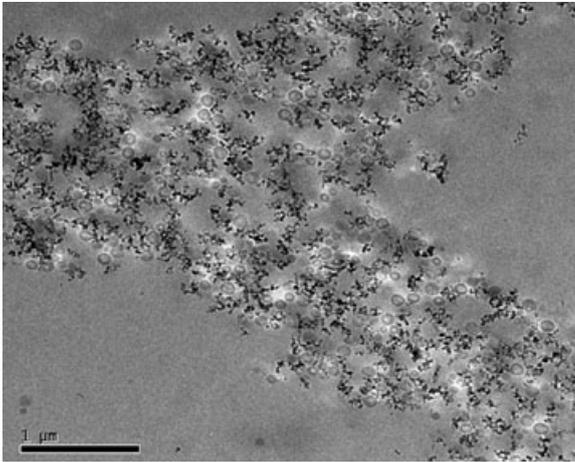


Abb. 4: Bildung einer mikroskaligen Überstruktur aus Silikon- und Siliziumdioxid-Nanopartikeln.

in Klebstoffen, Lacken oder Vergussmaterialien verwendete Additive siliziumorganische Anteile im Molekül. Durch den chemischen Aufbau lassen sich die Eigenschaften in einem hohen Maße variieren. Das gilt natürlich auch für den Einfluss auf die Adhäsion. Neben den bekannten dehäsiven Eigenschaften von Silikonen ist es möglich, diese als Basis für Haftvermittler zu verwenden. Zur Modifikation der kohäsiven Eigenschaften von Klebstoffen lassen sich Silikone einsetzen, die in das Polymernetzwerk einreagieren. Beispielsweise können Silikone mit Acrylatgruppen in Acrylatklebstoffe eingebaut werden und solche mit Epoxidgruppen in Epoxidharze.

Silikone zur Zähelastifizierung

Ebenso wie andere Elastomere können Silikone auch zur Zähelastifizierung von z. B. Epoxidharzen

verwendet werden. Da beim Einsatz von konventionellen Silikonen aber oftmals Bedenken bezüglich einer Störung der Adhäsion bestehen, empfiehlt es sich hier, vernetzte Silikonpartikel einzusetzen. Hierbei sind Silikon-Nanopartikel, die an der Oberfläche modifiziert wurden, besonders effektiv. Bei der Kombination solcher Partikel mit modifizierten Siliziumdioxid-Nanopartikeln gelang es beispielsweise bei einem epoxidbasierten Klebstoff, sowohl die Zug-Scher-Festigkeit als auch den Schälwiderstand signifikant zu steigern.

Interessanterweise bilden die beiden unterschiedlichen Nanopartikel eine mikroskalige Überstruktur. Diese ist in dem TEM-Bild in Abbildung 4 gezeigt. Ob es einen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Überstrukturbildung und der starken synergistischen Wirkung der Partikel gibt, muss in zukünftigen Arbeiten näher untersucht werden.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Silikone sind geeignete Klebstoffe für Anwendungen, bei denen Temperaturbeständigkeit in Verbindung mit Elastizität gefordert ist. Für die Verstärkung stehen seit Kurzem einzelne Siliziumdioxid-Partikel und VQM-Harze zu Verfügung. Diese sind eine Ergänzung zu der konventionell eingesetzten hydrophob modifizierten pyrogenen Kieselsäure. Die Härtung von Silikonklebstoffen erfolgt meist mit Platin als Katalysator. Die Reaktion kann auch mit Peroxiden durchgeführt werden, wenn geeignete Katalysatoren zum Einsatz kommen. Bei der neuen Variante ist keine Katalysatorvergiftung durch Spuren von Kontaminationen mehr zu befürchten. Außerdem basieren viele Additive auf Silikonen – und Silikone sind für die Zähelastifizierung von Klebstoffen und anderen Harzen geeignet.

Die Zusammenstellung zeigt, dass Silikone in der Klebtechnik breit einsetzbare Materialien und Rohstoffe sind und langsam das Image des »klebtechnischen Buhmanns« verlieren. Aktuelle und zukünftige Arbeiten im Fraunhofer IFAM in den Bereichen Synthese neuer Silikone und silikonbasierter Polymere für spezielle Anwendungen, Formulierung von Silikonen und der Einsatz silikonbasierter Rohstoffe in anderen Formulierungen werden dies weiter bestärken.

Ansprechpartner

Priv.-Doz. Dr. habil. Andreas Hartwig
Telefon: +49 421 2246-470
andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Automotive Quality Saar (AQS) – Entwicklungszentrum für Automobilhersteller und -zulieferer

Klebtechnik im Automobil-Leichtbau

Moderne Leichtbauweisen haben den Automobilbau in der jüngeren Vergangenheit revolutioniert. Ihre Anwendung führt zu bemerkenswerten Verbesserungen bei Gewicht, Sicherheit und Komfort. Gleichzeitig lassen sich Kosteneinsparungen erzielen. Möglich ist das unter anderem durch den Einsatz moderner Werkstoffe wie Faserverbunde oder Tailored Blanks. Ein weiterer Bestandteil des Fortschritts ist die Anwendung moderner Fügeverfahren wie der Klebtechnik oder des Laserstrahlschweißens.

Insbesondere die Klebtechnik ermöglicht dabei die effiziente Fertigung von bislang nur schwer realisierbaren Werkstoffkombinationen, zum Beispiel die Verbindung unterschiedlicher Metalle miteinander sowie die Kombination von Metallen mit Glas oder Faserverbundwerkstoffen. Über den Klebstoff lassen sich dabei zusätzliche Funktionen integrieren, etwa Vibrationsdämpfung, elektrische Isolation oder Korrosionsschutz. Ebenso führt diese äußerst flexibel einsetzbare Fügetechnik zu einer wesentlichen Erhöhung der Steifigkeit von Fahrzeugen. Klebverbindungen halten heute höchsten Anforderungen stand und lassen sich hervorragend in Kombination mit mechanischen Verfahren wie Durchsetzfügen, Nieten, Schrauben und auch Punktschweißen hybridfügen.

Zuliefererindustrie im Wandel

Nach diesen Fortschritten in der Fertigungstechnik stehen der Automobilwirtschaft nun tief greifende Veränderungen in der Fertigungsinfrastruktur bevor. In den kommenden Jahren wird es zu einer erheblichen Verlagerung der Wertschöpfung von den Herstellern zu den Zulieferern kommen. Letztere sind künftig weitaus stärker in der gesamten Entwicklungsbreite für die Fertigung und Lieferung einbaufertiger Module und komplexer Gesamtsysteme verantwortlich. Die Entwicklung stellt die Branche vor enorme Herausforderungen und erfordert einen weiteren Ausbau von Fertigungs-Know-how sowie Qualitätsmanagement seitens der Zulieferer.

Fraunhofer-Kompetenz für Innovation – AQS

Mit dem Fraunhofer-Innovationscluster Automotive Quality Saar (AQS) entsteht seit 2007 ein Technologie-Entwicklungszentrum mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit der Zulieferindustrie zu stärken (Abb. 1). Es wird in seiner Gründungsphase zu etwa gleichen Teilen mit Mitteln der Landesregierung des Saarlandes, der Europäischen Union und der Fraunhofer-Gesellschaft mit einem Gesamtvolumen von mehr als 27 Millionen Euro gefördert. Anschließend finanziert sich die Einrichtung selbstständig.

Die beteiligten Fraunhofer-Institute für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken, für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt, und für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen, haben das gemeinsame Ziel, durch die synergetische Verknüpfung der vorhandenen und dem Aufbau erweiterter Kompetenzen der Automobilwirtschaft ein attraktives, bedarfsgerechtes Portfolio anzubieten.



Abb. 1: Geplanter Gebäudekomplex des AQS in Saarbrücken (Quelle: Fraunhofer IZFP).

Das in Saarbrücken angesiedelte Innovationscluster AQS bearbeitet die Bereiche

- Werkstoffe und Bauweisen,
- Verarbeitung, Fertigung und Fügetechnik sowie
- Sicherheit, Zuverlässigkeit und Lebensdauer.

Gemeinsam mit weiteren Partnern werden für die Automobilwirtschaft bedeutsame neue Technologien in Form eines Geräteparks bereitgestellt, entwickelt und qualifiziert. Im Fokus steht dabei die qualitätsgesicherte, innovative Herstellung, Verarbeitung und Nutzung insbesondere moderner Werkstoffe im Misch- und Leichtbau sowie die damit verknüpften Füge- und Prüftechniken.

Vom AQS und den beteiligten Mutterinstituten wird die gesamte Wertschöpfungskette abgedeckt – vom Ausgangsmaterial über das geprüfte Bauteil bis zum Recycling und der Wiederverwendung.

Dadurch können Simulationswerkzeuge und experimentelle Einrichtungen zur Auslegung, strukturellen Bewertung und zur Optimierung von Automobilkomponenten weiterentwickelt oder neu geschaffen werden.

Know-how aus dem Fraunhofer IFAM

Die Kernkompetenzen, die das Fraunhofer IFAM in das Innovationscluster AQS einbringt, beinhalten

- wärmearme Fügeverfahren (Klebtechnik, mechanische Fügeverfahren, Hybridfügeverfahren),
- Oberflächenvorbehandlung und
- Oberflächenbeschichtung.

Das IFAM deckt dabei die komplette für die Automobilzulieferindustrie relevante Prozesskette der Fertigungstechnik Kleben sowie angrenzender Hybridverfahren ab und ist dadurch in der Lage, seinen Kunden in jeder Phase des Produktionsprozesses als kompetenter Ansprechpartner zur Seite zu stehen (Abb. 2).



Abb. 2: Themenbereiche der Fertigungstechnik Kleben des Fraunhofer IFAM.

Die Prozesskette umfasst im Einzelnen

- Klebstoffauswahl, -modifikation und -qualifikation,
- Thermoanalytik und Rheologie,
- Fügeverfahren Kleben inklusive Mikrofertigung, Hybridverfahren und Klebstoffbeschichtungen,
- klebgerechtes Design, Prozessgestaltung und Automatisierung,
- Prozesssimulation (z. B. Strömungssimulation),
- zerstörende Werkstoffprüfung und Lebensdauercharakterisierung,
- Qualitätsmanagement und
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

In den Arbeitsbereichen Oberflächenvorbehandlung und Oberflächenbeschichtung des Fraunhofer IFAM werden den Werkstoffen zusätzliche Eigenschaften verliehen, die sie für weitere Anwendungsbereiche qualifizieren. Oberflächen werden gereinigt und aktiviert, damit Lacke, Farben sowie Klebstoffe besser darauf haften. Sie werden beschichtet, um neue Funktionen zu erreichen. Die Beschichtungen liefern beispielsweise Kratzfestigkeit, Schmutzabweisung, Anlaufschutz oder Korrosionsbeständigkeit. Hierbei kommen unter anderem Fluorieren, Niederdruck- und Atmosphärendruck-Plasmatechnik sowie Beschichtungen durch plasmapolymere Abscheidung zum Einsatz. Diese Technologien bieten die Optimierung bestehender Fertigungsprozesse und das Hinzufügen neuer Oberflächeneigenschaften, die den Einsatz eines Werkstoffs oftmals erst ermöglichen.

Qualitätsmanagement

Die Absicherung der Qualität von innovativen Produkten, neuen Werkstoffen und technischen Dienstleistungen erfolgt auf der Basis von nationalen und internationalen Regeln und Normen, die auch eine Zertifizierung von Prüflaboratorien und Prüfpersonal vorsehen. Das AQS qualifiziert die entwickelten Produkte und Technologien daher nach den international anerkannten Normen sowie Richtlinien der Automobilindustrie und stellt seine Dienstleistungen in den akkreditierten Laboren der beteiligten Fraunhofer-Institute zur Verfügung.

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

Ansprechpartner

Fraunhofer-Innovationscluster AQS, Saarbrücken
Leitung
Dipl.-Ing. Siegfried Kraus
Dr.-Ing. Bernd Valeske

Fraunhofer-Innovationscluster AQS
am Fraunhofer IFAM, Bremen
Dr. Jochen Skupin
Telefon: +49 421 2246-465
jochen.skupin@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Berechnung von höherfesten Stahlklebverbindungen des Fahrzeugbaus unter Crashbelastung – schnellere Produktentwicklung durch numerische Simulation

Ausgangssituation

Die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie kann durch zunehmende Nutzung von numerischen Simulationswerkzeugen verbessert werden, weil die Geschwindigkeit, mit der neue Produkte entwickelt werden können, erhöht wird. Einen Beitrag dazu leisten Simulationen und zugehörige Experimente zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten, die die Möglichkeit erschließen, Klebverbindungen in Fahrzeugen unter dem Crashlastfall zu berechnen.

Bei der Simulation des Verhaltens von Klebverbindungen sind die Größenverhältnisse der Klebverbindungen und die relativ komplizierten Werkstoffmodellgesetze eine Herausforderung. Eine Klebverbindung ist lang, aber dünn und schmal, sodass bei einer Simulation mit Finiten Elementen (FE) sehr viele Elemente notwendig sind, die eine lange Rechenzeit erfordern. Das Werkstoffverhalten ist zeit- und geschwindigkeitsabhängig elastisch-plastisch, wobei plastische Verformung nicht nur unter Schub auftritt.

Projektbeschreibung

An der Bearbeitung des Projekts waren – inklusive des Fraunhofer IFAM – acht Institute beteiligt, deren Forschungsschwerpunkte in den Disziplinen Mechanik, numerische Methoden, Klebtechnik sowie Werkstoff- und Bauteilverhalten unter hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten liegen.

Es sollten das elastisch-plastische und das viskoplastische Verhalten sowie Versagen und Versagensfortschritt betrachtet werden. Dazu wurden die notwendigen Werkstoff-, Versagens- und Ersatzmodelle weiterentwickelt sowie Anstrengungen unternommen, die Messmethoden zur Kennwertermittlung bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten zu verbessern. Weiterhin wurden die verfügbaren FE-Werkzeuge ergänzt, modifiziert und nach Implementierung validiert. Die verfolgten Lösungsansätze wurden im Projekt zunächst an einfachen Verbindungsproben, später an komplexeren, bauteilähnlichen Proben validiert.

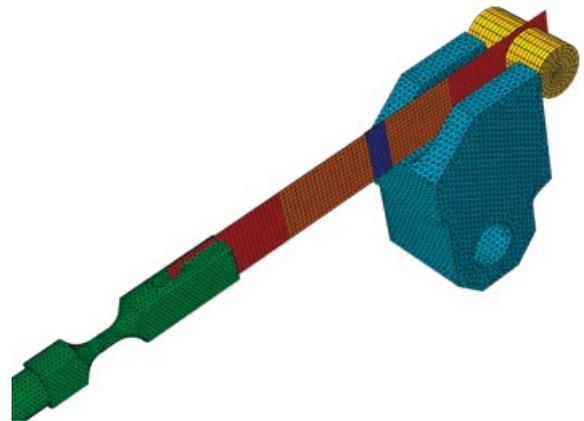


Abb. 1: Numerische Simulation: FE-Modell der hochdynamischen Prüfung einer Zug-Scher-Prüfung.

Ergebnis und Perspektive

In dem Forschungsvorhaben wurden Werkstoffmodelle und Simulationsverfahren entwickelt und implementiert, die die numerische Simulation der Beanspruchung und des Versagensverhaltens der Klebverbindungen im Crashlastfall erstmals ermöglichen. Dabei wurden zwei Wege beschritten: Kontinuumsmechanische Modelle bieten die Grundlage für die lokale Betrachtung der Klebverbindung, vereinfachte Ersatzmodelle erleichtern die zeitnahe Umsetzung in der industriellen Anwendung.

Als kontinuumsmechanisch basierte Ansätze stehen sowohl physikalisch begründete Formulierungen wie auch Kombinationen mit empirischen Ansätzen für die Geschwindigkeitsabhängigkeit des plastischen Fließens und des Versagens zur Verfügung. Die Finite-Elemente-Modellierung erfordert mehrere Elemente über die Klebschichtdicke. Für die Ersatzmodellierungen wurden spezielle Grenzflächenelemente oder vereinfachte Darstellungen der Klebfuge mit einem Volumenelement über die Klebschichtdicke gewählt. Als einfachste Näherung wurde ein bilineares Ersatzmodell mit einem bruchmechanisch motivierten Versagensansatz verwendet.

Validierende Crash-Experimente an einfacheren Prüfkörpern – KSII-Probe, T-Stoß – sowie an modifizierten Bauteilen aus dem Fahrzeugbau – B-Säule, Türschachtverstärkung – konnten mit den entwickelten Simulationsmethoden erfolgreich

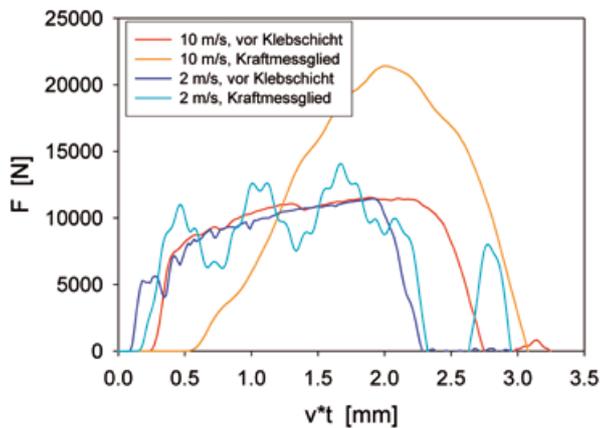


Abb. 2: Berechnete Kräfte aus der Simulation der Prüfung der Zug-Scher-Probe. F = Kraft, v = Geschwindigkeit, t = Zeit.

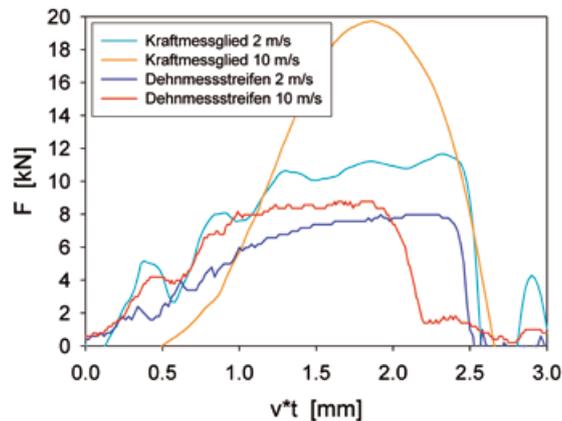


Abb. 3: Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Simulation (siehe Abbildung 2). F = Kraft, v = Geschwindigkeit, t = Zeit.

berechnet werden. Die im Vorhaben erzielten Fortschritte in der Simulationstechnik ermöglichen weiterhin ein vertieftes Verständnis der bei hohen Prüfgeschwindigkeiten durchzuführenden Prüfungen zur Kennwertermittlung (Abb. 1, 2 und 3). Im Gegensatz zu langsamen Versuchen können bei dynamischen Tests Trägheitseffekte die Messsignale stark beeinflussen. In einigen Fällen konnten bereits während des Vorhabens durch die Simulationsergebnisse veranlasste Verbesserungen der Prüftechnik vorgenommen werden.

Derzeit erfolgt unter Mitwirkung des Fraunhofer IFAM in Unternehmen der Automobilbranche die Umsetzung der neuen Simulationsmethoden in die industrielle Praxis. Parallel dazu wird ein weiterführendes Verbundvorhaben vorbereitet, in dem die Robustheit und Zuverlässigkeit der Berechnungsmethoden im Fokus stehen wird. Basierend auf einer Quantifizierung aller Unsicherheiten sollen Experimente, Parameteridentifikationsverfahren und Modelle optimiert werden.

Auftraggeber

ThyssenKrupp Steel AG, Henkel KGaA, Daimler AG, Volkswagen AG, 3M Germany, DYNAMore GmbH, CADFEM GmbH, Dr.-Ing. h. c. F. Porsche AG, Sika Technology AG, Wilhelm Karmann GmbH, Adam Opel GmbH, DOW Automotive AG, Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG, ESI GmbH, Arcelor Commercial FCSE, Ford-Werke GmbH, BMW AG mit fachlicher Begleitung und finanzieller Förde-

rung durch die FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Düsseldorf, aus Mitteln der Stiftung Stahlanwendungsforschung, Essen.

Projektpartner

Universität Kassel – Institut für Werkstofftechnik und Institut für Mechanik
 Universität Paderborn – Lehrstuhl für Technische Mechanik sowie Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik
 Technische Universität Braunschweig – Institut für Füge- und Schweißtechnik
 Fraunhofer-Gesellschaft – Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik EMI (Ernst-Mach-Institut) sowie Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM.

Ansprechpartner und Projektkoordinator

Dr. Markus Brede
 Telefon: +49 421 2246-476
 markus.brede@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Ressourcenschonende Miniaturringleitung des Fraunhofer IFAM – neues Messverfahren zur Charakterisierung des Scherverhaltens polymerer Flüssigkeiten



Abb. 1: Prüfringleitung des Fraunhofer IFAM.

Herausforderungen für Lackkreislaufsysteme in der industriellen Praxis

In der industriellen Lackierung von Automobilen, Schienenfahrzeugen, Flugzeugen, Maschinen und anderen größeren Objekten erfolgt die Lackversorgung üblicherweise aus Lackkreislaufsystemen, sogenannten »Ringleitungen«. Das Lacksystem ist in den Ventilen, Pumpen und Vorratsmischern erheblichen Scherbelastungen ausgesetzt.

Damit verbunden sind die Gefahren der

- Nachdispergierung der Pigmente,
- Schädigung von Effektpigmenten,
- Schädigung der Dispersionsfilmbildner bei Wasserlacken (Verkleben, »Brechen« der Dispersionsströpfchen, Zerstörung der Polymermatrix) und der
- Änderung der Viskosität (Verschlechterung der anwendungstechnischen Eigenschaften).

Bei einer neuen Lackentwicklung und -freigabe muss sichergestellt sein, dass die Lacke gegenüber den Belastungen in den Lackkreislaufsystemen hinreichend beständig sind. Ansonsten ist ihr Einsatz in diesen Industriebereichen ausgeschlossen.

Herkömmliche Prüfringleitungen

Bisher geschieht die Prüfung polymerer Flüssigkeiten auf ihre Ringleitungsbeständigkeit in Prüfringleitungen, die den Applikationsanlagen der Praxis nachempfunden sind. Aufgrund der Größe der Testanlagen (Fassungsvermögen circa 100 Liter) ist der wirtschaftliche, zeitliche und umweltrelevante Aufwand zum Erreichen eines Ergebnisses sehr groß. Hervorzuheben ist insbesondere die Reinigung der Prüfringleitungen: Sie ist eine erhebliche Umweltbelastung.

Polyshear – auf dem Weg zur Miniaturringleitung

Die Aufgabe der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM im Projekt Polyshear ist es, eine miniaturisierte Testkammer mit einem Fassungsvermögen von circa 1 Liter zu entwickeln, in der das Strömungs- und Scherverhalten einer Prüfringleitung nachgestellt werden kann.

Der Lösungsansatz besteht darin, das Scherverhalten bestehender Prüfringleitungen vorab sowohl experimentell als auch durch numerische Simulation zu quantifizieren, um es im Anschluss auf eine miniaturisierte Testkammer zu übertragen. Durch die Bewertung der herkömmlichen Prüfringleitung lässt sich ermitteln, welche potenziellen Beanspruchungen – insbesondere Temperatur, Druck, Scherung – an die Beständigkeit des Lacks an den einzelnen Komponenten einer Prüfringleitung (zum Beispiel Pumpen, Armaturen, Reduzierungen, Rohrbögen) zum Tragen kommen. Die 20 Meter lange Prüfringleitung des Fraunhofer IFAM wird hierzu als Modell für große Industrieanlagen genutzt (Abb. 1).

Numerische Simulation im Einsatz

Aus der numerischen Simulation der Strömung durch Computational Fluid Dynamics (CFD) lässt sich die Scherbelastung der Strömung quantifizieren.

Ausgangspunkt für die Strömungssimulation ist die exakte Beschreibung der Geometrien aller Komponenten der Ringleitung durch 3-D-Modelle oder technische Zeichnungen. Diese Daten wer-

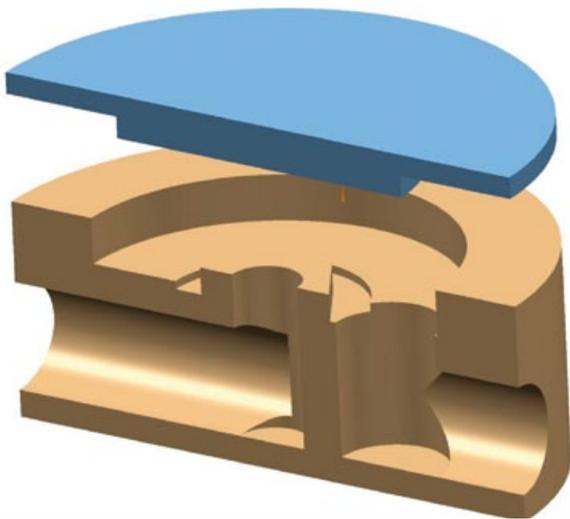


Abb. 2: CAD-Zeichnung eines Druckminderers.

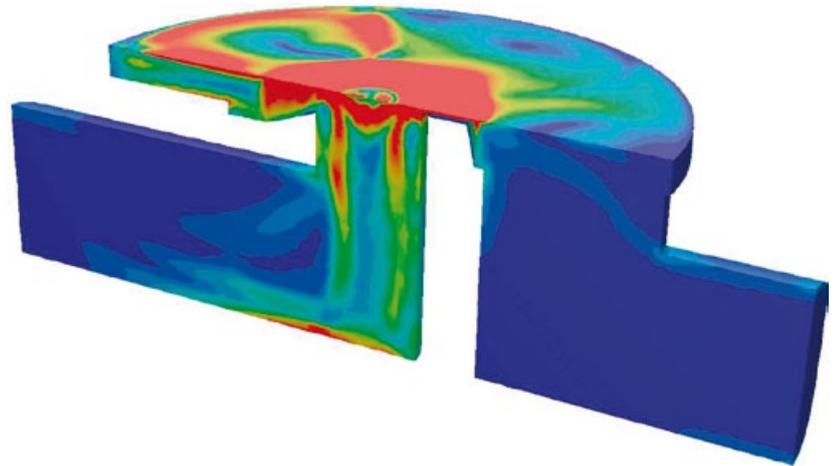


Abb. 3: Darstellung der Bereiche mit erhöhten Materialbelastungen des Druckminderers mithilfe numerischer Simulation – durch CFD.

den in ein CAD-Programm überführt und aufbereitet. Der vom Fluid durchströmte Bereich wird als Strömungskanal extrahiert und als Grundmodell für die Simulation gespeichert.

Die Kinematik der beweglichen Komponenten von Pumpen und Ventilen wird berücksichtigt und in die Simulation einbezogen. Als Randbedingungen fließen die Betriebsparameter der Anlage, wie Temperatur, Druck und Fördermenge, ein. Neben der Abbildung von Geometrie und Prozess ist die Erfassung der Materialeigenschaften des Lacks notwendig. Ebenso lassen sich mit dem Simulationsprogramm die auftretenden Scherleistungen in Anlagen herkömmlicher Größe nachstellen (Abb. 2 und 3).

Im Projektverlauf hat sich gezeigt, dass die numerische Simulation ein sehr gutes Instrument für die Bestimmung von Kennzahlen in Ringleitungsanlagen darstellt und dass die gewonnenen Kenntnisse übertragbar sind.

Bestimmung des Scherverhaltens der Lacke

Aus der numerischen Simulation der Strömungsprofile und der Bestimmung des Scherverhaltens sowie des Belastungsregimes im Ringleitungsversuch kann für ein einzelnes Volumenelement er-

rechnet werden, welche Schergeschwindigkeiten es im Verlaufe des Ringversuches erfährt. Mithilfe dieser Daten wird ein Versuch am Rheometer durchgeführt und eine Probe geschert (Abb. 4).

Sowohl die experimentellen Versuchsergebnisse der Prüfringleitung als auch die Resultate der Strömungssimulationen identifizieren den Druckminderer der Ringleitung als das Element, welches den Lack am meisten belastet.

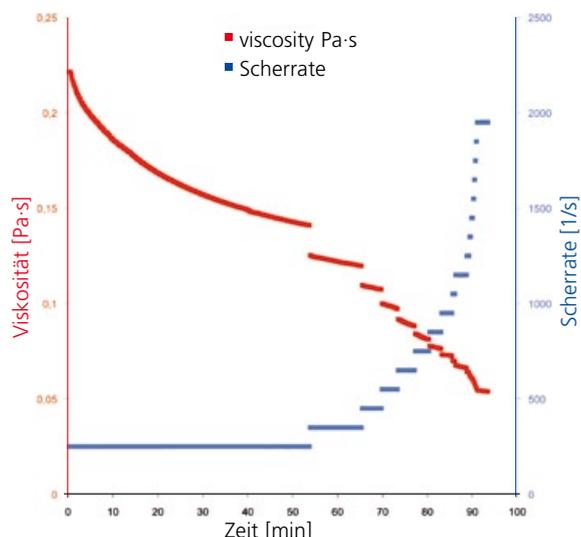


Abb. 4: Nachstellung der Scherbelastung eines Lacks in einer Ringleitungsanlage mittels Rotationsviskosimeter. Die Viskositätsänderung ist auf die Veränderung der Lackprobe zurückzuführen.



Abb. 5: Miniaturringleitungsanlage des Fraunhofer IFAM.

Entwicklung der Miniaturringleitung des Fraunhofer IFAM

Ist das Scherverhalten quantifiziert, lassen sich die Daten auf die »Ein-Liter-Testkammer« übertragen: Die Voraussetzung für die Konzeption einer kompakten Testkammer mit miniaturisierter Ringleitung ist geschaffen.

Die Miniaturanlage besteht aus einem Behälter mit einem Fassungsvermögen von 1 Liter, einer Membranpumpe sowie einem Druckhalteventil, die untereinander durch eine einsträngige Leitung verbunden sind. Zur Quantifizierung der Lack-

belastung werden der Druck vor und nach dem Druckminderer sowie der Durchfluss gemessen und angezeigt. Das Gesamtvolumen des Lacks in der Anlage beträgt etwa 0,6 Liter.

Bei der Miniaturringleitungsanlage kommt es vor allem darauf an, dass der Lack trotz der kurzen Wege genauso stark belastet wird wie später im industriellen Betrieb. Durch diese kreisförmige Testanlage des Fraunhofer IFAM kann das Lacksystem nicht nur kontinuierlich, sondern auch im Stich – d. h. in eine Förderrichtung – gefahren werden (Abb. 5 und 6).

Praktischer ressourcenschonender Nutzen für Lackhersteller und Lackanwender

Speziell für Lackhersteller und Anwender – beispielsweise aus den Bereichen Automobil-, Schienenfahrzeug-, Flugzeug- und Maschinenbau – hat das Fraunhofer IFAM zusammen mit dem Projektpartner Fraunhofer UMSICHT mit der Miniaturringleitungsanlage ein ressourcenschonendes Messverfahren zur Charakterisierung des Scherverhaltens polymerer Flüssigkeiten für Lacke und Beschichtungstoffe entwickelt.

Eine Temperierung der Ringleitung ist bis 40 °C möglich. Während der Belastung werden Temperatur, Druck, Fließgeschwindigkeit sowie Scherrate online an unterschiedlichen Stellen gemessen und dokumentiert. So lassen sich zum Beispiel auch Viskositätsveränderungen infolge einer neuen Lackcharge oder durch zu langes Umpumpen in der Ringleitung direkt messen. Der Betrieb der Miniaturprüfringleitung ist sowohl im Niederdruck- als auch im Hochdruckbereich möglich.

Sämtliche Komponenten, in denen der Lack am meisten beansprucht wird, sind in diese Testanlage des Fraunhofer IFAM integriert – auf zusätzliche Leitungen und Schläuche, die den Lack wenig beanspruchen, wird verzichtet. Statt 50 bis 100 Liter Lack, die in einer herkömmlichen Prüfringleitung nötig sind, reichen in der Miniaturringleitung maximal 1 bis 2 Liter aus.

Das Projektergebnis umfasst Planung, Dimensionierung, Bau und Betrieb einer preiswerten Miniaturtestanlage, die die Untersuchung von Lacken zu günstigen Konditionen ermöglicht und daher insbesondere kleineren und mittleren Unternehmen die Möglichkeit bietet, Neuentwicklungen und Produkte erheblich kostengünstiger als bisher zu testen und zu qualifizieren.



Abb. 6: Miniaturringleitung.

Projektpartner

Fraunhofer-Institut
für Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik UMSICHT

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Sascha Buchbach
Telefon: +49 421 2246-497
sascha.buchbach@ifam.fraunhofer.de

Dr. Holger Fricke
Telefon: +49 421 2246-637
holger.fricke@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Fraunhofer-Talent-School Bremen 2008 – Schülerinnen und Schüler erleben die Welt der Wissenschaft



Praxisbezogen – Talent-School 2008 im Fraunhofer IFAM.

Unter dem Motto »Fraunhofer-Talent-School Bremen 2008« fanden vom 13. bis 15. Oktober 2008 im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung vier Workshops statt, in denen fast 50 besonders interessierte und talentierte 15- bis 19-jährige Schülerinnen und Schüler drei Tage lang Wissenschaftsluft schnuppern konnten.

Vor dem Hintergrund des zukünftigen Mangels an qualifizierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wurde 2006 die Idee der Talent-School in der Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft in München geboren: Es gilt, rechtzeitig mehr Jugendliche für eine Forscherlaufbahn zu interessieren, sie zu einem natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Studium zu motivieren und so – langfristig gesehen – die Fraunhofer-Gesellschaft als potenziellen Arbeitgeber in das Blickfeld des talentierten Nachwuchses zu rücken.



Wissenschaftler von heute und morgen im Gespräch.

Ab Juni 2008 konnten sich die Schülerinnen und Schüler um einen Platz in einem der Workshops der Fraunhofer-Talent-School Bremen 2008 bewerben. Eingangsvoraussetzung war die Empfehlung einer Lehrkraft ihrer jeweiligen Schule oder der außerschulische Nachweis über die besonderen Kenntnisse und Fähigkeiten der Jugendlichen in den Themengebieten des betreffenden Workshops.

Die Resonanz war enorm: Über 70 Bewerbungen gingen für die 30 Plätze in 3 geplanten Workshops ein. Um einer größeren Anzahl von Interessenten die Teilnahme zu ermöglichen, wurden die Plätze pro Workshop von 10 auf 12 erhöht und ein Workshop – zum Thema Klebstoffe – kurzerhand doppelt angeboten, wodurch fast 50 Jugendlichen eine Zusage erteilt werden konnte. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer, denen das Losglück bei der Vergabe der immer noch zu knappen Platzzahl gewogen war, kamen zum Großteil aus Niedersachsen und Bremen, aber auch Jugendliche aus Berlin, Hamburg, Schleswig-Holstein und Nordrhein-Westfalen fanden den Weg in das Fraunhofer IFAM und beschäftigten sich hier drei Tage lang mit folgenden Themen:

»Was die Welt zusammenhält – Chemie und Physik der Klebstoffe«

In diesem doppelt angebotenen Workshop setzten sich die Schülerinnen und Schüler mit den Grundlagen des Klebens – der Adhäsion und der Kohäsion – auseinander. Die Dozenten des Klebtechnischen Zentrums des Fraunhofer IFAM vermittelten ihnen einen weitreichenden Einblick in die Welt des Klebens. Die Theorie wurde von einem umfangreichen Praxisteil begleitet, in dem beispielsweise Klebstoffeigenschaften modifiziert und kontrolliert werden konnten.

»Bausteine des Lebens – Bioanalytik von Proteinen«

Die Jugendlichen befassten sich in dem Workshop intensiv mit Proteinen. Neben einigen Grundlagen zum Aufbau und zur Funktion der Proteine wurden auch die proteinbasierte Bioadhäsion und die hierbei zugrunde liegenden Mechanismen betrachtet.

Zum besseren Verständnis der Proteinfunktionen wurde der Proteinaufbau eingehend behandelt. In dem Zusammenhang führten die Dozenten des Fraunhofer IFAM die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in moderne biochemische Methoden der Proteinanalytik ein – SDS-Gelelektrophoresen, Färbemethoden, Proteinverdau und MALDI-ToF MS – und machten sie mit Datenbankrecherchen vertraut.

»Große Gleichungssysteme – schnelle Lösung kein Problem«

Wissenschaftlich-technische Probleme werden in vielen Fällen durch Differenzialgleichungen beschrieben. Diese werden durch »Diskretisierung« in große Gleichungssysteme überführt. Die so entstehenden Gleichungssysteme haben gewisse charakteristische Eigenschaften, die für ihre effiziente Lösung von besonderer Bedeutung sind. In dem Workshop wurden zunächst einige mathematische Grundlagen erarbeitet. In einem zweiten Teil konnten die Schülerinnen und Schüler unter der Leitung eines Dozenten vom Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen (SCAI), Sankt Augustin, die gewonnenen mathematischen Erkenntnisse praktisch umsetzen: In Teams wurden verschiedene effiziente Verfahren zur Lösung großer Gleichungssysteme programmiert und zur Lösung eines Modellproblems eingesetzt.

Erweiterung des Horizontes

Nach der Wissenschaftsluft tagsüber erwartete die Jugendlichen am ersten Abend ein von einem Studententeam ausgearbeitetes und betreutes Aktionsprogramm. Im Rahmen einer Stadtrallye lernten sie sich nicht nur untereinander besser kennen, sondern auch Bremen und seine Sehenswürdigkeiten. Das Abendprogramm des zweiten Tages bestand aus einem »Get-together« mit der Institutsleitung sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Fraunhofer IFAM, bei dem die Jungforscher Fragen zum beruflichen Werdegang und zur Arbeitsweise in Fraunhofer-Instituten stellen konnten, um so detailliertere Vorstellungen von dem Berufsbild »Forscher« und konkret vom Arbeitsalltag eines Fraunhofer-Mitarbeiters zu erhalten.

Positive Erfahrungen 2008 – der Auftakt zur Fraunhofer-Talent-School Bremen 2009

Die Auswertung der am Ende der drei Tage im Fraunhofer IFAM an die Schülerinnen und Schüler ausgeteilten Feedbackfragebögen ergab ein durchweg positives Bild der Talent-School insgesamt und insbesondere der abendlichen Zusammenkunft mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des IFAM: Die Jugendlichen haben neue sowie positive Erfahrungen gesammelt und können dadurch ihre Studienziele konkretisieren.

Ausdrücklich positiv bewerteten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer darüber hinaus die von ihnen erlebte angenehme Arbeitsatmosphäre im Institut sowie die Tatsache, dass sie sich während der drei Tage im Fraunhofer IFAM als Forscher behandelt und ernst genommen fühlten. Hierzu trugen vor allem der große Praxisanteil sowie die umfangreichen Labortätigkeiten bei. Die Schülerinnen und Schüler konnten unter Anleitung ihrer Betreuer in den institutseigenen Laboren arbeiten und dabei neue Erfahrungen machen: Aufgrund der oft fehlenden Ausstattung an ihren Schulen waren den Jugendlichen solche Tätigkeiten und Möglichkeiten bislang unbekannt.

Die Dozentinnen und Dozenten äußerten sich gleichermaßen durchweg positiv über die Arbeit mit den Schülerinnen und Schülern – eine nach ihrer Aussage zwar anstrengende, aber freudvolle Erfahrung mit wissbegierigen und hoch motivierten jungen Menschen: Die Fraunhofer-Talent-School Bremen wird in den Herbstferien 2009 erneut am Fraunhofer IFAM stattfinden.

Ansprechpartner

Beate Brede
Telefon: +49 421 2246-421
beate.brede@ifam.fraunhofer.de

Institut

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



Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT (bis 31.12.2008) – Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES (ab 1.1.2009)

Das Fraunhofer CWMT in Bremerhaven betrieb bis Ende 2008 industriennahe Forschung und Entwicklung zur Nutzung der Windkraft. Untersucht wurden Materialien, Oberflächen, Verbindungen, Fertigungstechniken sowie die Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit von Anlagen. Das CWMT war eine gemeinsame Einrichtung der beiden Fraunhofer-Institute für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen sowie für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt. Ihm standen insgesamt rund 380 Mitarbeiter sowie eine Infrastruktur mit Prüffeldern, Laboren und Analytik auf mehr als 20 000 Quadratmetern Fläche zur Verfügung.

Die zentrale Aufgabe der Einrichtung war die Fokussierung der Kompetenzen des IFAM und des LBF auf die Windenergienutzung und die Meerestechnik sowie deren branchenspezifische Weiterentwicklung in enger Kooperation mit der Wind- und Offshore-Industrie. Das Angebot reichte von der Grundlagenforschung bis zur Markteinführung von Produkten. Das Spektrum der Arbeiten umfasste den Einsatz neuer Materialien, Oberflächenschutzsysteme, Verbindungstechnologien, integrierter Sensoren und Aktuatoren sowie der dazugehörigen Verfahrens- und Fertigungstechnologien. Zum Beispiel wurde das Design von Offshore-Bauwerken bezüglich Gewicht, Fertigungskosten und technischer Verfügbarkeit optimiert.

Das Fraunhofer CWMT gliederte sich in zwei Bereiche. Im Bereich Technische Zuverlässigkeit wurden numerische Werkzeuge und analytische Methoden entwickelt und spezifischen Aufgabenstellungen angepasst. Damit sollte die Qualität von Lebensdauervorhersagen erhöht und gleichzeitig der notwendige experimentelle Prüfumfang reduziert werden. Im Bereich Rotorblattprüfungen wurden mittels hochmoderner Prüfstände Rotorblätter und deren Komponenten der aktuellen und nächsten Anlagengeneration statisch und dynamisch untersucht. In enger Verknüpfung von experimentellen und numerischen Verfahren wurden neue Prüfverfahren entwickelt, neue Konstruktionen getestet und Lebensdauernachweise geführt.

Auf dieser erfolgreichen Basis startete am 1. Januar 2009 ein neues Fraunhofer-Institut: Das Fraunhofer-Institut für Windenergie und

Energiesystemtechnik IWES (siehe Seite 113 »Aus CWMT wird IWES«).

Das Fraunhofer CWMT – wie auch das Fraunhofer IWES – wird aus Landes- und Bundesmitteln gefördert.

Land Bremen

Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa
Senator für Wirtschaft und Häfen
Senatorin für Bildung und Wissenschaft
BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH

Bund

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Mit einer Kofinanzierung aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



Das Fraunhofer CWMT wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und aus Forschungsmitteln des BMU kofinanziert.

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES

Am Seedeich 45
27572 Bremerhaven
www.iwes.fraunhofer.de

Leitung

Priv.-Doz. Dr. habil. Hans-Gerd Busmann
Telefon: +49 471 902629-10
hans-gerd.busmann@iwes.fraunhofer.de

Maritime Strukturen und Anlagen

Dr. Holger Huhn
Telefon: +49 471 902629-21
holger.huhn@iwes.fraunhofer.de

Rotorblattprüfung

Dr. Arno van Wingerde
Telefon: +49 471 902629-23
arno.van.wingerde@iwes.fraunhofer.de

Windenergie auf See: Frische Brise für Deutschlands Stromversorgung

Regenerative Energie wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten ein ungeahntes Wachstum erleben – nicht nur in Deutschland. Die Politik erwartet dabei von der Windenergie den wichtigsten Beitrag. Mit Erfolg arbeitet das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Bremerhaven, an Leistungssteigerungen und einer höheren technischen Zuverlässigkeit seegestützter Windkraftanlagen. Das IWES ist am 1. Januar 2009 aus dem Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT hervorgegangen. Das CWMT war bis zum 31. Dezember 2008 eine gemeinsame Einrichtung der Fraunhofer-Institute IFAM (Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Bremen) und LBF (Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt).

Spätestens seit dem exorbitanten Anstieg der Preise für die umweltbelastenden Energieträger Erdöl und Erdgas, dessen Ende nicht absehbar ist, stehen die erneuerbaren Energien wieder im Zentrum der Klima- und Energiedebatte. Die Bundesregierung hat beschlossen, den Ausstoß an Treibhausgasen bis 2020 um 40 Prozent zu senken. Geschehen soll das durch eine Steigerung des Anteils regenerativer Energien an der Stromerzeugung

von derzeit 12 Prozent auf 25 bis 30 Prozent bis 2020 und auf 45 Prozent bis 2030. Mit einem Anteil von 42 Prozent an der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ist Windenergie hierzulande die bedeutendste regenerative Energiequelle. Bis 2020 soll ihr Anteil auf zwei Drittel wachsen.

Auch in wirtschaftlicher Hinsicht spielt die Windenergie eine immer größere Rolle:

- Am weltweiten Gesamtumsatz von 15,4 Milliarden Euro hatten deutsche Hersteller und Zulieferer einen Anteil von 37 Prozent. Damit ist Deutschland Marktführer auf diesem Sektor.
- Die Wertschöpfung der deutschen Windkraftbranche ist 2007 um 21 Prozent auf ein Rekordmaß von 6,1 Milliarden Euro gestiegen.
- Für das Jahr 2020 wird der deutschen Wirtschaft im Bereich der regenerativen Energien ein Umsatz von 24 bis 30 Milliarden Euro prognostiziert. Unter Berücksichtigung des anvisierten Zwei-Drittel-Anteils der Windenergie entspräche das einer Summe von 16 bis 20 Milliarden Euro.

Angesichts des rasant wachsenden Marktes verschärft sich der weltweite Wettbewerb, der die

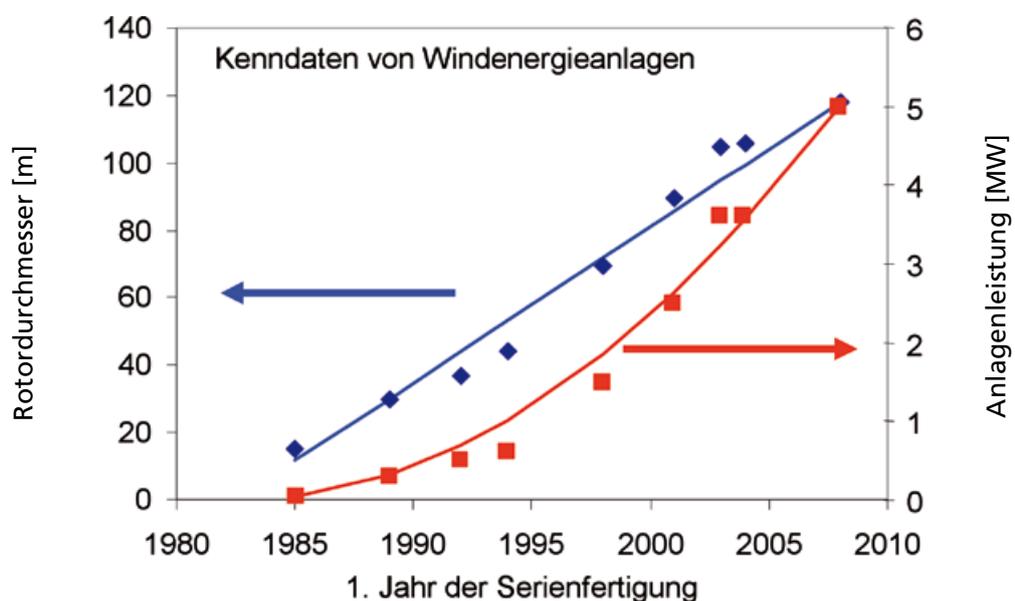


Abb. 1: Rotordurchmesser und Leistung der Windenergieanlagen von 1985 bis heute:

Dargestellt sind die Kenndaten der Anlagen zum Zeitpunkt der erstmaligen Serienfertigung. Die durchgezogenen Linien geben eine lineare (Durchmesser) beziehungsweise quadratische (Anlagenleistung) Trendlinie der Daten wieder. Die Daten bis 2004 stammen von H. Seifert, DEWI, Wilhelmshaven. Diejenigen für 2008 sind gemittelte Werte für die M5000 (Multibrid), 5M (Repower) und E112 (Enercon).

Hersteller von Windenergieanlagen (WEA) zwingt, ständig Innovationen zu entwickeln, um auf dem Markt konkurrenzfähig zu bleiben.

Ziele: Höhere Zuverlässigkeit und höhere Leistung

Für die Entwickler von Windkraftanlagen stehen zurzeit zwei Ziele im Vordergrund: die Erhöhung ihrer technischen Verfügbarkeit am Netz während eines Betriebszeitraumes von bis zu 20 Jahren sowie die Entwicklung noch leistungstärkerer WEA. Lag die Leistung einer Windkraftanlage 1985 bei gerade 50 Kilowatt, ist die Branche mittlerweile bei fünf Megawatt angelangt, also dem Hundertfachen (Abb. 1).

Um die Rentabilität geplanter Windkraftwerke ermitteln zu können, werden die auf die installierte Leistung bezogenen Entstehungskosten ermittelt. Für landgestützte Anlagen gilt heute rund eine Million Euro je Megawatt als Richtgröße, während für seegestützte Anlagen mit deutlich mehr als zwei Millionen Euro je Megawatt gerechnet wird. Da die Kosten für Installationsarbeiten, Kabelanschluss und Wartung mit höherer WEA-Leistung in deutlich geringerem Maße steigen, ist es günstiger, zum Beispiel zehn Windenergieanlagen mit je fünf Megawatt Leistung aufzustellen als 20 Stück mit je 2,5 Megawatt.

Der wachsende globale Wettbewerb unterstützt diesen Trend zu wirtschaftlicheren Großanlagen. Mit größeren Anlagen steigen aber auch die Anforderungen an Werkstoffe, Konstruktion und Fertigung. Der tragende Unterbau der Anlagen – die Substruktur – besteht für tiefes Wasser zu meist aus einer sogenannten aufgelösten Struktur. Dabei handelt es sich beispielsweise um Fundamente mit einer Dreibein- oder feineren Strebenstruktur (Jacket). In der Fertigung die benötigten Toleranzen einzuhalten, stellt bei den Ausmaßen und Gewichten der Komponenten eine extreme Herausforderung dar. Denn bei einem mehrere Hundert Tonnen wiegenden Stahlfundament kann eine Abweichung von einigen Zentimetern Leichtbaueinsparungen schnell zunichtemachen. Bei den Rotorblättern hat sich eine Bauweise mit tragendem Holm und aerodynamischer Schale in Analogie zum Flugzeugbau durchgesetzt.

Unter Einsatz der gegenwärtigen Technik können neue Generationen von Windkraftanlagen künftig nicht mehr in dem Maße wie bisher größer und leistungstärker als ihre Vorgänger ausfallen. Ein Grund dafür ist, dass einerseits die Windenergieanlagen den theoretisch möglichen höchsten Wirkungsgrad bereits nahezu erreicht haben und andererseits auch nicht beliebig vergrößert werden können, da ihre Komponenten – wie die Rotorblätter – an einem bestimmten Punkt unter der Last ihres Eigengewichts brechen würden.

Gravierende Leistungssteigerungen sind daher künftig nur mit technischen Neuentwicklungen erzielbar. Insbesondere die Leichtbauweise mit neuen Werkstoffen wie hochfesten Stählen, Leichtmetallen, Kohlefasern und Polymeren sowie neuen Konstruktionstypen und neuen Fertigungsverfahren bieten ein enormes Potenzial.

Aeroelastische Simulationen steigern die technische Verfügbarkeit

Vor der Erprobung neuer Werkstoffe und Konstruktionen steht die Analyse und Quantifizierung der auf die Anlagen einwirkenden Kräfte aus Wind, Wasser und Boden. Die Ergebnisse ermöglichen es den Entwicklern des Fraunhofer IWES, die Konstruktion zu optimieren. Eine Windenergieanlage, die den äußeren Beanspruchungen besser standhält, ist technisch länger verfügbar. Die Optimierung erfolgt heute auch im Labor und per Computer am Schreibtisch. Hier betrachten die Forscher das Zusammenspiel zwischen den auf die Anlage einwirkenden aerodynamischen und mechanischen Lasten einerseits und ihrer Betriebsführung andererseits. Unter diesen Kräfteinwirkungen müssen die Bauteile – Tragstruktur und Maschine mit Rotor, Gondel und Triebstrang – ihre Funktionszuverlässigkeit unter Beweis stellen. Für seegestützte Anwendungen berücksichtigt eine Gesamtsimulation zusätzlich Kräfteinwirkungen wie periodische Wellen, Eisgang und Erdbeben sowie die Wechselwirkung zwischen dem Fundament und dem Untergrund. Auch eine Betrachtung des räumlichen und zeitlichen Zusammenwirkens von Wind und Wellen bietet eine Optimierungsmöglichkeit für seegestützte Windenergieanlagen (Abb. 2).

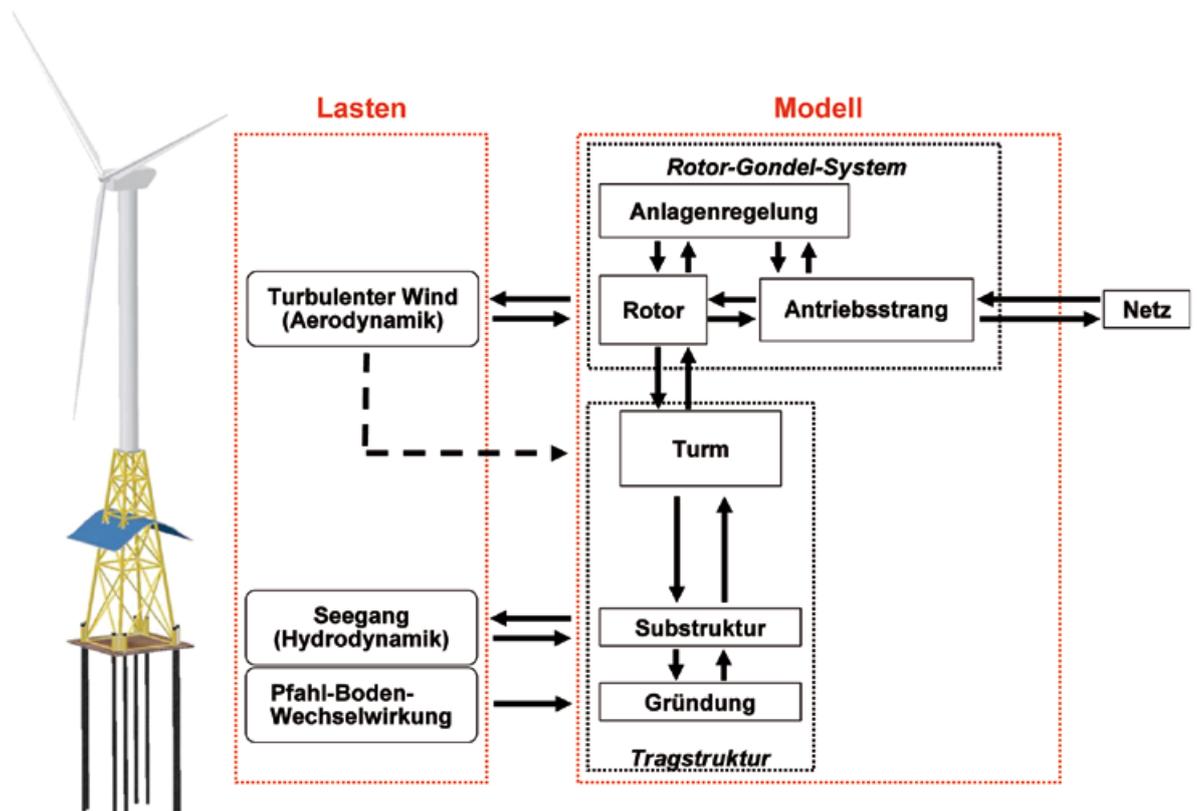


Abb. 2: Darstellung der Wechselwirkungen einer seegestützten Windenergieanlage mit den einwirkenden Kräfte aus Wind, Wasser und Boden:

Die elastische Simulation berücksichtigt das Bewegungsverhalten der einzelnen Komponenten der Anlage in Wechselwirkung mit der Betriebsführung. Speziell für seegestützte Anwendungen werden einwirkende Kräfte wie periodische Wellen, Eisgang und Erdbeben sowie die Wechselwirkungen des Fundaments mit dem Untergrund in die Gesamtsimulation integriert.

Leichtbauweise sorgt für Leistungssteigerungen

Trägt die Leichtbauweise bereits dazu bei, die technische Verfügbarkeit der Windkraftanlagen zu steigern, ist sie für die Entwicklung von leistungsstärkeren als den gegenwärtigen Megawatt-Typen unumgänglich. Andernfalls würden seegestützte Anlagen Gewichte erreichen, die Transport und Aufstellung technisch wie finanziell nahezu unausführbar machen würden.

Eine weitere Verbesserung der Anlagen versprechen sich die Entwickler von aeroelastisch-hydrodynamischen Simulationen. Hiermit kann zum Beispiel die Effizienz von passiven und aktiven Dämpfungselementen in der Tragstruktur beurteilt werden. Solche Elemente verringern die Beanspruchungen sowie die Ausprägung des

Schwingungsverhaltens der einzelnen Komponenten und senken damit auch das Gesamtgewicht. Beispiele hierfür sind passive und aktive Schwingungsdämpfer im Fundament nach dem Vorbild von Brücken- und Hochbauten sowie intelligente Steuer- und Regelsysteme, zum Beispiel für die Rotoren.

Angesichts der hohen Qualität der heutigen Simulationsprogramme können die Forscher des IWES die einzelnen Stellglieder individuell der aktuellen Last- und Beanspruchungssituation anpassen. Daher hoffen die Wissenschaftler, eines Tages zum Beispiel eine sich aufschaukelnde Eigenschwingung eines Fundaments rechtzeitig durch Gegenkräfte dämpfen zu können, die durch die Verstellung eines Rotorblattes erzeugt werden. Aber nicht nur die Simulationsprogramme, auch die Prüfmethodik entwickelt sich weiter und ge-

langt so zu schnelleren und aussagekräftigeren Ergebnissen. Diesbezügliche Ansätze des IWES bieten etwa Komponentenprüfungen, Skalierungs- und neue Rechenverfahren zur Simulation von Rotorblättern, wie sie bereits im Flugzeugbau Verwendung finden. Doch bei allem Fortschritt bleibt es auch künftig unerlässlich, die tatsächlichen Bauteilbeanspruchungen im Vorfeld der Serienfertigung mit Prototypen unter realen Einsatzbedingungen zu überprüfen.

Insgesamt bieten die aeroelastisch-hydrodynamischen Simulationen wie auch die Leichtbauweise enorme Potenziale, sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die technische Zuverlässigkeit von Windkraftanlagen weiterhin zu steigern. Sie leisten damit einen entscheidenden Beitrag zur Lösung unserer Klimaprobleme sowie zur Energieautarkie.

INFO

→ Aus CWMT wird IWES

Der Fraunhofer-Senat hat die Gründung des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES beschlossen. Es wird aus dem Fraunhofer-Center für Windenergie und Meerestechnik CWMT in Bremerhaven und dem Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET in Kassel gebildet werden und außerdem eng mit den Universitäten in Hannover, Kassel, Oldenburg und Bremen zusammenarbeiten. Bereits zum 1. Januar 2009 wurde das CWMT in ein Institut umgewandelt, die Integration des ISET soll im Laufe des Jahres 2009 erfolgen.

Mit 85 Millionen Euro für den Aufbau des IWES wollen das Bundesumweltministerium und die

drei Standortbundesländer – Bremen, Hessen sowie Niedersachsen – Deutschlands führende Stellung in der Windenergietechnik sichern. Das Institut soll Anlagenherstellern und -betreibern sowie Energieversorgern als Partner dienen.

CWMT und ISET ergänzen sich dafür ideal: Das ISET widmet sich der Elektro- und Regelungstechnik einschließlich der Netzintegration, das CWMT der Entwicklung und Belastungsprüfung von Windenergieanlagen sowie den Offshore-Parks. Das IWES schließt weitere Standorte ein, denn Bestandteil der Planung ist eine enge Zusammenarbeit mit den »Nord-Universitäten« Hannover, Bremen und Oldenburg.

Ansprechpartner

Priv.-Doz. Dr. habil. Hans-Gerd Busmann
Telefon: +49 471 902629-10
hans-gerd.busmann@iwes.fraunhofer.de

Institut

Fraunhofer-Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik IWES
Am Seedeich 45
27572 Bremerhaven

TheoPrax-Preisverleihung 2008 im Fraunhofer IFAM in Bremen – Auszeichnung von Schülern und Studierenden für praxisrelevante Projektarbeiten



Die Bremer Senatorin für Bildung und Wissenschaft, Renate Jürgens-Pieper, mit TheoPrax-Preisträgern im Fraunhofer IFAM.



Aus Theorie wird Praxis.

Die Bremer Senatorin für Bildung und Wissenschaft, Renate Jürgens-Pieper, zeichnete als Schirmherrin am 6. November 2008 Schülerinnen und Schüler sowie Studierende im Rahmen der TheoPrax-Preisverleihung 2008 durch die TheoPrax-Stiftung für ihre hervorragenden, außergewöhnlichen und praxisrelevanten Projektarbeiten im Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung aus. »Ziel der Bildung ist Wissen und Handeln« war 2008 das Motto des bundesweit ausgeschriebenen Preises.

Die engagierten Bewerberinnen und Bewerber aus Schulen, Fachhochschulen und Universitäten aller Bundesländer entwickelten in Zusammenarbeit mit ihren Auftraggebern nicht nur praxisrelevante Lösungen für Unternehmen und Kommunen, sondern bewiesen zugleich, dass sich bereits während der Ausbildung Theorie in Praxis und Wissenschaft in Anwendung direkt umsetzen lässt.

Die Jugendlichen präsentierten bei der Preisverleihung in den Kategorien Schule, Fachhochschule und Universität die für ihre Auftraggeber erarbeiteten, praktisch umsetzbaren Lösungen mit kreativen und unkonventionellen Ansätzen in einem weiten Themenspektrum:

- Erstellung einer Informations- und Marketingplattform für Ingenieure
- Entwicklung einer motorischen Kurzzeitaktivierung für Langzeitweiterbildungen
- Optimierung einer Trinkwasseraufbereitung
- Konstruktion sowie Bau einer Wasserfontäne
- Trennung von Pflanzensamen im biologischen Anbau
- Erstellung einer Bibellektüre für den Lateinunterricht ergänzt durch einen Internetauftritt
- Entwicklung einer Brennholzaufbereitung mit dazugehöriger Direktvermarktung

Das letztgenannte Projekt einer Förderschule rückte nicht nur durch seine praktische Demonstration bei der Preisverleihung in Bremen in den Vordergrund, sondern insbesondere dadurch, dass es zur Gründung einer eigenen Schülerfirma führte.

Im siebten Jahr der Verleihung des TheoPrax-Preises zeigte es sich wieder, wie sehr Projektarbeiten mit konkreten Aufgabenstellungen im Unterricht und Studium Schülerinnen, Schüler und Studierende zum Lernen motivierten: Unternehmerisches Denken und Handeln lässt sich frühzeitig üben und erlernen. Die Bewerberinnen und Bewerber setzten theoretisches Wissen direkt in die Praxis um und lernten professionelle Projektarbeit und Arbeitsmethoden aus Wissenschaft sowie Arbeitsalltag kennen.



Die gute Laune der TheoPrax-Preisträger wird durch die praktische Umsetzung der motorischen Kurzzeitaktivierung gesteigert.

Das Fraunhofer IFAM engagiert sich als TheoPrax-Kommunikationszentrum insbesondere mit der Intention einer Forschungseinrichtung, das Interesse junger Menschen an Themen und Arbeitsmethoden zu wecken, die in ihrem Schulalltag meist nicht behandelt werden, Talente aufzudecken und ihnen so – zumindest methodisch – einen Einblick in die Arbeitsweise eines Forschungs- und Entwicklungsinstituts zu geben.

Wie spannend, interessant und alltagsnah Themen aus naturwissenschaftlichen Bereichen sind, brachte Prof. Dr. Manfred Euler vom Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel nach Vorstellung und Prämierung der Projekte durch seinen Experimentalvortrag »Faszination Physik« anschaulich zum Ausdruck – er fesselte alle Anwesenden bis zur letzten Minute der Veranstaltung und hinterließ einen nachhaltigen Eindruck.

Projektpartner

TheoPrax-Zentrum am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal

Ansprechpartner

TheoPrax-Kommunikationszentrum am
Fraunhofer IFAM
Beate Brede
Telefon: +49 421 2246-421
beate.brede@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Förderpreis für Wissenschaft und Forschung



Von links: Prof. Dr. Kunze, Prof. Dr. Busse, Hr. Schütze, Dr. Stöbener, Dr. Rausch, Dr. Lehmus, Dr. Berg, Hr. Baumeister, Hr. Wichmann, Hr. Baarß.

Mit luftigen Metallkugeln zum Erfolg

Am 3. Juni 2008 konnte sich gleich die gesamte Arbeitsgruppe Leichtbauwerkstoffe des Fraunhofer IFAM freuen. Ausgezeichnet wurde die Entwicklung und Herstellung metallischer Schaumkugeln mit dem Förderpreis für Wissenschaft und Forschung im Lande Bremen von der Peter Franz Neelmeyer-Stiftung.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Gerald Rausch
Telefon: +49 421 2246-242
gerald.rausch@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Das war eine große Überraschung, denn schon zu Beginn der 90er Jahre wurde am Fraunhofer IFAM in Bremen ein pulvermetallurgisches Verfahren zur Herstellung metallischer Schäume von dem Physiker Joachim Baumeister entwickelt. Hierbei wird ein Aluminiumpulver mit einem Treibmittel homogen vermischt und fest verdichtet. Durch Erwärmung oberhalb des Schmelzpunkts kann sich dieses Vormaterial zum Metallschaum ausdehnen. Während der Erwärmung beginnt das Treibmittel Gas freizusetzen, welches aus dem noch festen und gasdichten Material nicht entweichen kann. Sobald das Metall bei etwa 600 °C zu schmelzen beginnt, bildet das gespeicherte Gas eine Vielzahl sich ausdehnender Blasen. »Wie die Hefe beim Brotbacken lässt das Treibgas den Metallschaumteig aufgehen«, erklärt Baumeister. Durch schnelles Abkühlen unterhalb der Metallschmelztemperatur kann der zunächst flüssige Schaum in die feste Phase überführt werden.

Was bewirken nun die vielen Poren im Metall? Bei gleichem Bauteilvolumen ist ein Metallschaum im Vergleich zum nicht porösen Material deutlich leichter. Daneben hat der Schaum noch weitere positive Eigenschaften. Die zelluläre Struktur weist gegenüber dem dichten Metall eine erheblich verbesserte Schall- und Vibrationsdämpfung auf. Doch der Schaum kann noch mehr. Eingebaut in eine Automobilkarosserie, steigert er die passive Sicherheit deutlich, ohne das Fahrzeuggewicht merklich zu erhöhen.

Überzeugt hat die Jury insbesondere die kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologie. Aus den Bedürfnissen der Industrie sind viele neue Ideen generiert und bis zu anwendbaren Produkten entwickelt worden. Der modernste Ansatz ist die APM-Variante, die Dr. Karsten Stöbener in seiner Doktorarbeit maßgeblich vorangetrieben hat. »Hierbei können viele kleine beschichtete Aluminiumschaumkugeln in ein geometrisch komplexes Bauteil geschüttet und anschließend bei geringen Temperaturen miteinander verklebt werden«, erklärt Stöbener die Vorteile.

Die Anerkennung wurde dem gesamten Schäumerteam überreicht, da die Leistung nur durch viele fleißige Hände, Ausdauer und Motivation erreicht werden konnte.

Innovations-Wettbewerb der deutschen Automobilindustrie

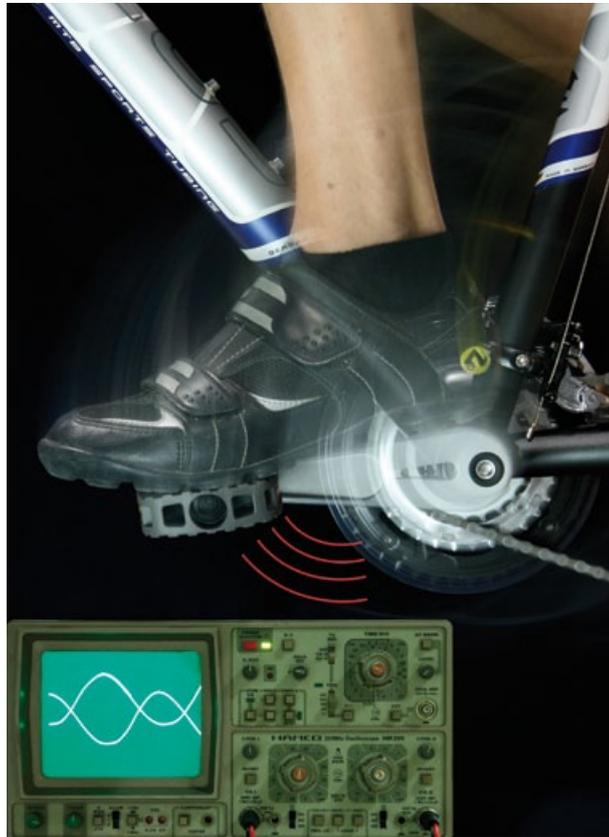
Erfolgreiche Suche nach neuen Ideen – Fraunhofer IFAM wurde als TOP-30-Preisträger ausgezeichnet

Forscher der Gießereiabteilung des Fraunhofer IFAM wurden beim Innovations-Wettbewerb des Network of Automotive Excellence (NoAE) der deutschen Automobilindustrie ausgezeichnet. Im NoAE arbeiten Automobilhersteller, Zulieferer, Entwicklungspartner und Forschungseinrichtungen zusammen, um auf Herausforderungen der Automotive-Branche gemeinsam Antworten zu finden und Lösungen zu entwickeln. Von den insgesamt 170 eingereichten Innovationen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz schafften es 30 bis zur NoAE-Innovations-Vernissage auf dem Würzburger Automobil Gipfel 2008.

Die ausgewählten TOP-30-Preisträger, darunter auch der Gießereileiter Franz-Josef Wöstmann und der Projektingenieur Christoph Pille, präsentierten sich einer hochkarätigen Jury. Diese setzte sich aus Innovationsmanagern von Unternehmen wie Audi, BMW, Daimler, Ford, MAN, Mazda, Opel, Porsche und Volkswagen zusammen. Externe Fachexperten ergänzten die Jury.

Das Fraunhofer IFAM war mit dem Thema »Funktionsintegrierte Gussbauteile« ins Rennen gegangen. Ziel der Forschung ist die direkte Integration von elektronischen Funktionselementen in das Gussbauteil. Als Funktionsgeber dienen Piezokeramiken als Sensor zur Belastungsmessung bei hochbelasteten Sicherheitsbauteilen. Aktoren zur Schwingungsdämpfung und RFID-Tagsponder zur Bauteilerkennung und Produktkennzeichnung. Durch die Kombination mit einem Speichermodul wird es auch möglich sein, die Lebensgeschichte des Bauteils zu erfassen. Durch die Integration verschiedener Funktionsgruppen erhält jedes Bauteil seine individuelle Identität und Funktion.

Die herausragende Leistung der IFAM-Forscher liegt in der direkten Integration der empfindlichen Komponenten im Gießprozess, sodass ein nachfolgender Fertigungsschritt zur Kombination des Gussbauteils mit der Elektronik entfällt. Durch eine gezielte Platzierung der Funktionselemente im Bauteil kann die konkrete Belastung punktgenau gemessen werden und bietet damit auch



Druckguss-Tretkurbel mit integrierter Piezosensorik zur Messung von Druck- und Zugkräften.

detaillierte Daten für zukünftige neue belastungsgerechte Konstruktionen für den Leichtbau.

Nach Meinung der NoAE-Experten hat ein Großteil der gezeigten Innovation exzellente Chancen, in naher Zukunft umgesetzt zu werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wöstmann
Telefon: +49 421 2246-225
franz-josef.woestmann@ifam.fraunhofer.de

Institut

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

Besuch der EU-Kommissarin Prof. Dr. Danuta Hübner – erste Meilensteine des Innovationsclusters »MultiMat« wurden vorgestellt



Prof. Dr. Danuta Hübner und Dr.-Ing. Dirk Godlinski bei der Besichtigung des Projekts »Smart materials für miniaturisierte Sensorik«.



Von links nach rechts: Senatorin Renate Jürgens-Pieper, Prof. Dr. Danuta Hübner, Dr. Ralph Wilken, Dr. Madeleine Mahovsky und Stefanie Kaprolat bei der Besichtigung des Projekts »Langzeitbeständige funktionelle Oberflächen und deren qualitätsgesicherte Fertigungstechnik«.

Am 4. September informierte sich Professor Danuta Hübner, EU-Kommissarin für Regionalpolitik, vor Ort, ob die Gelder aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) in Bremen gut angelegt sind. Der Innovationscluster Multifunktionelle Materialien und Technologien »MultiMaT« wird vom Land Bremen aus EFRE Mitteln, der Fraunhofer-Gesellschaft und einem Industriekonsortium gefördert.

Mit dem Blick auf die gemeinsamen wissenschaftlich-technologischen Erfordernisse der in den Innovationscluster involvierten Unternehmen werden innovative Konzepte für Materialien mit

neuen, bisher nicht erreichten Eigenschaften und sensorischen Funktionen sowie den dafür notwendigen Prozessen für die Fertigung entwickelt und erforscht. Die Schwerpunkte liegen im Wesentlichen in der Applikation und Integration von Sensorik, funktionelle Oberflächen und Fügen von Faserverbundstrukturen. Die Forschungsfelder von »MultiMaT« sind in fünf Projekte unterteilt. Zwei dieser Projekte hat sich Danuta Hübner sehr genau angeschaut. »Smart materials für miniaturisierte Sensorik« hat das Ziel Materialien mit speziellen Sensorfunktionen zu entwickeln und am Ende der Fertigungskette ein intelligentes Bauteil zu produzieren. In dem zweiten Projekt »Langzeitbeständige funktionelle Oberflächen und deren qualitätsgesicherte Fertigungstechnik« werden Materialien und Prozesse erforscht, die zu Oberflächen mit neuartigen Funktionen bzw. außerordentlichen Qualitäten und Langzeitbeständigkeit führen.

Mit höchster Aufmerksamkeit ist die EU-Kommissarin den Erläuterungen der Wissenschaftler des Fraunhofer IFAM gefolgt. Das IFAM hat die ersten Meilensteine erreicht, sodass auch das Lob nicht ausblieb. »Wir sind sehr zufrieden mit der Zusammenarbeit. Bremen ist ein gutes Beispiel für andere«, freute sich Danuta Hübner.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Frank Petzoldt
Telefon: +49 421 2246-134
frank.petzoldt@ifam.fraunhofer.de

Institut

Fraunhofer-Institut für
Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM,
Bremen

Internationales Symposium zur Anwendung zellulärer metallischer Werkstoffe in Dresden – CELLMET2008

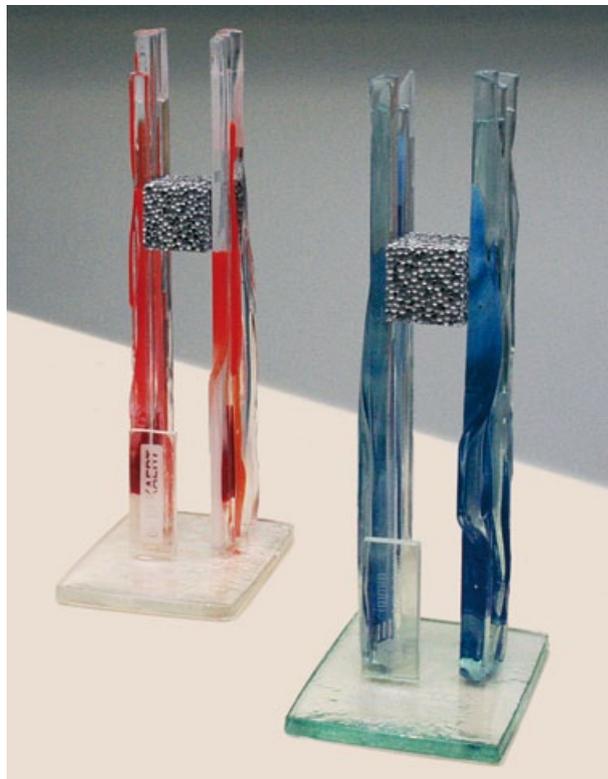
Vom 8.–10. Oktober 2008 fand am Institutszentrum Dresden der Fraunhofer-Gesellschaft das zweite Internationale Symposium zur Anwendung zellulärer Metalle statt. Etwa 120 Teilnehmer aus 20 Ländern, davon ca. 40 Prozent aus der Industrie, waren nach Dresden gekommen, um über Ergebnisse beim Einsatz von zellulären metallischen Werkstoffen zu berichten und Erfahrungen auszutauschen. Insgesamt wurden 35 Vorträge und 40 Poster präsentiert, die Anwendungen wie Wärmetauscher, Schallabsorber, thermische Isolierungen, Flammenschutz, Filter, Katalysatoren, Werkzeugmaschinen, Explosionsschutz, aber auch Biowerkstoffe beinhalteten. Es konnte festgestellt werden, dass gegenüber der CELLMET2005 eine deutliche Zunahme an anwendungsrelevanten Untersuchungen vorlag und sich auch erste Anwendungen im industriellen Einsatz befinden (Crashabsorber, Maschinenbauelemente, Filter).

Während der CELLMET2008 wurden zum ersten Mal zwei CELLMET Awards vergeben, die herausragende Leistungen auf dem Gebiet der Anwendungen auszeichnen. Den Demonstrator Award erhielt die Firma Bekaert (Zwevegem/ Belgien) für ihren Wärmetauscher aus offenzelligem Al-Schaum, wohingegen der Application Award an das Institut für Werkstoffe und Maschinenmechanik Bratislava/Slovakische Republik für einen Crashabsorber im Schienenfahrzeugbereich ging.



**Cellular Metals
for Structural and
Functional Applications**

DRESDEN - GERMANY



Demonstrator Award und Application Award.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Günter Stephani
Telefon: +49 351 2537-301
guenter.stephani@ifam-dd.fraunhofer.de

Institut

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

Impressum

Prof. Dr.-Ing. Matthias Busse

(geschäftsführend)

– Formgebung und Funktionswerkstoffe –

Telefon: +49 421 2246-100

Telefax: +49 421 2246-300

info@ifam.fraunhofer.de

Standort Bremen:

Fraunhofer-Institut für
Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM

Wiener Straße 12

28359 Bremen

Telefon: +49 421 2246-0

www.ifam.fraunhofer.de

Standort Dresden:

Fraunhofer-Institut für
Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM

Winterbergstraße 28

01277 Dresden

Standort Bremerhaven:

Fraunhofer-Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik IWES

Am Seedeich 45

27572 Bremerhaven

Dr.-Ing. Helmut Schäfer

– Klebtechnik und Oberflächen –

Telefon: +49 421 2246-401

Telefax: +49 421 2246-430

ktinfo@ifam.fraunhofer.de

Herausgeber:

© Fraunhofer-Institut für
Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM

ISSN 1439-6009

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck nur mit Genehmigung
der Redaktion.

Koordination und Redaktion:

Martina Ohle
Anne-Grete Becker

Mitarbeit:
Kirsten Bögner
Dagmar Fischer
Frauke Jäger

Externe Dienstleister:

Satz und Layout:
SOLLER Werbestudios GmbH
Gerhard Bergmann

Bilder:
(außer Fraunhofer IFAM)
PR Fotodesign
Britta Pohl
Jochen Roeder

Text Vorwort und Festkolloquium:
Kai-Uwe Bohn

WWW.IFAM.FRAUNHOFER.DE



Fraunhofer-Institut für
Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM
Wiener Straße 12
28359 Bremen
info@ifam.fraunhofer.de