



## Ergebnisse und Leistungen 2003

Titelbild:

Bleifrei gelötete Heißpräge- MID-  
Baugruppe (in Zusammenarbeit mit  
2E mechatronic GmbH & Co. KG  
und Delphi Deutschland GmbH)

# Ergebnisse und Leistungen 2003

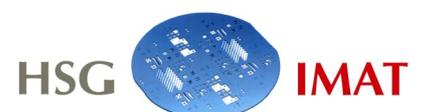
## Inhaltsverzeichnis

Organisationsstruktur	3
Qualifikation einer bleifrei gelöteten Heißpräge-MID-Baugruppe	4
Flipchip-Klebertechnik auf MID	6
Touch-Sensorik für ein interaktives Braille-Display	8
Prozesskontrolle beim Heißprägeprozess	10
UV-Laserstrukturierung von 3D-MID	12
Studie zu einem Neigungssensor mit Pendel in MID-Technik	14
Endbearbeitung von Formeinsätzen für den Mikrospritzguss mittels elektrochemischen Fräsens mit ultrakurzen Spannungspulsen (ECF)	16
Mikrospritzgießtechnik	18
Anlagen - Geräte - Verfahren	20
HSG-IMAT in Zahlen	21
Publikationen, Messebeteiligungen, Mitarbeit in Gremien	22
Lehrveranstaltungen, Studien- und Diplomarbeiten, Promotionen	24
Organe der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.	26
Nachruf für Herrn Prof. Dr. Günther Glaser	28
Anfahrtsplan	29

Universität Stuttgart  
Institut für Zeitmeßtechnik, Fein- und Mikrotechnik  
Lehrstuhl Mikro-, Miniatur- und Zeitmeßtechnik  
Breitscheidstr. 2 b · D-70174 Stuttgart  
Telefon: ++49(0)711/121-3711 · Telefax: ++49(0)711/121-3705  
E-mail: [izfm@izfm.uni-stuttgart.de](mailto:izfm@izfm.uni-stuttgart.de)  
WWW: <http://www.uni-stuttgart.de/izfm>



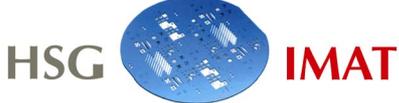
Hahn-Schickard-Gesellschaft  
Institut für Mikroaufbautechnik  
Breitscheidstr. 2 b · D-70174 Stuttgart  
Telefon: ++49(0)711/121-3712 · Telefax: ++49(0)711/121-3705  
E-mail: [hsg-imat@hsg-imat.de](mailto:hsg-imat@hsg-imat.de)  
WWW: <http://www.hsg-imat.de>



Leitung: Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kück



# Organisationsstruktur

	 <p>Lehrstuhl Mikro-, Miniatur- und Zeitmeßtechnik</p> <p>Leiter: Prof. Kück</p>	 <p>Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik</p> <p>Leiter: Prof. Kück</p>
<p>Abteilung Technologie</p> <p>Leiter: Dr. W. Eberhardt</p>	<p>Fr. Fasterding</p> <p>Fr. Flechtner</p> <p>Hr. Schulz</p> <p>Hr. Spitznagel</p>	<p>Hr. Ahrendt</p> <p>Fr. Gehrlach</p> <p>Hr. Kessler</p> <p>Hr. Münch</p> <p>Hr. Pein</p> <p>Hr. Schlag</p> <p>Fr. Scholz</p> <p>Hr. Spritzendorfer</p> <p>Fr. Dr. Wang</p>
<p>CAD/CAM-Techniken</p> <p>Leiter: Prof. Kück</p>	<p>Hr. Skibowski</p>	<p><u>Hr. Dr. Schubert</u></p> <p>Hr. Allgeier</p> <p>Hr. Vogel</p>
		<p><u>Hr. Dr. Staemmler</u></p> <p>Hr. Rentz</p> <p>Hr. Gmelin</p>
	<p>Hr. Mohr</p>	
<p>Bauelemente</p> <p>Leiter: Prof. Kück</p>	<p>Mechanische Werkstatt</p> <p><u>Hr. Eylandt</u></p> <p>Hr. Lechler</p>	<p><u>Hr. Seifert</u></p> <p>Hr. Grabein</p> <p>Hr. Schilling</p>
	<p><u>Hr. Warkentin</u></p> <p>Hr. Benz</p>	<p>Hr. Arnold</p> <p>Fr. Liu</p> <p>Hr. Dr. Oprea</p>
<p>Administrative Dienste</p>	<p>Hr. Bärnin</p> <p>Fr. Hoffmann</p>	<p>Fr. Bellezer</p> <p>Fr. Hummel</p> <p>Fr. Ihle</p>

# Qualifikation einer bleifrei gelöteten Heißpräge-MID-Baugruppe

C. Pein, W. Eberhardt

## Einleitung

Der Heißprägeprozess eignet sich vorzüglich zur schnellen und kostengünstigen Herstellung von MID-Baugruppen. Hierbei wird das Schaltungslayout mit einem beheizten Stempel aus einer dünnen Metallfolie ausgestanzt und auf ein Kunststoffbauteil gepresst. Die Rückseite der Metallfolie wird dabei mit dem Thermoplasten verschmolzen. Wenige Arbeitsschritte bedingen eine kurze Prozesszeit und somit geringe Fertigungskosten. Weiterhin sind Änderungen des Schaltungslayouts vergleichsweise schnell und einfach möglich.

Mit den neuen europäischen Vorschriften gewinnt der Einsatz von bleifreien Loten ab 2006 eine zunehmende Bedeutung. Somit zeigt der Einsatz von bleifreien Loten in der Heißpräge-MID-Technik heute schon in eine zukunftsweisende Richtung. Ziel der hier dargestellten Untersuchung war die Qualifikation eines bleifreien Lotes für die Herstellung einer Heißpräge-MID-Baugruppe.

## Voruntersuchung

Die Voruntersuchungen wurden auf spritzgegossenen Musterplatten aus PA6T/66 Grivory HT2V-3H (schwarz) durchgeführt. Die Musterplatten wurden vor dem Heißprägeprozess bei 120°C für 2 h getrocknet und getempert. Als Heißprägelayout wurde eine Teststruktur mit einer Leiterbahnbreite von 0,5 mm verwendet (Bild 1). Für den Heißprägeprozess wurde eine bleifreie Cu/Sn-Folie (35 µm) der Fa. Bolta verwendet.



Bild 1: Teststruktur für Lötversuche

Lötversuche wurden mit mehreren Lotpasten durchgeführt. Die Lotpasten sollten folgende Eigenschaften aufweisen:

- Dosierbarkeit mit Nadeldispensern
- Keine Bildung von Lotkugeln
- Sicheres Lötresultat auch bei großen Spaltabständen
- Keine Grabsteineffekte
- Geringe Flussmittelrückstände

Folgende bleifreie Lotpasten wurden untersucht:

- Sn96Ag4; Solder Chemistry, SC 126, RMA
- Sn96Ag4; Solder Chemistry, SC 150, NC
- Sn96Ag4, GLT, RMA

Verschiedene Dotgrößen der oben angegebenen Lotpasten wurden mit einem Martin-Dispenssystem Clevor-Dispens-04 auf die Teststruktur aufgebracht. Anschließend folgte ein Dampfphasenlötprozess auf der Dampfphasenlötanlage IBL 500.

Der Dampfphasenlötprozess zeichnet sich durch eine schonende und gleichmäßige Bauteilerwärmung mit konstantem maximalem Temperaturniveau aus. Die im Dampf gespeicherte thermische Energie (latente Wärme) wird bei diesem Prozess durch freie Konvektion sehr homogen auf die Baugruppe übertragen.

In Bild 2 ist das Temperaturprofil des Lötprozesses dargestellt. Die maximale Temperatur, die die Baugruppe erreichen kann, ist die Dampftemperatur und beträgt 230°C. Eine lokale Bauteilüberhitzung über 230°C ist damit ausgeschlossen. Dadurch wird eine Schädigung der thermoplastischen Baugruppe bzw. der Bauelemente verhindert.

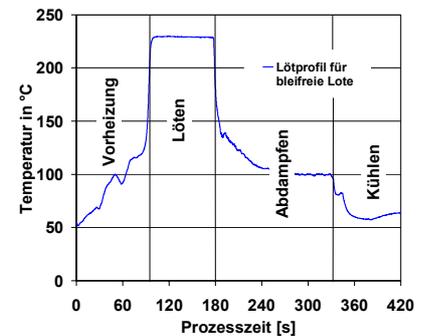


Bild 2: Temperaturprofil beim Dampfphasenlötprozess

Bild 3 zeigt ein Testsubstrat mit einem Lot mit großen Flussmittelrückständen. Im Gegensatz dazu erkennt man auf dem in Bild 4 dargestellten Testsubstrat, dass aus der dort verwendeten Lotpaste nach dem Lötprozess nur sehr geringe Mengen an Flussmittel ausbluten.



Bild 3: Lotpaste mit großer Menge an Flussmittelresten nach dem Dampfphasenlötprozess



Bild 4: Geringe Flussmittelreste der Lotpaste (SC 150, Solder Chemistry) nach dem Dampfphasenlötprozess

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die weiterführenden Versuche mit der Lotpaste SC 150 Solder Chemistry durchgeführt.

Danach wurde die Reproduzierbarkeit des Dispensprozesses überprüft. Drei verschiedene Dotgrößen wurden aufgebracht und anschließend wurde die aufgetragene Lotmenge ausgewogen. Aus jeweils fünf ausgewogenen Lotmengen wurde ein Mittelwert gebildet (Bild 5).

Man erkennt im untersuchten Bereich einen linearen Zusammenhang zwischen programmiertem Dosiervolumen und aufgetragener Lotmenge.

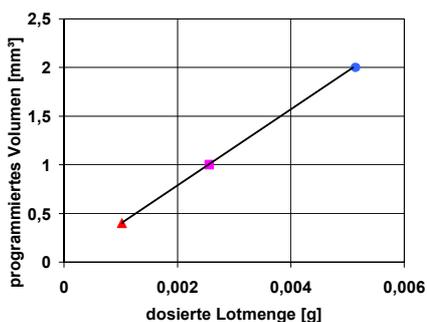


Bild 5: Zusammenhang zwischen programmiertem Dosiervolumen und aufgetragener Lotmenge

### Aufbau und Qualifikation erster Muster

Basierend auf den erzielten Erkenntnissen wurden im Auftrag der Firmen 2E mechatronic GmbH & Co. KG und Delphi Deutschland GmbH erste Muster einer MID-Baugruppe mit bleifreiem Lot zum Einsatz in der Automobiltechnik aufgebaut.

Durch die kostengünstigere MID-Baugruppe kann die derzeitige Baugruppe mit einer eingelegten Leiterplatte ersetzt werden.

Hierfür wurde das bestehende Schaltungslayout für den Heißprägeprozess optimiert. Dabei wurden der Prägestempel und die Werkstückaufnahme sowie die Prozessführung kompatibel zur MID-Fertigungslinie der Fa. 2E mechatronic (AHMID-Linie) entwickelt. In Bild 6 ist die Heißpräge-MID-Baugruppe als Schaltungsträger mit allen Tastern und SMD-Bauelementen sowie die montierte Schalterbaugruppe dargestellt. Zur Kontaktierung der Heißpräge-MID-Baugruppe wurden Kontaktstifte in den Schaltungsträger eingeschossen und mit dem heißgeprägten Layout verlötet.



Bild 6: Komplette Heißpräge-MID-Baugruppe

An aufgebauten Prototypen der MID-Baugruppe wurden die folgenden Umweltprüfungen zur Qualifikation für den Einsatz im Kfz-Innenraum durchgeführt:

- Lebensdauer-Test
- Lagertemperatur
- Tieftemperaturdauerlauf
- Hochtemperaturlauf
- Temperaturwechsel (Schock)
- Feuchte-Wärme konstant
- Feuchte-Wärme zyklisch
- Schadgas
- Mechanischer Schock mit Feuchte-Wärme (30 g)
- Mechanischer Schock mit Feuchte-Wärme (bis 85 g)

Bei allen Tests wurde kein Ausfall einer MID-Baugruppe festgestellt. Die Ergebnisse erfüllen somit alle die Anforderungen einer Baugruppe im Kfz-Innenraum. Selbst nach der extrem hohen mechanischen Schockbelastung bis 85 g nach der zyklischen Feuchte-Wärme-Lagerung, die deutlich über der geforderten Belastung von 30 g lag, war die Haftfestigkeit der Leiterbahnen innerhalb der Spezifikationen. Die Lotverbindungen zeigen keine Degradation und sind homogen ausgebildet. Die Lotspalte sind ausreichend mit Lot gefüllt. Eine Delamination der heißgeprägten Leiterbahn vom Substrat konnte nicht festgestellt werden.

Somit konnte gezeigt werden, dass bleifreie Lotverbindungen auf Heißpräge-MID-Baugruppen für die vorgesehene Anwendung im Kfz-Innenraum vollkommen genügen. Die geforderte Bleifreiheit in elektronischen Komponenten kann dementsprechend schon heute auch durch die innovative Heißprägetechnik in Kombination mit bleifreien Loten und Oberflächen realisiert werden.

Kontaktperson:  
Dipl.-Ing. (FH) Carsten Pein  
Tel.: ++49(0)711/121-3729  
E-mail: pein@hsg-imat.de

# Flipchip-Klebeteknik auf MID

U. Keßler

## Einleitung

Der anhaltende Trend hin zu miniaturisierten Systemen verlangt nach neuen Lösungen für die Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) von Nacktchips. MEMS und MOEMS benötigen geeignete Substrate und Gehäuse mit entsprechenden Schnittstellen zu angrenzenden Systemkomponenten und zu ihrer Umgebung. MIDs bieten dabei durch ihre einzigartige Flexibilität bei der Formgestaltung nicht nur die Möglichkeit zur Verringerung der Bauteilanzahl, sondern auch zur weiteren Reduzierung des Bau-raums. Komponenten wie Membranen, fluidische Kanäle, optische Fenster oder mechanische Elemente können als Teil des Leitungsträgers bzw. des Gehäuses direkt integriert werden.

Werden in einem System ICs eingesetzt, so führt die Idee der höheren Integration und Miniaturisierung automatisch weg von der Verwendung gehäuseter Bauelemente und hin zur Montage von Nacktchips (Chip-on-MID).

Im Gegensatz zu drahtgebundenen Chips bieten Flipchips dabei einige interessante Vorzüge. Besonders die kurzen Montagezeiten durch parallelisiertes Kontaktieren beim Bestücken und der deutlich geringere Platzbedarf stechen hervor.

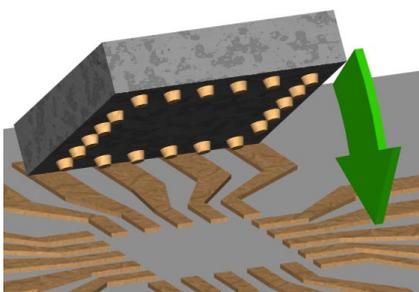


Bild 1: Prinzipskizze Flipchip-Technik

Natürlich ergeben sich bei der AVT von Flipchips auf MID im Gegensatz zur Montage auf herkömmlichen PCB oder Keramikleitungsträgern veränderte Randbedingungen, Problemstellungen und Anforderungen. Aus diesem Grund werden am HSG-IMAT intensive Forschungen auf dem Gebiet der Nacktchipmontage auf spritzgegossenen Leitungsträgern betrieben.

## Substrate

Grundsätzlich eignen sich sowohl ganzflächig metallisierte und anschließend laserablativ strukturierte Substrate als auch laserdirektstrukturierte (LDS; Verfahren entwickelt von LPKF Laser&Electronics AG, Garbsen) Leitungsträger genauso wie in 2K-Technik hergestellte Bauteile (Bild 2) zur Flipchipbestückung.

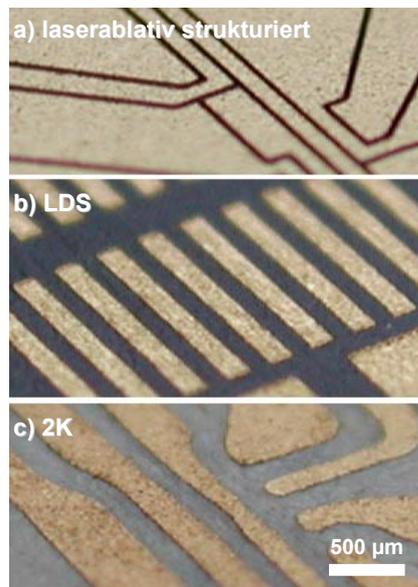


Bild 2: MID-Oberflächen

Die Auswahl des Verfahrens hängt dann neben bauteilspezifischen Faktoren wie Stückzahl, Abmessungen und Geometrie vor allem vom Leiterbahn- bzw. Kontaktpadabstand und vom gewünschten

Einsatztemperaturbereich ab.

Die Zuverlässigkeit der Verbindungen wird maßgeblich von den unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten  $c_{TE}$  von Substrat und Siliziumchip beeinflusst. Durch Temperaturwechselbeanspruchung kommt es zu Spannungen an den Verbindungsstellen, welche auf Dauer zum Versagen führen können.

Die Untersuchungen zeigen, dass für laserablativ strukturierte und 2K-Substrate die derzeit besten Ergebnisse mit glasfasergefülltem LCP zu erreichen sind. Über Veränderung des Glasfaseranteils kann der  $c_{TE}$  in gewissen Grenzen variiert und den Anforderungen angepasst werden.

Die bekannten LDS-Werkstoffe, wie z. B. PBT-MID, PA6/6T-MID, aber auch LCP-MID, besitzen alle einen  $c_{TE}$  der sogar noch höher als der von gefülltem LCP ist, weshalb die Flipchipbestückung hier besonders kritisch ist. Bild 3 zeigt die  $c_{TE}$  einiger untersuchter Substrate.

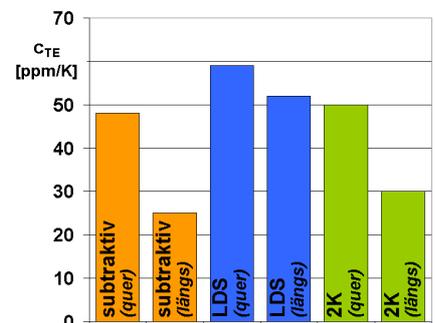


Bild 3:  $c_{TE}$  verschiedener Testsubstrate

## Klebeteknik

Auf herkömmlichen Leitungsträgern werden Flipchips größtenteils durch Löten kontaktiert, für MID bieten Klebprozesse aber den Vorteil eines bleifreien no-clean Verfah-

rens, welches bei vergleichsweise geringen Temperaturen angewendet werden kann und für das keine, auf 3D-Bauteilen aufwändig aufzubringende, Lötstopmmaske erforderlich ist.

Für das Kleben gibt es viele unterschiedliche Ansätze. Neben Nischenlösungen beispielsweise mit UV-aktiven Klebstoffen sind vor allem thermisch aushärtende Klebstoffe von wirtschaftlicher Bedeutung.

Am HSG-IMAT werden vor allem die beiden für den Einsatz auf MID-Substraten am besten geeigneten Wirkprinzipien untersucht:

*Kleben mit isotrop leitfähigem Klebstoff (isotropic conductive adhesive ICA).* ICA besteht aus einer Klebstoffmatrix die bis zu 70% mit elektrisch leitfähigen Partikeln gefüllt ist. Er wird direkt an den Kontaktstellen zwischen Chip und Leiterbahn aufgebracht und gewährleistet die elektrische Leitung. Zur Verbesserung der mechanischen Festigkeit wird ein nicht leitender, niedrigviskoser Klebstoff, ein sogenannter Underfiller, eingebracht (Bild 4).

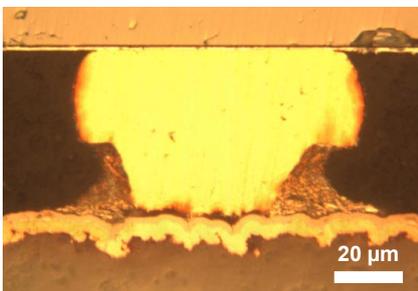


Bild 4: ICA-Kleben. Flipchip mit Au-Stud auf chemisch außenstromlos metallisiertem LCP.

*Kleben mit nicht leitendem Klebstoff (nonconductive adhesive, NCA).* NCA wird ganzflächig unter dem Flipchip aufgebracht und sorgt

durch Schrumpfung während des Aushärtens für eine anhaltende Zugkraft zwischen Chip und Substrat, wodurch die elektrische Verbindung allein durch direkten Kontakt aufrechterhalten bleibt (Bild 5).

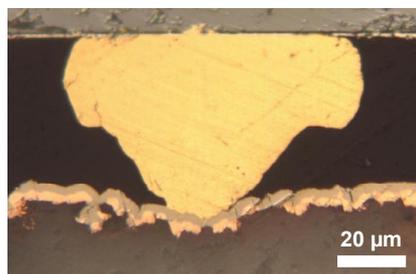


Bild 5: Kleben mit NCA.

Während durch die Verwendung von ICA kleinere Unregelmäßigkeiten an Chipkontakt und Leiterbahnoberfläche ausgeglichen werden können und außerdem die taktzeitunabhängige Aushärtung im Ofen möglich ist, bietet das Kleben mit NCA einen einfachen, aus wenigen Schritten bestehenden Prozess mit hoher Kurzschlussicherheit auch bei kleinsten Kontaktabständen.

Die bisherigen ersten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Zuverlässigkeit von NCA-Verbindungen höher ist als die von Verbindungen mit ICA.

#### MID-Studs

Eine spannende neue Variante zur Montage von Flipchips auf MID ist die Verwendung von spritzgeossenen Polymerstuds (Bild 6). Bei der Montage mit NCA ist es wichtig, dass die Höhe des Klebespaltes zwischen Chip und Substratoberfläche richtig gewählt wird. Das hängt sowohl vom verwendeten Klebstoff, als auch von den Aushärtebedingungen ab. Bei den Au-Studs wird der Klebespalt durch die Höhe der Kontaktstuds am Chip vorgegeben und ist somit nicht variabel.

Mit Polymerstuds, die bereits beim Spritzgießen des Bauteils erzeugt werden, lässt sich der Klebespalt anwendungsspezifisch in einem weiten Bereich einstellen.

Außerdem können die teureren Au-Studkontakte am Chip entweder durch billigere Ni/Au-Bumps ersetzt werden oder sogar gänzlich zu Gunsten einer veredelten Kontaktpadoberfläche entfallen.

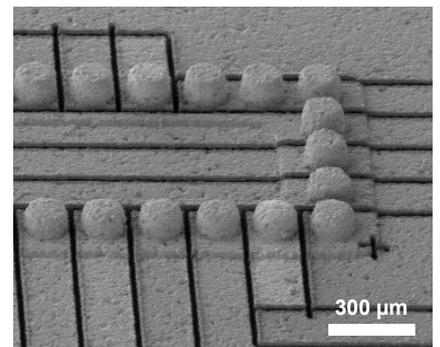


Bild 6: Metallisiertes und laserablativ strukturiertes Substrat mit angespritzten Polymerstuds.

Erste sehr gute Ergebnisse konnten in Zuverlässigkeitsuntersuchungen bereits erzielt werden.

Dieses Forschungsprojekt (AiF-Vorhaben-Nr. 13258N) wird aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert.

---

Kontaktperson:  
Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kück  
Tel.: ++49(0)711/121-3710  
E-mail: kueck@hsg-imat.de

---

# Touch-Sensorik für ein interaktives Braille-Display

M. Schubert

## Einleitung

Blinde und stark sehbehinderte Menschen sind in der Lage, Texte, die in Braille-Schrift dargestellt sind, zu lesen, indem sie mit ihren Fingerkuppen ein Muster aus 2 x 4 Punkten einzelner Braille-Module (Bild 1) erfassen. Diese Module werden aneinandergereiht und zu Braille-Zeilen zusammengefügt.



Bild 1: 8-Punkt-Modul

Die Weiterentwicklung der elektronischen Lesehilfen für Blinde zielt auf interaktiv nutzbare Displays ab. Mit der funktionalen Erweiterung eines Braille-Moduls auf 10 Punkte, einer integrierten Touch-Sensorik für interaktives Arbeiten und der geplanten Array-Fähigkeit solcher 10er-Module (Bild 2) soll die zweidimensionale Darstellung einer taktilen und sensorischen Fläche, eines so genannten Braille-Displays, erreicht werden. Damit wird blinden Menschen das Erfassen graphischer Informationen und die Bedienung von Funktionen wie bei einem heute üblichen PC ermöglicht. Der bei der Windows-Technik übliche Mausklick soll mit einer kapazitiven Touch-Sensor-Funktion realisiert werden, die in die Punktanzeige integriert ist.

## Antrieb und Getriebe

Bei den derzeitigen 8-Punkt-Modulen (Bild 1) sind die Piezoantriebe seitlich herausgeführt und bewegen die Braille-Stifte bei Ansteuerung der Piezos nach oben. Sie sind allerdings nur zum Einbau für eine reihenförmige Anordnung in einer

Braille-Zeile geeignet. Für die Anordnung der 10er-Module in einem zweidimensionalen Braille-Display ist der Einbau der Piezoantriebe für die Stifte jedoch in Längsrichtung vorzusehen. Dies erfordert ein Getriebe, um die Bewegungsrichtung der Piezos auf die Stifte umzulenken.

## 10er-Modul-Gehäuse

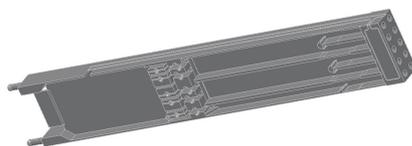


Bild 2: Laser-MID für das 10er-Modul

Das so genannte 10er-Modul (Bild 2) dient zur Aufnahme der 10 Braille-Stifte, der dafür notwendigen Antriebe und Getriebe, sowie einem Hochvolt-Chip zur Ansteuerung der Piezos und einem Niedervolt-Chip für die Logik- und Sensorfunktionen des Moduls. Die kapazitive Touch-Sensorik für die interaktive Bedienung befindet sich an der Stirnseite, an der auch die Braille-Stifte aus dem Gehäuse ragen. Um den komplexen Aufbau zu realisieren, soll das 10er-Modul mit einem MID aufgebaut werden, welches in Laser-MID-Technik ausgeführt wird. Hier kommt das voll subtraktive Verfahren zum Einsatz. Das MID wird aus LCP Vectra gespritzt und anschließend mit Kupfer, Nickel und Gold komplett metallisiert. Die Strukturierung der ca. 10 µm dicken Metallschicht erfolgt gemäß des Leiterbahnbildes durch Laserablation mit einem UV-Laser.

An die Konstruktion des 10er-Moduls werden hohe Anforderungen gestellt, da zwischen Formgebung, Spritzgießen und Laserstrukturierung des Moduls eine genaue Abstimmung erforderlich ist.

## Touch-Sensorik

Die Realisierung der Touch-Sensor-Funktion erfolgt über eine kapazitive Sensorstruktur (Bild 3), wobei die Annäherung des Fingers an den Sensor bzw. Berührung in Form einer Kapazitätsänderung einer Elektrodenstruktur gegenüber einer Referenzkapazität in einem ASIC detektiert werden soll.

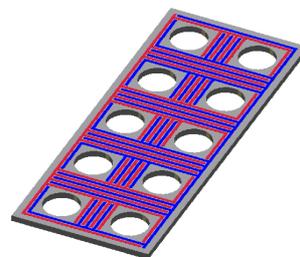


Bild 3: Kapazitive Sensorstruktur

Die aus der Sensoroberfläche herausragenden Braille-Stifte sowie eine notwendige Schutzschicht, welche den direkten Kontakt zwischen Finger und metallisierter Oberfläche verhindert, reduzieren jedoch die Kapazitätsänderung.

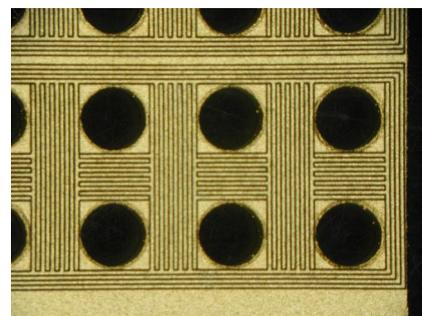


Bild 4: Sensor in Laser-MID-Technik

Bei der Auslegung der Kapazität der Sensorstruktur werden kammartige Strukturen verwendet (Bild 4), da der angestrebte Kapazitätsbereich (5 - 30 pF) leicht durch Variation der Abstände und Breiten der Kämmen erreicht werden kann. Die Struktur konnte mit Simulationen noch optimiert werden, wobei das Ziel eine

bestimmte Grundkapazität war, damit sich trotz parasitärer Kapazitäten eine hinreichend große Kapazitätsänderung ergibt. Die maximal zur Verfügung stehende Fläche beträgt  $12,5 \times 5 \text{ mm}^2$ , wobei sich die mit dem Finger aktivierbare Sensorfläche noch um die einzuhaltenden Toleranzen und die Bohrungen für die Stifte reduziert.

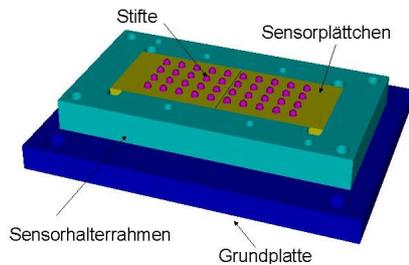


Bild 5: Mechanischer Aufbau

Um verschiedene Sensorstrukturen zu untersuchen, wurde ein Testsystem (Bild 6) entwickelt und aufgebaut, welches die messbaren Kapazitätsänderungen von 4 Sensoren in Form von Spannungen ausgibt. Die Sensorplättchen sind bereits in Laser-MID-Technik hergestellt, wie sie später für das 10er-Moul eingesetzt wird.

Das System ist auf einer Waage montiert, um die Fingerkraft beim Lesen oder Aktivieren eines Sensors aufzuzeichnen. Weiterhin ist zur Abstandsmessung eine Lasertriangulationsoptik im Einsatz, mit deren Hilfe der Abstand des Fingers über der Sensorfläche erfasst und so die Änderung der Kapazität bei Fingerannäherung gemessen werden kann. Der mechanische Aufbau (Bild 5) erlaubt die Variation der Stiftheöhe von 0 bis 0,8 mm.

Die Erfassung und Auswertung der Messwerte erfolgen am PC über eine Messwerterfassungskarte mittels TestPoint.

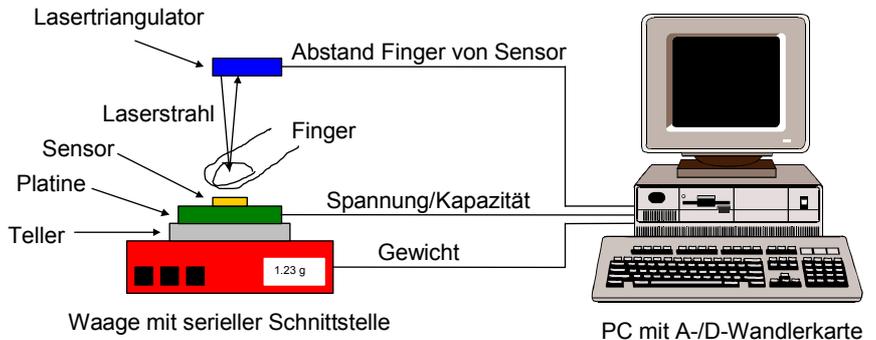


Bild 6: Testsystem

### Messergebnisse

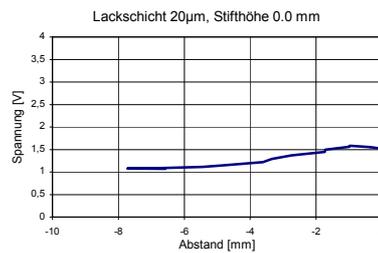


Bild 7: Fingerannäherung

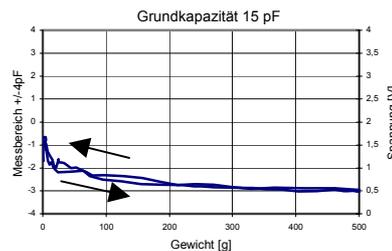


Bild 8: Fingerberührung

Bild 7 zeigt den Verlauf der Spannung bzw. Kapazitätserhöhung bei Fingerannäherung. Mit abnehmendem Abstand vergrößert sich die Kapazität, da der Finger als Dielektrikum wirkt. Im Moment der Berührung sinkt die Kapazität (Bild 8). Je stärker der Finger auf den Sensor drückt, desto mehr Fläche bedeckt er und die Kapazität nimmt weiter ab. Beim Loslassen erhöht sich die Kapazität wieder und nimmt den ursprünglichen Wert der Grundkapazität ein.

Bild 9 zeigt den Spannungsverlauf bei der Funktion "Mausklick". Die Schwelle bei 1 V wird bei jedem Mausclick deutlich unter- und wieder überschritten. Dem Einfluss der Fingerfeuchte, der hier als Drift erkennbar ist, kann durch geeignete Signalverarbeitungsalgorithmen entgegengewirkt werden.

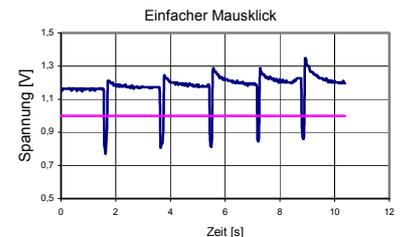


Bild 9: Spannungsverlauf beim Klicken

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass kammartige Sensorstrukturen (Bild 4) mit Grundkapazitäten im Bereich von 15 pF mit eindeutigen Kapazitätsänderungen von 10 - 15% für die Detektion von Mausclicks sehr gut geeignet sind.

Kontaktperson:  
 Dr.-Ing. Manfred Schubert  
 Tel.: ++49 (0)711/121-3718  
 E-mail: schubert@hsg-imat.de

# Prozesskontrolle beim Heißprägeprozess

C. Pein, W. Eberhardt

## Einleitung

Der Heißprägeprozess ist ein kostengünstiges Verfahren zur Herstellung von MID und wird in zunehmendem Maße insbesondere zur Fertigung von mechatronischen Baugruppen im Kfz-Bereich eingesetzt. Für eine zuverlässige Fertigung von Heißpräge-MID ist somit die Verfügbarkeit einer Prozesskontrolle beim Fertigungsprozess von entscheidender Bedeutung, so dass über eine große Stückzahl von Baugruppen eine gleich bleibende Qualität garantiert werden kann.

Das Prägergebnis wird durch folgende Kriterien beschrieben:

- Vollständiger Folienschnitt
- Optimale Restfolienentfernung
- Hohe Haftfestigkeit der Leiterbahnen
- Reproduzierbar geringe Prägewulsthöhe

Die Qualität des Folienschnitts wird von den mechanischen Eigenschaften der Prägefolie bestimmt. Über das Spannungs-Dehnungsverhalten der Folie kann die Heißprägefolie klassifiziert werden. Optimale Entfernbareit der Restfolie ist hauptsächlich von der Ausführung des Schaltungslayouts, den Eigenschaften des Thermoplasten sowie den Prägeparametern abhängig. Der Prägewulst entsteht durch Verdrängung von geschmolzenem Kunststoff unter der Leiterbahn. Die Höhe des Prägewulstes kann weitere Fertigungsschritte der MID-Baugruppe (z. B. Bestückung mit SMD-Bauteilen) beeinflussen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass ein geringer Prägewulst im Bereich von 20  $\mu\text{m}$  die aufschmel-

zende Lotpaste "kanalisiert" und eine Brückenbildung des Lotes bei kleinen Padabständen verhindert. Ein geringer Prägewulst ist also durchaus wünschenswert. Zu hohe Prägewulste führen jedoch dazu, dass bei kleinen SMD-Bauteilen und Chip-Widerständen der Baugröße 0603 ein "Grabstein-Effekt" (Tombstone-Effekt) unterstützt wird (Bild 1). Somit darf eine bestimmte Höhe der Prägewulste nicht überschritten werden.

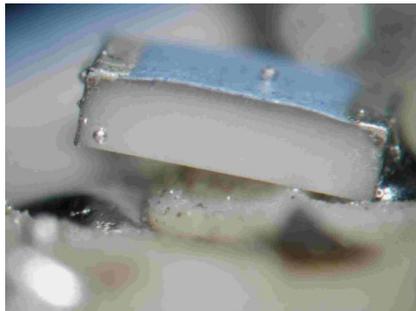


Bild 1: Grabsteineffekt bei zu hohen Prägewulsten

Die Prägewulsthöhe hat somit entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Prägung und kann während der Fertigung überwacht werden.

## Prozessüberwachung

Zur Überwachung des Heißprägeprozesses bieten sich verschiedene Möglichkeiten:

- Überwachung der Prägeparameter mit entsprechenden Toleranzfeldern
- Überwachung des Arbeitsintegrals

Durch die Überwachung der Prägeparameter bzw. durch die Angabe von Toleranzfeldern ist eine Doku-

mentation des Prägeprozesses möglich. Eine Aussage über die Qualität während der Prägung kann jedoch nicht getroffen werden.

In Bild 2 ist der Kraft-Weg-Verlauf von 15 Prägungen dargestellt.

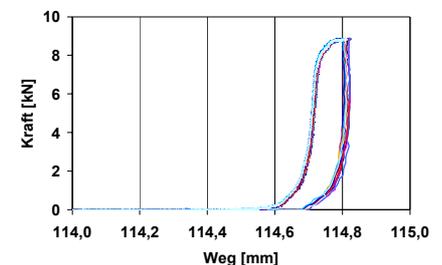


Bild 2: Kraft-Weg Verlauf beim Heißprägeprozess

Man erkennt deutlich, dass der Kraftanstieg sehr steil erfolgt und der Stempel hierbei nur einen geringen Weg zurücklegt. Mit Erreichen der Maximalkraft dringt der Stempel in den Thermoplast ein. Anschließend geht der Stempel in den Rückhub.

Das Arbeitsintegral entspricht der mechanischen Energie, die beim Prägevorgang in den Kunststoff eingetragen wird. Nach kontinuierlicher Aufzeichnung während des Prägeprozesses können die Kraft-, Weg-, und Zeitdaten des Heißprägeprozesses ausgewertet werden. Aus Kraft- und Wegdaten kann dann das Arbeitsintegral gebildet werden.

Je tiefer der Stempel in den Kunststoff eindringt, umso größer ist der Wert des Arbeitsintegrals. Jede Veränderung der Prägeparameter (Prägetemperatur, Haltezeit bzw. Prägekraft) führt zu unterschiedlichen Werten des Arbeitsintegrals.

Auswertungen von Arbeitsintegralen und Prägewulsthöhen haben gezeigt, dass eine Korrelation zwischen Prägewulsthöhe und Arbeitsintegral besteht (Bild 3).

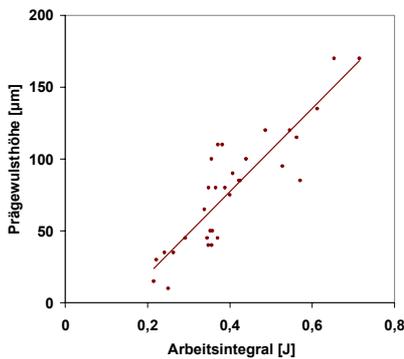


Bild 3: Korrelation zwischen Arbeitsintegral und Prägewulsthöhe

Für einen konstanten Wert des Arbeitsintegrals müssen die Prägeparameter exakt eingehalten werden. Der Einfluss der Stempeltemperatur und der Heizungsregelung wurde hierfür in einem Dauerzyklentest untersucht (Bild 4).

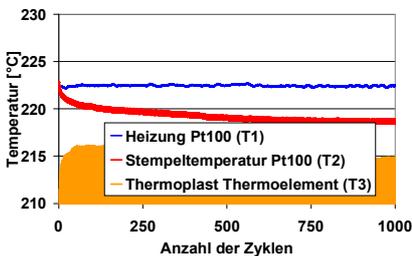


Bild 4: Temperaturverlauf mit nicht optimierter Stempelheizung

Versuche im Dauerzyklentest zeigen deutlich die Temperaturdrift der Stempeltemperatur gegenüber der Heizungstemperatur. Die Regelung erfolgt nur über einen Pt100-Fühler in der Heizung. Die Differenz zwischen Soll-Temperatur und Ist-Temperatur des Prägestempels

beträgt nach 500 Zyklen 4 K und verläuft danach weitgehend stabil. Die Verringerung der Stempeltemperatur hat zur Folge, dass die Haftfestigkeit um ca. 20% reduziert wird, der Prägewulst aber nur geringfügig niedriger ausfällt. Für einen stabilen Heißprägeprozess und eine gleichbleibende Qualität des Prägeergebnisses ist somit eine genaue Temperaturregelung der Stempeltemperatur notwendig. In Bild 5 ist ein Dauerzyklentest mit optimierter Temperaturregelung dargestellt.

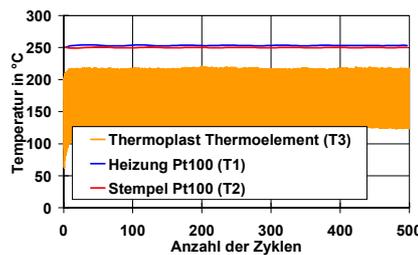


Bild 5: Temperaturverlauf mit optimierter Stempelheizung

Die Regelung erfolgt über je einen Pt100-Temperaturfühler im Stempel und in der Heizung. Bild 5 zeigt, dass die Temperatur im Stempel nur um 1 K variiert und somit als quasi konstant angesehen werden kann.

Mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung lassen sich die Auswirkungen der Einflussgrößen auf den Prägeprozess untersuchen. Die statistische Versuchsplanung ermöglicht es, signifikante Einflussgrößen durch eine relativ geringe Anzahl an Versuchsreihen zu ermitteln. Der Vergleich von signifikanten Einflussgrößen zeigt, dass die Stempeltemperatur im untersuchten Bereich den größten Einfluss auf das Prägeergebnis hat. In Bild 6 sind die durch die statistische Ver-

suchsplanung ermittelten Koeffizienten einzelner Parameter graphisch dargestellt.

#### Arbeitsintegral von 265°C bis 275°C

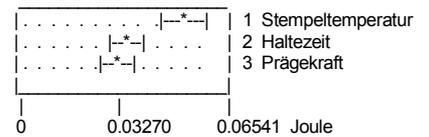


Bild 6: Einflussgrößen auf das Arbeitsintegral

Unter der Voraussetzung, dass die Stempeltemperatur konstant ist, lässt sich das Arbeitsintegral durch Variation der Haltezeit oder Prägekraft regeln. Somit kann der Prägeprozess direkt über das Arbeitsintegral geregelt werden. Gleichzeitig ist eine Aussage über die Qualität des Prägeergebnisses (Prägewulsthöhe) möglich. Die Toleranzgrenzen des Arbeitsintegrals und der Prägewulsthöhen müssen für jeden Kunststoff ermittelt werden.

Die Erfassung und Auswertung des Arbeitsintegrals während des Prägeprozesses ermöglicht somit eine Prozesskontrolle über eine große Anzahl von Baugruppen.

Kontaktperson:  
Dipl.-Ing. (FH) Carsten Pein  
Tel.: ++49(0)711/121-3729  
E-mail: pein@hsg-imat.de

# UV-Laserstrukturierung von 3D-MID

D. Ahrendt

## Einleitung

Ein großer Vorteil der MID-Technik liegt in der Möglichkeit, durch Kunststoffspritzguss fast beliebige Bauteilgeometrien einfach realisieren zu können. Die Laserstrukturierung ist das Verfahren der Wahl, wenn auf diesen Geometrien ein 3D-Leiterbahnbild mit feinsten Strukturbreiten zu erzeugen ist. Unabhängig davon, ob das additive Verfahren der Laser-Direkt-Strukturierung (LDS) oder ein subtraktives Verfahren (Laserablation) angewendet wird, besitzt die Laserstrukturierung gegenüber anderen Verfahren der MID-Technik entscheidende Vorteile:

- Die Übertragung des Layouts auf die Bauteiloberfläche erfolgt kraft- und berührungslos.
- Die der Laserstrukturierung eigene Flexibilität bei Änderungen des Layouts ermöglicht auch eine einfache Anpassung an eine geänderte Bauteilgeometrie.
- Die Herstellung feinsten Strukturen ist auch auf Freiformflächen und steilen Flanken möglich.

Im Folgenden werden Herangehensweise, Besonderheiten und Möglichkeiten bei der Laserstrukturierung von 3D-MIDs vorgestellt.

## Aufbereitung der Laserdaten und Strukturierung mit einer Zustellung

Bei der am HSG-IMAT eingesetzten Laseranlage wird das Bauteil mittels 5 mechanischer Achsen positioniert. Ein 3-Achsen-Scanner führt den Laserfokus innerhalb eines Scanvolumens von  $60 \times 60 \times 12 \text{ mm}^3$  über die Bauteiloberfläche. Die Strukturierung erfolgt wegen der höheren Absorption der meisten Werkstoffe

im UV-Bereich mit einem Laser der Wellenlänge  $\lambda=355 \text{ nm}$ . Bei der subtraktiven Strukturierung entsteht ein Isolationsgraben mit der Breite des Laserfokus. Eine größere Isolationsbreite, entsprechend der Strukturierung in Bild 1, lässt sich durch ein mehrmaliges, um einen Pitch versetztes Strukturieren (Füllen) realisieren.

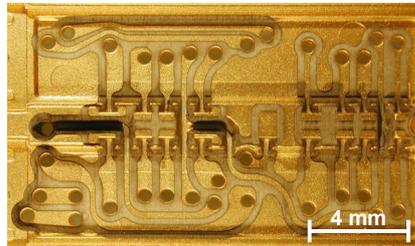


Bild 1: Subtraktive Strukturierung eines 3D-MIDs

Bei der Aufbereitung der Laserdaten vor der Strukturierung müssen daher die zu strukturierenden Bereiche zuerst gefüllt werden. In einem zweiten Schritt wird das gefüllte Leiterbahnbild auf die Oberfläche eines 3D-Volumenmodells des Bauteils projiziert. Dies ergänzt das Bild um eine Z-Koordinate, welche bei der nachfolgenden Laserstrukturierung für ein exaktes Nachführen des Laserfokus über die Oberfläche benötigt wird.

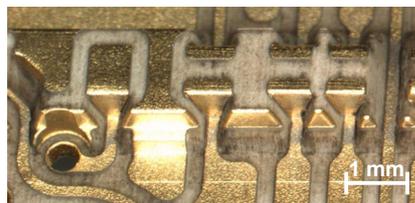


Bild 2: Leiterbahnen zwischen Pads auf unterschiedlichen Ebenen

Im einfachsten Fall kann die Laserstrukturierung des gesamten Leiterbahnbilds in einer Zustellung, das heißt durch Abscannen ohne Veränderung der Bauteilausrichtung, durchgeführt werden. Bild 2 zeigt ein laserstrukturiertes Bauteil, bei

dem Pads auf unterschiedlichen Ebenen über Leiterbahnen verbunden sind. Für die zuverlässige Ablation einer Metallschicht darf der Einfallswinkel des Laserstrahls auf der Oberfläche einen maximalen Wert nicht überschreiten.

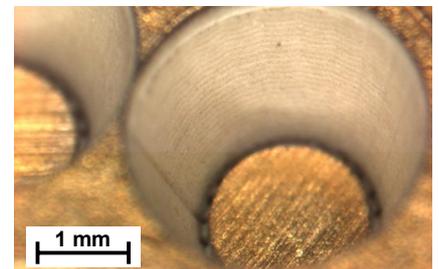


Bild 3: Subtraktive Strukturierung einer konischen Vertiefung

Dünneste Metallschichten konnten, wie in Bild 3 erkennbar ist, unter einem Einfallswinkel von über  $65^\circ$  ablatiert werden.

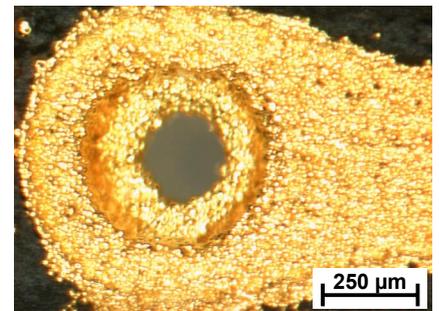


Bild 4: Durchkontaktierung in LCP Vectra E820i-LDS

Bei der Laser-Direkt-Strukturierung lassen sich noch Flächen unter einem Winkel von über  $70^\circ$  aktivieren. Bild 4 zeigt eine Durchkontaktierung in LCP Vectra E820i-LDS, die durch Laseraktivierung der Seitenwände einer mechanisch erzeugten Bohrung realisiert wurde.

## Strukturierung mit mehreren Zustellungen

Leiterbahnen, die über eine rechtwinklige Kante geführt werden, erfordern u. U. eine mehrfache me-

chanische Zustellung des Bauteils während der Strukturierung des Leiterbahnbilds. Das Leiterbahnbild muss dabei in zwei oder mehrere Teilbilder aufgeteilt werden.

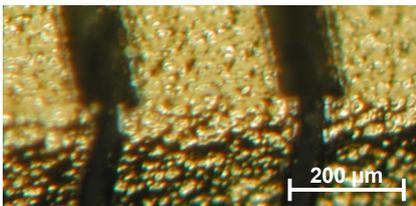


Bild 5: Subtraktive Strukturierung über eine Kante

Formtoleranzen der zu strukturierenden Bauteile sowie Lagetoleranzen nach dem Einlegen in die Bauteilaufnahme und nach der Positionierung müssen dabei besonders berücksichtigt werden. Bild 5 zeigt eine subtraktive Strukturierung über eine 90°-Kante. Zum Ausgleich der Toleranzen wurde die Isolation auf einer Fläche breiter ausgeführt.

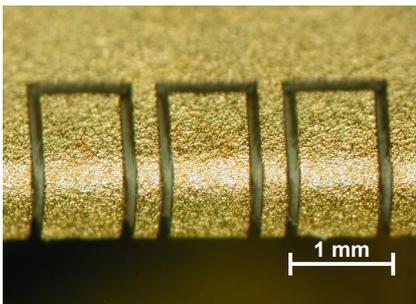


Bild 6: Subtraktive Strukturierung um eine Kante

Bei der 180°-Strukturierung um eine Kante in Bild 6 wurde die Isolation aller drei Teilbilder auf 100 µm verbreitert.

Beim LDS-Verfahren steht für den Ausgleich etwaiger Form- und Lagetoleranzen theoretisch die gesamte Leiterbahnbreite zur Verfügung. Bild 7 zeigt eine Strukturierung nach dem LDS-Verfahren, welche mit der subtraktiven Strukturierung in Bild 6 vergleichbar ist.

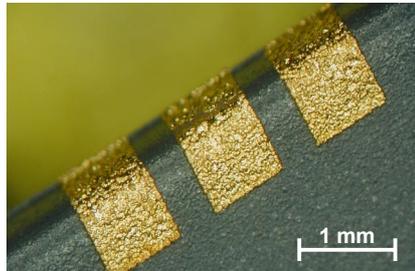


Bild 7: Im LDS-Verfahren erzeugte Leiterbahn um eine Kante (PBT-MID)

### Laser-Direkt-Strukturierung von feinsten 3D-Leiterbahnen mit einem UV-Laser

Anhand der folgenden Bilder soll das Potenzial der 3D-Laserstrukturierung von MIDs mit dem UV-Laser verdeutlicht werden. Es handelt sich um ein Bauteil aus laseraktivierbarem LCP Vectra E820i-LDS. Durch Laser-Direkt-Strukturierung wird über beide Seiten eines Steges jeweils eine feine Leiterbahn geführt.

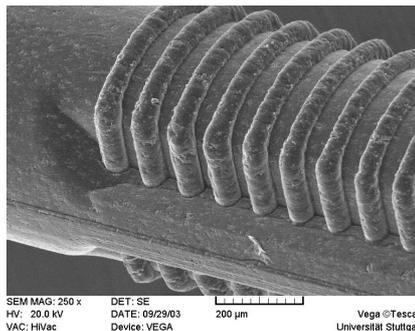


Bild 8: 3D-MID nach Spritzguss

Dies erfordert für das gesamte Bauteil vier einzelne Teilstrukturierungen. Bild 8 zeigt das spritzgegossene Bauteil mit dem Steg und einer beidseitigen Rippenstruktur. Auf die Herstellung der Rippenstruktur in der Spritzgussform mittels elektrochemischen Fräsens wird im Beitrag zur Endbearbeitung von Formeinsätzen für den Mikrospritzguss mittels ECF (Seite 16) weiter eingegangen. In Bild 9 ist das MID nach der Laserstrukturierung dargestellt.

Dabei wird der Kunststoff abgetragen, aufgeraut und die Oberfläche für die nachfolgende außenstromlose Metallisierung aktiviert.

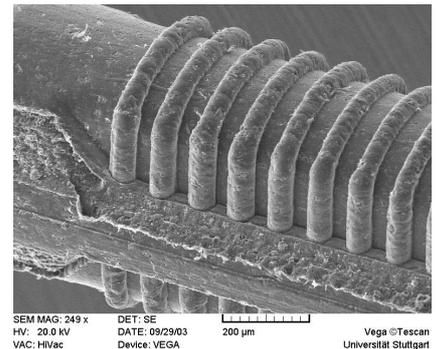


Bild 9: 3D-MID nach Laseraktivierung

Bild 10 zeigt das Bauteil nach der außenstromlosen Metallisierung mit Kupfer, Nickel und Gold. Die Leiterbahnbreite beträgt ca. 40 µm.

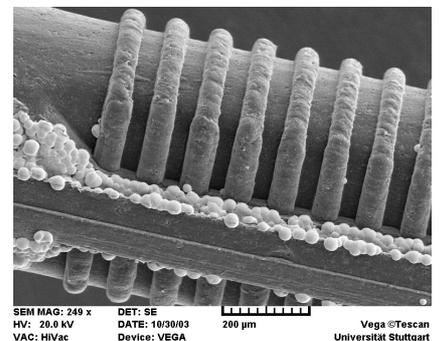


Bild 10: 3D-MID nach Metallisierung mit Cu/Ni/Au

Die Beispiele zeigen eindrucksvoll das Potenzial der Laser-Direkt-Strukturierung und der Ablation für verschiedenste 3D-Geometrien. Damit stehen universell einsetzbare Werkzeuge für die Herstellung von geometrisch komplexen Trägersubstraten bzw. Gehäusen zur Verfügung.

Kontaktperson:

Dipl.-Ing. Dirk Ahrendt

Tel.: ++49 (711)121-3729

E-mail: [ahrendt@izfm.uni-stuttgart.de](mailto:ahrendt@izfm.uni-stuttgart.de)

# Studie zu einem Neigungssensor mit Pendel in MID-Technik

D. Benz, D. Warkentin

## Einleitung

Sensoren zur Ermittlung der Neigung können für eine Vielzahl von Anwendungen in den Bereichen Automobilbau, Automatisierungstechnik, Konsumertechnik und Forschung eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind die räumliche Lagerfassung bei intelligenten Feststellbremssystemen von Kraftfahrzeugen oder bei Werkzeugträgern in Werkzeugmaschinen und Industrierobotern. Die MID-Technik bietet in Verbindung mit der Mikropräzisions-spritzgusstechnik die Möglichkeit, Neigungssensoren in großen Stückzahlen kostengünstig herzustellen.

## Differenzial-Kondensator-Anordnung

Das Wirkprinzip des Sensors dieser Studie beruht auf der Kapazitätsänderung einer neigungsabhängigen Differenzialkondensatoranordnung. Der Sensor kann - wie in Bild 1 schematisch dargestellt - aus 3 Bauteilen hergestellt werden: einem Pendel und zwei Gehäusehälften. In den beiden Gehäusehälften sind jeweils mindestens zwei kreisabschnittsförmige Elektroden, die zusammen mit dem Pendel zwei veränderliche Kapazitäten bilden. Die Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  hängen von der Größe der Überschneidung von Gehäuseelektroden und Pendel ab (siehe Bild 2). Die beiden Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  sind bei horizontaler Lage des Gehäuses gleich groß. Bei Neigung des Gehäuses bezüglich der Horizontalen behält das Pendel aufgrund der Gravitationskraft seine ursprüngliche Lage bei. Dabei verändern sich die Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  gegensinnig zueinander. Die Kapazitätsdifferenz ist somit ein Maß für die Neigung und kann durch eine Kapazitätszu-

Spannungs-Wandler-Elektronik, wie sie z. B. auch bei Beschleunigungssensoren verwendet wird, in ein zur Neigung äquivalentes Spannungssignal gewandelt werden. Eine solche Elektronik könnte z. B. in Form eines ASICs platzsparend mit in dem Gehäuse aufgebaut werden.

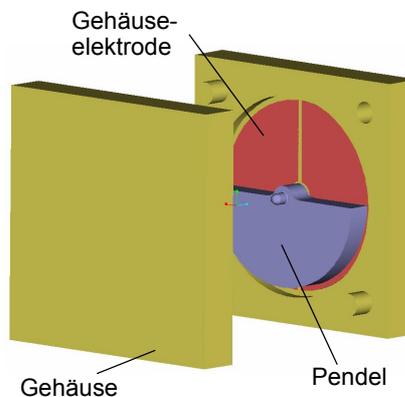


Bild 1: Wirkprinzip des Neigungssensors

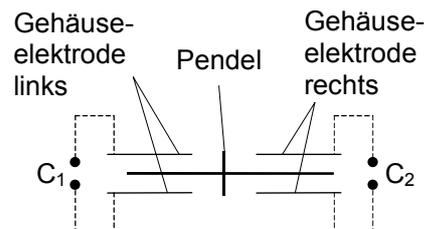


Bild 2: Kontaktierung der Elektroden

## Aufbau des Demonstrators

Für erste Untersuchungen des beschriebenen Konzepts wurde ein feinmechanischer Demonstrator gefertigt. Die Abmessungen ( $l \times h \times b$ ) des Demonstrators betragen  $32 \times 32 \times 15 \text{ mm}^3$ . Der Messbereich des Demonstrators beträgt  $\pm 180^\circ$ . Der Spaltabstand zwischen Gehäuse- und Pendelelektroden liegt bei  $50 \mu\text{m}$ . Der schematische Aufbau ist in Bild 3 dargestellt.

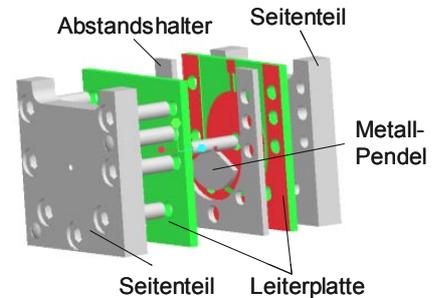


Bild 3: Schematischer Aufbau des feinmechanischen Demonstrators

## Bauteile des Demonstrators

Das Kernelement des Demonstrators ist das Pendel, welches aus Messing gefertigt wurde. Die Form des Pendels entspricht einem Kreisabschnitt mit  $120^\circ$ . Diese ergab sich aus der Anordnung von jeweils 3 Gegenelektroden auf den Gehäuseseiten. In der Drehachse des Pendels ist an jedem Ende ein Stahlstift mit jeweils  $200 \mu\text{m}$  Durchmesser als Lagerzapfen eingesetzt.

Das Gehäuse des Demonstrators besteht aus mehreren Bauteilen. Die Elektrodenstruktur wurde auf einem handelsüblichen kupferbeschichteten FR4-Substrat hergestellt. Um einen Messbereich von  $\pm 180^\circ$  zu erreichen, wurde die Elektrodenstruktur einer Leiterplatte in 3 drittelkreisförmige Teilelektroden unterteilt.

Als Abstandshalter zwischen den Leiterplatten wird Federblech verwendet. Für den Aufbau der gesamten Anordnung werden von beiden Seiten POM-Platten aufgeschraubt, in welchen sich die Lagerung des Pendels befindet. Die Zentrierung des gesamten Aufbaus erfolgt über Passstifte.

Um die Reibung der Pendellagerung, die direkten Einfluss auf die Auflösung und die Hysterese des Neigungssensors nimmt, zu reduzieren, werden Rubinlager verwendet, wie sie auch in mechanischen Uhren genutzt werden. Die Rubinlager werden in die POM-Seitenteile eingepresst und lagern das Pendel in radialer und axialer Richtung. Der fertig aufgebaute Demonstrator ist in Bild 4 dargestellt.

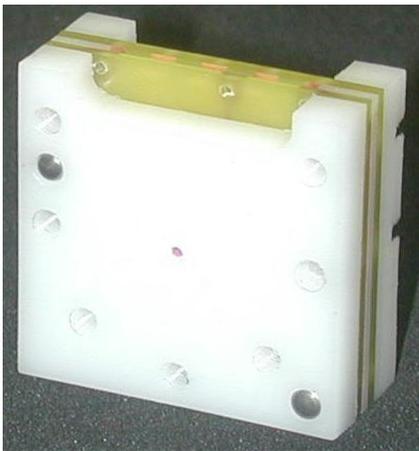


Bild 4: Feinmechanischer Demonstrator

### Messergebnisse

Der aufgebaute Demonstrator wurde mit einem am IZFM hergestellten Neigungssensor-Prüfstand charakterisiert (siehe Darstellung in Bild 5). Mit dem Prüfstand können Winkel von bis zu  $0,001^\circ$  aufgelöst werden. Erste Messungen an dem feinmechanisch aufgebauten Sensor zeigen das große Potential dieses Konzepts.



Bild 5: Neigungssensor-Prüfstand

Für die Messungen wurde der Sensor in einem Bereich von  $\pm 60^\circ$  geneigt. Dabei wurde das Signal der Auswerteschaltung gemessen. In Bild 6a sind das Ausgangssignal des Sensors und die Position des Prüfstands über der Zeit aufgetragen.

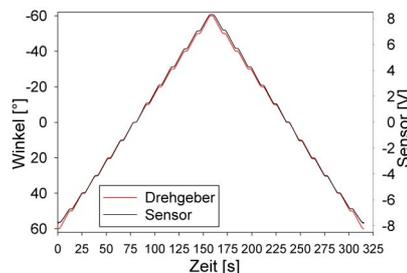


Bild 6a: Sensorsignal und Prüfstandposition über der Zeit

Hierbei ist ein nahezu linearer Verlauf der Kennlinie sehr gut zu erkennen (Bild 6b). Weiterhin ist sichtbar, dass der Demonstrator eine geringe Hysterese aufweist (Bild 6c). Die absolute Genauigkeit des Sensors entspricht  $0,6^\circ$  bei einer Auflösung des Sensorsignals von  $\pm 0,01^\circ$ . Die Wiederholgenauigkeit liegt bei  $0,07^\circ$ . Die Eigenfrequenz des Sensorsystems beträgt ungedämpft ca. 5,5 Hz.

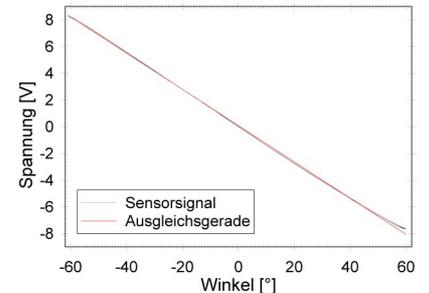


Bild 6b: Sensorsignal über Neigungswinkel

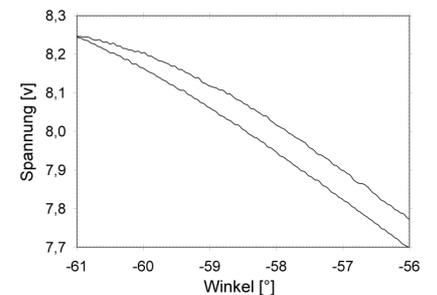


Bild 6c: Hysterese des Sensors

### Ausblick

Als nächster Schritt soll die Umsetzung des Wirkprinzips mit metallisierten Spritzgussbauteilen in MID-Technik erfolgen. Hierbei sollen bei gesteigerter Leistungsfähigkeit die Abmessungen des Sensors weiter verkleinert werden.

Kontaktperson:  
Dipl.-Ing. Daniel Benz  
Tel.: ++49(0)711/121-3706  
E-mail: benz@izfm.uni-stuttgart.de

# Endbearbeitung von Formeinsätzen für den Mikrospritzguss mittels elektrochemischen Fräsens mit ultrakurzen Spannungspulsen (ECF)

T. Gmelin, U. Allgeier, L. Staemmler, R. Rentz

## Einführung

Das Ende 2000 erstmals veröffentlichte und am IZFM / HSG-IMAT umgesetzte elektrochemische Fräsen [1] mit ultrakurzen Spannungspulsen (ECF) erlaubt die dreidimensional abtragende Bearbeitung feinsten Strukturen in werkzeugbau-relevante "harte" Werkstoffe. Ähnlich dem mechanischen Fräsen wird dabei ein standardisiertes Werkzeug (vgl. Jahresbericht 2002, Seite 18) relativ zum Werkstück bewegt. Durch das Anlegen ultrakurzer Spannungspulse wird der Werkstoff nur in unmittelbarer Nähe des Werkzeuges elektrochemisch abgetragen. Der Spaltabstand zwischen Werkzeug und Werkstück lässt sich durch die Pulsweite steuern und hängt von dieser nahezu linear ab. Extrem kurze Pulsweiten ermöglichen Spaltweiten bis zu unter 200 nm. Der quasi werkzeugverschleiß- und bearbeitungskräftefreie Materialabtrag erlaubt die Anwendung dünnster, stabförmiger, aber geometrisch bestimmter Werkzeuge mit extrem kleinen Durchmessern. Derzeit werden am HSG-IMAT Werkzeuge mit Durchmessern ab 4 µm hergestellt, was etwa einem Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haares entspricht.

## Diesjährige Arbeitsschwerpunkte

Neben dem Aufbau einer neuen, leistungsfähigen Anlage wurden vor allem Untersuchungen mit der Zielvorgabe durchgeführt, erste industrierelevante Formeinsätze herstellen zu können. So konnte die Technologie erstmals als Schlüsseltechnologie zur Herstellung eines Sensors für die Medizintechnik eingesetzt werden.

## Aufbau einer neuen ECF-Anlage

Beim Entwurf und Aufbau der Anlage wurden die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen konsequent umgesetzt. Durch die Entwicklung eines digitalen Potentiostaten und Pulsgenerators sowie eines leistungsfähigeren Pulstreibers kann nun ein vollständig NC-gesteuerter Prozessablauf realisiert werden. Der dreiaxige mechanische Aufbau

verhindert. Mit den derzeit eingesetzten Werkzeugen mit Durchmessern zwischen 4 µm und 100 µm können aufgrund maximal erreichbarer Vorschübe von 1 µm/s bis 10 µm/s keine großvolumigen Strukturen unter vertretbarer Bearbeitungszeit strukturiert werden.

Daher wird am HSG-IMAT die Fertigung eines Formeinsatzes in zwei Bearbeitungsschritten zerlegt. Zu-



Bild 1: Aufbau der neuen ECF-Anlage

verfügt neben einer erhöhten Maschinenauflösung von 40 nm über einen größeren Verfahrweg von 100 mm je Achse sowie über Vorrichtungen zum Schutz vor korrosiv wirkenden Medien.

## Fertigung von Formeinsätzen

Die Fertigung kompletter Formeinsätze für Mikrostrukturen stellt für dieses Verfahren noch eine Herausforderung dar. Grund hierfür ist die limitierte Pulsleistung des Generators, welche die Nutzung von Werkzeugen mit großen Abmessungen

nächst werden unter Ausreizung der Möglichkeiten der HSC-Frästechnologie möglichst alle Werkstückbereiche gefräst. Die aufgrund ihrer geringen Strukturabmessung oder der geforderten hohen Präzision noch unbearbeiteten Bereiche werden schließlich mit der ECF-Technologie endbearbeitet.

Diese auf spezifische Fertigungsprobleme bezogene Fokussierung führt zu einer erheblichen Verkürzung der Maschinenlaufzeiten bei der ECF-Bearbeitung, denn die ECF-Technologie findet nur an den

Problemzonen Anwendung, für deren Bearbeitung keine andere Technologie greift.

Trotzdem können komplexe Formeinsätze zu langen Bearbeitungszeiten führen. Zwar führt dies aufgrund des werkzeugverschleißfreien Abtrages nicht zu Problemen mit der Standzeit des Werkzeuges, dennoch stellt es hohe Ansprüche an die Prozesssicherheit. Am HSG-IMAT konnte gezeigt werden, dass selbst mit rudimentärer Technik, ohne Verwendung von Filtersystemen oder einer Elektrolytumwälzung, unbeaufsichtigte Bearbeitungen über Tage hinweg durchgeführt werden können.

Bild 2 zeigt einen Ausschnitt einer HSC-gefrästen Mulde, auf der vertikal zu deren Achse schmale Querriillen mit der ECF-Technik eingebracht wurden.

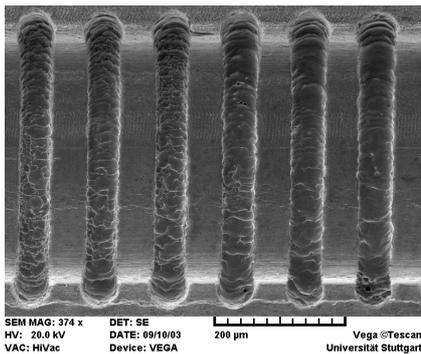


Bild 2: Mittels ECF eingebrachte Grabenstrukturen mit 25 µm Radius in eine HSC-vorgefräste Mulde. Maßstab 200 µm

Während der Bearbeitung werden wichtige Prozesskenngrößen aufgezeichnet, deren Auswertung Aufschluss über die Prozessgüte zulässt. In Diagramm 1 sind Start- und Stopzeiten (rot) der Bearbeitung jedes einzelnen Grabens sowie die Anzahl der Kontakte (Kurzschlüsse zwischen Werkzeug und Werk-

stück) während der Bearbeitung des jeweiligen Grabens (violett) dargestellt. Der lineare Verlauf der Bearbeitungszeiträume der Gräben (rot) über der Grabenposition stellt ein

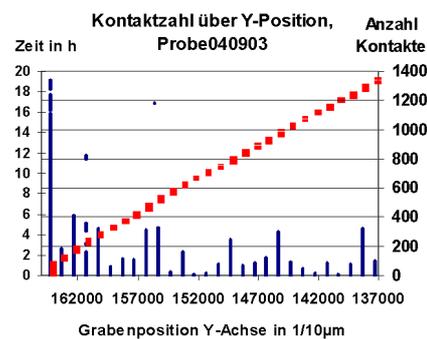


Diagramm 1: Zeitverlauf der Bearbeitung jedes Grabens. Der lineare Verlauf der Bearbeitungszeit über der Grabenposition ist ein Maß der Prozessgüte.

Maß der Prozessgüte dar. Über einen Zeitraum von 20 Stunden stellen sich hier nahezu konstante Prozessbedingungen ein.

### Industrierelevanz

Insbesondere im Hinblick auf die Fertigung von Mikrobauelementen wird sich diese Technologie als äußerst nützlich etablieren, da gerade die neuen Hochleistungspolymere eine extrem hohe Abformgenauigkeit aufweisen und die Füllung auch kleinster Kavitäten ermöglichen. Im Auftrag der Firma W.L. Gore & Associates wurde am HSG-IMAT eine Werkzeugkavität für ein Bauelement der Medizintechnik aus MID-LCP (Bild 3) mit kleinsten Strukturabmessungen um 50 µm unter Nutzung der ECF-Technologie gefertigt. Einzelne Bereiche des Bauelementes wurden nachfolgend durch Laserdirektbeleuchtung aktiviert und anschließend außenstromlos selektiv metallisiert.

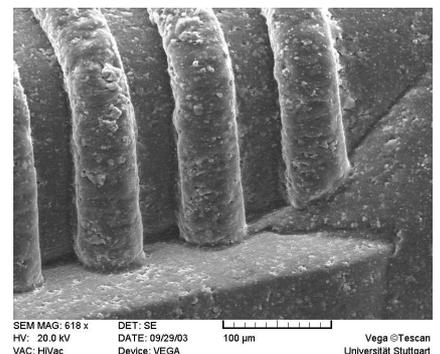
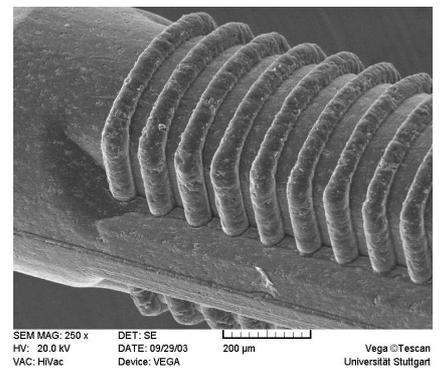
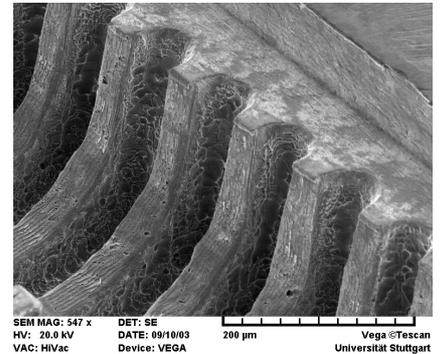


Bild 3: Detailansicht des Formeinsatzes aus 1.4301 (oben), gespritztes Bauelement der Medizintechnik aus MID-LCP (Mitte), Detailansicht (unten).

[1] R. Schuster, V. Kirchner, P. Allongue, G. Ertl: Electrochemical micromachining, Science 289 (2000) 98-101.

Kontaktperson:  
Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kück  
Tel.: ++49(0)711/121-3710  
E-mail: kueck@hsg-imat.de

## Einleitung

Neben den etablierten mikrotechnischen Fertigungsverfahren, die überwiegend Silizium als Basismaterial verwenden, hat sich in den letzten Jahren auch die Herstellung mikrostrukturierter Bauteile aus Polymer-Werkstoffen insbesondere durch die Mikrospritzgießtechnik rasant weiterentwickelt. So sind Mikrospritzgussbauteile mittlerweile in den verschiedensten Anwendungsfeldern wie z. B. in der Automobiltechnik, der Automatisierungstechnik oder der Bio- und Medizintechnik anzutreffen. Die treibenden Faktoren dieser Entwicklung sind vor allem in der hohen Materialvielfalt an Polymerwerkstoffen sowie in den gegenüber den Siliziumtechnologien geringen Material-, Prozess- und Investitionskosten zu suchen.

## Werkzeugbau und Mikrospritzguss

Im Sinne einer industrienahen Forschung und Entwicklung geschieht die Herstellung von Mikrospritzgussbauteilen am HSG-IMAT überwiegend mittels kommerziell verfügbarer Arbeitsmittel. Hierfür steht am Institut eine geeignete Pilotlinie zur Verfügung. Die Konstruktion der Bauteile und Werkzeuge erfolgt mit kommerziellen CAD-Tools. Mit Moldflow können Füllsimulationen durchgeführt werden. Die Fertigung der Werkzeuge geschieht mit zwei HSC-Fräsmaschinen mit CAD/CAM-Koppelung: einer 5-Achsen-Präzisionsfräsmaschine Picomax 60 M der Firma Fehlmann und einer 3-Achsen-Hochpräzisionsfräsmaschine PFM 24 der Firma Primacon. Auf beiden Maschinen kann mit den kleinsten kommerziell erhältlichen Fräsern bis zu 80 µm Durchmesser und mit

Bohrerdurchmessern bis zu 50 µm gearbeitet werden. Senkerodierarbeiten können im HSG-IMAT auf einer SR-VHPM der Firma Sarix durchgeführt werden. Je nach Anforderungen können so Werkzeuge aus hoch verschleißfestem Stahl oder Prototypenwerkzeuge aus Aluminium gefertigt werden. Für die Herstellung der Bauteile stehen zwei Spritzgießmaschinen zur Verfügung: eine hydraulische Zweikomponenten-Spritzgießmaschine 320S 500 – 60/60 Allrounder der Firma Arburg und eine elektrodynamisch arbeitende Mikrospritzgießmaschine der Firma Battenfeld Typ Microsystems 50.

## Beispiel: Mikrofluidik

Die Handhabung kleinster Flüssigkeitsmengen mit Hilfe von Mikrofluidiksystemen wird in vielen Bereichen moderner Technik immer wichtiger. Insbesondere die moderne Medizintechnik und neue chemische Analysetechniken verlangen immer weiter miniaturisierte Systeme. Bisher werden hier mikrofluidische Dosierchips mit entsprechenden Mikrokanal- und Mikrodüsenstrukturen eingesetzt, welche derzeit meist auf der Basis von Glas bzw. Silizium hergestellt werden. In den meisten Anwendungen können fluidische Chips jedoch nur einmal verwendet werden. Eine Reinigung ist meist technisch unmöglich oder zu teuer. Der Einsatz fluidischer Systeme als Einwegartikel macht es erforderlich, Fluidiksysteme kostengünstig in hohen Stückzahlen produzieren zu können. In einem durch das BMWi über die AiF geförderten Projekt wurden mittels der Mikrospritzgusstechnik kostengünstige Mikrokanal- und Mikrodüsenstrukturen aus Kunststoffen hergestellt. Bild 1 zeigt eine Detail-REM-Aufnahme der Werkzeugplatte zur

Herstellung von Düsenstrukturen. Bild 2 zeigt die mit POM abgeformten Polymerstrukturen. Das Reservoir hat einen Durchmesser von 3 mm und der Durchmesser am Düsenaustritt beträgt 100 µm (Bild 3).

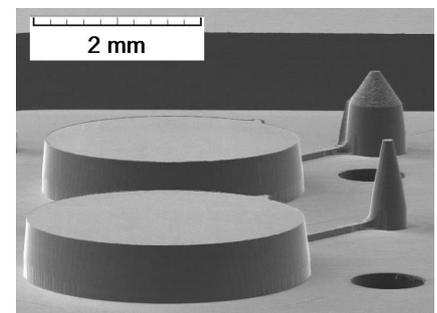


Bild 1: Detailaufnahme der Werkzeugplatte für Düsenstrukturen

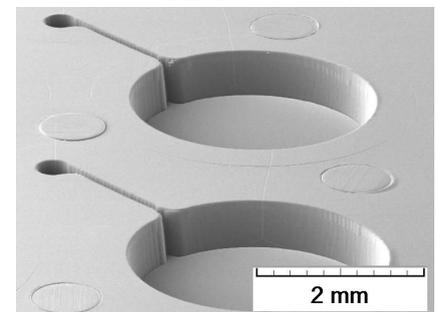


Bild 2: Detail-Aufnahme der Düsenstrukturen

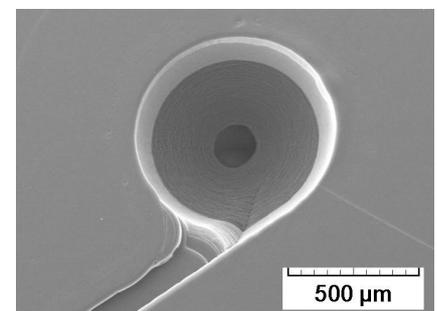


Bild 3: Detailaufnahme der Düse

Bild 4 zeigt eine mittels Mikrospritzguss gefertigte Mikrokanalstruktur. Der geringste Kanal-Querschnitt beträgt  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ .

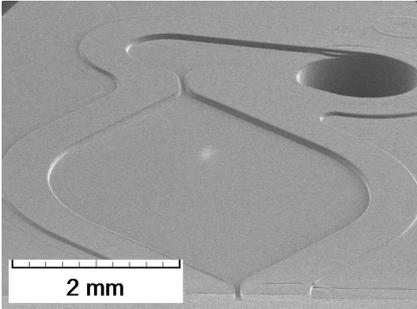


Bild 4: Mikrokanal aus PEEK

### Beispiel: Beschleunigungsaufnehmer

Im Rahmen eines DFG-Forschungsprojektes wurde am IZFM ein kapazitiver Beschleunigungssensor in MID-Technik aufgebaut. Bei dieser Technik wird ein Kunststoffspritzling mit einer chemisch außenstromlos abgeschiedenen Metallschicht versehen, um eine elektrische Leitfähigkeit zu erzielen und das mechanische Verhalten zu modifizieren. Bild 5 zeigt die Beschleunigungssensorstruktur. Die Struktur besteht aus zwei metallbeschichteten Kunststoffspritzlingen. Insbesondere wegen der geringen Spaltabstände von 20  $\mu\text{m}$  zwischen den Elektroden war eine präzise Fertigung der Werkzeuge notwendig. Darüber hinaus war das Füllverhalten der sehr filigranen Strukturen mit geringen Querschnitten von  $255 \times 350 \mu\text{m}^2$  und hohen Fließwegen von bis zu 11 mm von zentraler Bedeutung.

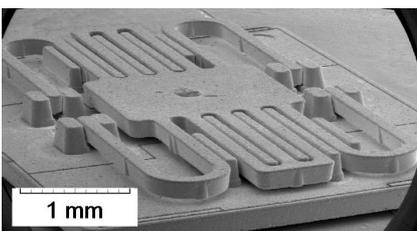


Bild 5: Beschleunigungssensorstruktur

### Beispiel: Aktorik

Bild 6 zeigt eins von drei Spritzgussbauteilen eines elektrostatisch betriebenen Miniaturventils. Das Rippen-Array (Breite einer Rippe 310  $\mu\text{m}$ , Höhe 820  $\mu\text{m}$ ) wies einen unerwünschten Verzug in Form einer Aufwölbung senkrecht zur Rippenlänge auf. Durch Fertigung eines neuen Werkzeugs, bei dem der Verzug von vornherein berücksichtigt wurde, war es möglich, den Verzug am Bauteil im Mittel auf 7% zu reduzieren und so die vorgegebenen Toleranzen zu erreichen. Bild 7 zeigt die Aufwölbung über der Rippenlänge vor und nach der Werkzeugkorrektur.



Bild 6: Bauteil eines elektrostatischen Ventils

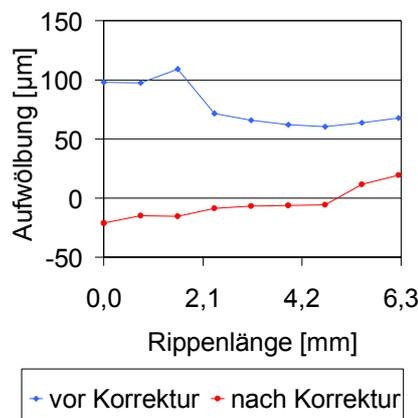


Bild 7: Aufwölbung vor und nach der Werkzeugkorrektur

### Beispiel: Flipchip-Montage

Bei der Flipchip-Technologie werden in der Regel die Silizium-Chips mit Bumps z. B. aus Ni-Au oder Gold-Studs, die im Drahtbondverfahren hergestellt werden, mit Kontakten versehen, die im aufgebauten Zustand den elektrischen Kontakt zwischen der Leiterbahn des Substrats und dem Chip ermöglichen. Innerhalb eines AiF-Projekts wurden Kunststoff-Bumps hergestellt, die in der anschließend stromlosen Metallisierung mit einer elektrisch leitfähigen Metallschicht überzogen werden.

Die in Bild 8 dargestellten 32 Bumps haben jeweils einen Durchmesser von ca. 110  $\mu\text{m}$  und eine Höhe von ca. 200  $\mu\text{m}$ . Durch die Substrate mit angespritzten Bumps ergeben sich wesentliche Prozess- und Kostenvorteile bei der Flipchip-Montage (siehe auch Seite 6).

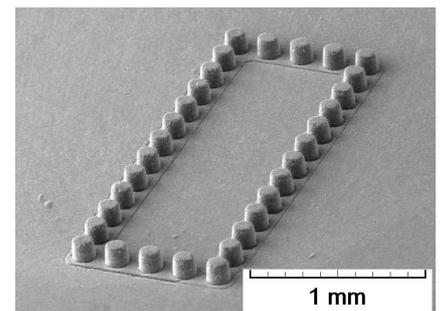


Bild 8: Kunststoff-Bumps für Flipchip-Technologie

Kontaktperson:

Dipl.-Ing. Daniel Warkentin

Tel.: ++49(0)711/121-3708

E-mail: warkentin@hsg-imat.de

## Software-Tools

Mechanische Konstruktion:  
Pro/ENGINEER,  
AutoCAD

Elektromechanisches Design:  
ZUKEN EM Designer

CAD-CAM-Prozessoren:  
Cimatron,  
Intercim

Spritzgießsimulation:  
Moldflow Plastics Insight mit  
3D-Tool

FEM-Analyse:  
ANSYS, MAXWELL, FIDAP

Leiterplattenentwurf:  
EAGLE

Schaltungsanalyseprogramme:  
MicroSim Pspice, SIMPLORER

Computeralgebraprogramme:  
MAPLE, MATLAB/SIMULINK

DOE:  
Echip

Messdatenerfassung:  
TestPoint

## HSC-Frästechnik

5-Achsen-Präzisionsfräsmaschine:  
Fehlmann Picomax 60 M

3-Achsen-Hochpräzisions-  
fräsmaschine:  
PRIMACON PFM 24

## µEDM

Mikroerodiermaschine:  
Sarix SR-VHPM

## µECF

Elektrochemische Präzisionsfräs-  
maschine:  
Forschungsanlage IZFM

## Spritzgießtechnik

Zweikomponenten-  
Spritzgießmaschine:  
Arburg 320S 500 – 60/60

Mikrospritzgießmaschine:  
Battenfeld Microsystem 50

## Laserbearbeitung

KrF-Excimer-Lasersystem:  
Exitech LPX220i

Diodengepumpter Nd:YAG-Laser:  
Datronik IL00-08-QA1

3-D-UV-Laserbearbeitungsanlage:  
LPKF Microline3D

## Metallisierung

Selektive außenstromlose Metalli-  
sierung von Kunststoffen

Sputteranlage:  
Leybold-Heraeus Z400

## Aufbau- und Verbindungstechnik

Automatischer SMD-Bestücker:  
Fritsch Place All PA 908.580

Vollautomatisches 3-Achsen Dis-  
penssystem:  
I&J Fisnar 500 LN

Dampfphasenlötanlage:  
IBL SLC-500

Vollautomatischer Ultraschall-  
Drahtbonder:  
Hesse & Knipps Bond Jet 710

Manueller Flipchip-Bonder:  
Finetech Fineplacer 145

Halbautomatischer Bondtester:  
Dage Serie 4000

Heißprägepresse:  
Schmidt ServoPress 450 LV

## Physikalische und chemische Analysetechnik

Rasterelektronenmikroskop:  
EOS TESCAN 5130

Energiedispersive Röntgenmikro-  
analyse (EDX):  
Oxford Instruments INCA –  
System 200

Röntgenfluoreszenz-Schicht-  
dickenmessgerät und Materialana-  
lyзатор:  
Roentgenanalytik Xray  
ComPact

Differential Scanning Calorimetry  
(DSC):  
Netzsch DSC 204 Phoenix

Thermomechanische Analyse  
(TMA):  
Netzsch TMA 202

Infrarotspektrometer:  
Bruker Vector 22  
mit ATR-Einheit:  
Golden Gate (Diamant)

UV/VIS-Spektralphotometer:  
ThermoSpectronics Genesys 6

Optisches Längen- und Profil-  
messsystem:  
UBM Optischer Taster UBF 60

3-D Tastschnitt-Profilometer:  
ATOS Surfscan 3CS

3-D Multisensor Koordinaten-  
messmaschine:  
Werth VideoCheck-IP  
400x400x200

Mikrohärteprüfgerät:  
Fischer Fischerscope H 100

Rotationsmikrotom mit motori-  
schem Antrieb:  
Microm HM 355S

## Umweltsimulation

Temperaturschockschrank:  
CTS TSS-70/130

Klimaprüfschrank:  
CTS CV-70/350

Vibrationsprüfung (Shaker):  
LDS V780 /HPA-K

## Mess- und Prüftechnik

Elektronische, mechanische und  
optische Messplätze

# HSG-IMAT in Zahlen

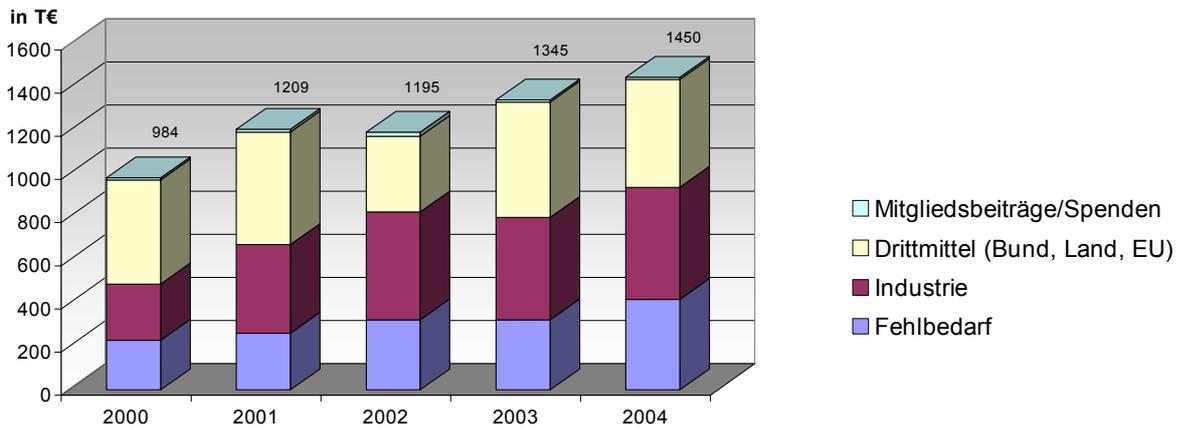


Bild 1: Entwicklung des Haushalts mit Planzahlen für 2004

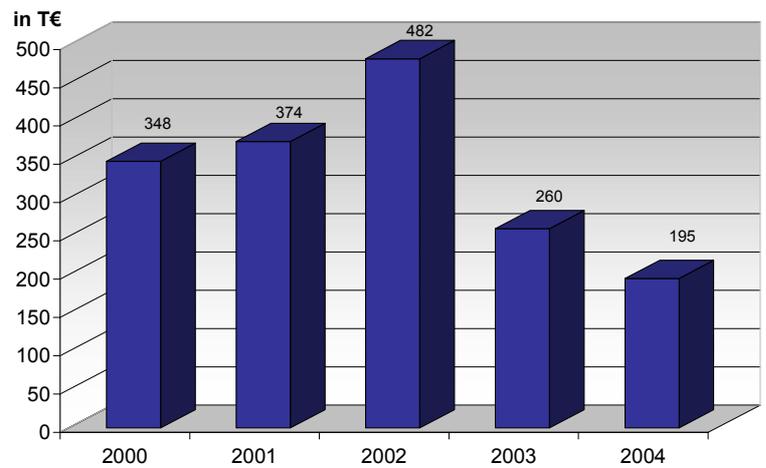


Bild 2: Gesamt-Investitionen mit Planzahl für 2004

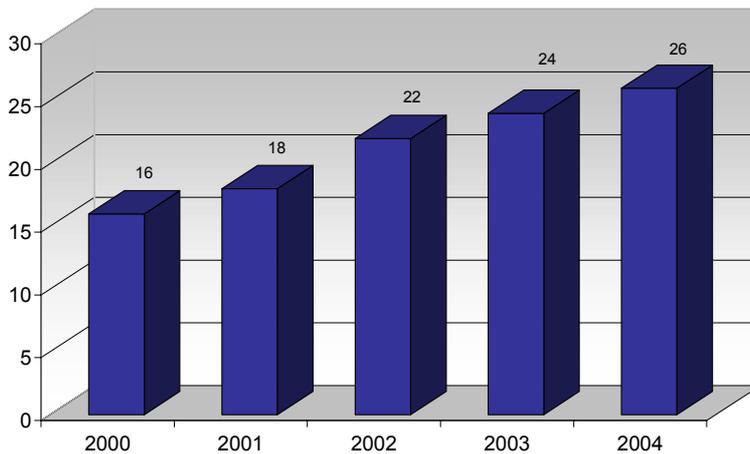


Bild 3: Entwicklung der Mitarbeiterzahl mit Planzahl für 2004

## Publikationen, Messebeteiligungen, Mitarbeit in Gremien

### Vorträge und Veröffentlichungen

D. Ahrendt,  
"Laserstrukturierung von Feinst-Pitch-MID",  
Workshop "Innovative Anwendungen der MID-Technik",  
Stuttgart, 08.10.2003

D. Ahrendt,  
"Laserablation zur Strukturierung von metallisierten Thermoplasten",  
"Laser-Direkt-Strukturierung und additive Metallisierung",  
Poster auf dem 1. Workshop "Strukturierte Metallisierung von Kunststoffen", Braunschweig,  
24.-25.06.2003

M. Arnold, W. Eberhardt,  
M. Giousouf, H. Kück, G. Munz,  
M. Münch, M. Oprea, D. Warkentin,  
"Fabrication of an Electrostatic Miniature Valve from Metallized Microinjection Molded Polymers",  
MICRO.tec 2003, München,  
13.-15.10.2003

M. Arnold, W. Eberhardt,  
M. Giousouf, H. Kück, G. Munz,  
M. Münch, M. Oprea, D. Warkentin,  
"Elektrostatisches Miniaturventil in Laser MID-Technik",  
Workshop "Innovative Anwendungen der MID-Technik",  
Stuttgart, 08.10.2003

L. Cagnon, V. Kirchner, M. Kock,  
R. Schuster, G. Ertl, W. Th. Gmelin,  
H. Kück,  
"Electrochemical Micromachining of Stainless Steel by Ultrashort Voltage Pulses",  
Z. Phys. Chem. 217, 299-313  
(2003)

W. Eberhardt et al.,  
"Low Cost Accelerometers made from Selectively Metallized Polymer",  
als Poster angenommen bei  
EuroSensors 2003, Portugal

W. Eberhardt, H. Kück, M. Münch,  
P. Schilling, M. Ashauer, R. Briegel,  
"MID-Gehäuse für ein Durchflusssensorsystem",  
Kunststoffe 3/2003, S. 51-53

W. Eberhardt et al.,  
"MID Housing for a Flow Sensor System",  
Kunststoffe plast europe 3/2003

W. Eberhardt, H. Kück, P. Koltay,  
M. Münch, H. Sandmaier,  
M. Spritzendorfer, R. Steger,  
M. Willmann, R. Zengerle,  
"Low Cost Fabrication Technology for Microfluidic Devices Based on Micro Injection Moulding",  
MICRO.tec 2003, München,  
13.-15.10.2003

T. Gmelin, H. Kück, R. Schuster,  
"Mikrobearbeitung von Edelstahl Formeinsätzen mittels der ECF-Technik",  
ECM-Forum, IMTEK Freiburg,  
07.10.2003

T. Gmelin, H. Kück, M. Kock,  
R. Schuster, L. Staemmler,  
"High aspect ratio ultra precise machining of stainless Steel by electrochemical milling with ultrashort pulses",  
HARMST2003, Monterey, USA,  
17.10.2003

U. Keßler,  
"Flipchip-Klebertechnik auf MID",  
Workshop "Innovative Anwendungen der MID-Technik",  
Stuttgart, 08.10.2003

H. Kück,  
"Low Cost Microfluidic Devices Based on Micro Injection Moulding",  
Workshop "Functionalized Peripherals", Ilmenau,  
29.-30.09.2003

H. Kück,  
"Packaging an der Universität Stuttgart",  
Internationaler Workshop am ZIK Magdeburg, 03.06.2003

H. Kück,  
"Potential of MID-Technology for Packaging of MEMS and Electronics",  
MIMOT Advantage Days, Lörrach-Hauingen, 27.06.2003

H. Kück,  
"Potenziale der MID-Technik für die Gehäuse- und Aufbautechnik von Mikrosystemen",  
Tutorial "Neue Ansätze der MID-Technologie für die Gehäuse- und Aufbautechnik von komplexen elektronischen Baugruppen",  
SMT/HYBRID/PACKAGING 2003 Nürnberg, 08.05.2003

H. Kück,  
"Potenziale von strukturiert metallisierten Kunststoffbauteilen für den Aufbau miniaturisierter Systeme",  
11. Neues Dresdener Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden, 16.-17.10.2003

H. Kück,  
"Wo steht die MID-Technik?",  
Workshop "Innovative Anwendungen der MID-Technik",  
Stuttgart, 08.10.2003

C. Pein,  
"MID in der Praxis",  
2. Fachtagung "Polyamide im Automobil", Domat/Ems, Schweiz,  
04.07.2003

U. Scholz, W. Eberhardt, U. Keßler,  
H. Kück,  
"Flip Chip Assembly on Laser  
Patterned Molded Interconnect  
Devices (MID)",  
MICRO SYSTEM Technologies  
2003, München, 08.10.2003

G. Spanier, W. Eberhardt,  
D. Ahrendt, M. Oprea, V. Zippmann,  
F. Legewie, W. Mokwa, H. Kück,  
"Biocompatible Assembling and  
Packaging Technology  
Demonstrated by the Integration of  
a Microsensor on a Micro Blood  
Pump",  
Proceedings of IEEE Sensors 2003,  
Toronto, Canada, 22.-24.10.2003

B. Wang, W. Eberhardt, H. Kück,  
"Metal Deposition on Liquid Crystal  
Polymer for Molded Interconnect  
Devices (MID) Using PVD",  
eingereicht in Journal of Adhesion  
Science and Technology

#### **Patente**

H. Kück, D. Benz, D. Warkentin  
"Neigungsvorrichtung mit einem  
Pendel",  
DE 102 17 859 C1,  
Veröffentlichungstag: 18.09.2003

H. Kück, D. Benz, D. Warkentin,  
"Neigungssensor",  
DE 102 12 854 A1,  
Offenlegungstag: 16.10.2003

#### **Messebeteiligungen**

SMT, Systemintegration in der  
Mikroelektronik,  
Nürnberg, 06.-08.05.2003

10. Innovationstag  
der Arbeitsgemeinschaft industrieller  
Forschungsvereinigungen (AiF)  
"Otto von Guericke" e.V.,  
Berlin, 03.06.2003

Tag der offenen Tür,  
Stand im Pfaffenwaldring 9,  
Universität Stuttgart,  
28.06.2003

#### **Workshop**

Innovative Anwendungen der MID-  
Technik,  
Veranstalter: Hahn-Schickard-  
Gesellschaft - Institut für Mikroauf-  
bautechnik (HSG-IMAT),  
Wirtschaftsministerium Baden-  
Württemberg,  
Stuttgart, 08.10.2003

#### **Mitarbeit in Gremien**

H. Kück:

Mitglied im Fachausschuss 4.1  
"Grundsatzfragen der Mikrosystem-  
technik" der GMM

Leiter des Fachausschuss 4.8  
"Mikrofertigung" der GMM

Mitglied im Wissenschaftlichen Rat  
der AiF

Mitglied im Fachbeirat des "Kompe-  
tenznetz MAHREG Automotive"

U. Scholz:

Arbeitsgruppe AG A2.4 "Bonden"  
des DVS

# Lehrveranstaltungen, Studien- und Diplomarbeiten, Promotionen

## Vorlesungen

H. Kück:  
Grundlagen der Mikrotechnik I mit  
Übungen

H. Kück:  
Grundlagen der Mikrotechnik II mit  
Übungen

H. Kück:  
Miniaturtechnik I mit Übungen

H. Kück:  
Miniaturtechnik II mit Übungen

B. Martin:  
Ausgewählte Meßverfahren der  
Fein- und Mikrotechnik

R. Mohr:  
Elektronik für Mikrosystemtechniker

R. Mohr:  
Elektronische Bauelemente in der  
Mikrosystemtechnik

H. Sandmaier, T. Strobelt:  
Bauelemente der  
Mikrosystemtechnik

H. Sandmaier, T. Strobelt:  
Technologien der  
Mikrosystemtechnik

B. Bertsche, E. Göde, H. Kück,  
E. Laurien, H. Seeger,  
E. Westkämper:  
Einführung in den Maschinenbau

**Praktika**

Hauptfachpraktikum in Miniatur- und  
Mikrotechnik

Allgemeines Praktikum des  
Maschinenbaus

Elektronik-Praktikum für  
Feinwerktechniker

## Seminare

16.01.2003  
cand. mach. Robert Rentz  
Untersuchungen zu einem neuarti-  
gen Aktuator für Mikroventile auf  
Basis von elektrostatischen Kräften  
auf Fluide

13.02.2003  
cand. mach. Klaus Hofmann  
Zuverlässigkeitsuntersuchungen  
von Chips-on-MID

cand. mach. Michael Warber  
Ultraschalldrahtbonden auf Kunst-  
stoffsubstraten

cand. mach. Timo Zahler  
Thermische Untersuchungen des  
Heißprägeprozesses

22.05.2003  
cand. mach. Gerald Rothenhöfer  
Entwurf von Komponenten zum  
Aufbau einer Anlage zum elektro-  
chemischen Mikrofräsen mit ultra-  
kurzen Pulsen

05.06.2003  
cand. mach. Martin Kurz  
Experimentelle Optimierung der  
Bearbeitungsstrategien beim  
elektrochemischen Fräsen

cand. mach. Daniel Ilg  
Voruntersuchungen am Neigungs-  
sensor

cand. mach. Jörn Weber  
Untersuchungen zur Zuverlässigkeit  
von Kunststoff-Metall-  
Verbundsystemen

Dipl.-Ing. Matthias Worgull  
Heißprägen von Mikrostrukturen –  
Simulation des Entformungsvor-  
gangs

12.06.2003

cand. mach. Volker Mayer  
Erzeugung feinsten Leiterbahnstruk-  
turen für die MID-Technik mittels  
Laser-Direkt-Aktivierung

26.06.2003

cand. mach. Immanuel Aichele  
Untersuchung zum Verkleben  
mikrofluidischer Systeme aus  
Kunststoff

24.07.2003

cand. mach. Wigand Poppendieck  
FEM-Analyse eines neuartigen  
elektrostatischen Polymer-Mikro-  
Aktuators

cand. mach. Peter Buckmüller  
Ermittlung von Stoffwerten

cand. mach. Thorsten Grahl  
Nackchipmontage auf MIDs mit  
US-Drahtbonden

23.10.2003

cand. mach. Stefanie Wentz  
Untersuchung von Leiterbahn-  
geometrien für das Ultraschall-  
Drahtbonden auf ablativ laserstruk-  
turierten MIDs

cand. mach. Thomas Heinrich  
Klebstoffauftrag und Entwicklung  
von Flipchip-Verfahren auf MIDs mit  
isotrop leitenden Klebstoffen

cand. mach. Per Nicolin  
Dauerfestigkeit von Kunststoff-  
Metall-Verbundsystemen

cand. mach. Ulrich Weiger  
Entwicklung von Flipchip-Verfahren  
auf MIDs mittels anisotrop leitenden  
und nicht leitenden Klebstoffen

20.11.2003

cand. mach. Andreas Müller  
Untersuchung zum Strömungs- und Befüllverhalten von Flüssigkeiten in mikrofluidischen Systemen aus Kunststoff

16.12.2003

cand. mach. Heiko Zimmermann  
Optimierung der Parameter beim Heißprägeprozess für einen Thermoplast sowie Untersuchung der Haftung und Prägewulsthöhen

cand. mach. Andreas Birkhold  
Untersuchung von alternativen Folien für die Heißprägetechnologie

### **Exkursionen**

HSG-IMIT, Villingen-Schwenningen,  
21.01.2003,  
Teilnehmer: ca. 20 Studenten

Fa. Bosch, Reutlingen,  
27.05.2003,  
Teilnehmer: ca. 20 Studenten

### **Abgeschlossene Studienarbeiten**

Buckmüller, Peter  
Charakterisierung von metallisierten Kunststoffbiegebalken  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Warkentin

Heinrich, Thomas  
Klebstoffauftrag und Entwicklung von Flipchip-Verfahren auf MIDs mit isotrop leitenden Klebstoffen  
Betreuerin: Dipl.-Ing. U. Scholz

Ilg, Daniel  
Voruntersuchungen am Neigungssensor  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

Kurz, Martin Jörg  
Experimentelle Optimierung der Bearbeitungsstrategie beim elektrochemischen Fräsen  
Betreuer: Dipl.-Ing. T. Gmelin

Mayer, Volker  
Erzeugung feinsten Leiterbahnstrukturen für die MID-Technik mittels Laser-Direkt-Strukturierung  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Ahrendt

Müller, Andreas  
Untersuchung zum Strömungs- und Befüllverhalten von Flüssigkeiten in mikrofluidischen Systemen aus Kunststoff  
Betreuer: Dipl.-Ing. M. Münch

Nicolin, Per  
Dauerfestigkeit von Kunststoff-Metall-Verbundsystemen  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Warkentin

Poppendieck, Wigand  
FEM-Analyse eines neuartigen elektrostatischen Polymer-Mikro-Aktuators  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Warkentin

Rothenhöfer, Gerald  
Entwurf von Komponenten zum Aufbau einer Anlage zum elektrochemischen Fräsen mit ultrakurzen Pulsen  
Betreuer: Dipl.-Ing. T. Gmelin

Weber, Jörn  
Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von Kunststoff-Metall-Verbundsystemen  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Warkentin

Weiger, Ulrich  
Entwicklung von Flipchip-Verfahren auf MIDs mittels anisotrop leitenden und nicht leitenden Klebstoffen  
Betreuerin: Dipl.-Ing. U. Scholz

Wentz, Stefanie  
Untersuchung von Leiterbahngeometrien für das Ultraschall-Drahtbonden auf ablativ laserstrukturierten MIDs  
Betreuerin: Dipl.-Ing. U. Scholz

Zahler, Timo  
Thermische Untersuchung des Heißprägeprozesses und Konzeption einer Temperaturregelung  
Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) C. Pein

### **Abgeschlossene Diplomarbeiten**

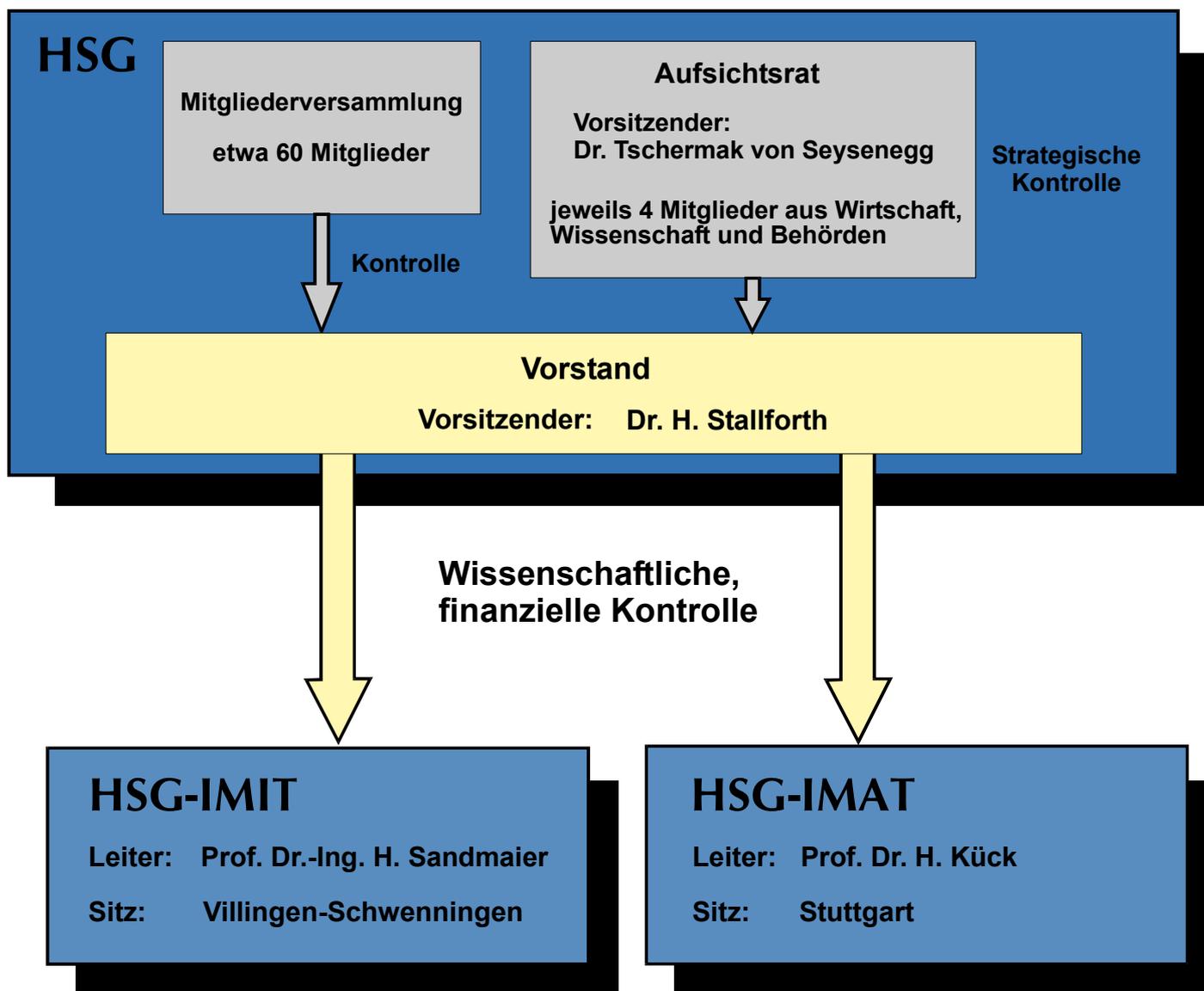
Dressler, Marc  
Aufbau- und Verbindungstechnik von Flip-Chip auf MID für Sensoranwendungen im Automobilbereich  
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück, H. Rohde, Dr. G. Liebing (Robert Bosch GmbH, Waiblingen)

Heinrich, Thomas  
Untersuchung des Schablonendruckes mit Lotpaste zum Aufbau von Multi-Chip-Modulen (MCM) und deren Entwärmung mit passiven Kühlkörpern  
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück, Th. Ruzicka (Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen)

Mayer, Volker  
Aufbau und Charakterisierung eines Wanderkeilantriebs  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Warkentin

### **Promotionen**

U. Scholz: Untersuchungen zur Eignung des Ultraschalldrahtbondens für die Chipmontage auf MID-Substraten (28.10.2003)



## Aufsichtsrat

MinDirig  
Dr. Tschermak von Seysenegg  
Wirtschaftsministerium  
Baden-Württemberg

Professor Dr. rer. nat.  
Dr. h.c. Franz Effenberger  
Institut für organische Chemie  
und Isotopenforschung  
Universität Stuttgart

Dr. Peter Fritz  
Forschungszentrum Karlsruhe  
(FZK)

Dipl.-Ing. (FH)  
Wolfgang Kammerlander  
Hirschmann Electronics  
GmbH & Co. KG

Oberbürgermeister  
Dr. Rupert Kubon  
Große Kreisstadt Villingen-  
Schwenningen

Professor Dr. Johann Löhn  
Regierungsbeauftragter für  
Technologietransfer Baden-  
Württemberg

Professor Dr. Wolfgang Menz  
Albert-Ludwigs-Universität  
Institut für Mikrosystemtechnik

RDir Dr. Thomas Pflüger  
Ministerium für Wissenschaft,  
Forschung und Kunst Baden-  
Württemberg

Professor Dr. Rainer Scheithauer  
Rektor der Fachhochschule  
Furtwangen

Senator e.h. Hans Schmidt  
Geschäftsführender Gesellschafter  
der Fa. Schmidt Feintechnik  
GmbH

Dr. Hans-Peter Trah  
Robert Bosch GmbH

Professor Dr. Dr. Michael  
Ungethüm  
AESCULAP AG & CO. KG

Ministerialdirigent  
Dr. Gerhard Finking  
Bundesministerium für Bildung und  
Forschung

## Vorstand

### Vorsitzender:

Dr. Harald Stallforth  
AESCULAP AG & CO. KG

### Stellvertr. Vorsitzende:

Dr. Peter Jung  
Marquardt GmbH

Dipl.-Ing. Uwe Remer  
2E mechatronic GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Hans Weiss  
GMS Gesellschaft für Mikro-  
elektronik und Sensorik mbH

### Schatzmeister:

Dipl.-Ing. Hermann Würthner  
ISGUS J. Schlenker-Grusen  
GmbH

## Wir sind Mitglied der

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen  
"Otto von Guericke" e.V. (AiF)



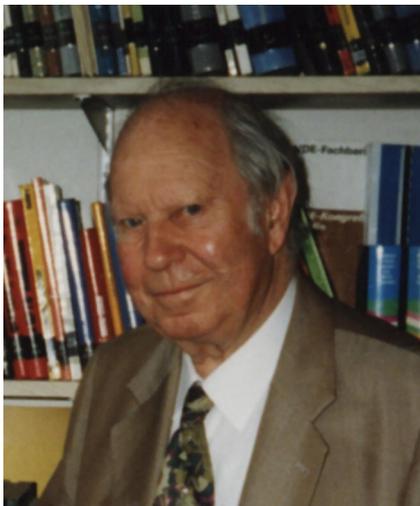
## Hauptgeschäftsstelle

Bayenthalgürtel 23  
50968 Köln  
Telefon: (02 21) 3 76 80-0  
Telefax: (02 21) 3 76 80-27  
E-Mail: info@aif.de  
Internet: www.aif.de

## Geschäftsstelle Berlin

Tschaikowskistraße 49  
13156 Berlin  
Telefon: (0 30) 4 81 63-3  
Telefax: (0 30) 4 81 63-4 01  
E-Mail: gsb@aif.de

## Nachruf für Herrn Prof. Dr. Günther Glaser



Nach längerer Krankheit verstarb am 20. Juli 2003 im 92. Lebensjahr Professor Günther Glaser. Am 25. April 1912 in Stuttgart geboren, studierte er nach der Schulzeit am Realgymnasium Esslingen Physik an der damaligen Technischen Hochschule Stuttgart. Nach dem Diplom promovierte er an der Universität Göttingen bei Professor Robert W. Pohl, dem er Zeit seines Lebens verbunden blieb.

Zwischen 1936 und 1938 war Günther Glaser als Assistent an der Universität Göttingen und an der TH Stuttgart tätig und arbeitete anschließend in einem Forschungslabor der Firma Bosch. Den Zweiten Weltkrieg erlebte er als Soldat.

Nach 1945 führte er seine Industrietätigkeit bei der WMF in Geislingen fort, um sich 1949 als Assistent von Professor Erich Regener am Physikalischen Institut der TH Stuttgart wieder der Hochschule zuzuwenden. 1953 setzte er als Leiter für Forschung und Entwicklung der Firma Junghans in Schramberg seine Industrielaufbahn fort. 1963 berief ihn die TH Stuttgart auf den Lehrstuhl für Uhrentechnik und Feinmechanik. Damit verbunden war die Leitung des Forschungsinstituts für Uhren- und Feinwerktechnik der gleichnamigen Forschungsgesellschaft, deren Geschäftsführer er lange Zeit war. Im Jahr 1981 hat er sich aus der aktiven Arbeit zurückgezogen.

Die Leistungen Günther Glasers können hier nur kurz gewürdigt werden. In seine Zeit bei Junghans fiel der große Technologiewandel in der Uhrentechnik von der mechanischen zur elektronisch gesteuerten Uhr. Die Zeichen der Zeit rechtzeitig erkennend, hat er die Uhrentwicklung in seiner Firma in die

neue Richtung vorangetrieben. Während seiner Tätigkeit als Leiter des Hochschul- und des Forschungsinstituts erlebte die theoretische Uhrentechnik letztmals einen Höhepunkt.

Glasers Arbeiten fanden im In- und Ausland hohe Anerkennung. Mehr als 100 Veröffentlichungen sind Zeugnisse seiner Forschertätigkeit. Zu seinem Lebenswerk zählen zweifelsohne auch das "Lexikon der Uhrentechnik" und vor allem das "Handbuch für Chronometrie und Uhrentechnik". Letzteres konnte er erst zehn Jahre nach seiner Emeritierung abschließen. Als Hochschullehrer begeisterte er seine Studenten mit packenden Experimentalvorlesungen.

Prof. Glaser hatte zwölf Jahre das Amt des Präsidenten der Deutschen Gesellschaft für Chronometrie inne und hat sich sehr für das Verständnis mit den Schwestergesellschaften aus Frankreich und der Schweiz eingesetzt. Günther Glaser wurde vielfach geehrt. So war er unter anderem Ehrenmitglied der Société Suisse de Chronométrie, Ehrenpräsident der Deutschen Gesellschaft für Chronometrie. Er wurde mit der Jules-Haag Medaille der Société Française de Chronométrie, der Philipp-Matthäus-Hahn Medaille, dem Ehrenring des VDE und dem Bundesverdienstkreuz I. Klasse ausgezeichnet.

Mit dem Tod Prof. Glasers hat die deutsche Uhrenwissenschaft ihren Nestor verloren.

*Friedrich Aßmus / Rainer Mohr*

# Anfahrtsplan

## Bei Anreise mit PKW

Aus nördlicher Richtung (z. B. von Heilbronn über Ausfahrt Zuffenhausen B10):  
→ B10/B27 → B27 → Heilbronner Str. → Friedrichstr.  
→ Schellingstr. → Kienestr. → Institutsparkplatz

Aus östlicher Richtung (z. B. über B10):  
→ B10 → Richtung Stadtzentrum, B14  
→ Hauptbahnhof, Arnulf-Klett-Platz → Friedrichstr.  
→ Schellingstr. → Kienestr. → Institutsparkplatz

Aus südlicher Richtung (z. B. über B27):  
→ B27, Unterführung (links Abbiegen) → Schloßstr.  
→ Kienestr. → Institutsparkplatz

Aus westlicher Richtung (z. B. von Vaihingen (Stgt.), Autobahnkreuz Stuttgart):  
→ B14 → Richtung Stadtzentrum → Rotebühlplatz  
→ Fritz-Elsas-Str. → Schloßstr. → Holzgartenstr.  
→ Breitscheidstr. → Institutsparkplatz

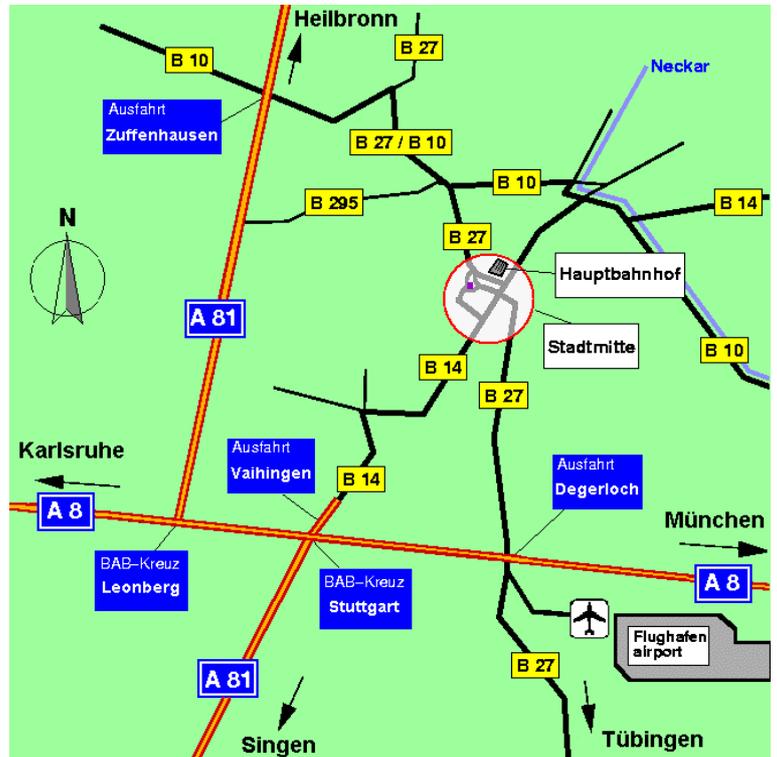
## Bei Anreise mit Zug / S-Bahn

Vom Hauptbahnhof sind es ca. 10 min. bis zum Institut. Weg: Friedrichstr. → Schellingstr. → Willi-Bleicher-Str.

Von der S-Bahn-Station "Stadtmitte" sind es ca. 5 min. bis zum Institut. Weg: Ausgang Büchsenstr. → Büchsenstr., Richtung Liederhalle → Schloßstraße überqueren → rechts einbiegen in die Breitscheidstr. → Institutsparkplatz → Institut

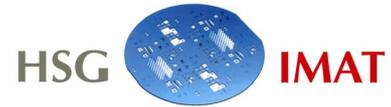
## Bei Anreise mit Flugzeug

Ab Flughafen mit S-Bahnlinie S2 nach Schorndorf oder S3 nach Backnang → S-Bahnstation "Stadtmitte" aussteigen → Ausgang Büchsenstr. → Büchsenstr., Richtung Liederhalle → Schloßstraße überqueren → rechts einbiegen in die Breitscheidstr. → Institutsparkplatz → Institut



Hinweise für PKW-Fahrer:

- P** Öffentliche Parkplätze befinden sich am Katharinenhospital und in der Kienestr.
- P** Parkplatz des Institutes: Bitte rechts vor der Schranke parken, im Institut anmelden und dann nach Öffnen der Schranke durch einen Institutsmitarbeiter auf dem Parkplatz einparken.
- T** Die Breitscheidstraße ist in Höhe des Kongresszentrums für den Kfz-Verkehr gesperrt.



Universität Stuttgart

Institut für Zeitmeßtechnik, Fein- und Mikrotechnik

Lehrstuhl Mikro-, Miniatur- und Zeitmeßtechnik

Breitscheidstr. 2 b

D-70174 Stuttgart

Telefon: ++49(0)7111/121-3711

Telefax: ++49(0)7111/121-3705

E-mail: [izfm@izfm.uni-stuttgart.de](mailto:izfm@izfm.uni-stuttgart.de)

WWW: <http://www.uni-stuttgart.de/izfm>

Hahn-Schickard-Gesellschaft

Institut für Mikroaufbautechnik

Breitscheidstr. 2 b

D-70174 Stuttgart

Telefon: ++49(0)7111/121-3712

Telefax: ++49(0)7111/121-3705

E-mail: [hsg-imat@hsg-imat.de](mailto:hsg-imat@hsg-imat.de)

WWW: <http://www.hsg-imat.de>

**Redaktion**

Ulrich Allgeier

**Gestaltung**

Ulrich Allgeier

**Druck**

e. kurz + co  
70182 Stuttgart

© HSG-IMAT 2004

ISSN 0933 - 3509