

Ergebnisse und Leistungen 2000

Titelbild:

Formeinsatz für Testelektroden-
struktur eines Beschleunigungs-
sensors (Stegbreite 200 μm)

Ergebnisse und Leistungen 2000

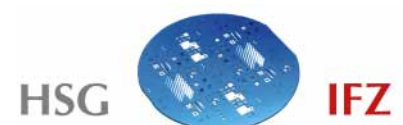
Inhaltsverzeichnis

Organisationsstruktur	2
Vorwort	3
GPS-Koordinatendatenbank	4
Elektrisches Kontaktverhalten mikromechanischer Schaltelemente	6
Oberflächenbehandlung von miniaturisierten O-Ringen	8
Heißprägen von MID-Baugruppen	10
Verbundfestigkeit von Thermoplasten bei der 2K-MID-Technik	12
HSC-Bearbeitung von präzisen Miniaturbauteilen	14
Pilotfertigung von MID-Baugruppen und Mikrosystemen	16
Anlagen - Geräte - Verfahren	18
HSG-IFZ in Zahlen	19
Publikationen	20
Mitarbeit in Gremien, Lehrveranstaltungen	21
Studien- und Diplomarbeiten	22
Organe der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.	23
Aktuelle Partnerfirmen des HSG-IFZ / IZFM	24
Anfahrtsplan	25

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


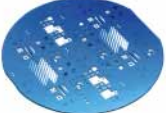


Hahn-Schickard-Gesellschaft
Institut für Feinwerk- und Zeitmeßtechnik
Breitscheidstr. 2b · D-70174 Stuttgart
Telefon: ++49(711)121-3712 · Telefax: ++49(711)121-3705
E-mail: hsg-ifz@izfm.uni-stuttgart.de
WWW: <http://www.uni-stuttgart.de/hsi>



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 Feinwerk- und Zeitmeßtechnik</p> <p>Leiter: Prof. Kück</p>
<p>Abteilung Technologie Leiter: Dr. W. Eberhardt</p>	<p>Fr. Fasterding Fr. Flechtner Hr. Gerhäußer Hr. Spitznagel (ab 1.9.2000)</p>	<p><u>Dr. Eberhardt</u> Hr. Frech Hr. Giousouf Hr. Münch Hr. Pein (ab 1.4.2000) Hr. Schilling Fr. Scholz (ab 1.7.2000)</p>
<p>Abteilung Miniaturtechnik Leiter: Prof. Kück</p>	<p>Hr. Skibowski</p>	<p><u>Hr. Seifert</u> Hr. Allgeier Hr. Grabein Hr. Laufer (bis 30.4.2000) Dr. Schubert Hr. Vogel</p>
	<p>Hr. Schulz</p>	<p><u>Hr. Scheerer</u> Hr. Bader (bis 30.11.2000) Fr. Gehrlach</p>
<p>Bauelemente Leiter: Prof. Kück</p>	<p>Hr. Bärnin Hr. Gmelin Hr. Mohr Hr. Warkentin (ab 1.11.2000)</p>	<p>Dr. Oprea (ab 1.11.2000)</p>
<p>Mechanische Bearbeitung</p>	<p><u>Hr. Eylandt</u> Hr. Lechler</p>	
<p>Verwaltung</p>	<p>Fr. Mohr</p>	<p>Fr. Ihle</p>

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

Im Jahr 2000 ist der Aufbau unseres Instituts ein gutes, wichtiges Stück weitergekommen.

Ein wesentlicher Teil unserer Gerätegrundausrüstung konnte installiert und eingefahren werden. So verfügen wir seit Ende 2000 über die wichtigsten Ausrüstungen für eine durchgängige Entwicklung und Fertigung von Kunststoffgehäusen und MIDs für Mikrosysteme. Wir können Ihnen jetzt für die Entwicklung und Fertigung Ihrer Prototypen u.a. den Werkzeugbau, die 2-K-Spritzgießtechnik, die außenstromlose selektive chemische Metallisierung oder die Metallisierung durch Heißprägen, die automatische Bestückung mit SMT-Bauteilen und Nackt-Chips sowie die Funktionsprüfung anbieten. Mikrospritzgießtechnik, Zuverlässigkeitsprüfung und 3-D-Laserstrukturierung der Metallisierung werden in 2001 zur Verfügung stehen. Die entsprechenden Software-Tools für Konstruktion und Modellierung und eine durchgängige CAD/CAM-Schnittstelle zum Werkzeugbau erlauben kurze Bearbeitungszyklen.

Um unsere Arbeitsbedingungen in den Labors und Büros einschließlich der technischen Infrastruktur in unserem Institutsgebäude dramatisch zu verbessern, haben wir gemeinsam mit der Universität Stuttgart und dem Universitätsbauamt begonnen, umfangreiche Baumaßnahmen zur Sanierung unseres Institutsgebäudes zu planen, mit denen im April 2002 begonnen wird.

Bei unseren Forschungsvorhaben und Industrieaufträgen entstehen mittlerweile über 75 % unserer Pro-

jekteinnahmen in Vorhaben auf den neuen Arbeitsgebieten der Gehäuse- und Verbindungstechnik. Derzeit werden u. a. vier AiF-Vorhaben, zwei BMBF-Verbundvorhaben und verschiedene Industrierorhaben mit entsprechenden Aufgaben bearbeitet. Der Anteil der Einnahmen am Betriebshaushalt beträgt in 2000 insgesamt 77 %. Die für den Know-how-Transfer bedeutsamen Industrierträge trugen mit 27 % zum Haushalt bei und konnten damit gegenüber dem Vorjahr um fast 25 % gesteigert werden. Damit entwickelt sich unser Institut deutlich rasanter als 1998 geplant. Entsprechend der positiven Entwicklung bei den Vorhaben konnten wir trotz der angespannten Situation am Arbeitsmarkt unsere Personalstärke um drei Mitarbeiter auf insgesamt 30 Mitarbeiter erhöhen.

Um der guten Nachfrage nach F+E-Leistungen auf den neuen Arbeitsgebieten gerecht zu werden, haben wir unsere interne Struktur zu den drei Abteilungen "Technologie", "Miniaturtechnik" und "Bauelemente" weiterentwickelt. Die Abteilung Technologie befasst sich mit den Fragen der Kunststoff- und Verbindungstechnik und betreibt unsere Pilotfertigungslinie. Die Abteilung Miniaturtechnik ist aus den ehemaligen Gruppen "Miniatur- und Zeitmesstechnik" und "Tribologie und Oberflächentechnik" entstanden und befasst sich mit mess- und fertigungstechnischen sowie mit tribologischen Fragestellungen bei Kunststoffgehäusen und MID-Baugruppen. Die neue Abteilung "Bauelemente" erarbeitet Grundlagen für Sensoren und Aktoren aus metallisierten Kunststoffen.

Wir dürfen auf ein erfolgreiches Jahr 2000 zurückblicken, in dem unsere Ausrüstungen wesentlich erweitert und unsere Fachkompetenz weiter vertieft wurde. Somit können wir Sie künftig mit einem noch breiteren Angebot an F+E-Leistungen unterstützen. Wir laden Sie daher gerne ein, mit uns über Ihre Problemstellungen zu sprechen.

Ihr



Heinz Kück

Einleitung

Das Ziel des Vorhabens war es, die Möglichkeit zur Realisierung einer GPS-Weltzeituhr zu schaffen, die an jedem beliebigen Empfangsort der Welt die aktuell gültige Ortszeit automatisch anzeigt. Aus den Daten eines GPS-Systems für geographische Länge und Breite sowie der koordinierten Weltzeit (UTC) wird in Verbindung mit einer Koordinatendatenbank und eines geeigneten Algorithmus die Zeitzone und daraus die Ortszeit bestimmt.

Stand der Technik

Das einzige System, welches Zeit und Datum auf jedem Punkt der Erde weltweit zur Verfügung stellt, ist GPS. Der Empfang ist kostenlos und durch die hohe Anzahl von Satelliten ist auch die Verfügbarkeit sehr groß. Der einzige Nachteil besteht darin, dass GPS nur die koordinierte Weltzeit (UTC) sendet und keine länderspezifische Ortszeit. Die derzeitige Entwicklung bei GPS-Empfängern und Geräten, die mit solchen Empfängern ausgestattet sind und bereits heute in sehr vielen Bereichen Verwendung finden, schreitet rasch voran. Vor allem der Einsatz von GPS in Kraftfahrzeugen macht diese Systeme zu einem Massenartikel.

Die Gegebenheiten bei GPS prädestinieren dieses System dazu, eine Weltzeituhr zu realisieren, die es mit dem Empfang der geographischen Koordinaten für Länge und Breite sowie der koordinierten Weltzeit zusammen mit der in diesem Projekt geplanten Datenbank ermöglicht, weltweit die aktuelle Ortszeit anzuzeigen.

Global Positioning System (GPS)

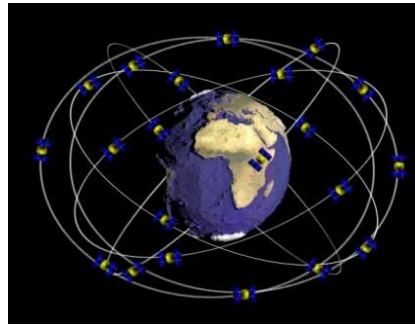


Bild 1: GPS-System

Das Global-Positioning-System (Bild 1) besteht aus z. Zt. 26 Satelliten. Sie umkreisen die Erde in 6 Bahnebenen mit einer Neigung von 55° gegenüber dem Äquator in einer Höhe von 20000 km und einer Umlaufzeit von 12 Stunden. Die Überwachung der Satelliten erfolgt durch mehrere Bodenstationen. Vom Kontrollzentrum in Colorado aus werden sie gesteuert und gewartet und von dort aus finden auch Korrekturen statt. Die solarbetriebenen Satelliten sind für eine Lebensdauer von ca. 10 Jahren ausgelegt und die Aussendung der Informationen erfolgt über 2 Frequenzen im L-Band (1 - 2 GHz) bei 1.575 GHz und 1.227 GHz. Als Daten werden die aktuelle Position des jeweiligen Satelliten, die Ephemeriden, Korrekturwerte für die Uhren und evtl. Ausbreitungseffekte sowie der Almanach übertragen.

Während der Durchführung des Projekts hob der amerikanische Präsident die Verschleierung des GPS-Signals für zivile Nutzer auf. Seit dem 1. Mai 2000 sind die exakten Positionsdaten des GPS für jedermann zugänglich. Durch die Deaktivierung des S/A-Modus in den Satelliten erhöht sich nun die Genauigkeit etwa um das Zehnfache, so dass die Positionsbestimmung jetzt auf ca. 10 m genau ist.

Ermittlung der Zeitzonen

Die Ermittlung der Zeitzonen auf der Erde erfolgt zunächst anhand von Übersichtskarten. Dabei ist die Erde in 24 Zeitzonen eingeteilt - entsprechend der Anzahl der Stunden eines ganzen Tages. Dadurch kommt man bei einer Bewegung nach Osten oder Westen jeweils nach 15° Längengraden wieder in eine neue Zeitzone, die sich um eine Stunde unterscheidet. Auf den Ozeanen verlaufen die Zeitzonengrenzen genau auf den Längengraden. Für das Festland und die darauf befindlichen Länder gelten jedoch die politischen Grenzen.

Die Gegebenheiten für die Ermittlung der an einem Ort geltenden Ortszeit machen es notwendig, nicht nur die auf dem Festland definierten Zeitzonengrenzen zu erfassen, sondern diese auch in Zusammenhang mit den politischen Grenzen zu betrachten. Und dies führt zur entscheidenden Aufgabe in diesem Projekt, der koordinatenbezogenen Erfassung von Abweichungen.

Mathematische Beschreibung

Anhand der erfassten Koordinaten in Form dieser Abweichungen wurden nun die Kurven bestimmt, die auf einfache Weise berechenbar sein sollten, um eine mathematisch beschreibbare Einteilung der Erde zu erhalten. Während der Erfassung dieser Koordinaten (Bild 2) wurde jedoch immer deutlicher, dass die Berechnung von Geraden mit Hilfe von 2 Punkten für das Vorhaben am geeignetsten ist. Die damit verbundene Auflösung betrug $3''$ und dies entspricht den Entfernungen z.B. am Äquator von:

$1^\circ\text{N} = 111 \text{ km}$ bzw. $1'' = 31 \text{ m}$.

$1^\circ\text{O} = 111 \text{ km}$ bzw. $1'' = 31 \text{ m}$.



Bild 2: Grenzverlauf

Datenformat und Algorithmus

Für das Datenformat sind bestimmte Angaben notwendig und einige Bedingungen zu berücksichtigen. Sie ergeben sich unter anderem aus den geographischen Gegebenheiten der Erde. Dies sind:

- Format der geographischen Koordinaten als Punkte
- Möglichkeit zur Verbindung der Punkte mit Geraden
- Anfangs- und Endpunkt der eingeschlossenen Fläche auf einer Zeitzonengrenze
- Breitengrade nach Norden und Süden in aufsteigender Reihenfolge
- Zeitzone (z. B. +2h)
- Datum während Sommer-Winterzeit-Umschaltung

Anhand der Koordinaten und der festgelegten mathematischen Randbedingungen konnte nun der Algorithmus entwickelt werden, mit welchem aus diesen Daten die zu einem bestimmten Ort gehörende Ortszeit berechnet wird. Ein GPS-Empfänger liefert außer den beiden

geographischen Daten für Breite und Länge auch die Höhe über NN, wobei die Höhe für die Zeit keine Rolle spielt. Durch diese Vereinfachung reduziert sich die Bezugsfläche für die Berechnungen zunächst auf die Erdoberfläche. Sie ist jedoch eine gekrümmte Fläche und damit immer noch dreidimensional. Betrachtet man jedoch nur einen relativ kleinen Flächenausschnitt, so wird der Fehler durch die Vernachlässigung der Krümmung so klein, dass er bezogen auf die Auflösung für die Ermittlung der geographischen Koordinaten verschwindend gering ist. Damit gilt:

- Höhe nicht berücksichtigt
- Krümmung vernachlässigt
- Reduzierung von drei auf zwei Dimensionen
- Berechnung mit Geraden

Programmierung/Optimierung

Nach dem Festlegen des Datenformats und der Vorgehensweise bei der Berechnung der Ortszeit mit Hilfe des Algorithmus folgte nun die

Eingabe der Daten und die Programmierung der Software.

Die Möglichkeiten zur Umsetzung von Optimierungen wurden bereits während der Koordinatenerfassung genutzt. Die Reduzierung der Dimensionen von drei auf zwei stellt bereits eine Optimierung sowohl hinsichtlich der Datenmenge als auch der Berechnungen dar. Eine weitere Vereinfachung als die Standortbestimmung mittels Geraden ist nur schwer möglich, weshalb dieser Algorithmus derzeit auch das Optimum darstellt.

Test mit GPS-Empfänger

Die Überprüfung der Richtigkeit sämtlicher Implementierungen - Datenbank und Algorithmus - erfolgt mit einem an den PC angeschlossenen GPS-Empfänger. Die Software ließ sich mit einigen einfachen Beispielen relativ schnell testen, um die Datenzugriffe und den Algorithmus auf Fehlfunktionen zu untersuchen. Dazu wurden einige sehr kurze Beispieldateien mit geographischen Koordinaten generiert, die auch "von Hand" nachgerechnet werden konnten, um sie mit den Ergebnissen der Software zu vergleichen.

Dieses Forschungsvorhaben (AiF-FV-Nr.: 12177 N) wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert. Der vollständige Abschlussbericht ist erhältlich über:

Kontaktperson:
 Dr.-Ing. Manfred Schubert
 Tel. ++49 (711)121-3718
 E-mail schubert@izfm.uni-stuttgart.de

Elektrisches Kontaktverhalten mikromechanischer Schaltelemente

W. Scheerer

Seit Ende der 70er Jahre werden mit dem Technologievorrat der Mikrosystemtechnik dreidimensionale mechanische Funktionselemente erzeugt. Unter den ersten dabei vorgestellten mikromechanischen Bauelementen befanden sich elektrostatisch betätigte Miniaturrelais. Diese Relais hatten hohen Schaltfrequenzen und eine ausgesprochen niedrige Leistungsaufnahme. Mit dem verwendeten elektrostatischen Antrieb wurde jedoch nur die extrem kleine Kontaktkraft von ca. $1 \mu\text{N}$ erzeugt. Sie ist weitaus niedriger als die im konventionellen Relais vorgesehene Mindestkontaktkraft von ca. 20 mN . Problematisch sind bei diesen Systemen die geringen Kontaktkräfte mit bestimmten Nachteilen für die Übergangswiderstände. Das Widerstandsverhalten der anhaftenden Fremdschicht verhält sich umgekehrt proportional zur schichtbedeckten Kontaktfläche, während der Engewiderstand um-

gekehrt proportional zur Wurzel der leitenden Fläche ist. Dies führt dazu, dass der Schichtwiderstand bei kleinen Kontaktkräften der bestimmende Effekt hinsichtlich des Kontaktwiderstands wird. Bezüglich des elektrischen Kontaktverhaltens solcher Schaltelemente gibt es noch ungeklärte Fragestellungen: Weder wurden bisher verschiedenartige Kontaktwerkstoffe hinsichtlich ihrer Eignung für Mikrokontakte bei den auftretenden typischen Strömen und Spannungen untersucht, noch ist das elektrische Schaltverhalten in Abhängigkeit von der Kontaktschließkraft näheren Betrachtungen unterzogen worden [1].

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens ist ein Prüfgerät entwickelt und aufgebaut worden, mit dem das Kontaktverhalten in Abhängigkeit der Kontaktkraft und verschiedener Kontaktwerkstoffe untersucht werden kann. Für diese Untersuchun-

gen sind drei verschiedene Goldlegierungen als Kontaktmaterialien eingesetzt worden.

In Bild 1 ist eine schematische Anordnung des Prüfgeräts dargestellt. Auf einer z-Verschiebeeinheit wird ein Schaltkontakt gegen einen größeren Grundkontakt bewegt, welcher sich auf einer Silizium-Membran befindet. Berühren sich beide Kontakte fließt ein Strom und die Membranstruktur wird bedingt durch die einwirkende Kraft ausgelenkt. Diese Auslenkung wird mit Hilfe eines Laserinterferometers mit einer Genauigkeit unter 5 nm bestimmt. Aus der Durchbiegung kann die einwirkende Kraft berechnet werden. Der elektrische Widerstand während der Kontaktierung wird mit Hilfe einer Elektronik-Einheit mit Operationsverstärker gemessen, so dass eine Auflösung von $1 \text{ m}\Omega$ erreicht wird.

Vor den eigentlichen Untersuchungen sind die Kontakte einem Schaltreinigungsprozess unterzogen worden, so dass der Einfluss der Fremdschichten minimiert werden konnte.

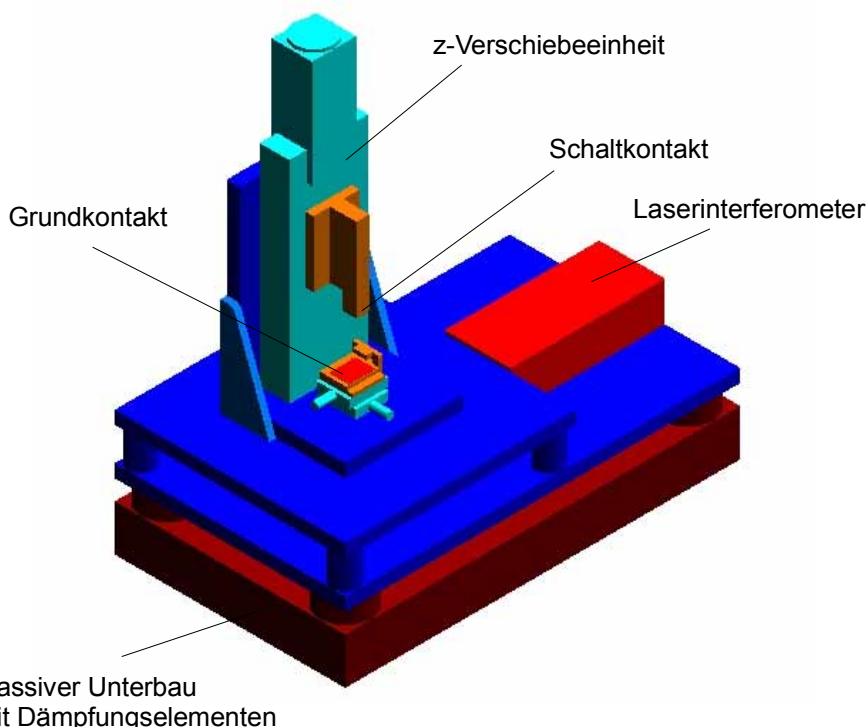


Bild 1: Schematischer Aufbau des Kontaktprüfgeräts

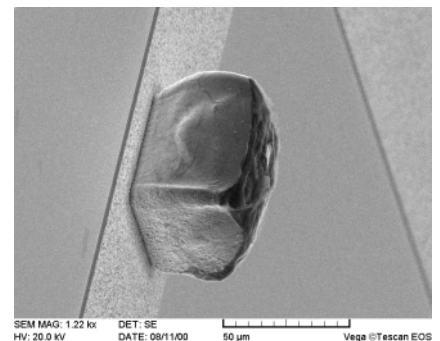


Bild 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines AuCo-Schaltkontakts

In Bild 2 ist ein Kontakt mit einer Geometrie der Grundfläche von $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ bei der Höhe von $47 \mu\text{m}$ zu erkennen.

Untersuchungsergebnisse

Es sind verschiedene Kontaktwerkstoffpaarungen untersucht worden. In Bild 3 sind die Mittelwerte von drei Werkstoffkombinationen zusammengefasst. Im Vergleich des Widerstandsverhaltens lassen sich nur sehr geringe Unterschiede erkennen.

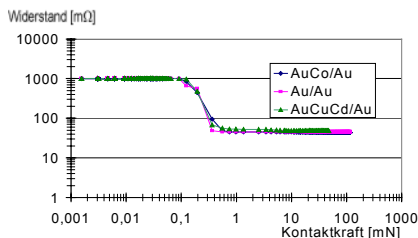


Bild 3: Widerstandsverhalten von verschiedenen Goldlegierungen in Abhängigkeit der Kontaktkraft

Für Lebensdaueruntersuchungen sind bei einigen Werkstoffpaarungen zwei verschiedene Prüfbedingungen zum Einsatz gekommen. Zum einen berührten sich beide Kontakte nach jedem Kontaktvorgang immer an der gleichen Stelle (Bild 4). Das wiederholte Schließen lässt den Widerstand ansteigen.

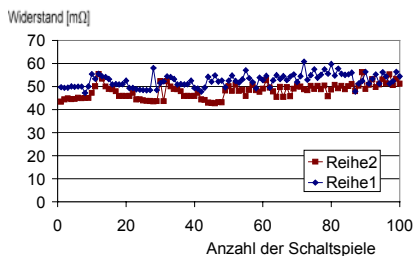


Bild 4: Widerstandsverhalten der Au-CuCd/Au- Paarung bei Punktkontakt in Abhängigkeit der Schaltspiele

Zum anderen ist der untere Kontakt nach jedem Kontaktvorgang etwas verfahren worden. Durch diese Vorgehensweise kontaktiert der obere Kontakt immer einen beanspruchten Bereich des Grund-

kontakts. In diesem Fall bleibt der Widerstandswert nahezu konstant.

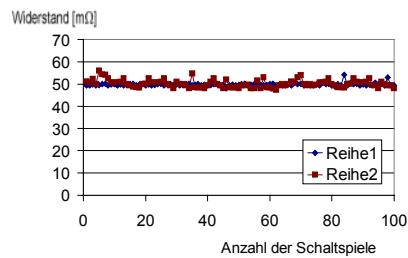


Bild 5: Widerstandsverhalten der Au-CuCd/Au- Paarung bei Verschieben des Grundkontakts in Abhängigkeit der Schaltspiele

Deutlich lassen sich Unterschiede im Widerstandsverhalten erkennen. Im ersten Fall erhöhen sich leicht die Widerstandswerte, hingegen bleiben sie für die zweite Anwendung nahezu konstant.

Diskussion

Betrachtet man das Widerstandsverhalten in Abhängigkeit verschiedener Kontaktwerkstoffe auf Basis von Gold lassen sich nur sehr geringe Unterschiede erkennen. Alle untersuchten Goldlegierungen zeigen einen beginnenden Abfall des Widerstandes nach einer Kontaktkraft von 0,1 mN. Dies deutet selbst bei gereinigten Kontakten auf eine verbleibende Fremdschicht hin, die nach Holm zunächst durchtunnelt werden muss, bevor eine leitfähige Verbindung zwischen den beiden Kontakten entsteht. Bereits bei einer Kontaktkraft F_K von weniger als 0,3 mN erreichen die Kontakte einen niedrigeren Widerstand, welcher im Bereich von etwa 50 mΩ liegt. Vergleicht man die Ergebnisse beider Lebensdaueruntersuchungen bei einer Anzahl von 100 Schaltspielen treten Unterschiede auf. Findet der Kontaktvorgang immer im gleichen Bereich statt, erhöht sich langsam der Widerstand. Ver-

mutlich finden Prozesse statt, welche die Kontaktfläche etwas verunreinigen und dadurch die Leitfähigkeit der Kontakte reduzieren. Wird der Grundkontakt hingegen verfahren ist dieser Effekt nahezu vernachlässigbar.

Vor und nach der Beanspruchung wurden die entsprechenden Kontakte mit Hilfe verschiedener Prüfgeräte untersucht. Daraus können die Aussagen abgeleitet werden, dass weder die Rauheitsparameter noch die Elementzusammensetzung der Oberflächen sich geändert haben. Nach Literaturangaben [2] ist davon auszugehen, dass in dem untersuchten Kraftbereich die Deformationen der Kontakte im elastischen Verhalten der Werkstoffe liegen.

Dieses Forschungsvorhaben (AiF-FV-Nr.: 11687 N) wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert. Der vollständige Abschlussbericht ist über die Kontaktperson erhältlich.

Literatur:

[1] A. Keil, W. A. Merl, A. Vinaričky; Elektrische Kontakte und ihre Werkstoffe; Berlin Heidelberg New York Springer Verlag 1984

[2] R. Radius; Herstellung und Untersuchung von mikromechanischen Schaltern für Anwendungen in der Hochfrequenz- und Impulstechnik; Diss. Uni Stuttgart

Kontaktperson:
Dipl.-Phys. Werner Scheerer
Tel. ++49(711)121-3179
E-mail werner.scheerer@izfm.uni-stuttgart.de

Oberflächenbehandlung von miniaturisierten O-Ringen

W. Scheerer

Reibungs- und Verschleißuntersuchungen mit Hilfe des Modellprüfstands Kugel/ebene Platte lassen eine Tendenz erkennen, dass gleitlackbeschichtete Kugeln unter diesem tribologischen Belastungskollektiv niedrigere Reibungszahlen und Verschleißwerte aufweisen als bei einer Plattenbeschichtung mit dem gleichem Gleitlack. Allerdings werden während der Bauteilmontage und beim Einsatz an das Gleitlacksystem bei beschichteten Kugeln höhere Anforderungen gestellt als bei einer Grundkörperbeschichtung. Häufig führen elastische Deformationen und Verwalkungen zu Haftungsproblemen, welche einen negativen Effekt auf das Reibungs- und Verschleißverhalten haben. Auch ist das Schmierstoffreservoir auf der Kugel in den meisten Fällen wesentlich geringer als bei einer Plattenbeschichtung. Es sind Untersuchungen mit plasmabehandelten elastomeren Kugeln durchgeführt worden, welche eine Optimierung des Reibungs- und Verschleißverhaltens erkennen lassen.

In einem AiF-Vorhaben wird nun der Einfluss und die Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von O-Ringen durch Plasmabehandlungen untersucht. Durch diese Modifikati-

on der oberflächennahen Bereiche des O-Rings könnten Haftprobleme wesentlich verringert werden. Es sind verschiedene Behandlungsprozesse in Abhängigkeit von Prozessgas, Dauer, Konzentration an drei verschiedenen Werkstoffen NBR 70 Sh., NBR 90 Sh. und PUR 80 Sh. durchgeführt worden. Alle Prozesse sind mit einem Diodengleichspannungsreaktor bei einer angelegten Spannung von 1,5 kV durchgeführt worden. Die Gasatmosphäre bestand aus Argon mit Zusätzen von Sauerstoff.

Messungen

Eine Platte als stationärer Prüfkörper (Grundkörper) wird mit einer definierten Normalkraft (F_N) gegen die ebene Fläche eines reversierend bewegten Dichtelements gedrückt (siehe Bild 1). Die zwischen den Prüfkörpern auftretende Reibungskraft biegt zwei parallel ausgerichtete Blattfedern am Platteneinspannkopf durch. Diese Durchbiegung wird berührungslos mit zwei induktiven Wegaufnehmern erfasst und registriert. Der Probenhalter wird mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/s bewegt. Als Pressungsstufe liegt $p_{\max} = 1 \text{ N/mm}^2$ zu Versuchsbeginn vor.

Bevor die eigentlichen Reibungs- und Verschleißversuche durchgeführt werden können, ist mit Hilfe eines optischen Aufbaus die Wirkfläche in Abhängigkeit der Auflagekraft für die verschiedenen Werkstoffe bestimmt worden. In Bild 2 sind die Ergebnisse beispielhaft für die ursprünglichen und behandelten O-Ringe aus NBR 70 Sh. bzw. 90 Sh. dargestellt.

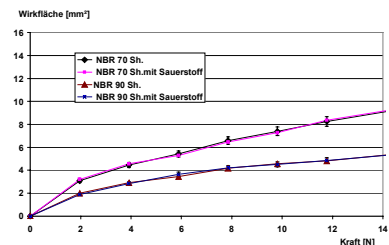


Bild 2: Wirkfläche von O-Ringen aus NBR 70 Sh. bzw. 90 Sh. mit einer Schnurdicke von 1,5 mm; Prozessdauer 5 Minuten

Erwartungsgemäß treten im Vergleich der Wirkflächen von un- bzw. behandelten O-Ringabschnitten nur sehr geringen Unterschiede auf. Es sind deshalb für beide Arten die gleichen Auflagekräfte eingesetzt worden, um die gleiche Pressungsstufe zu erreichen.

In Tabelle 1 sind beispielhaft die Ergebnisse für die Prozesse mit Sauerstoff bei Variation von Werkstoff und Prozessdauer zusammengefasst. Im Vergleich der Ergebnisse erkennt man deutlich Minima der Reibungs- und Verschleißwerte für die Prozesse mit einer Prozessdauer von 5 bzw. 10 Minuten. Sind die Behandlungsintervalle kürzer oder länger, nehmen die entsprechenden Werte wieder deutlich zu.

Betrachtet man die jeweiligen Oberflächen mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops lassen sich an der Oberfläche von O-Ringen bei einer

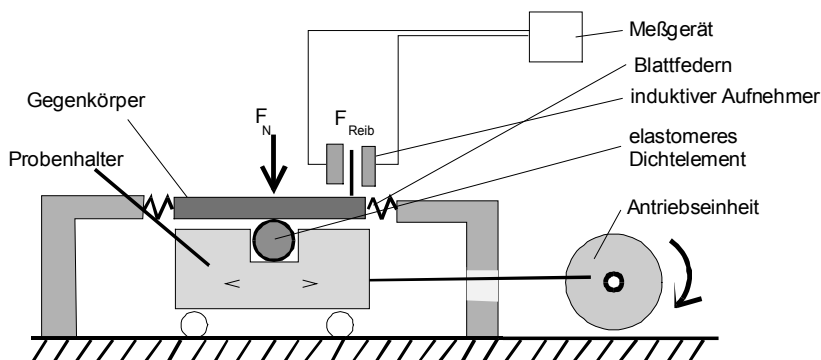


Bild 1: Schematischer Aufbau des Prüfgeräts

Prozessdauer von 20 Minuten deutlich kleinere Erhebungen und Risse erkennen, welche bedingt durch ihre schlechtere Einbindung in den Werkstoffverbund ein deutlich höheres Abriebsvolumen haben (Bild 3 und 4).



Bild 3: REM-Aufnahme von NBR 70 Sh. unbehandelt

tersucht worden. Es lassen sich bei diesem Gerät Normalkräfte und die dadurch verursachte Eindringtiefe der Diamantspitze definiert bestimmen. Die zusätzliche Registrierung der Eindringtiefe auch bei Kraft-rücknahme erlaubt einer ange-

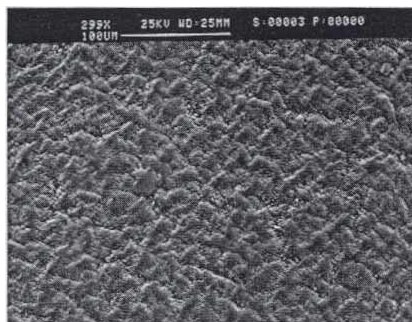


Bild 4: REM-Aufnahme von NBR 70 Sh. nach 20 min Prozessdauer

Zusätzlich sind die entsprechenden Prüfkörper mit einem Mikrohärtemessgerät Fischerscope HCU un-

schlossenen Auswerteeinheit die Berechnung des Elastizitätsmoduls E, der Universalhärte HU und der

mod. Werkstoff	Reibungszahl f	Verschleißfläche [10^{-3}mm^2]
NBR 70 Sh. natur	$2,1 \pm 0,1$	$99,3 \pm 32$
Prozessdauer 2 min	$1,7 \pm 0,1$	$122,3 \pm 28$
Prozessdauer 5 min	$1,64 \pm 0,14$	8 ± 17
Prozessdauer 10 min	$1,82 \pm 0,15$	$28,7 \pm 23,3$
Prozessdauer 20 min	$1,71 \pm 0,2$	194 ± 35
NBR 90 Sh. natur	$1,78 \pm 0,1$	236 ± 73
Prozessdauer 2 min	$1,65 \pm 0,1$	100 ± 10
Prozessdauer 5 min	$1,37 \pm 0,1$	$113,7 \pm 14$
Prozessdauer 10 min	$1,22 \pm 0,2$	$65,5 \pm 5$
Prozessdauer 20 min	$1,41 \pm 0,1$	$151,3 \pm 25$

Tabelle 1: Reibungs- und Verschleißwerte der Paarungen NBR .../Aluminium

Dauer	E [x 0,01 GPa]	H _{plast} [N/mm ²]	HU [N/mm ²]	hr [μm]
NBR 70 Sh. natur	2	3	1,14	54,7
Prozessdauer 5 min	2,8	4	3,76	41,9
Prozessdauer 10 min	2,4	3	2,87	48,3
Prozessdauer 20 min	2	2	1,73	53,9
NBR 90 Sh. natur	9	4	2,98	41,3
Prozessdauer 5 min	15	6	7,5	34,3
Prozessdauer 10 min	13	6	5,3	34,3
Prozessdauer 20 min	29	6	3,1	35,6

Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften von O-Ringen aus NBR 70 Sh. bzw. 90 Sh. in Abhängigkeit der Behandlungsdauer

Eindringtiefe hr. Alle Messungen sind mit einer Anfangslast von 0,4 mN und einer Endlast von 250 mN durchgeführt worden, bei gleichzeitiger Bestimmung der jeweiligen Eindringtiefe. Die Messungen wurden an scheibenförmigen Schnitten der O-Ringe in der Mitte und im Randbereich ausgeführt. Die Ergebnisse gemessen im Randbereich sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Für den Werkstoff NBR 70 Sh. nehmen die mechanischen Eigenschaftswerte ein Maximum nach einer Behandlungsdauer von 5 min an. Die entsprechenden Untersuchungsergebnisse an den Prüfkörpern aus NBR 90 Sh. ergeben ein uneinheitliches Bild. Die Werte für die Universalhärte HU liegen im Vergleich bei einer Behandlungsdauer von 5 min mit $7,5 \text{ N/mm}^2$ sehr hoch. Hingegen liegt der Elastizitätsmodul E nach einem Prozessintervall von 20 min deutlich höher.

Mit Hilfe der Plasmabehandlungen lassen sich sowohl das Reibungs- als auch das Verschleißverhalten von O-Ringabschnitten unter diesem tribologischen Belastungskollektiv deutlich verbessern.

Dieses Forschungsvorhaben (AiF-FV-Nr.: 11899) wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert. Der vollständige Abschlussbericht ist erhältlich über:

Kontaktperson:
Dipl.-Phys. Werner Scheerer
Tel. ++49(711)121-3179
E-mail werner.scheerer@izfm.uni-stuttgart.de

Heißprägen von MID-Baugruppen

C. Pein, W. Eberhardt

Einleitung

Das Heißprägen ist ein schneller und wirtschaftlicher Fertigungsprozess zur Herstellung von MID. Über ein beheiztes Prägwerkzeug, auf dem sich das Schaltungslayout befindet, wird eine geeignete Metallfolie unter Druck und Wärme auf den Thermoplast gepresst. Die Folie wird beim Prägeprozess ausgestanzt und mit dem Kunststoff verschmolzen. Das Verfahren zeichnet sich insbesondere durch wenige Arbeitsschritte und vergleichsweise geringe Investitionskosten aus, weiterhin sind Layoutänderungen schnell und preiswert möglich.

Geeignete Folien sind mit einer Dicke von 18 bis 100 µm kommerziell erhältlich. Auf der Folienunterseite befindet sich eine Schicht aus Braunoxid, die eine sehr gute Haftung der Folie auf dem Kunststoff ermöglicht (Bild 1).

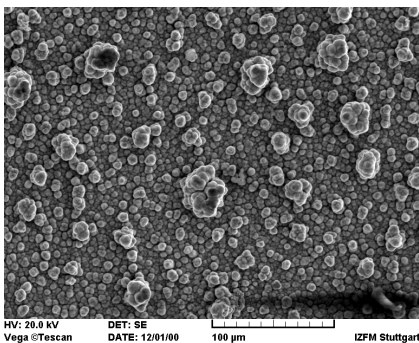


Bild 1: Braunoxid auf der Unterseite einer Prägefolie

Für verschiedene Anwendungen sind derzeit Kupferfolien mit folgenden Oberflächenbeschichtungen verfügbar:

- Braunoxid
- Zinn-Blei-Legierung 98/2
- Nickel
- Nickel / Gold
- Nickel-Wolfram-Legierung

Aufgrund der verfügbaren Folienoberflächen ist der Heißprägeprozess auch für bleifreie Verbindungstechniken geeignet.

Eine Vielzahl von Thermoplasten ist für das Verfahren geeignet. In Bezug auf die dreidimensionale Gestaltungsfreiheit von MIDs ist das Heißprägeverfahren jedoch eingeschränkt. Es eignet sich aber sehr gut für Bauteile, bei denen sich die Leiterbahnen auf einer Ebene befinden, wobei auch zweieinhalb dimensionale Geometrien möglich sind. Weiterhin ist auch ein beidseitiges Heißprägen auf einem Bauteil möglich. Hierzu wird das Bauteil nach der ersten Prägung für den zweiten Prägevorgang gedreht.

Heißprägepresse

Im HSG-IFZ ist eine Servopresse verfügbar, die sowohl auf Kraft als auch auf Weg geregelt werden kann (Bild 2).



Bild 2: Schmidt-Servo-Presse 420 LV

Die Presskraft beträgt 20 kN bei einer Spitzenkraft von 35 kN. Die

Kraftauflösung liegt bei 10 N, die Wegauflösung ist auf 6 µm genau. Der Prägeverlauf wird messtechnisch erfasst. Für den Heißprägevorgang eignet sich besonders ein auf Kraft geregelter Prozess, wo nach Erreichen einer vorgegebenen Kraft der Prägeprozess beendet wird (Bild 3).

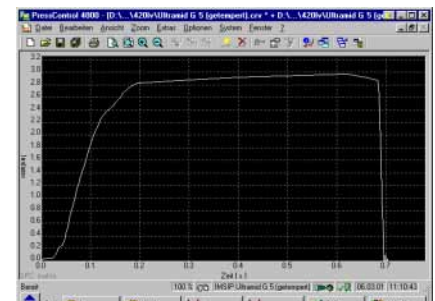


Bild 3: Kraft-Zeit-Verlauf eines Heißprägeprozesses

Für den Heißprägeprozess steht eine Hochleistungsprägeheizung bis 400 °C zur Verfügung. Eine Temperaturregeleinheit regelt die Temperatur auf ± 1 °C genau.

Prägwerkzeug

Das Schaltungslayout wird durch HSC-Fräsen in einen entsprechenden Prägestempel umgesetzt. Hierbei können Leiterbahnbreiten und Leiterbahnabstände von kleiner als 200 µm erreicht werden (Bild 4).

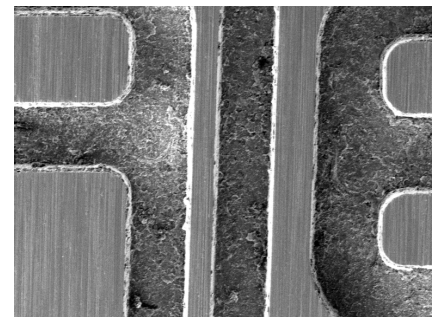


Bild 4: REM-Aufnahme eines gehärteten und überschleiften Heißprägestempels aus Werkstoff 1.2842

Als Werkstoffe für den Prägestempel eignen sich beispielsweise ein härter Stahl (1.2842), der anschließend auf 56-60 HRC gehärtet und überschleift wird. Alternativ kann auch ein harter Stahl (1.2312 mit 43-45 HRC) bearbeitet werden, bei dem das anschließende Härten und Schleifen entfällt.

Untersuchungen zum Heißprägen

Mit einer 18 µm starken Kupferfolie mit einer SnPb-Oberfläche wurden auf verschiedenen Thermoplasten Heißprägeversuche durchgeführt. Untersucht wurden beispielsweise diverse PA-Typen, PPS und sPS. Die spritzgegossenen Probekörper wurden vor dem Heißprägeprozess getempert und bei 3000 bis 4000 N geprägt.

An den heißgeprägten MID-Bauteilen wurden Untersuchungen zur Haftfestigkeit der Leiterbahnen, zu den Prägewülsten und zum Verzug durchgeführt.

Haftung der Prägefolie

Auf einigen ungefärbten PA-Typen und einem PPS-Typ konnte beispielsweise eine sehr gute Haftung der Prägefolie erreicht werden (ca. 2 N/mm). Auf ungefärbtem sPS war die Haftung der Folie noch befriedigend. Im Gegensatz dazu wurde auf vielen schwarz eingefärbten Thermoplasten eine geringere Haftung der Folie erzielt. Bei pigmentierten Materialien ist folglich mit einer Herabsetzung der Haftfestigkeit zu rechnen.

Prägewulsthöhen

Da beim Heißprägeprozess die Prägefolie unter starkem Druck und unter Erwärmung auf den Schaltungsträger gepresst wird, kommt

es zum Fließen des Thermoplasten unter den Leiterbahnen. Abhängig von der Leiterbahnbreite und Leiterbahnlänge wird somit unter der Prägefolie eine entsprechende Menge an Thermoplast verdrängt, wodurch sogenannte Prägewülste entstehen. Die Höhe der Prägewülste ist stark von den Werkstoffeigenschaften abhängig. Dabei ist insbesondere der Füllstoffgehalt von entscheidender Bedeutung.

Einige ungefärbte PA-Typen sowie ein PPS-Typ zeigten beispielsweise geringe Prägewulsthöhen (< 100 µm) (Bild 5).

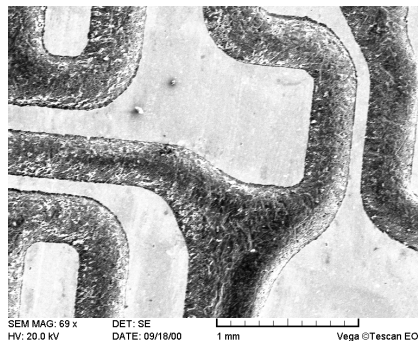


Bild 5: Prägewülste nach Heißprägen in einem engem Leiterbahnbild

Neben den Werkstoffeigenschaften spielt die geometrische Genauigkeit und Oberflächenbeschaffenheit des Spritzlings eine wichtige Rolle. Beispielsweise erfordern Dickenabweichungen der Bauteile ein tieferes Eintauchen des Prägestempels in Bereichen mit erhöhter Dicke, um eine gute Haftung über der gesamten Fläche des Leiterbahnbildes zu erreichen. An diesen Stellen entsteht dann bevorzugt eine größere Wulsthöhe.

Heißgeprägte Teile mit kleinem Prägewulst sind für die Bestückung und den Lötprozess hervorragend geeignet. Die zu bestückenden Bauteile liegen hierbei planparallel

zum geprägten Spritzgießteil auf, wodurch ein Grabsteineffekt verhindert wird.

Bei guter Bauteilgeometrie und entsprechender Prozessführung können in der Regel ohne Nachbearbeitung in Form von Planieren flache Prägewülste erreicht werden.

Verzug der Bauteile

Um den Einfluss des Prägeprozesses auf den Verzug der Spritzgießteile zu bestimmen, wurden die geometrischen Parameter vor und nach dem Prägeprozess vermessen. Es wurde festgestellt, dass sich die Spritzgießteile nach dem Heißprägeprozess abhängig vom Thermoplasten mehr oder weniger stark verziehen. Als Ursache ist die einseitige Erwärmung der Bauteile beim Prägen anzusehen, was eine Nachkristallisation bei nicht getemperten teilkristallinen Thermoplasten zur Folge hat. Dies konnte auch mittels thermischer Analyse (DSC) nachgewiesen werden. Der Verzug lässt sich stark reduzieren, wenn die Bauteile vor dem Prägeprozess getempert werden. Durch den anschließenden Lötprozess beispielsweise in einer Dampfphasenlötanlage entsteht keine weitere Vergrößerung des Verzugs.

Kontaktpersonen:
Dr. Wolfgang Eberhardt
Tel. ++49(711)121-3717
E-mail eberhardt@izfm.uni-stuttgart.de
Dipl.-Ing. (FH) Carsten Pein
Tel. ++49(711)121-3729
E-mail carsten.pein@izfm.uni-stuttgart.de

Verbundfestigkeit von Thermoplasten bei der 2K-MID-Technik

W. Eberhardt, M. Münch

Einleitung

Das Zwei-Komponenten-Spritzgießverfahren bietet für die MID-Technik eine große Gestaltungsfreiheit bei der Konstruktion von dreidimensionalen Schaltungsträgern aus Kunststoff. Dadurch lassen sich neben der elektrischen Verdrahtungsfunktion weitere Funktionen wie beispielsweise mechanische oder fluidische Funktionen integrieren. Mit dem großen Potential der Spritzgießtechnik, feinste Strukturen herstellen zu können, bietet sich diese Technologie für miniaturisierte Gehäuse für Mikrosysteme mit Volumina im Bereich von einem cm^3 und mit hoher Integrationsdichte verschiedener Systemfunktionen wie beispielsweise fluidische Kanäle und Anschlüsse, Fenster für chemische und biologische Sensoren, Membranen für Druckaufnehmer usw. an. Der notwendigen Verbundfestigkeit zwischen der metallisierten und nicht metallisierten Kunststoffkomponente muss im Hinblick auf die Miniaturisierung und die fluidischen Systemkomponenten eine besondere Beachtung geschenkt werden. Bei vielen der bisherigen 2K-MID-Bauelemente wird die Verbundfestigkeit durch eine zusätzliche mechanische Verankerung in Form von Durchkontaktierungen oder Hinterschneidungen erreicht bzw. sichergestellt, wobei Durchkontaktierungen und Hinterschneidungen die Designmöglichkeiten der elektrischen Verdrahtung stark beeinträchtigen, der Miniaturisierung entgegenstehen sowie die Komplexität des Werkzeugs und damit Kosten und Zeitbedarf für dessen Herstellung erhöhen.

Für eine Vielzahl von Anwendungen ergeben sich somit neue Möglichkeiten, wenn Kunststoffmaterialpaarungen verfügbar sind, die einer-

seits im 2K-Spritzgießprozess kompatibel sind und somit stoffschlüssige Materialverbunde ergeben, andererseits in einem außenstromlosen Metallisierungsprozess selektiv metallisierbar sind.

Miniaturisierter Zugprüfstab

Zur Untersuchung des Verbundes zwischen zwei Kunststoffkomponenten wurde ein miniaturisierter Zugprüfstab mit einer Gesamtlänge von 70 mm, einer maximalen Breite von 10 mm und einer Dicke von 1,5 mm entworfen, mit dem der Verbund einer Leiterbahn aus metallisierbarem Kunststoff in ihrem Bett, einem nicht metallisierbaren Kunststoff, untersucht werden kann. Die Konstruktion erfolgte in Anlehnung an die DIN-Norm unter Berücksichtigung der Besonderheiten der miniaturisierten Struktur (Bild 1).

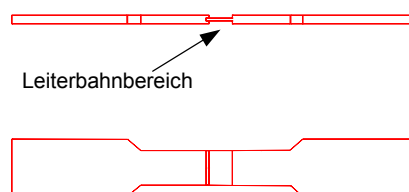


Bild 1: Zugprüfstab in Seitenansicht und Draufsicht. Links die nichtmetallisierbare, rechts die metallisierbare Komponente.

Um den Verbund von unterschiedlich breiten Leiterbahnen zu untersuchen, kann der Zugprüfstab mit einer Dicke zwischen 0,3 mm und 0,8 mm im Bereich der simulierten Leiterbahn gespritzt werden.

Spritzgießwerkzeug

Das Werkzeug wurde als Zwei-Komponenten-Werkzeug mit Schieber konstruiert (Bild 2). Der erste Schuss bildet die metallisierbare Komponente mit dem Leiterbahnbereich aus. Ein hydraulisch betätigter Kernzug gibt die Kavitäten frei. Der

Bereich der Verbundstelle im Werkzeug ist als auswechselbarer Einsatz ausgebildet, mit dem verschiedene Leiterbahnbreiten realisiert werden können.

Die Temperierung erfolgt in zwei Kreisläufen, wobei die Seite des Vor- und Fertigspritzlings separat auf Temperatur gehalten wird. Das Werkzeug ist ferner mit Werkzeuginnendruck- und Temperatursensoren ausgestattet, die eine Überwachung des Füllvorganges beider Komponenten ermöglichen.

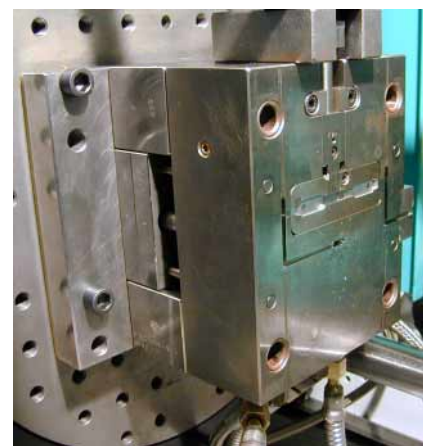


Bild 2: Auswerferseite des geöffneten Werkzeuges mit ausgefahrenem Schieber.

Materialkombinationen

Die untersuchten Materialkombinationen werden nach zwei grundlegenden Kriterien ausgewählt. Zum einen soll sich zwischen den Kunststoffkomponenten ein stoffschlüssiger Verbund ergeben, d. h. beide Kunststoffe müssen chemisch verträglich sein. Zum anderen sollen die ausgewählten Materialien in einem außenstromlosen Metallisierungsprozess selektiv metallisierbar sein. Es wurden verschiedene Ansätze verfolgt.

Vielversprechend war die Untersuchung von Materialkombinationen,

bei denen über die Grenzfläche hinweg eine chemische Reaktion stattfinden kann, was zu einem stoffschlüssigen Materialverbund führt. Untersucht wurden Polymere mit reaktiven Gruppen, beispielsweise SMA und PP-MSA. Bei beiden Materialien handelt es sich um Copolymere mit Einheiten aus Maleinsäureanhydrid, welche beispielsweise mit den Endgruppen von Polyamid reagieren können. PA6 ist dann in Kombination mit SMA in einem außenstromlosen Metallisierungsprozess selektiv metallisierbar.

Weiterhin werden derzeit eine Reihe von kommerziell verfügbaren Polymerblends im Hinblick auf die oben genannten Anforderungen untersucht. Bei geeigneten Materialkombinationen mit Polymerblends ist eine chemische Kompatibilität beider Verbundpartner potentiell gegeben. Selektive Metallisierbarkeit des Verbunds soll durch eine Blendkomponente gegeben sein. Beispielsweise werden Kombinationen wie PPS/PA und PPS, PPE/PA und PPE und ABS/PA und ABS untersucht. Metallisiert wird anschließend nach einem modifizierten Verfahren für Polyamid. Weiterhin werden Materialkombinationen wie ABS/PBT und PBT oder ABS/PSU und PSU untersucht, die anschließend nach einem modifizierten ABS-Verfahren selektiv metallisiert werden sollten.

Stoffschlüssige Verbunde im Mehrkomponentenspritzgießen werden derzeit auch bei einer Vielzahl von Hart-Weich-Verbunden erhalten. Im aktuellen Forschungsprojekt werden auch solche Materialpaarungen im Hinblick auf Verbundfestigkeit und selektive Metallisierbarkeit untersucht.

Metallisierung

Die selektive Metallisierung von Zugstäben aus PA6 und SMA erfolgt nach einer Vorbehandlung mit einem Beizqueller auf alkoholischer Basis, welcher den Aktivator in ionogener Form enthält, und anschließender Reduktion des Aktivators (Bild 3).



Bild 3: Selektiv metallisierter 2K-Zugstab aus PA6 und SMA

Die selektive Metallisierung von beispielsweise ABS/PA neben sPS oder PPS/PA neben PPS (Bild 4) erfordert eine Modifizierung des Vorbehandlungsverfahrens, um eine gleichmäßige Metallabscheidung zu gewährleisten.

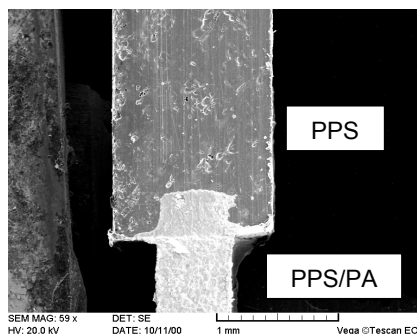


Bild 4: Selektiv metallisierter 2K-Zugstab aus PPS/PA und PPS (Seitenansicht)

Verbundfestigkeit

Die Bestimmung der Verbundfestigkeit erfolgt mit Hilfe einer modifizierten Zugprüfvorrichtung (Bild 5). Aus Materialpaarungen mit Komponenten aus Copolymeren mit MSA-Einheiten wie beispielsweise PA6 und SMA resultieren bei geeigneter Wahl der Spritzfolge gute Verbundfestigkeiten bei einer simulierten Leiterbahnbreite von 0,6 mm.

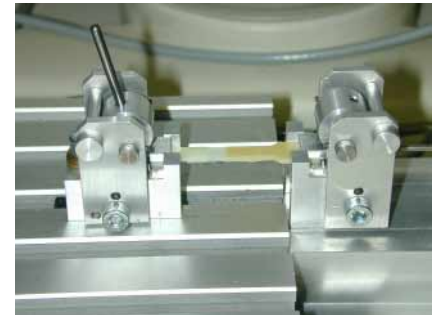


Bild 5: Prüfvorrichtung zur Bestimmung der Verbundfestigkeit

Mit PPS/PA und PPS kann ein Verbund erst bei höheren Werkzeugtemperaturen erzielt werden. ABS/PA lässt sich mit verschiedenen Thermoplasten haftfest verbinden, beispielsweise mit sPS, SMA und PA12. Ebenso ist PP mit einem Blend aus PP und PA kompatibel. Bei höheren Werkzeugtemperaturen konnte mit ABS/PBT und PBT sowie mit ABS/PSU und PSU ein Verbund erzielt werden. Ein Blend aus PPE und PA war mit verschiedenen Thermoplasten wie PPE/PS, SMA und PA12 nicht kompatibel. In diesen Fällen konnte auch durch eine weitergehende Variation der Spritzbedingungen kein Verbund beider Komponenten erzielt werden.

Bei der Untersuchung von Hart-Weich-Verbindungen wurde mit der Kombination von PA6 und TPE-U eine gute Verbundfestigkeit und eine selektive Metallisierbarkeit erzielt.

Kontaktpersonen:
 Dr. Wolfgang Eberhardt
 Tel. ++49(711)121-3717
 E-mail eberhardt@izfm.uni-stuttgart.de
 Dipl.-Ing. Markus Münch
 Tel. ++49(711)121-3715
 E-mail muench@izfm.uni-stuttgart.de

HSC-Bearbeitung von präzisen Miniaturbauteilen

T. Gmelin

Einleitung

Flexibilität, Unabhängigkeit und Präzision sind nicht nur gerne verwendete, einleitende Schlagworte zahlreicher Fachbeiträge sondern sie tragen wesentlich zur Entscheidungsfindung bei der Anschaffung einer Präzisionsfräsmaschine bei.

So stand bei der Kaufentscheidung neben der Präzision das breite Teilespektrum des HSG-IFZ im Vordergrund. Hierbei wurden insbesondere die Aufgaben der Gehäuse- und Verbindungstechnik berücksichtigt, wobei Werkzeuge und Vorrichtungen für miniaturisierte Kunststoffgehäuse mit integrierten mechanischen und elektrischen Verbindungen hergestellt werden. Neben der Bearbeitung größerer Werkzeugplatten müssen auch kleinste Strukturen und Bauelemente präzise gefertigt werden. Einschränkungen lassen sich auch bei den Werkstoffen kaum treffen, reicht doch das Spektrum von gehärtetem Stahl über Aluminiumlegierungen bis hin zu den verschiedensten Kunststoffen.

Die Kaufentscheidung fiel nach der abschließenden Bearbeitung eines Probewerkstücks (Bild 3) zugunsten der Picomax-60M vom schweizer Hersteller Fehlmann, da sie neben derzeit angebotenen Mikrozerspannungssystemen bei vergleichbarer Präzision über einen größeren Arbeitsraum verfügt und somit weitgehend das gesamte Teilespektrum des Instituts abgedeckt werden kann.

Die HSC-Präzisionsbearbeitung erfordert neben einer genauen Maschine auch ein übergreifendes Zusammenspiel des Spindeltriebes, des Werkzeugspan- und des Schmier-systems sowie der Werk-

zeugvermessung und der bauteil-abhängigen Frässtrategien des CAD/CAM-Systems. Somit lassen sich z.T. nur schwer die typischen Bearbeitungsaufgaben definieren, anhand derer eine allgemeingültige Bearbeitungsstrategie festzuhalten ist.

CAD/CAM-Datenstrecke

Parallel zur Anschaffungsphase wurde das CAD/CAM System ProEngineer eingeführt, durch dessen Direktschnittstellen vorhandene Programme wie Ansys, Moldflow, Fidap und Cimatron zu einem durchgängigen Entwicklungs-, Simulations- und Fertigungskonzept zusammengeführt wurden. Kernpunkt hinsichtlich des HSC-FräSENS stellt die Simulation des Bearbeitungsablaufes dar, mit deren Hilfe die für präzise Bauelemente angepassten Frässtrategien kontrolliert und weiter optimiert werden können. Bild 1 veranschaulicht die realisierte Fertigungsstrecke.

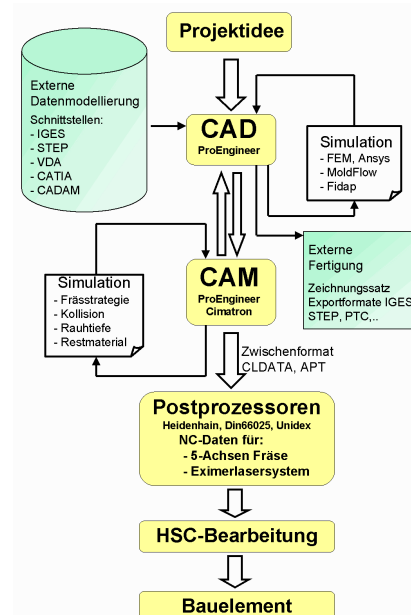


Bild 1: CAD/CAM-Fertigungsstrecke

Maschinenausstattung

Die Verwendung einer HF-Spindel mit einer max. Drehzahl von 40.000 U/min erfordert zur Kühlung und Schmierung des Werkzeuges eine Minimalmengenschmierung, wobei mit geringem Schmierstoffanteil versetzte Luft mit hohem Druck direkt auf die Schneide geleitet wird. Dabei durchdringen die einzelnen Schmierstoffpartikel die an schnellrotierenden Werkzeugen gebildete Luftwirbelsäule effektiv und gelangen direkt an die Werkzeugschneide.

Ein laserbasiertes System (Bild 2) ermöglicht die schnelle, berührungslose Werkzeugvermessung und Bruchkontrolle.



Bild 2: Werkzeugvermessung

Dabei werden die Werkzeuglänge sowie der Durchmesser bei Schnittdrehzahl gemessen und die Korrekturdaten automatisch in der Werkzeuggtabelle aktualisiert. Vor und nach jeder Bearbeitung durchlaufen die Werkzeuge den Laserstahl um eventuelle Schäden frühzeitig erkennen zu können.

Bei den Werkzeugen selbst handelt es sich um Hartmetallfräser mit Durchmessern von 0,15 - 12 mm, die durch feinstgewuchtete, hochgenaue Schruppfutter gespannt werden. Beim Schrupfen werden die unterschiedlichen Ausdeh-

nungskoeffizienten des Hartmetallwerkzeugs und der Spannzange zum Einschrumpfen der Werkzeuge ausgenutzt. Durch den kurzen Kraftfluss sowie die große Anpressfläche am Schaft stellen diese Futter zur Zeit die beste Spannungsmöglichkeit dar. Der Teil-Schwenkapparat mit der 4. und 5. Achse wird auf den Kreuztisch der Maschine aufgesetzt, was den Vorteil einer variablen Nutzung der großen Aufspannfläche des Maschinentisches bietet. So können neben der 5-Seitenbearbeitung kleiner Teile auch größere Spritzwerkzeugplatten problemlos bearbeitet werden.

Weiterhin ist die Maschine mit einer Heidenhain Steuerung ausgestattet, welche mit den CAD-Arbeitsplätzen über ein Netzwerk verbunden ist. Daher stellt die Übertragung komplexer CNC-Programme keine Schwierigkeiten dar.

Bearbeitungsbeispiele

Beim HSC-Fräsen wird mit sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten wenig Span abgetragen. Daraus resultieren eine hohe Vorschubgeschwindigkeit und hohe Drehzahlen.



Bild 3: Probewerkstück aus Werkzeugstahl mit HRC64 zur Auswahl der Maschine.

Regeln zur Optimierung der Parameter wie Vorschub, Schnittgeschwindigkeit, Spandicke, Zustellung u. a. werden zwar von den Werkzeugherstellern angegeben, sind aber vor allem im Bereich kleinster Werkzeugdurchmesser meist nur als grobe Anhaltspunkte zu verstehen.

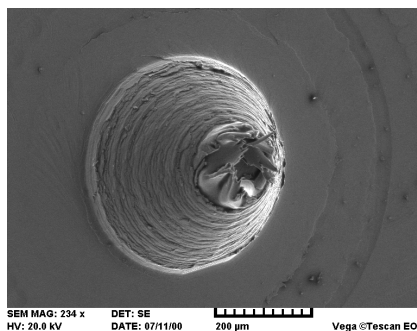


Bild 4: REM Aufnahme eines Kegelstumpfes mit deutlicher Gratbildung.

Die Verwendung vorgefertigter Frässtrategien der CAM-Systeme führt bei der Miniaturzerspanung zwar zu guten Ergebnissen, erfordert allerdings eine unerwünschte Nachbearbeitung wie beispielsweise das Entfernen eines Grates (vgl. Bild 4), was zur Beschädigung des Bauelementes führen kann. Daher lohnt es sich die Strategie bauteilabhängig gezielt festzulegen, um das Bauteil in möglichst einer Aufspannung ohne Nacharbeit fertig zu stellen (Bild 5).

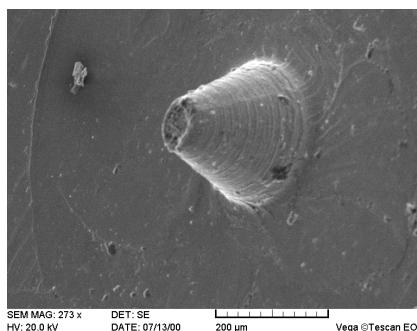


Bild 5: REM Aufnahme des Kegelstumpfes mit geringer Wulstbildung

Die Grenzen der Herstellung von feinen Strukturen werden u. a.

durch das Aspektverhältnis und den Durchmesser der Fräser gesetzt. In der Regel haben kleine Fräser eine Schnittlänge der Größenordnung des doppelten Durchmessers. Bei 150 µm Fräserdurchmesser sind dies gerade 300 µm. Der Schaft läuft allerdings meist konisch zu, so dass bei einer leichten Profilschrägung, z. B. einer Ausformschräge bei Spritzwerkzeugen, die Gesamttiefe zunehmen kann. Eine weitere Alternative stellt die Freistellung oder der Hinterschliff dar, mit dem das Aspektverhältnis letztlich vergrößert werden kann (s. Bild 6).

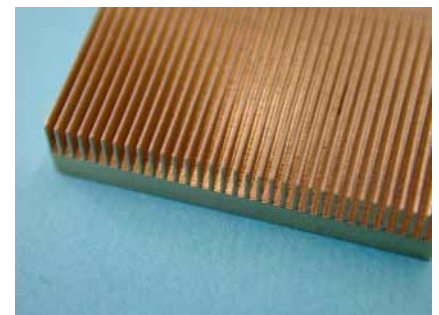


Bild 6: Formeinsatz für eine Testelektrodenstruktur eines Beschleunigungssensors, (Stegbreite 200 µm, Profilgrund 400 µm, Steghöhe 2,36 mm)

Technische Daten:

Hersteller: Fehlmann AG
 Typ: Picomax 60-M
 Verfahrenweg (mm): X=500, Y=330, Z=610
 B-, C-Achsen:
 Teilgenauigkeit B: ±10" C: ±5"
 X-, Y-, Z-Achsen:
 Genauigkeit: P: 3 µm
 Pa: 1 µm
 U: 1 µm
 Ps: 2 µm
 HF-Spindel: 400-40.000 U/min
 Werkzeugwechsler: 24 fach, HSK-40E
 Steuerung: Heidenhain TNC 426

Kontaktperson:

Dipl.-Ing. Thomas Gmelin

Tel. ++49(711)121-3714

E-mail thomas.gmelin@izfm.uni-stuttgart.de

Pilotfertigung von MID-Baugruppen und Mikrosystemen

W. Eberhardt, H. Kück

Der Einsatz von miniaturisierten Gehäusen und Substraten aus Polymerwerkstoffen bietet ein großes technisches und wirtschaftliches Potenzial für den Aufbau von Mikrosystemen. Mit den Verfahren der MID-Technik können einerseits alle passiven elektrischen Funktionen wie Leiterbahnen, Abschirmungen, Steckkontakte oder Antennen integriert werden. Neben elektronischen SMT-Bauteilen können auch insbesondere integrierte Schaltungen und mikrotechnische Bauelemente wie beispielsweise Sensor- oder Aktorbausteine in Form von Nackt-Chips aufgebaut werden. Die große geometrische Gestaltungsfreiheit von spritzgegossenen Bauteilen und die breite Werkstoffpalette bieten für die Aufbautechnik darüber hinaus die Möglichkeit, weitere Systemfunktionen wie beispielsweise optische Fenster und Lichtleiter oder fluidische Kanäle und Düsen zu implementieren.

Neben diesen Aufbautechniken für Mikrosysteme verfolgt das IZFM

gemeinsam mit dem HSG-IFZ weiterhin den neuartigen Ansatz, Sensor- oder Aktorfunktionen mit in das Kunststoffbauelement zu integrieren. Dafür bieten sich u. a. feine Polymerbalken oder Membranen an, die mit einer Metallschicht umhüllt werden. Hierbei kommt es darauf an, mit Hilfe von Mikrospritzgießtechniken besonders feine Polymerstrukturen herzustellen, so dass die mechanischen Eigenschaften bei entsprechender Dicke der Metallschicht von der Metallhülle bestimmt werden und so gezielt eingestellt werden können. In einem von der DFG geförderten Vorhaben werden hierzu erste grundlegende Untersuchungen durchgeführt, wobei die Struktur eines Beschleunigungssensors als Demonstrator herangezogen wird.

Der Aufbau von Mikrosystemen stellt jedoch auch unter Nutzung dieser innovativen Technologien eine große Herausforderung für Entwickler und Entscheidungsträger dar (Bild 1). Dabei ist die detaillierte

Auswahl des geeigneten Fertigungsverfahrens die zentrale Aufgabe. Neben den wichtigen technologischen Fragen im Zusammenhang mit der System-Performance stellen sich u. a. insbesondere die Fragen der Entwicklungszeit, der Verfügbarkeit von Fertigungsausrichtungen und Fertigungsdienstleistungen und nicht zuletzt der Entwicklungs- und Fertigungskosten. Um dieser Herausforderung gerecht zu werden, ist eine ganzheitliche Herangehensweise unumgänglich, bei der schon im frühesten Entwicklungsstadium alle technologischen und wirtschaftlichen Aspekte von der Produktidee bis zum qualifizierten Serienprodukt berücksichtigt werden. Diese höchst komplexe Aufgabe wird derzeit zusätzlich dadurch erschwert, dass sich noch keine Standards etabliert haben und die Erfahrungen mit kommerziellen Produkten und Fertigungseinrichtungen noch spärlich sind.

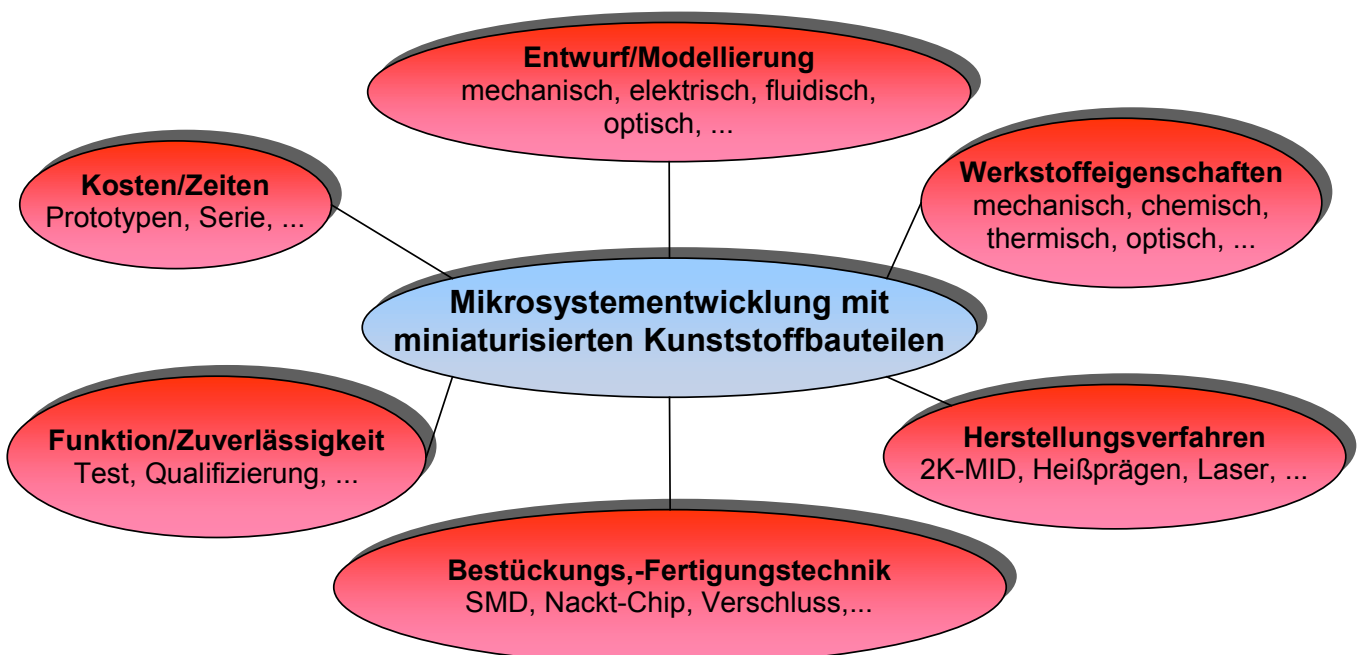


Bild 1: Einflussgrößen bei der Entwicklung von Mikrosystemen mit miniaturisierten Kunststoffbauteilen



Bild 2: Durchgängige Entwicklung und Herstellung von Mikrosystem-Baugruppen in MID-Technik

Um den interessierten Firmen in dieser Situation die notwendige kompetente Unterstützung durch F+E-Dienstleistungen und Fertigung von Prototypen anbieten zu können, wurde am Institut eine durchgängige Pilotfertigungslinie für den Aufbau von Mikrosystemen mit MID-Baugruppen und miniaturisierten Kunststoffbauteilen installiert (Bild 2). Neben den Ausrüstungen wurde ebenfalls das Know-how aufgebaut, um die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben meistern zu können. Dabei können wir nach der Produktidee mit einer Machbarkeitsuntersuchung beginnen und unsere Partner bis zum Funktions- und Zuverlässigkeitstest unterstützen. Als wesentlich für unser ganzheitliches Angebot haben wir ein besonderes Augenmerk auf die folgenden Punkte gelegt:

- Die elektro-mechanische Konstruktion und der elektronische Entwurf werden bei uns gekoppelt und durch Simulationsrechnungen

unterstützt und münden damit in einer geschlossenen CAD/CAM-Schnittstelle zum Werkzeugbau.

- Durch 5-Achsen-HSC-Technik und modulare Werkzeugkonzepte reduzieren wir die Zeiten und Kosten für die Entwicklung von Mustern und Prototypen in Original-Werkstoffen.
- Je nach Aufgabenstellung setzen wir das 2-K-Metallisierungsverfahren, die Heißprägetechnik oder künftig die Laserstrukturierung ein. Die Kunststoffspritzlinge stellen wir in Ein- oder Zweikomponenten-Spritzgießtechnik her oder künftig mit einer Mikro-spritzgießanlage.
- Bei der Bestückung mit SMD-Bauteilen und Nackt-Chips setzen wir nur Anlagen mit automatischem Prozessablauf ein.
- Die fertigen Muster und Prototypen prüfen wir auf ihre Funktion und künftig auf ihre Zuverlässig-

keit nach den Maßstäben der Automobilindustrie.

Während die Mikrospritzgießanlage und die Zuverlässigkeitsprüftechnik ab dem zweiten Quartal 2001 zur Verfügung stehen und die Beschaffung einer 8-Achsen-Laserbearbeitungsanlage für die zweite Hälfte 2001 geplant ist, wurden die anderen Fertigungsprozesse bereits für F+E-Vorhaben erfolgreich eingesetzt. Eine ausführliche Auflistung der Einrichtungen im Institut befindet sich auf der folgenden Seite in diesem Bericht.

Kontaktpersonen:
 Dr. Wolfgang Eberhardt
 Tel. ++49(711)121-3717
 E-mail eberhardt@izfm.uni-stuttgart.de

Prof. H. Kück
 Tel. ++49(711)121-3710
 E-mail heinz.kueck@izfm.uni-stuttgart.de

Software-Tools

Mechanische Konstruktion:
ProEngineer,
AutoCAD

Elektromechanisches Design:
ZUKEN EM Designer

CAD-CAM-Prozessoren:
Cimatron,
Intercim

Spritzgießsimulation:
Moldflow Plastics Insight mit
3D-Tool

FEM-Analyse:
ANSYS

Leiterplattenentwurf:
EAGLE

Schaltungsanalyseprogramm:
MicroSim PSpice

DOE:
Echip

Messdatenerfassung:
TestPoint

HSC-Frästechnik

5-Achsen-Fräsmaschine:
Fehlmann Picomax 60 M

Spritzgießtechnik

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

Mikrospritzgießmaschine:
Battenfeld Microsystem 50
(ab 4/2001)

Laserbearbeitung

KrF-Excimer-Lasersystem:
Exitech LPX220i

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

Chemische Metallisierung

für selektive außenstromlose Me-
tallisierung von Kunststoffen

Aufbau- und Verbindungs- technik

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-
Drahtbender:
Hesse & Knipps Bond Jet 710

Halbautomatischer Bondtester:
Dage Serie 4000

Heißprägepresse:
Schmidt ServoPress 420 LV

Physikalische und chemi- sche Analysetechnik

Rasterelektronenmikroskop:
EOL TESCAN 5130

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

Differential Scanning Calorimetry
(DSC):

Netzsch DSC 204 Phoenix

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

Röntgenfluoreszenz-Schicht-
dickenmessgerät und Material-
analysator:
Roentgenanalytik Xray Com-
Pact

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

Tastschnitt-Profilometer:
Form Talysurf

3-D Koordinatenmessmaschine:
Numerex Modell 1518-10 mot

Mikrohärteprüfgerät:
Fischer Fischerscope H 100

Rotationsmikrotom mit motori-
schem Antrieb:
Microm HM 355S

Umweltsimulation

(ab 4/2001)

Temperaturschockschrank:
CTS TSS-70/130

Klimaprüfschrank:
CTS CV-70/350

Vibrationsprüfung (Shaker):
LDS V780 /HPA-K

Mess- und Prüftechnik

Elektronische, mechanische und
optische Messplätze (Mikroskope,
Laservibrometer, Laserinterfero-
meter)

HSG-IFZ in Zahlen

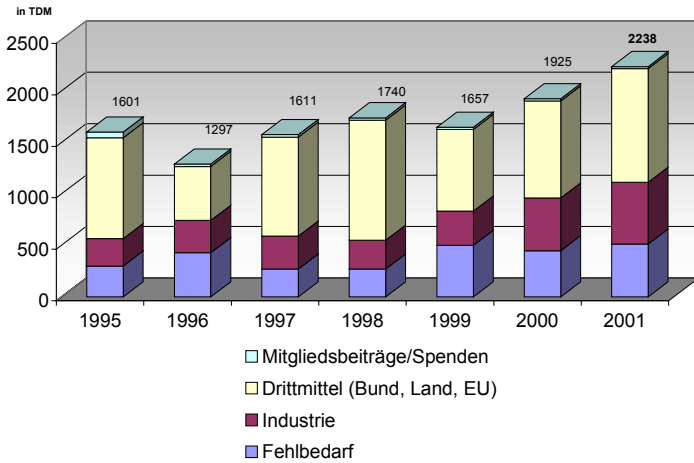


Bild 1: Entwicklung des Haushalts mit Planzahlen für 2001

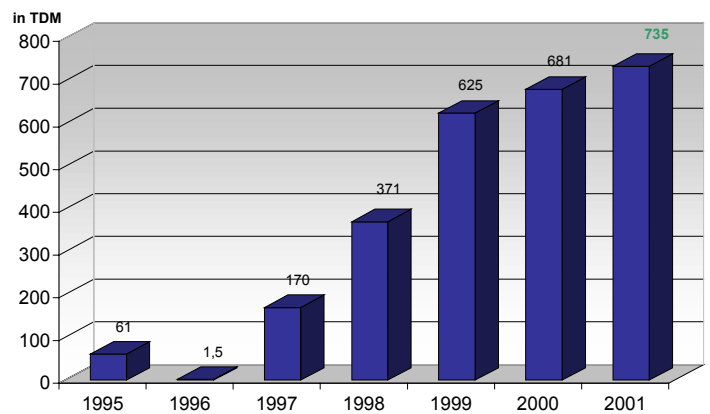


Bild 2: Gesamt-Investitionen mit Planzahl für 2001

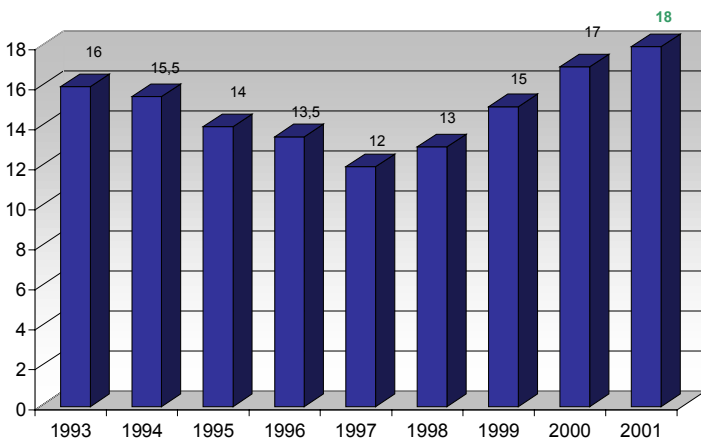


Bild 3: Stellenentwicklung mit Planzahl für 2001

Publikationen

Vorträge

H. Kück,
"Innovative Sensor/Aktuator-
Mikrosysteme mit MID-Technik",
4. Internationaler Kongress Molded
Interconnect Devices MID 2000,
Erlangen, 27.-28. September 2000

H. Kück,
"MID – Neue Möglichkeiten für die
Mikrosystemtechnik?",
Infoveranstaltung Fertigung von
Mikrosystemen, Braunschweig,
12. Dezember 2000

H. Kück,
"Molded Interconnect Devices für
innovative Gehäuse- und Verbin-
dungstechnik in der Mikrosystem-
technik",
Einweihung des Mechatronik-
Zentrums der Fachhochschule,
Heilbronn, 14. Juni 2000

H. Kück,
"Elektrostatisches Miniaturventil in
MID-Technik als Alternative",
1. Öffentliches Statusseminar IMSIP
Integrationsfähiges Mikroventil-
system für die Industriepneumatik,
Erlangen, 26. September 2000

H. Kück et al.,
"Innovative Sensor-/Aktuator-
Mikrosysteme mit MID-Technik",
4. Internationaler Kongress Molded
Interconnect Devices-MID 2000,
28. - 29. September 2000, Erlangen

W. Eberhardt,
"Verbindungs- und Fügetechniken
für innovative Miniaturventilmikro-
systeme",
1. Öffentliches Statusseminar IMSIP
Integrationsfähiges Mikroventil-
system für die Industriepneumatik,
Erlangen, 26. September 2000

W. Eberhardt et al.,
"Innovative Concept for the Fabrica-
tion of Micromechanical Sensor and
Actuator Devices Using Selectively
Metallized Polymers",
als Vortrag angenommen bei "11th
International Conference on Solid-
State Sensors and Actuators,
Transducers '01 / Eurosensors XV
in Munich", June 2001

R. Mohr,
"Simulation von Miniaturantrieben
mit Hilfe von SIMPLORER",
SIMPLORER Workshop 2000, Fa.
SIMEC, Chemnitz, 11./12.5.00

H. Schenk et al.,
"An Electrostatically Excited 2D-
Micro-Scanning-Mirror with an In-
Plane Configuration of the Driving
Electrodes",
Proceedings of MEMS 2000, 23. -
27. Januar 2000, Miyazaki, Japan

Veröffentlichungen

K. Froberg et al.,
"Investigation of SiGe/Si-
Heterostructures with High Resolu-
tion X-Ray Diffraction Methods",
Materials Science Forum Vols 321 -
324 (2000), pp. 457-462

R. Mohr,
"Simulation von Miniaturantrieben
mit Hilfe von SIMPLORER",
SIMPLORER Workshop 2000, Fa.
SIMEC, Chemnitz, 11./12.5.00,
Tagungsband S.75-85

R. Mohr, M.Schubert,
"Funkuhrtechnik und Funkuhrent-
wicklung",
Wechselwirkungen, Jahrbuch 2000,
Universität Stuttgart, S. 76-86

H. Schenk et al.,
"Large Deflection Micromechanical
Scanning Mirrors for Linear Scans
and Pattern Generation",
IEEE Journal of Selected Topics on
Quantum Electronics (invited), Vo-
lume 6, September/October 2000,
pp 715-722

Messebeteiligungen

Informationstag
Praxisnahe Modellierung und
Simulation in der Leistungs-
elektronik, Antriebs- und Energie-
technik, Mikrosystemtechnik
IZFM zusammen mit Fa. SIMEC,
Chemnitz,
Stuttgart, 13. April 2000

Innovationstag 2000
der Arbeitsgemeinschaft industriell-
er Forschungsvereinigungen (AiF)
„Otto von Guericke“ e.V.,
Berlin, 6. Juni 2000

Patentanmeldung

H. Kück, W. Eberhardt, W. Lang,
A. Schumacher, K. Hiltmann und
K. Guttman,
"Schaltelement und Verfahren zu
dessen Herstellung",
Tag der Anmeldung: 8.12.2000

Mitarbeit in Gremien, Lehrveranstaltungen

Mitarbeit in Gremien

	11.05.00	H. Kück, R. E. Müller: Zeitmeßtechnik
H. Kück:	<p>cand. mach. K. Hüppchen Konstruktive Entwicklung von Einrichtungen zur Vermeidung von Querkontaminationen bei der Laserbearbeitung mikrotechnischer Bauteile</p>	H. Effenberger: Elektrische Bauelemente in der Feinwerktechnik
Mitglied im Fachausschuss 4.1 "Grundsatzfragen der Mikrosystemtechnik" der GMM		H. Effenberger: Elektronik für Feinwerktechniker
Leiter des Fachausschuss 4.8 "Mikrofertigung" der GMM	<p>cand. mach. U. Scholz A Thermosonic Gold Wire Bonding Technology for Chip Assembly on Rigid-flex PCBs</p>	B. Martin: Ausgewählte Meßverfahren der Fein- und Mikrotechnik
Mitglied im Wissenschaftlichen Rat der AiF		R. Mohr: Elektronik für Mikrosystemtechniker
Mitglied im Fachbeirat des "Kompetenznetz MAHREG Automotive"	21.09.00	
Mitglied des Technical Advisory Committee des "Fourth International Workshop on High-Aspect-Ratio Micro-Structure Technology" HARMST 2001	<p>cand. mach. E. Cillis Simulation und Analyse des Einflusses von Strömungen bei einem hochauflösenden Verfahren zum generativen Aufbau von Mikrostrukturen</p>	H. Sandmaier, M. Sesterhenn: Bauelemente der Mikrosystemtechnik
	<p>cand. mach. R. Kolb Konstruktion einer Baugruppe zum Betrieb eines programmierbaren Flächenlichtmodulators</p>	H. Sandmaier, M. Sesterhenn: Technologien der Mikrosystemtechnik
W. Scheerer:		
Mitglied im DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) Normenausschuss Gleitlager		
	19.10.00	
	<p>cand. mach. Klaus Hüppchen Herstellstrategie für mikrostrukturierte Kunststofflayer</p>	
Seminare		Praktika
16.03.00		Hauptfachpraktikum in Miniatur- und Mikrotechnik
cand. mach. M. Kleiber Aufbau eines signalverarbeitenden Systems zur Prüfung von Zahnradpaarungen		Allgemeines Praktikum des Maschinenbaus
	Vorlesungen	Elektronik-Praktikum für Feinwerktechniker
cand. mach. D. Warkentin Untersuchung der Einflüsse der Substrateigenschaften auf das Ultraschalldrahtbonden mittels FEM-Simulation	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	
		Kolloquium Mikrosystemtechnik
		Prof. Dr. W. Mokwa, RWTH Aachen, "Fortschritte in der Medizintechnik durch Mikrosysteme", Stuttgart, 21. November 2000

Studien- und Diplomarbeiten

Studienarbeiten

Hüppchen, Klaus
Konstruktive Entwicklung von Einrichtungen zur Vermeidung von Querkontaminationen bei der Laserbearbeitung mikrotechnischer Bauteile
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dipl.-Ing. R. Grimme (FHG-IPA),
Dipl.-Phys. M. Rochowicz (FHG-IPA)

Kolb, Robert
Konstruktion einer Baugruppe zum Betrieb eines programmierbaren Flächenlichtmodulators
Betreuer: Dipl.-Ing. Th. Gmelin

Cillis, Eike
Simulation und Analyse des Einflusses von Strömungen bei einem hochauflösenden Verfahren zum generativen Aufbau von Mikrostrukturen
Betreuer: Dipl.-Ing. Th. Gmelin

Warkentin, Daniel
Untersuchungen der Einflüsse der Substrateigenschaften auf das Ultraschalldrahtbonden mittels FEM-Simulation
Betreuer: Dipl.-Phys. Th. Gerhäuser

Diplomarbeiten

Scholz, Ulrike
A Thermosonic Gold Wire Bonding Technology for Chip Assembly on Rigid-flex PCBs
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dipl.-Ing. F. Enkelmann (Siemens Medical Instruments, Singapore)

Blassmann, Lars
Untersuchungen an Dichtsitzen für Mikroventile
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dr.-Ing. M. Weinmann (Festo AG & Co., Esslingen)

Strunz, Andreas
Konzeption eines flexiblen, modular aufgebauten Spritzgießwerkzeugs zur Herstellung verschiedener Kunststoffminiaturgehäuse in 2K-MID-Technik
Betreuer: Dipl.-Ing. P. Schilling

Warkentin, Daniel
Untersuchungen zu einem Beschleunigungssensor in 2-K-MID-Technologie
Betreuer: Dipl.-Phys. M. Giousouf

Hüppchen, Klaus
Herstellstrategie für mikrostrukturierte Kunststofflayer
Betreuer: Prof. Dr. H. Kück,
Dipl.-Ing. R. Grimme (FHG-IPA),
Dipl.-Phys. M. Rochowicz (FHG-IPA)

Organe der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.

Aufsichtsrat

MinDirig
Dr. Tschermak von Seysenegg
Wirtschaftsministerium
Baden-Württemberg

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

Dr. Peter Egelhaaf
Robert Bosch GmbH
Forschungsleitung 1 (ZW1)

Professor Dr. H. Gleiter
Mitglied des Vorstandes der
Forschungszentrum Karlsruhe
GmbH

MinRat Ulf Hecksteden
Ministerium für Wissenschaft und
Forschung Baden-Württemberg

Wolfgang Kammerlander
TEMIC MBB Mikrosysteme GmbH

Professor Dr. Johann Löhn
Regierungsbeauftragter für
Technologietransfer Baden-
Württemberg

Oberbürgermeister
Dr. Manfred Matusza
Große Kreisstadt Villingen-
Schwenningen

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

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

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

Professor Dr. W. Zahradnik
Rektor der Fachhochschule
Furtwangen

Jürgen von Schaewen
Bundesministerium für Bildung und
Forschung

Vorstand

Vorsitzender:

Dr. Harald Stallforth
AESCULAP AG & CO. KG

Stellvertr. Vorsitzende:

Dipl.-Ing. Reinhard Jäckle

Dr. Peter Jung
Marquardt GmbH

Dipl.-Ing. Hans Weiss
GMS Gesellschaft für Mikroelekt-
ronik und Sensorik mbH

Schatzmeister:

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

Ehrevorsitzender:

Dr.-Ing. Wolfgang Berger

Aktuelle Partnerfirmen des HSG-IFZ / IZFM

2E Rolf Hiller GmbH	Feinmetall GmbH	paragon AG
A. Schulmann GmbH	FEM Forschungsinstitut für Edelmetalle	Parker-Hannifin GmbH
AESFULAP AG & Co. KG	FESTO AG & Co.	Pekass Automatisierungstechnik GmbH
AHC-Oberflächentechnik GmbH & Co. OHG	Fritsch GmbH	PEZET GmbH
Andreas Stihl AG	Fritz Schunk GmbH & Co.KG	Polytec GmbH
Arburg GmbH & Co.	Fuchs Lubritech GmbH	pretema GmbH
Bernhardt Förster GmbH	Gebrüder Bühler GmbH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Bielomatik GmbH & Co.	General Electric Plastics GmbH	Robert Bosch GmbH
BIZERBA Werke	Glyco-Metall-Werke	Rockwell Automation
BMT Breitmeier Messtechnik	Grässlin GmbH & Co. KG	Schmauser Precision GmbH
Bolta Werke GmbH	Günther Heißkanaltechnik GmbH	Schmidt Feintechnik GmbH
Busak & Shamban GmbH & Co.	Haas Laser GmbH & Co.	Sieghardt Schiller GmbH & Co.
Buss-Werkstofftechnik GmbH & Co. KG	HERION-Werke KG	Speidel & Keller GmbH & Co. KG
Delo Industrieklebstoffe GmbH	Hopf Elektronik GmbH	Staiger Formenbau GmbH
Dietmar Adelhelm Kunststoffbeschichtungen	Horst Scholz GmbH & Co. KG	Strake B.V.
Dow Corning GmbH	IBL-Löttechnik GmbH	Temic - Telefunken GmbH
Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG	IDG-Dichtungstechnik GmbH	Theben Werke GmbH
Dr. Sauter Automation GmbH	Impella Cardioteknik AG	Ticona GmbH
Dr. Tillwich GmbH	Isgus J. Schlenker-Grusen GmbH	U.T.S. Präzisionstechnik GmbH
Du Pont de Nemours	Jenoptik Laserdiode GmbH	VDO Mannesmann GmbH
ELMOS Semiconductor AG	Junghans Uhren GmbH	Venus GmbH
Eppendorf-Netheler-Hinz GmbH	Keiper GmbH & Co.	Werner Beiter
Erich Lacher Uhrenfabrik	Klüber Lubrication München KG	Whitford GmbH
ETA SA Fabriques d'Ebauches	Mannesmann Tally GmbH	WIKA Alexander Wiegand GmbH
Faigle Kunststoffe GmbH	Marquardt GmbH	
	MOS Matthias Oechsler & Sohn GmbH & Co.	

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

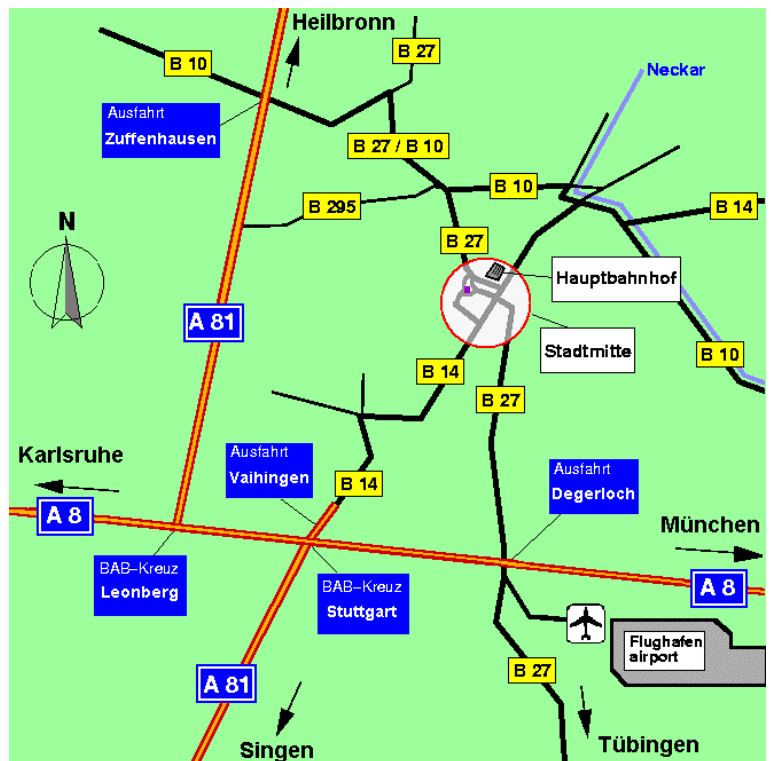
Bei Anreise mit: Zug / S-Bahn

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

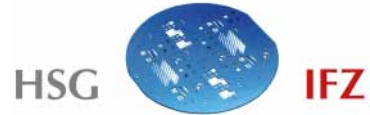
Bei Anreise mit: Flugzeug

Ab Flughafen mit S-Bahnlinie S2 nach Schorndorf
→ 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 Katharinen-Hospital 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. 2b

D-70174 Stuttgart

Telefon: ++49(711)121-3711

Telefax: ++49(711)121-3705

E-mail: izfm@izfm.uni-stuttgart.de

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

Hahn-Schickard-Gesellschaft

Institut für Feinwerk- und Zeitmeßtechnik

Breitscheidstr. 2b

D-70174 Stuttgart

Telefon: ++49(711)121-3712

Telefax: ++49(711)121-3705

E-mail: hsg-ifz@izfm.uni-stuttgart.de

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

Redaktion

Ulrich Allgeier

Gestaltung

Ulrich Allgeier

Druck

E. Kurz & Co.
70182 Stuttgart

© HSG-IFZ 2001