



**| Schwerpunkt: Luft- und Raumfahrt |**

## Mit Mikrotechnik ins All

Dr. Ana Maria Madrigal

Wer Technologien für die Raumfahrt entwickelt, wird mit höchsten Anforderungen konfrontiert. Um diese zu erfüllen, vereint das CSEM verschiedene Kompetenzen unter einem Dach. Die Expertise des Schweizer Zentrums für Elektronik und Mikrotechnologie umfasst Mikroelektronik und Mikrotechnologie sowie die damit verbundenen Systeme und Materialien.

Die Gegend – über 1.000 km von der nächsten Küste entfernt – ist düster und monoton, die Luft dünn und trocken, die Temperatur kann im Winter unter -60°C fallen – die europäische Antarktis-Forschungsstation Concordia ist nicht gerade die ideale Sommerfrische, aber der perfekte Ort, um medizinische, psychologische und technische Probleme auszuloten, mit denen künftige Astronauten an Bord der International Space Station ISS oder auf ihrem Weg zum Mars kämpfen müssen.

Die Weltraumreisenden in spe werden monatelang unterwegs sein, auf engstem Raum mit Kollegen zusammenleben – mit einem Minimum an Privatsphäre und fern jeglicher Zivilisation, ihre Umwelt ist eintönig und in völlige Finsternis getaucht – eine echte Zerreißprobe für die betroffenen Menschen. Damit sie unter solchen Bedingungen höchste körperliche und geistige Leistung erbringen können, gilt es, die Gesundheit der Kandidaten mit geeigneter Technik rund um die Uhr im Auge zu behalten. Für diesen Zweck entwickelten die Forscher am CSEM, dem Schweizer Zentrum für Elektronik und Mikrotechnologie, im Projekt Long Term Monitoring Survey (LTMS) im Auftrag der europäischen Weltraumagentur ESA einen elastischen Gurt, der dank integrierter Elektronik erstmals kontinuierlich mehrere physiologische

Parameter messen kann. Darin kombinierten die Forscher einen Beschleunigungssensor und medizinische Sensoren mit modernsten Signalverarbeitungsalgorithmen. Eine Alternative bietet die am Arm befestigte Manschette. Mit lediglich drei Sensoren zeichnet sie ein Elektrokardiogramm (EKG) auf, misst die Sauerstoffsättigung im Blut und die Körpertemperatur, verfolgt Atmung und Blutdruck und beobachtet Aktivität und Bewegungen des Trägers.

Der Prototyp besteht aus einer mobilen Einheit, welche die physiologischen Parameter der zu überwachenden Person während ihrer üblichen Aktivitäten misst, einer fest installierten Einheit zur Registrierung von Gewicht und körperlichen Charakteristiken sowie zwei Laptops und einer Überwachungs- und Visualisierungssoftware.

Die Tests des LTMS-Systems im unwirtlichen Klima der französisch-italienischen Station am Südpol legen nicht nur die Basis, um die körperliche und mentale Gesundheit der Weltraumreisenden positiv zu beeinflussen. Sie bieten auch Ansätze für größere Sicherheit durch Prävention und fortlaufende Überwachung physiologischer Parameter von kranken und alten Menschen oder um versteckte chronische Krankheiten in einem frühen Stadium zu diagnostizieren.

Inhalt	
Mit Mikrotechnik ins All	1
Editorial/Impressum	2
Mikrofluidik und integrierte Optik für die Raumfahrt	3
Oberflächen- und Grenzflächenanalytik für die Luft- und Raumfahrt	5
Laser-Sintern ermöglicht Bauteilfertigung im Sinne strengerer Abgasnormen	6
Lasermikrobearbeitung in der Gravitationsforschung	7
Radio Frequency Identification (RFID) auf der Leiterplatte	8
Präzisionsmetallspiegel für die Raumfahrt	9
Firmen und Produkte	10
Interview mit Dr. Milind Pimprikar, Vorsitzender von CANEUS	11
IVAM-Messen und -Veranstaltungen	12



LTMS-Prototyp. Quelle: CSEM.



Die Concordia-Forschungsstation in der Antarktis. Quelle: CSEM.

### Mit weniger Gewicht und Volumen ins All

Die Reduktion von Gewicht und Volumen hat für Weltraumentwicklungen hohe Priorität. Eine Lösung schufen die CSEM-Forscher mit ihrem Reaktions-Sphären-Projekt. Ziel war es, ein innovatives Lage- und Orbit-Kontrollsystem (Attitude and Orbit Control System, AOCS) für Satelliten zu schaffen und die bestehenden drei Reaktionsräder durch eine Reaktionskugel zu ersetzen. Die Reaktionsräder dienen in der Satellitentechnik als Aktuatoren für die

## Editorial



### Schwerpunkt: Luft- und Raumfahrt

Über den Wolken muss die Freiheit wohl grenzenlos sein – das Lied von Reinhard Mey mag zwar auf Astronauten zutreffen, die zum ersten Mal Mutter Erde von oben sehen, doch Entwickler von Hochtechnologien für die Luft- und Raumfahrt werden sich nur bedingt angesprochen fühlen. Das enorme Potenzial von Hightech im Kleinstformat lässt sich nicht bestreiten – wer leichte Materialien entwickelt, die Ausflüge nach Australien oder ins All erschwinglich machen, ein Gerät zur Erforschung unserer Nachbarplaneten oder gar zur Entdeckung außerirdischen Lebens erfindet, fühlt sich sicherlich frei, und sei es nur frei von Geldsorgen.

Doch es gibt viele Faktoren, die Forscher auf dem Boden der Tatsachen halten, wenn sie an Lösungen für den Flugzeug- und Raumschiffbau, für Satellitentechnik und für Experimente in Schwerkraft tüfteln. Denn sie sehen sich täglich mit den speziellen Anforderungen dieser spannenden Branche konfrontiert: Hochstabil, winzig klein und superleicht müssen Komponenten und Systeme sein sowie höchsten Sicherheitsstandards entsprechen – vom Störfaktor Schwerkraft ganz zu schweigen – damit Passagiere und Technik das Abenteuer Luft- und Raumfahrt heil überstehen.

Wie Unternehmen aus den Bereichen Mikrotechnik, Nanotechnik und neue Materialien diese Herausforderungen lösen, zeigt die aktuelle Ausgabe der »inno«.

Das CSEM stellt unter anderem Innovationen in der Satellitentechnik vor. Lab-on-a-Chip-Systeme für wissenschaftliche Experimente und das Monitoring von Astronauten sowie optische Chips für die Signalverarbeitung bei der Telekommunikation sind die Themen des Artikels von LioniX und iX-factory. Oberflächen- und grenzflächenspezifische Fragestellungen beantworten moderne Analyseverfahren, welche die nanoAnalytics GmbH vorstellt. Wie Mikro-Laser-Sintern hilft, den Treibstoffbedarf von Flugzeugen zu reduzieren, erklärt die EOS GmbH. Weitere Themen sind Lasermikrobearbeitung in der Gravitationsforschung, RFID auf der Leiterplatte und Präzisionsmetallspiegel für die Raumfahrt.

Viel Spaß bei der Lektüre wünscht

Ihre Josefina Zucker



Lageregelung. Indem das Reaktionsrad ein Drehmoment aufbringt, vermag es den Satelliten in derselben Achse, jedoch in Gegenrichtung, zu drehen. Die Raumfahrt verwendet in der Regel zwei Anordnungen von Reaktionsrädern. Für ein achsenmäßig entkoppeltes System kommt in jeder geometrischen Hauptachse des Satelliten jeweils ein Reaktionsrad zum Einsatz, total also deren drei. Um die Reaktionsräder durch eine einzige Sphäre zu ersetzen, halten die CSEM-Forscher diese durch magnetische Levitation in Position und beschleunigen sie durch einen 3D-Motor in jede beliebige Richtung. Zur Kontrolle der 3D-levitierenden und rotierenden Sphäre benutzt das Team einen für die Raumfahrt zugelassenen Hochleistungsprozessor.

Das Konzept der Reaktionssphäre ist nicht neu, doch verhinderten bisher Beschränkungen bestehender Technologien deren Entwicklung. Knackpunkte sind der 3D-Motor, die magnetische Peilung und die Kombination der beiden. Zur Bestimmung der Rotor- und Statorkonfigurationen führten die Wissenschaftler eine Studie durch. Ihre Wahl fiel auf eine synchrone Motorkonfiguration mit einem Achtpol-Permanenrotor und einem 20-Pol-Stator. Schließlich entstand ein Matlab/Simulink-Modell der Re-

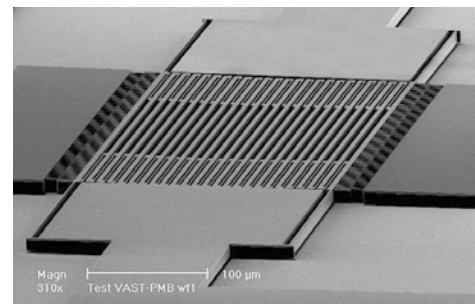


Verkabelung der Reaktionssphäre. Quelle: CSEM.

aktionssphäre, welches eine Kalkulation der 3D-Motorkonstante als Funktion der Sphärenorientierung benötigt. Dank diesem Modell entwickelte das Team einen Steueralgorithmus basierend auf PI-Reglern. Der inzwischen gebaute Demonstrator ist mit drei Positionssensoren, drei Kraft-/Drehmomentsensoren und Flusssensoren ausgerüstet, wobei letztere zur Festlegung der Sphärenorientierung dienen.

### Raffinierte Mikrogitter als „Auge“ im All

Programmierbare Mikro-Diffraktionsgitter (PMDG) sind MOEMS (Micro Optical Electro Mechanical Systems), welche in astronomischen Geräten neue Beobachtungsmöglichkeiten erschließen. Ihr Funktionsprinzip basiert auf der Interferenz von Licht, das von benachbarten Elementen reflektiert wird und dessen Position sich programmiert steuern lässt. Diese mikromechanischen Bauelemente werden mit elektrischen Feldern geschaltet. Sie lassen sich kippen und drehen und können somit stark gebündelte Lichtstrahlen ablenken. MOEMS eignen sich als Vermittlungskomponenten in optischen Netzen und schalten die Infrarotstrahlen von einem eingehenden Lichtwellenleiter auf einen ausgehenden. Ihre Herstellung erfolgt in der Regel mit Silizium-Volumenmikromechanik.



Programmierbares Mikro-Diffraktionsgitter. Quelle: CSEM.

PMDG sind vielseitig einsetzbar: Sie dienen als räumliche Lichtmodulatoren (Spatial Light Modulators, SLM), als phasengesteuerte, geometrische Anordnungen für Phased-Array-Anwendungen, als abgetastete Gitter (sampled gratings) und werden in Spektrometern eingesetzt, von welchen an Bord jedes Erdbeobachtungssatelliten gleich mehrere vorhanden sind. PMDG erweisen sich als sehr weltraumtauglich, da sie kompakt und stabil sind, für spektrale Messungen das unhandliche und empfindliche bewegte optische Gitter ersetzen und durch ihre extreme Miniaturisierung das Problem von Größe und Gewicht im All ausmerzen.

CSEM Centre Suisse d'Electronique et de  
Microtechnique SA, Neuchâtel, CH  
www.csem.ch

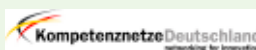
## Impressum

»inno«

Innovative Technik – Neue Anwendungen

### Herausgeber:

IVAM e.V.  
Emil-Figge-Str. 76  
44227 Dortmund



### Redaktion:

Josefine Zucker  
Dr. Christine Neuy  
Dr. Uwe Kleinkes

### Kontakt:

Josefine Zucker  
Tel.: +49 231 9742 7089  
E-Mail: jz@ivam.de

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Nachdruck ist nur mit Genehmigung der Redaktion und Quellenangabe gestattet.





## Mikrofluidik und integrierte Optik für die Raumfahrt

Henk Leeuwis  
Dominique Bouwes

Das A und O in der Raumfahrt ist die Reduzierung von Volumen, Gewicht und Energie. Aus diesem Grund wächst das Interesse an der Mikro- und Nanotechnologie, wobei die Bereiche Mikrofluidik und integrierte Optik an Bedeutung gewinnen. Wichtige Anwendungen sind Lab-on-a-Chip-Systeme für wissenschaftliche Experimente und das Monitoring von Astronauten sowie optische Chips für die Signalverarbeitung bei der Telekommunikation.

### Integrierte Optik für die Signalverarbeitung

Von besonderem Interesse sind planare Lichtwellenleiter (flache Glasfaserkabel auf einem Chip) und die damit verbundenen Möglichkeiten. Abbildung 1 illustriert die Basisgeometrie. Die Realisierung erfolgt mittels CMOS-kompatibler Technologien, bekannt durch die Mikroelektronik, wodurch bei großen Stückzahlen kostengünstig produziert werden kann. Dies gilt für zwei unterschiedliche Basisgeometrien: zum einen für die linke Geometrie mit dem quadratischen Kern, die von der Form her nahezu identisch mit einem runden, optischen Standard-Wellenleiter und dadurch für Telekommunikationsanwendungen geeignet ist. Die zweite, rechts abgebildete Geometrie mit dem flachen Kern eignet sich für Sensor- und Detektionsanwendungen, die auf der Wechselwirkung zwischen Lichtwellenleiter und Flüssigkeit oder Gas basieren. Das Besondere an dieser Technologie ist, dass durch die Anwendung von Siliziumnitrid (SiN) ein großer Brechungsindexunterschied zwischen Kern und Mantel realisiert werden kann. Dadurch bleibt der Übergang auch in kurzen Kurven spiegelnd und somit das Licht innerhalb der Struktur. Die planaren Lichtwellenleiter aus SiN können im Gegensatz zu Standard-Glasfasern aus Si-

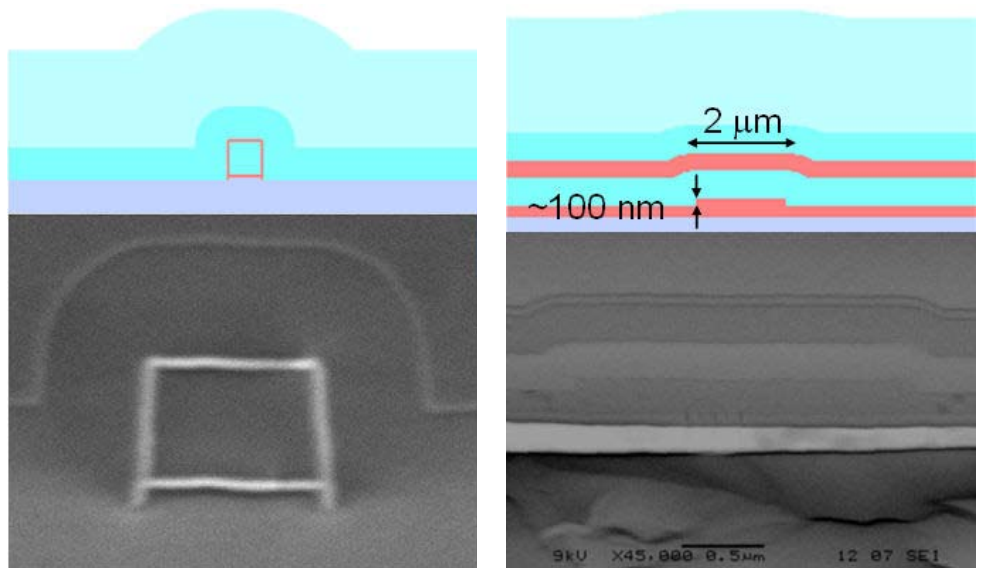


Abbildung 1: Querschnitt eines planaren Lichtwellenleiters; oben schematisch, unten eine REM-Aufnahme. Bei den roten beziehungsweise hellgrauen schematischen Bereichen handelt es sich um circa 100 nm Siliziumnitrid (SiN), das in Siliziumoxid (SiO<sub>2</sub>) eingebettet ist. Quelle: XIO Photonics bv.

liziunoxid (SiO<sub>2</sub>) kürzere Kurven überwinden, was für die Integration vieler Funktionen auf einem Chip notwendig ist.

Abbildung 2 zeigt einen so genannten Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer, der auf Mikroringresonatoren (MRR) basiert. Der Ringresonator als optisches Gegenstück zum

Transistor kann optische Energie, die zur Resonanzfrequenz passt, speichern und wieder abgeben. Das bedeutet, dass eine spezielle Wellenlänge von einem einkommenden Lichtspektrum ( $I_{in}$ ) nach  $I_{drop}$  transportiert wird, während eine andere Frequenz direkt durchgeht ( $I_{through}$ ). In diesem System kann eine definierte Frequenz nach Belieben zu unterschiedlichen Ausgängen/Verbindungen geleitet werden, bei-

spielsweise Internetverbindungen („fiber-to-the-home“). Die dargestellten Ringe haben einen Durchmesser von 50  $\mu$ m, wodurch ein „Photonic LSI (Large Scale Integration) System-on-a-Chip“ realisiert wird.

Die Raumfahrt verspricht sich viel von dieser Technologie. An Bord von Telekommunikationssatelliten wurden bis jetzt alle Funktionen durch spezielle

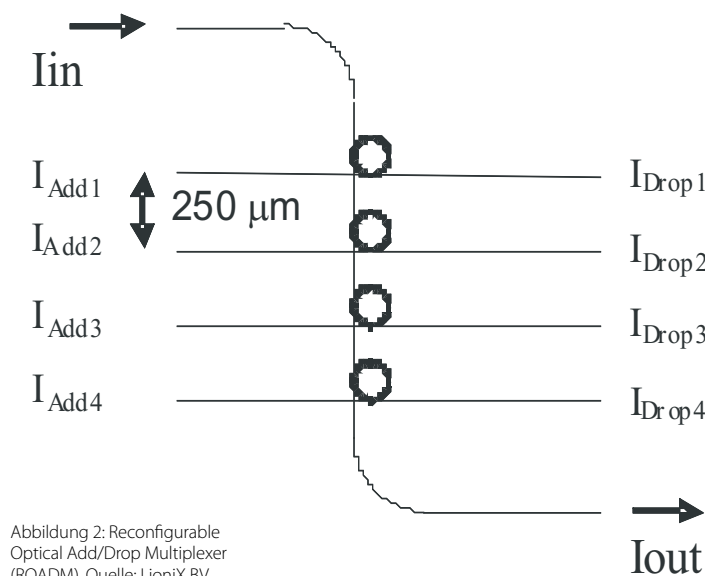
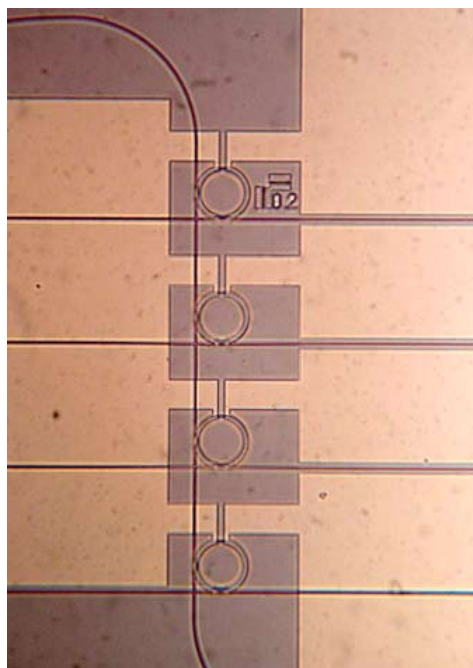


Abbildung 2: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM). Quelle: Lionix BV.



hochfrequente Mikroelektronik verwirklicht. Die stetig wachsende Nachfrage nach schnelleren Datenraten und höheren Bandbreiten macht die Anwendung von optischen Datenprozessen interessant.

### Miniaturisierte Analysesysteme (Lab-on-a-Chip)

Mit Hilfe der Mikro- und Nanotechnologie lassen sich allerlei miniaturisierte Strukturen und Funktionen verwirklichen, wie zum Beispiel Kapillaren, Kanäle, Mixer, Filter, Ventile, Pumpen, Detektoren und Sensoren. Damit sind komplette analytische Systeme realisierbar, die kompakt und schnell sind sowie automatisiert werden können. Abbildung 3 gibt die Basisidee wieder. Der große Vorteil der Lab-on-a-Chip-Technologie ist, dass sie zeitraubende und teure Laborprozesse einspart und schnelle Diagnostik, Detektion von Bakterien in Lebensmitteln oder Wasser sowie unterschiedliche Analysen im Umweltbereich möglich macht. Diese Entwicklungen werden stark durch die Nachfrage aus der Raumfahrtindustrie gefördert. Die Anwendungsgebiete sind ganz unterschiedlich; sie reichen von der Detektion von Pathogenen über das Monitoring von Astronauten bis hin zu Systemen, die lebende Organismen auf dem Mars finden sollen.

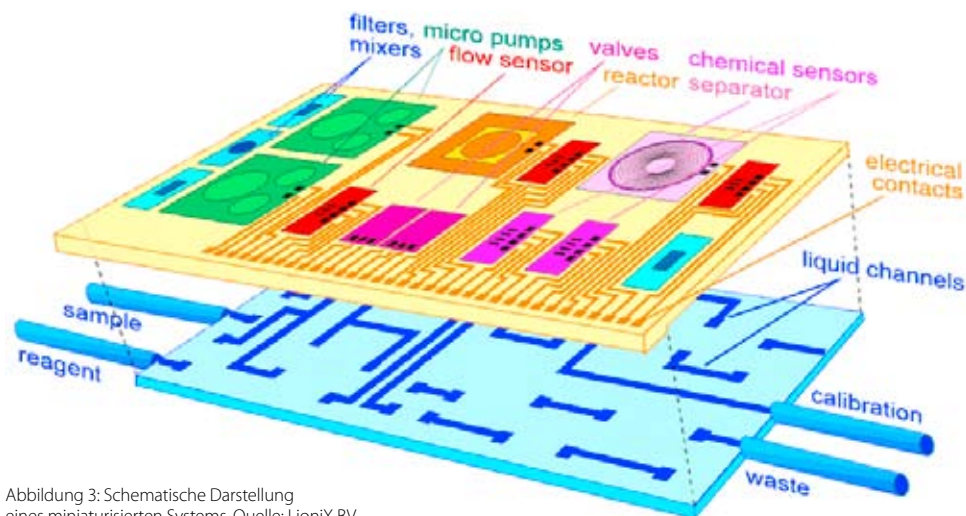


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines miniaturisierten Systems. Quelle: LioniX BV.

2016 plant die Europäische Weltraumorganisation ESA die Mission ExoMars, bei der zum ersten Mal ein Detektionssystem für Biomoleküle mitreist, welches auf der Lab-on-a-Chip-Technologie, Vertiefungsrichtung Life Sciences, beruht. Die Herausforderung besteht darin, mit Unterstützung der Mikro- und Nanotechnologie zu miniaturisieren und zu automatisieren. Ein Beispiel hierfür ist der Life Marker Chip

(LMC), basierend auf einem optischen Chip, eingebettet in ein mikrofluidisches System in Form eines Mikroarrays. In einem einzigen Analysedurchlauf ist hier eine große Zahl an potenziellen Treffern zur Erkennung von definierten Biomolekülen möglich. In Abbildung 4 ist das Herz des LMC-Systems dargestellt.

Das Mikroarray besteht aus einem optischen Substrat mit zahlreichen Antikörpern, die auf unterschiedliche Biomoleküle ansprechen (links vom Mikroarray eine schematische Darstellung der darunter liegenden Lichtwellenleiter). Spricht ein Antikörper auf ein Biomolekül an, so wird der Spot durch Fluoreszenz sichtbar. Das Halbleiterlaserlicht wird mittels einer planaren Lichtwellenleiterstruktur gezielt über die einzelnen Mikroarrayzeilen, die mit den Antikörpern versehen sind, verteilt. Ein Chip, ähnlich wie er in Videokameras eingesetzt wird, liest das Signal aus. Dank der planaren Lichtwellenleitertechnologie wird die Detektion optimiert und zum anderen komprimiert, wodurch kompakte Systeme möglich werden. Herausfordernd sind Größe und Gewicht der einzelnen Einheiten: Kleiner als ein Päckchen Zigaretten und leichter als 150 Gramm sind hier die Vorgaben.

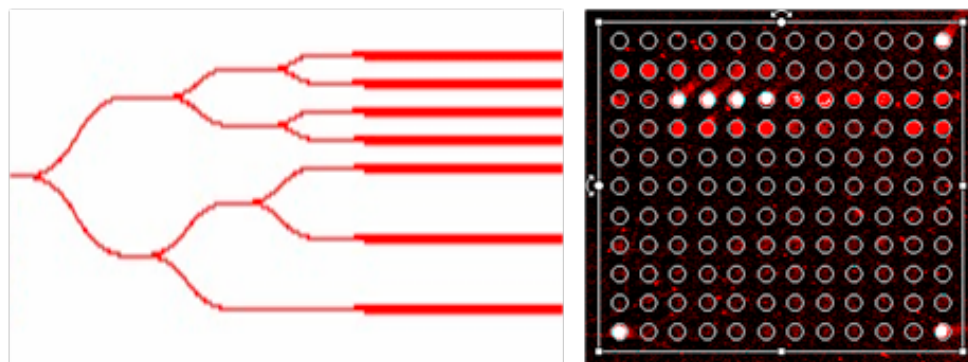
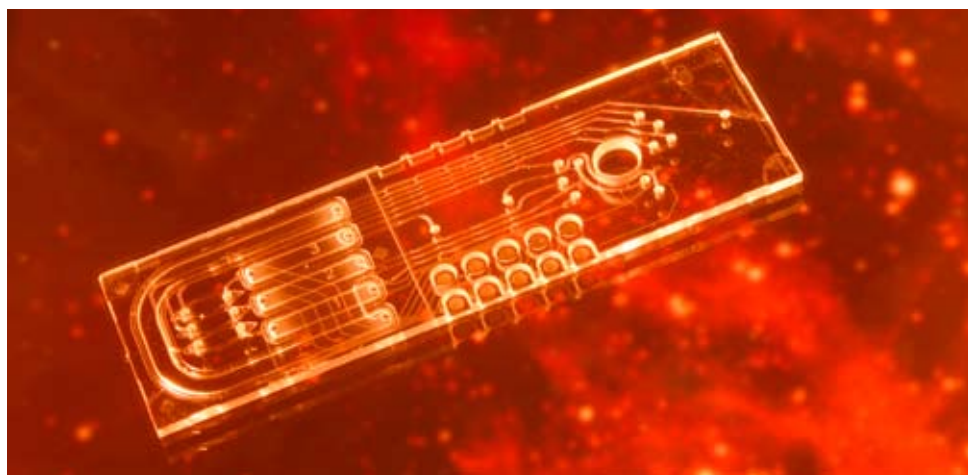


Abbildung 4: Life Marker Chip – mikrofluidisches Modul (oben) und Darstellung des Mikroarrays mit Fluoreszenz-Detektion (unten). Der Durchmesser des Detektionsspots beträgt 100 µm. Quelle: LioniX BV.

LioniX BV, Enschede (NL)  
www.lionixbv.nl

iX-factory GmbH, Dortmund  
www.ix-factory.de





## Oberflächen- und Grenzflächenanalytik für die Luft- und Raumfahrt

Dr. Andreas Schäfer

In der Luft- und Raumfahrtindustrie stehen neben hohen Sicherheitsstandards auch die Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit neuer Materialien im Fokus von Forschung und Entwicklung. Aufgrund der hohen Anforderungen treten neben klassischen materialwissenschaftlichen Fragestellungen immer wieder unterschiedliche oberflächen- und grenzflächenspezifische Fragestellungen auf.

Dieser Artikel gibt anhand einiger Beispiele einen komprimierten Einblick in moderne Analyseverfahren für die Oberflächen-, Grenzflächen- und Mikrobereichsanalytik.

### Vorbehandlung und Beschichtung von Bauteilen

Herstellungsprozesse erfordern oft spezielle Vorbehandlungen oder Beschichtungen, von deren physikalischen und chemischen Eigenschaften die Lebensdauer oder Gebrauchseigenschaften des Endproduktes abhängen. Typische Vorbehandlungen sind beispielsweise Reinigungs- und Aktivierungsprozesse, um Verunreinigungen aus vorherigen Prozessschritten zu entfernen und eine möglichst definierte Chemie oder auch Morphologie der Oberfläche für die nachfolgenden Prozesse sicherzustellen. Trotz dieser mechanischen und chemischen Vorbehandlungen werden immer wieder Schadensfälle beobachtet.

Die Chemie von Oberflächen lässt sich mit Hilfe oberflächenempfindlicher Analyseverfahren gut untersuchen. Ein geeignetes Verfahren ist die Photoelektronenspektroskopie (XPS), die eine quantitative chemische Analyse der Element- und Bindungszustände nahezu beliebiger Oberflächen erlaubt. So kann zum Beispiel die Oberfläche eines Werkstücks nach einem Entfettungsprozess auf verbleibende Fett- oder auch Reinigungsmittelrückstände hin untersucht werden. Rückstände wie diese können zu Haftungsproblemen bei Beschichtungen oder Klebeverbindungen führen. Basierend auf solchen Analysen können fehlerhafte Vorbehandlungsschritte identifiziert und Prozessparameter wie etwa Standzeiten von Bädern optimiert werden.

Zur genauen Identifizierung von Rückständen oder Kontaminationen wird die Flugzeitsekundärionenmassenspektrometrie (ToF-SIMS) eingesetzt. Diese Technik liefert Informationen über die atomare und vor allem molekulare Zusammensetzung der obersten Moleküllagen einer Oberfläche. Die Nachweisempfindlichkeit des Verfahrens geht dabei bis in den ppm-Bereich. Die Technik erlaubt so unter anderem die Identifizierung bestimmter Fettsäuren, Tenside und Additive auf Oberflächen.

### Oxidschichten auf Oberflächen und an Grenzflächen

Neben dem Nachweis organischer Verunreinigungen sind auch Oxidschichten an Oberflächen von Interesse. Die Photoelektronenspektroskopie ermöglicht es, die Elementzusammensetzung und Dicke von Oxidschichten auf vielen Metallen zu bestimmen. Die Beschaffenheit oberflächlicher Oxidschichten ist unter anderem für die Löt- und Klebbarkeit von Bauteilen wichtig.

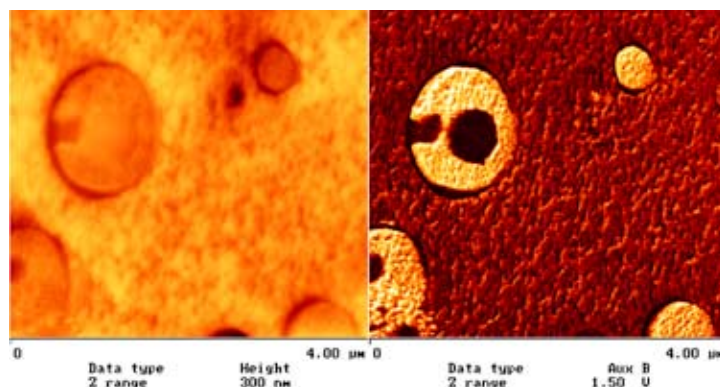
Mit Hilfe eines so genannten Sputter-Tiefenprofils können sogar vergrabene Oxidschichten, zum Beispiel unterhalb einer schützenden Silberbeschichtung, analysiert werden. Auf diese Weise ließ sich die Oxidation einer Nickeloberfläche unter einer Silberschicht nachweisen. Diese durch falsche Lagerung bedingte Oxidation führte im untersuchten Fall zu unzuverlässigen Lötverbindungen.

Auch bezüglich der Umweltverträglichkeit können Oberflächenanalysen einen hilfreichen Beitrag leisten, indem Chromoberflächen beziehungsweise mit Chromverbindungen behandelte Oberflächen untersucht werden, um Informationen über den Oxidationszustand des Chroms zu erhalten. Aufgrund von Gesundheits- und Umweltaspekten wird ein möglichst geringer Gehalt von Cr(VI) auf solchen Oberflächen angestrebt. Mit Hilfe der Photoelektronenspektroskopie kann zwischen elementarem Chrom, Cr(III) und Cr(VI) unterschieden werden.

### Mikroskopische Techniken

Neben den genannten chemisch sensitiven Analysetechniken werden in den Werkstoffwissenschaften verschiedene mikroskopische Techniken eingesetzt, darunter die Lichtmikroskopie und die Rasterelektronenmikroskopie.

Die etwas weniger bekannte Rasterkraftmikroskopie (AFM) ermöglicht eine taktile, dreidimensionale Vermessung von Oberflächen. Neben der Oberflächenmorphologie können auch innere Strukturen von Polymer-Blends oder Copolymeren dargestellt werden. Anhand von Mikrotom-Anschnitten wird die innere Struktur mit einer Präzision im Nanometerbereich untersucht. Ein typisches Beispiel ist in der Abbildung dargestellt. Die Korrelation dieser inneren Struktur mit makroskopischen Materialeigenschaften kann sehr hilfreich bei der Entwicklung neuer Materialien sein.



Rasterkraftmikroskopie des Anschnittes eines Polymer-Blends. Links ist die Topographie des Anschnittes dargestellt, rechts die Materialverteilung anhand der lokalen Härte (Phasenkontrastmikroskopie). Quelle: nanoAnalytics GmbH.

Die vorgestellten Beispiele zeigen, wie nützlich moderne, leistungsfähige analytische Verfahren bei der Prozesssteuerung, Qualitätskontrolle und Fehleranalyse sind. Manchmal führt allerdings erst eine Kombination der Verfahren zum Ziel. Gerade in solchen Fällen ist bei der Auswahl geeigneter Methoden und der Interpretation der Messdaten eine umfassende analytische Erfahrung von Vorteil. Für viele Firmen ist es jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll, eigene Kapazitäten in Form von modernen analytischen Geräten und dem nötigen Personal dauerhaft vorzuhalten. Hier ist die frühzeitige Planung einer Kooperation mit einem erfahrenen Analytikdienstleister empfehlenswert.

nanoAnalytics GmbH, Münster, D  
www.nanoanalytics.de



## Laser-Sintern ermöglicht Bauteilfertigung im Sinne strengerer Abgasnormen

Hans-Ulrich Büse

Laser-Sintern ist ein generatives Schichtbauverfahren. Ohne Werkzeuge oder aufwendiges Fräsen können beliebig komplexe, dreidimensionale Geometrien direkt aus den 3D-CAD-Daten effizient gefertigt werden. In der Produktion wird das zuvor erzeugte Modell in beispielsweise 20 bis 40 µm dicke Schichten zerlegt. Die Laser-Sinter-Technologie erzeugt dann Schicht für Schicht die gewünschte Geometrie.

Die Energie des Lasers verfestigt dabei pulverförmige Werkstoffe, zum Beispiel aus Kunststoff, Metall oder Formsand, in von der jeweiligen Maschinenausführung vorgegebene Bauteile.



Durch Mikro-Laser-Sintern gefertigtes Schachspiel.  
Quelle: EOS GmbH.

### Umdenken in Produktentwicklung und Fertigung

Das Laser-Sintern, die Schlüsseltechnologie für das so genannte e-Manufacturing, ermöglicht die Entwicklung weg von werkzeuggebundenen, starren Verfahren hin zu flexiblen Serienfertigungsmethoden. Laser-Sintern wird bisher für den Prototypenbau, bei dem es um die Herstellung baugleicher Teile in kleineren Stückzahlen geht, eingesetzt. Die Technologie hält aber auch zunehmend in den Bereich des so genannten Rapid Manufacturing Einzug. Somit können Unternehmen mit Laser-Sintern schneller auf sich ändernde Marktanforderungen reagieren.

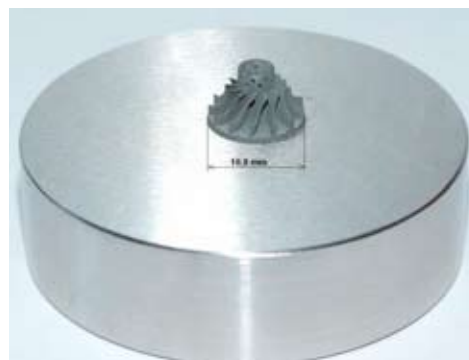
Das Produktionsverfahren eignet sich besonders für den Bereich Luft- und Raumfahrt, da hier eine Vielzahl von Teilen meist gegensätzlichen Anforderungen unterliegt: Hochfest, leicht und effektiv sollen die Komponenten sein; zugleich sind hochintegrierte Funktionalität und Bauteilreduzierung gefordert. Aus umweltschutztechnischen Erwägungen heraus wurden darüber hinaus die Abgasnormen verschärft. Das zwingt die Flugzeugbauer dazu, die Emissionen entsprechend zu reduzieren.

Zwar liegt der Treibstoffbedarf heutiger Passagierflugzeuge rund 70 Prozent tiefer als noch vor 30 Jahren; und bei Neuflugzeugen, die ab

2010 ausgeliefert werden (Technologiestand 2007), kann heute davon ausgegangen werden, dass der Treibstoffbedarf rund 15 Prozent tiefer liegen wird als bei aktuell erhältlichen Flugzeugen<sup>1</sup>. Dennoch bedarf es einer weiteren Treibstoffreduzierung. Diese kann mit der Einführung effizienterer Triebwerke, intelligenter Sensorik und Steuerung sowie durch die Verringerung der fliegenden Massen erreicht werden. Hierzu leisten das Laser-Sintern allgemein und das neu entwickelte Mikro-Laser-Sintern im Speziellen wichtige Beiträge. Ein Beispiel für das Laser-Sintern ist der rechts abgebildete Swirler, eine neu entwickelte Einspritzdüse für Flugzeugturbinen, die in einem Stück gefertigt wurde.

### Weniger Gewicht und Treibstoffbedarf

Zu den Werkstoffen, die auf Laser-Sinter-Systemen verarbeitet werden können und einen Beitrag zur Gewichtsreduktion leisten, gehören unter anderem Kobalt-Chrom, Inconel 718 und Titanlegierungen. Auch der Trend hin zu kleineren, leichteren und leistungsfähigeren Komponenten der im Flugzeug eingesetzten Bauteile trägt dazu bei, den Treibstoffverbrauch kontinuierlich weiter zu reduzieren. Die abgebildete Mikro-Turbine lässt erkennen, dass mit Hilfe des Mikro-Laser-Sinterns Teile mit Auflösungen im µm-Bereich herstellbar sind. Hinzu kommt, dass die Vorteile des Laser-Sinterns bei komplexen Bauteilen, die mit konventionellen Fertigungsmethoden nicht herstellbar sind, besonders hervortreten.



Durch Mikro-Laser-Sintern gefertigte Turbine.  
Quelle: EOS GmbH.



Durch Laser-Sintern gefertigter Swirler mit Schnittmodell.  
Quelle: Morris Technologies, Inc.

Hans-Ulrich Büse, Product & Key Account Manager für den Bereich Mikro-Laser-Sintern bei EOS, unterstreicht die Wichtigkeit der Miniarisierung für die Luft- und Raumfahrt: „Viele Ideen und Konstruktionen konnten bisher nicht umgesetzt werden, weil die entsprechenden Fertigungsmethoden fehlten. Mikro-Laser-Sintern wird die Möglichkeiten in Teilbereichen um eine Dimension erweitern. Im direkten Prozess ist bei Schichtstärken von 1 µm eine Auflösung im µm-Bereich möglich. Auch die Luftfahrtbranche hat diese Vorzüge des Laser-Sinterns für sich erkannt und arbeitet daher seit Jahren eng mit EOS zusammen.“

**EOS GmbH, Krailling bei München, D**  
[www.eos.info](http://www.eos.info)

<sup>1</sup>Flugzeuge: Emissionen, Luftqualität und Klima, BAZL Sektion Umwelt LEUW, Theo Rindlisbacher, Ausgabe 09/2008.



## Lasermikrobearbeitung in der Gravitationsforschung

Andreas Stephen  
Andrea Sondag

Kleine Testmassen in Freifallexperimenten mittels elektronischen Systemen exakt zu positionieren gelingt nur mit präzise gefertigten Elektrodenflächen. Für deren Mikrostrukturierung eignet sich der Laser, da er eine Vielzahl von Werkstoffen und Geometrien berührungslos und flexibel bearbeiten kann.

In Freifallexperimenten soll das schwache Äquivalenzprinzip, auch als Universalität des freien Falls bezeichnet, mit einer Genauigkeit von  $10^{-13}$  überprüft werden. Das Prinzip besagt, dass schwere und träge Masse gleich sind und zwei verschiedene Testmassen im freien Fall gleich schnell fallen. Um dies zu überprüfen, wird die Verschiebung zweier Testmassen aus Silizium und Platin-Iridium zueinander im freien Fall untersucht. Die erdgebundenen Experimente sind Vorarbeiten zu geplanten Satellitenmissionen zum Test des schwachen Äquivalenzprinzips wie zum Beispiel MICROSCOPE und STEP, die eine Genauigkeit von  $10^{-15}$  beziehungsweise  $10^{-18}$  erreichen sollen. Diese Verbesserung der Genauigkeit um mehrere Größenordnungen ist nur möglich, wenn die dafür benötigte Technik ausreichend getestet wurde. Erdgebundene Freifalltest, wie sie im Fallturm durchgeführt werden können, sind eine gute Möglichkeit für solche Tests und um die Technik für einen Einsatz in der Raumfahrt weiter zu entwickeln.

### Elektronisches Positionierungssystem

Für eine definierte Anfangsposition der Testmassen wird momentan ein elektronisches Positionierungssystem (EPS) entwickelt. Es besteht aus geregelten Elektrodenpaaren auf verschiedenen Seiten der Testmasse. Das so entstehende elektrische Feld verschiebt die Testmasse in die gewünschte Position. Mit den Elektroden zu den Stirnseiten der Testmasse konnte bereits ein erstes EPS entwickelt werden, welches die Position in Fallrichtung auf 10 nm genau detektieren und auf 0,6  $\mu\text{m}$  genau einstellen kann. Die Entwicklung eines zweiten EPS soll nun die Positionierung der Testmasse senkrecht zur Fallrichtung und um zwei Rotationsachsen ermöglichen.

Der Laser kann auf vielfältige Art für einen Materialabtrag in der Mikroproduktion eingesetzt werden. Ein entscheidendes Kriterium ist die Länge des Laserpulses. Bei Verwendung von Pulsen im Bereich von Milli- bis Mikrosekunden erfolgt der Abtrag hauptsächlich über Schmelze. Kurz- und Ultrakurzpulse von Nano- bis hinunter zu Femtosekunden führen zum Verdampfen des Werkstoffs. Ein wesentliches Merkmal ist, dass mit abnehmender Pulslänge die Bearbeitungsqualität steigt, jedoch aufgrund der geringeren Pulsenergie die

Abtragsrate sinkt. Bei der Mikrostrukturierung von Bauteilen für industrielle Anwendungen kommt aufgrund des hohen Effizienz-Qualitätsverhältnisses den Nanosekundenpulsen besondere Bedeutung zu. Großes Augenmerk gilt hierbei einer auf die jeweilige Anwendung ausgelegten Prozessführung. Das Spektrum reicht von der Strukturierung dünner Schichten bis zu Bohrungen mit hohen Aspektverhältnissen (Verhältnis von Tiefe zu Breite) in dicken Bauteilen.

### Mikrostrukturierung mit Nanosekundenpulsen

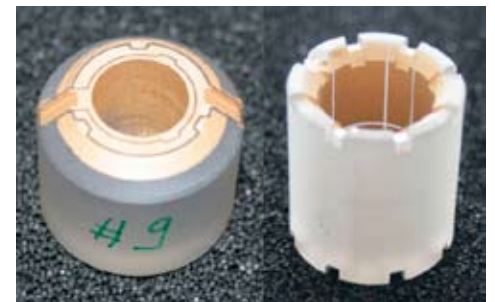
Für die Mikrobearbeitung mit Nanosekundenpulsen wird ein programmierbarer Scanner eingesetzt, der den Laserstrahl mit hohen Geschwindigkeiten im Bereich von Metern pro Sekunde bei hoher lateraler Auflösung von wenigen Mikrometern über das Bauteil führt.

Eine F-Theta-Linse kompensiert optische Feldverzerrungen. Dies ermöglicht sowohl ein großes Bearbeitungsfeld im Bereich von einigen Quadratzentimetern als auch sehr kleine Spotgrößen des Laserstrahls bei stets senkrechtem Einfall. Zur Strukturierung mit Kurzpulsen wird ein gütegeschalteter Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von 1.064 nm und einer Ausgangsleistung von 16 W eingesetzt. Er kann mit einer Pulsfrequenz bis zu 30 kHz betrieben werden. Die Strahlqualität von  $M^2 < 1,2$  erlaubt eine Fokussierung bis zu Spotdurchmessern von 16  $\mu\text{m}$ .

Für die genaue Regelung des EPS sind präzise gefertigte Elektrodenflächen nötig. Dazu werden die entsprechenden Komponenten mit einer Schicht aus 5 nm Aluminium als Haftverbesserer und 500 nm Gold bedampft, die anschließend in verschiedene Elektrodenflächen unterteilt werden muss. Die Mikrostrukturierung von dünnen Schichten stellt trotz geringer benötigter Abtragsraten und Aspektverhältnisse hohe Anforderungen an die Prozessführung. Diese resultieren aus der spezifischen Materialkombination und Bauteilgeometrie.

Eine Herausforderung ist dabei, die Gold-Aluminium-Schicht vollständig abzutragen, ohne das Trägermaterial Zerodur® (Glaskeramik der Firma Schott AG mit sehr geringem Ausdehnungskoeffizienten) zu beschädigen. Dazu müssen die Prozessparameter wie Pulsenergie,

Pulsfrequenz und Scangeschwindigkeit an die optischen Eigenschaften sowohl der Schicht als auch des Substrates angepasst werden. Eine definierte Absorption der Laserstrahlung durch den Schichtwerkstoff ist dabei wesentlich, um einen kontrollierbaren Materialabtrag zu ermöglichen und die thermische Zerstörungs- oder Abtragsschwelle des Substratwerkstoffs nicht zu überschreiten. Auf planen Oberflächen wie bei Stirnelektroden konnten so mit dem Laser präzise Elektrodenflächen realisiert werden (siehe Abbildung links).



Lasermikrostrukturierte Zerodur®-Teile, links: Distanzstück mit Stirnelektroden; rechts: Hülse (14,6 mm Innendurchmesser) mit Mantelelektroden. Quelle: BIAS.

Eine weitere Herausforderung stellt die Herstellung der Mantelelektroden auf der schwer zugänglichen Innenseite der Hülse mit nur 14,6 mm Innendurchmesser dar (siehe Abbildung rechts). Auch hier konnte der Laser durch eine vom Bremer Institut für angewandte Strahltechnik (BIAS) und vom Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) entwickelte dem Endoskop ähnliche Strahlführung erfolgreich eingesetzt werden. Das Endoskop kann dabei in das Bauteil, das auf einem Drehtisch montiert ist, eingeführt werden. Damit wird die gesamte Innenwand der Hülse für den Laserstrahl zugänglich und kann präzise strukturiert werden.

Bremer Institut für angewandte Strahltechnik (BIAS)  
GmbH, Bremen  
www.bias.de

Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie  
und Mikrogravitation (ZARM), Universität Bremen,  
Bremen  
www.zarm.uni-bremen.de





## Radio Frequency Identification (RFID) auf der Leiterplatte

Gregor Groß

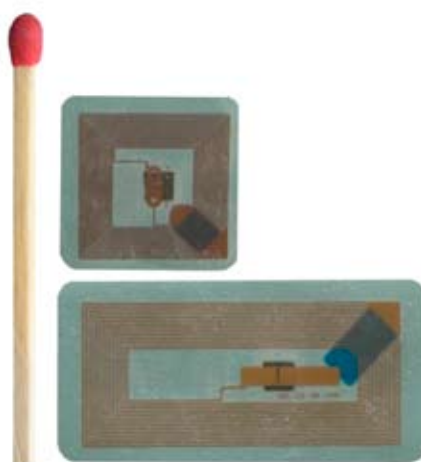
Gerade sicherheitssensible Branchen wie die Luft- und Raumfahrt müssen heute die eindeutige Identifizierbarkeit ihrer Baugruppen, eine lückenlose Rückverfolgbarkeit der Konfiguration sowie ein lückenloses Product Lifecycle Management (PLM) sicherstellen – im Ernstfall bis zur letzten Schraube.

Radio Frequency Identification (RFID) ist dafür eine geeignete Maßnahme. Sie dient gleichermaßen als Schutz vor Plagiaten und als Informationsspeicher am Produkt. RFID-Applikationen sind intelligent und können umfangreiche Datenmengen speichern. Über Funkwellen liest ein Lesegerät – auch aus größerer Distanz – die Daten wieder aus und gleicht sie mit dem vorhandenen PLM-System ab. Dies bringt nicht nur Sicherheit, es spart auch Arbeitszeit. Leiterplatten beispielsweise werden standardgemäß mit Labeln gekennzeichnet (im Klartext beziehungsweise mit 1- oder 2D-Barcodes), um Produktserien in weiteren Herstellungsschritten zu identifizieren. Ein Scanner erkennt über das Label die Chargennummer der Leiterplatte und ordnet sie einem Datensatz in einer zentralen Datenbank zu. Diese Label sind preiswert, nehmen aber auf den künftig weiter miniaturisierten Baugruppen viel Platz in Anspruch.

Strichcodes oder 2D-Codes speichern keine oder nur wenige baugruppenbegleitende Informationen. RFID-Label und TAGs dagegen sichern Informationen von bis zu 64.000 Bit direkt auf dem Chip. Die Daten können direkt auf der Baugruppe gespeichert werden, zum Beispiel bei Sicherheits-Checks oder ähnlichen Routinearbeiten. „Die Industrie verlangt solche Sicherheitsstandards“, erläutert Matthias Schulz, Hardwareentwickler bei alpha-board. Hersteller und Verbraucher von gedruckten Leiterplatten haben verschiedene Wahlmöglichkeiten, Leiterplatten mit RFID-Transpondern auszustatten:

### RFID-Label

RFID-Label eignen sich für bestehende Leiterplatten oder Produktionsserien, die nicht mehr verändert werden. Das Label erfordert keine Eingriffe ins Layout oder in Produktionsschritte. Jedoch darf es nicht auf metallene Flächen geklebt werden. Außerdem muss die Frequenz der Baugruppen überprüft werden, um zu Interferenzen zu vermeiden. Ideal sind RFID-Label auch für flexible Leiterplattenbereiche, Laminate oder Bauteile wie ICs. Sie sind für die jeweilige Anwendung modifizierbar: Manche Label besitzen beispielsweise besonders UV-beständige Eigenschaften oder hohe Temperaturreisistenzen. Darüber hinaus sind RFID-Label ein Plagiatenschutz, da sie sich nicht zerstörungsfrei entfernen lassen.



RFID-Label. Quelle: alpha-board gmbh.

### RFID-TAGs

TAGs auf Leiterplatten können von einfacher Identifizierung und Datenspeicherung über das Sensoring bis hin zum Eingriff in Schaltungsfunktionen verwendet werden. Die Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten bedingt gleichzeitig eine Menge Fertigungsvarianten.

1.) Der Designer berechnet die Länge der Antenne und realisiert sie zum Beispiel als Leiterbahn auf der Platine. Der Hersteller bestückt die TAGs genauso wie SMD-Bauteile. Für die Identifizierung und Speicherung von Daten – gerade bei hohen Packungsdichten der Baugruppen – reichen sehr kleine TAGs, die bereits über eine interne Antenne verfügen. Ein Nachteil sind die hohen Kosten.

2.) Die zweite Möglichkeit, RFID-TAGs auf der Leiterplatte aufzubringen, erfordert einen Eingriff in die Leiterplattenentwicklung oder von vornherein in die Schaltungsentwicklung. Dazu bringt man den TAG entweder als autarke Schaltung (mit oder ohne Sensoren) auf die Leiterplatte auf oder bindet den TAG direkt an den Mikrocontroller, um Befehle oder Daten mit der Baugruppe auszutauschen.

3.) Ein TAG kann auch in der Leiterplatte verpresst werden. Die Antenne wird als Leiterbahn auf der Leiterplatte realisiert. Danach verbindet der Fertiger den TAG mit der Leiterbahn und verpresst ihn zwischen den Lagen. Diese Variante ist absolut fälschungssicher, aber auch teuer. Neben den höheren Kosten

erfordert sie auch mehr Umsicht beim Printed Circuit Board (PCB)-Design hinsichtlich elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV).

4.) Als vierte Möglichkeit wird der TAG mit Innenantenne in ein Loch in der Leiterplatte versenkt und verklebt. Diese patentierte Technik nennt sich Fit-in-Hole und ist ebenfalls nur sehr schwer zu manipulieren.

Die Anschaffungskosten für die Verwendung von RFID bleiben überschaubar: Die vorhandene Barcode-Technik kann mit geringem Aufwand umgerüstet werden.

### RFID in der Luft- und Raumfahrt

alpha-board führte im vierten Quartal 2008 eine Studie zum Thema „RFID zur Produktkennzeichnung“ quer durch verschiedene Branchen durch. Den Befragten der Luft- und Raumfahrt war es im Vergleich zu anderen Branchen besonders wichtig, auf dem einzelnen Gerät begleitende Informationen speichern sowie Baugruppen trotz Platzproblemen auf der Oberfläche kennzeichnen zu können. Alle Werte liegen über dem Durchschnitt, was auf einen gesteigerten Bedarf nach der Kennzeichnung mit RFID gegenüber dem Barcode schließen lässt. Die Befragten aus der Luft- und Raumfahrt produzieren oder entwickeln zu 87 % elektronische Produkte, die die Sicherheit von Menschen beeinflussen. Sind Menschenleben in Gefahr, wird im Schadensfall „bis zur letzten Schraube“ zurückverfolgt. Damit erklärt sich der Wunsch nach Datenspeicherung am Gerät.

Zusammengefasst profitieren Hersteller in der Luft- und Raumfahrt bei der Kennzeichnung ihrer Baugruppen mit RFID von einer eindeutigen Identifikation, von Datenspeicherung direkt an jeder Leiterplatte, Wiederbeschreibbarkeit der TAGs, hoher Lesereichweite und -geschwindigkeit durch berührungsloses Lesen (zum Beispiel bei Verschmutzung oder an schwer zugänglichen Stellen) sowie von einem erleichterten Product Lifecycle Management und einer Pulkerfassung (mehrere RFID-TAGs auf einmal).

alpha-board gmbh, Berlin, D  
www.alpha-board.de





## Präzisionsmetallspiegel für die Raumfahrt

Lothar Kugler

Für die Luft- und Raumfahrtindustrie werden zunehmend Präzisionsspiegel oder komplette Baugruppen benötigt, die sowohl mechanisch als auch thermisch stabil sind. Für das Projekt SMART wurde ein Spiegelsystem hergestellt, das ein Höchstmaß an Stabilität und Formgenauigkeit aufweist und den Belastungen beim Start der Rakete sowie dem Dauerbetrieb im Weltall standhält.

Diese Eigenschaften werden vorzugsweise mit Metallspiegeln in ausgesuchter Werkstoffkombination erreicht. Von der Idee über die Designphase bis zur endgültigen Herstellung eines weltraumtauglichen Metallspiegels ist es ein langer Weg. Die verschiedenen Spiegelvarianten werden mit Finite-Elemente-Methoden simuliert, um bereits vor der endgültigen Designfreigabe auftretende mechanische oder thermische Lasten zu überprüfen und somit die Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten.

Um die Masse gegenüber Glasspiegeln deutlich zu reduzieren, werden meist Leichtgewichtsspiegelvarianten bevorzugt. Für Leichtgewichtmetallspiegel eignen sich als Werkstoffe die Aluminium-Legierungen 6061 und 6065 T6; Materialien, die für Weltraumanwendungen freigegeben sind. Ein entscheidender Faktor für die Langzeitstabilität eines Leichtgewichtsspiegels ist jedoch die Wärmebehandlung, die bei der Kugler GmbH mit CNC-gesteuerten Temperaturschränken gradgenau durchgeführt wird.

### Kostengünstige Herstellung

Die stabilen Metallspiegel werden mit ultrapräzisen Dreh- und Fräsmaschinen unter Verwendung von Naturdiamantwerkzeugen kostengünstig hergestellt. Auf luft- oder hydrostatisch gelagerten Dreh- und Fräsbearbeitungszentren sind bei Geo-

metriegenauigkeiten von unter  $0,1 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$  plansphärische oder asphärische Konturen bis zu  $1,5 \text{ m}$  produzierbar. Je nach Geometrie liegt der Rauigkeitswert der geschnittenen Oberfläche bei  $2 \text{ nm Ra}$ , so dass mechanische Nacharbeit in Form einer Politur meist nicht notwendig ist.

Eine Ausnahme bilden Ultrapräzisionsspiegel, deren Streulichtanteil deutlich unter  $2 \%$  und deren Oberflächenrauigkeitswert unter  $2 \text{ nm Ra}$  liegen muss – hier ist eine Nachpolitur erforderlich, was jedoch nicht in einer mangelhaften Präzision der Bearbeitungsmaschine, sondern in der Materialstruktur begründet ist. In diesem Fall erhalten die Spiegelkörper eine stromlose Nickelschicht (Nickel-Phos-

phor-Legierung, Materialstärke: circa  $100 \mu\text{m}$ ), die anschließend diamantgedreht oder -gefräst wird. Die erreichte Oberflächenqualität entspricht etwa der einer Aluminiumlegierung, jedoch kann die Nickelschicht komplett oder, falls erforderlich, lediglich partiell mechanisch nachpoliert werden. Die Poliereinrichtung der Kugler GmbH gestattet es, den Oberflächenrauigkeitswert unter Beibehaltung der gewünschten Geometriegenauigkeit deutlich unter  $2 \text{ nm Ra}$  zu reduzieren. Die Vermessungen der Oberflächen erfolgen hausintern mit Koordinatenmessmaschinen beziehungsweise Weißlicht-Interferometern oder Fizeau-Interferometern, die mit Standard-Durchmessern von  $350 \text{ mm}$  verfügbar sind.

Entsprechende Goldbeschichtungen, die für IR-Anwendungen typisch sind, sowie Silber- oder äquivalente Schichten zur IR-, VIS- oder Breitbandbeschichtung werden mit einem für die Luft- und Raumfahrt qualifizierten Kooperationspartner durchgeführt. Für die Vermessung und die Baugruppenmontage stehen insgesamt  $250 \text{ qm}$  Reinraum zur Verfügung.



Reinraum. Quelle: Kugler GmbH.



Quelle: Kugler GmbH.

Kugler GmbH, Salem, D  
www.kugler-precision.com

## Firmen und Produkte

### Projekt KERAMIS 2: Mehrlagenkeramiksaltkreise für Satellitenanwendungen

Das vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) geförderte Projekt KERAMIS verfolgte das Ziel, die keramische Mehrlagentechnologie LTCC (Low Temperature Cofired Ceramics) auf ihre Tauglichkeit für Raumfahrtanwendungen zu untersuchen. Die Technologie ermöglicht es, außer einer komplexen Verdrahtung auch einen Teil der Bauelemente im Verdrahtungsträger zu integrieren und damit die Zuverlässigkeit zu erhöhen und letztlich die Kosten zu senken. Im Rahmen dieses Projektes wurden verschiedene Baugruppen für Hochfrequenzanwendungen im Ka-Band bei circa 20 GHz entwickelt und anschließend den üblichen Tests (Vibrationen, Schock, Thermal-Vakuum) unterzogen.

Gegenwärtig ist bereits das Nachfolgeprojekt KERAMIS 2 in einem fortgeschrittenen Stadium. Außer dem DLR als Koordinator sind vier Unternehmen (EPAK GmbH, IMST GmbH, MSE Microsystems Engineering GmbH & Co. KG, RHe Microsystems GmbH) und zwei Universitäten (Technische Universität Hamburg-Harburg, Technische Universität Ilmenau) als Experimentatoren beteiligt.

Das Projektziel besteht nunmehr darin, die gefundenen technologischen Lösungen an Bord eines Satelliten praktisch zu erproben. Dieser Satellit wird von den Unternehmen ASTRO, Kayser-Threde und EADS-Astrium gebaut, die als Subkontraktoren agieren. Für die „On Orbit Verification (OOV)“ wurden aus den entwickelten Baugruppen drei Experimente aufgebaut, die mit Hilfe des Satelliten TET (Technologischer Erprobungsträger) gemeinsam mit anderen experimentellen Nutzlasten voraussichtlich 2010 auf eine Erdumlaufbahn gebracht werden sollen. Gegenwärtig werden die flugfähigen Baugruppen aufgebaut und erprobt. Anschließend sollen sie in einem Einschub vereint und in den Satelliten integriert werden.

Technische Universität Ilmenau, Dr. Karl-Heinz Drüe, Tel.: +49 3677 693 429, E-Mail: karl-heinz.drue@tu-ilmenau.de, www.tu-ilmenau.de

### Erster Computer-Tomograph mit unipolarer 300 kV-Mikrofocus-Röntgenröhre

GE Sensing & Inspection Technologies bringt mit dem phoenix|x-ray L 300 seiner Produktlinie phoenix|x-ray ein neues Computer-Tomographie-System (CT) auf den Markt. Es eignet sich sowohl für 2D- und 3D-Untersuchungen als auch für dimensionelle Messungen an Bauteilen, die aufgrund ihres komplexen Aufbaus nicht zerstörungsfrei mit optischen oder taktilen Koordinatenmessgeräten untersucht werden können. Erstmals erreicht eine 300 kV-Röntgenröhre eine Detailerkennbarkeit von bis zu 1 µm. Zugleich kommt ein neuer Typ von temperaturstabilisierten GE-Digitaldetektoren mit verbesserter Kontrastauflösung zum Einsatz.

Das System verfügt über ein Metrologie-Paket, das von Kalibrierkörpern bis hin zu Oberflächenextraktions-Modulen alles beinhaltet, was für präzise, anwenderfreundliche dimensionelle Messungen erforderlich ist. Neben 2D-Wandstärkenmessungen können zum Beispiel die CT-Volumendaten mit den CAD-Daten verglichen werden, um das komplette Bauteil in Bezug auf die Einhaltung aller Maße zeitsparend zu analysieren.

Während herkömmliche 300 kV-Röntgenröhren aufgrund ihrer bipolaren Bauform und des vergleichsweise großen Fokus' keine hohen geometrischen Vergrößerungen erlauben, ist die phoenix|x-ray-Röntgenröhre unipolar aufgebaut – ihr Fokus liegt lediglich 4,5 mm vom Austrittspunkt der Röntgenstrahlung entfernt. Da bei der Kegelstrahl-Tomographie besonders hohe Vergrößerungen nur bei möglichst geringem Fokus-Objekt-Abstand möglich sind, ist die unipolare 300 kV-Röhre hier überlegen. Im Aerospace-Sektor scannt die Röntgenröhre unter anderem stark absorbierende Turbinenschaufeln und GFK/CFK-Verbundwerkstoffe.

GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, phoenix|x-ray, Dr. Oliver Brunke, Tel.: +49 5031 172 142, E-Mail: oliver.brunke@ge.com, www.phoenix-xray.com

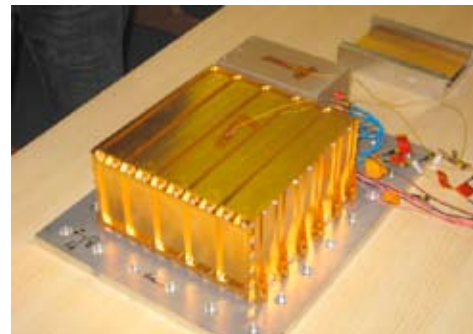
### Luft- und Raumfahrt als Themengeber des TEMA-Kundentags

Am 28. Mai 2009 lud die TEMA Technologie Marketing AG zu ihrem diesjährigen TEMA-Tag unter dem Motto „Flügel für Ihr Marketing – Marketing in Luft- und Raumfahrt“ ein. Keynote-Speaker war Thomas Reiter, Astronaut und Vorstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Sein Vortrag nahm die Zuhörer mit auf eine Expedition zur internationalen Weltraumstation ISS, wo Reiter 2006 ein halbes Jahr arbeitete. Ein maßgeblicher Teil seiner Mission bestand in wissenschaftlichen Experimenten, die er in der Schwerelosigkeit durchführte. Deutlich wurde so die große Bedeutung, die die Raumfahrt in der Wissenschaft und der industriellen Forschung einnimmt.

Weitere Referenten, die das Publikum über eher „bodenständige“ Themen informierten, waren Prof. Dr. Edmund Krieger, Centerleiter Marketing und Strategie der Flughafen Düsseldorf GmbH, sowie der Entwicklungsleiter des KSA Kugelstrahlzentrums Aachen, Dr. Jürgen Lohmar. „Uns ist es gelungen, mit einem attraktiven Programm unsere rund 150 Gäste zu begeistern und zu zeigen, wofür TEMA steht,“ fasst Dr. Günter Bleimann-Gather, Vorstandsvorsitzender der TEMA AG, zusammen.

Seit ihrer Gründung 1994 beschäftigt sich TEMA mit Technologiemarketing. Mittlerweile beraten rund 65 Mitarbeiter Technologieunternehmen in den Bereichen Public Relations, Werbung und Eventmanagement. Zum Team zählen neben Journalisten, Grafikern und Eventfachleuten auch Experten für Webentwicklung, Film, Fotografie und 3D-Animation. Mit zurzeit 14 Muttersprachlern bietet TEMA ihren Kunden die Möglichkeit, das gesamte Leistungsspektrum auch international zu nutzen. Der Hauptsitz der TEMA ist in Aachen, daneben gibt es Niederlassungen in Berlin, Dortmund, Stuttgart, Chicago, Paris und Peking.

TEMA Technologie Marketing AG, Angelika Backes, Tel.: +49 241 88970 37, E-Mail: backes@tema.de, www.tema.de



Der Einschub mit den Experimenten während der Bodentests. Quelle: Technische Universität Ilmenau.



Vergleichs-CT einer Turbinenschaufel: Die 300 kV-Microfocus-Röntgenröhre (links) ermöglicht deutlich artefaktärmere Scans als herkömmliche 240 kV-Microfocus-Röntgenröhren (rechts). Quelle: GE Sensing & Inspection Technologies GmbH.



Thomas Reiter, Vorstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. Quelle: TEMA AG.



## Interview

### “Micro- and nanotechnologies will revolutionize the aerospace industry”

The objective of CANEUS is to advance micro- and nanotechnology concepts to system level application in aerospace systems, thereby enabling next generation aircrafts and space missions with advanced capabilities. »inno« editor Josefine Zucker spoke with CANEUS' founder and chairman Dr. Milind Pimprikar about the role of micro- and nanotechnologies (MNT) for the aerospace industry as well as his vision for the future.



Dr. Milind Pimprikar

#### What kinds of demands does the aerospace sector make to its suppliers?

Two essential needs for space flights are miniaturized components (avionics, electronics, sensors, etc.) and minimized payloads. The industry already benefits from significant improvements in terms of power amplification, surface modification, better structural and thermal protection as well as enhanced material performance, precision actuators and nanofibers. Risk avoidance still plays an important role as well, which is why time-tested systems and components are often integrated. In the end, it comes down to how conservative the aerospace customer is. Private customers are likely more conservative than the governmental ones such as NASA – but the question still remains whether the end-user program managers will be willing to take the risk. MNT do not inherently increase or decrease risk, but need to be tested and verified.

For an aircraft manufacturer, there are a few decisive factors: MNT need to be affordable, reliable and predictable in extreme environments. They also need to be manufactured with certified processes, ITAR-free for aerospace use (ITAR = International Traffic in Arms Regulations, a US export control ruling), and not become rapidly obsolete.

#### How do MNT fulfill these requirements?

Micro- and nanotechnology offer solutions on several fronts. They provide solutions for conductive adhesives, materials and composites, for light-weight thermal management devices, for anti-fouling, self cleaning, hydrophobic or de-icing coatings as well as for power generation and storage (energy harvesting, structural batteries and fuel cells) and for optical and signal processing technology.

For example, structural sensor arrays not only tell you that damage has occurred, but how much damage has occurred. MNT also offer bio/chemical sensors for environment control, health monitoring sensors and sensors for active flow control for optimal aerodynamics.

#### What needs to be considered for manned space operations?

Key needs for manned space operations include the ability to conduct medical diagnosis and interventions quickly, and utilizing equipment that requires low power, mass, and volume. Mars missions may take three years for example, which is why the shelf life of medicines in space has to be determined and improved. The effects of microgravity on human health and well-being in space have to be controlled as well. Astronauts have to be protected in their habitat and in the space environment – which is why we need to determine how to keep the broad range of physician skills current in space and find elements of prevention that will help maintain muscles, bones, and psychical well-being. MNT offer technical solutions for these challenges.

#### Which MNT developments have transitioned to the most groundbreaking aerospace applications?

After many false starts over a 20-year history, the lesson learned is that transitioning MNT in aerospace designs is at times very expensive, and therefore, a company must be very selective in which technology it goes after. MEMS sensors overall (pressure sensors, inertial sensors, etc.) offer the most promising applications; they are the “winners” in the aeronautics industry.

#### Do you see synergies with other industry sectors?

Aerospace and defense applications share many requirements and challenges with other sectors such as the oil and gas sector, the geophysical sector with its harsh environment conditions, the medical, the energy and the environment sector.

#### What do automotive or medical technology suppliers need to consider if they want to enter the aerospace sector?

- There is a need to increase the pace of MNT maturation through development of common test procedures and standard interfaces, which keep in mind a common endpoint for other industry sectors.

- Be aware, synthesize, and then recommend international common standards that apply to MNT device integration and performance.

- Promote innovative applications rapidly, and assure that the special requirements for developing such common technologies are addressed.

- Provide a context to begin the harmonization of roadmaps amongst global organizations of diverse industry sectors that are investing significant resources in MNT development.

- Develop and provide an access to a common database where aerospace capabilities, experiences and lessons learned can be shared and assessed with other industry sectors.

- Develop a matrix which identifies by application which MNT would be appropriate.

- Share lessons learned regarding packaging and interfacing from aerospace applications.

#### What is your vision for the aeronautics, space and defense sectors in twenty years?

Many of the ideas laid out during the turn of the millennium are now a reality. I believe that MNT will revolutionize the aerospace industry in the next ten to twenty years period. You can sense the dynamism within the small satellite industry and the sensors and nano composite materials developments. I further believe that with the world becoming a small village, these developments will accelerate with the free flow of information across industries and nations, as well as collective and cost-effective investment strategies, through the pooling of resources. I sense that both civilian and defense communities will be cooperating in high-risk, high-cost, but high-rewards MNT applications in the future.

CANEUS International, Montréal, QC (Canada)  
www.caneus.org

## IVAM-Messen und Veranstaltungen

### Exhibition Micromachine/MEMS

29.-31. Juli 2009, Tokio, JP  
Messe für Mikro-, MEMS- und Nanotechnologien.  
IVAM organisiert am 30. Juli das Japanese-German  
Micro/Nano Business Forum  
www.ivam.de

### Dortmunder Summer School Mikrotechnik

24.-28. August 2009, Dortmund, D  
Recruiting Event für Studierende der Ingenieur- und  
Naturwissenschaften (Sponsoring möglich)  
www.mikrotechnik-summer-school.de

### NANO KOREA & Microtech World

26.-28. August 2009, Seoul, KR  
Symposium, Messe und Konferenz. IVAM ist Partner  
der Veranstaltung und mit einem Messestand  
vertreten  
www.ivam.de

### IVAM-Stammtisch

9. September 2009, Berlin, D  
Business-Treff bei der alpha-board GmbH  
www.ivam.de

### HANNOVER MESSE Laser-Herbstforum

6. Oktober 2009, Bochum, D  
Kongress zum Thema „Laser in der Produktion  
– neue Möglichkeiten der Mikro- und Nanopräzisi-  
onsbearbeitung“  
www.ivam.de

### IVAM-Stammtisch

7. Oktober 2009, Chemnitz, D  
Business-Treff bei der 3D-Micromac AG  
www.ivam.de

### MM Live

20.-21. Oktober 2009, Coventry, UK  
Fachmesse für Mikrofertigung mit Seminarbeglei-  
tung. IVAM ist mit einem Stand vertreten und hält  
einen Vortrag  
www.micromanu.com

### MST-Regionalkonferenz NRW

28. Oktober 2009, Dortmund, D  
Mikrosystemtechnik-Konferenz, Thema: Mikro- und  
Nanotechnologie in der Medizintechnik. IVAM ist  
Mitorganisator  
Nähere Infos bei Alexia Hallermayer (ah@ivam.de)

### IVAM-Stammtisch

28. Oktober 2009, Dortmund, D  
Business-Treff mit den Firmen Colandis GmbH,  
Dastex Reinraumzubehör GmbH & Co. KG und  
profi-con GmbH  
www.ivam.de

### COMPAMED/MEDICA

18.-20. November 2009, Düsseldorf, D  
Medizintechnikzulieferer-Fachmesse. IVAM orga-  
nisiert den Produktmarkt „High-tech for Medical  
Devices“ und das Forum  
www.ivam.de

### IVAM-Stammtisch

8. Dezember 2009, Leipzig, D  
Business-Treff bei der Kunststoff-Zentrum in Leip-  
zig gGmbH (KuZ)  
www.ivam.de

**Mehr Infos zu den Messen und Veranstaltungen  
von IVAM erhalten Sie von Katrin Theiler (Tel.:  
+49 231 9742 7081, E-Mail: kt@ivam.de) und  
unter www.ivam.de / www.neuematerialien.de.**

## Sie möchten »inno« kostenlos abonnieren?

»inno« erscheint dreimal jährlich als  
PDF-Dokument.

Unter [www.ivam.de](http://www.ivam.de) › Medien können Sie das  
Magazin abonnieren oder abbestellen. Oder schrei-  
ben Sie einfach eine kurze E-Mail an [jz@ivam.de](mailto:jz@ivam.de).

Unter [www.ivam.de](http://www.ivam.de) › Medien finden Sie auch den  
Newsletter MikroMedia – und unter  
[www.neuematerialien.de](http://www.neuematerialien.de) › Medien die NeMa-News.

Lesen Sie auch die vergangenen »inno«-Ausgaben  
unter [www.ivam.de](http://www.ivam.de) › Medien › inno:



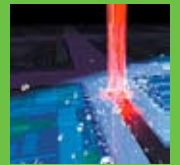
»inno« 42  
Chemie/Pharmazie



»inno« 41  
AAL



»inno« 40  
Energie



»inno« 39  
Lasertechnik



»inno« 38  
Beschichtungen



»inno« 37  
Systemintegration



»inno« 36  
Qualitätssicherung



»inno« 35  
Medizintechnik



»inno« 34  
Konsumgüter



»inno« 33  
Produktion



»inno« 32  
Automobiltechnik



»inno« 31  
Biomedizintechnik

Klicken Sie auf ein Bild, um zur jeweiligen Ausgabe zu gelangen.

Quellenangaben: »inno« 31: Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik IBMT / »inno« 32: Siemens VDO / »inno« 33: Milasys technolo-  
gies GmbH / »inno« 34: Bartels Mikrotechnik GmbH / »inno« 35: Campus Micro Technologies GmbH / »inno« 36: Boehringer Ingelheim  
microParts GmbH / »inno« 37: EZconn Europe GmbH / »inno« 38: Kunststoff-Institut Lüdenscheid / »inno« 39: SYNOVA S.A. / »inno« 40:  
Fraunhofer ISE / »inno« 41: AIST, Japan / »inno« 42: HNP Mikrosysteme GmbH.





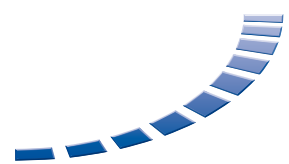
**\* Wir verbinden micro.**

[www.mikrotechnik-dortmund.de](http://www.mikrotechnik-dortmund.de)

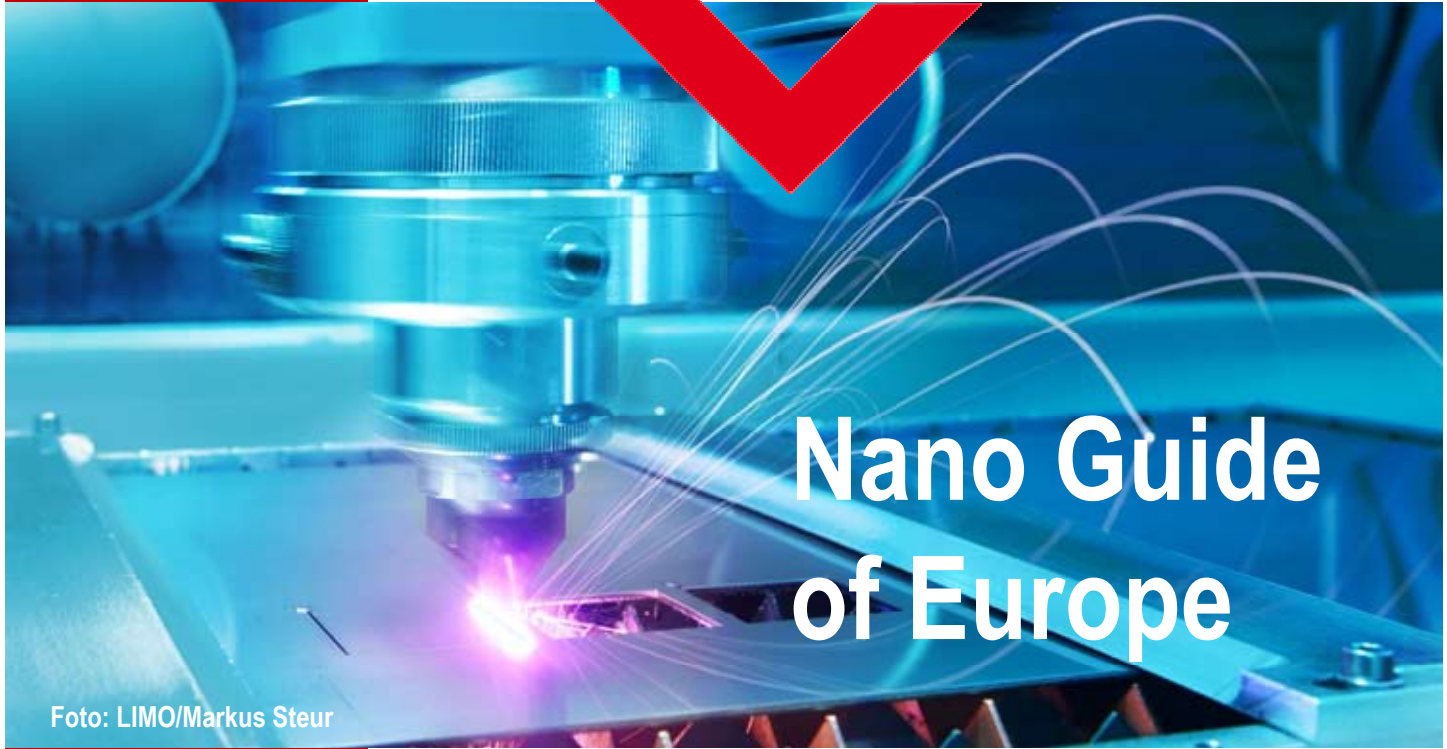
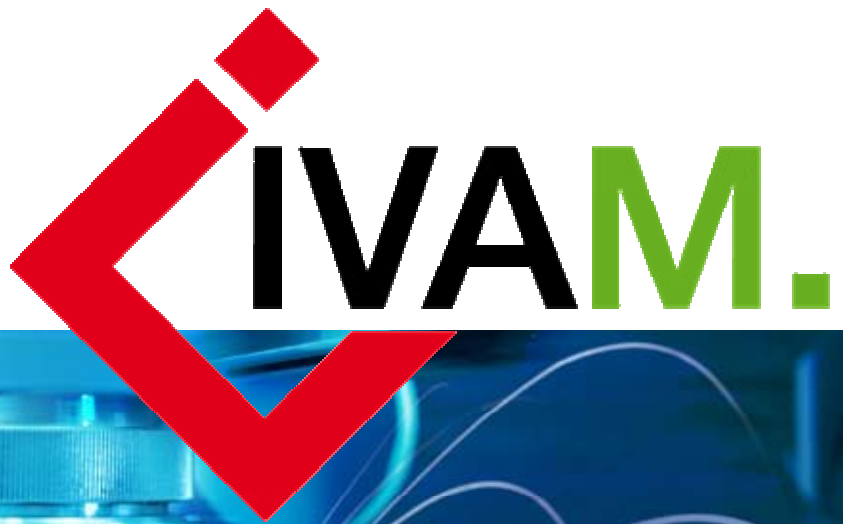
**Mikro- und Nanotechnologie  
in der Medizintechnik**

6. MST-Regionalkonferenz NRW 2009  
Signal Iduna Park Dortmund  
28. Oktober 2009

big in micro. Das neue Dortmund.



**dortmund-project**



# Nano Guide of Europe

Foto: LIMO/Markus Steur

Mehr als 3.000 Unternehmen und Institute der Mikrotechnik, Nanotechnologie und neuen Materialien komprimiert auf einem USB-Stick.

Kostenlose Testversion der Datenbank zum Download:  
[www.ivam-research.de](http://www.ivam-research.de)





# Rund 300 gute Gründe für eine Mitgliedschaft bei IVAM ...

2small2see (a Grupo Protefil Company) • 3D-Micromac AG • ACEOS GmbH • atlantis Dortmund GmbH • advico microelectronics GmbH • AEMtec GmbH • AGEF e.V. • agenium systems GmbH • Aixtooling GmbH • alpha-board GmbH • Alphagem AG • AMA Fachverband für Sensorik e.V. • AMIC Angewandte Micro-Messtechnik GmbH • AMO GmbH • APVV Coating Technologies • Arbeitskreis Mikrosystemtechnik der Fachhochschulen Nordrhein-Westfalen • Arias GmbH • artesos GmbH • ASMEC GmbH • atocube systems AG • AVT-Förderverein • Axyntec Dünnschichttechnik GmbH • Bartels Mikrotechnik GmbH • BATT GmbH • Beneq Bergische Universität Wuppertal • BFI OPTILAS GmbH • BIAS • Binder Elektronik GmbH • Boehringer Ingelheim microParts GmbH • Bosch Rexroth Electric Drives & Controls B.V. AG • Bronkhorst Mättig GmbH • BRUDERER GmbH • BYTEC Medizintechnik GmbH • CAN – Centrum für Angewandte Nanotechnologie GmbH • Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH • CDA Datenträger Albrechts GmbH • CelTech GmbH • centrotherm thermal solutions GmbH & Co. KG • Cetoni GmbH – Automatisierung und Mikrosysteme • Charcoal Cloth International • CIS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH • Colandis GmbH • Coventor SARL • cplusw GmbH • CSEM Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA • CytoCentrics • Dastec Reinraumzubehör GmbH & Co. KG • Datacon Technology GmbH • Delft University of Technology • Deutsche Keramische Gesellschaft e.V. • Diener electronic GmbH & Co. KG • eagleyard Photonics GmbH • ECMTec GmbH • Ehrfeld Mikrotechnik BTS GmbH • Elliptec Resonant Actuator AG • ELMOS Semiconductor AG • Embedded Microsystems Bremen GmbH • EOS GmbH • Etchform Precision Etching & Electroforming BV • EV Group • Evatec ThinFilm Technology • EZconn Europe GmbH • Fachhochschule Aachen • Fachhochschule Dortmund • Fachhochschule Kaiserslautern • FernUniversität Gesamthochschule Hagen • Flowid B.V. • Forschungsverbund Mikro- und Nanostrukturen • Forschungszentrum Jülich GmbH • Forschungszentrum Karlsruhe GmbH • Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Dresden/Bremen, Abteilung Biomaterial-Technologie • Fraunhofer-Allianz Vision • Fraunhofer-Einrichtung für Elektronische Nanosysteme ENAS • Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT • Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP • Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM • Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT • Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS • Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS • Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT • Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT • Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE • Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT • Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS • Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM • Fraunhofer-Projektgruppe im Dortmunder Oberflächen-Centrum search & Technology GmbH • GFH GmbH • Grei-GXC Coatings GmbH • HARTING AG • Helmholtz-Materialien und Energie speicherring BESSY II • versität • Hitachi Tool GmbH • hittech bv • HLHM Medical Engineering Mikrosysteme GmbH • AG • HSG-IMIT • HWL Sci-GmbH • IFAS GmbH – In- cherung und angewandte GmbH • IIP Technologies IMH • IMS Integrated Me- b.v. • IMT Masken und Tei- stitut für Mikrosystem- tut für angewandte Technologien, Hochschul- rialTechnology Research neric GmbH • Innolume Mikrotechnik Mainz Microsystem Center • Analytical Sciences • ISIS factory GmbH • Izon Sci- TIK Polymer Systems • Systeme GmbH • Juken Systemtechnik GmbH • GmbH • KLASTECH – Kar- logies GmbH • Klocke tenznetzwerk Brennstoff- NRW • Korea Advanced Kugler GmbH • Kunst- zig GmbH • Laser Zen- Laser-Laboratorium Göt- krotechnologie Dr. Kie- Micronics GmbH • LCC La- tre Finland • LEE Hydrau- ponenten GmbH • Leica Process Technologies • LI- krooptik GmbH • LionIX GmbH • M&C TechGroup chOnics AG • MEMS In- stitute for NanoTechno- cher Medizintechnik GmbH • Micro Center Cen- Micro Engineering Solutions • Micro Mechatronic Technologies AG • micro resist technology GmbH • Micro Systems UK LTD • Microdrop Technologies GmbH • microFAB Bremen GmbH • microfluidic ChipShop GmbH • Micromachine Center • MicroMetal GmbH • MicroMountains Application AG • micronit microfluidics bv • Micropolis Ltd. • Microsystems Center Bremen (MCB) • microTEC Gesellschaft für Mikrotechnologie mbH • MicroWebFab • migros GmbH • Mikcell Oy • Mikro-Nanotechnologie-Thüringen e.V. • mikroglas chemtech GmbH • MILASys technologies GmbH • Milton Jorge International • MinacNed • miTEC-Microtechnologie GmbH • Mitsui & Co. Deutschland GmbH • ML&C Masken Lithographie & Consulting GmbH • MMS Micro Machining Service GmbH • M-O-T GmbH • MS Schramberg Micro GmbH & Co. KG • MST Academy Müller & Müller GBR • MST.factory dortmund GmbH • mymotors & actuators GmbH • nanoAnalytics GmbH • NanoCompound GmbH • NanoFocus AG • Nanogate AG • NANOS-Instruments GmbH • NanoWorld Services GmbH • National Institute of Research and Development in Microtechnologies • NEXUS Office • NNT Nanotechnology AG • OFFIS • Okmetic Oyj • PANADUR GmbH • PARitec GmbH • pentri\* b.v. • Phoenix Software • Phoe- nix X-Ray • PiezoMotor Uppsala AB • Plan Optik AG • Polytec GmbH • PrehTronics GmbH • Prior Scientific Instruments GmbH • Process Relations GmbH • profi-con GmbH • PRONTOR GmbH • Protron Mikrotechnik GmbH • PVA Löt- und Werkstofftechnik GmbH • RAG BILDUNG GmbH • Raith GmbH • Reiner Microtek • RENA Sondermaschinen GmbH • Rheinisch-Bergisches TechnologieZentrum GmbH • Ricmar Sales & Service GmbH • RKT Rodinger Kunststoff-Technik GmbH • RSM Ries System Maschinenbau GmbH • Rudolf Hillebrand GmbH & Co. KG • Ruhr-Universität Bochum • RWTH Aachen • SARIX SA • Sekisui Integrated Research Inc. • Sensirion AG • SENTECH GmbH • Servometer/PMG, LLC • SFB 499 Mikrounformen, Universität Karlsruhe • Forschungszentrum Karlsruhe GmbH • Silex Microsystems AB • Singulus Mastering B.V. • SLV Duisburg Niederlassung der GSI mbH • SmarAct GmbH • Sonosys Ultraschallsysteme GmbH • Specialty Coating Systems • SPECTARIS • SPS-Europe B.V. • SPT Roth AG • SRI International • SSE Sister Semiconductor Equipment GmbH • STEEC • Steinbeis-Transferzentrum Sensorik & Neue Technologien • SUFRAMA – Superintendency of Manaus Free Trade Zone • SÜSS MicroTec Lithography GmbH • Syntens • Sysmelec S.A. • Taisei Kogyo Co., Ltd. • TECAN Ltd. • THEON Sensors S.A. • TU Braunschweig • TU Chemnitz • TU Dortmund • TU München • TU Wien • TU Delft • TDC Corporation • TechnologieZentrumDortmund GmbH • technotrans AG • temicon GmbH • thinXXS Microtechnology AG • TNO Science and Industry • Trägergesellschaft Kunststoff-Institut Lüdenscheld • Trägerverein ZENIT e.V. • Tritem Microsystems GmbH • Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Mikroelektronik, Mikrofluidik/Mikroaktorik • Universität Karlsruhe • Universität Köln • Universität Siegen • Universität Witten/Herdecke • Université de Neuchâtel • UST – Umweltsensortechnik GmbH • Veldlaser • Virtus Advanced Sensors • VTT Technical Research Centre of Finland • Weidmann Plastics Technology AG • Wittmann Battenfeld GmbH • Wilhelm Werner GmbH – Reinstwassertechnik • X-Fab Semiconductor Foundries AG • Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie e.V. (ZVEI) • Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH ZBT • Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN) • z-werkzeugbau-gmbh



## ... und noch viel mehr:

- **Technologiemarketing:** IVAM organisiert Businessplattformen, zum Beispiel auf der MicroTechnology/HANNOVER MESSE oder der COMPAMED/MEDICA in Düsseldorf
- **Kommunikation:** IVAM unterstützt Sie mit einer umfassenden Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
- **Internationalisierung:** IVAM begleitet seine Mitglieder ins Ausland und ist in Japan und Korea aktiv
- **Recruiting:** IVAM organisiert die Dortmunder Summer School Mikrotechnik
- **Networking:** IVAM organisiert Workshops, Business-Stammtische und weitere Netzwerkveranstaltungen

Bei Fragen rufen Sie einfach an oder schreiben Sie uns!

### Ihr Kontakt:

IVAM Fachverband für Mikrotechnik  
Dr. Christine Neuy  
Telefon: +49 231 9742 167  
E-Mail: [membership@ivam.de](mailto:membership@ivam.de)  
Internet: [www.ivam.de](http://www.ivam.de) > Mitglieder > Mitglied werden