

# **Mikrosystemtechnik**

Prof. Dr.-Ing. André Zimmermann

Institut für Mikrointegration IFM

# Persönliche Vorstellung

- André Zimmermann, IFM Universität Stuttgart & Hahn-Schickard
- Aufbau- und Verbindungstechnik in der Mikro- und Mikrosystemtechnik
  - Senior Manager Electronic Packaging bei der Robert Bosch GmbH
  - Arbeitskreisleiter Aufbau- und Verbindungstechnik für die Mechatronik am MPI für Metallforschung (Aktorik, Adaptronik)
- Zuverlässigkeit von Mikrosystemen
  - Modellierung, Simulation und Zuverlässigkeit: Zuverlässigkeit von Werkstoffen aller Klassen (TU Darmstadt, NIST, University of Washington, MPI für Metallforschung)
  - Zuverlässigkeit elektronischer Baugruppen (Robert Bosch GmbH)



## Persönliches Motto:

**„Reliable and Sustainable Technology for a Better Life“**

# Fachübersichtsvortrag Mikrosystemtechnik

Zwei Institute in einem Haus:

Von der Forschung bis zum Transfer in die Industrie.

**Institut für  
Mikrointegration**



[www.ifm.uni-stuttgart.de](http://www.ifm.uni-stuttgart.de)

Hahn-Schickard



[www.Hahn-Schickard.de](http://www.Hahn-Schickard.de)

Forschungsgebiet:

**Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme (AVT)**

## Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung Forschung, Entwicklung und Fertigung von kompletten Mikrosystemen

Angewandte Forschung, Entwicklung + Fertigung für die Industrie

- Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2015 bzw. 13485:2016
- Teil der Innovationsallianz Baden-Württemberg



Institut für Mikraufbautechnik  
Stuttgart



Institut für Mikro- und Informationstechnik  
Villingen-Schwenningen



Institut für Mikroanalyzesysteme  
Freiburg und Ulm

# Definition Mikrotechnik und Mikrosystemtechnik

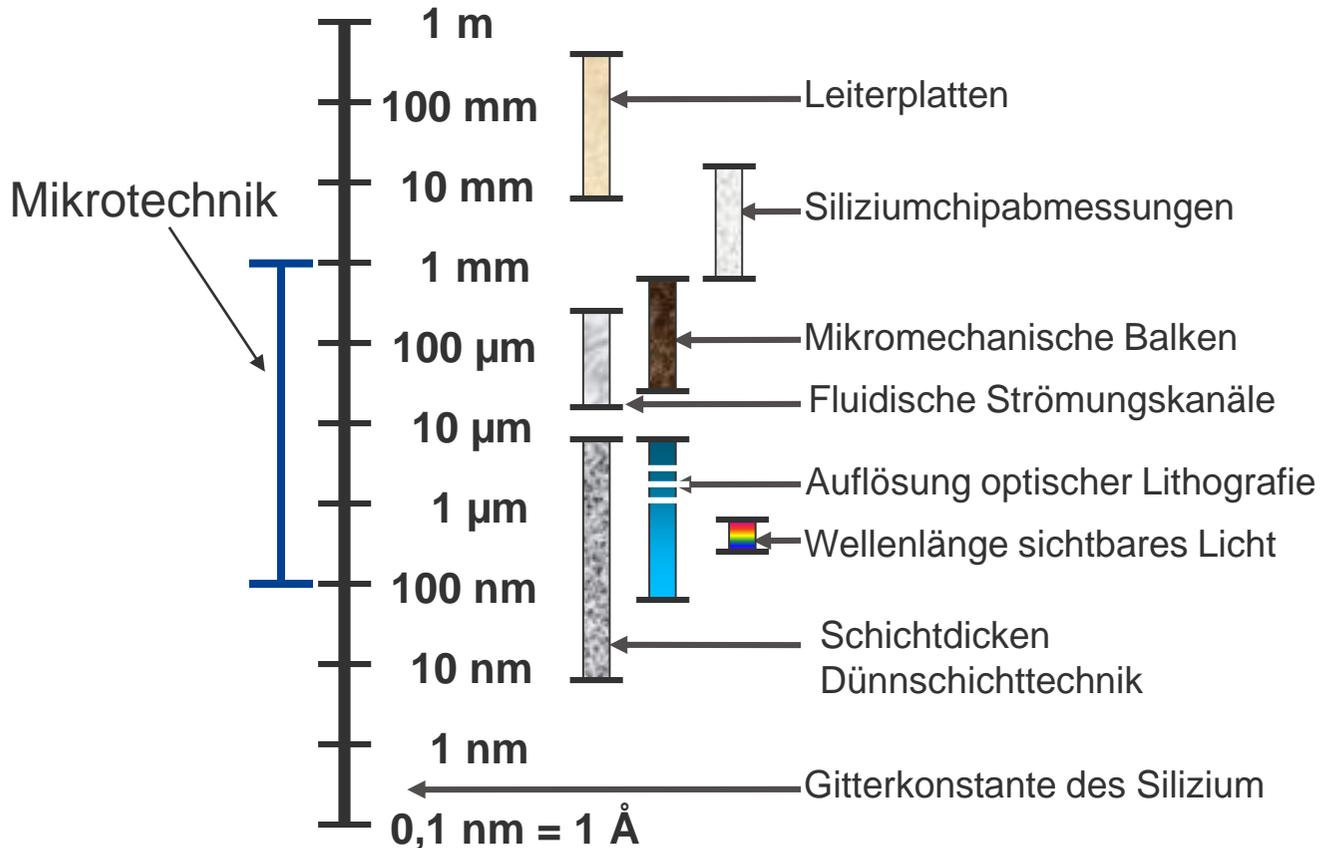
Wofür steht der Begriff „Mikrotechnik“?

- Die **Mikrotechnik** (auch *Mikrostrukturtechnik*) befasst sich mit Verfahren, die zur Herstellung von Körpern und geometrischen Strukturen mit Dimensionen im Mikrometerbereich (0,1–1000  $\mu\text{m}$ ) angewandt werden. Bei Strukturgrößen unter 100 Nanometer redet man von Nanotechnik. Die Mikrotechnik gliedert sich in wenige große Teilbereiche, die sich zum Teil in Hinsicht auf die gestellten Fragestellungen und Methoden überschneiden, dazu gehören vor allem die Mikroelektronik und die Mikrosystemtechnik sowie die Mikroverfahrenstechnik.
- Die **Mikrosystemtechnik** (MST, engl. *micro systems technology*), selten auch *Mikrosystemtechnologie*, ist ein Teilbereich der Mikrotechnik und beschäftigt sich mit der Entwicklung und Herstellung von Mikrosystemen. Dabei werden beispielsweise mikromechanische oder mikrooptische Bauelemente mit mikroelektronischen Schaltungen in einem komplexen System kombiniert und integriert. In Mikrosystemen wirken Sensoren, Aktoren und Datenverarbeitung zusammen.

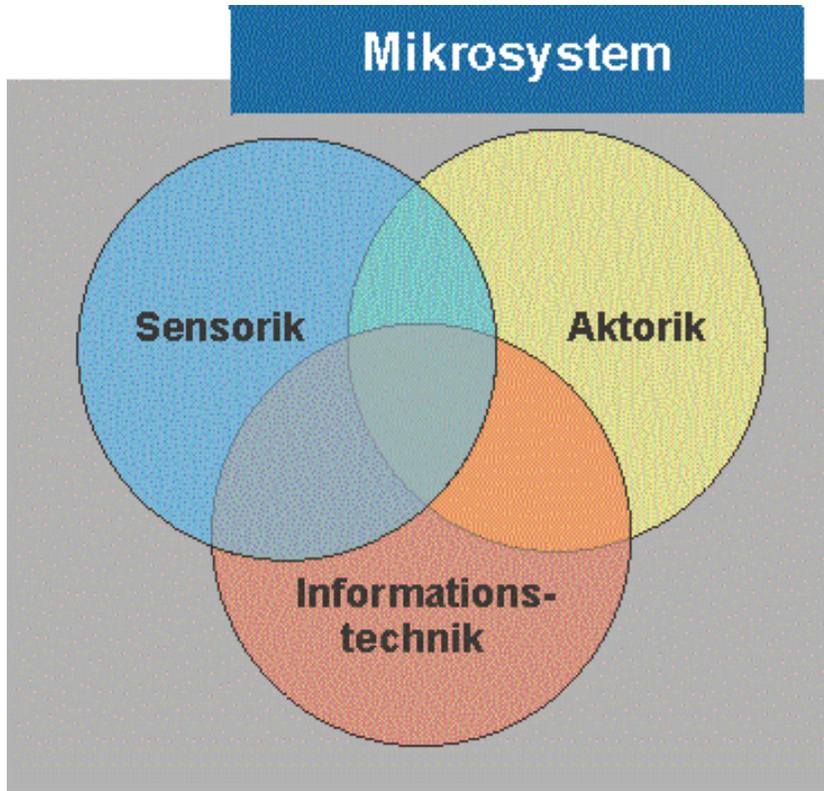
Quelle: Wikipedia

# Skalierung mikrotechnischer Strukturen

In welchem Größenbereich finden wir die Mikrotechnik?



# Was ist Mikrosystemtechnik?



Die Baugruppen und Bauelemente von Mikrosystemen haben Abmessungen im Mikrometerbereich!

# Sensors Everywhere

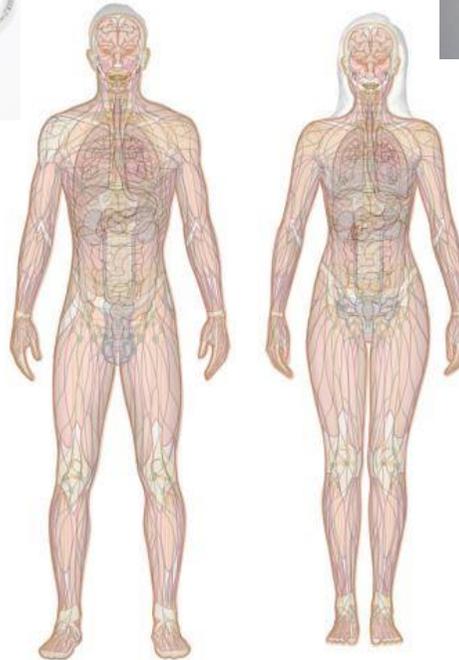
## Sensoren im / am Körper



Cochlea-Implantat



Retina-Implantat



Herzschrittmacher



kabelloses Endoskop



implantierbarer Blutdrucksensor



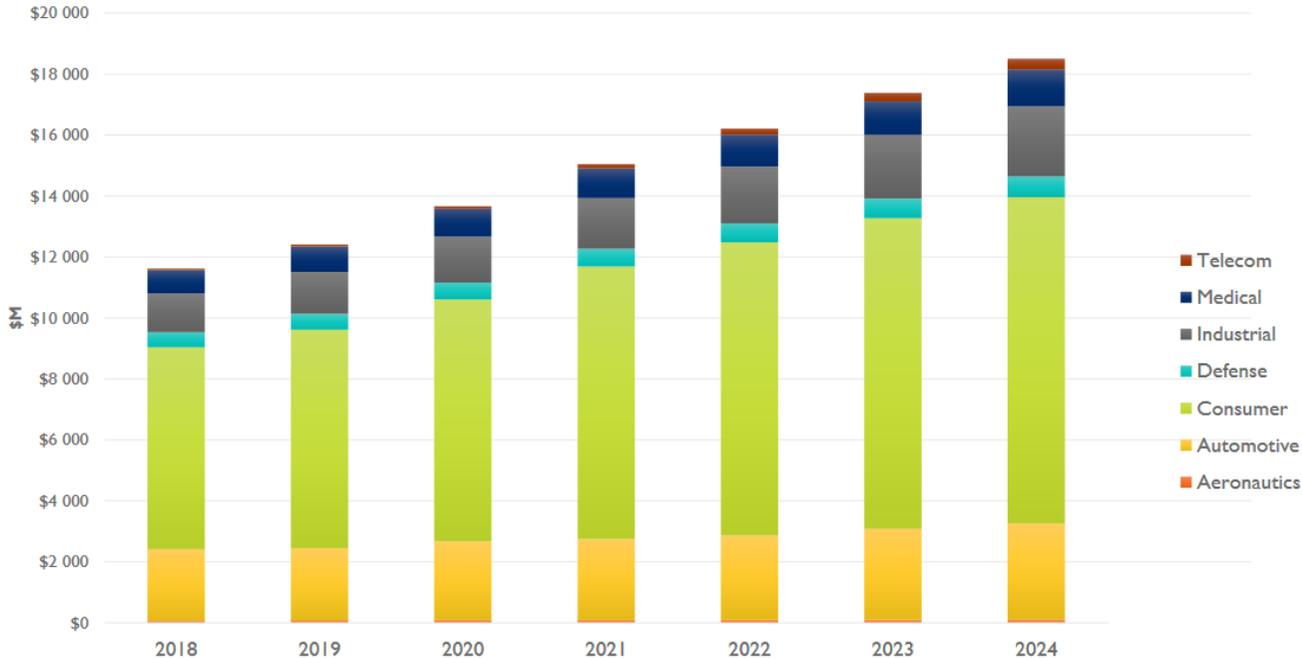
intelligente Hüftprothese

Quelle: Biotronik; Cochlear; RWTH Aachen; Giving Imaging; Fraunhofer

# Marktprognose für MEMS

The MEMS market is expected to grow from \$11.6B in 2018 to \$18.5B in 2024, at +8.2% CAGR.

MEMS Revenue forecast by application  
©2019 Yole Développement



# Mikrotechnische Fertigungstechnologien

## „Mikroelektronik-basierte Verfahren“

- Halbleiterherstellung
- Dünnschichtabscheidung
- Lithographie
- Ätztechniken (nass, trocken)
- Oberflächenmikromechanik
- Bulk-Mikromechanik
- Dickfilmtechnologie
- Aufbau- und Verbindungstechnik
- Leiterplattentechnologie
- Gehäusetechnik

## „Neue Verfahren“

- LIGA-Technologie
- Laser-Materialbearbeitung
- Stereolithographie

## „Klassische Verfahren“

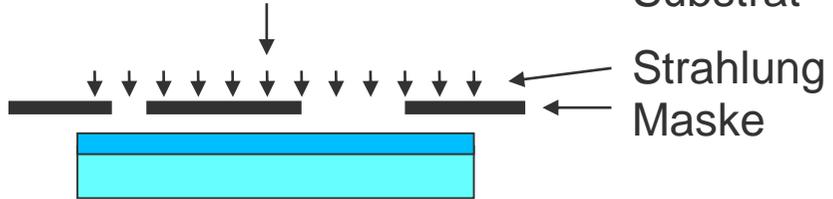
- Präzisionsspritzguss
- Mikroprägen
- Spanende Präzisionsbearbeitung
- Galvanik

# Ablauf der Lithographie

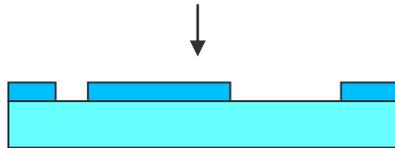
Resist aufbringen



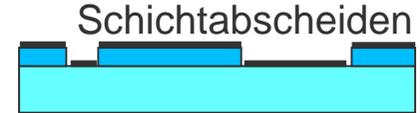
Belichtung



Entwicklung



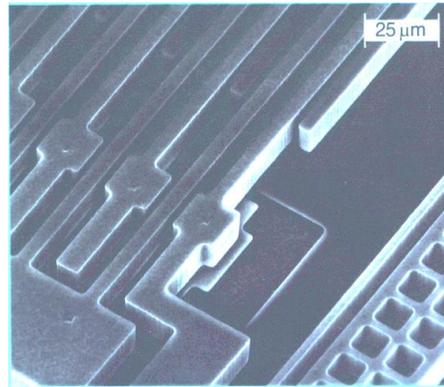
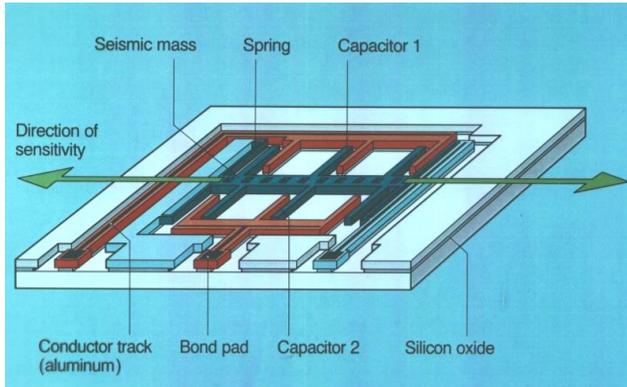
Strukturübertragung



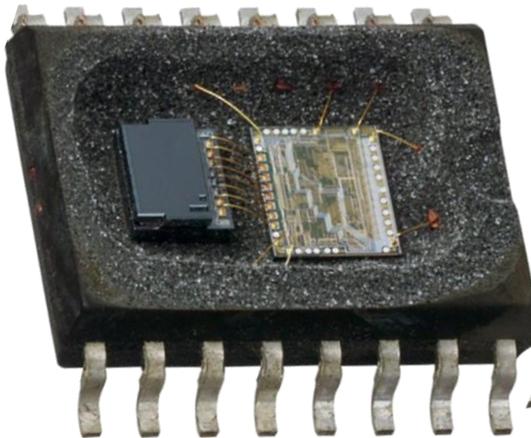
Resist entfernen



# Beschleunigungssensor - erstes Mikrosystem im Auto



- Airbag / Aufprall
- Neigung
- Diebstahlwarnung
- ...

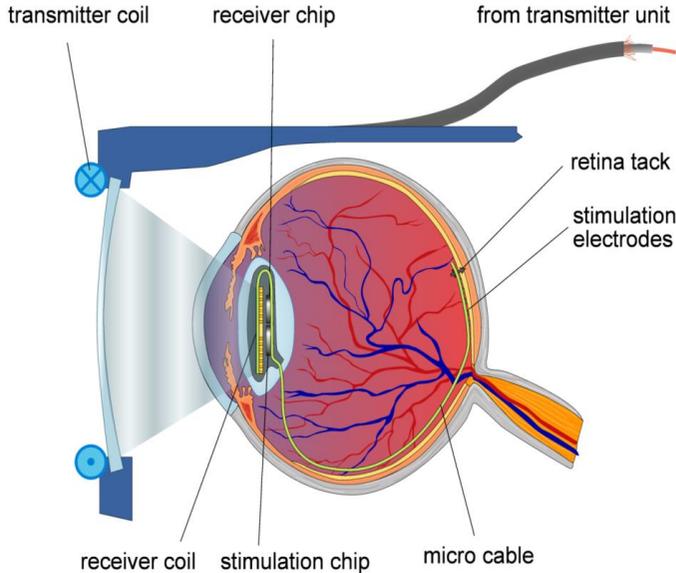


Aufteilung der Produktkosten:

- 1/4 Sensorchip
- 1/4 Elektronikchip
- 1/4 AVT/Gehäuse
- 1/4 Test

# Retina Implantat

## The Epiret-3-System: Schematic Drawing



**Implant folding and encapsulation**



**After folding of the front part and encapsulation with silicone**

Quelle: IWE, RWTH Aachen

# AVT als Schlüsseltechnologie für neue Produkte

| Die AVT muss alle Bauteile: | Die AVT ist verantwortlich für:  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| mechanisch fixieren         | Baugröße und Gewicht             |
| elektrisch kontaktieren     | Systemperformance / Qualität     |
| entwärmen                   | Zuverlässigkeit und Lebensdauer  |
| vor der Umgebung schützen   | wirtschaftliche Fertigung        |
| medientechnisch anbinden    | System-/Produktkosten (25...75%) |
| und ...                     | und ...                          |

**Heute ist die AVT der wichtigste Treiber der Miniaturisierung.**

## Vorlesungen des IFM im Bachelor, Master des Stuttgarter Maschinenbau

| Typ    | Name  | Dozent                               | LP | Sem.                     |
|--------|---|--------------------------------------|----|--------------------------|
| KB, PM | Grundlagen der Mikro- und Mikrosystemtechnik                                  | A. Zimmermann<br>H. Rühl             | 6  | WS                       |
| PM, KM | Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme<br>– Sensor- und Systemaufbau | A. Zimmermann<br>P. Mack, R. Molitor | 6  | Teil 1: WS<br>Teil 2: SS |
| KM, EM | Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosysteme<br>– Technologien             | A. Zimmermann<br>R. Vornweg          | 6  | SS                       |
| EM     | Elektronische Bauelemente in der<br>Mikrosystemtechnik                        | T. Günther                           | 3  | WS                       |
| EM     | Fluidische Mikrosysteme   | T. Günther                           | 3  | SS                       |
| EM     | Optische Mikrosysteme   | T. Günther                           | 3  | SS                       |
| SQ     | Technology Entrepreneurship in Micro Integration                              | A. Brem, F. Giones<br>A. Zimmermann  | 3  | WS                       |

KB: Kompetenzfeld im Bachelor

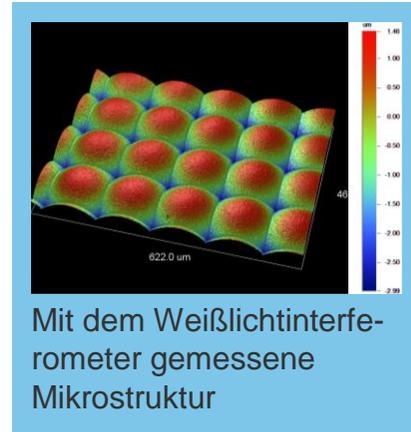
xM: Pflicht, Kern- oder Ergänzungsmodul im Master

SQ: Schlüsselqualifikation

# Grundlagen der Mikro- und Mikrosystemtechnik

## Kenntnisse zu Werkstoffen, Fertigungsverfahren, Bauteilen

- Silizium und Quarz
- Dünne Schichten, PVD- und CVD-Technik, Thermische Oxidation
- Lithografie und Maskentechnik
- Ätztechniken zur Strukturierung, nasschemisch, Plasma, IE, RIE
- LIGA-Techniken
- Mikrotechnische Bauteile aus Kunststoffen (z.B. Mikrospritzguss)
- Mikrobearbeitung von Metallen (z.B. spanabhebende Verfahren)
- Messmethoden der Mikrotechnik; typische Prozessfolgen der Mikrotechnik.
- Reinraumtechnik, Vakuumtechnik



**Angebot:** Vorlesung, vertiefende Übungen, praktischer Teil am Institut

**Beginn: Dienstag, den 18.10.2022 um 8:00 Uhr**

# AVT für Mikrosysteme - Sensor- und Systemaufbau

## Kenntnisse zu Aufbaukonzepten für Mikrosensoren und Mikrosysteme (Teil 1 im WS, Teil 2 im SS)

- Übersicht zu Sensoren und Systemen wichtiger Branchen
- Anforderungen an die AVT der Sensoren und Mikrosysteme
- Zusammenfassung der wichtigsten Prozesse der Siliziumtechnologie
- Eigenschaften ausgewählter wichtiger Sensoren und Aktoren
- AVT-Konzepte der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Zuverlässigkeit und Ausfälle von Sensoren und Systemen
- Funktionstests, Burn-In, Umwelttests
- Aspekte der Fertigungstechnik bei großen und kleinen Stückzahlen



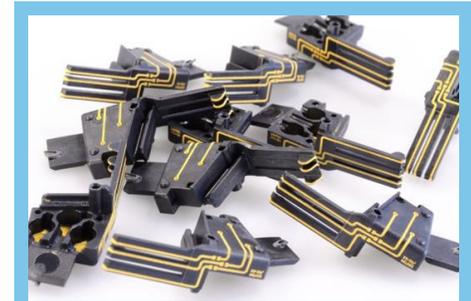
**Angebot:** Vorlesung, vertiefende Übungen, Exkursion und praktischer Teil am Institut

**Beginn: Donnerstag, den 20.10.2022 um 8:00 Uhr**

# AVT für Mikrosysteme - Technologien

## Kenntnisse zu Technologien der Aufbau- und Verbindungstechnik für Mikrosensoren und Mikrosysteme (im SS)

- Einführung in die Aufgabe der AVT
- Leiterplattentechnik
- Dickschichttechnik
- Molded Interconnect Devices (räumliche Schaltungsträger)
- Gehäuse-Arten und Typen
- Nacktchipmontage
- Löten und Kleben
- (Digitale) Drucktechnologien
- Fügen von Kunststoffbauteilen



Räumliche Schaltungsträger für Hörgeräte

**Angebot:** Vorlesung, vertiefende Übungen und Exkursion

# Persönliche Vorstellung

- Thomas Günther, IFM Universität Stuttgart
- Mikrostrukturierung
  - Universität Stuttgart – Akad. Rat Institut für Mikointegration
  - Hahn-Schickard e.V. - Leiter der Präzisions- und Kunststofftechnik
  - UNSW/Cochlear Ltd. – Prozessentwickler und Mikrostrukturierung
- Biomedizinische Aufbau- und Verbindungstechnik
  - Bionic Vision Australia – Mikointegration und hermetische Verkapselung
  - UNSW/USYD – Promotion „Miniaturisierung neuroprotethischer Implantate“
  - Victrom Human Bionics – Montagespritzguss für Neuroimplantate
  - IMTEK – Diplom Mikrosystemtechnik/Biomedizintechnik



# Elektronische Bauelemente in der Mikrosystemtechnik

## Kenntnisse über elektronische Bauelemente, insbesondere für Anwendungen in der Mikrosystemtechnik

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

**Angebot:** Vorlesung



Testsubtrat mit gelöteten Bauelementen

**Beginn: Donnerstag, den 20.10.2022 um 9:45 Uhr**

# Fluidische Mikrosysteme (im SS)

## Funktion, Herstellung Komponenten, Systemaufbau

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



Diagnostischer Testträger für zentrifugale Mikrofluidik

**Angebot:** Vorlesung

# Optische Mikrosysteme (im SS)

## Funktion, Herstellung Komponenten, Systemaufbau

- Grundlagen zur Physik des Lichts, elektromagnetische Wellen, Materialien, Licht an der optischen Grenzfläche
- Mikrosysteme auf Basis unterschiedlicher Wirkprinzipien, insbesondere Reflexionsoptik, Refraktivoptik, Diffraktivoptik
- Systeme mit Wellenleitern, Faseroptik und aktive Mikrooptiken
- Fertigungstechnologien für mikrotechnische optische Komponenten



Drehgeber als Beispiel für ein optisches Mikrosystem

**Angebot:** Vorlesung

# Studien- und Masterarbeiten in den Forschungsgebieten von IFM und Hahn-Schickard

- Aufbau- und Verbindungstechnik (Design, Technologie)
- 3D-Schaltungsträger, Mikrospritzgießtechnik
- 3D-Mikrobearbeitung (Laser, Ultrapräzision, ...)
- Sensoren (Drehwinkel, Neigungswinkel, Druck, ...)
- Aktoren (Mikrodosierer, Mikroventile, ...)
- Modellierung und Zuverlässigkeit von Mikrosystemen
- Mess- und Prüfverfahren der Mikrosystemtechnik
- Drucken von funktionalen Mikrostrukturen (2D - 2,5D)
- Additive Fertigung (3D)



Reinraum von IFM und  
Hahn-Schickard



[www.ifm.uni-stuttgart.de](http://www.ifm.uni-stuttgart.de)



[www.Hahn-Schickard.de](http://www.Hahn-Schickard.de)