

# HSG-IMAT



## Jahresbericht 2004

mit IZFM - Universität Stuttgart



## Sehr geehrte Damen und Herren,

2004 war ein gutes Jahr für unser Institut. Nach umfangreichen Vorbereitungen konnten alle Hürden für die Errichtung eines neuen Institutsgebäudes in Stuttgart-Vaihingen genommen werden. 2005 kann mit dem Bau begonnen werden und der Umzug in das neue Gebäude soll im Herbst 2006 erfolgen. Allen Beteiligten, insbesondere dem Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, möchte ich an dieser Stelle auch im Namen meiner Mitarbeiter recht herzlich danken.

Unsere Laser-MID-Techniken erfreuen sich großer Nachfrage aus der Industrie. Mit zwei leistungsfähigen Anlagen können wir je nach Anforderungen subtraktive, semi-additive und voll additive Verfahren für feinste Leiterbilder mit komplexer 3D-Geometrie anbieten. Für die voll additive Laserdirektstrukturierung (LDS) ist mittlerweile eine breite Palette von Polymerwerkstoffen kommerziell verfügbar. Bei der Bestückung der MIDs mit Nacktchips hat sich die Leistungsfähigkeit der Flip-Chip-Techniken gezeigt, wobei den Klebetechniken die größte Bedeutung zukommt.

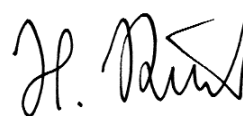
Neben zahlreichen Entwicklungen verschiedenster Muster von Heißpräge-MID-Baugruppen konnte das HSG-IMAT 2004 dazu beitragen, dass eine komplexe Schalterbaugruppe mit bleifreier SMD-Bestückung für den Einsatz im Kfz-Innenraum in die Serienfertigung überführt wurde. Darüber hinaus ist die Entwicklung von

Heißprägefolien derzeit ein wichtiges Arbeitsfeld. Damit tragen wir wesentlich dazu bei, dass eine erweiterte Palette geeigneter Heißprägefolien für den industriellen Einsatz verfügbar ist. Wir setzen unsere MID-basierten Verfahren auch ein, um neuartige Sensoren für Low Cost Applikationen aufzubauen. Hierzu wurden neue Konzepte für Neigungs- und Drehwinkelsensoren für den Einsatz im Kfz entwickelt. Anwendungsnahe Demonstratoren von Neigungssensoren wurden erfolgreich aufgebaut, so dass die industrielle Produktumsetzung ansteht.

In einer sehr erfolgreichen Zusammenarbeit mit dem HSG-IMIT konnten wir mikrofluidische Dosiersysteme mit komplexen Düsen-Arrays in Mikrospritzgießtechnik herstellen. Die kostengünstigen Polymerbauteile zeigen eine weltweit hervorragende Qualität und sind geeignet, Silizium und Glas bei vielen Anwendungen zu ersetzen.

Bei der Einwerbung von Drittmitteln geht die unerfreuliche Entwicklung im öffentlichen Bereich auch nicht spurlos an uns vorbei. Die Bewilligungschancen sinken ständig, obwohl wir den Eindruck haben, dass der Aufwand für die Antragstellung immer größer wird. Wir steigern hier natürlich unsere eigenen Anstrengungen bis an unsere Grenzen. Allerdings erhoffe ich mir, dass die Politik Wege findet, die Situation deutlich und nachhaltig zu verbessern.

Seitens der Industrie verzeichnen wir eine zunehmende Nachfrage unserer F&E-Leistungen. Bei zweistelligem Wachstum unseres Haushalts konnten wir in den letzten drei Jahren über 40% durch Industrieaufträge finanzieren. Hierfür ist es aus meiner Sicht wichtig, dass wir uns auf Aufbau- und Verbindungstechniken konzentriert haben, die für die industrielle Umsetzung vieler mikrotechnischer Lösungen besonders für Kfz-Technik, Automatisierungstechnik, Medizintechnik und Life Sciences bestens geeignet sind. Dabei muss bereits im frühen Entwicklungsstadium die gesamte industrielle Fertigungs- und Wertschöpfungskette betrachtet werden, um zu wirtschaftlichen Produktlösungen zu kommen. So freut es mich, dass wir uns im HSG-IMAT von vorne herein darauf eingestellt haben, der Industrie durchgängig alle Leistungen für die ganze Produktentwicklungskette anbieten zu können. Deshalb lade ich Sie herzlich ein, uns anzusprechen und sich über unser Leistungsangebot genauer zu informieren.



Ihr Heinz Kück  
Institutsleiter HSG-IMAT

## HSG-IMAT

**Adresse** Hahn-Schickard-Gesellschaft  
Institut für Mikroaufbautechnik  
Breitscheidstr. 2b  
70174 Stuttgart

**Telefon** +49 711 121-3712 oder -3710  
**Fax** +49 711 121-3705

**eMail** [info@hsg-imat.de](mailto:info@hsg-imat.de)  
**Internet** [www.hsg-imat.de](http://www.hsg-imat.de)

## IZFM

**Adresse** Universität Stuttgart  
Institut für Zeitmesstechnik, Fein- und Mikrotechnik  
Lehrstuhl Mikro-, Miniatur- und Zeitmesstechnik  
Breitscheidstr. 2b  
70174 Stuttgart

**Telefon** +49 711 121-3711 oder -3710  
**Fax** +49 711 121-3705

**eMail** [info@izfm.uni-stuttgart.de](mailto:info@izfm.uni-stuttgart.de)  
**Internet** [www.uni-stuttgart.de/izfm](http://www.uni-stuttgart.de/izfm)

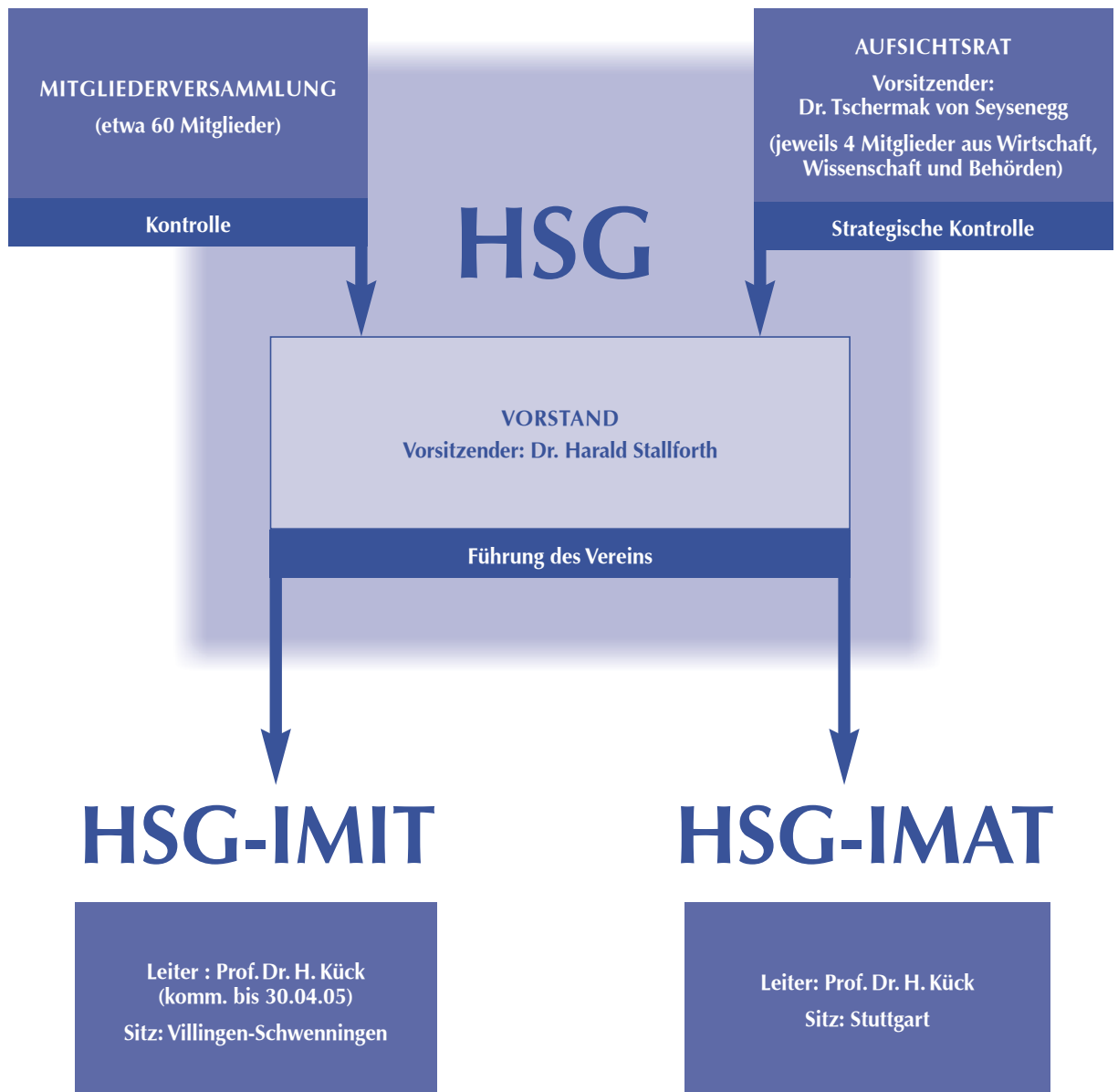


# Inhalt

Grußwort .....	3
Kontakt .....	4
Inhaltsverzeichnis .....	5
Die Hahn-Schickard-Gesellschaft .....	6
Organe der HSG .....	7
Aufsichtsrat und Vorstand .....	8
Mitglieder .....	9
HSG-IMAT und IZFM: Struktur und Ansprechpartner .....	10
HSG-IMAT in Zahlen .....	11
Die Abteilungen des HSG-IMAT .....	12
Technologie.....	13
Bauelemente .....	14
Projektberichte .....	15
3D-Koordinatenmesstechnik .....	16
Bearbeiten von Edelstahl mit dem Elektrochemischen Fräsen mit ultrakurzen Spannungspulsen (ECF) .....	18
Kapazitiver Neigungssensor in MID-Technik .....	20
Heißprägefolien für die MID-Technik .....	22
Mikrofluidische Strukturen aus Kunststoff .....	24
IMDAKT - innovative Mikrodrehgeber für Automatisierungs- und Kraftfahr- zeugtechnik .....	26
Publikationen & Marketing .....	29
Lehrveranstaltungen .....	30
Studienarbeiten, Diplomarbeiten.....	31
Messebeteiligungen, Mitwirkung in Gremien.....	32
Vorträgen und Veröffentlichungen .....	33
Patente, Gebrauchsmuster .....	34
Impressum .....	35



## Organe der HSG



## Aufsichtsrat und Vorstand

### AUFSICHTSRAT

Vorsitzender:

**MinDirig Dr. Armin  
Tschermak von Seysenegg**  
Wirtschaftsministerium  
Baden-Württemberg

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

**Dr. Norbert Fabrizius**  
Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)

**Eckehardt Keip**  
LITEF GmbH

**Dr. h.c. Hans Klingel**

**Dr. Rupert Kubon**  
Oberbürgermeister Große Kreisstadt  
Villingen-Schwenningen

**Professor Dr. Johann Löhn**  
Regierungsbeauftragter für Technologie-  
transfer Baden-Württemberg

**Dr.-Ing. Peter Post**  
Festo AG & Co.

**Professor Dr. Jürgen Rühle**  
Institut für Mikrosystemtechnik  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

**MinRat Hanno Schnarrenberg**  
Ministerium für Wissenschaft, Forschung  
und Kunst Baden-Württemberg

**Professor Dr. Rainer Scheithauer**  
Rektor der Fachhochschule  
Furtwangen

**Dr. Hans Peter Trah**  
Robert Bosch GmbH

Ständiger Gast:  
**MinDirig Dr. Gerhard Finking**  
Bundesministerium für Bildung und  
Forschung

### VORSTAND

Vorsitzender:

**Dr. Harald Stallforth**  
AESCULAP AG & Co. KG

Stellvertr. Vorsitzende:  
**Ernst Kellermann**  
Marquardt GmbH

**Uwe Remer**  
2E mechatronic GmbH & Co. KG

**Hans Weiss**  
GMS Gesellschaft für  
Mikroelektronik und Sensorik mbH

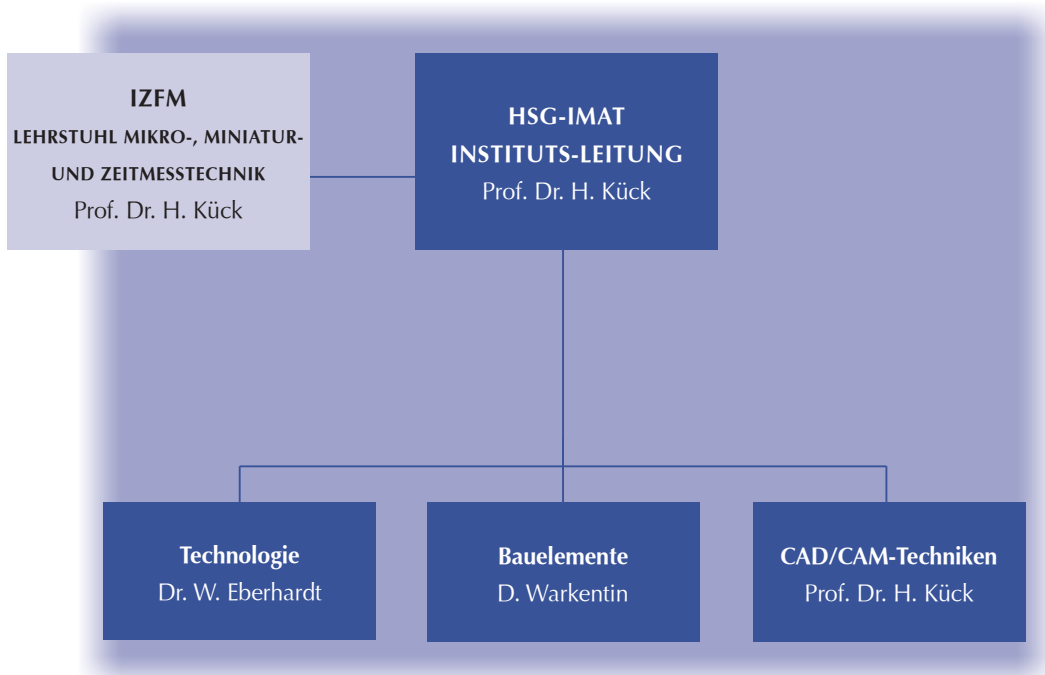
Schatzmeister:  
**Thomas Albiez**  
Geschäftsführer IHK Schwarzwald-Baar-  
Heuberg



## Mitglieder

**AESULAP AG & Co.KG** Tuttlingen · **coHex -Technische Beratung** Donaueschingen ·  
**DAIMLER CHRYSLER AG** Stuttgart · **Deutsche Bank AG** Stuttgart · **Deutsche Thomson-  
 Brandt** Villingen-Schwenningen · **ECMTEC GmbH** Holzgerlingen · **Elbau Elektronik  
 GmbH** Berlin · **ELMOS Semiconductor AG** Dortmund · **Eppendorf Instrumente GmbH**  
 Hamburg · **Etp. Electronics trading and production** Freiburg · **Festo AG & Co.** Esslingen ·  
**FORESTADENT Bernhard Förster GmbH** Pforzheim · **GMS Gesellschaft für Mikrotechnik  
 und Sensorik mbH** Villingen-Schwenningen · **GOS Gesellschaft für Organisation und  
 Software mbH** Villingen-Schwenningen · **GRÄSSLIN GmbH & Co.KG** St. Georgen · **GRU-  
 NER AG** Wehingen · **Andreas Haller Fabrik für Feinmechanik GmbH & Co.KG** St.  
 Georgen · **Harman/Becker Automotive Systems (XSYS Division) GmbH** Villingen-  
 Schwenningen · **2E mechatronic GmbH & Co.KG** Wernau · **HL-Planartechnik** Dortmund  
 · **Hoerbiger-Origa Systems GmbH** Altenstadt · **HOPF ELEKTRONIK** Lüdenscheid · **Hopt +  
 Schuler GmbH & Co.KG** Rottweil · **IHK Schwarzwald-Baar-Heuberg** Villingen-Schwen-  
 ningen · **ISGUS J. Schlenker-Grusen GmbH** Villingen-Schwenningen · **Junghans Uhren  
 GmbH** Schramberg · **KENDRION BINDER MAGNETE GmbH** Villingen-Schwenningen ·  
**KUNDO System-Technik GmbH** St. Georgen · **Erich Lacher Uhrenfabrik** Pforzheim ·  
**LITEF GmbH** Freiburg · **Lotus Systems GmbH** Gutmadingen · **MADA Marx Datentechnik  
 GmbH** Villingen-Schwenningen · **MARQUARDT GmbH** Rietheim-Weilheim · **Perpetuum  
 Ebner GmbH & Co.KG** St. Georgen · **Physik Instrumente GmbH & Co.KG** Karlsruhe-  
 Palmbach · **Robert Bosch GmbH** Stuttgart · **SCHMIDT Technology GmbH** St. Georgen ·  
**Schwarzwälder-Service Industrie- u. Gebäudereinigung GmbH + Co.** Villingen-Schwen-  
 ningen · **Siemens VDO Automotive AG** Villingen-Schwenningen · **Sparkasse Villingen-  
 Schwenningen** Villingen-Schwenningen · **Karl Storz GmbH & Co.** Tuttlingen · **Süss  
 MicroTec Lithography** Vaihingen/Enz · **Tobias Szokalo Werkzeugbau mit HSC-  
 Bearbeitung** Pforzheim · **Team Nanotec GmbH** Villingen-Schwenningen · **THEBEN AG**  
 Haigerloch · **Dr. Tillwich GmbH** Horb · **Vipem Hackert GmbH** Grünbach · **Volksbank  
 Donau/Neckar** Tuttlingen

# HSG-IMAT und IZFM: Struktur und Ansprechpartner



**Institutsleitung** Prof. Dr. H. Kück  
Telefon +49 711 121-3710

**Administration IZFM** P. Hoffmann  
Telefon +49 711 121-3711

**Administration HSG-IMAT** C. Bellezer  
Telefon +49 711 121-3712

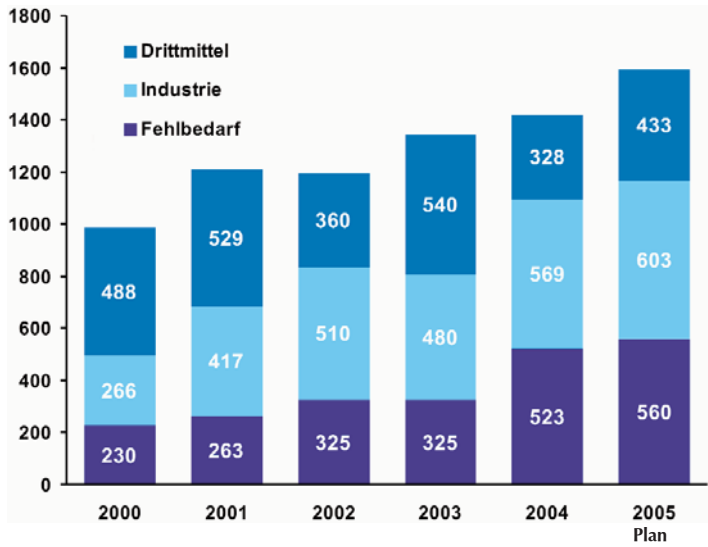
**Technologie** Dr. W. Eberhardt  
Telefon +49 711 121-3717

**Bauelemente** D. Warkentin  
Telefon +49 711 121-3708

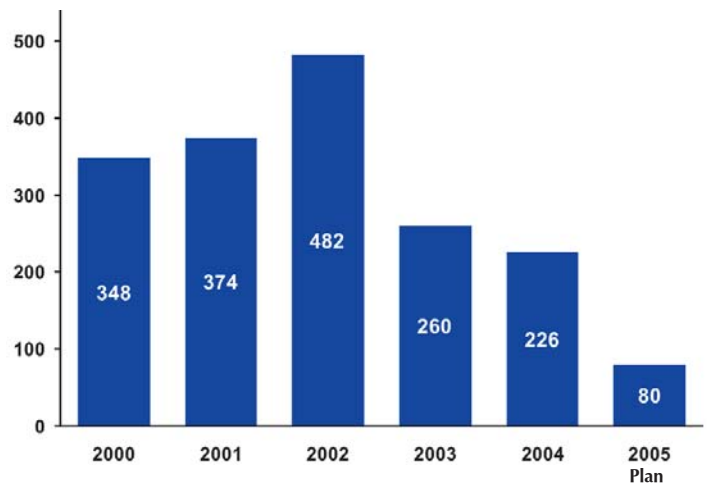
**CAD/CAM-Techniken** Prof. Dr. H. Kück  
Telefon +49 711 121-3710

# HSG-IMAT in Zahlen

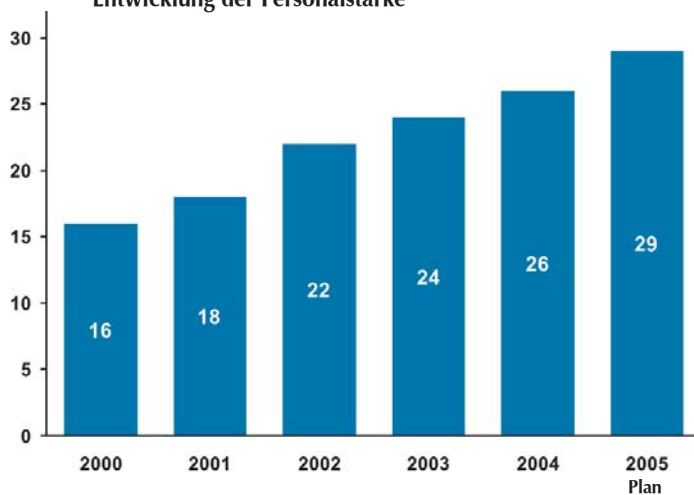
Entwicklung des Haushalts in T Euro



Entwicklung der Investitionen in T Euro



Entwicklung der Personalstärke



# Die Abteilungen des HSG-IMAT

- Technologie
- Bauelemente

## Technologie

Die Abteilung Technologie ist für die Strukturierung und Metallisierung von MID-Baugruppen sowie für die Montage- und Füge-Techniken von SMD- und Nackt-Chip-Bauelementen zuständig. Die Dienstleistungen, die wir anbieten, reichen von Beratung im Hinblick auf die Machbarkeit über Forschung und Entwicklung von Verfahren und Baugruppen bis zur Prototypenfertigung. Da wir im HSG-IMAT über eine komplette Linie zur Herstellung von MID-Baugruppen mit den entsprechenden Prozessen verfügen, können wir unsere Kunden ganzheitlich zu Fragen der gesamten Prozesskette beraten. Unser interdisziplinäres Team von Wissenschaftlern und Technikern ist mit unserer modernen Geräteausstattung in der Lage, für jeden Teilschritt in der MID-Fertigung eine Lösung anzubieten.

Unsere Kunden kommen bevorzugt aus den Bereichen Automatisierungstechnik, Kfz-Technik, Medizintechnik und Life Sciences. Die Miniaturisierung komplexer 3D-Baugruppen steht dabei im Vordergrund. Hierzu erzeugen wir feinste Leiterbahnen auf mikrospritzgießtechnisch hergestellten Kunststoffbauteilen, indem wir die Lasertechnik mit der chemischen Abscheidung von Metallschichten kombinieren. Mit subtraktiven, semiadditiven und volladditiven Verfahren und verschiedenen

Werkstoffen können wir für viele Anwendungen eine Lösung anbieten. Insbesondere hat die Laserdirektstrukturierung in den letzten Jahren sehr an Attraktivität gewonnen, da hier eine breite Palette an Werkstoffen kommerziell verfügbar ist und modernste Laseranlagen eingesetzt werden können.

Durch die Möglichkeit, feinste Leiterbahnen auf thermoplastischen Schaltungsträgern zu erzeugen, ist auch die Montage von Nacktchips auf MID realisierbar. Hierbei kommen Drahtbondtechniken und Flip-Chip-Techniken zum Einsatz. Bei den Flip-Chip-Techniken sind vor allem auf dem Kleben basierte Verfahren von Interesse. Aber auch das bleifreie Lötten von SMD-Bauelementen ist bei vielen Hochtemperaturthermoplasten problemlos möglich. Bei der SMD-Montage stellt die Klebtechnik aber auch eine interessante Alternative dar.

Bei einfacheren Geometrien von Bauteil und Leiterbild können wir die Heißsprägetechnik einsetzen. Hier steht mittlerweile eine breite Palette von geeigneten Folien zur Verfügung, mit denen Leiterbahnen auf einer Vielzahl von Thermoplasten hergestellt werden können. Durch den Wegfall der chemischen Metallisierung beim MID-Hersteller ergibt sich eine kurze Prozess-

kette. Heißspräge-MID-Baugruppen eignen sich besonders für die SMD-Montage von Bauelementen.

Neben modernsten Fertigungseinrichtungen verfügen wir auch über umfangreiches Prüfequipment. Daher sind wir auch in der Lage, unseren Kunden die geeignete Prüfung der Baugruppen anzubieten. Dazu gehören die Funktionsprüfungen genauso wie die einschlägigen Zuverlässigkeits- und Umweltprüfungen. Beim Spritzguss und bei der Bereitstellung der Werkzeuge und Vorrichtungen arbeiten wir eng mit den Abteilungen Bauelemente und CAD-CAM-Techniken zusammen. Daher können wir unsere Kunden während der gesamten Entwicklungszyklen bei neuen Produkten beraten und unterstützen, angefangen bei der Produktidee bis hin zur Bereitstellung von qualifizierten Prototypen.

**Kontakt: Dr. Wolfgang Eberhardt**

**Telefon: +49 711 121-3717**

**eMail: eberhardt@hsg-imat.de**

## Bauelemente

In der Abteilung Bauelemente befassen wir uns schwerpunktmäßig mit Mikrospritzgießtechnik einschließlich der Herstellung hoch präziser Werkzeuge sowie mit der Entwicklung von Sensoren und Aktoren auf Basis von mikrostrukturierten MID-Bausteinen.

Die Mikrospritzgießtechnik, die wir in Ein- und Zweikomponenten Spritzgießtechnik beherrschen, erlaubt uns die Herstellung hochgenauer Kunststoffbauteile mit feinen Strukturabmessungen und Toleranzen im Mikrometerbereich. Bei der Mikrospritzgießtechnik ist die Herstellung der Werkzeuge eine große Herausforderung. Hierfür ist es wichtig, dass wir in der Abteilung Bauelemente die Bauteil- und Werkzeugkonstruktion, die Herstellung der Werkzeuge und den Spritzguss in einer Hand haben. Dazu stehen uns insbesondere zwei Hochpräzisions-HSC-Maschinen, die Mikrofunkenerosion und das neuartige elektrochemische Fräsen mit ultrakurzen Spannungsimpulsen zur Verfügung. Bei der Bauteilkonstruktion setzen wir auch Simulationstools ein u.a. um das Füllverhalten zu beurteilen oder um mechanische oder thermische Fragestellungen zum Bauteil anzugehen.

Mikrospritzgießteile werden in zunehmendem Maße eingesetzt, wobei Automatisierungstechnik, Kfz-Technik, Medizintechnik und Life Sciences besonders wichtig sind.

Große Erfahrung konnten wir beispielsweise bisher in der äußerst erfolgreichen Zusammenarbeit mit dem HSG-IMIT auf dem Gebiet der Kunststofftechnik für die Mikrofluidik sammeln. Hier ist es uns gelungen, aus verschiedenen Polymerwerkstoffen mit der Mikrospritzgießtechnik mikrofluidische Kanal- und Düsensysteme für die Mikrodosierung herzustellen, die sehr hohen Anforderungen an die fluidischen Eigenschaften gerecht werden.

Wenn wir auf den Mikrospritzgießteilen, die je nach Anwendung eine komplexe 3D-Geometrie besitzen können, in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Technologie mit laserbasierten Verfahren feinste Leiterbahnen oder komplexe Elektrodenstrukturen aufbringen, verfügen wir über Bausteine für innovative Sensoren und Aktoren. Bei den Sensoren haben wir Erfahrungen zu Beschleunigungsaufnehmern, Neigungssensoren und -schaltern sowie Drehwinkelsensoren. Bei den Aktoren stehen elektrostatische Kamm- und Wanderkeilantriebe im Vordergrund. Sowohl bei den Sensoren als auch bei den Aktoren zielen wir auf innovative Konzepte für low cost Applikationen.

Beispielsweise arbeiten wir derzeit verstärkt an einem hochauflösenden flüssigkeitsbasierten kapazitiven einachsigen Neigungssensor mit einem Messbereich von echten 360 Grad. Der Sensor wird als

SMD-Bauelement ausgelegt, kann SMD-kompatibel verarbeitet werden und zeichnet sich durch ein geringes Bauvolumen im Bereich von etwa 0,25 cm<sup>3</sup> aus. Optional kann der Sensor mittels Flip-Chip-Technik mit einem ASIC für die Signalverarbeitung bestückt werden.

Selbstverständlich greifen wir bei den Arbeiten zu den Sensoren und Aktoren auch auf Simulationswerkzeuge zurück. Das betrifft die statischen und dynamischen mechanischen Eigenschaften genau so wie elektrische Eigenschaften. Darüber hinaus sind für die Signalverarbeitung der Wandler elektronische Schaltungen erforderlich, die wir im Hause entwickeln und aufbauen. Schließlich erstellen wir auch die Messplätze, die wir für den Funktionstest und die Charakterisierung benötigen, und verfügen ebenfalls im HSG-IMAT über wichtige Zuverlässigkeits- und Umwelttesteinrichtungen.

Ob es sich um Mikrospritzgießbauteile, um komplexe 3D-Packages für Mikrosysteme oder um Sensoren und Aktoren auf der Basis von MID-Bauteilen handelt, so können wir Sie mit der Abteilung Bauelemente bei allen wichtigen Schritten zur Komplettlösung Ihrer Problemstellung unterstützen. Zögern Sie nicht uns anzusprechen.

**Kontakt: Daniel Warkentin**  
**Telefon: +49 711 121-3708**  
**eMail: [warkentin@hsg-imat.de](mailto:warkentin@hsg-imat.de)**

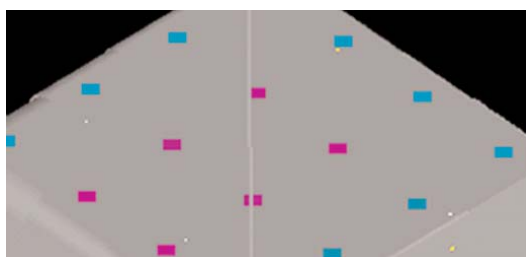


# 3D-Koordinatenmesstechnik

## Einleitung

Die 3D-Koordinaten-Messtechnik am HSG-IMAT spielt bei der Vermessung von Werkzeugen für die Spritzgieß- und Heißprägetechnik eine ebenso entscheidende Rolle wie bei den spritzgegossenen oder heißgeprägten Bauteilen selbst, die mit diesen Werkzeugen hergestellt werden. Auch bei den Laserstrukturierungsverfahren vollsubtraktiv, semiadditiv und Laserdirektstrukturierung kommt die 3D-Koordinaten-Messtechnik zum Einsatz, da es vor allem im 3D-Bereich darauf ankommt, dass Leiterbild und Bauteil exakt zueinander passen.

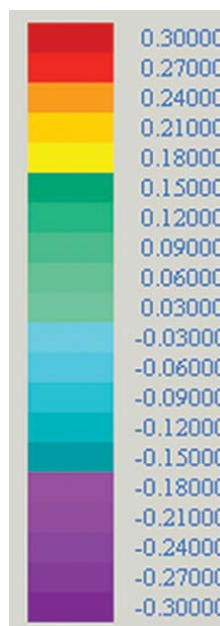
Für diese Messungen setzt das HSG-IMAT eine Messmaschine der Fa. Werth mit der Bezeichnung VideoCheck 400x400x200 ein. Sie besitzt einen Messbereich von 400 x 400 x 200 mm<sup>3</sup> bei einer Auflösung von 0.1 µm. Mit den 3 eingebauten Messsystemen, einem Sensorkopf mit telezentrischer Optik und Bildverarbeitung, einem Foucault-Laser sowie einem taktilen System kann eine breite Palette von Messaufgaben im 2D- und 3D-Bereich durchgeführt werden.



## 2D-Auswerte-Software

Für den 2D-Bereich stehen Bestfit- und Toleranzfit-Methoden zur Verfügung und für den 3D-Bereich ein 3D-CAD-Modul. Die Bestfit-Einpassung wird dazu benutzt, um mit der Ist-Geometrie eines Werkzeugs in Form von gemessenen Konturdaten eine Bestfit-Einpassung in die Sollgeometrie, die als DXF-Datei aus einem CAD-Programm importiert wird, vorzunehmen. Damit können Abweichungen am Werkzeug, die z. B. beim Fräsprozess oder nach dem Härten entstanden sind, festgestellt und ggf. korrigiert werden.

Mit Toleranzfit werden Bauteile geprüft. Dazu wird die importierte Sollgeometrie mit Toleranzbändern versehen und die Konturdaten der gemessenen Bauteile damit verglichen. Dadurch wird ermittelt, ob Bauteile innerhalb der geforderten



Toleranzen liegen bzw. an welchen Stellen sie davon abweichen und Korrekturen am Werkzeug notwendig sind. Man kann mit dieser Methode auch Bauteile verschiedener Spritzgusschargen miteinander vergleichen, um die Auswirkung unterschiedlicher Spritzparameter auf die Bauteile zu untersuchen.

## 3D-CAD-Modul

Für den 3D-Bereich steht ein Modul zur Verfügung, mit welchem das HSG-IMAT in der Lage ist, 3D-Geometrien von Werkzeugen oder Bauteilen messtechnisch zu erfassen und einen Soll-Ist-Vergleich durchzuführen. Der Import der Sollgeometrie erfolgt als Datei im IGES- oder STEP-Format. Nach der Vermessung des Bauteils mit dem taktilen Messsystem wird eine 3D-Bestfit-Einpassung vorgenommen. Als Ausgabe steht eine Falschfarbendarstellung zur Verfügung (Abb. 1), mit welcher die Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Geometrie graphisch dargestellt werden. Gleichzeitig können aus den einzelnen Messpunkten Konturen und Ausgleichselemente (Ebenen, Geraden, usw.) berechnet werden, um weitere Informationen z. B. über spezielle Bereiche des

Abb. 1: Falschfarbendarstellung der Höhenunterschiede mit 3D-Modul



Bauteils zu erhalten. Mit diesen Methoden sind Rückschlüsse auf evtl. durchzuführende Korrekturen zu ziehen. Die Erfassung und Auswertung von 3D-Geometrien mit dem 3D-CAD-Modul wurde bisher hauptsächlich an Bauteilen für die MID-Technik durchgeführt, die für die Laserstrukturierung vorgesehen sind. Die Laserdaten für die 3D-Belichtung werden üblicherweise anhand der Sollgeometrie erzeugt, d. h. anhand des konstruierten 3D-Modells. Da jedoch die spritzgegossenen Bauteile nicht exakt den Sollmaßen entsprechen, kann es bei der Belichtung der Teile z. B. auf Ebenen, die unter einem großen Winkel belichtet werden, zu Problemen kommen. Mit der Erfassung der exakten 3D-Kontur in den problematischen Bereichen, die mit dem Laser strukturiert werden sollen, ist es möglich aufgrund der Messergebnisse eine Anpassung des 3D-Layouts an die reale Geometrie vorzunehmen und die bestmöglichen Ergebnisse bei der Laserstrukturierung von MID-Bauteilen zu erreichen.

**Beispiele industrieller Messaufträge**

Für die Fa. Erni Elektroapparate GmbH wurden mehrere Erstmusterprüfungen an Feder- und Messerleistengehäusen von

Steckverbindern vorgenommen. Die zu messenden Merkmale lagen in einem Bereich von 0.05 mm - 50 mm und wurden hauptsächlich mit dem Kamerasystem und dem taktilen Messsystem erfasst, wobei für einige Merkmale die Herstellung von Schlifflagen notwendig war. Mit Hilfe dieser Daten wird ein Erstmuster-Prüfbericht erstellt, anhand dessen eine Entscheidung über die weitere Vorgehensweise getroffen wird. Sind die gemessenen Teile in der Spezifikation, so kann das Werkzeug freigegeben werden. Andernfalls wird eine Werkzeugkorrektur vorgenommen.

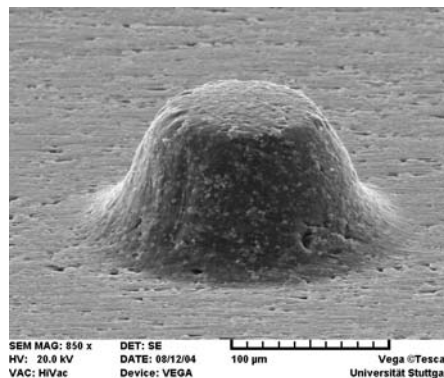


Abb. 2: REM-Aufnahme eines Polymerbumps

Im Rahmen eines weiteren Projekts mit der Harting AG wurden die Höhen von spritzgegossenen Polymerbumps auf thermoplastischen Substraten für die Flipchip-Technologie gemessen (Abb. 2 und 3). Sämtliche Messungen wurden mit Hilfe von Tastern mit Tastkugeldurchmessern von 0.3 und 2.0 mm durchgeführt. Die Schwierigkeit bei den Messungen lag u. a. darin, den jeweiligen Bereich für die Messung mit dem Taster genau anzufahren, da sowohl die Messflächen als auch die Messergebnisse im Bereich von ca. 100 µm lagen. Die Auflösung betrug 0.1 µm. Dieses Problem konnte gelöst werden, indem z. B. die anzufahrenden Koordinaten vorher berechnet wurden.

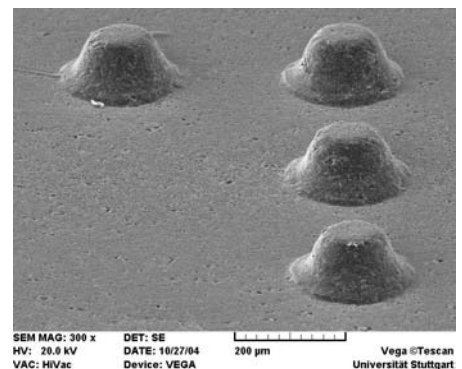


Abb. 3: REM-Aufnahme: Anordnung mehrerer Polymerbumps

**Kontakt: Dr.-Ing. Manfred Schubert**  
**Telefon: +49 711 121-3718**  
**eMail: schubert@hsg-imat.de**

# Bearbeiten von Edelstahl mit dem Elektrochemischen Fräsen mit ultrakurzen Spannungspulsen (ECF)

## Einleitung

Das Elektrochemische Fräsen mit ultrakurzen Spannungspulsen (ECF) erlaubt die dreidimensionale Mikrobearbeitung von festen Werkstoffen wie z. B. Edelstahl 1.4301. Dabei sind Strukturgrößen im Mikrometerbereich erreichbar. Ähnliche Bearbeitungsstrategien wie beim spanabhebenden Fräsen können beim ECF-Verfahren angewandt werden. Der Abtrag erfolgt allerdings über einen elektrochemischen Prozess. Dazu werden zwischen Werkzeug und Werkstück Spannungspulse von wenigen Nanosekunden Breite angelegt. Auf Grund der geringen Pulsbreite wird die elektrochemische Doppelschicht nur innerhalb eines definierten Arbeitsabstandes um das Werkzeug herum weit genug umgeladen, um Material am Werkstück abzutragen. Die Bearbeitung ist also lokal begrenzt. Die Breite dieses Arbeitsabstandes ist über die Pulsweite einstellbar, so dass z. B. eine Schrupp- und

Schlichtbearbeitung möglich ist. Da die elektrochemische Bearbeitung nahezu kräftefrei ist, können Werkzeuge mit Durchmessern unter  $10\ \mu\text{m}$  und mit diversen "Schneidengeometrien" zum Einsatz kommen (vgl. Jahresbericht 2002). Während beim spanenden Fräsen das Werkzeug rotiert werden muss, kann beim ECF-Verfahren mit stehendem Werkzeug gearbeitet werden. Trotzdem kann es von Vorteil sein, auch hier mit rotierendem Werkzeug zu arbeiten, da hierdurch ein erhöhter Elektrolytaustausch im Arbeitspalt erzielt wird und entstehende Gasblasen schneller aus dem Arbeitspalt entfernt werden. Beide Effekte führen zu einer Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit. Die erreichten realen Bearbeitungsgeschwindigkeiten können sich, z. B. durch das Auftreten von Einschlüssen im Stahl, lokal unterscheiden. Ist der Vorschub höher als die reale Bearbeitungsgeschwindigkeit, führt dies zu einem Kontakt zwi-

schen Werkzeug und Werkstück, auf den die Elektronik mit dem Abschalten des Pulses und dem Einleiten einer Ausweichstrategie reagiert.

## Graben

Abbildung 1 zeigt die Bearbeitung einer Grabenstruktur, die die Leistungsfähigkeit der ECF-Technik mit der am Institut aufgebauten Anlage illustriert, ohne jedoch schon ihre Grenzen aufzuzeigen. Der 3 mm lange Graben mit einer Breite von  $85\ \mu\text{m}$  und einer Tiefe von  $250\ \mu\text{m}$  wurde in Edelstahl 1.4301 eingebracht. Die Bearbeitung erfolgte - jeweils bei voller Zustellung - in einem Schrupp- und einem Schlichtgang mit  $170\ \text{ns}$  bzw.  $80\ \text{ns}$  langen Pulsen. Durch Wahl der langen Pulse und dem sich damit einstellenden großen Arbeitsabstand, wurde bei der Schruppbearbeitung ein großes Materialvolumen mit einer geringen Anzahl von Kontakten entfernt. Die Qualität der dabei entstan-

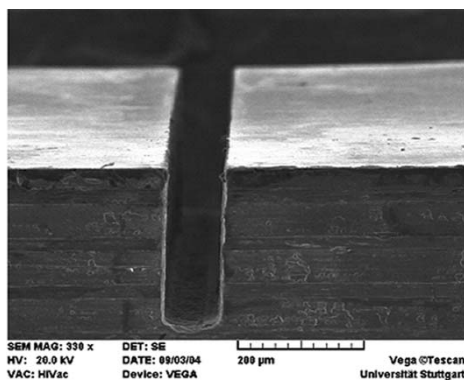


Abb. 1: 3 mm langer Graben,  $85\ \mu\text{m}$  breit und  $250\ \mu\text{m}$  tief hergestellt mit einem  $50\ \mu\text{m}$ -Werkzeug.

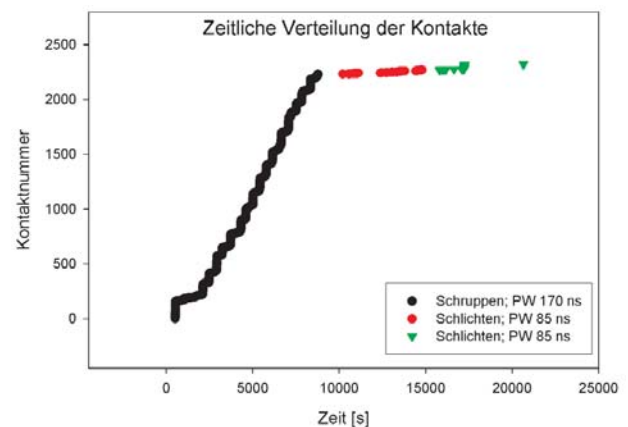


Abb. 2: Aufgetragen ist der zeitliche Verlauf des Auftretens der Kontakte. Dabei sind schwarz die Kontakte, die während des Schruppens aufgetreten sind, rot und grün während der zwei Schlichtgänge.

nen Grabenwände wurde im anschließenden Schlichtgang verbessert. Da das beim Schlichten zu entfernende Materialvolumen sehr gering war, traten bei der Schlichtbearbeitung so gut wie keine Kontakte auf. Die Schrupp- und Schlicht-Strategie erhöhte somit die Bearbeitungsgeschwindigkeit. Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf des Auftretens der Kontakte. Während des Schruppgangs (schwarz) sind über 95 % der Kontakte aufgetreten. Die beiden Schlichtgänge (rot und grün) haben zusammen insgesamt nur 90 Kontakte. Die Bearbeitung wurde mit einem Werkzeug mit einem Durchmesser 50 µm durchgeführt. Das Aspektverhältnis zwischen Grabentiefe und Werkzeugdurchmesser von 5 ist verglichen mit HSC-Fräsen fast doppelt so hoch. Trotzdem sind auf Grund der kräftefreien Bearbeitung der ECF-Technik praktisch senkrechte Grabenwände erreichbar.

### Bearbeitung mit drehendem Werkzeug

Erste Untersuchungen wurden durchgeführt, um die ECF-Bearbeitung mit rotierendem Werkzeug zu testen. Dazu wurde ein Bearbeitungskopf entwickelt, in dem eine rotierende Achse integriert ist. Über einen Schleifkontakt wird der elektrische Impuls auf das drehende Werkzeug übertragen.

Abbildung 3 zeigt eine Bearbeitung unter Verwendung des Drehkopfes. Es ist derzeit noch nicht möglich, das Werkzeug exakt axial auf die Maschinenachse zu positionieren. Mit einem 250 µm exzentrisch montierten Werkzeug wurde durch einen Bohrzyklus ein kreisförmiger Graben mit ca. 500 µm Durchmesser und einer Breite von 60 µm erstellt.

Abbildung 3 zeigt an Hand der scharfen Grabenkanten, dass die Bearbeitung von mindestens so guter Qualität ist, wie bei stehenden Werkzeugen.

### Ausblick

Eine noch weitere Verbesserung der Bearbeitungsgenauigkeit wird angestrebt. Dabei sollen auf Grund der guten Ergebnisse mit dem Drehkopf weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet durchgeführt werden. Gleichzeitig soll die Industrierelevanz gesteigert werden, indem Bearbeitungen in verschiedenen Stahlwerkstoffen untersucht und optimiert werden.

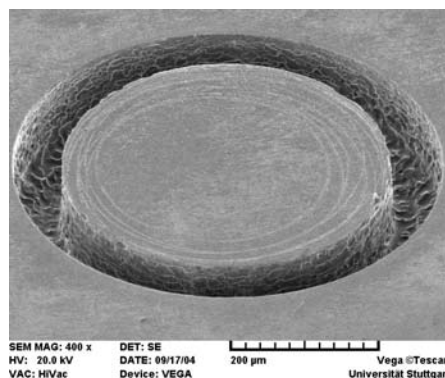


Abb. 3: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines kreisförmigen Grabens, der mit einem exzentrisch rotierenden Werkzeug hergestellt wurde

# Kapazitiver Neigungssensor in MID-Technik

## Einleitung

In Automobilbau, Automatisierungstechnik, Konsumertechnik und Forschung werden bei einer Vielzahl von Anwendungen Sensoren zur Ermittlung der Neigung eingesetzt. Beispiele hierfür sind die Lageerfassung bei intelligenten Feststellbremsystemen oder bei Diebstahlwarnsystemen von Kraftfahrzeugen. In Verbindung mit der Mikrospritzgießtechnik bietet die MID-Technik die Möglichkeit, Neigungssensoren kostengünstig in großen Stückzahlen herzustellen.

## Differenzial-Kondensator-Prinzip

Das Wirkprinzip des Sensors beruht auf der Kapazitätsänderung einer neigungsabhängigen Differenzial-Kondensator-Anordnung. Der Sensor kann wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt aus 2 MID-Gehäusehälften, einer dielektrischen Flüssigkeit und einem Elektronik-Auswertechip als SMD-Baustein aufgebaut werden. Das Volumen der Kavität ist zur Hälfte mit der

dielektrischen Flüssigkeit gefüllt. In den beiden Gehäusehälften sind jeweils zwei halbkreisförmige Elektroden, die zusammen mit der Flüssigkeit zwei veränderliche Kapazitäten bilden. Die Kapazitäten C1 und C2 hängen von der Größe der Überdeckung der Gehäuseelektroden mit Flüssigkeit ab (siehe Abbildung 2). Die beiden Kapazitäten C1 und C2 sind parallel angeordnet und bei horizontaler Lage des Gehäuses gleich groß. Bei Neigung des Gehäuses bezüglich der Horizontalen behält die Flüssigkeit aufgrund der Gravitationskraft ihre ursprüngliche Lage bei. Dabei verändern sich die Kapazitäten C1 und C2 gegensinnig zueinander. Die Kapazitätsdifferenz ist somit ein Maß für die Neigung und kann durch eine Kapazitäts-Spannungs-Wandler-Elektronik in ein zur Neigung äquivalentes Spannungssignal gewandelt werden. Eine solche Elektronik könnte z. B. in Form eines ASICs platzsparend als Flip-Chip auf dem Gehäuse integriert werden.

## Aufbau eines Demonstrators

Für erste Untersuchungen des beschriebenen Konzepts wurde ein Demonstrator aufgebaut. Die Abmessungen des Demonstrators betragen  $18 \times 21 \times 11 \text{ mm}^3$  (L x H x B). Der Demonstrator verfügt über einen Messbereich von  $\pm 90^\circ$ . Das Befüllvolumen der Kavität ist bei einem Durchmesser der Elektroden von 6 mm und einem Elektrodenabstand von  $500 \mu\text{m}$  ca.  $20 \mu\text{l}$ . Die Elektrodenstruktur des Demonstrators wurde auf handelsüblichen zweiseitig kupferkaschierten FR4-Leiterplatten hergestellt. Der Abstandhalter zwischen den Leiterplatten wurde mittels Laser aus rostfreiem Stahlblech ausgeschnitten. Die Abdichtung der Kavität zwischen Leiterplatten und Abstandhalter erfolgte durch Klebstoff. Sämtliche Sensorelemente wurden mittels Zentrierstiften und Schrauben zwischen zwei PMMA-Platten befestigt. Der fertig montierte Sensor ist in Abbildung 3 dargestellt.

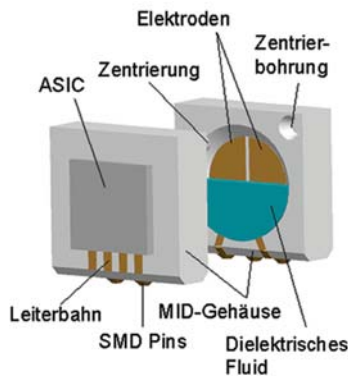


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Neigungssensors in MID-Technik

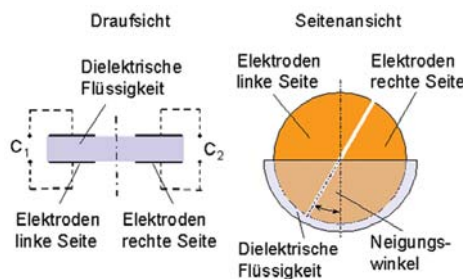


Abb. 2: Wirkprinzip des Neigungssensors

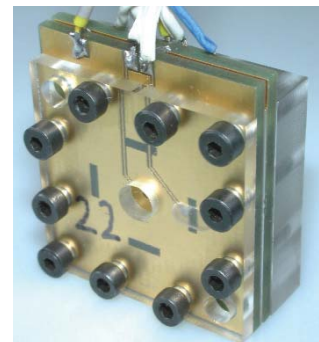


Abb. 3: Gefertigter Demonstrator

**Messergebnisse**

Die Charakterisierung des Demonstrators erfolgte mit dem am IZFM vorhandenen Neigungssensor-Prüfstand. Mit dem Prüfstand können Winkel bis zu  $0,001^\circ$  bei Drehraten von bis zu  $360^\circ/s$  aufgelöst werden. Das große Potenzial des Sensorprinzips zeigt sich schon bei ersten Messungen. Für die Messungen wurde der Sensor im Bereich von  $\pm 90^\circ$  in  $10^\circ$  Schritten geneigt. Dabei wurden kontinuierlich das Ausgangssignal der Auswerteschaltung und der Drehwinkel des Prüfstands gemessen. In Abbildung 4 ist das Ausgangssignal des Sensors und der Drehwinkel des Prüfstands über der Zeit aufgetragen. Wie in Abbildung 5 erkennbar ist, zeigt der Sensor ein lineares Verhalten. Die Nichtlinearitäten sind zwischen  $\pm 60^\circ$  besser als 2%. Die großen Nichtlinearitäten am Rand des Messbereichs sind durch einen

nicht optimalen Füllstand der Flüssigkeit im Sensor bedingt. Eine statische Hysterese des Sensorsignals war nicht zu beobachten.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Für die Herstellung von kostengünstigen Neigungssensoren auf MID-Basis wurde ein neues Wirkprinzip konzipiert und die Funktionsfähigkeit an einem einfachen Demonstrator aufgezeigt. Erste Messungen an dem Demonstrator zeigen das große Potenzial des kapazitiven Neigungssensors mit dielektrischer Flüssigkeit. Im nächsten Schritt soll der Aufbau des Sensors aus MID-Bausteinen demonstriert werden.

Technische Spezifikation	Wert
Baugröße (L x H x B)	18 x 21 x 11 mm <sup>3</sup>
Vollausschlag (FSO) [V]	2,25
Empfindlichkeit [ $\Delta V/^\circ$ ]	0.014
Auflösung [°]	< 0.03
Nichtlinearität max. [% FSO]	5%
Nichtlinearität $-60^\circ / +60^\circ$	$\pm 1\%$
Wiederholgenauigkeit	0.1°
Rauschen [% FSO]	< 0.25
Querempfindlichkeit [%/°]	< 0.1

Tab.1: Auflistung der Sensorparameter

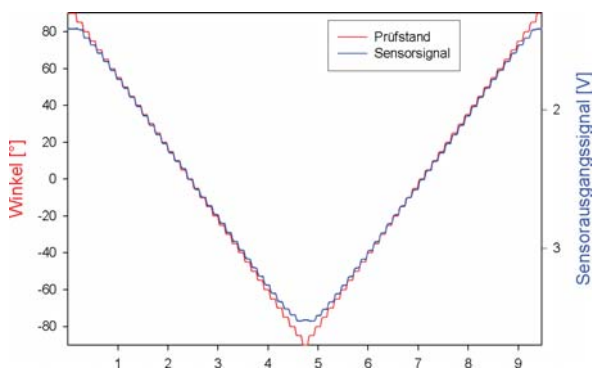


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf von Drehwinkel des Prüfstands und Sensorsignal

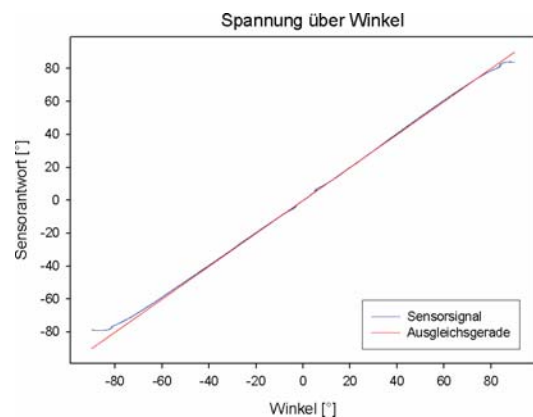


Abb. 5: Sensorsignal in Abhängigkeit des Drehwinkels des Prüfstands

**Kontakt: Daniel Benz**  
**Telefon: +49 711 121-3706**  
**eMail: benz@izfm.uni-stuttgart.de**

## Heißprägefolien für die MID-Technik

Die Heißprägetechnik ist ein schneller und wirtschaftlicher Fertigungsprozess zur Herstellung von MID. Mit diesem Verfahren kann eine breite Palette von Anwendungen aus dem Bereich mikrosystem- und feinwerktechnischer Baugruppen insbesondere für die Kfz- und Automatisierungstechnik ohne den unmittelbaren Einsatz von chemischen oder galvanischen Prozessen direkt beim MID-Anbieter hergestellt werden. Die Folie wird zwar mit galvanischen Prozessen hergestellt, sie wird jedoch durch einen externen Dienstleister bereitgestellt, so dass hierfür beim MID-Anbieter keine Investitionen anfallen, was insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen auf großes Interesse stößt.

Derzeit laufen am HSG-IMAT Untersuchungen zur Prozessoptimierung des Folienherstellungsprozesses sowie zur Machbarkeit von dünnsten heißprägefähigen Folien. Grundsätzlich ist eine für den Heißprägeprozess geeignete Folie aus einer Kupfer-Grundfolie, einem haftvermittelnden Treatment und einem Oberflächenfinish aufgebaut. Die Grundfolie wird durch elektrolytische Abscheidung aus einem modifizierten Kupferelektrolyten an einem Titanzylinder erzeugt. Anschließend erfolgt in einem separaten Modul die Aufbringung des haftvermittelnden Treatments. In einem weiteren Modul wird das Oberflächenfinish erzeugt. Die Anlage

im HSG-IMAT zur Folienherstellung (siehe Abb. 1) ist mit allen drei Modulen ausgestattet.

Für einen zuverlässigen Folienschnitt beim Prägeprozess sind die mechanischen Eigenschaften der Folie von entscheidender Bedeutung. Hohe Bruchspannungen bei geringen Bruchdehnungen erlauben einen sicheren Folienschnitt, gleichzeitig muss der elastische Bereich im Spannungs-Dehnungs-Diagramm möglichst groß sein, damit das Heißpräge-MID auch im Temperaturwechseltest eine hohe Zuverlässigkeit aufweist. Erreicht werden diese Eigenschaften durch Additive, die während des Folienherstellungsprozesses dem Kupferelektrolyten zugesetzt werden. Neben den eingesetzten Prozesschemikalien ist hierbei auch die Anlagentechnik von entscheidender Bedeutung.

Auf der Rückseite der Grundfolie wird anschließend ebenfalls mit galvanischen Verfahren ein haftvermittelndes Treatment aufgebracht, welches eine sog. "blumenkohlartige" Struktur aufweist, die beim Prägeprozess für eine feste Verkrallung im Thermoplasten und somit für eine gute Haftfestigkeit sorgt. Ausreichende Haftfestigkeiten von über 1,2 N/mm werden bei einer breiten Palette von Thermoplasten ohne Weiteres erreicht. Ein gutes Treatment zeichnet sich durch gleichmäßige und abriebfeste Struktur mit homogener

Verteilung aus, die auch nach Temperaturwechselbelastungen und Feuchte-Wärme-Lagerung eine zuverlässige Haftfestigkeit gewährleistet. Im Hinblick auf dünnste Heißprägefolien muss hier mit einer möglichst dünnen Treatmentschicht gute Haftfestigkeit erzielt werden.

Für die auf Heißpräge-MID eingesetzten Aufbau- und Verbindungstechniken ist das Oberflächenfinish von entscheidender Bedeutung. Beispielsweise kann die Heißprägefolie mit einer ebenfalls galvanisch erzeugten einseitigen Zinnoberfläche ausgestattet sein. Diese Folie eignet sich bei geeigneten Thermoplasten gut zum Aufbau von SMD-Bauelementen mit bleifreiem Löten. Als lötbare Schicht kann aber auch eine organische Lötenschutzschicht (OSP) eingesetzt werden. Solche Schichten werden schon seit langer Zeit erfolgreich bei Leiterplatten eingesetzt. Der Vorteil des OSP auf Heißprägefolien ist dessen kostengünstige Herstellung, da diese Schicht durch einen einfachen Tauchprozess applizierbar ist. Ein solches Beschichtungsmodul ist in die bestehende Anlage zur Folienerzeugung im HSG-IMAT integriert. Ein weiterer Vorteil dieser OSP-Schicht ist, dass der Prägestempel beim Heißprägeprozess keiner Aufzinnung unterliegt, wodurch die Standzeit des Prägewerkzeugs erhöht wird. Folien mit Zinnoberfläche sind schon seit längerer Zeit am Markt verfügbar, während sich die

Folien mit OSP-Beschichtung noch in der Entwicklungsphase befinden. Somit wird das Spektrum an verfügbaren Folien für die Heißprägetechnik erweitert, die Arbeiten zu dünnsten Folien mit einer Dicke von unter 10 µm werden hierzu einen weiteren Beitrag leisten.



Abb. 1: Anlage im HSG-IMAT zur Herstellung von Heißprägefolien mit haftvermittelndem Treatment und OSP

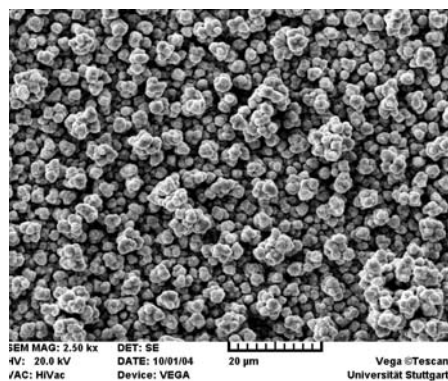


Abb. 2: Rückseite einer Heißprägefolie mit haftvermittelndem Treatment

**Kontakt: Dr. Wolfgang Eberhardt**  
**Telefon: +49 711 121-3717**  
**eMail: eberhardt@hsg-imat.de**

# Mikrofluidische Strukturen aus Kunststoff

Die Handhabung kleinster Flüssigkeitsmengen wird in vielen Bereichen der modernen Technik immer wichtiger. Hierzu werden u. a. mikrofluidische Dosierchips mit entsprechenden Mikrokanal- und Mikrodüsenstrukturen eingesetzt, welche derzeit meist auf der Basis von Glas bzw. Silizium hergestellt werden. Das HSG-IMAT hat in Zusammenarbeit mit dem HSG-IMIT und dem IMTEK die Herstellbarkeit solcher mikrofluidischer Strukturen mittels kostengünstigen Kunststoff-Mikrospritzgusses untersucht. Abb. 1 zeigt mehrkanalige Dosierchips mit den Abmessungen von 35 x 26 x 1 mm<sup>3</sup> und 24 Dispensereinheiten.



Abb. 1: 24er-Dosierchips aus COC

## Konzeption und Auslegung der Mikrospritzgussbauteile

Für die Konzeption und Auslegung der Mikrospritzgussbauteile können FEM-Simulationstools eingesetzt werden. Abb. 2 zeigt eine Moldflow-Füllsimulation eines halb befüllten Dosierchips. Abb. 3 zeigt zum Vergleich die Ergebnisse einer Füllstudie an den Dosierchips. Anhand der Simulationen können im Vorfeld kritische

Strukturen erkannt und geeignete Optimierungsmaßnahmen erarbeitet und umgesetzt werden.

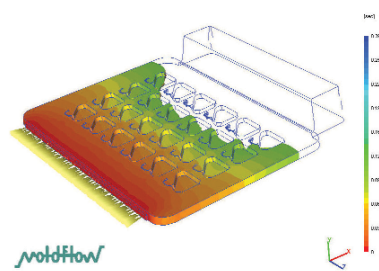


Abb. 2: Füllsimulation der Dosierchips

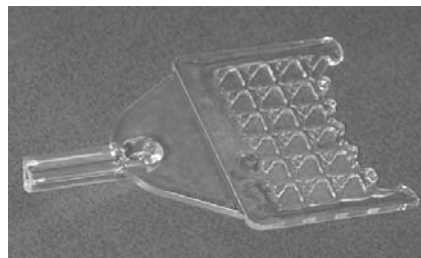


Abb. 3: Füllstudie der Dosierchips

## Werkzeugbau

Die Konstruktion der Bauteile erfolgt mit kommerziellen CAD-Tools. Abb. 4 zeigt die CAD-Konstruktion der Formeinsätze des 24er-Dosierchips.



Abb. 4: CAD-Konstruktion der Einsätze

Die Herstellung der Spritzgießwerkzeuge für solche Mikrofluidiksysteme stellt eine Herausforderung an den Werkzeugbau dar. Die auswechselbaren Einsätze wurden daher vollständig durch Hochpräzisions-HSC-Fräsen hergestellt. Durch eine Optimierung der Frässtrategien konnten die notwendigen Genauigkeiten und Oberflächenqualitäten erreicht werden. Für die Herstellung der Werkzeuge stehen am HSG-IMAT zwei HSC-Maschinen mit CAD/CAM-Kopplung zur Verfügung: Eine 5-Achsen-Präzisionsfräsmaschine Picomax 60 M der Firma Fehlmann und eine 3-Achsen-Hochpräzisionsfräsmaschine PFM 24 der Firma Primacon. Abb. 5 zeigt eine Detail-REM-Aufnahme der Negativform einer Dispensereinheit des Dosierchips im Werkzeug mit Reservoir, Steigkapillare, Kapillare und Düse. Abb. 6 zeigt die REM-Aufnahme der Spitze eines Düsenkerns in der Werkzeug-Kavität aus Stahl 1.2767 mit 100 µm Spitzendurchmesser.

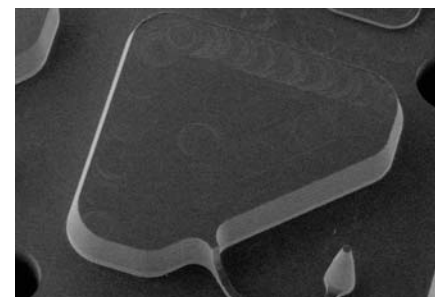


Abb. 5: REM-Aufnahme der Kavität



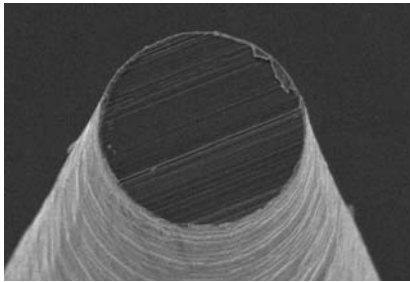


Abb. 6: Düsen Spitze in der Kavität, Durchmesser 100 µm

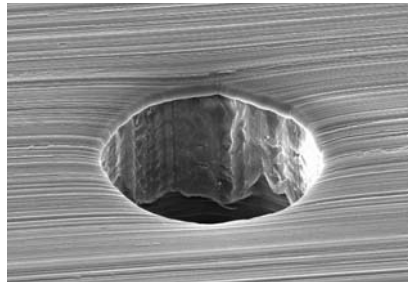


Abb. 7: REM-Aufnahme einer 100 µm Düsenöffnung in COC

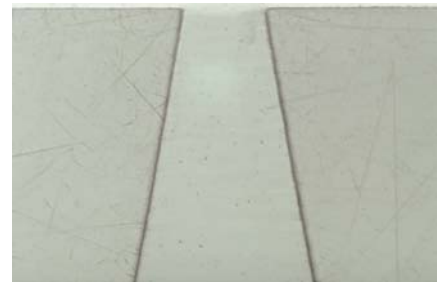


Abb.8: Querschliff durch Düsenöffnung

### Mikrospritzguss

Ähnlich wie beim Werkzeugbau erfordert auch die Herstellung der Mikrospritzgussbauteile hohe Anforderungen an die Prozessführung. Insbesondere muss hier ein Überspritzen der Düsen verhindert werden und gleichzeitig ein geringer Verzug der Bauteile gewährleistet sein. Für die Herstellung der Spritzgussbauteile stehen am HSG-IMAT zwei Spritzgussmaschinen zur Verfügung: Eine hydraulische Zweikomponenten-Spritzgießmaschine 320S 500 - 60/60 Allrounder der Firma Arburg mit lagegeregelten Schnecken und eine elektromechanisch arbeitende Mikrospritzgießmaschine der Firma Battenfeld Typ Microsystems 50.

Abb. 7 zeigt eine Düsenöffnung in COC (Topas 5013 X4). Wie aus der Abbildung zu erkennen ist, konnten die Öffnungen ohne störende Überspritzungen bei gleich-

zeitig geringer Bindenahtbildung hergestellt werden. Die Vermessung der Bauteile mit dem Tastschnittmessgerät zeigt, dass eine geringe Oberflächenrauheit und ein geringer Verzug an den Bauteilen erreicht wurde. Abb. 9 zeigt eine Tastschnittmessung der Dosierchipoberfläche.

Abb. 8 zeigt einen Querschliff der Düsenöffnung. Deutlich zu erkennen ist die gute Abformung der Mikrostrukturen durch den Spritzgießprozess.

Dieses Forschungsvorhaben (AiF-Vorhaben-Nr. 13437 N) wird aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert.

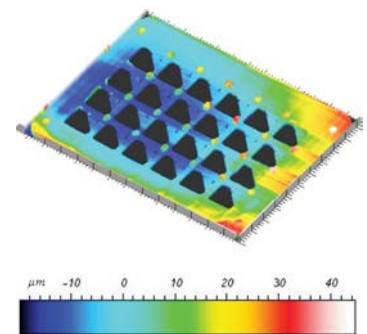


Abb. 9: Tastschnittmessung der Dosierchipoberfläche

**Kontakt: Daniel Warkentin**  
**Telefon: +49 711 121-3708**  
**eMail: warkentin@hsg-imat.de**

# IMDAKT - innovative Mikrodrehgeber für Automatisierungs- und Kraftfahrzeugtechnik

## Einleitung

Als wichtige Bauelemente der Sensortechnik werden derzeit Drehgeber in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen zur Erfassung von Position und Drehzahl benötigt. Die ständig steigenden Forderungen der Endkunden nach mehr Funktionsintegration und höherer Leistungsverdichtung bei gleichzeitiger Miniaturisierung und Gewichtseinsparung verbunden mit reduzierten Stückkosten erzeugen im globalen Markt einen enormen Wettbewerbsdruck unter den Anbietern. Mit den bisher eingesetzten Technologien ist keine weitere Reduzierung von Baugröße, Gewicht und Kosten mehr möglich. Somit sind neue Technologien mit neuen Chancen gefragt, um diese Anforderungen zu realisieren. Hier bietet die Chipmontage auf laserstrukturierten MID ein enormes Potenzial, insbesondere seit für die Laserdirektstrukturierung (LDS) von Thermoplasten ein ständig steigendes Angebot an geeigneten Werkstoffen zur Verfügung steht.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Programm Mikrosystemtechnik 2000+ geförderten Projekts IMDAKT werden Demonstratoren von innovativen Mikrodrehgebern aus verschiedenen Anwendungsbereichen mit MID-Technologien aufgebaut. Für die Kfz-

Technik wird ein Rotationssensorgehäuse und für die Automatisierungstechnik ein Drehwinkelsensorgehäuse für miniaturisierte pneumatische Drehantriebe im Vorhaben untersucht.

## Rotationssensorgehäuse

Als Demonstrator für ein Rotationssensorgehäuse wird im Rahmen von IMDAKT ein laserdirektstrukturiertes MID aufgebaut und mit einem Sensor-Chip mittels Flip-Chip-Technik bestückt. Die Herstellung des MID wurde dabei ausgehend von der Füllsimulation über den Werkzeugbau, den Spritzguss bis hin zur Laserstrukturierung und der außenstromlosen Metallisierung im HSG-IMAT durchgeführt. Bei dieser Anwendung ist für den Thermoplasten eine hohe Temperaturbeständigkeit, verbunden mit einem relativ niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten notwendig. Dieses Eigenschaftsprofil ist insbesondere bei Liquid Crystal Polymers (LCP) gegeben, die sich besonders für eine zuverlässige Montage von Nacktchips auf MID eignen. Weiterhin zeichnen sich LCP durch ihre exzellenten Fließigenschaften aus, was bei der Herstellung von filigranen Strukturen bei mikrosystemtechnischen Bauteilen von großem Vorteil ist.

Die ersten Ergebnisse von umfangreichen Zuverlässigkeitsuntersuchungen der Ro-

tationssensorgehäuse sind sehr vielversprechend. Durch gezielte Modifikation der Werkstoffe im Hinblick auf einen weiter reduzierten thermischen Ausdehnungskoeffizienten ist eine weitere Steigerung des Einsatztemperaturbereichs zu erwarten.

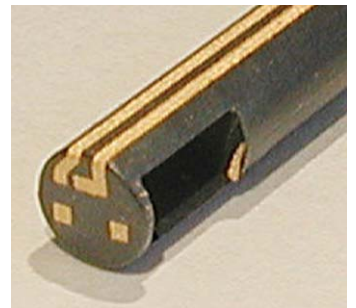


Abb. 1: Rotationssensorgehäuse als laserdirektstrukturiertes MID aus LCP

## Drehwinkelsensorgehäuse

Für die Industriepneumatik wurde ein Drehwinkelsensorgehäuse als laserdirektstrukturiertes MID erarbeitet. Für diese Anwendung wurden als laseraktivierbare Thermoplaste neben LCP auch PBT und vor allem PA6/6T untersucht. Neben der Werkzeugherstellung, dem Spritzgießen, der Laserstrukturierung und außenstromloser Metallisierung wurde auch die Bestückung mit SMD-Bauelementen und einem Sensor-Chip am HSG-IMAT durchgeführt.

Die hohe geometrische Komplexität dieses MID stellt vor allem hohe Anforderungen an die Laserstrukturierung. Dabei ist die Laserstrukturierung von Leiterbahnen auf mehreren Ebenen verbunden mit steilen Winkeln eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Durch Fokuspunktführung und gezielte Variation der Laserparameter muss gewährleistet sein, dass das Layout an allen Positionen optimal aktiviert wird. Somit kann erreicht werden, dass im anschließenden außenstromlosen Metallisierungsprozess mit chemisch Kupfer, chemisch Nickel und Tauchgold überall eine ausreichende Haftfestigkeit erzeugt wird.

Bei der Bauteilmontage erfolgt im ersten Schritt der Aufbau der SMD-Bauelemente und anschließend der Aufbau des Sensor-Chips mittels Flip-Chip-Technik. Das Dispensieren der bleifreien Lotpaste sowie die SMD-Bestückung wurde auf drei verschiedenen Ebenen in einem Prozess auf einem vollautomatischen Bestücker durchgeführt. Anschließend erfolgte der bleifreie Lötprozess in einer Dampfphasenlötanlage. Der Sensor-Chip mit Gold-Studs wurde mit nichtleitendem Klebstoff (NCA) gebondet. Nach dem Dispensieren des Klebstoffs wurde der Chip mit einem manuellen Bonder mit heizbarem Bestückkopf platziert und der NCA dabei unter Druck und Temperatur ausgehärtet. Durch Einsatz von

automatischen Bestückern und leistungsfähigen Thermomodern können die Zykluszeiten dabei auf unter 10 s pro Chip verringert werden.



Abb. 2: Drehwinkelsensorgehäuse vom Kunststoffrohling (unten) zum fertig bestückten MID (oben)

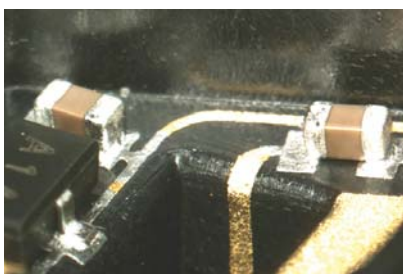


Abb. 3: Bleifrei gelötete SMD-Bauelemente auf dem Drehwinkelsensorgehäuse



Abb. 4: Mit NCA gebondeter Flipchip auf dem Drehwinkelsensorgehäuse



Drehwinkelsensorgehäuse vom Kunststoffrohling (unten) zum fertig bestückten MID (oben)



# Lehrveranstaltungen

## 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, E. Westkämper

Einführung in den Maschinenbau

## PRAKTIKA

Hauptfachpraktikum in Miniatur- und  
Mikrotechnik

Allgemeines Praktikum des  
Maschinenbaus

Elektronik-Praktikum für  
Mikrosystemtechniker

## EXKURSIONEN

Ziel: HSG-IMIT, Villingen-Schwenningen,  
12.02.2004, 23 Teilnehmer

Ziel: FhG-IMS, Duisburg,  
HL-Planar, EL MOS, STEAG microparts,  
Dortmund,  
21.-23.06.2004, 18 Teilnehmer

# Studienarbeiten

## Diplomarbeiten

### ABGESCHLOSSENE STUDIENARBEITEN

#### **Barthelmeh, Jens-Timo**

Auslegung eines Neigungssensors auf Basis selektiv metallisierten Kunststoffes  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

#### **Botzelmann, Tim**

Aufbau und Charakterisierung eines flüssigkeitsbefüllten kapazitiven Neigungssensors  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

#### **Gransee, Rainer**

Aufbau eines Prüfstands zur Langzeituntersuchung der Kontaktierung von Elektrodenstrukturen durch abrollende Wälzkörper  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

#### **Härtel, Martin**

Charakterisierung von Beschleunigungsaufnehmern  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Warkentin

#### **Kittel, Sonja**

Untersuchung zum Folienschnitt beim Heißprägen von Leiterbahnen auf thermoplastischen Bauelementen  
Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) C. Pein

#### **Metsch, Volker**

Montage, Charakterisierung und Optimierung eines elektrostatischen Ventils  
Betreuer: Dipl.-Ing. M. Arnold

#### **Nägele, Lars**

Optimierung der Bearbeitungsprozesse beim HSC-Fräsen in der Mikrotechnik  
Betreuer: Ing. grad. H. Seifert

#### **Nowak, Peter**

Konzeption einer Anordnung zur Bestimmung der Eigenschaften eines Laserstrahls  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Ahrendt

#### **Rembold, Valentin**

Entwurf und Aufbau einer Vorrichtung zum reproduzierbaren Herstellen von Wolframwerkzeugen für das elektrochemische Mikrofräsen mit gepulster Spannung  
Betreuer: Dipl.-Ing. T. Gmelin

#### **Schieber, Markus**

Entwicklung einer Mikrocontrollerschaltung zur Auswertung eines inkrementellen Neigungssensors  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

#### **Wolter, Frank**

Konstruktion und Aufbau eines Demonstrators für die Neigungsmessung mit einer Pendleinrichtung  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Benz

### ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEITEN

#### **Buckmüller, Peter**

Untersuchungen zu einem elektromagnetischen Mikroventil  
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück, Dr. M. Giousouf (Festo AG & Co. KG, Esslingen)

#### **Hofmann, Klaus Martin**

Untersuchungen zur Optimierung der Mikrobearbeitung mit ultrakurzen Spannungspulsen unter Verwendung eines rotierenden Werkzeugs  
Betreuer: Dr. L. Staemmler

#### **Ruddy, Colline**

Untersuchungen von Aktuatorprinzipien für die Mikroventiltechnik  
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück, Dr. M. Giousouf (Festo AG & Co. KG, Esslingen)

#### **Weber, Jörn**

Untersuchungen zu einem optischen Drehwinkelsensor  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Warkentin, Dipl.-Ing. V. Mayer

#### **Willeck, Hannes**

Untersuchungen zur Bearbeitung von laseraktivierbarem LCP für MID  
Betreuer: Dipl.-Ing. D. Ahrendt

# Messebeteiligungen Mitwirkung in Gremien

## MESSEBETEILIGUNGEN

SMT Hybrid & Packaging,  
Nürnberg, 15.-17.06.2004

Tag der offenen Tür,  
Stand im Pfaffenwaldring 9,  
Universität Stuttgart, 03.07.2004

6. Internationaler Kongress Molded  
Interconnect Devices MID 2004,  
Erlangen, 22.-23.09.2004

## MITWIRKUNG IN GREMIEN

**U. Keßler**  
Mitglied der DVS AG A2.4 Drahtbonden

**H. Kück**  
Leiter des Fachausschuss 4.8  
"Mikrofertigung" der GMM

**H. Kück**  
Mitglied im Wissenschaftlichen Rat der  
AiF

**H. Kück**  
Mitglied im Fachbeirat des  
"Kompetenznetz MAHREG Automotive"

**M. Schubert**  
Deputy Head of Division bei WP6  
"Assembly and Packaging" im Network of  
Excellence: "Multi-Material Micro  
Manufacture: Technology and applications  
(4M)"

**D. Warkentin**  
Sub Task Leader bei WP11 "Sensors and  
Actuators" im Network of Excellence:  
"Multi-Material Micro Manufacture:  
Technology and applications (4M)", Sub  
Task 11.1b: Low cost non-silicon physical  
sensors

**Wir sind Mitglied der**  
Arbeitsgemeinschaft industrieller  
Forschungsvereinigungen  
"Otto von Guericke" e.V. (AiF)





## Vorträge und Veröffentlichungen

**M. Arnold**, "Elektrostatisches Miniaturventil in MID-Technik", 3. Öffentliches Statusseminar IMSIP, HSG-IMAT, Stuttgart, 23.01.2004

**D. Benz, H. Kück, D. Warkentin**, "Low Cost Inclination Sensor Made from Selectively Metallized Polymer", XVIII EUROSENSORS, Rom, 12.-15.09.2004

**W. Eberhardt**, "Nackchipmontage auf laserstrukturierten MID", SKZ Seminar: Spritzgegossene Schaltungsträger (MID) - Technologie und Anwendung, Würzburg, 18.05.2004

**W. Eberhardt**, "Laserstrukturierung und Chipmontage auf MID", Festo MID Workshop, Esslingen, 21.10.2004

**W. Eberhardt**, "Laser-MID-basierte Gehäuse- und Verbindungstechnik für Mikrodrehgeber", 1. Öffentliches Statusseminar IMDAKT, HSG-IMAT, Stuttgart, 26.11.2004

**U. Keßler**, "Adhesive Technology for Flipchip Assembly on Moulded Interconnect Devices (MID)", The sixth IEEE CPMT Conference on High Density Microsystem Design and Packaging (HDP'04), Shanghai, 02.07.2004

**U. Keßler**, "MID-basierte multifunktionale Packages", 3. ZVEI-Workshop AVT der Mikrosystemtechnik, Villingen-Schwenningen, 14.09.2004

**U. Keßler, H. Kück, W. Eberhardt**, "Adhesive Technology For Flipchip Assembly on Moulded Interconnect Devices (MID)", Proceedings of The Sixth IEEE CPMT Conference on High Density Microsystem Design and Packaging and Failure Analysis (HDP'04) June 30-July03 2004, Baolong Hotel, Shanghai, p.242-247

**H. Kück**, "Potentiale der MID-Technik für den Aufbau von miniaturisierten Systemen und multifunktionalen Packages", Lehrgang "Kunststoff-Refresher", Villingen-Schwenningen, 05.03.2004

**H. Kück**, "Potenziale von selektiv metallbeschichteten Polymerbauelementen für den Aufbau von Mikrosystemen", Europäisches Elektronik Kolleg, Colonia de Sant Jordi, Mallorca, 19.03.2004

**H. Kück**, "Aktueller Stand der Anwendung von MID-Techniken bei Mikrosystemen und miniaturisierten Systemen", FESTO MID Workshop, Esslingen-Berkheim, 21.10.2004

**H. Kück**, "Aufbautechniken für Mikrosysteme mit mikrostrukturierten MIDs und Polymerbauteilen", GMM Fachausschuss 4.8 "Werkstoffe und Fertigungsverfahren" im Fachbereich "Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie", Halle (Saale), 15.11.2004

**H. Kück**, "Neue Technologien der Veredelung von Kunststoffbauteilen", IHK-Forum Innovation und Produktion, Tuttlingen, 17.11.2004

**H. Kück**, "Neue Entwicklungen in der MID-Welt", Robert Bosch GmbH, Abstatt, 01.12.2004

**C. Pein, W. Eberhardt, H. Kück**, "Process Optimization for Hot Embossing", Proceedings 6. International Congress Molded Interconnect Devices MID 2004, 22.-23.9.04, Erlangen

**C. Pein**, "Heißspräge-MID-Baugruppe für den Einsatz in der Industriepneumatik", 3. Öffentliches Statusseminar IMSIP, HSG-IMAT, Stuttgart, 23.01.2004

**B. Wang, W. Eberhardt, H. Kück**, "Metal deposition on liquid crystal polymers for molded interconnect devices using physical vapor deposition", Journal of Adhesion Science and Technology, Vol. 18, Nr. 8, 2004, S. 883 - 891

# Patente

## Gebrauchsmuster

### VORTRÄGE UND VERÖFFENTLICHUNGEN

**B. Wang, W. Eberhardt, H. Kück,**  
"Influence of Argon Plasma Pretreatment  
on Properties of Liquid Crystal Polymer",  
eingereicht in J. Material Science Letters

**B. Wang, W. Eberhardt, H. Kück,**  
"Adhesion of PVD Layers on Liquid Crystal  
Polymer Pretreated by Oxygen Containing  
Plasma", eingereicht in Vacuum

**B. Wang, W. Eberhardt, H. Kück,** "Plasma  
Pretreatment of Liquid Crystal Polymer  
and Subsequent Metallization by PVD",  
eingereicht in Surface and Coatings  
Technology

**D. Warkentin,** "Druckmessung in der  
Ventilkavität durch integrierte Sensorik",  
3. Öffentliches Statusseminar IMSIP,  
HSG-IMAT, Stuttgart, 23.01.2004

**D. Warkentin,** "Mikrofluidische Strukturen  
aus Kunststoff für die Mikrodosierung",  
Seminar Mikrodosiersysteme, Fraunhofer  
IZM, München, 19.10.2004

### PATENTE

**D. Benz, H. Kück, V. Mayer, H. Seifert, D.  
Warkentin,** "Drehgeber und Verfahren  
zum Betreiben eines Drehgebers", ange-  
meldet am 08.03.2004

### GEBRAUCHSMUSTER

**D. Ahrend, W. Eberhardt, H. Kück,**  
"Vorrichtung zur Bestimmung des Ab-  
scheideverhaltens von chemisch außen-  
stromlosen Metallisierungsbädern", ange-  
meldet am 12.10.2004

**Redaktion** Ulrich Allgeier  
Mitarbeiter der Bereiche

**Gestaltung** Monika Teichner

**Druck** Druckerei Revellio  
Villingen-Schwenningen

