

# Automatisierungstechnik und Robotik (AR)

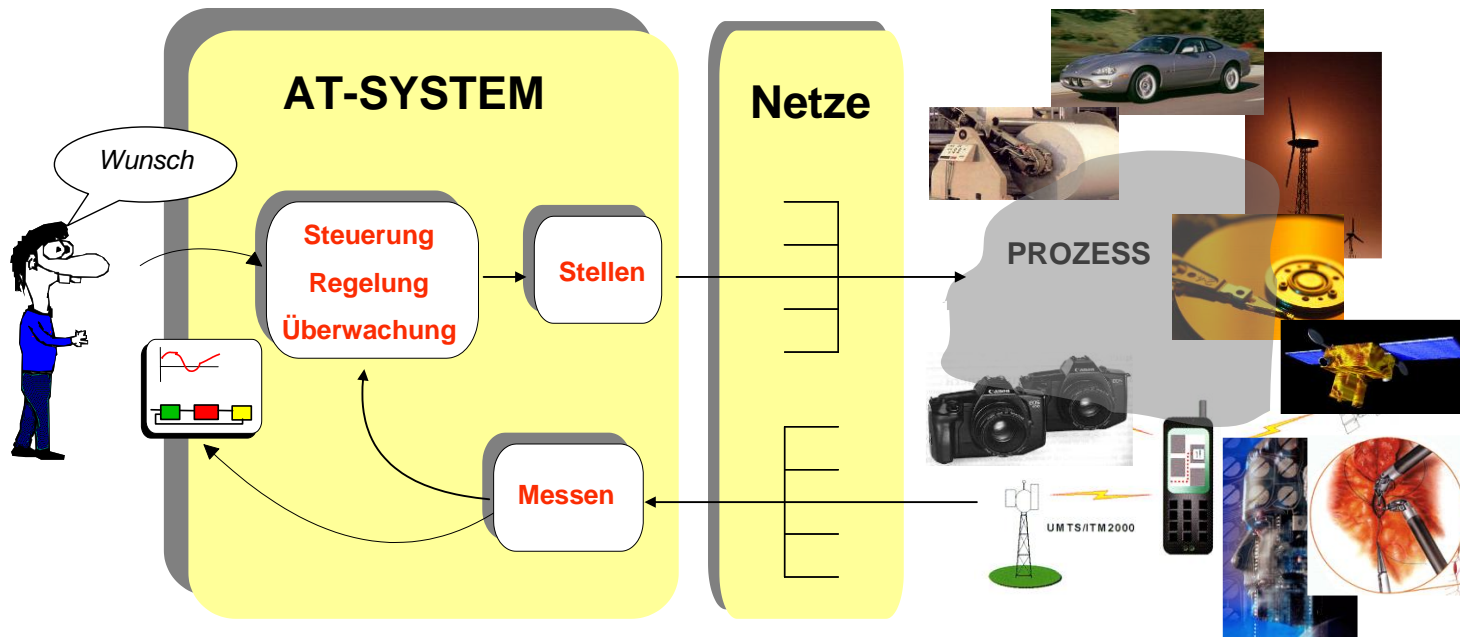
Vorstellung der Studienrichtung

Prof. K. Röbenack / Prof. K. Janschek / Prof. J. Czarske / Prof. L. Urbas

# Automatisierungstechnik und Robotik (AR) Gegenstand der Studienrichtung

Entwicklung von **Methoden** und **Technologien** für die **Automatisierung komplexer, nichtlinearer, heterogener Systeme** im Hinblick auf

- *interaktive* Bedienung / Leitung,
- *selbsttätige* Steuerung / Regelung / Überwachung / Sicherung.

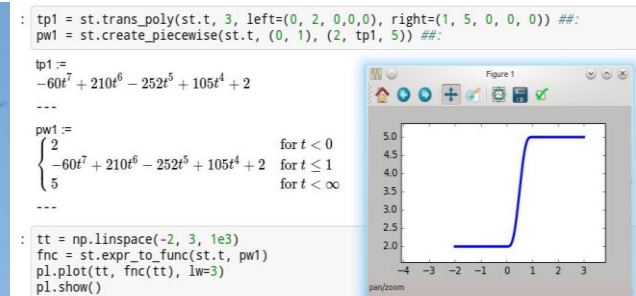
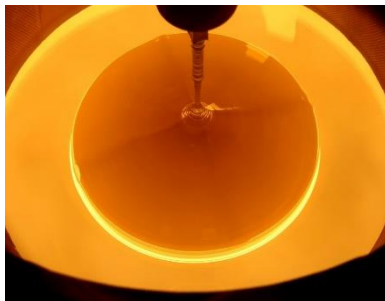


# Automatisierungstechnik und Robotik

## Was zeichnet das Fachgebiet aus?

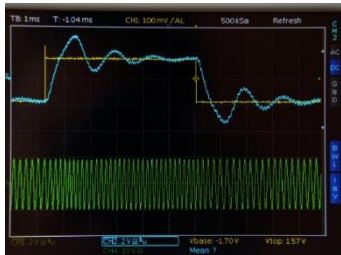
### Die Automatisierungstechnik

- ist eine unerlässliche, häufig „**versteckte Technologie**“ (arbeitet im Hintergrund ohne weiteres menschliches Zutun),
- ist eine **Schlüsseltechnologie** für viele Anwendungen,
- besitzt ein extrem **breites Anwendungsfeld** in der Produktion & Fertigung, der autonomen Navigation, der Medizintechnik und auf vielen anderen Gebieten,
- ist stark **interdisziplinär** ausgerichtet (Nutzung von Methoden aus Naturwissenschaft – Ingenieurpraxis – Informatik – Betriebswirtschaft – Mathematik).

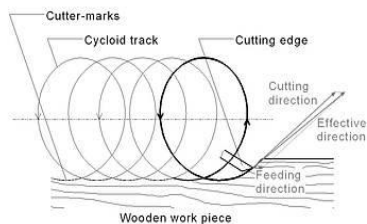


# Die Forschungsprofile der Studienrichtung spiegeln die Vielfalt des Fachgebietes wider

## Regelung, Steuerung



## Modellbildung, Systemanalyse



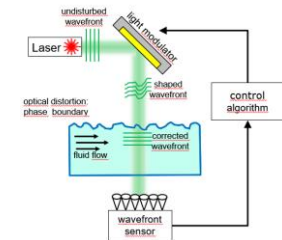
## Automatisierter Systementwurf

## Komplexe heterogene Systeme

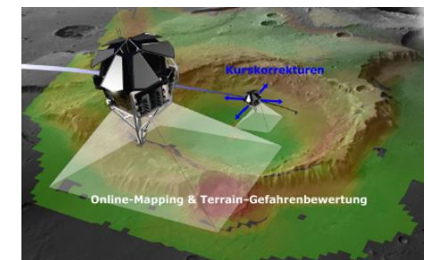
Mechatronik, Robotik, Raumfahrt, Verfahrenstechnik, Fertigungstechnik, Energie, Gesundheit, Verkehr



## Messsysteme, Überwachung



## Mensch-Maschine Interaktion



## Intelligente Perzeption

# Anforderungen an AR-Ingenieure

## Interdisziplinäres Projekt- und Lösungsgeschäft

### Aufgaben

Charakterisierung, Modellierung, Planung, Realisierung und Anwendung von AR für komplexe technische Systeme

### Beispiel Schweißroboter

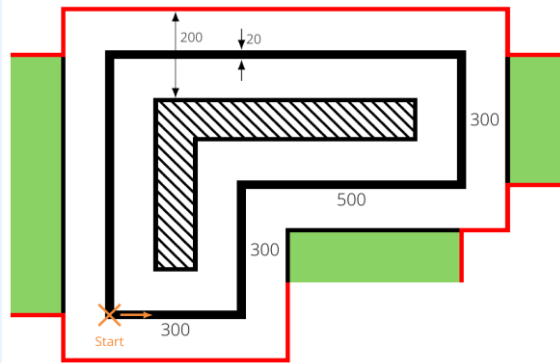
- **Regelungs- und Steuerungstheorie:** Modellbildung, Algorithmen zur Regelung und Steuerung
- **Automatisierungstechnik:** Bahnplanung, Trajektorienerzeugung, Datenfusion
- **Mess- und Sensorsystemtechnik:** Smarte adaptive Sensorsysteme, Echtzeitdatenverarbeitung
- **Prozessleittechnik:** Informationstechnische Modellierung und Einbettung in die digitale Anlage, Mensch-Maschine-Kommunikation



# Beispiel einer interdisziplinären Lehrveranstaltung

## Wiss. Arbeiten in der AR Grundlagen (5. Sem, Teamarbeit)

Entwicklung von Algorithmen zur autonomen Navigation eines Fahrzeuges einschließlich Einparkassistentz



**Parcours mit Parklücken**

### Anforderungen an den Roboter:

- Straßenverlauf folgen
- passende Parklücken finden
- Parkvorgang autonom durchführen
- Ausparken / zuverlässig Anhalten



**Tablet als Bedienschnittstelle**

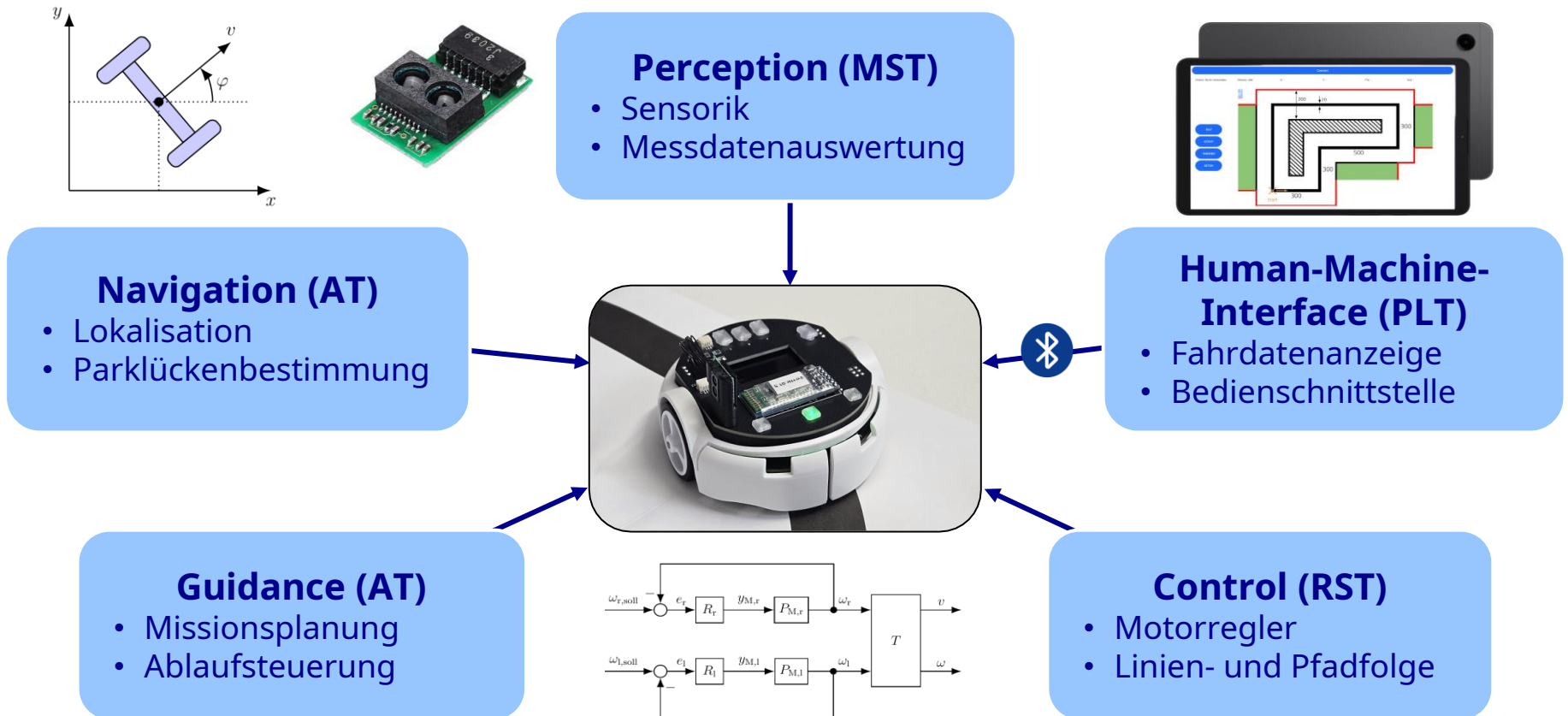


**Mobiler Einachsroboter**

# LV Wissenschaftliches Arbeiten in der AR Grundlagen

## Interdisziplinäre Teamarbeit im 5. Semester

### Mobiler Roboter mit erweitertem Parkassistenten (Parcoursfolge, Parklückendetektion, Einparkautomatik)





# Professur für Automatisierungstechnik

## Prof. Dr. techn. Klaus Janschek



# Forschungsfelder des Lehrstuhles AT

## Robotics - Mechatronics – Systems Design – Industrial Automation

### Systems Design

Model-based Systems Engineering  
 Dependability Engineering  
 Safety Engineering for Autonomous Driving  
 Modeling & Simulation

EU  
 ESA  
 DFG  
 Siemens



### Guidance Navigation Control

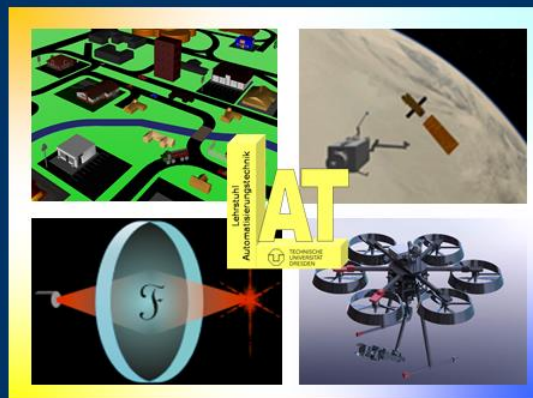
DFG  
 DLR  
 ESA  
 EU  
 Airbus D&S

Image-based Navigation / SLAM  
 Motion and trajectory planning  
 Aerial manipulation  
 Spacecraft Docking HIL Simulation  
 Control architectures

### Information-based Automation

Internet Technologies  
 Model-based Technologies  
 Human-Machine Interfaces

DFG  
 AiF  
 BMBF



### Industrial Automation

### Robotics

### Optical Computers Opto-Mechatronics

Control of MEMS-Micromirrors  
 Wavefront Shaping  
 Optical Fourier Processors  
 Optical Correlators  
 Smart Imaging Systems  
 Surface Inspection

ESA  
 AiF  
 FhG

### Mechatronics

# Lehrangebote im Hauptstudium

LV Modellbildung & Simulation (PF\*)

## Systems Design

LV Ereignisdiskrete Systeme (PF\*)

Engineering  
Dependability Engineering  
Safety Engineering for Autonomous Driving  
Modeling & Simulation



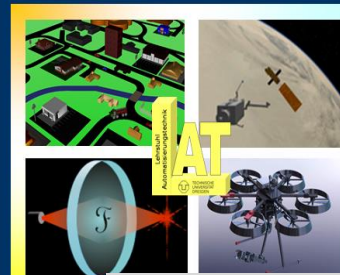
LV Systementwurf

## Information-based Automation

Internet Technologies  
Model-based Technologies  
Processes

LV Industrielle Automatisierungst.

## Industrial Automation



LV Bahn- und Lageregelung

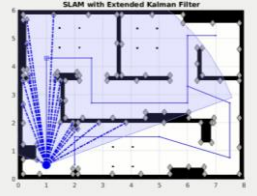
Guidance  
Navigation  
Control



LV Steuerung von Manipulatoren

LV Mobile Robot Control

Control architectures



## Robotics

LV Wiss. Arbeiten (Grundlagen) – Einpark-assistent:

*Lokalisierung, Bewegungsplanung*

## Optical Computers

Control  
Wavefront Shaping  
Optical Fourier Processors  
Optical Interferometers  
Optical Computing Systems  
Optical Interception

## Mechatronics

LV Wiss. Arbeiten (Vertiefung) zu aktuellen  
Forschungsthemen, z.B. *Künstliche Intelligenz,  
Bildverarbeitung*

LV Mechatronische Systeme



# Guidance-Navigation-Control Projects

2000 - 2004  
Satellite Visual  
Orbital Navigation

2006 - 2009  
Geostationary Image  
Navigation

2004 - 2010  
Optical Flow Landing  
Navigation

2007 - 2012  
Bio Inspired Visual  
Navigation

2012 - 2015  
6-DOF Model-predictive SPLAM  
with UBB Uncertainties

2019 - 2021  
Asteroid Exploration  
Vision-based Navigation

2008 - 2017  
Visual Rendezvous Navigation  
RV-SLAM + 3D Recon-  
struction

2013 - 2015  
Multi-Robot 3D Exploration

2022-2024  
Asteroid Exploration with  
AI- Artificial Intelligence

2012 - 2014  
S3ARV

2008 - 2017  
Visual Rendezvous Navigation  
RV-SLAM + 3D Recon-  
struction

2012 - 2015  
6-DOF Model-predictive SPLAM  
with UBB Uncertainties

2019 - 2021  
Asteroid Exploration  
Vision-based Navigation

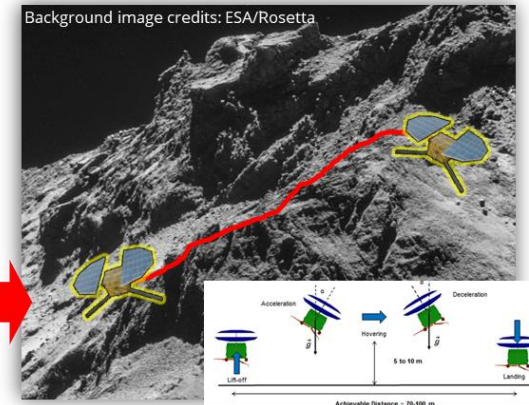
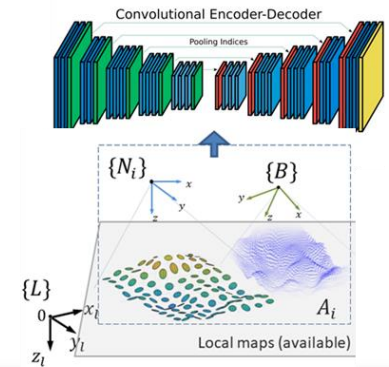
2022-2024  
Asteroid Exploration with  
AI- Artificial Intelligence

task objectives → **Guidance** → **Control** → Vehicle Dynamics & Kinematics → vehicle state

pose + map → **Navigation** → Perception → environment → Vehicle Dynamics & Kinematics

**ASTRONE** (circled in red) ← **New!**

## Semantic LiDAR with Machine Learning

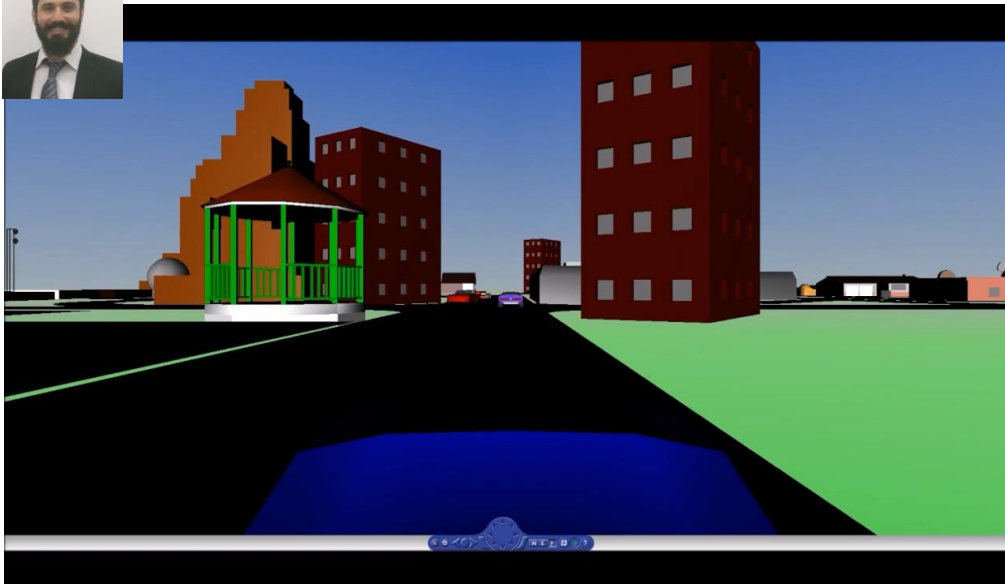


# Autonomous Driving Safe Traffic Management

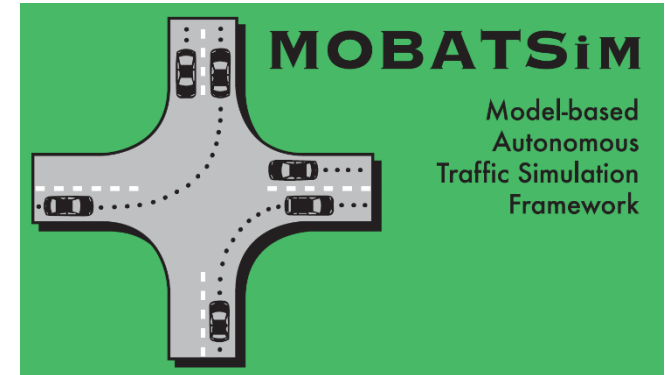
MOBATSIM: Model-based Autonomous Traffic Simulation Framework for the Safety Analysis of Autonomous and Connected Vehicles



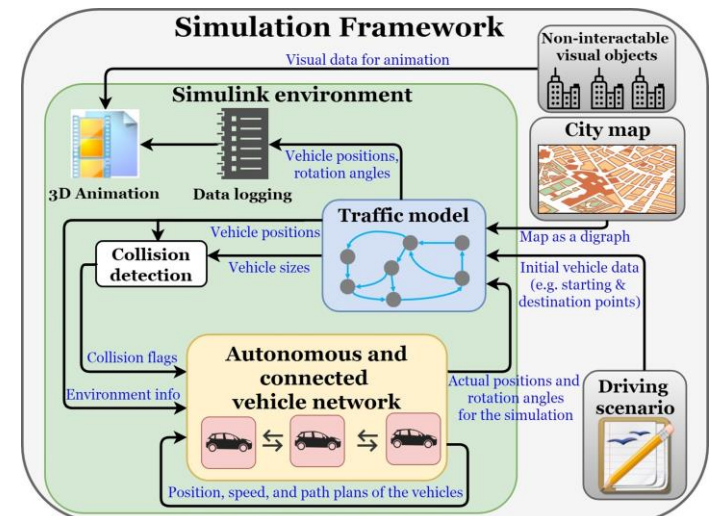
M.Sc. Mustafa Saraoğlu



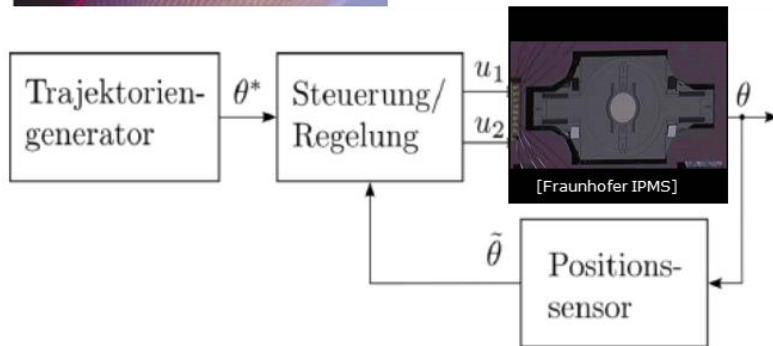
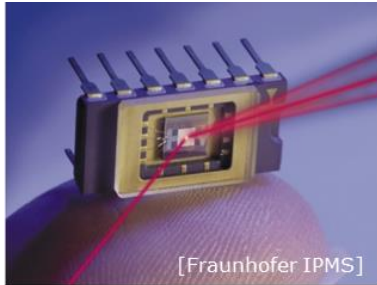
<https://youtu.be/rG8B0ip4dpk>



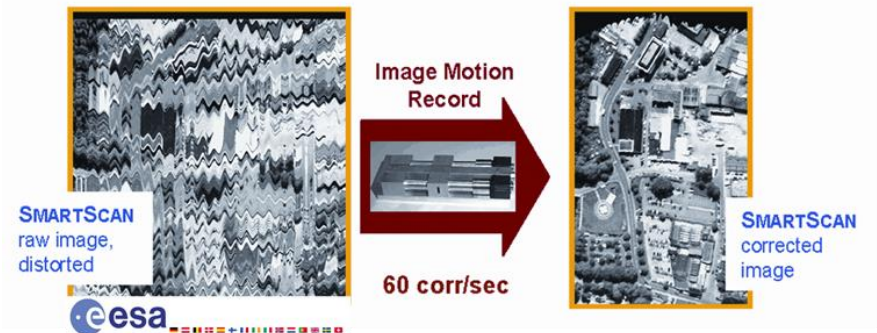
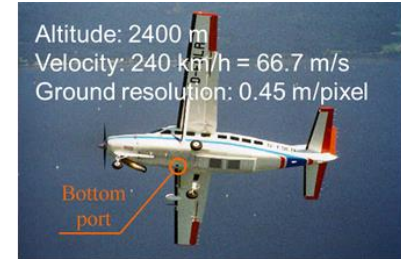
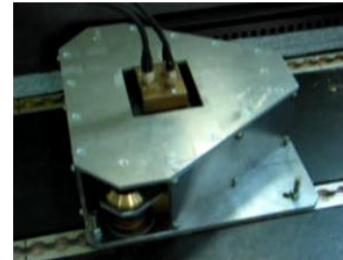
MATLAB & SIMULINK



# Control of MEMS Laser Scanners (Lidar)



# Smart Imaging Systems Optoelectronic Image Correction



**Optical Computers  
Opto-Mechatronics**

Control of MEMS-Micromirrors  
Wavefront Shaping  
Optical Fourier Processors  
Optical Correlators  
Smart Imaging Systems  
Surface Inspection

**Mechatronics**

# Forschungsschwerpunkt Multimodale Benutzungsschnittstellen

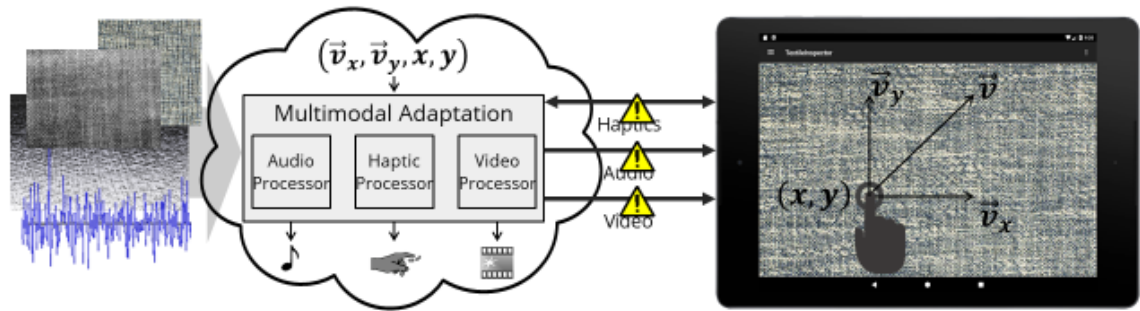
## Information-based Automation

DFG  
AiF BMBF

Internet Technologies  
Model-based Technologies  
Human-Machine Interfaces

## Industrial Automation

## Multimodal Inspection of Textile Surfaces



The 5G Lab Story on 5G Applications

### Forschungsprojekt Multimodale Inspektion (haptisch, visuell, auditiv) von Produktoberflächen

- Ziel: räumlich entfernte Inspektion textiler Produktoberflächen über das Internet
- LS-AT: Entwicklung der Datenübertragung & Methodenentwicklung für die multimodale Interaktion mittels Geräten aus dem Consumerbereich

Input modality	Output modality	Max. latency
haptic	haptic	36ms [1]
haptic	auditory	24ms [2]
haptic	visual	30ms [3]



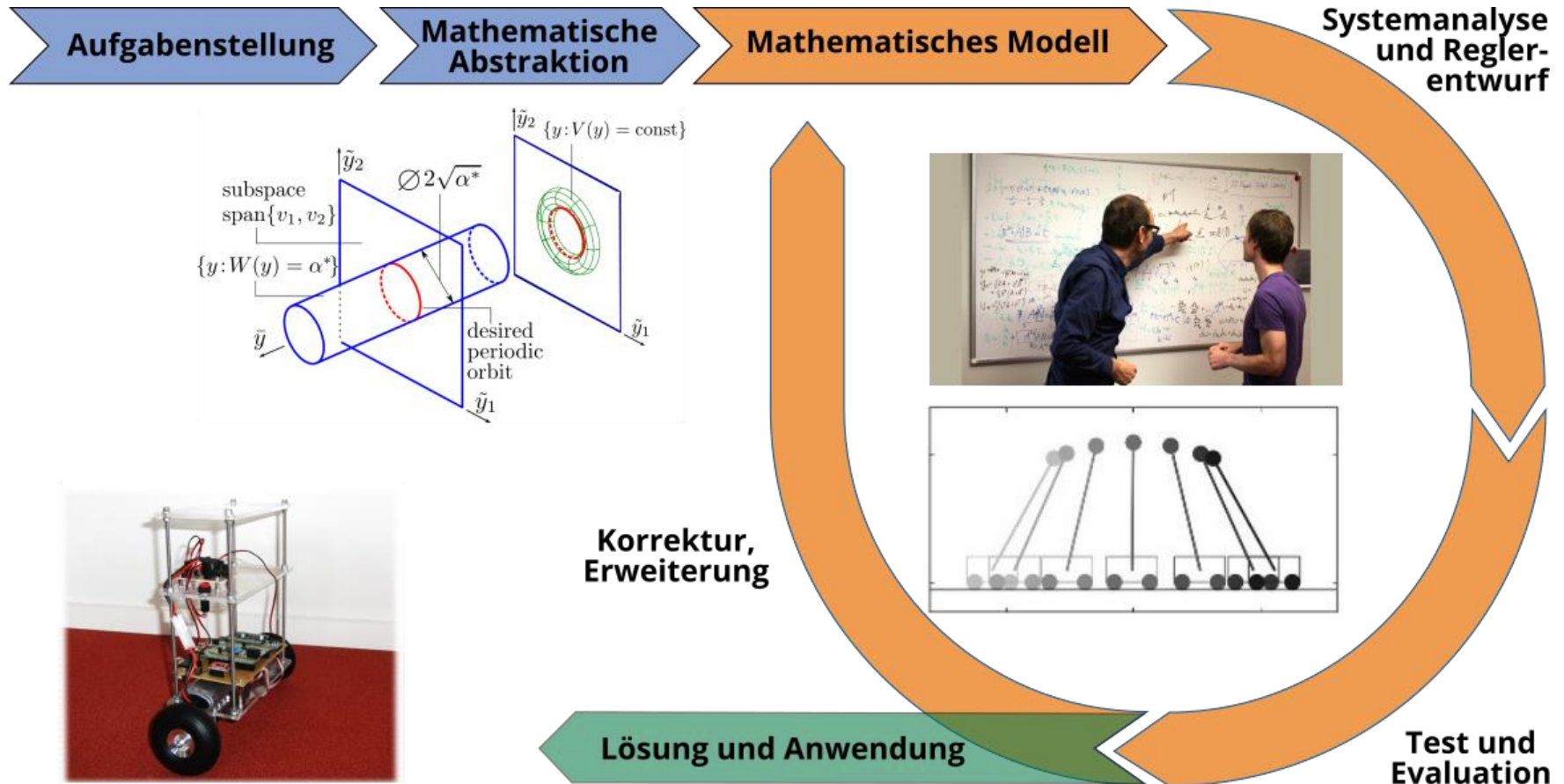
# Professur Regelungs- und Steuerungstheorie

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Math.  
Klaus Röbenack



# Betätigungsfeld der Professur:

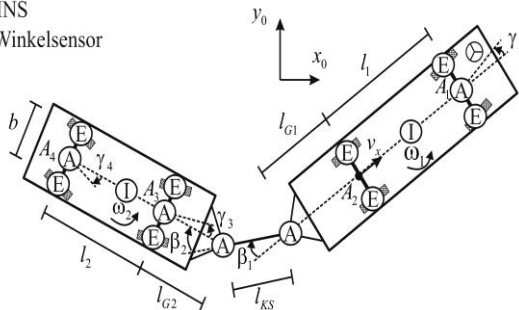
Entwicklung und Untersuchung von Methoden zur gezielten Beeinflussung technischer Prozesse auf Basis ihrer mathematischen Modelle



# Anwendungs- und Forschungsgebiete vielfältige Abstufung zwischen Praxis und Theorie

## Fahrzeugregelung

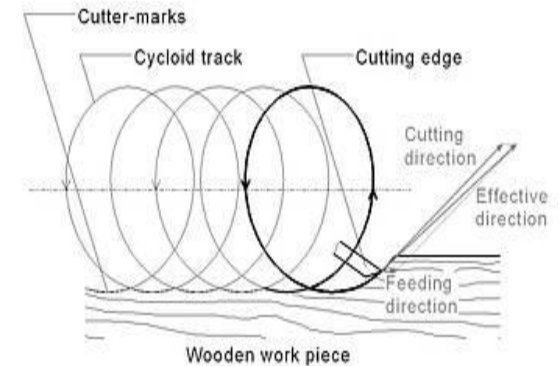
- ⊕ Radencoder
- ⊙ INS
- ⊙ Winkelsensor



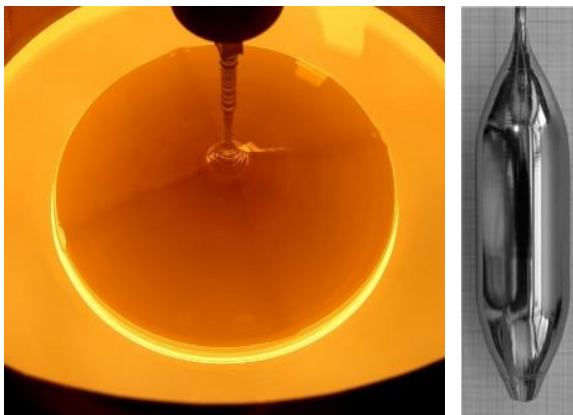
## Smarte Textilien



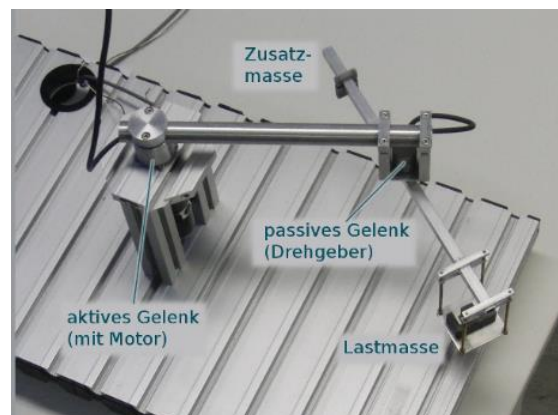
## Holzbearbeitung (Messerschlagkompensation)



## Industrielle Kristallzuchtung



## Unteraktuierte Manipulatoren



## Theoretische Verfahren

*Definition 1:* Let  $k$  be a field. The Lie derivative  $L_f^\infty I$  of an ideal  $I \subseteq k[x] = k[x_1, \dots, x_n]$  with respect to a vector field  $f \in k[x]^n$  is the set

$$L_f^\infty I = \{a_1 L_f^{n_1} h_1 + \dots + a_N L_f^{n_N} h_N \mid n_i \in \mathbb{N}_{\geq 0}, h_i \in I, a_i \in k[x]\}. \quad (3)$$

**Algorithm 1** Lie derivative of an ideal

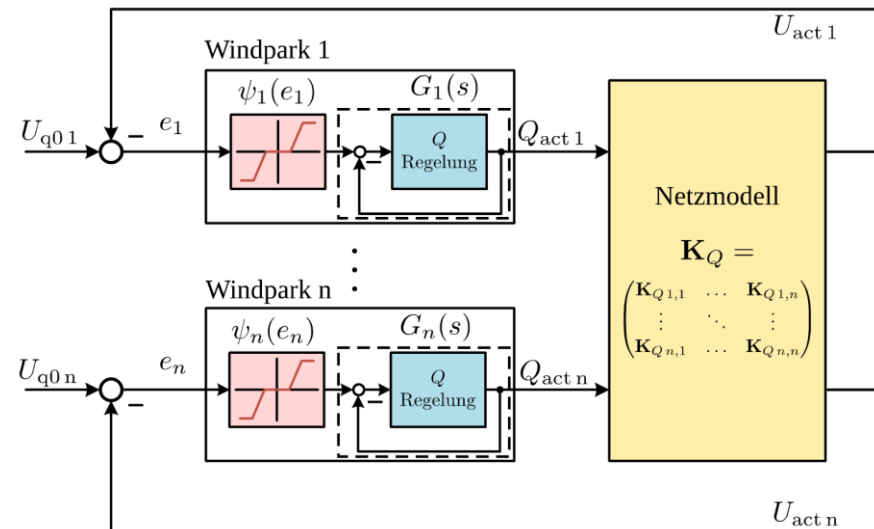
```

1: function LIE DERIVATIVE( $f, H = \{h_1, \dots, h_s\}$ )
2:    $H \leftarrow$  Gröbner basis( $\langle H \rangle$ )
3:   for  $h \in H$  do
4:      $r \leftarrow \text{rem}(L_f h, H)$ 
5:     if  $r \neq 0$  then
6:        $H \leftarrow H \cup \{r\}$ 
7:   goto 2
8: return  $H$ 

```

# Praxisbezug: DFG-Projekt zur Regelung dezentraler Energie-Erzeugungsanlagen

**Ziel:** Entwicklung von Kriterien zum robusten Nachweis der Anlagenstabilität bei der Erbringung von Systemdienstleistungen durch eine Vielzahl von dezentralen Erzeugereinheiten (Windparks, Solarparks, ...)



DFG-Projekt STABEEL: Stabilität dezentraler Erzeuger im Elektroenergieversorgungsnetz bei der Erbringung von Systemdienstleistungen

→ Sie können bei uns an hochaktuellen Themen mit starkem Praxisbezug mitarbeiten!

# Theoriebezug: DFG-Projekt zum nichtlinearen Reglerentwurf mittels Quantorenelimination

## Stabilitätsnachweis für nichtlineare Systeme schwierig

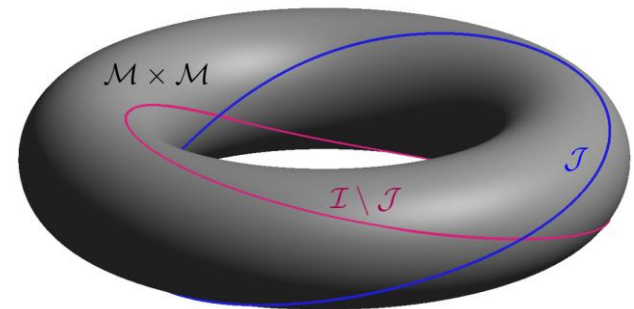
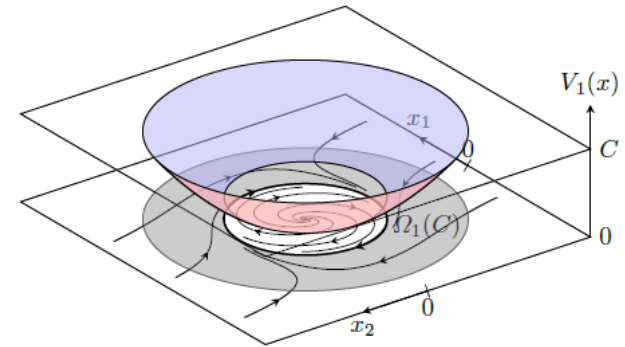
- existierende Methoden nur auf spezielle Anwendungsfälle anwendbar
- mathematischer Apparat mitunter sperrig
- Ansätze benötigen häufig ein hohes Maß an Intuition

## Automatisierter Stabilitätsnachweis

- wünschenswert für den Reglerentwurf

## Projekthalt

- Stabilitätsbeweis durch Quantorenelimination
- Entscheidung der Beobachtbarkeit resp. Bestimmung lokal nicht beobachtbarer Punkte
- Einbettung der Systeme in höherdimensionale Räume zur Beschreibung durch polynomiale Gleichungen
- algebraische Parameteridentifikation
- Entwurf strukturvariabler Regler



$$\begin{array}{ccc}
 L_f^\infty(I \cap J) & \xrightarrow{\text{rad}} & \text{rad}(L_f^\infty(I \cap J)) \\
 \vdots & & \updownarrow \\
 L_f^\infty I \cap L_f^\infty J & \xrightarrow{\text{rad}} & \text{rad}(L_f^\infty I) \cap \text{rad}(L_f^\infty J)
 \end{array}$$

→ Sie können sich bei uns also auch an rein theoretischen Themen austoben, wenn Sie möchten!

# Lehre – Vorlesungen / Übungen / Praktika

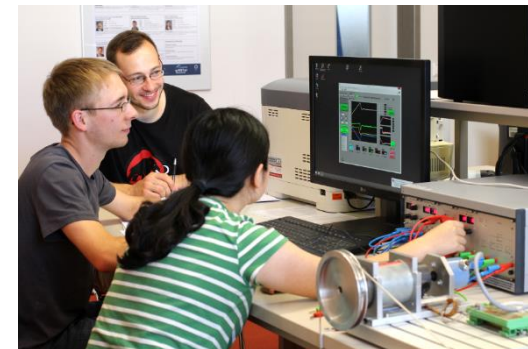
Die Lehrveranstaltungen decken ein weites Feld von Themengebieten ab

Pflichtmodule im 5. und 6. Semester	Wahlpflichtmodule des 8. und 9 Semesters (je nach Bedarf)		
	Vertiefende Seminare	Vertiefung lineare Regelung	Vertiefung nichtlineare Regelung
Regelung Grundlagen  Prozess- identifikation  2/1/0 (Röbenack)	Wissenschaftliches Arbeiten Vertiefung  0/2/0 (Winkler u.a.)	Regelung von Mehrgrößensyst.  2/0/0 (Röbenack)	
Nichtlineare Regelungstechnik Grundlagen  2/2/0 (Winkler)	Wissenschaftliches Arbeiten Grundlagen  0/2/0 (Fiedler u.a.)	Optimale Steuerung  2/0/0 (Bartholomäus)	Nichtlineare Regel- ungstechnik Vertiefung  2/1/0 (Röbenack)
Regelungstechnik Grundlagen  3/2/0 (Röbenack)	Praktische Regelungs- Simulations- und Steuerungstechnik  0/0/4 (Winkler u.a.)	Regelungstechnik Vertiefung  2/0/0 (Röbenack)	Flachheitsbasierte Folgerregelung  2/1/0 (Fritzsche)



## Zusätzliches Methodenwissen:

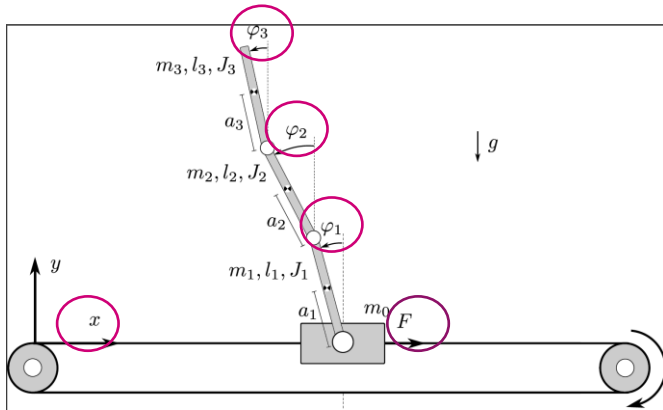
- Numerik
- Computer-Algebra
- Programmierung



# Beispiel Laborversuch „Verschiebliches 3-fach-Pendel“

## 4 Freiheitsgrade – aber nur ein Aktor

### 1. Übersicht



### 2. Modellbildung (Ausschnitt, Euler-Lagrange-Formalismus)

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} + K(q) = \tau$$

$$\begin{aligned} M_{11}(q) &= J_1 + m_1 a_1^2 + (m_2 + m_3) l_1^2, & M_{12}(q) &= (m_2 l_1 a_2 + m_3 l_1 l_2) \cos(\varphi_1 - \varphi_2), \\ M_{13}(q) &= m_3 l_1 a_3 \cos(\varphi_1 - \varphi_3), & M_{14}(q) &= -(m_1 a_1 + m_2 l_1 + m_3 l_1) \cos \varphi_1, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{21}(q) &= M_{12}(q), & M_{22}(q) &= J_2 + m_2 a_2^2 + m_3 l_2^2, \\ M_{23}(q) &= m_3 l_2 a_3 \cos(\varphi_2 - \varphi_3), & M_{24}(q) &= -(m_2 a_2 + m_3 l_2) \cos \varphi_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{31}(q) &= M_{13}(q), & M_{32}(q) &= M_{23}(q), \\ M_{33}(q) &= J_3 + m_3 a_3^2, & M_{34}(q) &= -m_3 a_3 \cos \varphi_3, \end{aligned}$$

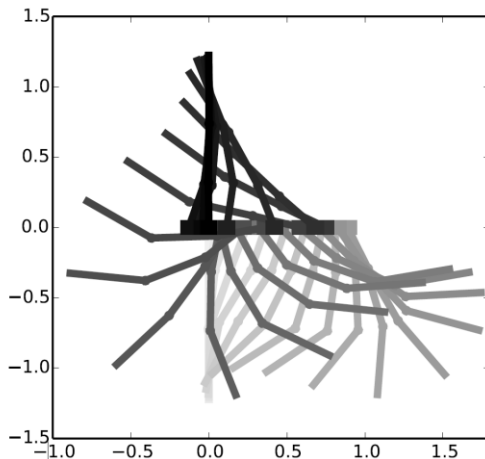
$$\begin{aligned} M_{41}(q) &= M_{14}(q), & M_{42}(q) &= M_{24}(q), \\ M_{43}(q) &= M_{34}(q), & M_{44}(q) &= m_0 + m_1 + m_2 + m_3. \end{aligned}$$

$$D := \begin{bmatrix} d_1 + d_2 & -d_2 & 0 & 0 \\ -d_2 & d_2 + d_3 & -d_3 & 0 \\ 0 & -d_3 & d_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K(q) := \begin{bmatrix} -(m_1 a_1 + m_2 l_1 + m_3 l_1) g \sin \varphi_1 \\ -(m_2 a_2 + m_3 l_2) g \sin \varphi_2 \\ -m_3 a_3 g \sin \varphi_3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Tabelle 2 – Einträge der Massenmatrix.

### 3. Simulation



### 4. Umsetzung am Versuchsstand (hier: Überführung von Ruhelage U00 → 000)



Vollständiges Video: <https://tud.link/7rsv>



# Professur für Mess- und Sensorsystemtechnik (MST)

Prof. Prof. h. c. Dr.-Ing. habil.  
Jürgen Czarske

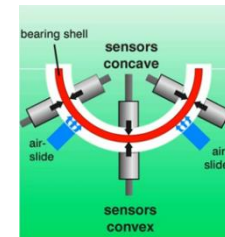
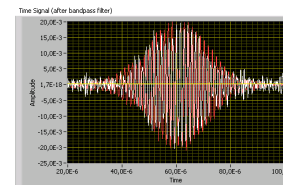
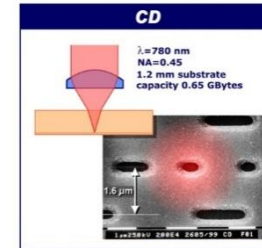


# Lehre zur Messsystemtechnik und Sensorik

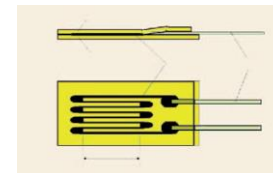
Mess- und Sensortechnik  
6. Semester, 2 SWS + 2 SWS



Messtechnik  
5. Semester, 4 SWS  
(inkl. Praktikum)



$$\Delta y = y - y_w \approx \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i$$

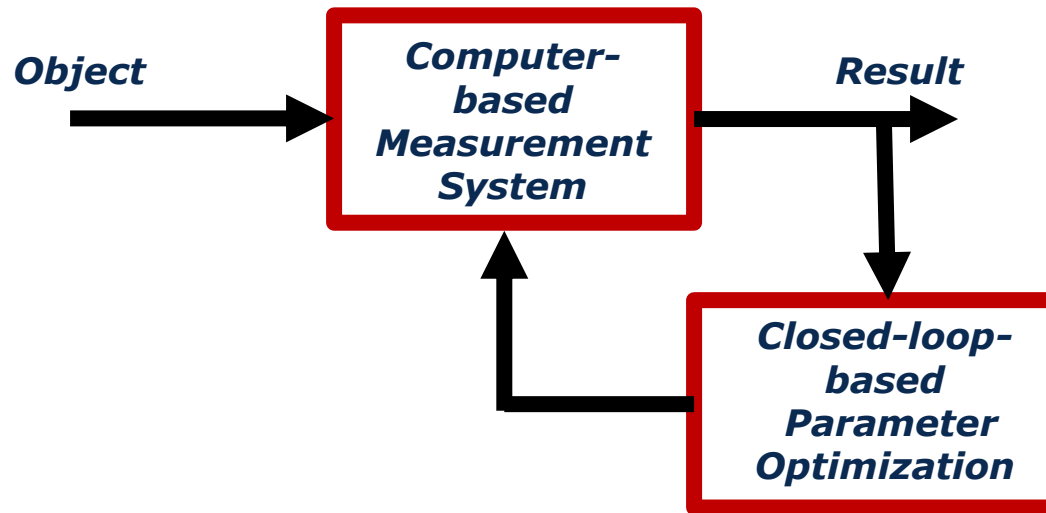


# Computational Imaging with Self-Parametrization

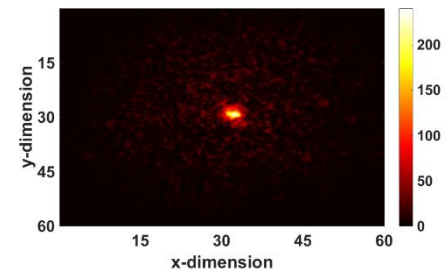
Self-parameterized measurement system:

-Closed-Loop: Feedback of the measurement data via computer models (simulations)

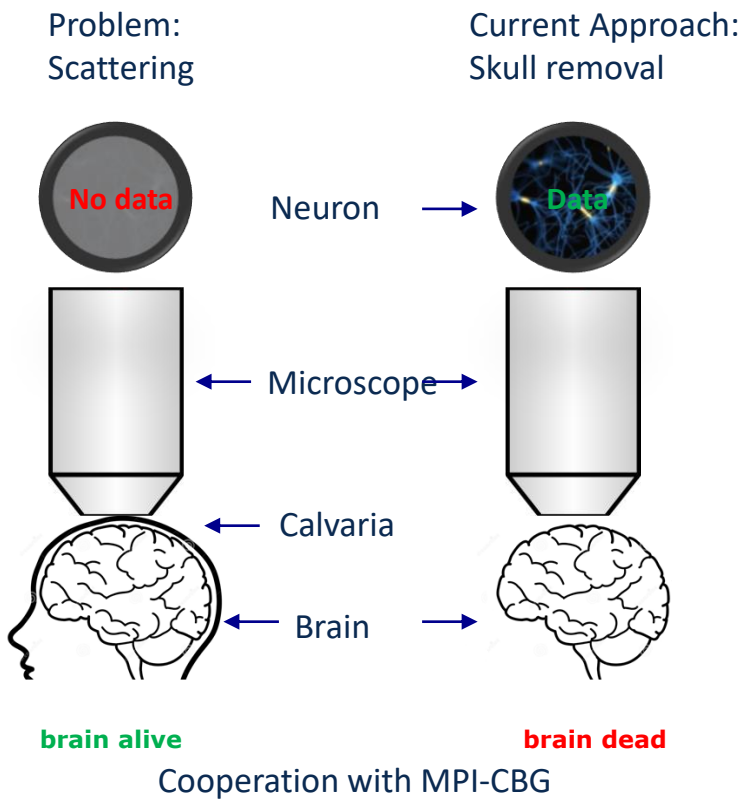
-Self-calibration (self-parameterization) using digital holography, deep learning/neural networks, etc.



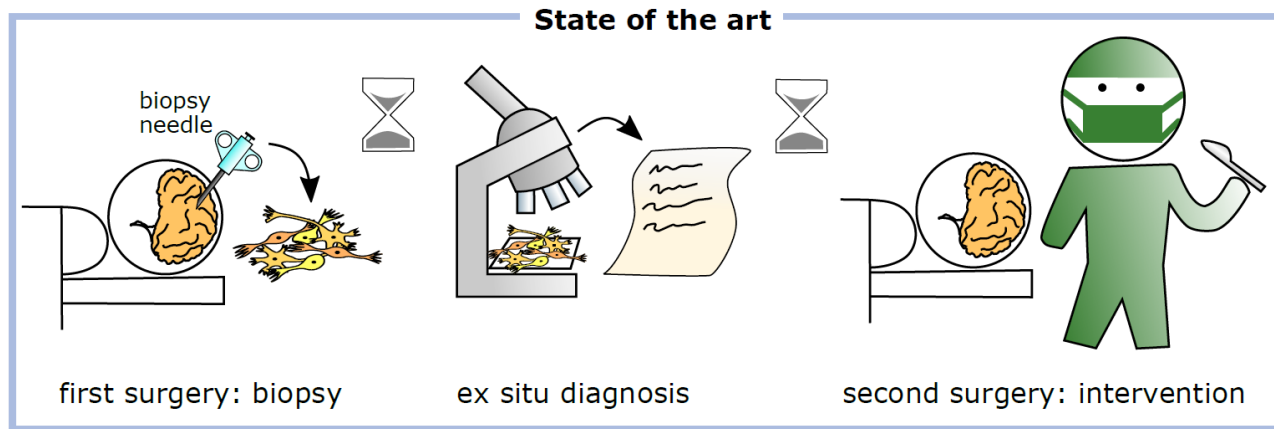
Computational Imaging of tissue with deep penetration possible



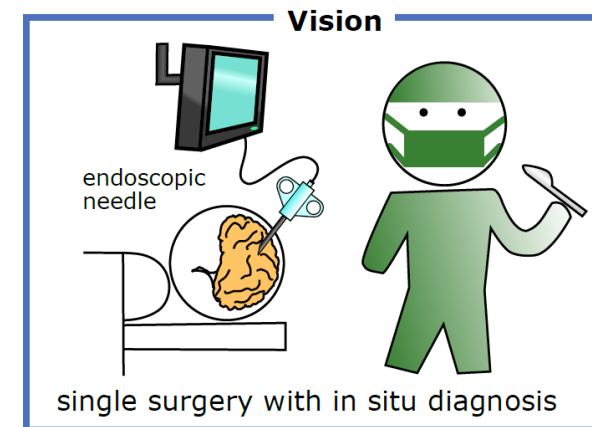
# Computational Laser Metrology using Wavefront Shaping: Noninvasive deep tissue diagnostics and therapy by light



# Motivation for novel optical endoscopy in biomedicine



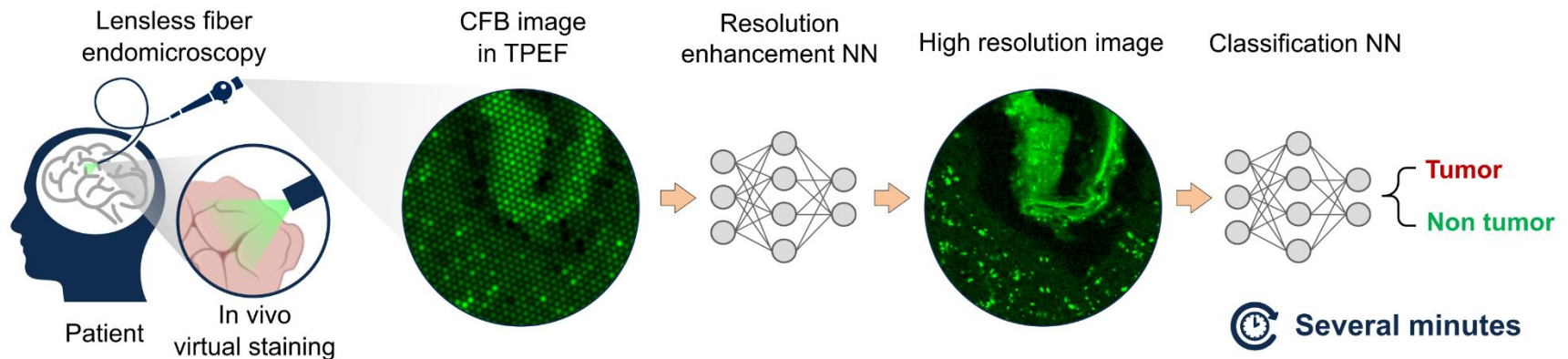
- For opening up applications in neurosurgery tiny diameters of the endoscope crucial: Lensless fiber imaging with diameter less than 1mm
- Solving the challenge of sterilization (cleaning or disinfection are not sufficient): single-to-use fiber



# Tumor diagnosis

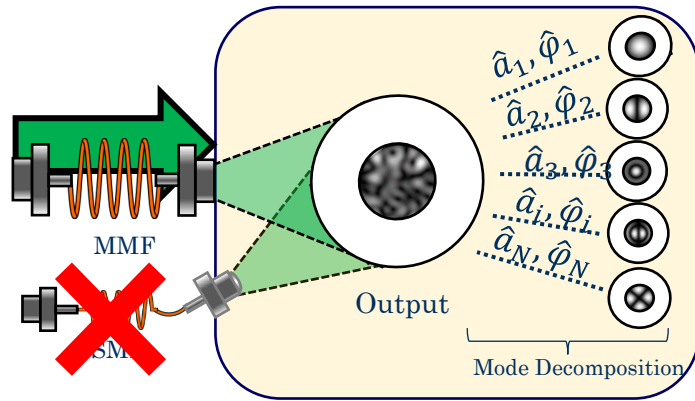
- High resolution fiber beam imaging can improve the efficiency of tumor diagnosis

**Pathological biopsy:** Long diagnosis cycle, the tissue is damaged



# Information Technique

## Measurement of Phase and Amplitude of Scattered Light



- Phase and amplitude measurement of MMF-Output
- If possible: referenceless

Currently:

Digital Holography

+ Quality

- Reference beam

- Impractical for application

**Approach:** Deep Neural Network (DNN)

- Training a DNN with synthetic data – offline
- Measurement with amplitudes from camera pictures

→ reconstruct amplitude and phase

+ Referenceless

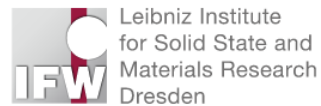
+ Intensity-only images



Qian Zhang  
(during an award ceremony)  
Deep learning-based solution  
of inverse problem

# Open Positions for Students, Predocs, Postdocs

## Our partners



Further Topics: Superresolution-Imaging, Adaptive Microscopy,...

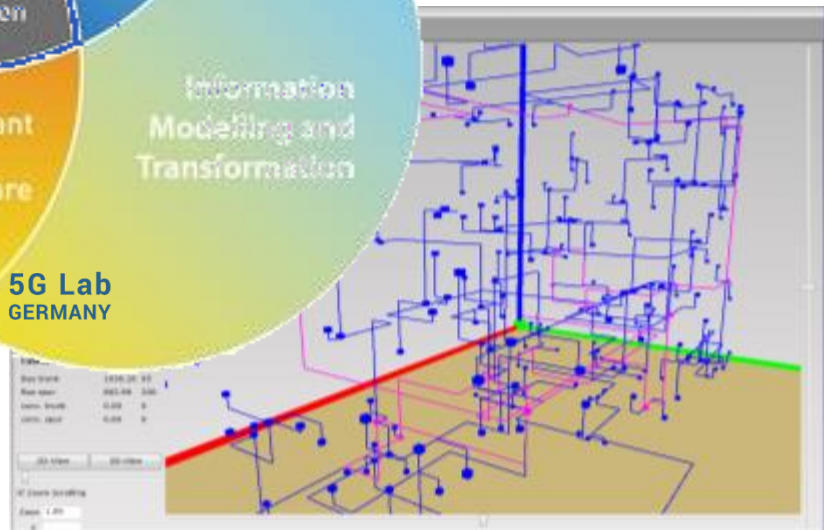
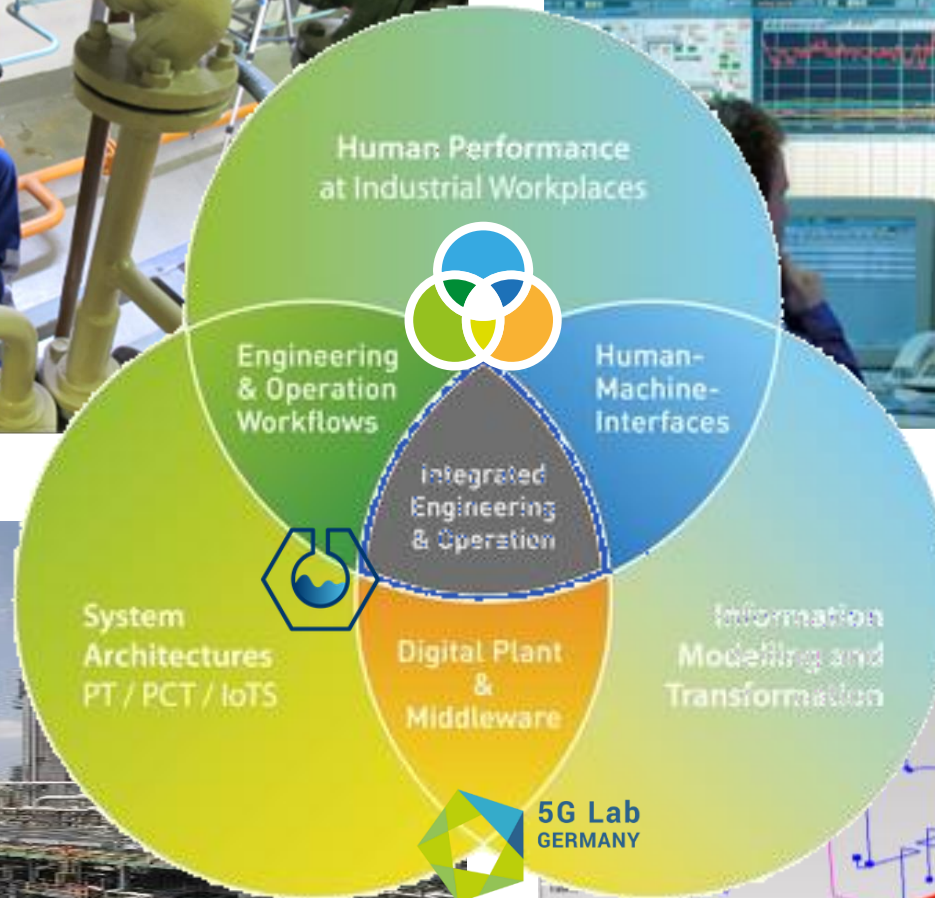


# Professur für Prozessleittechnik

## Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas



# Themenfelder der Professur





## Lücke zwischen Geschäftsalltag und Digitalisierung

Herausforderungen und Potentiale der Prozessindustrie

Schnell wechselnde Markanforderungen

Erhöhung der Sicherheit

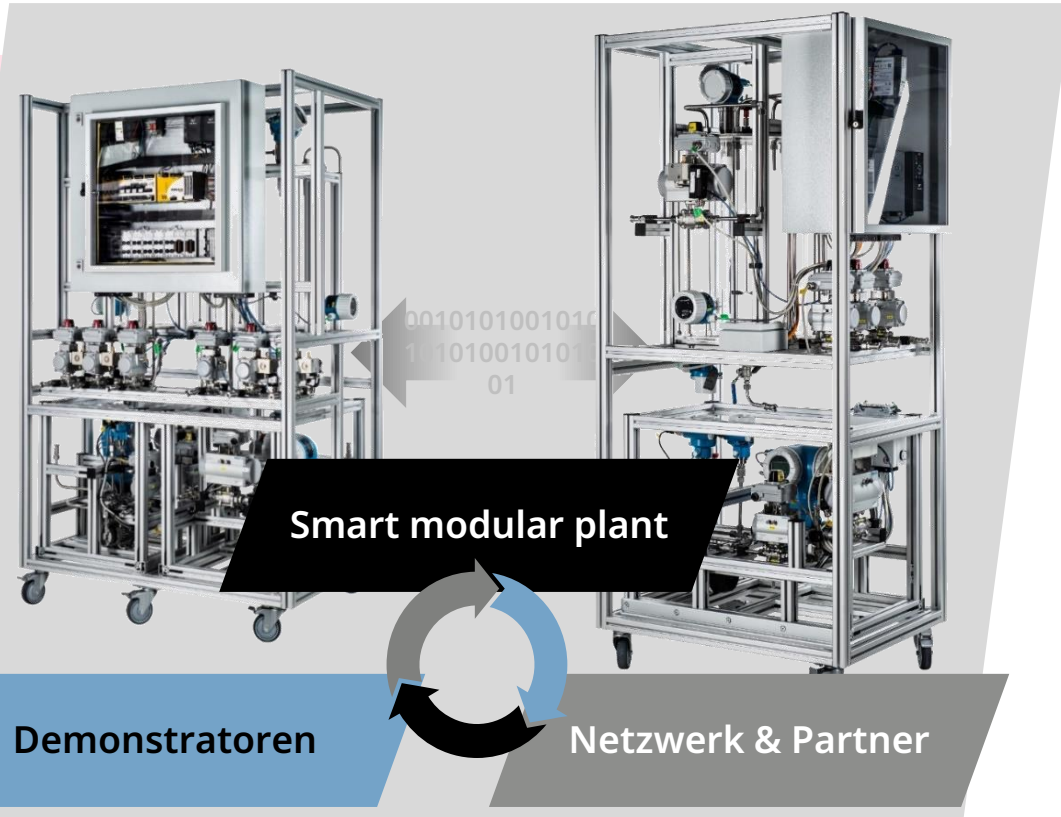
Einsparung von Zeit und Ressourcen

Künstliche Intelligenz

Modularisierung

Digitalisierung

Technologieansätze zur Lösung



# Projekt KEEN (2020-2023)



Prozessidentifikation & Modellierung

**Zusätzliche Einblicke**

Machine Learning  
Pattern Recognition  
Time Series Analyses

**Virtuelle Welt**



Prozesssteuerung

DCS

Assistenzsysteme

**Interaktionen  
mit KI**

Verfahren-, Equipment- und  
Anlagentechnologien,  
Systemtheorie

**Bessere Vorhersagen**

KI-basierte Optimierung  
Graphenbasierte Inferenz  
Hybride Modelle

Modellierung & Simulation

Rigoreuse  
Modelle

KI-Modelle

**füllen Lücken  
und reduzieren  
Komplexität**

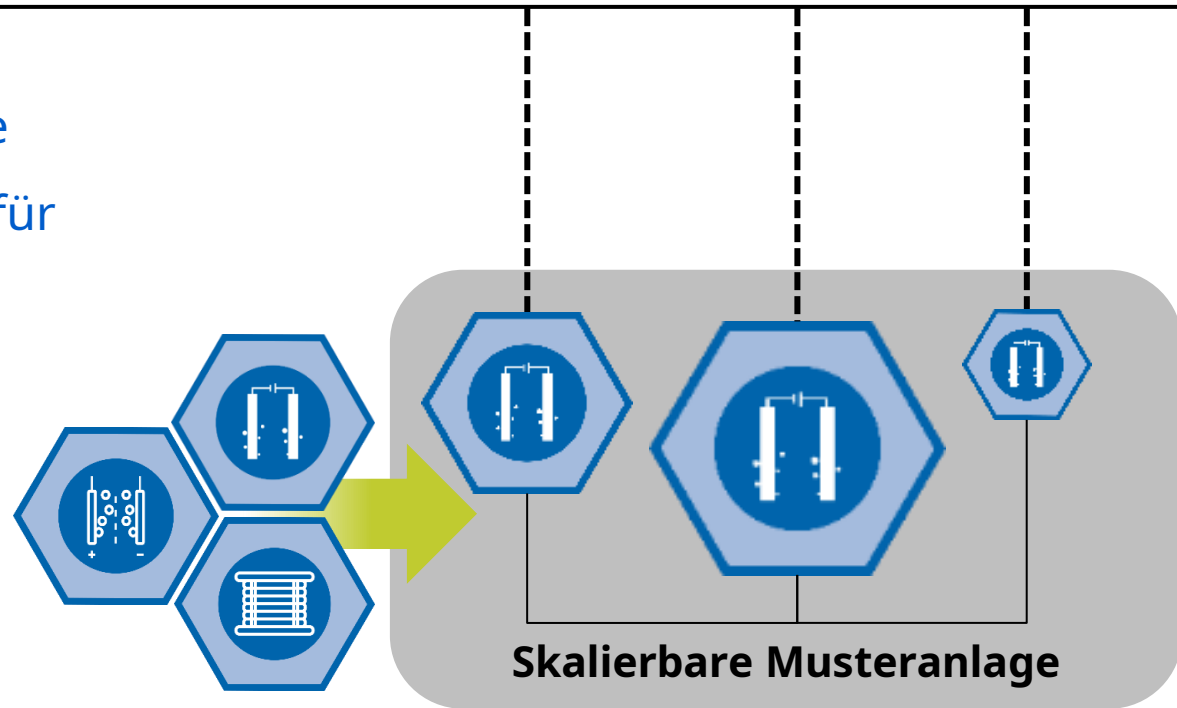
**Einsicht / Vorhersage / Exploration**

# Projekt eModule (2021-2025)

## Forschungsfrage:

→ Welche Modulansätze und Schnittstellen im Asset Life Cycle führen zu einer **sicheren, skalierbaren, robusten** und **ökonomisch sinnvollen** Produktion von grünem H<sub>2</sub>?

**Ziel:** Standardisierte Integrationsprofile für Elektrolyse-Module



6. Semester

**PLT**

Prozessleittechnik

7. Semester

**Fachpraktikum**

8. Semester

**CAE-PA**

Computerassistiertes Engineering  
in der Prozessautomatisierung

9. Semester

**MMST**

Mensch-Maschine-Systemtechnik

**PFO**

Prozessführung und Optimierung

**ModA**

Modulare Automatisierung

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Weitere Informationen zu den einzelnen Professuren

<p><b>Professur für Automatisierungstechnik</b> <a href="https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ifa/at">https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ifa/at</a></p>	
<p><b>Professur für Regelungs- und Steuerungstheorie</b> <a href="https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/rst">https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/rst</a></p>	
<p><b>Professur für Mess- und Sensorsystemtechnik</b> <a href="https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/iee/mst">https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/iee/mst</a></p>	
<p><b>Professur für Prozessleittechnik</b> <a href="https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ifa/plt">https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/ifa/plt</a></p>	