

Ergebnisse und Leistungen 1998

Ergebnisse und Leistungen 1998

Inhaltsverzeichnis

Organisationsstruktur	2
Vorwort	3
Untersuchungen über das Reibungs- und Verschleißverhalten von ölnkorporiert geschmierten Duroplasten für feinwerktechnische Gleitelemente	4
Miniaturtaster	6
Untersuchungen der tribologischen Eigenschaften von bewegten miniaturisierten elastomeren Dichtelementen	8
Herstellungstechnologien für Stimmgabelresonatoren aus Silizium	10
Federprüfgerät (Auftragsforschung)	12
Expertensystem für vollautomatische, rechnergesteuerte Untersuchungen und Tests in der Entwicklungs- und Prototypenphase zukünftiger Funkuhren	14
Veröffentlichungen	17
Promotionen, Diplom- und Studienarbeiten, Lehrveranstaltungen	18
Vorträge, Präsentationen, Mitarbeit in Gremien	19
Organe der Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.	20
Mitgliedsfirmen	22
HSG-IFZ in Zahlen	23
Anfahrtsplan	24

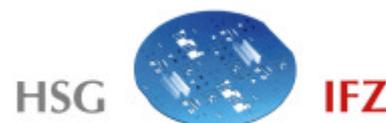
Universität Stuttgart

Institut für Zeitmeßtechnik, Fein- und Mikrotechnik
Lehrstuhl Mikro-, Miniatur- und Zeitmeßtechnik
Breitscheidstr. 2b · D-70174 Stuttgart
Telefon: ++49(711)121-3711 · Telefax: ++49(711)2268304
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)2268304
E-mail: hsg-ifz@izfm.uni-stuttgart.de
WWW: <http://www.uni-stuttgart.de/hsi>



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

Organisationsstruktur

	 Lehrstuhl Mikro-, Miniatur- und Zeitmeßtechnik	 HSG  IFZ Hahn-Schickard-Institut für Feinwerk- und Zeitmeßtechnik
Leitung ^{*)}	Prof. Kück	Prof. Kück
Tribologie und Oberflächentechnik	Hr. Schulz	<u>Hr. Scheerer</u> Hr. Bader Fr. Gehrlach
Miniatur- und Uhrentechnik	Hr. Giousouf Hr. Mohr Dr. Müller	Hr. Allgeier Hr. Laufer Hr. Vogel
Gehäuse- und Verbindungstechnik	Fr. Fasterding Hr. Gerhäußer N.N.	Dr. Eberhardt Hr. Grabein Hr. Münch Dr. Schubert Hr. Seifert N.N. N.N.
Generative Verfahren	Hr. Gmelin Hr. Skibowski	
Mechanische Bearbeitung	Hr. Bärnin Hr. Eylandt Hr. Lechler	
Verwaltungsdienst	Fr. Mohr	Fr. Ihle

^{*)} seit 1.7.98

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Jahr 1998 war ein ereignisreiches Jahr für unsere Institute. Herr Prof. Aßmus ist nach fast zwanzigjähriger Tätigkeit zur Mitte des Jahres in den wohlverdienten Ruhestand getreten. Alle Mitarbeiter und ich danken Herrn Prof. Aßmus an dieser Stelle auf das herzlichste für die geleistete Arbeit.

Mit dem Wechsel in der Institutsleitung wurde mein Lehrstuhl am Institut für Zeitmeßtechnik, Fein- und Mikrotechnik der „Mikro-, Miniaturtechnik und Zeitmeßtechnik“ neu gewidmet. Daneben gehört der Lehrstuhl „Mikrosystemtechnik“, der von Herrn Prof. Sandmaier geleitet wird, ebenfalls zum IZFM.

Im Hahn-Schickard-Institut für Feinwerk- und Zeitmeßtechnik haben wir damit begonnen, verstärkt auf dem Gebiet der Gehäuse- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme zu arbeiten. Damit tragen wir der nunmehr anerkannten großen Bedeutung der Aufbau-, Verbindungs- und Gehäusetechnik für die Umsetzung der Mikrosystemtechnik Rechnung. Hierbei stehen Kunststoffgehäuse und Kunststoff-Miniaturbauteile mit integrierter Metallisierung im Mittelpunkt. Mit der Kunststoff-Gehäusetechnik ergänzen wir einerseits innerhalb der Hahn-Schickard-Gesellschaft die Arbeitsschwerpunkte des Instituts für Mikro- und Informationstechnik in Villingen-Schwenningen sinnvoll und erweitern so das Leistungsspektrum der HSG zum Angebot kompletter mikrosystemtechnischer Lösungen aus einer Hand.

Andererseits bauen wir in der Kunststoff-Gehäusetechnik auf den langjährigen Erfahrungen des HSG-IFZ im Präzisionspritzguß auf und werden am Standort Stuttgart von Synergien profitieren, insbesondere durch Kooperationen innerhalb der Universität Stuttgart.

Bei der Neuausrichtung auf die Gehäuse- und Verbindungstechnik zielen wir darauf ab, künftig unser Know how und unser Forschungs- und Entwicklungspotential noch stärker als bisher in der Auftragsforschung umzusetzen. In diesem Sinne müssen die traditionellen Arbeitsgebiete der Uhren- und Zeitmeßtechnik, der Tribologie und Oberflächentechnik sowie der Miniaturmeßtechnik im HSG-IFZ künftig unter strenger Orientierung an der Nachfrage nach Forschungs- und Entwicklungsleistungen aus der Wirtschaft weiterentwickelt werden.

In diesem Jahresbericht stellen wir Ihnen unsere wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des vergangenen Jahres 1998 vor. Sicherlich fällt Ihnen bei der Lektüre auf, daß wir im vergangenen Jahr eine vergleichsweise breite Palette interessanter Projekte aus der Mikro- und Miniaturtechnik, die noch unter der Leitung von Herrn Prof. Aßmus begonnen wurden, mit ausgezeichneten Resultaten bearbeitet haben. Im nächsten Jahresbericht werden wir über unsere Arbeiten zur Gehäuse- und Verbindungstechnik berichten. Ein weiterer Höhepunkt des vergangenen Jahres war der Europäische Chronometrie

Kongress in Karlsruhe, der von uns organisiert wurde.

Wir glauben, daß unser künftiges Angebot, insbesondere durch die Gehäuse- und Verbindungstechnik, für unsere Auftraggeber und Kooperationspartner von großem Interesse sein wird. Dabei ist es unser besonderes Anliegen, Sie als unsere Partner bei Ihren Problemlösungen tatkräftig zu unterstützen. Deshalb sind Ihre Anregungen und Hinweise zu Ihrem künftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf für uns außerordentlich wichtig. Wir würden uns über Ihre Resonanz sehr freuen und möchten Sie herzlich einladen, nicht zu zögern mit uns Kontakt aufzunehmen.

Ihr



Heinz Kück

Untersuchungen über das Reibungs- und Verschleißverhalten von ölinkorporiert geschmierten Duroplasten für feinwerktechnische Gleitelemente

B. Bader

Einleitung

Duroplaste weisen im Vergleich zu den unverstärkten Thermoplasten deutlich höhere Werte in Festigkeit, Steifheit, Härte, Temperaturbeständigkeit und Druckaufnahmefähigkeit auf. Aufgrund der schlechten tribologischen Eigenschaften von technisch trockenen Duroplasten gegenüber Stahl ist eine Öl- bzw. Fettschmierung erforderlich, wenn diese Werkstoffe als feinmechanische Gleitelemente zum Einsatz kommen sollen. Um die Oxidation bei dieser traditionellen Schmierung vor allem bei höheren Temperaturen ($> 100\text{ °C}$) zu reduzieren, kann das Öl in Tröpfchenform eingekapselt und in den Duroplasten inkorporiert werden. Allerdings ist dieses Verfahren kostenintensiv.

Daher wurden in einem Forschungsvorhaben die tribologischen Vorteile, die Einsetzbarkeit als Lagerwerkstoffe für feinwerktechnische Geräte sowie die Grenzen dieser Materialien untersucht. In parallel durchgeführten Versuchen wurde ebenfalls die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens im Vergleich zu den ohne Kapselung in den Duroplasten inkorporierten Ölen geprüft. Neben den Untersuchungen an Modellprüfkörpern, die nach dem Tribosystem Kugel/ebene Platte arbeiten, war es ein Ziel des Vorhabens, mit Hilfe experimenteller, praxisnaher Bauteiluntersuchungen die Besonderheiten von feinwerktechnischen Lagerungen gezielt zu erarbeiten.

Eigenschaften der ölinkorporierten Duroplaste

Die Verteilung der Öledepots läßt sich anhand der Querschliffe in den Bildern 1 und 2 beschreiben. Der in Bild 1 dargestellte Querschliff einer

Duroplastprobe zeigt die Verteilung der Öltröpfchen im Probekörper bei einem Ölfüllgehalt von 15 Gewichtsprozent.

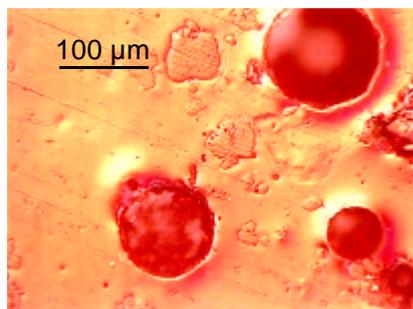


Bild 1: Querschliff ölinkorporiert geschmierter Duroplast mit Mikrokapselfüllung des Öles

Deutlich sichtbar sind die unterschiedlichen Öltröpfchendurchmesser, die teilweise im Bereich von 100 μm bis 150 μm liegen. Neben den durch den Poliervorgang bereits freigelegten Öltröpfchen zeichnen sich die Konturen von zusätzlichen Öltröpfchen ab, die dicht unter der Oberfläche liegen. Bei einem weiteren, entweder durch Polieren oder durch Übergleitungen verursachten Abrieb, wird die äußere Hülle der Öltröpfchen abgeschert oder aufgebrochen und das darin befindliche Öl freigesetzt.

Der Querschliff eines ölinkorporiert geschmierten Duroplasten ohne Mikrokapselfüllung des Öles ist in Bild 2 zu sehen. Deutlich erkennbar sind die im Bindersystem fein dispergiert verteilten Öltröpfchen, die im Vergleich zu der in Bild 1 gezeigten mikrogekapselten Variante wesentlich kleinere Durchmesser aufweisen.

Wird in das Epoxidharz in Tröpfchenform mikrogekapseltes Öl inkorporiert, läßt sich eine deutliche Reibungsminderung erreichen.

Selbst bei einer niedrigen Gleitgeschwindigkeit von $26,18\text{ mm/s}$ bei gleichzeitig hoher Pressung weisen die mikrogekapselten Varianten der Radialgleitlager bei Raumtemperatur Reibungszahlen auf, die im Be-

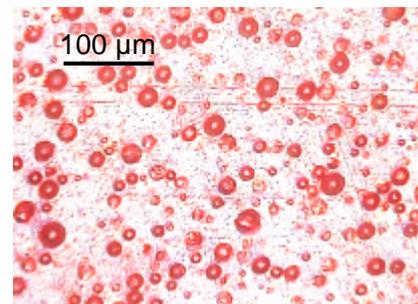


Bild 2: Querschliff ölinkorporiert geschmierter Duroplast ohne Mikrokapselfüllung des Öles

reich von $f = 0,1$ liegen, während die bei Versuchsende gemessenen Reibungszahlen der ölinkorporiert geschmierten Duroplast-Radialgleitlagerungen ohne Mikrokapselfüllung deutlich höher sind (Bild 3). Dagegen bewirkt der höhere Füllgehalt von 15 % bei der mikrogekapselten Variante keine weitere Verbesserung des Reibungsverhaltens.

Für alle drei Varianten ist auf den Stahlwellen nach Versuchsende zum einen kein Abrieb zu erkennen und zum anderen in den Radialgleitlagern lediglich ein geringer Lagerverschleiß festzustellen. Die über die Versuchsdauer gleichbleibenden Reibungszahlen deuten darauf hin, daß die Ölschmierung bei sämtlichen Pressungen ausreicht und der zur Schmierung benötigte Ölfilm nicht durchbricht.

Bei der Erhitzung der Lagerstelle auf 80 °C wirkt sich bei den ölinkorporiert geschmierten Radialgleitlagern mit Mikrokapselfüllung des Öles ein höherer Füllgrad von 15 % positiv auf das Reibungsverhalten aus.

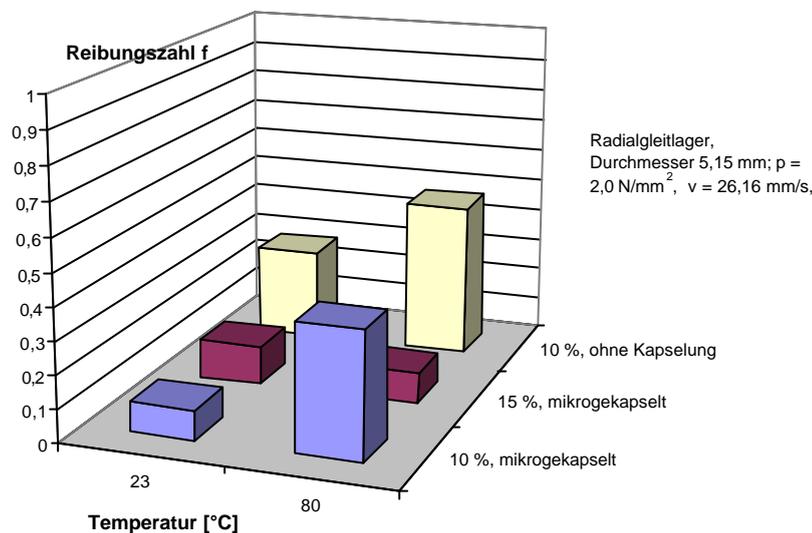


Bild 3: Ölinkorporiert geschmierte Radialgleitlager. Reibungszahlen in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die Reibungszahlen liegen unter den gewählten Versuchsbedingungen unabhängig von der spezifischen Flächenpressung sehr niedrig im Bereich von $f = 0,1$. Dagegen steigen die Reibungszahlen bei den Radialgleitlagern mit einem geringeren Füllgrad von 10 % bzw. bei der ohne Mikrokapselung hergestellten Variante bei einer höheren spezifischen Flächenpressung von $p = 2,0 \text{ N/mm}^2$ deutlich an. Im Gegensatz zu den Reibungsverläufen liegt der Lagerabrieb bei den mit Mikrokapselung hergestellten Radialgleitlagern bei einem Füllgrad von 15 % am höchsten, was vermutlich auf eine zunehmende Versprödung zurückzuführen ist.

Wie bereits bei den Versuchen mit dem Tribosystem Kugel/ebene Platte festgestellt wurde, dürfte der Durchmesser der eingekapselten Öltröpfchen eine wichtige Rolle in bezug auf das Reibungs- und Verschleißverhalten spielen.

Nähere Aufschlüsse über das Reibungs- und Verschleißverhalten gibt

die REM-Aufnahme in Bild 4 einer ausgewählten Lauffläche bei einer Erhitzung der Lagerstelle auf 80 °C nach einem Gleitweg von 15 km. Deutlich sind die gereinigten, halbkugelförmigen Vertiefungen zu sehen, in denen die eingekapselten Öltröpfchen im Harz integriert sind. An den Rändern der Spur lassen sich dabei keine Abriebpartikel erkennen.

Deutlich sichtbar sind ebenfalls die durch die Herstellung der Radialgleitlager entstandenen Drehriefen. Diese Oberflächenrauigkeiten

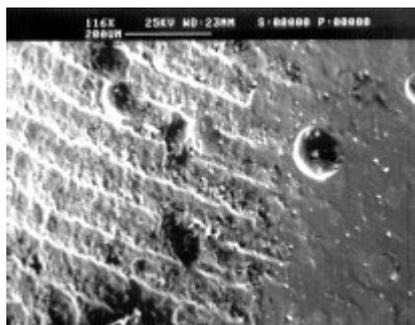


Bild 4: Lauffläche eines ölinkorporiert geschmierten Duroplast-Radialgleitlagers

müssen ebenso wie die halbkugelförmigen Vertiefungen in der Einlaufphase durch die Belastungen der Stahlwellen zunächst eingeebnet werden. Wie die Untersuchungen zeigten, werden bereits zu Beginn des Reibungsversuches Öltröpfchen freigesetzt, wodurch die durch die Vertiefungen entstehenden höheren Rauheiten überbrückt und Reibzahlschwankungen bzw. stick-slip-Effekte vermieden werden.

Zusammenfassung

Ölinkorporierte Duroplaste wurden in Reibungs- und Verschleißuntersuchungen auf ihre Einsetzbarkeit als Lagerwerkstoffe speziell für feinwerktechnische Geräte untersucht. Die innerhalb des Forschungsvorhabens an den Gleitpaarungen Stahl/inkorporiert geschmierter Duroplast durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß diese Werkstoffe unter Berücksichtigung der Eigenschaften der verwendeten Harze und Öle für feinwerktechnische Gleitelemente auch bei den in der Feinwerktechnik verschärften Betriebsbedingungen, nämlich hohe Belastungen bei kleinen Gleitgeschwindigkeiten und bei höheren Temperaturen $> 100 \text{ °C}$ eingesetzt werden können.

Dieses Forschungsvorhaben (AiF-FV-Nr.: 10939 N) wurde aus Haushaltsmitteln der Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert.

Der vollständige Abschlußbericht ist erhältlich über:

Kontaktperson:
Dipl.-Ing. Bernd Bader
Tel. ++49(711)121-3180

Miniaturtaster

T. Gmelin

Einleitung

Einseitig offene, nahezu hohlzylindrische Vertiefungen in Bauteilen oder Oberflächen sowie Durchgangslöcher werden häufig als konstruktive Elemente eingesetzt. Zahlreiche Anwendungsbeispiele lassen sich in der Feinst- und Miniaturtechnik finden, etwa Lagerstellen für Wellen in Platinen, Dosier- und Einspritzdüsen oder Bohrungen für Preßpassungen. Dabei ist eine genaue Kenntnis der Innenkontur solcher Elemente für deren Funktion äußerst wichtig, beispielsweise zur Ermittlung des Volumens bei Dosierdüsen oder der Formtoleranzen bei Preßsitzen.

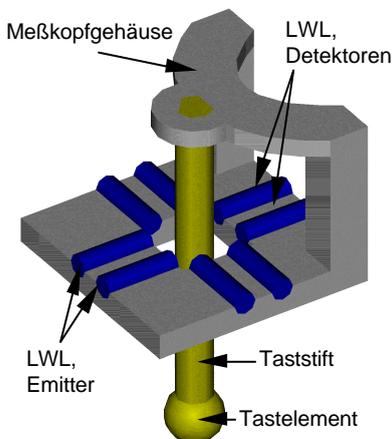


Bild 1: Aufbau des Miniaturtasters

Die Vermessung der Innenkontur, besonders von kleinen Sacklöchern mit Durchmessern um 0.2 mm, stellt eine hohe Anforderung an die Meßtechnik. Mit bekannten, tastenden oder berührungslos arbeitenden Systemen können diese aufgrund ihres geringen Durchmessers oder möglicher Hinterschneidungen nicht oder nur schwerlich vermessen werden. Dies war die Motivation zur Entwicklung eines Miniaturtasters, mit dem Konturen hohlzylindrischer Vertiefungen mit Durchmessern von 0.2 mm – 5 mm bei

einer Tiefe von bis zu 10 mm gemessen werden können. Neuartig an dem Meßprinzip ist ein messender Miniaturtaster, dessen Auslenkung über eine einfache optische Anordnung mit Lichtwellenleitern (LWL) ausgelesen wird (Bild 1,2).

Meßprinzip

Der Taststift besteht aus einem dünnen Draht mit einer aufgeschmolzenen Tastkugel und wird am Gehäuse des Tastsystems starr gelagert. Der Tastkopf enthält paarweise zueinander senkrecht angeordnete Lichtwellenleiter (LWL), deren Stirnflächen am Rand einer Aussparung liegen (Bild 4).

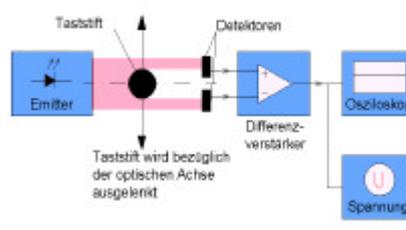


Bild 2: Meßprinzip

Der durch die Emitter angestrahlte Taststift dunkelt je zwei der Quelle gegenüberliegenden und symmetrisch angeordneten Detektorflächen partiell ab. Fotoelemente wandeln die auf die definierte Fläche der LWL treffende Lichtintensität in elektrische Signale um. Bei Berührung des Meßobjektes durch das Tastelement erfährt der Taststift je nach Kräfteintrittsvektor eine Biege-, Schub- oder Zugbeanspruchung und wird ausgelenkt. Dabei ändert sich das Verhältnis der detektierten Bestrahlungsstärke der einzelnen Fotoelemente, somit auch die Differenz des elektrischen Signals. Das Meßsignal läßt einen eindeutigen Schluß über die momentane Lage des Taststiftes in Höhe der LWL zu. Die Lage des Tastelementes selbst wird unter

Berücksichtigung der charakteristischen Materialdaten mit der Methode der elastischen Biegelinie berechnet.

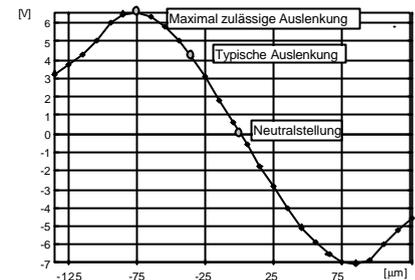


Bild 3: Meßsignalverlauf

Aufbau des Meßkopfes

Eine sehr hohe Maßhaltigkeit der Meßplatine wird durch die Fertigung der Platine aus Silizium erreicht, in welche acht, je paarweise parallel verlaufende, rautenförmige Kanäle geätzt wurden.

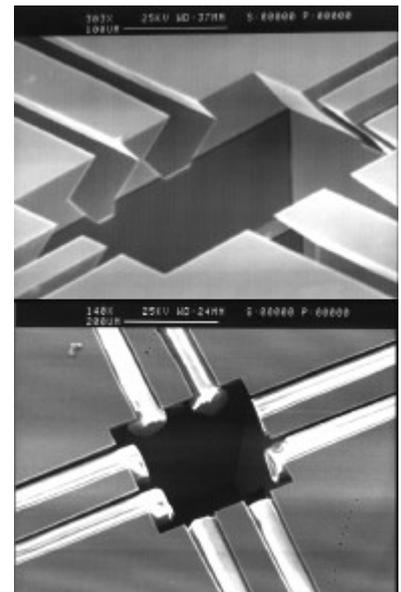


Bild 4: REM-Aufnahme einer unbestückten und bestückten Meßplatine mit weit eingeschobenen LWL.

Die Kanäle nehmen stirnflächig geschliffene und polierte LWL mit einem Durchmesser von 100 µm

auf. Die Strukturierung des Si-Wafers erfolgt mittels Laserver-schädigung. Dabei wird eine Passivierungsschicht (SiO_2) durch Einwirkung von Laserstrahlen geschädigt. Erst durch einen nachfolgenden anisotropen Ätzprozeß entstehen an den geschädigten Zonen die rautenförmigen Kanäle. Ein wirksamer Schutz gegen Umgebungseinflüsse wie beispielsweise Fremdlichteinstrahlung wird durch das Vergießen der optischen Einheit zu einem Keramikhybrid erreicht. Dabei werden alle optischen Bauelemente in einer speziellen Vakuumgußform montiert und anschließend mit Gießkeramik vergossen. Dieser Keramikhybrid wird zusammen mit entsprechenden Meßwertverstärkern durch ein kleines Aluminiumgehäuse aufgenommen. Der Taststift selbst (Bild 5) besteht aus einem Wolframdraht, auf den durch Laserbearbeitung eine Kugel als Tastelement aufgeschmolzen wurde. Er wird durch eine spezielle Aufnahme am Meßkopf befestigt und kann dadurch schnell ausgewechselt werden.



Bild 5: Taststift und Tastelement

Geräteaufbau

Die Meßobjekte werden mittels einer hochgenauen, dreiachsigen Mechanik relativ zum Tastelement bewegt. Um Schwingungsanregungen des Taststiftes durch Vibrationen beispielsweise der Antriebe

weitgehend zu vermeiden, wurde der Meßkopf starr am Gerätegestell montiert. Weiterhin ist das Gerät mittels eines durchsichtigen Gehäuses während der Messungen abgedeckt, damit der Taststift aufgrund der hohen Empfindlichkeit des Systems nicht durch Luftströmungen zum Schwingen angeregt wird.

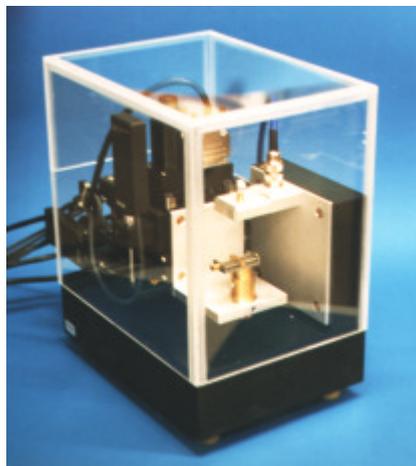


Bild 6: Aufbau des Demonstrators

Meßablauf

Bild 7 verdeutlicht den Meßablauf des Meßverfahrens. Das Meßobjekt wird in Meßebenen und Segmente unterteilt. Als Segmentkante wird der Schnittpunkt der Meßebene mit einer Segmentlinie verstanden.

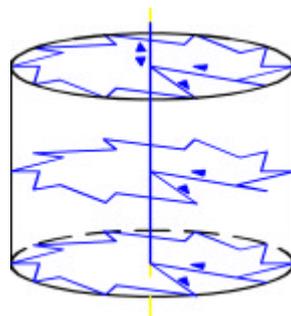


Bild 7: Zirkuläre Messung konstanter Meßebene

Der Taster wird zentrisch in das Meßobjekt abgesenkt, bis die Taster Spitze in der ersten Meßebene liegt.

Dann wird das Tastsystem radial der Objektachse an die Kontur positioniert, bis eine definierte Auslenkung des Taststiftes gemessen wird. Nach der Erfassung der Koordinate wird das Tastelement wieder von der Kontur abgehoben und radial an die nächste Segmentkante zugestellt. Wurden alle Segmentkanten einer Ebene vermessen, wird die Tastkugel auf die nächste Meßebene positioniert. Sowohl der Meßebenenabstand als auch die Anzahl der Segmente können in der Meßsoftware festgelegt werden. Bild 8 zeigt die Meßdaten eines Sackloches mit 0,2 mm Durchmesser.

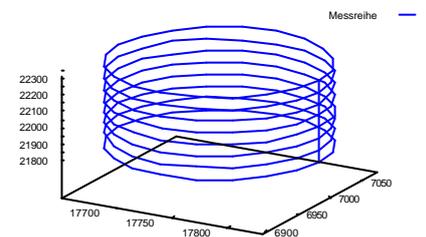


Bild 8: Messung eines Sackloches mit 0,2 mm Durchmesser, Einheiten in μm

Die ermittelte Genauigkeit des Systems beträgt $\pm 0,5\mu\text{m}$. Da die Positionierungsunsicherheit der Kinematik direkt in die Meßgenauigkeit eingeht, dürften mit einer hochpräzisen Kinematik Meßgenauigkeiten im Bereich von $0,1\mu\text{m}$ möglich sein.

Das Forschungsvorhaben FV-Nr. 10938 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.-Ing. Thomas Gmelin
Tel. ++49(711)121-3715

Untersuchungen der tribologischen Eigenschaften von bewegten miniaturisierten elastomeren Dichtelementen

W. Scheerer

Im Zuge der Miniaturisierung verschiedenster Bauteile ist auch die Notwendigkeit groß, die Handhabungs- und Automatisierungstechnik in der Fertigung von feinwerktechnischen Produkten entsprechend anzupassen. Diese Anforderungen sind sehr stark in der Elektronik und Feinwerktechnik gefragt. In diesen Bereichen sind die pneumatischen Arbeitszylinder für Montageabläufe mit linearer Bewegung weit verbreitet. Jedoch können Pneumatikzylinder mit einem Innendurchmesser von weniger als 4 mm zur Zeit nur in dem einfachwirkenden Arbeitsprinzip hergestellt werden, d. h. der Arbeitstempel muß in seiner Ausfahrbewegung zusätzlich Arbeit gegen eine Federkraft aufbringen, welche den Stempel bei Druckabfall in der Luftkammer wieder in seine ursprüngliche Position zurück bewegt. Dieser weitere Kraftaufwand reduziert den Wirkungsgrad des Pneumatikzylinders erheblich. Hinsichtlich der Übertragbarkeit tribologischer Eigenschaften von Standardbauteilen zu kleineren Dimensionen ist wenig bekannt. Es ist anzunehmen, daß die Gesetze der Ähnlichkeit für diese kleinen Dimensionen nicht mehr zutreffen. Um das Reibungsverhalten von bewegten miniaturisierten elastomeren Dichtelementen grundlegend verbessern zu können, ist es notwendig die Materialpaarung Dichtung/Zylinder in einem Modellprüfstand untersuchen zu können.

Wirkfläche

Die Pressung als tribologischer Belastungsparameter muß bei den Untersuchungen bekannt und einstellbar sein. Um die Pressung bei den verschiedenen Werkstoffen und Schnurdicken einstellen zu können, mußte in einem ersten Schritt die

Wirkfläche der jeweiligen O-Ringabschnitte in Abhängigkeit der Auflagekraft und des Werkstoffes optisch bestimmt werden. Mit Hilfe dieser Untersuchungsergebnisse konnte für die weiterführenden Versuche die Pressung auf den gewünschten Wert eingestellt werden.

Prüfprinzip

Eine Platte als stationärer Prüfkörper wird mit einer definierten Normalkraft (F_N) gegen die ebene Fläche eines reversierend bewegten Dichtelements gedrückt. Die zwischen den Prüfkörpern auftretende Reibungskraft biegt zwei parallel ausgerichtete Blattfedern, die an dem Platteneinspannkopf befestigt sind, durch. Diese Durchbiegung wird berührungslos mit zwei induktiven Wegaufnehmern erfaßt und registriert. Der Probenhalter wird mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/s bewegt.

Folgende Gründe sind für die Wahl dieses Prüfsystems ausschlaggebend:

- Die Prüfkörper – O-Ring und ebene Platte – sind schnell verfügbar.
- Bedingt durch die Konstruktion

des Prüfgerätes lassen sich schnell und definiert unterschiedliche Pressungsstufen unabhängig von weiteren Versuchsparametern einstellen.

- Der dauernde Richtungswechsel bei reversierender Gleitbewegung bewirkt eine relativ hohe Beanspruchung der Prüfkörper, da eine hohe Deformation und Umorientierung der einzelnen Volumenelemente in der O-Ringoberfläche stattfindet.

Sowohl O-Ringe als auch Metallplatten wurden aus Werkstoffen gewählt, die in der Praxis eingesetzt werden. Für die NBR-Werkstoffgruppe wurde eine Pressungsstufe von 1,0 N/mm² angelegt. Für Probenkörper aus PUR wurde wegen der größeren Härte mit 3,0 N/mm² gearbeitet. Die Paarungen mit den elastomeren Gleitkörpern zeigen unter dem vorliegenden Belastungskollektiv, sowohl für die technisch trockenen als auch für die geschmierten Paarungen, ein sehr unterschiedliches Reibungs- und Verschleißverhalten. In Bild 1 ist die Reibungszahl dargestellt sowie die Querschnittsflächen der Verschleiß-

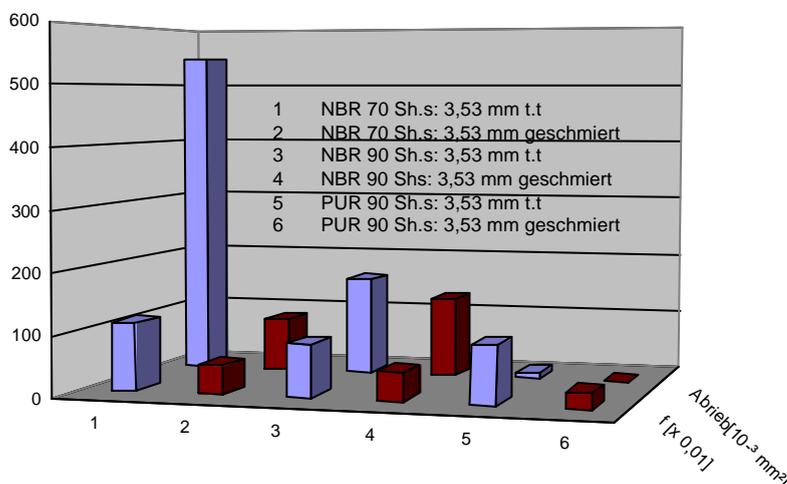


Bild 1: Reibungs- und Verschleißwerte nach einer Versuchsdauer von 8 Stunden in Abhängigkeit der Schmierungsart

spur als Maß für den Abrieb. Bei den technisch trockenen Paarungen weisen verschiedene Paarungen in ihrem Reibungsverhalten nur geringe Unterschiede auf. Betrachtet man das Verschleißverhalten nach einer Beanspruchungsdauer von 8 Stunden nehmen die mittleren Verschleißflächen der Prüfkörper aus PUR die geringsten Werte an, obwohl für diese Paarungen die Pressung erhöht wurde.

Vergleicht man die Ergebnisse der Reibungs- und Verschleißuntersuchungen der verschiedenen technisch trockenen Paarungen mit den mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe, so weisen Dichtelemente mit relativ hohen Werten der elastischen und plastischen Parameter ein günstigeres Verschleißverhalten auf. Bei geschmierten Gleitpaarungen muß unter anderem die Verträglichkeit mit dem Schmiermedium gewährleistet sein, um nicht durch synergetische Wechselwirkungen das Verschleißverhalten negativ zu beeinflussen. Für die relativ weichen elastomeren Dichtelemente (NBR 70 Shore) erhöhen sich die Reibungszahlen der geschmierten Paarungen im Vergleich zu den dickeren Dicht-

elementen unter dem untersuchten Belastungskollektiv (Bild 2). Dieses Verhalten kann auf hydrodynamische Effekte zurückgeführt werden, die keine optimale Ausbildung des Schmierfilms zulassen. Für die

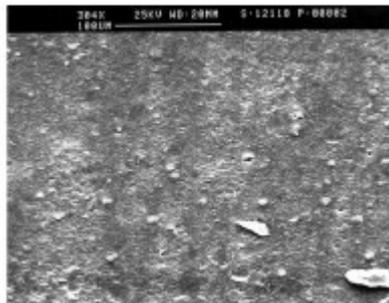


Bild 3: Reibspur von NBR 70 Sh., Pressung 1,0 N/mm², Versuchsdauer 8 h, technisch trocken

Dichtelemente PUR 90 Shore wird dieses Verhalten nur in einem geringen Maße beobachtet. Der Einfluß der Pressung auf das Verschleißverhalten der technisch trockenen Paarungen kann bei den REM-Aufnahmen erkannt werden (Bild 3 und 4). In der Reibspur von NBR 70 Shore lassen sich nur sehr wenige Partikel nach einer Beanspruchung mit geringer Pressung erkennen, welche aus ihrer elastomeren Werkstoffmatrix gerieben wurden. Die Verschleißfläche zeigt

durch die geringere Rauheit eher Spuren eines adhäsiven Verschleißes. Im Gegensatz dazu erkennt man in der Reibspur des Probekörpers, welcher einer höheren Pressung unterlag, eine deutliche An-

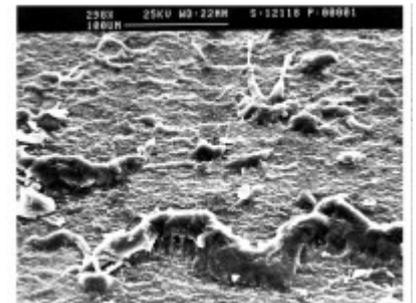


Bild 4: Reibspur von NBR 70 Sh., Pressung 1,6 N/mm², Versuchsdauer von 8 h, technisch trocken

sammlung von elastomeren Partikeln, die nur noch zum Teil mit der elastomeren Matrix verbunden sind. Aufgrund dieses Aussehens der Reibspuroberfläche kann davon ausgegangen werden, daß weitere tribochemische Reaktionen während der tribologischen Beanspruchung abgelaufen sind.

Insgesamt ermöglichen es die erzielten Ergebnisse eine Bewertungsmatrix zu erstellen, welche das unterschiedliche Verhalten der untersuchten elastomeren Dichtelemente widerspiegelt.

Das Forschungsvorhaben (AiF-Nr. 10942) wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF) gefördert. Wir danken der AiF für die Bewilligung der Mittel. Der vollständige Abschlußbericht ist erhältlich über:

Kontaktperson:
Dipl.-Phys. Werner Scheerer
Tel. ++49(711)121-3179

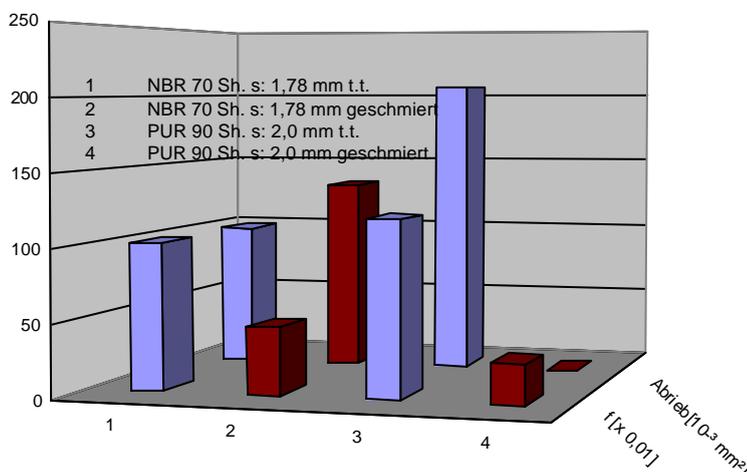


Bild 2: Reibungs- und Verschleißwerte nach einer Versuchsdauer von 8 Stunden in Abhängigkeit der Schmierungsart und Schnurdickengeometrie

Herstellungstechnologien für Stimmgabelresonatoren aus Silizium

M. Giousouf

Im unteren Frequenzbereich werden Stimmgabelresonatoren zur Frequenzkontrolle und Frequenzstabilisierung in elektronischen Systemen verwendet. Im allgemeinen werden Stimmgabelresonatoren unter Ausnutzung des piezoelektrischen Effektes aus Quarz hergestellt. Quarzresonatoren haben hohe Gütefaktoren von einigen 10^5 , wobei ihre Temperaturstabilität sie als präzise Zeitnormale prädestiniert.

Ein Nachteil von Quarz ist, daß keine aktiven elektronischen Bauelemente für die Signalverarbeitung integriert werden können. In den letzten Jahren hat das Interesse an der Zusammenführung von elektronischen und mechanischen Bauelementen auf einem Siliziumsubstrat zugenommen. Die Mikrosystemtechnik demonstriert mit großem Erfolg die neuartigen Möglichkeiten, insbesondere bei Inertial- und Drucksensoren. Daher wird am IZFM untersucht, ob Stimmgabelresonatoren aus Silizium hergestellt werden können, insbesondere mit einer Technologie, die das naßchemische anisotrope Ätzen von Silizium ausnutzt.

Naßchemische Herstellung

Eine Stimmgabelform kann in einen Siliziumwafer integriert werden, wenn ein (110)-orientierter Siliziumwafer naßchemisch anisotrop geätzt wird, da sich hierbei Balkenprofile mit rechteckigen Querschnittsflächen erzeugen lassen. Allerdings stellt bei der naßchemischen Strukturierungstechnik die Herstellung von konvexen Ecken bei Verwendung von (110)-Silizium ein Problem dar. Beim (100)-Silizium können mit Hilfe von Vorhaltestrukturen in der Maskentechnik die konvexen Ecken ausgebildet

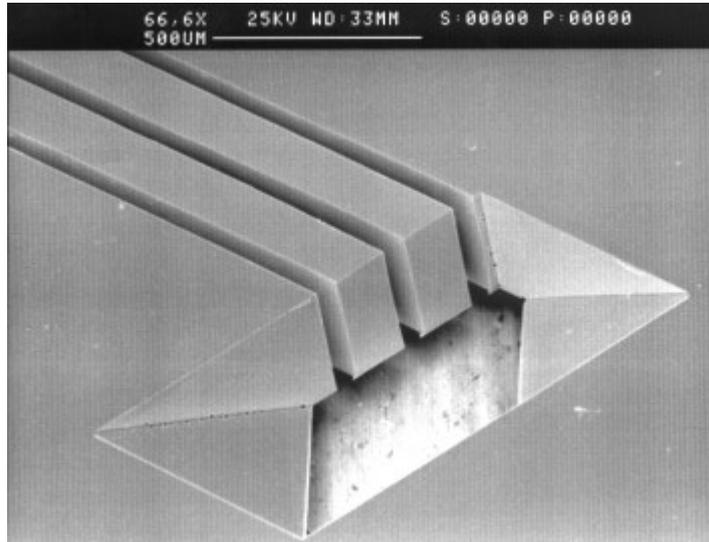


Bild 1: Konvexe Ecken der Stimmgabelenden ohne Unterätzung

werden. Beim (110)-Silizium können zwar auch Vorhaltestrukturen verwendet werden, jedoch sind die Ergebnisse hierbei nicht zufriedenstellend, da die Ecken beim Ätzen auf Zeit zu unkontrolliert abgetragen werden. Insbesondere zur Herstellung von mikromechanischen Resonatoren, bei denen sich die Resonanzfrequenz aus der Geometrie ergibt, ist die exakte Einhaltung der Abmessungen notwendig.

Es wird hier ein Verfahren vorgestellt, das die sichere Strukturierung von konvexen Ecken in (110)-orientierten Siliziumwafern erlaubt (Bild 1). Ebenso lassen sich konvexe Ecken bei Verwendung von (100)-Silizium nach diesem Verfahren herstellen.

Zur Strukturierung der Basisstruktur des Stimmgabelresonators wird zuerst das Gebiet vor den Zinkenenden durch anisotropes Naßätzen entfernt. Die senkrechten Seitenwände der Öffnung werden dabei zur Definition der Frontflächen der Zinkenenden verwendet. Um beim anschließenden naßchemischen

Strukturieren der Zinkenseitenflächen die Unterätzung an den Ecken zu vermeiden, wird der mit Öffnungen versehene Wafer oxidiert. Die Oxidschicht auf den Seitenwänden der Öffnung bietet bei den nächsten naßchemischen Strukturierungsschritten Schutz gegen den Ätzangriff. Aufgrund der kristallografischen Orientierung des (110)-Siliziums weist die Stimmgabelstruktur jedoch eine Unsymmetrie auf, die sich auch auf das dynamische Schwingungsverhalten auswirkt.

Elektrodenstrukturierung

Die resonante Anregung in Form einer Biegeschwingung der Stimmgabelbalken wird auf elektrostatischem Wege realisiert. Hierfür befinden sich Chrom-Gold-Metallisierungen auf den Balkenseitenwänden, die mit den Bondpads kontaktiert sind (Bild 2). Die Elektroden und deren Zuleitungen werden hierbei durch die Sputtertechnik auf dem Chip erzeugt. Dabei wird mit Hilfe einer Schattenmaske die Elektrodengeometrie definiert.

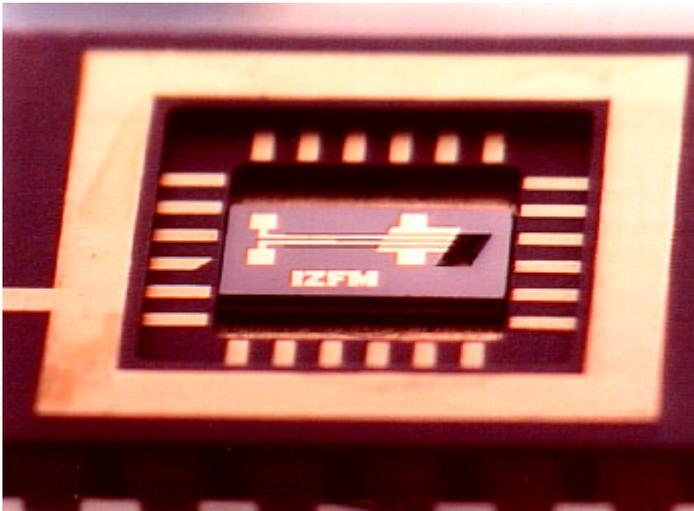


Bild 2: Siliziumchip mit integriertem Stimmgabelschwinger

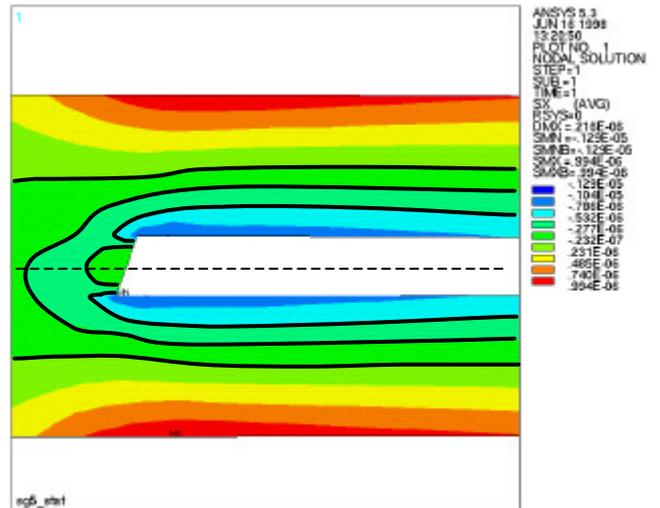


Bild 3: Statische FEM-Analyse des Fuß-Zinken-Bereiches

Bei einem Elektroden- bzw. Balkenabstand von $50\ \mu\text{m}$ sind Antriebsspannungen von ca. $5\ \text{V}$ zur Messung der Resonanzschwingung notwendig. Bei geringeren Elektrodenabständen besteht die Gefahr, daß die Seitenwände nicht ausreichend metallisiert werden können.

Dynamisches Verhalten

Mit Hilfe eines Laser-Vibrometers kann das dynamische Verhalten des Resonators untersucht werden. Dazu wird ein Teil des Chips und des IC-Gehäuses so entfernt, daß der Laserstrahl die metallisierte Seitenfläche eines Zinkens erfassen kann. Während der Messungen befindet sich der Resonator in einem Vakuumrezipienten, damit Luftdämpfungseffekte ausgeschlossen werden können.

Die Resonanzfrequenzen der untersuchten Siliziumschwinger liegen bei $32,5\ \text{kHz}$ und $53,6\ \text{kHz}$. Infolge des unsymmetrischen Schwingerdesigns hat die Schwingungsgüte einen Wert von etwa 10^3 . Bild 3 zeigt eine statische FEM-Analyse des Fuß-Zinken-Bereiches. Dabei ist die unsymmetrische Verteilung

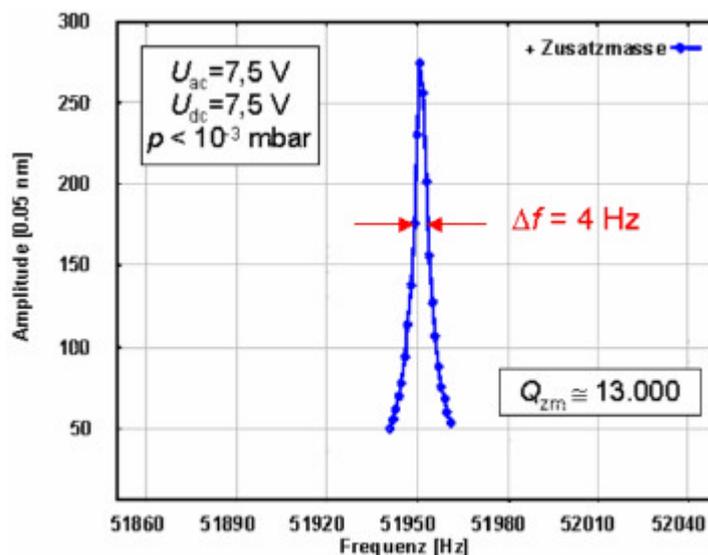


Bild 4: Frequenzgang des Siliziumschwingers mit Zusatzmasse.

der mechanischen Spannungen bezüglich der horizontal verlaufenden Symmetrielinie deutlich zu erkennen. Durch diese Unsymmetrie üben die Zinken während ihrer Schwingung verschieden große Biegemomente auf den Stimmgabelfuß aus, was zu zusätzlichen Schwingungen des Fußes und damit zu einer erhöhten Energiedissipation des gesamten Resonators führt.

Durch Zugabe einer Zusatzmasse von ca. $5\ \mu\text{g}$ auf den kürzeren Zinken, konnte eine "Symmetrierung" des Resonators erzielt werden, was zur Erhöhung der Güte auf mehr als 10^4 führte (Bild 4).

Kontaktperson:
Dipl.-Phys. Metin Giousouf
Tel. ++49(711)121-3723

Federprüfgerät (Auftragsforschung)

T. Laufer

Motivation

Federn und Kontaktfedern gehören zu den wesentlichen qualitätsbestimmenden Bauteilen von Schaltern und Miniaturschaltern. Beispielsweise besteht die Schalterserie, für die die Auftragsarbeiten in diesem Beitrag durchgeführt werden, aus einem zweiteiligen Kunststoffgehäuse, einer speziell hierfür entwickelten Cu-Be-Feder und einer Schraubendruckfeder (Bild 1). Das Zusammenspiel von bewegtem Gehäuseteil und Cu-Be-Feder sorgt beim Schaltvorgang für einen ausgeprägten Schaltdruckpunkt. Die Schraubendruckfeder bringt beim Loslassen des Schalters das bewegte Gehäuseteil in seine Ausgangslage zurück. Der Schaltdruckpunkt des Schalters muß innerhalb vorgegebener Toleranzen liegen, was durch Aufnahmen der Kraft-Weg-Kennlinie geprüft wird.

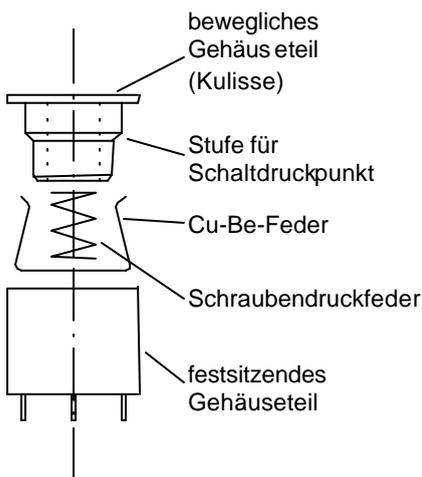


Bild 1: Prinzipskizze des Schalters

Aufgabenstellung

Im Auftrag der Firma Marquardt GmbH soll eine Meßeinrichtung entwickelt werden, die die Kraft-Weg-Kennlinie der im Schalter be-

findlichen Cu-Be-Feder aufnimmt und eventuelle Abweichungen bezüglich gegebener Sollwerte auf die Federabweichungen zurückführt. Mögliche Fehlerursachen sind Abweichungen in der Geometrie sowie in der Federsteifigkeit (E-Modul). Bei einfacher Geometrie von Cu-Be-Feder und Prüfkörper kann darüber hinaus die gemessene Kennlinie mathematisch verifiziert werden.

Entwicklung

Als Prüfkörper für die Feder wird ein verschleißfester Zylinder aus gehärtetem Stahl gewählt (Bild 2).

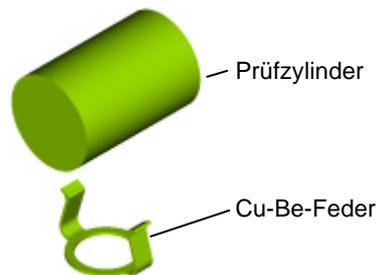


Bild 2: Prüfzylinder und Cu-Be-Feder

Beim Prüfvorgang gleiten die Federarme entlang des Prüfzylinders und werden so gemäß der Zylinder-

krümmung nach außen gedrückt. Dadurch, daß die im Schalter verwendete Kulisse bei dieser Prüfeinrichtung durch einen Zylinder ersetzt ist, wird die Feder beim isolierten Prüfen gleichmäßig beansprucht. Darüber hinaus kann die Kraft-Weg-Kennlinie relativ einfach analytisch beschrieben werden (Bild 3 und 4).

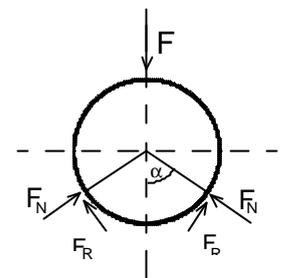


Bild 3: Kräfte

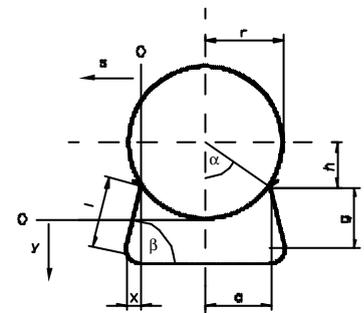


Bild 4: Geometrie

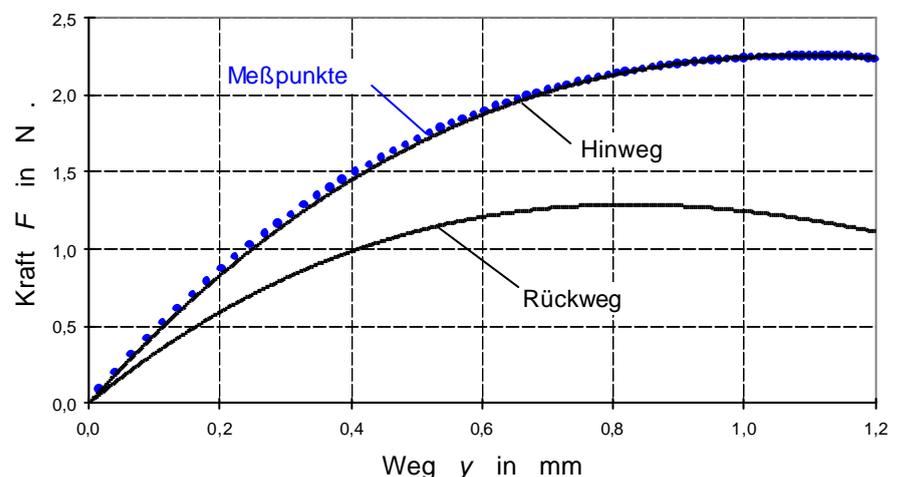


Bild 5: Gemessene und angepaßte Kraft-Weg-Kennlinie

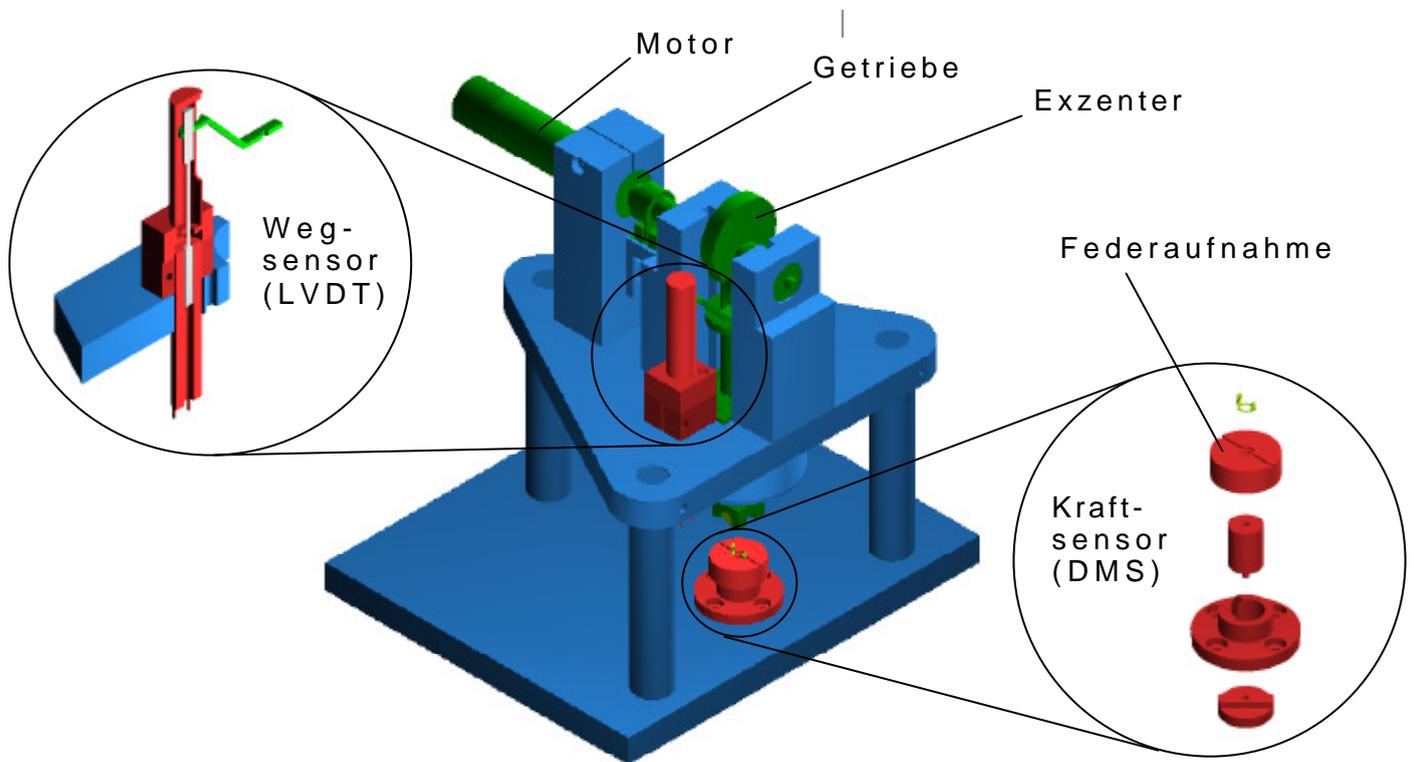


Bild 6: Federprüfgerät (ohne PC und Meßverstärker)

Durch den Vergleich von errechneter und gemessener Kennlinie können der Reibkoeffizient μ und die Federkonstante c genau bestimmt werden. Bild 5 zeigt die gemessene und die angepasste Kraft-Weg-Kennlinie. Hierbei ist der Teil des Weges, bei dem der Prüfkörper die Federarme nach außen drückt, als Hinweg bezeichnet. Die Hysterese liegt in der Reibung zwischen Feder und Prüfzylinder begründet. Zur Beurteilung der Feder reicht es aus, den Hinweg zu messen und auszuwerten. Bild 6 zeigt das Federprüfgerät. Der über einen Motor angetriebene Exzenter bewegt den Stößel gegen eine Schraubendruckfeder nach unten. An seinem unteren Ende ist der oben beschriebene Prüfkörper angebracht. Durch das Wechseln der Federaufnahme und des Prüfkörpers (zusammen mit der Prüfkörperaufnahme) läßt sich das Prüfgerät auf

Federn anderer Schalter umrüsten. Dieser modulare Aufbau erlaubt ein einfaches Anpassen der Meßeinrichtung auf andere Federtypen.

Ergebnis

Mit dieser Prüfeinrichtung ist es möglich, die Cu-Be-Feder, wie eben beschrieben, zu prüfen, ihre Kraft-Weg-Kennlinie mittels eines Kraft- und eines Wegsensors aufzunehmen und mit Hilfe eines Meßverstärkers, eines PCs und einer geeigneten Auswertesoftware grafisch darzustellen. Die zusätzliche Darstellung der Sollkennlinie bzw. des Sollbereichs erlauben eine schnelle und eindeutige Beurteilung der gemessenen Feder. Eindeutige Zusammenhänge zwischen Kennlinienabweichungen und Fehler der geprüften Feder werden vom Auswerteprogramm erkannt. Zum Beispiel äußern sich zu weit bzw. zu

wenig geöffnete Federarme in einem zu kurzen bzw. zu langen Federweg. Bestimmte Daten, wie z.B. das Kraftmaximum oder der Prüfweg, werden in einem sich nach jeder Messung aktualisierenden Histogramm dargestellt.

Einsatz

Die Prüfeinrichtung wird sowohl für Stichproben als auch zum Aufnehmen längerer Meßreihen in der Qualitätsüberwachung eingesetzt. Die mit Hilfe dieser Meßreihen ermittelte Streuung der Federparameter kann dann mit der Streuung bei der Prüfung des kompletten Schalters verglichen werden.

Kontaktperson:
Dipl.-Ing. Timo Laufer
Tel. ++49(711)121-3729

Expertensystem für vollautomatische, rechnergesteuerte Untersuchungen und Tests in der Entwicklungs- und Prototypenphase zukünftiger Funkuhren

M. Schubert

An die Funktions- und Störsicherheit von Funkuhren werden immer größere Anforderungen gestellt. Infolge des höheren Bedienungskomforts gestalten sich Funktionstests der dadurch bedingten komplexen Software als technisch schwierig und aufwendig.

Das Expertensystem, bestehend aus einem PC, einer Einsteckkarte sowie der dazugehörigen Software, schafft die Voraussetzungen, zukünftige Funkuhren mit größerer Fehlerfreiheit und höherer Funktionsicherheit entwickeln und herstellen zu können. Es ist in der Lage, durch gleichzeitige Steuerung und Messung von Signalen, aufwendige sowie bisher nicht durchführbare Tests und Untersuchungen von Funktionsabläufen bei Hard- und Software selbständig durchzuführen. Damit werden Fehler und Probleme bereits während der Entwicklungsphase beim Funkuhrhersteller erkannt und können schnell und gezielt behoben werden.

Einleitung

Funkgesteuerte Uhren werden immer mehr in gestörter Umgebung eingesetzt. Dies wirkt sich durch die Verschlechterung der Empfangsverhältnisse auf den Empfangsteil der Uhren aus. Dadurch treten unter anderem vermehrt EMV-Probleme auf, die bereits in der Entwicklungsphase von Funkuhren erkannt und beseitigt werden müssen. Dazu ist es notwendig, eingehende Testphasen von Hard- und Software während der Entwicklungszeit oder an Prototypen durchzuführen, um möglichst alle auftretenden Fehler festzustellen. Zudem bieten Funkuhren häufig viele Zusatzfunktionen und einen Bedienungskomfort, der eine sehr komplexe Software erfordert. Ein Gesamttest des Pro-

gramms unter weitgehender Abdeckung aller vorkommenden Ereignisse ist deshalb mit bisherigen Verfahren nahezu unmöglich. Softwarefehler zum Beispiel, welche erst nach dem Test von Mustern erkannt werden, führen bei maskenprogrammierten Controllern zu einem erheblichen Zeitverzug, denn die Korrektur erfordert die Herstellung einer neuen Maske und neuer Controllerbausteine.

Stand der Technik

Die heutige Entwicklung von Funkuhren basiert darauf, daß die zum Bau einer Funkuhr benötigten Baugruppen zusammengefügt werden und die Software mit einem Entwicklungssystem, welches die komplette Funkuhr mit all ihren Funktionen steuert, darauf implementiert wird. Das Pflichtenheft bestimmt die Software-Entwicklung auf und mit dem Emulator, wobei vollständige Programmteile bereits in dieser Phase getestet werden.

Zusätzlich zu den meisten Entwicklungssystemen existieren dazugehörige Stand-Alone-Systeme, die mit einem programmierten EPROM bestückt werden. Sie dienen dazu, nach Fertigstellung der Software eingehende Funktionstests am Komplettsystem durchzuführen, um evtl. auftretende Fehler zu korrigieren. Viele dieser Tests, die bis zur Gewährleistung der einwandfreien Funktionsfähigkeit zu leisten sind, können meist mit dem Entwicklungs- oder Stand-Alone-System in vergleichsweise kurzer Zeit gemacht werden.

Andere Untersuchungen benötigen jedoch einen wesentlich höheren Zeitaufwand. Die Messung der Empfindlichkeit und des Störabstandes erfordern einen Geräteauf-

wand und für genaue Aussagen eine EMV-Kammer, und diese Ausrüstung besitzen die meisten industriellen Betriebe, die Funkuhren produzieren, aus Kostengründen nicht. Dies bedeutet aber, daß sie nicht alle notwendigen Untersuchungen selbst durchführen können. Weiterhin gestalten sich alle Tests, die in irgendeiner Form mit der Zeitfortschaltung der internen Uhr zu besonderen Zeitpunkten als sehr zeitaufwendig. Für jeden einzelnen dieser Tests muß zuerst ein DCF77-Simulator programmiert, die Uhr neu gestartet und der erfolgreiche Empfang abgewartet werden. Danach ist das Ergebnis sichtbar. Weitere Probleme entstehen beim Zusammentreffen verschiedener Ereignisse, etwa laufende Zeiger während des Empfangs oder der Umstellung von Sommer- auf Winterzeit.

Aufgrund der Komplexität heutiger Funkuhrprogramme lassen sich Fehler und ihre Korrekturen kaum vermeiden. Diese Korrekturen oder auch Optimierungen der Software bei zu knapp bemessenem Speicherplatz (RAM und ROM) und nachträgliche Erweiterungen führen aufgrund der Programmänderungen zu möglichen Fehlerquellen. Danach ist es unumgänglich die geänderten Teile erneut zu testen, oft sogar wieder den gesamten Funktionsablauf. Diese Prozedur wiederholt sich mehrmals und es entsteht ein erheblicher Testaufwand.

Zielsetzung

Das Ziel des Vorhabens war die Entwicklung und der Aufbau eines computergesteuerten Systems für vollautomatische Tests und Untersuchungen an Funkuhr-Systemen während ihrer Entwicklungsphase und an den anschließend realisier-

ten Prototypen. Dieses System besteht aus einem handelsüblichen PC, einer Einsteckkarte mit Anschlußmöglichkeiten für die Signale von Funkuhren sowie der dazugehörigen Software zur Durchführung sämtlicher Tests (Bild 1).

Die Einsteckkarte für den PC wurde so konzipiert, daß alle für Funkuhren notwendigen Signale verarbeitet werden können. Die Software wurde mit Visual Basic und Visual C++ für Windows NT entwickelt. Aufgrund der Vielzahl von Funktionen, welche heutige Funkuhren inzwischen bieten, wird die Bedienung immer komplizierter, aber das Expertensystem ist nach Eingabe der Bedienungsanleitung einer angeschlossenen Funkuhr in der Lage, sämtliche vorgesehenen sowie nicht

vorgesehenen Benutzereingaben zu simulieren und Fehler im internen Ablauf einer Funkuhr zu finden und zu analysieren. Viele der bisher aufwendig durchzuführenden Untersuchungen werden hiermit automatisch und völlig selbständig bearbeitet. Mit dem Zusammenspiel aller Teile dieses Expertensystems sind die Betriebe in der Lage, ihre Funkuhr-Entwicklung nach Eingabe aller Parameter automatisch oder benutzerdefiniert selbst zu testen.

Realisierung des Systems

Zunächst wurden die Daten aller bekannten Funkuhren und deren Aufbau gesammelt und ausgewertet, um daraus die Zahl und die Art der Anschlüsse für die Hardware zu ermitteln. Nach dieser Festlegung

wurde die Hardware entworfen und die Einsteckkarte entwickelt und aufgebaut. In der Planungsphase der Software wurde ein handelsüblicher PC im Hinblick auf Speicherausbaue, Prozessor und Taktfrequenz ausgewählt. Dabei war zu berücksichtigen, daß die meisten der zu implementierenden Funktionen in Echtzeit ablaufen müssen. Hierzu gehörten außerdem Schnittstellendefinitionen für das einwandfreie Zusammenspiel von Hard- und Software.

Bei Erstellung der Software wurden zuerst die hardwarenahen Teile entwickelt, die zur Kommunikation der Software mit der Hardware notwendig waren. Es folgten die Programmteile zur Steuerung und Messung der Signale von Funkuhren, wobei den Messungen ein erheblich größerer Umfang zukam. Je nach Dauer und Umfang der Messungen werden die dabei ermittelten Daten auf der Festplatte des PC zur späteren Weiterverarbeitung gespeichert.

Anschließend folgte die Programmierung der Oberfläche, mit deren Hilfe ein Benutzer alle die für die Funktionsweise einer zu entwickelnden Funkuhr benötigten Informationen für die automatischen Tests angeben kann. Dazu gehört z.B. die Dauer der Motorimpulse in ms, die Dauer der Pause zwischen zwei Impulsen im Schnellgang usw. Falls die Uhr eine Zeigerdetektion besitzt, ist der Ablauf dieser Detektion mit Daten über die Impulsdauer an der LED oder dem Fototransistor wichtig, ebenso wie die unteren und oberen Grenzen der Hell- und Dunkelphasen, welche durch die Zahnräder verursacht werden. Weiterhin beeinflussen die Daten der Spezifikation des Empfängers den Testablauf und bei Drückern sind An-

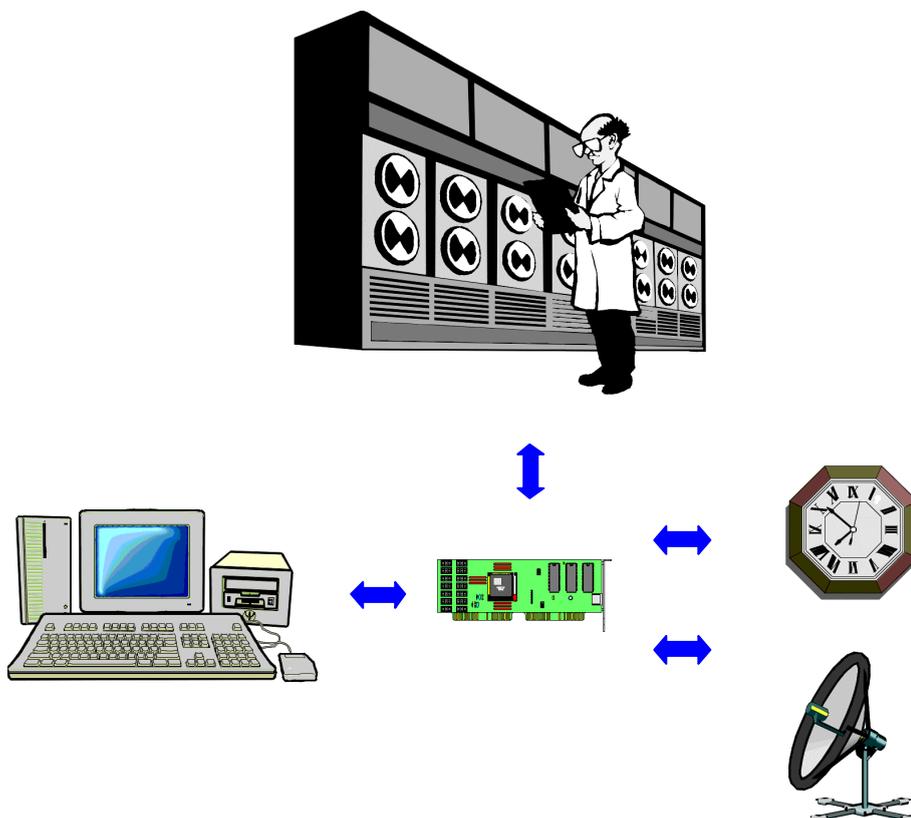


Bild 1: Expertensystem und Entwicklungssystem

gaben zur Betätigungsdauer entscheidend.

Aus der graphischen Darstellung eines kompletten Funkuhr-Modells können die Verbindungen einzeln als Mess- oder Steuersignal festgelegt werden. So wird ein Modell der zu entwickelnden oder bereits entwickelten Funkuhr mit allen Angaben über die Baugruppen definiert. Für spezielle Untersuchungen können auch einzelne Teile als zu testendes Modell definiert werden (Bild 2). Zu den Arbeiten gehörten ferner Festlegungen, welche Untersuchungen und Simulationen automatisch, also ohne Benutzereingriff ablaufen sollen, und bei welchen Tests Eingaben eines Benutzers bzw. seine Anwesenheit erforderlich ist, um beispielsweise die Funktionsweise eines speziellen Ablaufes zu beobachten.

Der letzte Teil der Software umfaßt die Bereitstellung der Eingabemöglichkeit der Bedienungsanleitung des Funkuhr-Systems. Anhand dieser Eingaben des Benutzers wird eine angeschlossene Funkuhr in all ihren Funktionen getestet. Hierbei ist es wichtig, daß vor allem seltene Ereignisse simuliert werden wie z.B. die Zeitonenverstellung während eines nächtlichen Synchronisationsversuches. Sämtliche verfügbaren und möglichen Ereignisse und Funktionen, die die Uhr besitzt, laufen ab, werden erfaßt und die Ergebnisse ausgewertet. Aus diesen und anderen entstandenen Daten wird eine Statistik und ein Protokoll erstellt, welches Auskunft über die Funktionsweise und Fehler bzgl. Hard- und Software der Uhr gibt.

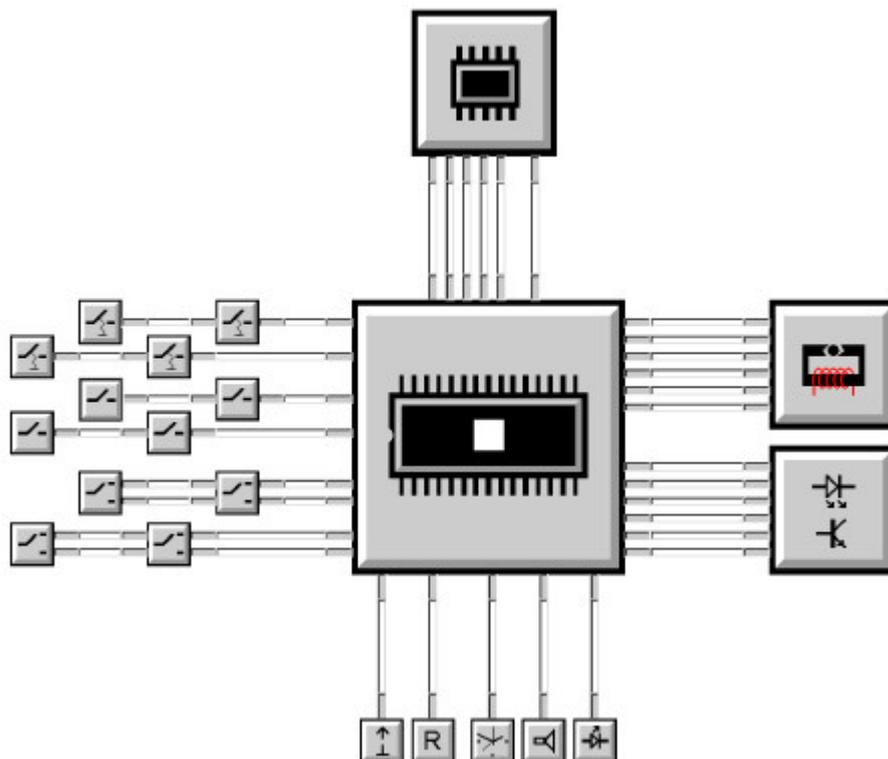


Bild 2: Beispielmodell eines Funkuhr-Systems

Wirtschaftliche Bedeutung

Im Hinblick auf die Programmierung von Mikroprozessoren für Funkuhren und des Umfangs durchzuführender Gesamttests bzgl. der Funktionsfähigkeit von Hard- und Software wird es aufgrund des in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Expertensystems möglich sein, Funkuhren mit hoher Funktionssicherheit und gleichzeitiger Kostenersparnis an Aufwand für Tests und Untersuchungen zu entwickeln.

Dieses Forschungsvorhaben (AiF-FV-Nr.: 10940 N) wurde aus Haushaltsmitteln der 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

Veröffentlichungen

U. Allgeier, R. Mohr,
"Miniaturmotoren in der Uhren- und
Miniaturltechnik",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe, pp. 91-94

U. Allgeier,
"Optoelektronische Zeigerdetektion
für Armbanduhren",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 57-64

B. Bader,
"Keramikmodifizierte PTFE-
Compounds als Werkstoffe für Radialgleitlagerungen bei hohen Belastungen",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 77-84

B. Bader,
"Reibungs- und Verschleißuntersuchungen von ölnkorporierten Duroplasten für feinwerktechnische Gleitelemente",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe, pp. 157-160

F. Dürr,
"Tribologische Erprobung einer
neuentwickelten inkorporierten
Schmierung eines copolymeren,
leichtfließenden Polyoximethylens
(POMcp)",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 85-108

D. Eichner, M. Giousouf, W. v.
Münch,
"Measurements on Micromachined
Silicon Accelerometers with Piezo-
electric Sensor Action",
Proc. of Eurosensors XII, 13-16.
Sept. 98, Southampton, England,
pp. 365-368

M. Giousouf,
"Moderne Anwendungen des Quarzes",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 25-46

M. Giousouf, F. Assmus,
"Structuring of Convex Corners
using a Reoxidation Process - Ap-
plication to a Tuning Fork Resonator
made from (110)-Silicon",
Proc. of Eurosensors XII, 13-16.
Sept. 98, Southampton, England,
pp. 381-384

M. Giousouf,
"Stimmgabelresonator aus Silizium",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe, pp. 131-135

M. Giousouf,
"Strukturierung von konvexen
Ecken bei Verwendung von
(110)-Silizium",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 47-56

R. Mohr,
"Simulationstechnik und Feldbe-
rechnung: Wichtige Werkzeuge für
die Miniaturltechnik. Der Wandel von
der Prototypenherstellung zur Si-
mulation des vollständigen Sy-
stems.",
Workshop 98, Fa. SIMEC, 25.-26.
Juni 98, Chemnitz, pp. 147-153

R. Mohr,
"Systemtheoretische Aspekte der
Miniaturltechnik",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 13-23

W. Scheerer, F. Dürr,
"Tribologie vom Gleitlacken"
Metalloberfläche, 8/98, 52. Jahr-
gang, pp. 640-645

W. Scheerer,
"Optimierung des tribologischen
Verhaltens von gleitlackbeschich-
teten Bauteilen",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 65-75

W. Scheerer, H. Kück,
"Untersuchungen der tribologischen
Eigenschaften von bewegten ela-
stomeren Dichtelementen",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe, pp. 165-168

M. Schubert,
"Expertensystem für vollautomati-
sche, rechnergesteuerte Untersu-
chungen und Tests in der Entwick-
lungs- und Prototypenphase zu-
künftiger Funkuhren",
Forschungsberichte aus Fein- und
Mikrotechnik 11 (1997), pp. 5-12

M. Schubert,
"Expertensystem für Funkuhren",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe, pp. 73-77

Promotionen, Diplom- und Studienarbeiten, Lehrveranstaltungen

Promotionen

M. Schubert: Verbesserung der Empfangseigenschaften bei funkgesteuerten Uhren durch digitale Korrelation (20.4.1998)

Seminare

14.05.1998
cand. el. D. Luz: Universelle Motoransteuerung und Erfassung des Stromverlaufs im Motor

27.08.1998
cand. mach. S. Meister: Laserschneiden von Metallblechen in der Miniaturtechnik

12.11.1998
cand. mach. U. Scholz: Vergleich von zwei Ultraschallwandlern

12.11.1998
cand. mach. P. Buk: FE-Simulation von Si-Mikroschwingern

Vorlesungen

F. Aßmus / H. Kück: Grundlagen der Mikrotechnik I mit Übungen

F. Aßmus: Grundlagen der Mikrotechnik II mit Übungen

F. Aßmus / H. Kück, R. E. Müller: Miniaturtechnik I mit Übungen

F. Aßmus, R. E. Müller: Miniaturtechnik II mit Übungen

F. Aßmus / H. Kück, R. E. Müller: Zeitmeßtechnik

H. Effenberger: Elektrische Bauelemente in der Feinwerktechnik

H. Effenberger: Elektronik für Feinwerktechniker

B. Martin: Ausgewählte Meßverfahren der Fein- und Mikrotechnik

H. Sandmaier, B. Schmidt: Bauelemente der Mikrosystemtechnik

H. Sandmaier, M. Sesterhenn: Technologien der Mikrosystemtechnik

B. Schmidt: Anwendungen der Mikromechanik

Praktika

Hauptfachpraktikum Fein- und Mikrotechnik

Allgemeines Praktikum des Maschinenbaus

Elektronik-Praktikum für Feinwerktechniker

Prüfungen

Fein- und Mikrotechnik:
15 Teilnehmer

Diplomarbeiten

Schif, Eckard
Tribologische Eignungsuntersuchungen an keramikmodifizierten PTFE-Compounds für Radialgleitlager bei erhöhten Temperaturen
Betreuer: Dipl.-Ing. B. Bader

Brüstle, Thomas
Ermittlung, Analyse und Simulation der auf Transportgüter einwirkenden mechanisch-dynamischen Belastungen bei Umschlagsvorgängen
Betreuer: Dr.-Ing. R. E. Müller

Studienarbeiten

Meister, Stefan
Laserschneiden von Metallblechen in der Miniaturtechnik
Betreuer: Dr.-Ing. B. Martin

Buk, Peter
Finite-Elemente-Analyse von Mikroschwingern aus Silizium
Betreuer: Dipl.-Phys. M. Giousouf

Scholz, Ulrike
Vergleich an Ultraschallsensoren
Betreuer: Dr.-Ing. R. E. Müller

Schaepperle, Jochen
Berechnung von Synchronmotoren mit Hilfe des Feldberechnungsprogramms PROFIL
Betreuer: Dipl.-Ing. R. Mohr

Luz, Dietmar
Universelle Motoransteuerung und Erfassung des Stromverlaufs im Motor
Betreuer: Dipl.-Ing. R. Mohr

Vorträge, Präsentationen, Mitarbeit in Gremien

Vorträge

U. Allgeier, R. Mohr,
"Miniaturmotoren in der Uhren- und
Miniaturltechnik"
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe

B. Bader,
"Reibungs- und Verschleißuntersu-
chungen von ölinkorporierten Du-
roplasten für feinwerktechnische
Gleitelemente"
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe

M. Giousouf, F. Assmus, H. Kück,
"Structuring of Convex Corners
using a Reoxidation Process - Ap-
plication to a Tuning Fork Resonator
made from (110)-Silicon",
13-16. Sept. 98, Southampton,
England

M. Giousouf,
"Stimmgabelresonator aus Silizium",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe

H. Kück,
"Entwicklung der Uhrentechnik und
der Mikrosystemtechnik in den
letzten 10 Jahren. Zukunftsperspek-
tiven",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe

H. Kück,
"Die Entwicklung der Zeitmeßtech-
nik",
Ringvorlesung "Der Zeitbegriff in
Wirtschaft und Technik" des VDI-
Arbeitskreises FML und des IFT-LL,
30. Nov. 98, Stuttgart

R. Mohr,
"Modellierung von Miniaturmotoren
mit Hilfe von FLUX2D/3D, Aspekte
zur Optimierung elektromechani-
scher Wandler in der Miniaturltech-
nik mit Hilfe der FEM, Schaltungs-
und Systemsimulation von Minia-
turmotoren mit Hilfe von SIMPLO-
RER",
5.3.98, Stuttgart

R. Mohr,
"Simulationstechnik und Feldbe-
rechnung: Wichtige Werkzeuge für
die Miniaturltechnik. Der Wandel von
der Prototypenherstellung zur Si-
mulation des vollständigen Sy-
stems.",
Workshop 98, Fa. SIMEC, 25.-26.
Juni 98, Chemnitz

W. Scheerer, H. Kück,
"Untersuchungen der tribologischen
Eigenschaften von bewegten ela-
stomeren Dichtelementen",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe

M. Schubert,
"Expertensystem für Funkuhren",
Proc. of CEC98, 9.-10. Okt. 98,
Karlsruhe

Veranstaltete Tagung

7. CEC 1998, 9.-10. Oktober 98,
Karlsruhe

Messebeteiligung

Wirtschaft trifft Wissenschaft,
8.-9.12.98, Messe Stuttgart

Präsentation

Praxisrelevante Herangehenswei-
sen für die Modellierung und Simu-
lation komplexer technischer Sy-
steme, 5.3.98, Stuttgart

Mitarbeit in Gremien

H. Kück:

Mitglied im Fachausschuß 4.1
"Grundsatzfragen der Mikrosy-
stemtechnik" der GMM

Leiter des Fachausschuß 4.8
"Mikrofertigung" der GMM

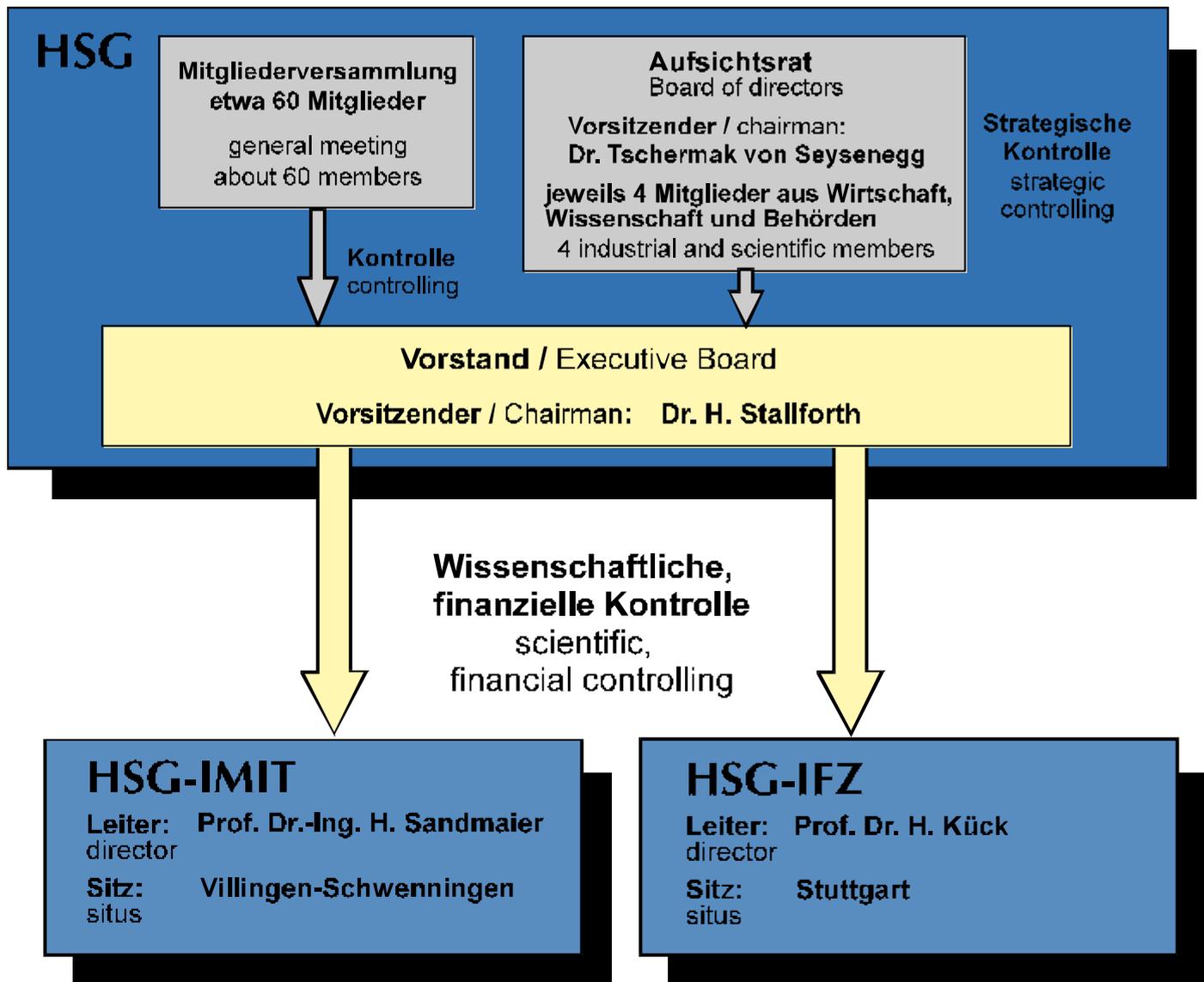
Mitglied im Wissenschaftlichen Rat
der AiF

R. Mohr:

Schriftführer des Technisch-
Wissenschaftlichen Fachkreises der
Deutschen Gesellschaft für Chro-
nometrie

Redakteur des Technischen Jahr-
buches der Deutschen Gesellschaft
für Chronometrie

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 Un-
gethüm
AESCULAP AG & CO. KG

Professor Dr. W. Zahradnik
Rektor der Fachhochschule
Furtwangen

Vorstand

Vorsitzender:

Dr. Harald Stallforth
AESCULAP AG

Stellvertr. Vorsitzende:

Rudolf Hauer

Dipl.-Ing. Reinhard Jäckle

Dr. Peter Jung
Marquardt GmbH

Dipl.-Ing. Hans Weiss
GMS Gesellschaft für Mikroelek-
tronik und Sensorik mbH

Schatzmeister:

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

Ehrevorsitzender:

Dr.-Ing. Wolfgang Berger

Mitgliedsfirmen

AESFULAP AG & Co. KG
Tuttlingen

Tobias Baeuerle & Söhne
Feinwerktechnik GmbH
Villingen-Schwenningen

Werner Beiter
Dauchingen

BINDER MAGNETE GMBH
VS-Villingen

BIZERBA GmbH & Co. KG
Balingen

Robert Bosch GmbH
Stuttgart

DAIMLER CHRYSLER AG
Stuttgart

Deutsche Thomson-Brandt
VS-Villingen

EL MOS GmbH
Dortmund

Feinmetall GmbH
Herrenberg

Bernhard Förster GmbH
Pforzheim

GMS Gesellschaft für Mikrotechnik
und Sensorik GmbH
VS-Villingen

GOS Gesellschaft für Organisation
und Softw. GmbH
Bad Dürkheim

GRÄSSLIN GmbH & Co. KG
St. Georgen

Andreas Haller
Fabrik für Feinmechanik GmbH &
Co. KG
St. Georgen

Klaus Heinzmann
Konstruktion und Produktentwick-
lung
Schönwald

Franz Hermle & Sohn GmbH & Co.
KG
Gosheim

HOPF ELEKTRONIK GmbH
Lüdenscheid

Hopt + Schuler GmbH & Co. KG
Rottweil

IBM Deutschland GmbH
Stuttgart

XSYS ISE GmbH & Co. KG
VS-Villingen

ISGUS
J. Schlenker-Grusen GmbH
VS-Schwenningen

Junghans Uhren GmbH
Schramberg

KUNDO System-Technik GmbH
St. Georgen

Kundo-Staiger
Zeit und Technik
St. Georgen

Erich Lacher Uhrenfabrik
Pforzheim

VDO KIENZLE GMBH
Nutzfahrzeug-Informationssyst.
VS-Villingen

MARQUARDT GmbH
Rietheim-Weilheim

Team Nanotec GmbH
Villingen-Schwenningen

Neckarwerke Stuttgart AG
Stuttgart

Perpetuum Ebner GmbH & Co. KG
St. Georgen

Physik Instrumente GmbH & Co.
KG
Waldbronn

Ernst Reiner GmbH & Co. KG.
Furtwangen

SCHMIDT Feintechnik GmbH
St. Georgen

Schweizer Elektronik AG
Schramberg

Karl Storz GmbH & Co.
Tuttlingen

TEMIC TELEFUNKEN microelec-
tronic GmbH
Heilbronn

THEBEN-WERK Zeitautomatik
GmbH
Haigerloch

Dr. Tillwisch GmbH
Horb

VEGA Grieshaber KG
Schiltach

Schwarzwälder-Service
Industrie- u. Gebäudereinigung
GmbH + Co.
Villingen-Schwenningen

HSG-IFZ in Zahlen

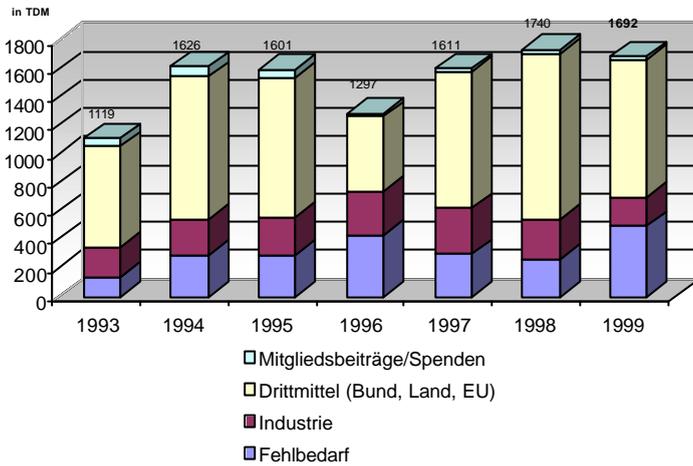


Bild 1: Entwicklung des Haushalts

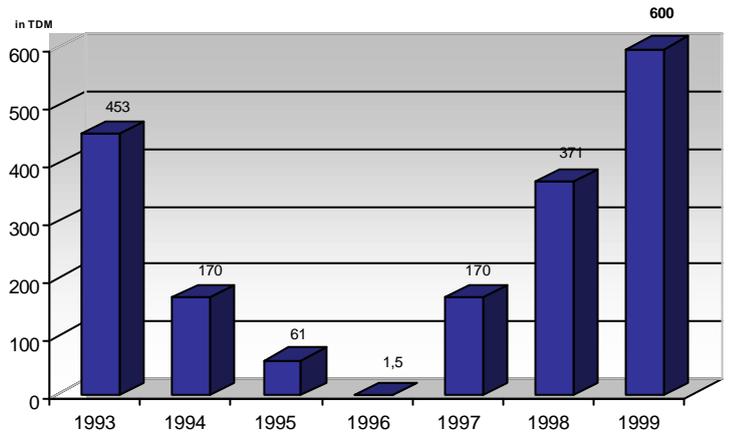


Bild 2: Gesamt-Investitionen

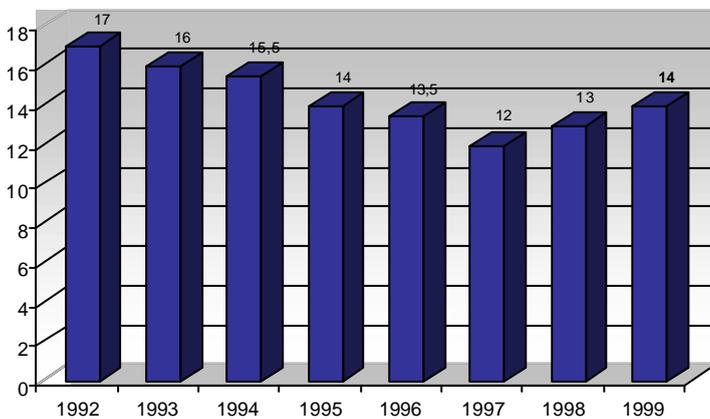


Bild 3: Stellenentwicklung

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

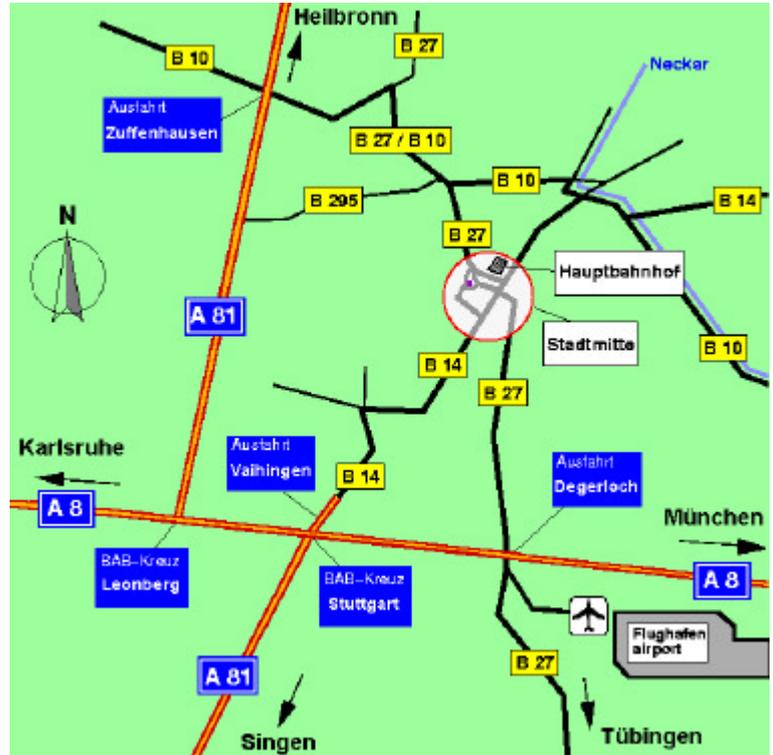
Bei Anreise mit: Zug / S-Bahn

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)2268304

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)2268304

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 1999

