



Institut für Mikrosystemtechnik

*„Visionen werden
Wirklichkeit“*

„Wir machen Visionen wahr.“ So lautet das Leitmotiv unserer Forschung am Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK). Unser aller Leben wird dadurch gesünder, sicherer, komfortabler, vielseitiger und nicht zuletzt leichter. Durch die Umsetzung unserer Visionen schaffen wir auch die Voraussetzung für bessere und intelligentere Produkte – ein wichtiger Aspekt für unsere industriellen Partner, um ihren Vorsprung im globalen Wettbewerb zu sichern.

Das IMTEK ist in den letzten Jahren zu einer der weltweit größten akademischen Einrichtungen auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik herangewachsen. Wir bilden Ingenieurinnen und Ingenieure in der Mikrosystemtechnik aus, damit sie diesen visionären Geist weitertragen und lernen, aus Visionen Wirklichkeit zu machen.

Mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen zeigen, woran wir heute arbeiten und was morgen Wirklichkeit sein könnte. Lassen Sie sich von unseren Visionen inspirieren!

Prof. Dr. Roland Zengerle
Institutsleiter IMTEK

www.imtek.uni-freiburg.de

2	◆ We Turn Visions Into Reality
4	◆ Megatrend Miniaturisierung
6	◆ Mikrosystemtechnik
8	◆ Das IMTEK
10	◆ Studium der Mikrosystemtechnik
12	◆ IMTEK-Careers
14	◆ IMTEK-Professuren
16	◆ Anwendungsentwicklung R. Zengerle
18	◆ Aufbau- und Verbindungstechnik J. Wilde
20	◆ Bio- und Nanophotonik A. Rohrbach
22	◆ Biomedizinische Mikrotechnik T. Stieglitz
24	◆ Biomikrotechnik U. Egert
26	◆ Chemie und Physik von Grenzflächen J. Rühle
28	◆ Elektrische Mess- und Prüfverfahren L. Reindl
30	◆ Dünnschicht-Gassensorik J. Wöllenstein
32	◆ Konstruktion von Mikrosystemen P. Woias
34	◆ Materialien der Mikrosystemtechnik O. Paul
36	◆ Mikroaktorik U. Wallrabe
38	◆ Fritz-Hüttinger-Professur für Mikroelektronik Y. Manoli
40	◆ Mikrooptik H. Zappe
42	◆ Nanotechnologie M. Zacharias
44	◆ Optische Systeme K. Buse
46	◆ Optoelektronik U. T. Schwarz
48	◆ Prozesstechnologie H. Reinecke
50	◆ Sensoren G. Urban
52	◆ Simulation J. G. Korvink
54	◆ Verbindungshalbleiter O. Ambacher
56	◆ Werkstoffprozesstechnik T. Hanemann
58	◆ Reinraum Service Center
60	◆ IMTEK-Leuchtturmprojekte
62	◆ IMTEK-Graduiertenkollege
64	◆ IMTEK in der Exzellenzinitiative
66	◆ Bernstein Fokus: Neurotechnologie Freiburg*Tübingen
68	◆ Exzellenzcluster
70	◆ Kompetenznetzwerke
72	◆ Wissenschaftliches Umfeld
74	◆ Anfahrt und Kontakt

MEGATREND MINIATURISIERUNG

Die Produkte, mit denen wir täglich zu tun haben, werden ständig kleiner, leistungsfähiger, intelligenter, vernetzter und selbständiger. Oft sind die Sensoren und Systeme, die in diesen Alltagsgegenständen stecken, jedoch selbst so klein, dass man sie als Anwender gar nicht wahrnimmt. Gerade deswegen haben sie in den meisten Branchen inzwischen Einzug gehalten. Ohne Mikrosystemtechnik sind heute viele Produkteigenschaften in den Bereichen Automobil, Medizin, Computer, Telekommunikation und

Konsumgüterindustrie nicht mehr vorstellbar. So erfassen beispielsweise winzige Sensoren in der Fernbedienung von Nintendo Wii Spielkonsolen selbst die kleinsten Bewegungen der Spieler und übertragen diese in realistische Aktionen im Computer.



Miss IFA mit einer LUMIX von Panasonic
Quelle: Messe Berlin



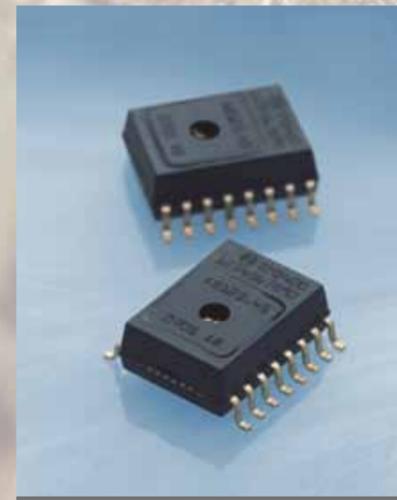
Tragbarer Tintenstrahldrucker
Quelle: Canon



Sony VAIO P-Serie Netbook
Quelle: Sony



Nintendo Wii Spielkonsole
Quelle: Nintendo



Reifendrucksensor
Quelle: Bosch



Mobiler Allrounder: das iPhone
Quelle: Apple

Mit 21 Professorinnen und Professoren sowie mehr als 370 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern hat das IMTEK optimale Voraussetzungen, um die Mikrosystemtechnik in ihrer vollen Bandbreite sowohl in der Forschung als auch der Lehre abzudecken.

Auf den folgenden Seiten möchten wir Ihnen einen ersten Eindruck von unseren Forschungsschwerpunkten vermitteln. Lassen Sie sich inspirieren von der Themenvielfalt. Sprechen Sie uns an, wenn Sie weitere Infos zu den Projekten wünschen.

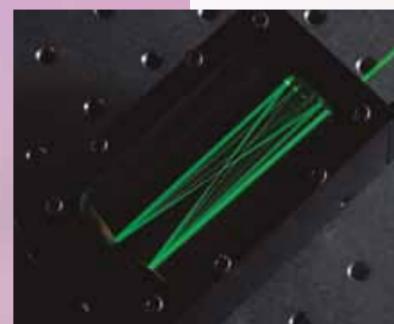
„Visionen werden Wirklichkeit“

- Anwendungsentwicklung
Prof. Dr. Zengerle
- Aufbau- und Verbindungstechnik
Prof. Dr. Wilde
- Bio- und Nanophotonik
Prof. Dr. Rohrbach
- Biomedizinische Mikrotechnik
Prof. Dr. Stieglitz
- Biomikrotechnik
Prof. Dr. Egert
- Chemie und Physik von Grenzflächen
Prof. Dr. Rühle
- Elektrische Mess- und Prüfverfahren
Prof. Dr. Reindl
- Dünnschicht-Gasensorik
Prof. Dr. Wöllenstein
- Konstruktion von Mikrosystemen
Prof. Dr. Woias
- Materialien der Mikrosystemtechnik
Prof. Dr. Paul
- Mikroaktorik
Prof. Dr. Wallrabe
- Fritz-Hüttinger-Professur für Mikroelektronik
Prof. Dr. Manoli
- Mikrooptik
Prof. Dr. Zappe
- Nanotechnologie
Prof. Dr. Zacharias
- Optische Systeme
Prof. Dr. Buse
- Optoelektronik
Prof. Dr. Schwarz
- Prozesstechnologie
Prof. Dr. Reinecke
- Sensoren
Prof. Dr. Urban
- Simulation
Prof. Dr. Korvink
- Verbindungshalbleiter
Prof. Dr. Ambacher
- Werkstoffprozesstechnik
Prof. Dr. Hanemann



Prof. Dr. Jürgen Wöllenstein

Wir entwickeln Sensoren und Sensorsysteme für die kontinuierliche Erfassung von Gasen in Hinblick auf die „drei S“: Stabilität, Selektivität und Sensitivität.



Multireflexionszelle für die optische Gasmesstechnik

Wir verfügen über ein breites Spektrum an Methoden für die Detektion von Gasen. Auf dieser Basis entwickeln wir maßgeschneiderte Gassensoren und integrieren diese in komplexe Mikrosysteme. Ein besonderer Schwerpunkt ist die Entwicklung preisgünstiger und energiesparender Sensorprinzipien, die sich zur Integration in RFID-Tags eignen und sich drahtlos auslesen lassen.

In enger Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik IPM forschen wir auf folgenden Einsatzfeldern:

◆ **Halbleiter-Gassensoren:** Wir entwickeln gassensitive Schichten auf der Basis von nanoskaligen, halbleitenden Metalloxiden im Hinblick auf die „drei S“: Stabilität, Selektivität und Sensitivität.

◆ **Optische Gassensoren:** Die Zusammensetzung von Gasgemischen lässt sich sehr zuverlässig über die spektrale Transmission bestimmen. Setzt man hierbei Filterphotometer ein, so ist diese Methode auch kostengünstig. Die Wellenlängen von 8 bis 12 μm sind für die Gasdetektion von besonderer Bedeutung, da in diesem Bereich der „charakteristische Fingerabdruck“ vieler Gase zu finden ist. Für diesen Bereich entwickeln wir IR-Strahler.

◆ **Low-cost Gaschromatografie:** Die Gas-Chromatografie ermöglicht die Auftrennung von Gasgemischen in deren Einzelbestandteile. Die Nachweisgrenze liegt für flüchtige organische Verbindungen im Bereich weniger ppm bis ppb. Wir setzen diese Methode zur kontinuierlichen Überwachung von Prozessen in der Lebensmittelindustrie ein. Als Detektoren verwenden wir spezielle Gassensor-Arrays, die alle Gase gleichzeitig erfassen und auch

nicht trennbare Gase zusätzlich über einen charakteristischen Fingerabdruck ermitteln können.

◆ **Farbumschlagsmaterialien für die Gasmesstechnik:** Gase können auch durch die Farbänderung eines pH-Indikators erkannt werden. Wir entwickeln hierfür Farbumschlagpolymere, bringen diese auf Wellenleiter auf und regen sie mit dem evaneszenten Feld an. Kommt es zur Farbumschlagreaktion, so kann diese mit einfachen optischen Sensoren ausgelesen werden.

◆ **Drahtlose Sensoren (RFID):** Durch Integration von Sensoren auf RFID-Labels ermöglichen wir die Rückverfolgbarkeit und lückenlose Überwachung von Logistikketten z.B. in den Anwendungsfeldern Pharma, Automotive und Luftfracht. Die RFID-Technologie stellt hierbei hohe Anforderungen: Die Sensoren müssen extrem klein und flexibel sein und dürfen nur minimale Energiemengen verbrauchen. Unter diesen Gesichtspunkten haben wir Feuchte-, Licht-, Temperatur- und Integritätssensoren entwickelt.



Prof. Dr. Peter Woias

Die Natur hat durch die Kombination von mikro- und nanoskalierten Materialien mit hocheffizienten Sensor- und Aktorprinzipien biologische Mikrosysteme mit unübertroffenen Eigenschaften hervorgebracht. Davon inspiriert entwickeln wir energieautonome und hocheffiziente technische Mikrosysteme.



Mikrodosierpumpe



Piezogeneratoren



Mikroreaktoren

PROFESSUR FÜR DIE KONSTRUKTION VON MIKROSISTEMEN

EXPERTEN FÜR DAS DESIGN VON MIKROSISTEMEN

Biologische Mikrosysteme sind energieautark und nutzen hocheffiziente, eng miteinander vernetzte Prinzipien für die Sensorik, Aktorik und Signalverarbeitung. Viele ihrer Effekte beruhen auf der Kombination von mikro- und nanostrukturierten Werkstoffen. Wir nutzen diese Inspirationsquelle für innovatives Design in den Bereichen Mikromechanik und Mikrofluidik. Unsere Anwendungsschwerpunkte liegen dabei in der Mikroenergietechnik, der Medizintechnik und der chemischen Mikroverfahrenstechnik.

◆ **Micro Energy Harvesting:** Mit speziellen Mikrogeneratoren lassen sich kleine Energiemengen direkt aus der Umwelt ernten, um dadurch Sensoren, Aktoren und Elektronikbausteine zu betreiben. Dieses neue Konzept ermöglicht verteilte eingebettete Mikrosysteme ohne Kabel oder Batterie. Die geerntete Energie wird in einem Speicher gesammelt und über ein intelligentes Energiemanagement so rationiert, dass das System seine Aufgabe zuverlässig erfüllen kann. Wir arbeiten an piezoelektrischen Generatoren, die Energie beispielsweise in Fahrzeugen, an Maschinen oder in Tunnelbauwerken aus Vibrationen und Schall gewinnen. Außerdem entwickeln wir thermoelektrische Generatoren und Mikrowärme-Kraftmaschinen, um elektrische Energie aus Temperaturgradienten an Motoren, Gebäudewänden oder in Fertigungsprozessen zu erhalten. Diese Konzepte dienen der Energieversorgung von Sensorsystemen in der Gebäudetechnik, der Maschinenüberwachung oder der Biomedizin.

◆ **Medizintechnik:** In diesem Forschungsschwerpunkt entwickeln wir mikromechanische und mikrofluidische Systeme für den Einsatz in medizinischen Implantaten. Ein Beispiel sind peristaltische Mikropumpen, mit denen implantierbare, hydraulische Muskel etwa zur Behebung der Harninkontinenz möglich werden. Weitere Beispiele sind hochpräzise Mikrodosierpumpen zur Medikamentendosierung sowie implantierbare Dehnungsmessstreifen für die Dauermessung von Puls und Blutdruck. Das Forschungsspektrum reicht hierbei von der Konzeption über das Design bis zur Anwendung kompletter Systeme. Unsere langjährige Erfahrung umfasst Mikrosensoren und Aktoren ebenso wie verbrauchsarme Elektronik und optimierte Fertigungstechnologien.

◆ **Mikroverfahrenstechnik:** Wir nutzen Vorteile der Mikrofluidik und Mikrosystemtechnik wie geringe Innenvolumina, hohe Wärmeleitfähigkeit und kurze Mischzeiten für das Design spezifischer Mikromischer und -reaktoren. Dies ermöglicht vielversprechende Perspektiven für die chemische Synthese neuer Werkstoffe. Unser Forschungsspektrum umfasst konvektive Mikromischer mit kurzen Mischzeiten und hohem Durchsatz, die Herstellung von Nanopartikeln durch Fällung im Mikroreaktor oder Mehrphasensysteme für hoch exotherme Direktfluorierungsreaktionen.



Prof. Dr. Hans Zappe

Unsere mikrooptischen Komponenten und photonischen Mikrosysteme gestalten den Fortschritt in der medizinischen Diagnostik, der Sensorik und der Telekommunikation.

- ◆ Aktive Mikrooptik
- ◆ Mikrooptische Messtechnik
- ◆ Photonische Mikrosysteme
- ◆ Polymerbasierte Mikrooptik
- ◆ Biophotonik
- ◆ Optische Medizintechnik
- ◆ Silizium-MOEMS-Technologie
- ◆ www.imtek.de/micro-optics

PROFESSUR FÜR MIKROOPTIK

EXPERTEN FÜR OPTISCHE MIKROSYSTEME

Unsere Kompetenz liegt auf dem Gebiet der aktiven Mikrooptik. Wir entwickeln durchstimmbare Mikrolinsen und Filter, Mikrolinsen-Arrays und aktuierte Mikrospiegel unter Verwendung von Halbleitertechnologie und verschiedenen Materialien wie beispielsweise Polymeren, Gläsern und Flüssigkeiten. Darüber hinaus können wir mithilfe hochentwickelter Herstellungsverfahren verformbare Polymer-Optiken, dynamisch steuerbare Irisblenden sowie durchstimmbare photonische Kristalle realisieren. Zur effizienten Charakterisierung mikrooptischer Einzelkomponenten und Arrays entwickeln wir zudem neue abbildende und interferometrische Verfahren.

In der Optik und Mikrosystemtechnik liegt unsere Kompetenz vorwiegend in der Erforschung hochentwickelter photonischer Mikrosysteme für die medizinische Diagnostik. Ein Schwerpunkt unserer Arbeit liegt auf der Entwicklung von Systemen, die direkt implantiert oder in Endoskope integriert werden können.

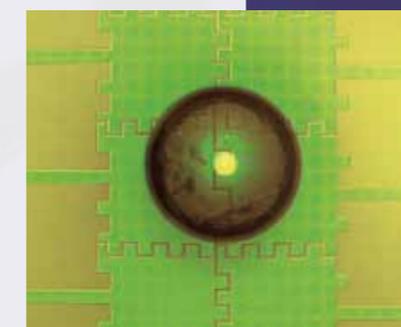
◆ **Endoskopische OCT:** Die optische Kohärenztomographie (OCT) ist ein nichtinvasives optisches Diagnoseverfahren, mit dem man Strukturen unter der Geweboberfläche, beispielsweise im Organinneren, „sehen“ kann. Wir haben ein sogenannte OCT-Mikrosystem entwickelt, das in ein Endoskop integriert werden kann. Durch die Kombination eines zweidimensionalen Scan-Spiegels und einer durchstimmbaren Linse wird über den gesamten Tiefenbereich eine besonders hohe laterale Auflösung erreicht. Das System hat einen Durchmesser von 3 mm und ermöglicht die Analyse von sogenannten Hohlorganen ohne Probenentnahme.

◆ **Implantierbarer Sauerstoffsensor:** Die kontinuierliche Überwachung von Herz-Kreislauf-Parametern wie die Konzentration des Blutsauerstoffs und der Spurengase, dem Puls oder der Gewebepfusion ist von hohem klinischen Interesse. Wir haben eine Vielzahl biokompatibler und implantierbarer optischer Sensoren für die Langzeitmessung dieser Größen hergestellt und deren Funktionalität in klinischen in vivo-Experimenten erfolgreich nachgewiesen. Unsere Sensorsysteme können mehrere Vitalparameter gleichzeitig erfassen. Sie basieren auf der Kombination von Absorptionsmessungen bei mehreren Wellenlängen und neuen Ansätzen zur Blutdruckmessung.

◆ **Durchstimmbare photonische Kristalle:** Ein photonischer Kristall besteht aus periodisch angeordneten dielektrischen Strukturen, die die Ausbreitung von Licht gezielt beeinflussen. Wir verfolgen neue Ansätze, diese Kristalle durchstimmbaar zu machen, d.h. das Raster dieser Strukturen im Betrieb flexibel anzupassen. Dabei setzen wir auf das Quellen von Polymeren, ein Mechanismus, der sich bestens in unsere Kompetenz in der Physik weicher (kondensierter) Materie und ihrer Anwendungen einreicht.



Optischer Laboraufbau



Flüssigkeitslinse

Im Januar 2010 kürte das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF fünf neue Exzellenzcluster zu Gewinnern der zweiten Runde im Exzellenzclusterwettbewerb. Darin werden für die deutsche Industrie zukunftsweisende Themen vorangetrieben. Der sogenannte Spitzencluster MicroTEC Südwest ist einer der Gewinner. Das Budget von rund 80 Mio. Euro wird vom Verein Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg (MST BW), der sich in unmittelbarer Nachbarschaft zum IMTEK befindet, koordiniert. Diese Auszeichnung ist ein eindeutiges Signal dafür, dass die Bedeutung der Mikrosystemtechnik in Deutschland immer größer wird.

Der branchenübergreifende Technologiecluster MicroTEC Südwest umfasst mehr als 350 baden-württembergische Universitäten, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik. Der Spitzenclusterwettbewerb gilt als Analogon zur Exzellenzinitiative der Universitäten, hat aber einen deutlich stärkeren Fokus auf die direkte Anwendbarkeit der Forschungsergebnisse.

*„Visionen werden
Wirklichkeit“*

