



Universität Stuttgart

**75 Jahre Institut für
Mikrointegration
(IFM)
Universität Stuttgart**



Festschrift

Vorwort	Seite 5
Einleitung	Seite 7
Geschichte des IFM	
- 1944 bis 1963	Seite 8-11
- 1963 bis 1981	Seite 12-13
- 1981 bis 1998	Seite 14-17
- 1998 bis 2015	Seite 18-23
- 2015 bis heute	Seite 24-27
Forschungsschwerpunkte	Seite 28-39
Lehrveranstaltungen	Seite 40-47
Institut für Mikrointegration 2019	Seite 48-49
Dissertationen und Habilitationen	Seite 50-55
Impressum / Quellenangabe	Seite 56



Institut für
Mikrointegration

Allmandring 9b,
Stuttgart

1944 - 2019

Festschrift

zum 75-jährigen Bestehen des
Instituts für Mikrointegration (IFM)
der Universität Stuttgart



75 Jahre IFM

5

Festschrift zum 75-jährigen Bestehen des Instituts für Mikrointegration (IFM) der Universität Stuttgart 1944 - 2019

Das Institut für Mikrointegration (IFM) blickt in diesem Jahr auf sein 75-jähriges Bestehen zurück.

Seit seiner Gründung im Jahr 1944 steht die Miniaturisierung technischer Systeme im Fokus. So befasst sich das IFM in Forschung und Lehre mit der Mikrotechnik und der Mikrosystemtechnik.

Aktuelle Schwerpunkte reichen von der Sensorik als wichtigem Anwendungsgebiet der Mikrosystemtechnik über optische Mikrosysteme, folienbasierte „System-in-Foil“, räumliche Elektronik und digitale Prozessketten bis zu hochpräzisen Strukturierungsverfahren für die Mikrotechnik.

Aus Anlass des 75-jährigen Jubiläums des IFM wurde diese Festschrift verfasst, die einen Einblick in die Geschichte des Instituts und in die aktuelle Ausrichtung von Forschung und Lehre bietet. Anstelle einer vollständigen Darstellung aller Veröffentlichungen werden ebenso die Themen der am Institut durchgeführten Dissertationen aufgelistet, um den inhaltlichen Wandel von der Zeitmesstechnik zur Mikro- und Mikrosystemtechnik zu dokumentieren.

Aufgrund des interdisziplinären Charakters und der großen Bedeutung für gesellschaftliche Megatrends, die

die Mikrosystemtechnik auszeichnen, bestehen für das IFM hervorragende Chancen, den eingeschlagenen Weg erfolgreich fortzusetzen und spannende wissenschaftliche und technologische Neuerungen zu erschließen.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann
Institutsleiter des IFM

Wie alles begann

Ende der 1920er-Jahre erkannte die Schwarzwälder Uhrenindustrie, dass die bisher empirisch gewonnenen Erkenntnisse durch wissenschaftliche Forschung untermauert und erweitert werden müssten, um im internationalen Wettbewerb der Uhrentechnik bestehen zu können. Schon damals wurden die staatlichen Stellen auf den Wunsch der Industrie hingewiesen, das Fachgebiet der Uhrentechnik an einer deutschen Hochschule zu implementieren.

Forschung zur Uhrentechnik wurde bis dahin überwiegend in der Schweiz, in Frankreich und in England betrieben. In Deutschland befasste sich neben den Technikerschulen stark praxisorientiert die Uhrmacherschule in Glashütte mit Kleinuhren und die älteste deutsche Uhrmacherschule in Furtwangen mit Großuhren. Forschung im eigentlichen Sinne wurde Mitte der dreißiger Jahre praktisch nur auf dem Gebiet der Quarzpräzisionsuhren für den Zeitdienst an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR) betrieben.

Zu Beginn des Zweiten Weltkriegs wurde durch die Uhrenfirmen der Gedanke eines Hochschulinstituts wieder aufgegriffen und fand das staatliche Interesse, da die Kriegswirtschaft unter dem Aspekt der Massenfertigung Bedarf an Uhren und Zeitlaufwerken für Kurz- und Langzeitanwendungen hatte.

1942 waren die Voraussetzungen zur Errichtung eines Lehrstuhls und Instituts für Zeitmesskunde und Uhrentechnik an der Technischen Hochschule Stuttgart durch die staatlichen Stellen geschaffen. Das Institut sollte der Fakultät für Maschinenwesen Abteilung Maschinenbau angegliedert und in der Lehre im zweiten Studienabschnitt tätig werden. Die Forschung sollte grundlagenorientiert und überwiegend experimentell ausgerichtet sein.

Am 15. Dezember 1944 wurde Dr. Wilhelm Keil aus Berlin zum ersten ordentlichen Professor für Zeitmesskunde und Uhrentechnik an der Technischen Hochschule Stuttgart ernannt. So kann das heutige Institut für Mikrointegration der Universität Stuttgart (IFM) im Jahr 2019 auf sein 75-jähriges Bestehen zurückblicken.

Geschichte des IFM 1944 bis 1963



Prof. Dr. Wilhelm Keil,
Institutsleiter von 1944
bis 1963

Prof. Dr. Wilhelm Keil

Wilhelm Keil hatte nach vorausgegangener Tätigkeit bei Firmen, die feinmechanische Erzeugnisse herstellten, bei der PTR auf dem Gebiet der Uhren- und Zeitmesstechnik gearbeitet und war u. a. durch den Bau der Zielzeitkamera für die olympischen Spiele 1936 zusammen mit Kurt Hild bekannt geworden.

Im Juni 1944 waren die in der Stadtmitte gelegenen Gebäude der Technischen Hochschule Stuttgart zerstört bzw. stark beschädigt worden, u. a. das Hauptgebäude des Maschinenbaus in der Keplerstraße 10. Die TH konnte erst nach dreizehnmonatiger Schließung im Februar 1946 wieder eröffnet werden. Das erste Nachkriegssemester dauerte von Anfang Februar bis Ende Mai 1946. So konnte Professor Keil aufgrund der kriegsbedingten Situation erst im August 1945 im schwer zerstörten Stuttgart seinen Dienst antreten.

Der Vorlesungsbetrieb begann im 2. Halbjahr 1946 mit dem Angebot der zwei Vorlesungen "Feinmechanik unter besonderer Berücksichtigung des Instrumentenbaus" und "Grundlagen der Zeitmessung und ihre Technik", die etwa 1948 in "Uhrentechnik und Feinmechanik" sowie "Zeitmesstechnik" umbenannt wurden.

Insbesondere die Forschungsarbeiten wurden durch die prekären räumlichen Verhältnisse erschwert. Bei einem Bedarf von ca. 500 qm verfügte das Institut 1945 über ein Büro von 18 qm und 1954 über insgesamt 40 qm Büros und 80 qm Werkstätten im Kellergeschoss. Dank der Beihilfen des Bundeswirtschaftsministeriums und durch Spenden von Firmen wurde es möglich, den dringendsten Bedarf an Labor- und Messgeräten sowie an Werkzeugmaschinen zu decken, wodurch die uhrentechnische und feinmechanische Werkstatt arbeitsfähig wurde. Der Messgerätepark hingegen war - abgesehen von Kleingeräten - mit kaum mehr als einem Dutzend Messgeräten eher dürftig ausgestattet.

Geschichte des IFM 1944 bis 1963

Trotz dieser bescheidenen Umgebung war es möglich, am Lehrstuhl mehrere Promotionen durchzuführen, zugleich zahlreiche Diplom- und Studienarbeiten.

Ausbau des Universitätsinstituts

Nachdem abzusehen war, dass die Hochschule die räumliche Misere kurzfristig nicht beheben konnte, ergriffen der Verband der Deutschen Uhrenindustrie und die Deutsche Gesellschaft für Chronometrie (DGC) mit Dr. h. c. Helmut Junghans an ihrer Spitze die Initiative. In der Denkschrift "Notwendigkeit der Verstärkung der Forschung für die produzierende Uhrenindustrie" vom 15. August 1953 appellierten sie an Landesregierung, Ministerien und namhafte Persönlichkeiten des öffentlichen Lebens und der Politik, u. a. auch den baden-württembergischen Ministerpräsidenten Dr. Gebhard Müller, legten die herrschenden Missstände dar und forderten Abhilfe.

Sie gaben weiterhin die Anstrengungen zu bedenken, die bereits vom Ausland, insbesondere der Schweiz und Frankreich, durch den Aufbau entsprechender Forschungsinstitute unternommen wurden, und warnten vor dem zu befürchtenden Wettbewerbsnachteil gegenüber der ausländischen Konkurrenz. Die Denkschrift schloss mit der Forderung nach Räumen von 500 – 600 qm, zusätzlichen Stellen für bewährte Fachleute als ständige wissenschaftliche und technische Mitarbeiter und einem angemessenen laufenden Etat des Instituts an Sachmitteln.

Im Januar 1954 präzierte die DGC die Denkschrift hinsichtlich des Finanzbedarfs und wiederholte nochmals eindringlich die Notwendigkeit des Ausbaus des Universitätsinstituts oder als Alternative die Einrichtung eines selbständigen Forschungsinstituts mit etwa 500 – 600 qm neben dem Hochschulinstitut.



Gründung Forschungsge-
sellschaft, 1955

Geschichte des IFM 1944 bis 1963

Um der Dringlichkeit Nachdruck zu verleihen, trat am 15. November 1954 ein vorläufiger Vorstand einer zu gründenden "Forschungsgesellschaft für Uhrentechnik und Feinmechanik" zusammen und richtete an das Wirtschaftsministerium einen Antrag auf staatliche Förderung zur Errichtung eines Forschungsinstituts für Uhrentechnik und Feinmechanik. Die Gründung der heutigen Hahn-Schickard-Gesellschaft durch die maßgebenden Persönlichkeiten der Uhrenwirtschaft konnte dann zum 30.06.1955 mit dem Eintrag als "Forschungsgesellschaft für Uhren- und Feingerätetechnik" ins Vereinsregister des Amtsgerichts Stuttgart abgeschlossen werden. Während das ursprüngliche Konzept die Erweiterung des Hochschulinstituts vorsah oder als Alternative ein selbständiges Forschungsinstitut, setzte sich Anfang 1955 die Auffassung durch, dass die Errichtung eines Neubaus die optimale Lösung sei. Dort sollten sowohl Hochschul- als auch Forschungsinstitut unter gemeinsamer Leitung des Lehrstuhlinhabers untergebracht werden.

Am 19. November 1955 beschloss das Kuratorium der neuen Forschungsgesellschaft gemeinsam mit der Technischen Hochschule Stuttgart den Neubau des Instituts, wobei der Bauplatz am Stadtgarten in der Breitscheidstraße von der TH zur Verfügung gestellt werden sollte. Nach Klärung der rechtli-

chen Verhältnisse und Sicherung der Finanzierung durch Gelder von Bund, Land und Uhrenindustrie begann die Bauabteilung des Finanzministeriums mit der Planung. Vorgesehen war, das Gebäude bis zum Jahre 1957 fertigzustellen. Schwierigkeiten am Bauplatz durch einen hohen Grundwasserspiegel verzögerten die Bauarbeiten, so dass die feierliche Einweihung am 5. Mai 1959 erfolgte. Die Baukosten betragen etwas mehr als eine Million D-Mark und wurden je zur Hälfte vom Land Baden-Württemberg und der Forschungsgesellschaft getragen.

Mit dem Einzug in das neue Gebäude begann unter der Leitung von Professor Keil auch die Forschung am Institut für Feingeräte- und Zeitmesstechnik der Forschungsgesellschaft (IFZ), dessen Geschichte seitdem eng mit der des Universitätsinstituts verbunden ist. Die Kooperation beider Institute wurde zwischen der Universität und der Forschungsgesellschaft vertraglich geregelt, wodurch die Aufgaben beider Institute definiert sind und bei strikter Trennung von Verwaltung und Finanzierung eine enge wissenschaftliche Zusammenarbeit ermöglicht wird. Die Institute profitieren von der jeweiligen Ausstattung der Partner. Die Mitarbeiter des IFZ konnten dadurch Erfahrungen in der Lehre sammeln, z. B. durch die Betreuung von studentischen Arbeiten.

Geschichte des IFM 1944 bis 1963

Diese Art der Kooperation, die grundlagenorientierte und anwendungsorientierte Forschung verbindet, wird bis heute im Institut und mittlerweile auch an vielen anderen Universitäten erfolgreich gepflegt. Mit der Idee, beide Institute in einem Gebäude unterzubringen, haben die Gründerväter ohne Zweifel Weitsicht bewiesen.

Einzug in das neue Gebäude

Nach dem Einzug in das neue Gebäude musste das Haus arbeitsfähig ausgestattet, die verbesserten Bedingungen in Lehre und Forschung eingebracht und das Interesse der Studierenden an den Lehrgebieten "Uhrentechnik" und "Feinmechanik" geweckt werden. Schwerpunkt der Forschung war die uhrentechnische Fertigung nicht zuletzt unter dem Druck der sich abzeichnenden Massenfertigung qualitativ hochwertiger Uhrwerke. Leistungsverbesserung einzelner Bauelemente solcher Werke, den Austauschbau betreffende Fragen, Normen und Qualitätsstandards standen im Mittelpunkt. Arbeiten im Zusammenhang mit der Grundlagenentwicklung fanden meist in Dissertationen ihren Niederschlag.

Zur Aussendung des Zeitzeichens stellte das Institut in den Jahren 1960 bis 1972 dem Süddeutschen Rundfunk, dem Südwestfunk und dem Saarländischen Rundfunk die Signale mit einer Quarzuhrzentrale zur Verfügung, die

zur Kontrolle der Ganggenauigkeit über Funk die Zeitzeichen aus anderen europäischen Staaten empfangen konnte.

Professor Keil war im Jahr 1949 maßgeblich an der Neugründung der DGC beteiligt und hatte das Amt des Vorsitzenden für vierzehn Jahre inne. Er baute auch sehr früh den Kontakt mit der französischen und der schweizerischen Chronometrie-Gesellschaft auf, um den wissenschaftlichen Austausch zu pflegen und um Normungsfragen auf internationaler Ebene abzustimmen.



Ehemaliges Institutsgebäude in der Breitscheidstraße 2b

Die erste Einladung nach Frankreich erfolgte 1953, gegenseitige Teilnahme von Wissenschaftlern an den jeweils jährlich stattfindenden nationalen Kongressen schloss sich an. Einen Höhepunkt dieser Beziehungen stellt der Internationale Kongress für Chronometrie 1959 in München mit fast 1000 Teilnehmern dar, der, unterstützt von Mitarbeitern des Lehrstuhls und der Uhrenindustrie, von der DGC ausgerichtet wurde. Nach seiner Emeritierung leitete Professor Keil das Institut noch bis zum Jahr 1963.

Geschichte des IFM 1963 bis 1981



Prof. Dr. phil. Günther
Glaser, Institutleiter von
1963 bis 1981

Prof. Dr. phil. Günther Glaser

1963 wurde Dr. phil. Günther Glaser als Nachfolger von Wilhelm Keil ernannt, wie sein Vorgänger Lehrstuhlinhaber und zugleich Leiter des IFZ der Forschungsgesellschaft. Als langjähriger Entwicklungsleiter der größten deutschen Uhrenfabrik brachte Günther Glaser nicht nur die Kenntnisse des aktuellen Standes in der Uhrentechnik mit, sondern kannte auch die Probleme, die auf die Uhrenindustrie zukamen.

Mit der elektronisch gesteuerten Uhr hatten ab 1960 die mechanische sowie die seit Mitte der fünfziger Jahre hergestellte elektromechanische Uhr eine starke Konkurrenz bekommen, wenngleich deren Schwingsystem weiterhin mechanischer und niederfrequenter Art war. Daher beschäftigte sich das Institut jetzt mit der theoretischen Untermauerung der kinematischen und dynamischen Vorgänge in den mechanischen Uhren mit dem praktischen Ziel, insbesondere bei Räderwerk, Hemmung und Schwingsystem Verbesserungen zu erreichen. Auf dem Gebiet der elektronisch gesteuerten Uhren, die immer mehr an Bedeutung erlangten, standen die Steuer- und Antriebsschaltungen im Vordergrund und hier wiederum Probleme des Wirkungsgrades und der Steigerung der Genauigkeit. Mit der Erkenntnis, eine entscheidende Verbesserung der Genauigkeit sei nur mit höheren Schwingfrequenzen zu realisieren, richtete sich das Interesse zunächst auf die mittelfrequenten, metallischen Schwingsysteme und deren Fortschaltvorrichtungen für die Zeiger. Bei Quarzuhren war das Verhalten der Quarzoszillatoren ebenso Gegenstand der Forschung wie die nunmehr erforderlichen elektro-mechanischen Wandler-systeme, deren Systemkonzept aus energetischen Gründen zunächst unklar blieb, bis sich die bipolaren Schrittmotoren durchsetzten. Ein anderes Arbeitsgebiet bildeten die Qualitätskriterien, die schließlich in die Normen der Uhrentechnik einfließen, z. B. Wasserdichtheit, Stoßsicherheit und Magnetfeldeinfluss. Erste Arbeiten des Instituts befassten sich bereits 1972 mit Funkuhren. Der Wandel von der mechanischen

Geschichte des IFM 1963 bis 1981

gesteuerten Uhr blieb wie auch in der Feinwerktechnik nicht ohne Auswirkungen auf die Werkstoffe und auf die Fertigungstechnologie, wo zunehmend Polymerwerkstoffe die metallischen Werkstoffe verdrängten und der Laser in der Verbindungstechnik Einzug hielt.

Rasanten Wachstum

Alle Arbeiten auf uhrentechnischem Gebiet aufzulisten, würde zu weit führen: im Ergebnis entwickelte sich das Institut sehr rasch und erwarb sich im In- und Ausland einen hervorragenden wissenschaftlichen Ruf. Durch das Wachstum auch des Forschungsinstituts war der räumliche Rahmen bereits 1966 zu eng geworden und es mussten Teile nach außerhalb in eine Baracke sowie in den Studienbau des Maschinenbaus ausgelagert werden. Später wurden diese Abteilungen in das Kollegiengebäude K II verlegt.

Lehre

In der Lehre lag der Schwerpunkt in der Uhrentechnik mit den Vorlesungen "Uhrentechnik I und II". Sehr rasch gewann jedoch die Vorlesung "Feinmechanische Bauelemente und Geräte" an Bedeutung und Beliebtheit bei den Studenten und verwies die Uhrentechnik auf den zweiten Platz. Das Angebot wurde durch Vorlesungen zu elektrischen Bauelementen und zur feinmechanischen Messtechnik ergänzt. Hinzu kamen ein feinmechanisches und uhrentechnisches Praktikum sowie ein gemeinsam mit den Instituten der Feinwerktechnik der Universität gestaltetes Kolloquium. Während die Vorlesungen anfangs im Institutsgebäude am Stadtgarten abgehalten werden konnten, standen ab 1975 mit dem Aufbau der Universität in Vaihingen im neu erschlossenen Pfaffenwaldgebiet ausreichend Hörsäle zur Verfügung, und zahlreiche Institute der Fakultät Maschinenbau übersiedelten dorthin. So wurden die Vorlesungen in den Pfaffenwald verlegt, während Praktika, Seminare, Studien- und Diplomarbeiten weiterhin im Institutsgebäude verblieben.

Kongress für Chronometrie

Die Deutsche Gesellschaft für Chronometrie veranstaltete 1974 wie 15 Jahre zuvor wiederum in Stuttgart einen internationalen Kongress für Chronometrie, diesmal mit Professor Glaser als ihrem Präsidenten und unter Mitwirkung der Mitarbeiter beider Institute.

Nach seiner Emeritierung leitete Professor Glaser das Institut noch bis zum Jahr 1981.

Geschichte des IFM 1981 bis 1998



Prof. Dr.-Ing. Friedrich
Aßmus, Institutsleiter von
1981 bis 1998

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Aßmus

Als Dr.-Ing. Friedrich Aßmus 1981 ebenfalls mit der Erfahrung des langjährigen Entwicklungsleiters der größten deutschen Uhrenfabrik die Leitung beider Institute übernahm, hatte sich die Uhrenlandschaft wiederum grundlegend geändert.

Elektronisch gesteuerte niederfrequente Uhrensysteme waren aus den Fertigungsprogrammen der Firmen verschwunden und nur noch wenige mechanische Werke waren in der Produktion. Um das Jahr 1975 hatte die quarzgesteuerte Uhr, "Quarzuhr" genannt, ihr endgültiges Systemkonzept gefunden und wurde jetzt marktdominierend.

Etwa ab 1980 war – abgesehen von den Dimensionen – der konstruktive Aufbau für Groß- und Kleinuhren gleich. Ihre Hauptelemente bestanden aus der Quarzstimmgabel mit 32768 Hz Schwingfrequenz, der Elektronik als integrierter Schaltung und einem bipolaren Schrittmotor zum Antrieb der Zeiger.

Danach konzentrierte sich das Interesse bis etwa 1985 einerseits auf die Verkleinerung der Quarzwerke sowohl bei Großuhren als auch bei anderen Uhren und andererseits auf die Verringerung ihrer Herstellkosten, d. h. die Automatisierung des Herstellungsprozesses stand im Vordergrund.

Die Miniaturisierung führte im Armbanduhrenbereich dazu, dass die Höhe der Uhrwerke von ursprünglich 6 mm teilweise bis auf 1,5 mm sank. Einzelne Bauelemente dieser Werke gerieten damit in einen Größenbereich, der bereits der Mikrotechnik mit den entsprechenden Fertigungstechnologien zugerechnet werden konnte. Beispielsweise wurden jetzt Quarzstimmgabeln im photolithographischen Ätzprozess serienmäßig hergestellt.

Geschichte des IFM 1981 bis 1998

Aus der geschilderten Reduktion der Dimensionen resultierten, allgemein gesagt, den Wirkungsgrad betreffende Aufgaben für alle Baugruppen, ausgenommen den Quarz selbst. Während zu Beginn der Quarzuhrentechnik die integrierte Schaltung den höchsten Energiebedarf aufwies, der damals fast doppelt so hoch wie der des bipolaren Schrittmotors zum Zeigerantrieb war, kehrte sich dieses Verhältnis im Laufe der Zeit um.

Bei deutlich abgesenktem Gesamtstrombedarf benötigt der Motor heute etwa das Fünffache an Energie wie die integrierte Schaltung.

Festzustellen bleibt jedoch, dass - abgesehen von wenigen wünschenswerten Verbesserungen - seit 1985 die Technik der Quarzuhrensysteme ausgereift war und sich Veränderungen in ihrem konstruktiven Aufbau nicht mehr abzeichneten. Mit der jetzt aufkommenden Funkuhrtechnik entstanden aber neue Aufgabenfelder, in denen das Institut tätig werden konnte. Dazu gehört u. a. der elektromechanische Wandler, an den nunmehr höhere Anforderungen gestellt wurden als bei der einfachen Quarzuhr.



Funkarmbanduhr

Nachdem also die mechanische Uhrentechnik mit ihrer umfassenden Theorie ihre herausragende Bedeutung verloren hatte, stellte sich für das Universitätsinstitut die Frage, welche Schwerpunkte in Forschung und Lehre künftig zu setzen waren. Dabei war es selbstverständlich, dass die in die Zukunft weisenden Gebiete weitergeführt werden mussten, die bereits am Institut bestanden, wie z. B. die Tribologie, die Lasertechnologie, die Antriebstechnik sowie Arbeiten im Funkuhrenbereich, wo bereits 1982 der Prototyp einer Funkuhr am Institut entwickelt wurde, der später Vorläufer der heutigen Funkuhren wurde. Schließlich trugen die Arbeiten am Institut wesentlich zur Entwicklung einer Funkuhr bei, die von einer Uhrenfirma in Pforzheim hergestellt wurde.

Geschichte des IFM 1981 bis 1998

Neue Forschungsfelder

Da jedoch am Institut wertvolle Erfahrungen mit Teilen kleinster Dimension aus dem Bereich der Uhrentechnik vorhanden waren, bot sich als neues Arbeitsgebiet die deutlich kleinere Mikrotechnik an, insbesondere die Mikromechanik, deren Dimensionen sich im μm -Bereich bewegen und zu deren Herstellung andere als die konventionellen Fertigungsverfahren nötig sind.

In der Mikromechanik wurde konkret mit der Schichttechnologie begonnen, nicht zuletzt wegen ihrer umfassenden Bedeutung. Dabei standen Hartstoffschichten auf der Basis von TiN im Vordergrund.

Ein weiteres Arbeitsgebiet betraf miniaturisierte Antriebe und mikromechanische Aktoren als Schalter elektrischer Signale.

Weiterhin wurden verschiedene Sensoren auf der Basis der bekannten Quarztechnologie untersucht. Zunächst wurde mit handelsüblichen Systemen experimentiert. Dann wurde untersucht, welche Ausformungen des Quarzelementes für die verschiedenen Messprobleme geeignet sind. Dazu war u. a. die Beherrschung des photolithographischen Ätzprozesses eine wichtige Voraussetzung.

Eine zusätzliche Herausforderung war die Erarbeitung von in der Mikromechanik unverzichtbaren Simulationstechniken, die Voraussagen über das Verhalten insbesondere bei dynamischen Vorgängen im Vorfeld der Entwicklung liefern. Weiter stellten sich Aufgaben in der aufwendigen Messtechnik im mikromechanischen Größenbereich.



Funkarmbanduhr 1990

IZFM

Die neue Ausrichtung des Instituts fand zunächst in der Forschung ihren Niederschlag, etwas später in der Lehre, und führte schließlich 1986 zur Namensänderung des Instituts in "Institut für Zeitmesstechnik, Fein- und Mikrotechnik" (IZFM).

Es standen jedoch nicht die notwendigen finanziellen Mittel zur Verfügung, um das Institut in absehbarer Zeit in der Breite auf die Mikromechanik umzustellen.

Geschichte des IFM 1981 bis 1998

Dem IZFM kam aber zugute, dass 1984 das IFZ der Forschungsgesellschaft die Mikromechanik forcierte und mit Förderung durch das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg ein Reinraum zur gemeinsamen Nutzung durch beide Institute eingerichtet wurde. Damit waren die Voraussetzungen zur Arbeit auf dem Gebiet der Mikromechanik geschaffen. Dabei sollte sich das IZFM aufgabengemäß der Lehre und Grundlagenforschung und das IFZ der angewandten Forschung widmen.

In der Lehre entwickelte sich seit etwa 1984 das Hauptfach des IZFM von der "Uhrentechnik" zur "Fein- und Mikrotechnik". Aus der Vorlesung "Feinmechanische Bauelemente und Geräte" entstand die Vorlesung "Miniaturtechnik I und II". Seit 1990 wird die Vorlesung "Grundlagen der Mikrotechnik I und II" angeboten mit einer theoretischen Orientierung im ersten und einer geräte- und verfahrenstechnischen im zweiten Teil. Diese Mikrotechnik-Vorlesung wurde im Wintersemester 1991/92 zum Pflichtfach des zweiten Studienabschnitts für Maschinenbauer bzw. Kernfach im Hauptfach.

Seit dem Wintersemester 1993/94 kann in der Fakultät "Konstruktions- und Fertigungstechnik" ein Schwerpunktstudium "Mikrosystemtechnik" absolviert werden, basierend auf dem Hauptfach "Elektronikfertigung" des Instituts für

Mikroelektronik sowie dem Hauptfach "Fein- und Mikrotechnik" des IZFM und unter Mitwirkung weiterer Institute der Fakultät sowie des 1988 gegründeten Hahn-Schickard-Instituts für Mikro- und Informationstechnik (HSG-IMIT) in Villingen-Schwenningen.

Aus den noch bis 1985 gehaltenen Vorlesungen "Uhrentechnik I und II" entstand eine einsemestrige Vorlesung "Zeitmesstechnik", in welcher neben den Verfahren der Kurz- und Langzeitmessung die Uhrentechnik in verkürzter Form Platz fand. 1990 oblag dem Institut die Organisation des Europäischen Kongresses für Chronometrie (CEC), der Wissenschaftler der Uhrentechnik aus aller Welt zusammenführte.

Nach seiner Emeritierung leitete Professor Aßmus das Institut noch bis zum Jahr 1998.

Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kück

Am 1. Juli 1998 übernahm Dr. rer. nat. Heinz Kück die Leitung des IZFM und des HSG-IFZ, wie die Institute damals benannt waren. Professor Kück hatte in der Fraunhofer-Gesellschaft als Abteilungsleiter und Stellvertreter des Institutsleiters auf den Gebieten der Bauelemente und Technologie der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik gearbeitet.



Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kück,
Institutsleiter von 1998 bis 2015

1998 war der Forschungsbedarf der Uhrenindustrie nicht zuletzt wegen des Rückzugs etlicher Firmen auf ein Minimum gesunken. Mit der Gründung des HSG-IMIT hatte sich die Hahn-Schickard-Gesellschaft auf dem damals rasant wachsenden Gebiet der Mikrosystemtechnik (MST) engagiert und in Villingen-Schwenningen mit dem dortigen Reinraum hervorragende Möglichkeiten für die Mikromechanik als Technologie der Mikrosystemtech-

nik etabliert. Während an zahlreichen Instituten in Deutschland ebenfalls an Technologie und Entwurf von mikroelektronischen Chips und mikrosystemtechnischen Silizium-Bauelementen, wie z. B. mikromechanischen Sensoren, geforscht wurde, war das wichtige Feld der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) von Silizium-Bauelementen und Silizium-Chips in der MST vergleichsweise dünn besetzt. Vor dem Hintergrund hatten die Hahn-Schickard-Gesellschaft und die Universität Stuttgart für die Stuttgarter Institute die Arbeitsgebiete Verbindungs- und Gehäusetechnik, Oberflächentechnik sowie Messtechnik für Miniaturbauteile vorgegeben.

In der AVT stellte sich insbesondere bei kleinen und mittleren Stückzahlen die Frage nach einem geeigneten Gehäuse bzw. Systemträger. Neben den tradierten Gehäusetechnologien wie Keramik- und Epoxidharzgehäusen oder Leiterplatten als Systemträger befanden sich dreidimensionale spritzgegossene Schaltungsträger aus thermoplastischen Werkstoffen, sogenannte Molded Interconnect Devices (MID), in ihren ersten Anfängen. Schaltungsträger auf Basis der MID-Technologie schienen das Potenzial für den Aufbau von gehäusten und ungehäusten Chip-Elementen in drei Dimensionen zu haben und die Integration weiterer Funktionen ins Gehäuse wie beispielsweise me-

chanischer Elemente und Fixierungen, Kanäle für Gase und Flüssigkeiten, Steckverbinder oder optischer Elemente zu ermöglichen. Somit schienen MID besonders gut geeignet zu sein, um die vielfältigen Anforderungen an Mikrosysteme für die wichtigen heimischen Branchen wie KFZ-Technik, Automatisierungstechnik, Medizintechnik und Messtechnik zu erfüllen. Daher wurde unter der Leitung von Professor Kück damit begonnen, die verschiedenen Arbeitsgebiete der MID-basierten Aufbau- und Verbindungstechnik kohärent im Institut zu etablieren.

Innovative Aufbau- und Verbindungstechnik

Das erste Arbeitsgebiet befasste sich daher mit der Herstellung des MID-basierten Systemträgers mittels Spritzguss und Metallbeschichtung. Für die Metallisierung waren je nach Anwendung unterschiedliche oberflächentechnische Verfahren geeignet. Dazu wurde die nasschemische außenstromlose Metallbeschichtung als wichtige Technologie im Institut implementiert und erforscht. Die Ausbildung des Leiterbildes erfolgt dabei durch Zweikomponenten-Spritzguss oder mit verschiedenen additiven oder subtraktiven Verfahren, basierend auf Laser-Strukturierung.

Darüber hinaus wurden mittels Heißprägen aus Metallfolien hergestellte Leiterbilder erforscht und implemen-

tiert. Miniaturisierung und Integrationsdichte erforderten das Ausbilden filigranster Kunststoffdetails beim Spritzgussbauteil, weshalb der Mikrospritzguss einschließlich der entsprechenden Werkzeuge untersucht werden musste.

Die Arbeiten zu Spritzgießwerkzeugen umfassten auch die Erforschung eines mit ultrakurzen Spannungsimpulsen arbeitenden elektrochemischen Ätzverfahrens, das Mikrostrukturen in Edelstahl mit einer bis dahin nicht bekannten Feinheit generieren kann. Nach dem Aufbau und der Erprobung eines Prototyps der Ätzanlage erfolgte 2003 die Gründung der Firma ECMTEC GmbH durch einen Mitarbeiter des Instituts.

Das nächste Arbeitsgebiet befasste sich umfassend mit der Bestückungs- und Fügetechnik der mikroelektronischen und mikrosystemtechnischen Bauelemente auf MID. Hierzu war insbesondere zu untersuchen, wie die aus der Mikroelektronik und Elektroniktechnologie bekannten Verfahren des Lötens und Klebens von gehäusten Bauelementen sowie die Drahtbond- und Flip-Chip-Techniken für nackte Chips auf die MID übertragen werden konnten.

Dabei war die große Herausforderung, den unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften der thermoplastischen Systemträger im Vergleich zu keramischen Gehäusen bzw. Gehäusen und Leiterplatten auf Epoxidharz-Basis gerecht zu werden. Vereinfachend gesagt, zeigen die MID eine geringere mechanische Festigkeit und geringere thermische Beständigkeit, eine größere thermische Ausdehnung und eine höhere Rauheit der Leiterbahnen bzw. Kontaktflächen. Daher wurde der Einsatz von Klebetechniken und bleifreien Lötverfahren, die mit einer erhöhten Temperaturbelastung für die Baugruppen behaftet sind, sorgfältig untersucht. Bei der Drahtbondtechnik für die Chip-Kontaktierung war das Zusammenspiel von Bonddrahtfestigkeit, Leiterbahnrauheit und Leiterbahnhaftung Gegenstand gründlicher Untersuchungen. Flip-Chip-Techniken auf der Basis von Klebetechniken wurden erforscht.

Zuverlässigkeit von Mikrosystemen

Die Unterschiede zur Aufbau- und Verbindungstechnik in der Mikroelektronik einerseits und die stetig steigenden Anforderungen aus den Anwendungen machten die umfassende Untersuchung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer der MID-basierten Baugruppen als weiteren Arbeitsschwerpunkt erforderlich.

Dazu wurden die wichtigsten experimentellen Zuverlässigkeitsprüfungen

für die unterschiedlichen Fragestellungen aufgebaut, den Belangen der MID-Technik angepasst und mit tradierten Baugruppen verglichen. Im Falle der Lötverbindungen und der Flip-Chip-Technik wurden die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen darüber hinaus durch eine Modellierung nachgebildet.

Sensoren und Aktuatoren

Als weiteres spannendes Arbeitsgebiet wurden Grundlagen für die Herstellung von kostengünstigen Sensoren und Aktuatoren mittels der polymerbasierten AVT erarbeitet, z. B. Strömungssensoren, Drucksensoren und Neigungssensoren oder miniaturisierte Pumpen.

Beispielsweise wurden die Grundlagen für einen hochgenauen flüssigkeits-basierten kapazitiv ausgelesenen 360-Grad-Neigungssensor am IZFM erarbeitet und durch das Hahn-Schickard-Institut zusammen mit einer mittelständischen Firma zu einem Sensorelement weiterentwickelt, das seit 2009 u. a. in Laser-Längenmessgeräten als Neigungssensor verbaut wird. Bei den kapazitiv ausgelesenen Sensoren lässt sich auch eine Brücke zur Zeitmesstechnik schlagen, da die Auslese und Digitalwandlung auf einer Zeitmessung beruhen, allerdings im Bereich von Pikosekunden.

Neubau

Durch die Arbeiten zur AVT wuchsen beide Institute rasch, so dass die Räume im Institutsgebäude Breitscheidstraße 2b und im KII nicht mehr ausreichten. Dankenswerterweise konnte durch die Universität Stuttgart ein weiterer Raum im benachbarten Gebäude Breitscheidstraße 2 bereitgestellt werden. Darüber hinaus zeigte sich auch, dass das Institutsgebäude von 1959 seitens Statik und haustechnischer Infrastruktur für den notwendigen Gerätepark der MID-basierten AVT nicht geeignet war.

Nach sorgfältiger Untersuchung der Grundlagen fiel dann im Oktober 2004 der Startschuss für ein neues Institutsgebäude am Allmandring in Vaihingen. Wieder war die Hahn-Schickard-Gesellschaft, die von den an der AVT interessierten Firmen unterstützt wurde, nun gemeinsam mit dem Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg die treibende Kraft.

Das Wirtschaftsministerium hatte bis dato die apparative Ausstattung des Hahn-Schickard-Instituts, das 2002 entsprechend der neuen Ausrichtung in "Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik" (HSG-IMAT) umbenannt worden war, großzügig gefördert und war jetzt bereit, die Hälfte der Baukosten für den Neubau des Gebäudes für beide Institute zu übernehmen.

Daraufhin wurde in einer gemeinsamen Sitzung von Wirtschaftsministerium, Wissenschaftsministerium, Universität, Universitätsbauamt und Hahn-Schickard-Gesellschaft der Neubau mit ca. 1500 qm und einem Budget von 5,11 Mio. Euro beschlossen. Im Jahr 2007 konnten beide Institute den Neubau am Allmandring 9b beziehen.



Grundsteinlegung durch Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kück

Der Neubau bot deutlich bessere Arbeitsbedingungen für die Forschung und ermöglichte deren Ausbau u. a. durch die Implementierung von Jet-Drucktechniken. Erforscht wurden silber- und kupferbasierte Materialien für kostengünstige Leitersysteme oder Sensoren wie Temperatur- und Dehnungssensoren.

Beim Einsatz der MID in der industriellen Praxis stellte sich je nach Anwendung insbesondere die Bestückung in drei Dimensionen als deutlich aufwendiger heraus als bei flachen Baugruppen wie Leiterplatten. Daher musste die Möglichkeit der Automatisierung grundlegend erforscht werden. Dank der Bereitstellung von Fördermitteln durch das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg konnte 2012 ein Reinraum mit ca. 100 qm im unbebauten Teil des Erdgeschosses für das HSG-IMAT eingerichtet und eine Fertigungslinie für die MID-Bestückung implementiert werden, so dass die Forschungen zur Automatisierung der MID-Bestückung beginnen konnten.



Richtfest Neubau am Allmandring 9b

Das HSG-IMAT wurde darüber hinaus in die Lage versetzt, außer Labormustern jetzt auch Prototypen und Kleinserien zu fertigen, um dem Bedarf der Industrie gerecht zu werden.

Bologna hält Einzug in die Lehre

Seit der Umstellung auf Bachelor- und Master-Studiengänge ist das Universitätsinstitut in der Lehre in die Master-Studiengänge einbezogen und betreut Projektarbeiten für Bachelor-Studiengänge.

Unter Professor Kück wurden die Vorlesungen auf die Mikrosystemtechnik fokussiert. Die Vorlesungen "Grundlagen der Mikrotechnik I und II" wurden aktualisiert. Aus der Vorlesung zur Miniaturtechnik entwickelten sich die zwei Vorlesungen zur AVT, "Aufbau- und Verbindungstechnik I - Sensor- und Systemaufbau" und "Aufbau- und Verbindungstechnik II - Technologie".

Daneben wurden die Vorlesungen "Elektronik für Mikrosystemtechniker" und "Elektronische Bauelemente der Mikrosystemtechnik" sowie die Vorlesung "Modellierung und Simulation in der Mikrosystemtechnik" von Herrn Mohr als akademischem Oberrat gehalten. Die Vorlesung "Zeitmesstechnik" fand praktisch kein Interesse mehr und wurde nicht mehr angeboten.

Die Vorlesungen wurden vor allem in den Master-Studiengängen Maschinenwesen, Maschinenbau – Mikrotechnik-Gerätetechnik-Optik, Mechatronik, Technologiemanagement und Medizintechnik geschätzt. Zur Vertiefung wurden zu allen Vorlesungen freiwillige Übungen angeboten, die auf reges Interesse bei den Studierenden stießen.



Tag der Wissenschaft, Universität Stuttgart
v.l.n.r. Bernhard Polzinger, Eugen Ermantraut, Rainer Mohr,
Tobias Grözinger

Wie vorher auch schon im Institutsgebäude in der Breitscheidstraße stehen die Labore und Einrichtungen im Neubau im Rahmen der Möglichkeiten auch den Studierenden für ihre Arbeiten zur Verfügung, was ebenfalls einen großen Fortschritt darstellt und das Interesse an den Forschungsthemen des Instituts bei den Studierenden erhöht hat.

Mitwirkungen in Netzwerken

Das IZFM ist nicht zuletzt durch die enge Kooperation mit dem HSG-IMAT in der Mikrosystemtechnik national und international vernetzt, wie zum Beispiel durch das europäische Netzwerk 4M oder PEP in Frankreich. So konnte 2011 der internationale 4M-Kongress von HSG-IMAT und IZFM mit Unterstützung durch das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg in Stuttgart ausgerichtet werden. Weiter unterstützt IZFM alle zwei Jahre den von HSG-IMAT begründeten Workshop zu Anwendungen der MID-Technik.

Der geänderten Ausrichtung Rechnung tragend, wurde das IZFM im Zuge der Vorbereitung der Nachfolge von Professor Kück in "Institut für Mikrointegration" (IFM) umbenannt.



IFM
Institut für Mikrointegration

Heutiges Institutsgebäude am
Allmandring 9b

Geschichte des IFM 2015 bis heute

Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann

Zum 1. Januar 2015 wurde Dr.-Ing. André Zimmermann als Nachfolger von Heinz Kück ernannt. Er brachte Erfahrungen auf den Gebieten Aufbau- und Verbindungstechnik und Zuverlässigkeit aus vorausgegangenen Stationen bei der Max-Planck-Gesellschaft sowie der Forschung und Vorausbildung der Robert Bosch GmbH mit.



Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann, Institutsleiter seit 2015

Die erfolgreiche Ausrichtung auf die AVT von Mikrosystemen wurde unter der Leitung von Professor Zimmermann fortgesetzt. Dabei wurden die Forschungsaktivitäten auf sechs Schwerpunkte ausgerichtet.

Zu diesen Schwerpunkten zählen die Entwicklung und Integration von Sensoren, optische Mikrosysteme auf Basis mikrooptischer Komponenten und hochpräziser Aufbautechnik, digitale Prozessketten zur wirtschaftlichen Fertigung von Mikrosystemen bei kleinen

und mittleren Stückzahlen, ultradünne Mikrosysteme unter Verwendung von Foliensubstraten, sogenannte System-in-Foil, räumliche Elektronik auf Basis von 3D-Substraten aus Thermoplasten, Duroplasten und Keramiken sowie die Erzeugung von Mikrostrukturen unter Einsatz verschiedener Technologien, u. a. Ultrapräzisionsbearbeitung, Photolithographie, Galvanik und Kunststofftechnik.

Die apparative Ausstattung wurde bzgl. der Messtechnik u. a. durch Ultraschallmikroskopie, Laserautofokusmessung und transiente thermische Charakterisierung erweitert. Das Technologieportfolio wurde insbesondere durch Einrichtungen zur Direktstrukturierung von Foliensubstraten und zur optischen AVT gestärkt.

Global aufgestellt

Die wissenschaftliche Vernetzung wurde durch den Beitritt in der Organic and Printed Electronics Association (oe-a) sowie bei Photonics BW als Mitglied von OptecNet Deutschland ausgebaut, wobei die bisherigen Mitgliedschaften u. a. bei 4M, 3-D MID und microTEC Südwest weiterhin gepflegt wurden.

Die internationale Abstimmung führte im Jahr 2017 zur Etablierung eines World Congress on Micro and Nano Manufacturing (WCMNM), der von den

Geschichte des IFM 2015 bis heute

drei Netzwerken 4M (Multi Material Micro Manufacture Network of Excellence), I2M2 (International Institution for Micromanufacturing) und IFMM (International Forum on MicroManufacturing) mit Schwerpunkt in Europa, Amerika und Asien gemeinsam organisiert wurde, die zuvor jeweils voneinander unabhängige Konferenzen ausgerichtet hatten. Der erste World Congress on Micro and Nano Manufacturing in Kaohsiung, Taiwan, wurde von Professor Zimmermann durch eine Keynote Lecture unterstützt.

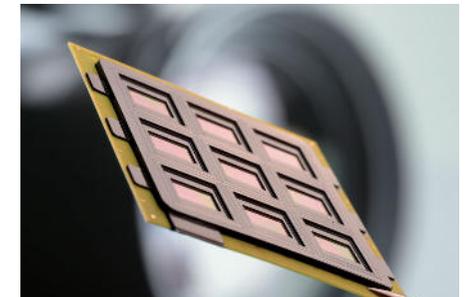
Weiterentwicklung in der Lehre

Das IFM vertritt an der Universität Stuttgart das Spezialisierungsfach Mikrosystemtechnik. Der Schwerpunkt in der Lehre lag daher weiterhin im Bereich der Mikrotechnik sowie der Mikrosystemtechnik. U. a. wurden die Vorlesungen "Grundlagen der Mikro- und Mikrosystemtechnik", "Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme – Sensor- und Systemaufbau" und "Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme – Technologien" etabliert, die heute die Basis des Spezialisierungsfachs Mikrosystemtechnik darstellen.

Gestiegener Platzbedarf

Die Aktualität der bearbeiteten Forschungsthemen spiegelte sich darin, dass im Jahr 2017 die Kapazitätsgrenze des im Jahr 2007 bezogenen Instituts-

gebäudes am Allmandring 9b erreicht wurde. Aus diesem Grund wurde eine Machbarkeitsuntersuchung beauftragt, mittels derer geprüft werden sollte, ob weitere Kapazitäten durch eine Aufstockung des Gebäudes geschaffen werden könnten. Nach dem positiven Abschluss dieser Prüfung wurden im Jahr 2018 2,4 Mio. € vom Ministerium



Durch Film-Assisted Molding hergestelltes Bildersensorpackage

für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg für die Aufstockung bereitgestellt. Dieses Bauvorhaben, das die Voraussetzung für die zukünftige Entwicklung schafft, befindet sich aktuell in der Umsetzung.



Forschungsschwerpunkte

Das IFM fokussiert sich auf die grundlagenorientierte Erforschung von Techniken zum Aufbau von Systemen mit Strukturierungsverfahren im Submillimeter-Bereich. In den Forschungslaboren des IFM dreht sich daher alles um kleinste Strukturen und Bauteile mit Dimensionen im Mikrometer- und Nanometer-Bereich.

Forschungsschwerpunkt Sensors. Everywhere!

FORSCHUNGS- SCHWERPUNKTE

Messen am Ort des Geschehens

- Bereitstellung nahtlos integrierter Sensoren
- Enabler für Megatrends wie Internet of Things, Smart Factory, Smart Home und Ambient Assisted Living

Das IFM ...

- entwickelt Sensoren und Sensorsysteme auf Basis unterschiedlicher physikalischer Wirkprinzipien und Technologien.
- bringt durch Kompetenz in der Mikroaufbautechnik Sensoren so nah wie möglich an den Einsatzort (Miniaturisierung, Anpassung an den Bauraum, Zuverlässigkeit unter rauen Umgebungsbedingungen).

Forschungsschwerpunkt Sensors. Everywhere!

Messen am Ort des Geschehens



3D-Absstands-
sensor

3D-Absstandssensor auf Basis eines räumlichen
Schaltungsträgers

Forschungsschwerpunkt Optische Mikrosysteme

FORSCHUNGS-
SCHWERPUNKTE

Optische Komponenten und Systemintegration

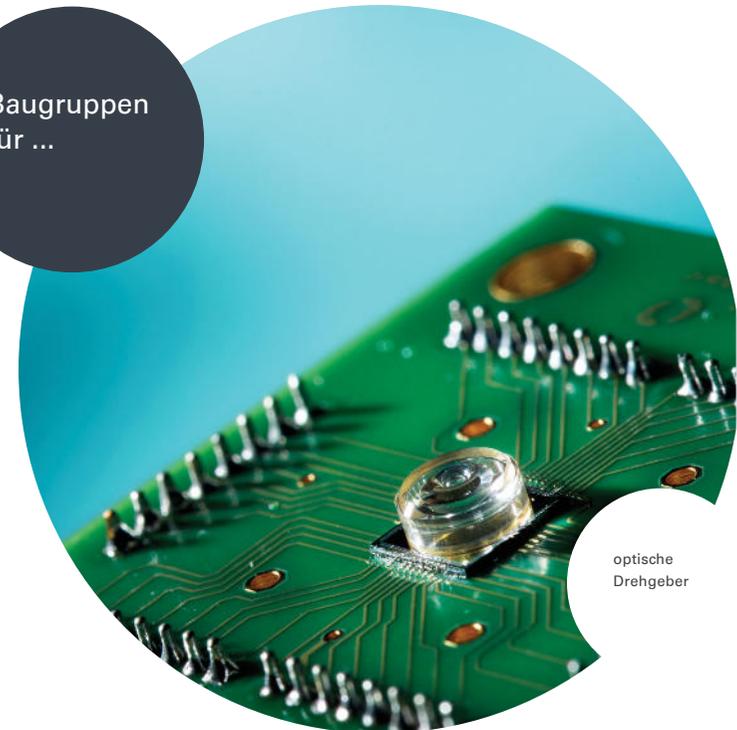
- Berührungsfreie Messung
- Hohe Übertragungsgeschwindigkeit von Informationen
- Innovative Sensoren (z.B. Quantensensoren)

Das IFM ...

- stellt ein Portfolio an mikrooptischen Komponenten bereit (Mikrolinsen, diffraktive Elemente, hybride optische Elemente, Mikrospiegel und Wellenleiter).
- erschließt das Active Alignment und die hochpräzise Montage von Optiken.
- entwickelt optische Sensoren.

Forschungsschwerpunkt Optische Mikrosysteme

Baugruppen
für ...



optische
Drehgeber

Baugruppe mit mikrooptischen Komponenten für
optische Drehgeber

Forschungsschwerpunkt Rapid Manufacturing

FORSCHUNGS- SCHWERPUNKTE

Mit digitalen Prozessketten zum Produkt

- Wirtschaftliche Fertigung von Produkten ab Losgröße 1
- Individualisierte Produkte, kleine Stückzahlen, große Variantenvielfalt

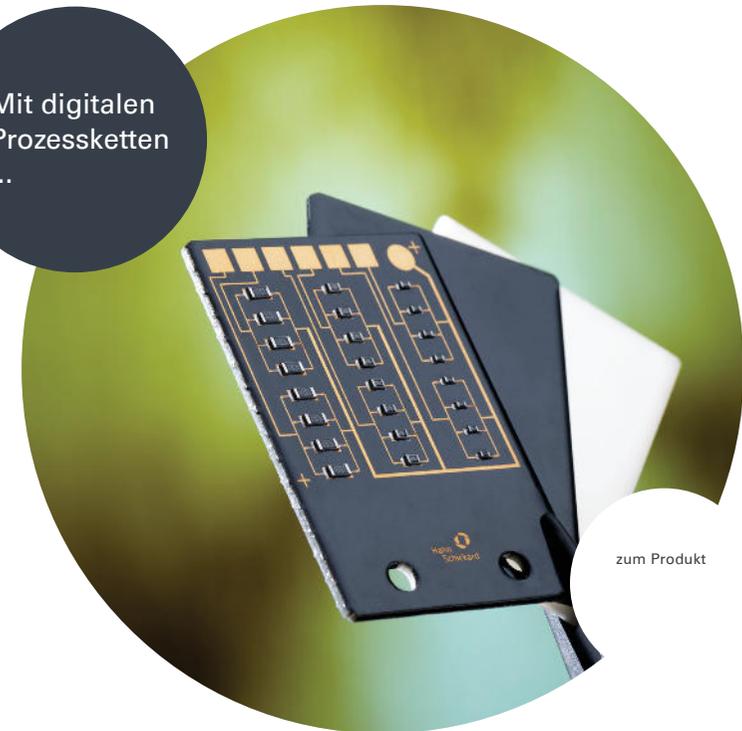
Das IFM ...

- erschließt digitale Prozessketten auf Basis additiver und subtraktiver 2D- und 3D-Prozesse (Direktbelichtung, Drucktechnologien, Lasertechnologien).
- weist deren Zuverlässigkeit nach.
- erhöht den Reifegrad vom Rapid Prototyping hin zum Rapid Manufacturing.

Forschungsschwerpunkt Rapid Manufacturing

Mit digitalen Prozessketten

...



Digitale Prozesskette mit den Schritten 3D-Druck, Lackierung, Laserstrukturierung, außenstromlose Metallisierung und Bestückung

Forschungsschwerpunkt System-in-Foil

FORSCHUNGS- SCHWERPUNKTE

Ultradünne flexible Mikrosysteme

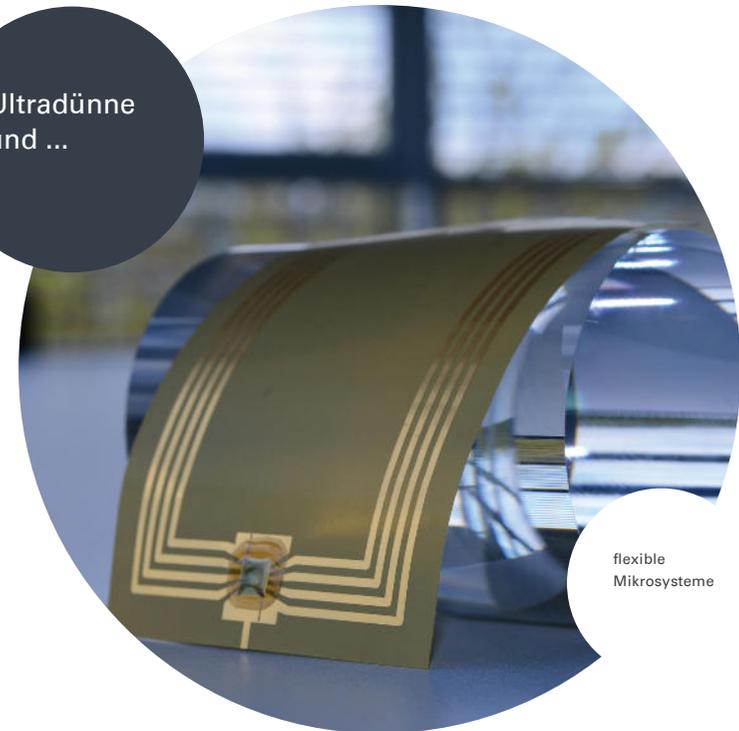
- Mechanische Flexibilität von Mikrosystemen (Anpassung an gekrümmte Bauräume, Verformbarkeit während des Einsatzes)
- Miniaturisierung in z-Richtung

Das IFM ...

- erschließt die komplette Technologiekette (Strukturierung von Foliensubstraten, Montage und Kontaktierung ultradünner Komponenten, Aufbau mehrlagiger Systeme).
- sichert die Zuverlässigkeit unter relevanten Lastfällen ab.

Forschungsschwerpunkt System-in-Foil

Ultradünne
und ...



flexible
Mikrosysteme

Ultradünner Siliziumchip auf flexiblem Foliensubstrat

Forschungsschwerpunkt Räumliche Elektronik

FORSCHUNGS- SCHWERPUNKTE

Funktionsintegration in drei Dimensionen

- Gestaltungsfreiheit und Miniaturisierungspotential durch 3D-Fähigkeit
- Integration mechanischer, elektrischer und optischer Funktionen

Das IFM ...

- erhöht den Reifegrad von MID-Technologien (Standardisierung z. B. für die Laserdirektstrukturierung, Verständnis der Zuverlässigkeit, Verbesserung der Fine-Pitch-Fähigkeit).
- erweitert die Werkstoffpalette von Thermoplasten um Keramiken und Duroplaste (Einsatz unter rauen Umgebungsbedingungen).

Forschungsschwerpunkt Räumliche Elektronik

Funktions-
integration ...



in drei
Dimensionen

Durch Laserdirektstrukturierung hergestellter räumlicher
Schaltungsträger

Forschungsschwerpunkt Mikrostrukturierung

FORSCHUNGS-
SCHWERPUNKTE

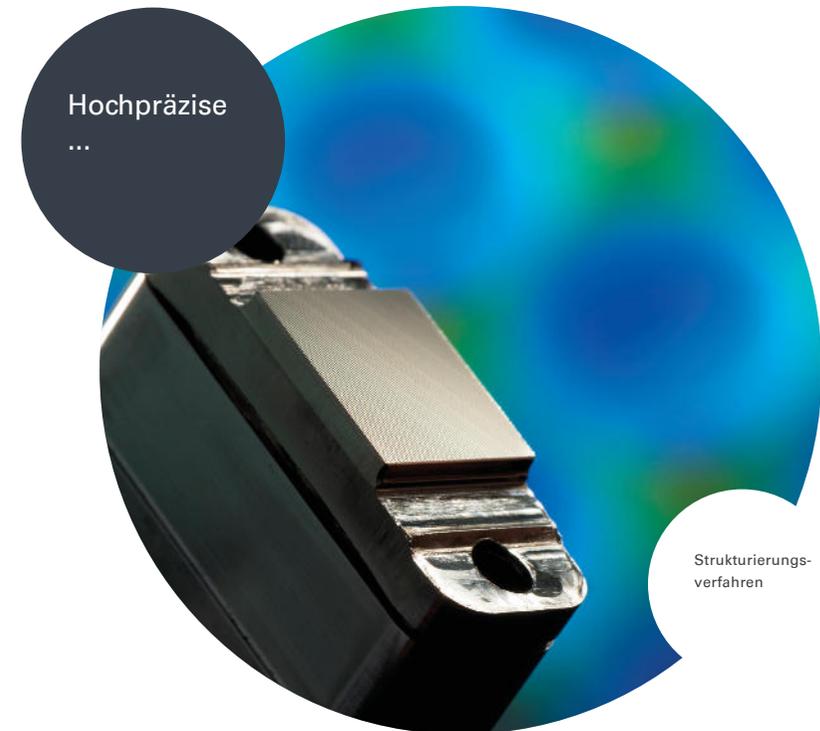
Hochpräzise Strukturierungsverfahren

- Entwicklung innovativer mikrotechnischer Produkte
- Realisierung optischer, elektronischer und / oder mechanischer Funktionen

Das IFM ...

- verwendet und kombiniert unterschiedliche Prozesse zur direkten Fertigung von Bauteilen (Laserprozesse, nasschemische Metallisierung, Druckprozesse, Hoch- und Ultrapräzisionsbearbeitung, MEMS-Strukturierungsverfahren und Galvanokopiertechniken).
- integriert mikrostrukturierte Komponenten in Spritzgieß- und Moldingwerkzeuge (Replikation in Kunststoffen).

Forschungsschwerpunkt Mikrostrukturierung



Ultrapräzisionsbearbeitung von Werkzeugeinsätzen

Das IFM ist für das Spezialisierungsfach Mikrosystemtechnik an der Universität Stuttgart verantwortlich und bringt sich mit seinen Lehrveranstaltungen in zahlreiche Studiengänge ein.

Dazu zählen u. a. die Bachelorstudiengänge Fahrzeug- und Motorentechnik, Maschinenbau, Mechatronik, Technikpädagogik, Technische Kybernetik, Technisch orientierte Betriebswirtschaftslehre, Technologiemanagement, Verfahrenstechnik sowie Lehramtsstudiengänge.

Einen besonderen Schwerpunkt bildet der Masterstudiengang Maschinenbau/Mikrotechnik, Gerätetechnik und Technische Optik, den das IFM gemeinsam mit den Partnerinstituten IBMT (Institut für Biomedizinische Technik), IFSW (Institut für Strahlwerkzeuge), IKFF (Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik), IMT (Institut für Medizingerätetechnik), INES (Institut für Nano- und Mikroelektronische Systeme) und ITO (Institut für Technische Optik) betreibt.

Darüber hinaus besuchen Studierende aus vielen weiteren Masterstudiengängen die Lehrveranstaltungen des IFM. Hier sind vor allem die Masterstudiengänge Fahrzeug- und Motorentechnik, Maschinenbau, die spezialisierten Masterstudiengänge des Maschinenbaus Maschinenbau/Produktentwick-

lung und Konstruktionstechnik sowie Maschinenbau/Werkstoff- und Produktionstechnik, Mechanical Engineering, Mechatronik, Medizintechnik, Technikpädagogik, Technisch orientierte Betriebswirtschaftslehre und Technologiemanagement zu nennen.

Das IFM wirkt am Allgemeinen Praktikum des Maschinenbaus (APMB) mit und organisiert das Spezialisierungsfachpraktikum Mikrosystemtechnik. Studierenden aus den genannten Studiengängen bietet sich die Möglichkeit, praktische Erfahrungen im Rahmen von studentischen Arbeiten am IFM zu sammeln. So wurden im Zeitraum 2009 bis 2018 insgesamt 25 Bachelorarbeiten, 119 Studienarbeiten, 37 Diplomarbeiten, und 46 Masterarbeiten durch das IFM betreut.

Im Rahmen des Seminars der Mikrosystemtechnik können die Studierenden ihre Arbeiten präsentieren, während das Kolloquium der Mikrosystemtechnik auf die Doktoranden ausgerichtet ist. Nachfolgend werden die Vorlesungen am IFM beschrieben, die durch Übungen und Exkursionen ergänzt werden.



Dr. Thomas Günther
Stellvertretender Institutsleiter des IFM

Grundlagen der Mikro- und Mikrosystemtechnik

Die Studierenden erwerben Kenntnisse über die wichtigsten Werkstoffeigenschaften sowie Grundlagen der Konstruktion und Fertigung von mikrotechnischen Bauteilen und Mikrosystemen. Die Studierenden sind in der Lage, die Besonderheiten der Konstruktion und Fertigung von mikrotechnischen Bauteilen und Mikrosystemen in der Produktentwicklung und Produktion zu erkennen und sich eigenständig in Lösungswege einzuarbeiten.



Universität
Stuttgart, Campus
Vaihingen

Folgende Lehrinhalte werden vermittelt:

- Eigenschaften der wichtigsten Werkstoffe der Mikrosystemtechnik
- Silizium-Mikromechanik
- Einführung in die Vakuumtechnik
- Herstellung und Eigenschaften dünner Schichten (PVD- und CVD-Technik, Thermische Oxidation)
- Lithographie und Maskentechnik
- Ätztechniken zur Strukturierung (Nasschemisches Ätzen, RIE, Plasmaätzen)
- Reinraumtechnik
- Elemente der Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme (Bondverfahren, Chipgehäusetechniken)
- LIGA-Technik
- Mikrotechnische Bauteile aus Kunststoff (z. B. Mikrospritzguss)
- Mikrobearbeitung von Metallen (z. B. spanende Mikrobearbeitung)
- Messmethoden der Mikrotechnik
- Prozessketten der Mikrosystemtechnik

Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme - Sensor- und Systemaufbau

Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme – Sensor- und Systemaufbau

Das Modul „Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme - Sensor- und Systemaufbau“ bildet zusammen mit dem Modul „Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme - Technologien“ den Kern der Ausbildung in der Gehäuse-, Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme. Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse über wesentliche Fragestellungen bei der Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik von Sensoren und Mikrosystemen aus verschiedenen mikrotechnischen Komponenten.

Die Studierenden sollen:

- die Vielfalt und Verschiedenheit der Aufbauten von Mikrosystemen und der Technologien der Aufbau- und Verbindungstechnik kennenlernen,
 - erkennen, wie das Einsatzgebiet von Sensoren und Mikrosystemen die Anforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik bestimmt und welche Anforderungen zu erfüllen sind,
 - die Einflüsse der Aufbau- und Verbindungstechnik auf die Eigenschaften der Sensoren und Mikrosysteme erkennen,
 - die Auswirkungen der Aufbau- und Verbindungstechniken auf Qualität, Zuverlässigkeit und Kosten kennenlernen,
 - die von der Stückzahl abhängigen spezifischen Vorgehensweisen bei der Aufbau- und Verbindungstechnik von Sensoren und Mikrosystemen kennenlernen.
- Ein besonderes Augenmerk wird auf die Erfordernisse kompletter Sensoren oder Mikrosysteme über den ganzen Lebenszyklus gelegt.
- Übersicht zu Aufbauten von Mikrosystemen
 - Einteilung der Sensoren und Mikrosysteme nach Anforderungen und Spezifikationen für verschiedene Branchen
 - Übersicht zu mikrotechnischen Bauelementen für Sensoren
 - Grundzüge zur Systemarchitektur
 - Übersicht über Aufbaustrategien und Montageprozesse
 - Grundlegende Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe
 - Umwelt- und betriebsbedingte Beanspruchungen und Stress in verschiedenen Anwendungen
 - Wesentliche Ausfallmechanismen bei mikrotechnischen Bauelementen und Aufbauten
 - Qualität und Zuverlässigkeit von Sensoren und Mikrosystemen
 - Funktionsprüfung und Kalibrierung
 - Besonderheiten von speziellen Sensorsystemen für verschiedene Branchen
 - Aspekte der Fertigung von Sensoren und Mikrosystemen bei kleinen und großen Stückzahlen.

Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme - Technologien

Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme – Technologien

Das Modul „Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme - Technologien“ bildet zusammen mit dem Modul „Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme - Sensor- und Systemaufbau“ den Kern der Ausbildung in der Gehäuse-, Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme. Die Studierenden erwerben Kenntnisse über die Technologien und Fertigungsverfahren bei der Montage von Mikrosystemen.

Die Studierenden sollen:

- die wichtigsten Fertigungsverfahren der Aufbau- und Verbindungstechnik kennen und in Abhängigkeit der Systemerfordernisse zu bewerten lernen,
- die Eigenschaften der relevanten Werkstoffe und deren Einfluss auf Qualität und Zuverlässigkeit der Mikrosysteme kennenlernen,
- die wesentlichen technologischen Einflussgrößen der Verfahren kennenlernen,
- die wichtigsten Merkmale der Fertigungsanlagen kennen und zu bewerten lernen.

Die Veranstaltung ist wie folgt gegliedert:

- Einführung in die Aufbau- und Verbindungstechnik
- Leiterplatten
- Löten und Kleben in der SMD-Technik
- Dickschichttechnik
- Gehäusearten und Typen
- Chipmontage mit Die-Bonden, Drahtbonden, Flip-Chip-Technik und TAB-Bonden
- thermoplastische Systemträger (Molded Interconnect Devices „MID“) mit Spritzgießtechnik, Zweikomponentenspritzguss-MID-Technik, laserbasierter MID-Technik, chemischer Metallbeschichtung von Kunststoffen, Chip- und SMD-Montage auf MID, Heißpräge-MID-Technik sowie Sensoren und Aktoren in MID-Technik
- Drucktechniken und Additive Manufacturing in der Elektronik
- Fügen und Verbinden von Kunststoffbauteilen mit Kleben und Schweißen

Fluidische Mikrosysteme Optische Mikrosysteme

Fluidische Mikrosysteme

Ziel des Moduls Fluidische Mikrosysteme ist das Erlernen der Grundlagen fluidischer Mikrosysteme hinsichtlich Funktion, Herstellung von Komponenten und Aufbau der Systeme.

Folgende Lehrinhalte werden vermittelt:

- Betrachtung beispielhafter Anwendungen, u.a. Neigungssensoren, Pipejets, Fluidikdiscs, Tröpfchengeneratoren, integrierte Dosiersysteme, integrierte PCR-Systeme, Ventile, Pumpen
- Grundlagen: Aggregatzustände, Suspensionen, Bindungen, Polarisationen, Elektronegativität, Lösungslimits, Fluideigenschaften, Grundlagen zur Fluidodynamik, Elektrokinetik, Diffusion und Wärme
- Mikrofluidik und Mikrosysteme: fluidische Komponenten, dimensionslose Zahlen, Dosiersysteme, druckgetriebene Systeme, Zentrifugalsysteme

Optische Mikrosysteme

Ziel des Moduls Optische Mikrosysteme ist das Erlernen der Grundlagen optischer Mikrosysteme hinsichtlich Funktion, Herstellung von Komponenten und Aufbau der Systeme.



Im Rahmen des Moduls erwerben die Studierenden Kenntnisse zu folgenden Lehrinhalten:

- Grundlagen zur Physik des Lichts, elektromagnetische Wellen, Materialien
- insbesondere Reflexionsoptik, Refraktivoptik, Diffraktivoptik
- Systeme mit Wellenleitern, Faseroptik und aktive Mikrooptiken

Elektronische Bauelemente in der Mikrosystemtechnik

Elektronische Bauelemente in der Mikrosystemtechnik

Ziel ist es, den Studierenden Kenntnisse über elektronische Bauelemente, insbesondere für Anwendungen in der Mikrosystemtechnik und Medizintechnik, z.B. als sensorische und aktorische Elemente zu vermitteln. Es werden verteilte elektronische Bauelemente behandelt, z.B. Leiterbahnen, Oberflächen u.a. Die Studierenden sind in der Lage:

- elektronische Bauelemente zu qualifizieren, d.h. ein für den gedachten Anwendungszweck geeignetes Bauelement auszusuchen,
- Ersatzschaltbilder für Bauelemente zu erstellen,
- elektrische Messtechnik durchzuführen,
- ein Schaltungssimulationsprogramm zu bedienen.

Folgende Lehrinhalte werden vermittelt:

- Allgemeines zu elektronischen Bauelementen und Leitungsmechanismen
- Widerstände, Kondensatoren, Spulen
- Halbleiter (Diode, Bipolare Transistoren, Feldeffekttransistoren)
- Ladungsverschiebungselemente (CCD)
- Elektronische Speicher
- Parasitäre Eigenschaften bei elektronischen Bauelementen
- Piezoelektrische Bauelemente (Quarz, Piezokeramik)
- Organische elektronische Bauelemente (OLED, OFET)

Institutsleiter



Univ. Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann

Stellvertretender Institutsleiter



Akademischer Rat Dr. Thomas Günther

IFM Team



Aktuelle
Mitarbeitende
des IFM

MITARBEITENDE

v.l.n.r.

Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann, Mahdi Soltani, Werner Bärnin, Klaus Skibowski, Ilona Burk, Joachim Lechler, Tobias Vieten, Elisabeth Flechtner, Simon Petillon, Dr. Thomas Günther

Ohne Abbildung: Dr. rer. nat. Martin Bogner, Michael Haub, Petra Hoffmann, Sebastian Hummel, Anja Katscher, Ernst Müller

Tschudin, Oswald: Entwicklung und Untersuchung eines Kugellagers für die Unruhlagierung in tragbaren Uhren. 1949

Gröber, Eugen: Ein Beitrag zur Entwicklung eines Kleinstverzahnungsmessgerätes auf mechanischer Grundlage. 1950

Meyding, Lothar: Ein Beitrag zur Deutung des Geräuschbildes bei Uhren. 1952

Schweizer, Walter: Koppelschwingungen als Mittel zur Registrierung dynamischer Vorgänge im Räderwerk von Kleinuhren. 1955

Bihlmaier, Oskar: Die Anwendung des pneumatischen Messverfahrens in der optischen Fertigung. 1956

Landenberger, Peter: Dezimal-Chronograph hoher Auflösung, ein Beitrag zur Präzisionszeitmessung. 1956

Joerg, Ekkehardt: Untersuchung der Brauchbarkeit von wälzgefräster Evolventenverzahnung für Uhrenzahnäder. 1957

Haag, Albrecht: Untersuchungen für die dynamische Beanspruchung zapfengelagerter Unruhwellen in Kleinuhren bei starken äußeren Stößen. 1962

Aßmus, Friedrich: Einfluss des Polierens auf die Zahnform und auf das Drehmomentverhalten von Uhrenverzahnungen. 1962

Dittmar, Konrad: Ein Verfahren zur Bestimmung der Ganggenauigkeit von Armbanduhren aus kurzfristigen Gangmessungen. 1965

Simsch, Eberhard: Die theoretischen Grundlagen des permanent dynamischen Unruhantriebs elektrischer Uhren. 1966

Müller, Wolfgang Heinrich: Ein Beitrag zur Auswuchttechnik kleiner, scheibenförmiger Rotationskörper, insbesondere von Unruhen bei Uhren. 1967

Kern, Eckhart: Kreisbogenzahnprofile zur konstanten Momentenübertragung bei Übersetzungen ins Schnelle, insbesondere für Uhrenverzahnungen. 1969

Wössner, Mark: Untersuchungen über die dynamische Beanspruchung stoßgesicherter Kleinuhren mit zapfengelagerter Unruhwelle. 1969

Müller, Rolf Erich: Untersuchungen an Sicherheitsskibindungen. 1970

Kappeler, Dietrich Peter: Zur Verwendung einfacher Biegeschwinger als Frequenznormale in der Uhrentechnik. 1970

Kaiser, Jürgen Josef: Die Berechnung und Optimierung des Unruhschwingungssystems mit Kolbenzahnankerhemmung. 1971

Kopp, Hubert: Zur Luftdämpfung und zur inneren Materialdämpfung des freischwingenden Systems "Unruh-Spiralfeder". 1971

Scheurenbrand, Hans: Ein Beitrag zur Optimierung von Triebfedern für Uhren. 1971

Wirthle, Erich: Konstruktion und Anpassung der Ankerhemmung an das Uhrwerk. 1971

Bartel, Hans: Entwurf und Ausführung einer von der Bestrahlungsstärke abhängigen digitalen Zeitsteuerung für einen mechanischen Kameraverschluss. 1971

de Boer, Hermann Albert: Simulierung von Unruhschwingungssystemen mit Hilfe eines Analogrechners mit Untersuchung des Einflusses von Tragebewegungen auf den Gang von Uhren mit Unruh. 1973

Boehringer, Karl Helmut: Torsionsband – Schwingungssysteme in der Uhrentechnik. 1973

Jung, Peter: Messtechnische Erfassung von Skikenngrößen. 1974

Effenberger, Hubert: Zur Theorie und Anwendung elektronischer Steuerungen mechanischer Schwingungssysteme mit permanent magnetisch-dynamischen Wandlern in der Uhrentechnik. 1974

Fischer, Rudolf: Eigenschaften und anwendungsspezifische Probleme niederfrequenter NT- und X+5°-Biegeschwinger für quarzgesteuerte Gebrauchsuhr. 1974

Haberland, Rüdiger: Armdrehbewegungen und deren Wirkung auf Unruhschwingungssysteme. 1974

Ix, Hanno: Zur Theorie und Anwendung synchroner Schwinger als elektromechanische Wandler in Gebrauchsquartzuhren. 1974

Abe, Tomihiko: Magnetische Fortschaltvorrichtungen für mittelfrequente Schwingungssysteme. 1975

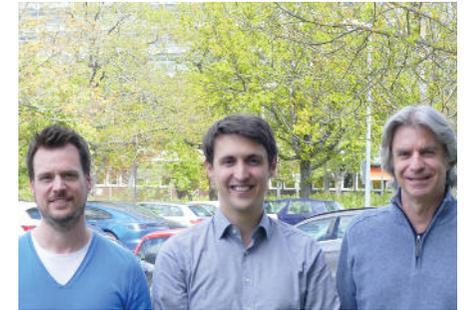
Michaelis, Winfried: Ein Verfahren zur Analyse der zufälligen Gangschwankungen. 1975

Aippersbach, Peter: Zur Erfassung und Optimierung mechanischer Fortschaltvorrichtungen. 1977

Nil, Erwin: Die Übertragungseigenschaften spritzgegossener Kunststoffzahnäder der Feinwerktechnik. 1977

- Haars, Holger: Stoßbeschleunigungen bei Kleinuhren. 1977
- Hirschmann, Karl-Heinz: Beitrag zur Berechnung der Geometrie von Evolvertenverzahnungen. 1978
- Kühl, Thomas: Konstruktive, messtechnische und getriebetechnische Erfassung der Datum-Fortschaltvorrichtungen bei Armbanduhren. 1979
- Schmidt, Fritz: Gang und Gangunsicherheit von Quarzuhren. 1980
- Braunger, Hans-Peter: Toleranzen und Maßabweichungen von Kunststoffzahnradern der Feinwerktechnik mit Evolvertenprofil. 1980
- Höchtel, Werner: Stoßprüfung bei Quarzuhren. 1981
- Layer, August: Eigenschaften und anwendungsspezifische Probleme piezokeramischer Schwinger für die Uhrentechnik. 1982
- Hetzel, Peter: Zeitübertragung auf Langwelle durch amplitudenmodulierte Zeitsignale und pseudozufällige Umtastung der Trägerphase. 1987
- Bethke, Ulrich: Polymerblattfedern der Feinwerktechnik aus Polyoximethylen. 1987
- Baderschneider, Kurt: Detektion deterministisch und stochastisch gestörter Zeitzeichen. 1987
- Benzler, Siegfried: Das Geräuschverhalten von Antriebssystemen mit Mikro-Schrittmotoren in der Uhrentechnik. 1991
- Stocker, Thomas: Maßnahmen zur Geräuschminderung schrittmotorgetriebener Quarz-Großuhrwerke. 1991
- Martin, Benedikt: Herstellung und Charakterisierung gesputterter Titanitridschichten auf Kupferwerkstoffen. 1994
- Scheerer, Klaus: Einfluss der elastischen Eigenschaften von O-Ringen auf deren Dichtverhalten. 1994
- Schubert, Manfred: Verbesserung der Empfangseigenschaften bei funkgesteuerten Uhren durch digitale Korrelation. 1998
- Giousouf, Metin: Untersuchungen zu Siliziumresonatoren für die Uhrentechnik. 2002
- Scholz, Ulrike: Untersuchungen zur Eignung des Ultraschalldrahtbondens für die Chipmontage auf MID-Substraten. 2003
- Warkentin, Daniel: Untersuchungen zu kapazitiven Beschleunigungssensoren

- aus metallbeschichtetem Kunststoff. 2005
- Benz, Daniel: Untersuchungen zum Aufbau von Neigungswinkelsensoren aus kunststoffbasierten Bauteilen. 2008
- Mayer, Volker: Untersuchungen zu optischen Drehgebern mit mikrostrukturierten Maßverkörperungen aus Kunststoff. 2008
- Willeck, Hannes: Aufbau und Charakterisierung eines neuen Messgeräts zur direkten Bestimmung der Haftfestigkeit von strukturierten Metallschichten. 2009
- Hofmann, Klaus: Untersuchungen zur Mikrobearbeitung von Stahlwerkstoffen mit elektrochemischem Abtragen. 2010
- Fritz, Karl-Peter: Untersuchungen zu miniaturisierten Schaltventilen mit Medientrennung und Stoßantrieb. 2012
- Keßler, Ulrich: Untersuchungen zur Flip-Chip-Montage auf spritzgegossenen Schaltungsträgern. 2012
- Ahrendt, Dirk: Untersuchungen zur laserbasierten Herstellung von Vias in MID und Charakterisierung eines neuartigen Messprinzips zur Badcharakterisierung von außenstromlosen Kupferelektrolyten. 2013
- Lapper, Sven: Ein Beitrag zum Aufbau spritzgegossener Schaltungsträger mittels Heißprägetechnik. 2013
- Seybold, Jonathan: Untersuchungen zur Industrialisierung von miniaturisierten optischen Drehwinkelsensoren mit diffraktiver Kodierscheibe aus Kunststoff. 2013



v.l.n.r. Dr.-Ing. Tobias Grözinger, Dr.-Ing. Vladimir Matic, Dr.-Ing. Manfred Schubert

Wolter, Frank: Untersuchungen zu neuartigen Infusionspumpen für die Medizintechnik. 2013

Konstantin, Georg: Entwicklung eines Lebensdauermodells für Durchkontaktierungen in mehrlagigen Leiterplatten. 2014

Buckmüller, Peter: Ein Beitrag zur peripheren Kontaktierung von spritzgegossenen Schaltungsträgern. 2015

Dissertationen 1949 bis heute

DISSERTATION

Grözinger, Tobias: Untersuchungen zu Zuverlässigkeit und Lebensdauermodellen für gelötete SMD auf spritzgegossenen Schaltungsträgern. 2015

Matic, Vladimir: Untersuchungen zum Inkjet-Drucken auf 3D-Oberflächen von thermoplastischen Bauteilen. 2016

Fischer, Alexander: Untersuchungen zur Serienfertigung von mechatronischen Mikrosystemen auf Basis spritzgegossener Schaltungsträger am Beispiel von Braille-Modulen. 2017

Polzinger, Bernhard: Inkjetdruck von Silberleiterbahnen zur Anwendung als Temperatursensor. 2017

Zoller, Tobias: Integration von thermoelektrischen Generatoren in die Aufbau- und Verbindungstechnik von autonomen Sensorsystemen. 2017

Hera, Daniel: Leiterplattenbasiertes Packaging zur Systemintegration mittels Film-Assisted Transfer Molding. 2018

Wild, Paul: Untersuchungen zur Porenbildung in bleifreien Lötverbindungen und deren Einfluss auf die Zuverlässigkeit unter Wechselbelastung. 2018

Ermantraut, Eugen: Selektive volladditive Metallisierung von Aluminiumoxidkeramiken mittels lasergestützter Aktivierung. 2018

Müller, Hagen: Untersuchungen zur Charakterisierung und Biegewechselbelastung von laserstrukturierten Leiterbahnen auf MID. 2019

Röder, Marcel: Herstellung von mikrostrukturierten Kunststoffoptiken. 2019

Lamprecht, Lukas: Integration von kinetischen Umgebungsenergiewandlern in energieautarke Sensorsysteme für Industrie 4.0-Anwendungen. 2019

Dissertationen 1949 bis heute

Ehemalige Doktoranden des IFM



EHEMALIGE DOKTORANDEN

v.l.n.r.

Dr.-Ing. Karl-Peter Fritz, Dr.-Ing. Hagen Müller, Dr.-Ing. Paul Wild, Dr.-Ing. Jonathan Seybold, Dr.-Ing. Ulrike Scholz, Dr.-Ing. Daniel Hera, Dr.-Ing. Tobias Grözinger, Dr.-Ing. Bernhard Polzinger, Dr.-Ing. Eugen Ermantraut, Dr.-Ing. Ulrich Keßler

HABILITATION

Habilitation

Effenberger, Hubert: Der Einsatz von Elektronik in der elektromechanischen Uhrentechnik. 1979

Impressum

Universität Stuttgart
Institut für Mikrointegration
Universität Stuttgart
Allmandring 9 b
D-70569 Stuttgart

Ansprechpartner
Univ.-Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann

T 0711 685-83711
F 0711 685-83705
info@ifm.uni-stuttgart.de

Herausgeber
Universität Stuttgart,
Institut für Mikrointegration

Endredaktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann
Ilona Burk

Gestaltung
Claudia Feith

Fotografie
Hahn-Schickard/IFM: 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 21, 22, 23
Claudia Feith: 3, 27, 42/43, 48, 49, 53, 55
Bernd Müller: 27, 31, 33, 35, 39, 46
Wolfgang Sperl: Titel, 4, 24/25, 26, 28/29, 48

Druck
Pfitzer GmbH & Co. KG, Renningen
Auflage: 250

Stand
Juni 2019

Quellenangabe
Universität Stuttgart, Institut für Zeitmeßtechnik, Fein- und Mikrotechnik, „Festschrift anlässlich des 50jährigen Bestehens des Instituts für Zeitmeßtechnik, Fein- und Mikrotechnik (1944 - 1994) der Universität Stuttgart“, Stuttgart, September 1994

www.ifm.uni-stuttgart.de