

# Automatisierungs-, Mess- und Regelungstechnik (AMR)

Vorstellung der Studienrichtung

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

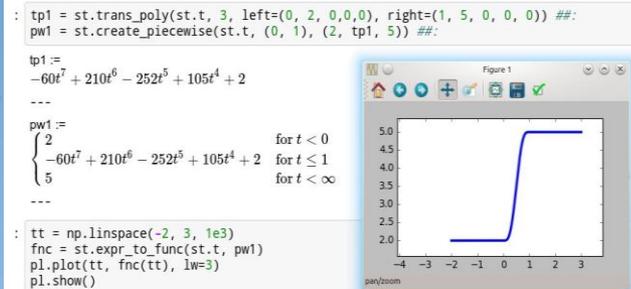
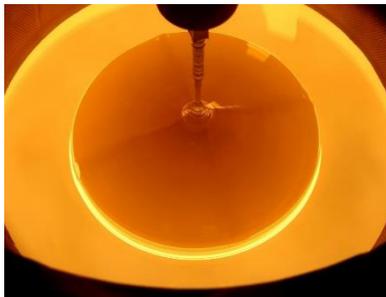


# Automatisierungs-, Mess- und Regelungstechnik

## Was zeichnet das Fachgebiet aus?

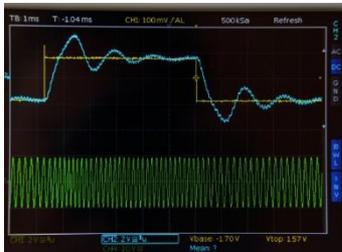
### Die Automatisierungs-, Mess- und Regelungstechnik

- 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).

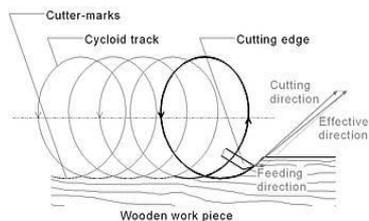


# Die Forschungsprofile der Studienrichtung spiegeln die Vielfalt des Fachgebietes wider

## Regelung, Steuerung



## Modellbildung, Systemanalyse



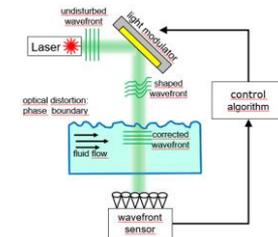
## Automatisierter Systementwurf

## Komplexe heterogene Systeme

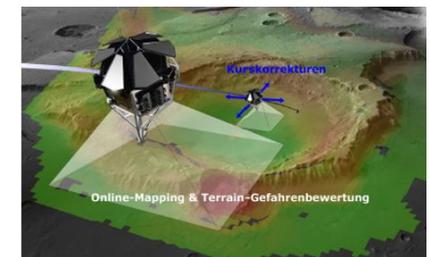
Mechatronik, Robotik, Raumfahrt, Verfahrenstechnik, Fertigungstechnik, Energie, Gesundheit, Verkehr



## Messsysteme, Überwachung



## Mensch-Maschine Interaktion



## Intelligente Perzeption

# Anforderungen an AMR-Ingenieure

## Interdisziplinäres Projekt- und Lösungsgeschäft

### Aufgaben

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

### Beispiel Schweißroboter

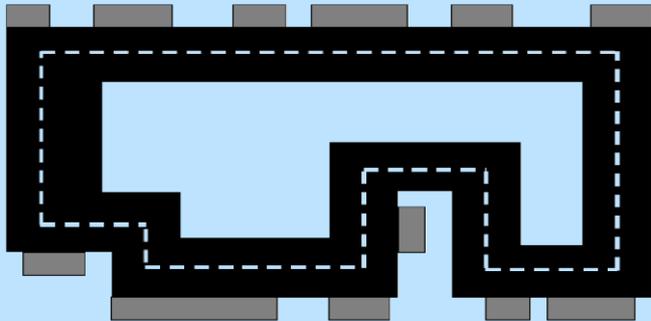
- **Regelungs- und Steuerungstheorie:** Modellbildung, Algorithmen zur Regelung und Steuerung
- **Automatisierungstechnik:** Bahnplanung, Trajektorienerzeugung, Datenfusion
- **Mess- und Sensorsystemtechnik:** Smarte adaptive Sensorsysteme, Echtzeitdatenverarbeitung
- **Prozessleittechnik:** Informationstechnische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



# Beispiel einer interdisziplinären Lehrveranstaltung

Hauptseminar AMR (5. Fachsemester, Bearbeitung im Team)

Entwicklung von Algorithmen zur autonomen Navigation eines Fahrzeuges einschließlich Einparkassistentz



Parcour mit Parklücken



Android Tablet



Anforderungen an den Roboter:

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



LEGO Mindstorm NXT Roboter



# 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

## Information-based Automation

Internet Technologies  
 Model-based Technologies  
 Human-Machine Interfaces

DFG  
 AiF  
 BMBF

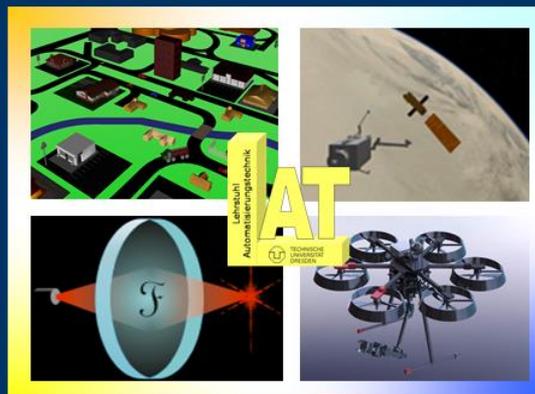


Image-based Navigation / SLAM  
 Motion and trajectory planning  
 Aerial manipulation  
 Spacecraft Docking HIL Simulation  
 Control architectures

## Industrial Automation

## 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 1,2 (PF\*)

Engineering  
Dependability Engineering  
Safety Engineering for Autonomous Driving  
Modeling & Simulation



LV Bahn- und Lageregelung Raumfahrzeuge

Guidance  
Navigation  
Control



LV Systementwurf

Information-based  
Automation

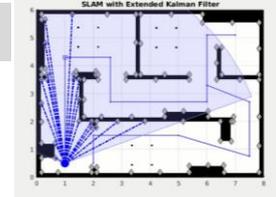


LV Steuerung von Manipulatoren

LV Projekt Teleautomation

Technologies  
Model-based Technologies

LV Mobile Robot Control



LV Internetanwendungen in der AT

Technologies

LV Hauptseminar AMR - Einparkassistent  
Teilaufgaben: *Lokalisierung, Bewegungsplanung*

Industrial  
Automation

LV Entwurf eingebetteter Systeme

Control of MEMS-Micromirrors  
Wavefront Shaping  
Optical Fourier Processors

LV Regelung von Mehrkörpersystemen



LV Oberseminar AT zu aktuellen Forschungsthemen  
z.B. *Künstliche Intelligenz, Bildverarbeitung*

Optical Computers

**Mechatronics**

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

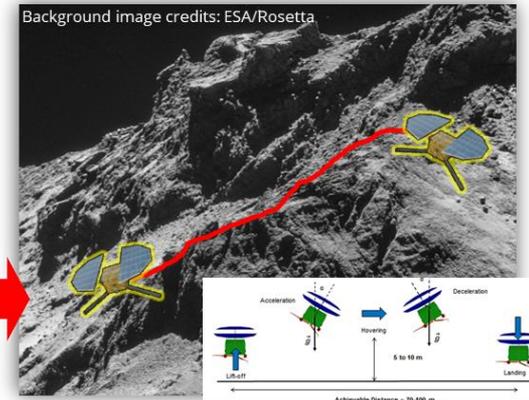
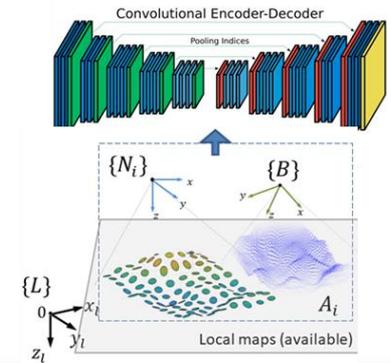
2022-2024  
Asteroid Exploration with  
AI- Artificial Intelligence

New!

```

    graph LR
      Obj[task objectives] --> Guidance
      Guidance --> Control
      Control --> Vehicle[Vehicle Dynamics & Kinematics]
      Vehicle --> State[vehicle state]
      State --> Perception
      Perception --> Navigation
      Navigation --> Guidance
      Env[environment] --> Perception
      Env --> Navigation
      State --> Control
      Map[pose + map] --> Navigation
    
```

## Semantic LiDAR with Machine Learning



# Autonomous Driving

## Safe Traffic Management

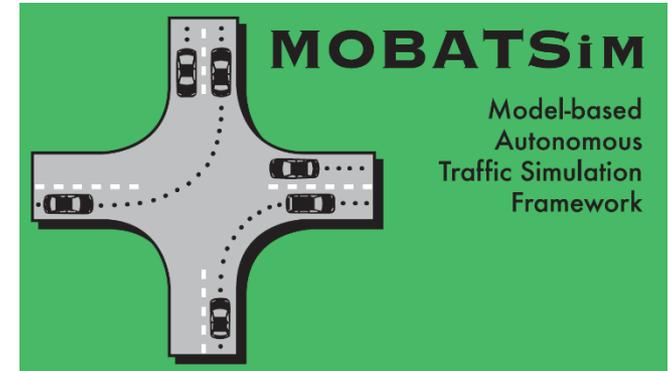
MOBATSIM: Model-based Autonomous Traffic Simulation Framework for the Safety Analysis of Autonomous and Connected Vehicles



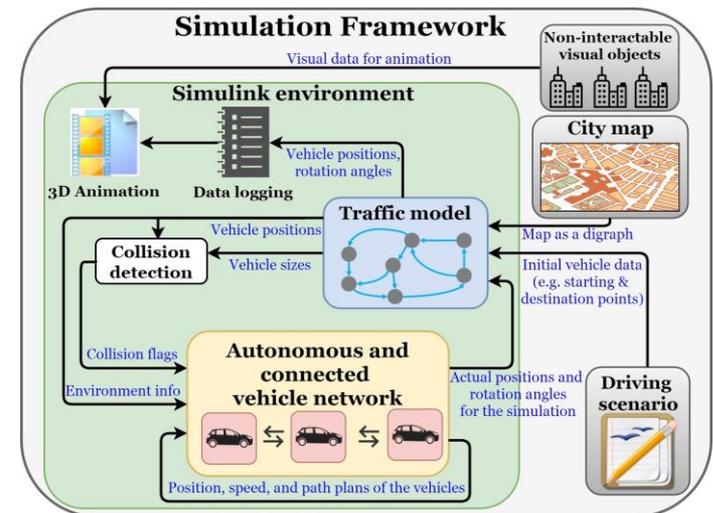
M.Sc. Mustafa Saraoğlu



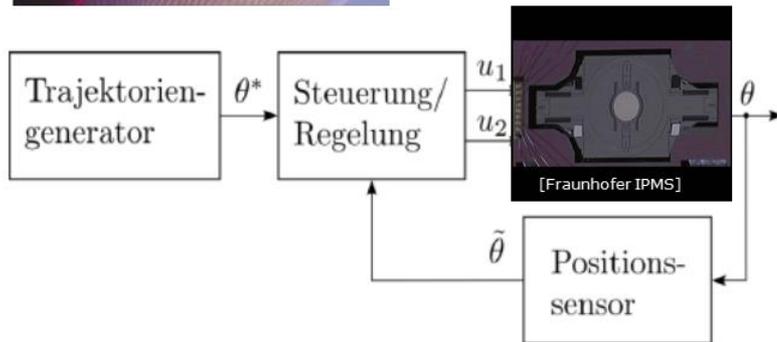
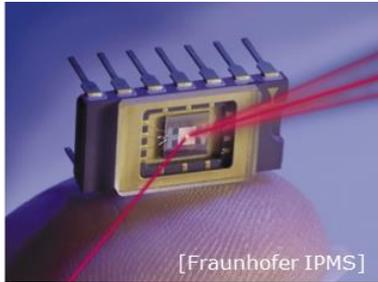
<https://youtu.be/rG8B0ip4dpk>



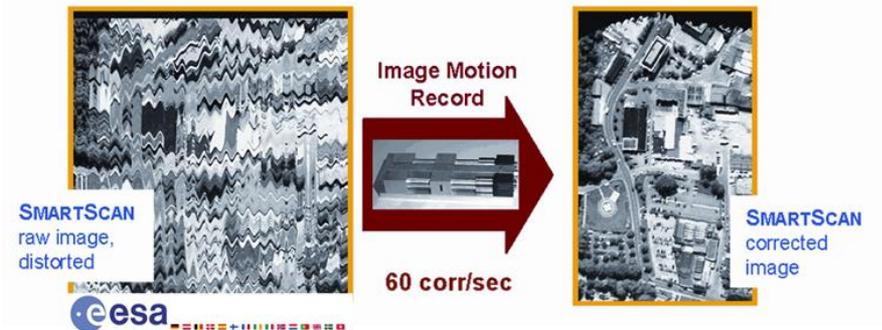
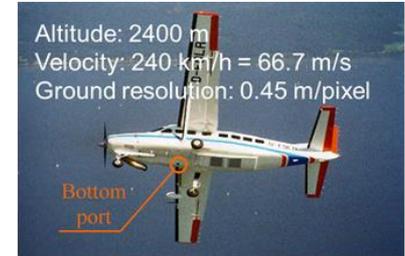
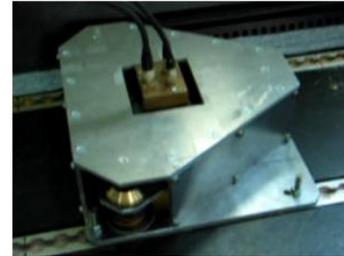
MATLAB & SIMULINK



# 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

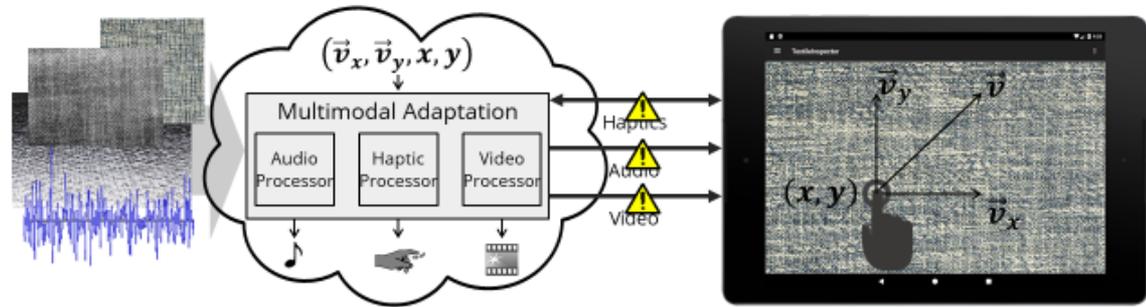
## Information-based Automation

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]



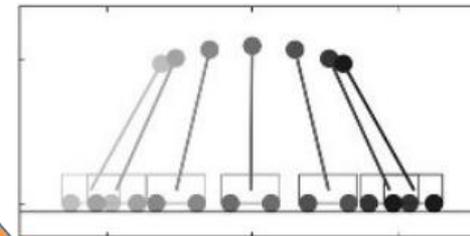
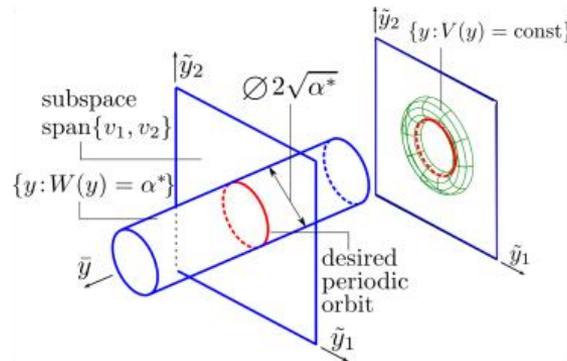
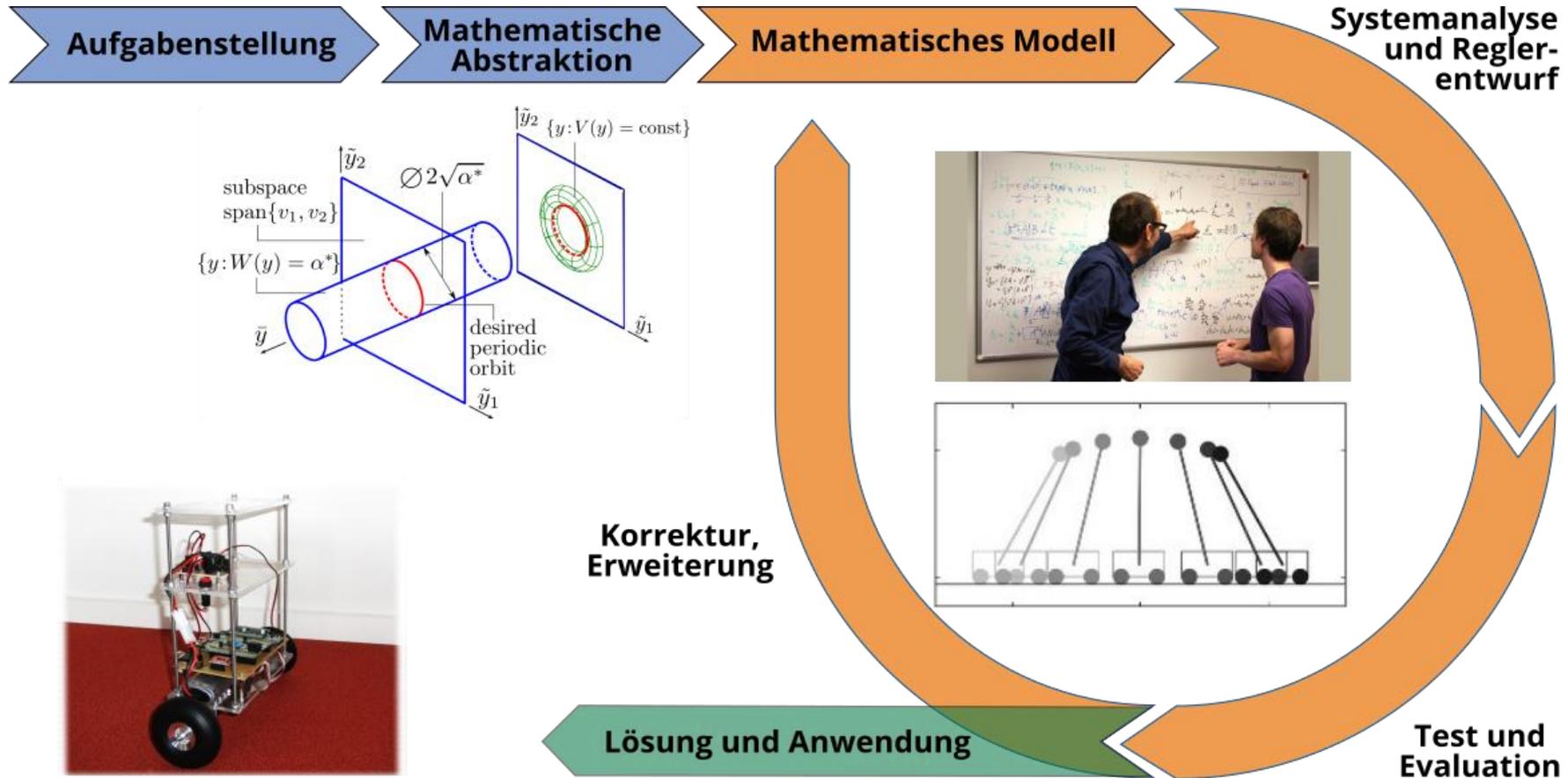
# Professur Regelungs- und Steuerungstheorie

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

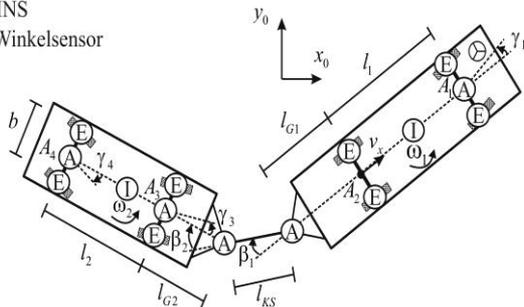


# Anwendungs- und Forschungsgebiete

vielfältige Abstufung zwischen Praxis und Theorie

## Fahrzeugregelung

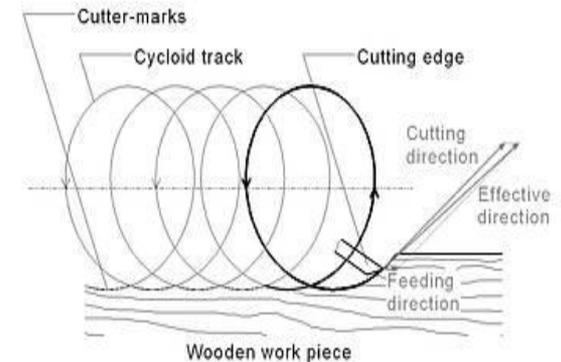
- ⊕ Radencoder
- ⊖ INS
- ⊙ Winkelsensor



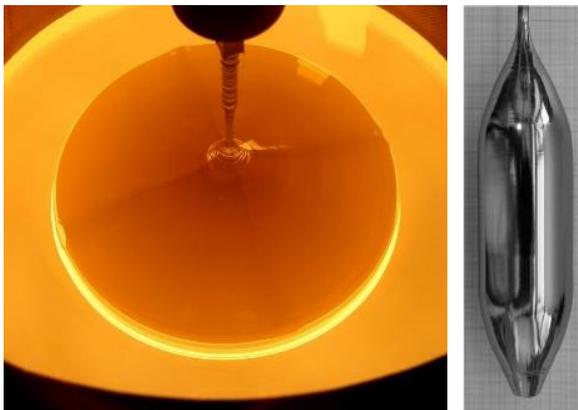
## Smarte Textilien



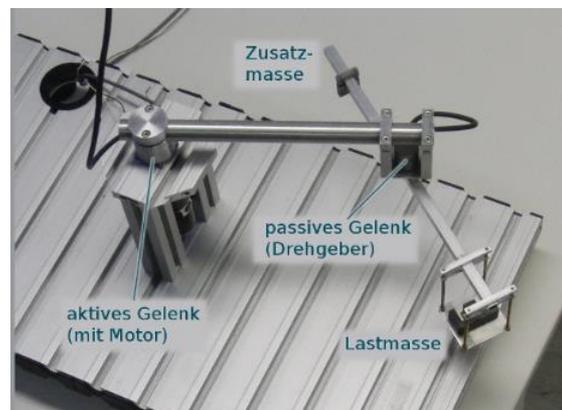
## Holzbearbeitung (Messerschlagkompensation)



## 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

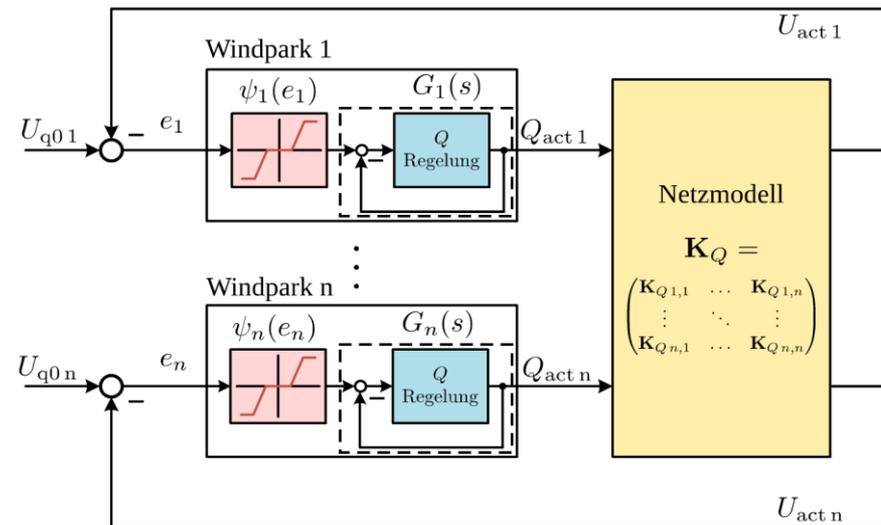
$$L_f^\infty I = \{a_1 L_f^{n_1} h_1 + \dots + a_N L_f^{n_N} h_N \mid n_i \in \mathbb{N}_{\geq 0}, h_i \in I, a_i \in k[x]\}. \quad (3)$$

**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:      $r \leftarrow$  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

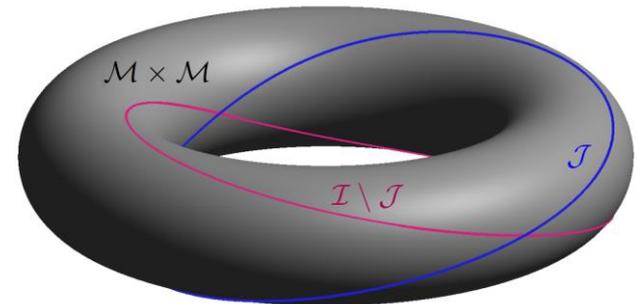
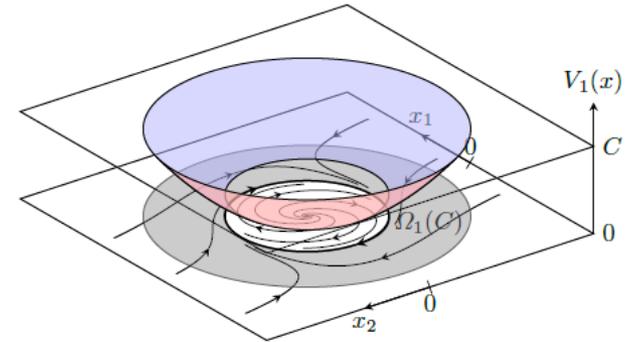
- existierende Methoden nur auf spezielle Anwendungsfälle anwendbar
- mathematischer Apparat mitunter sperrig
- Ansätze benötigen häufig ein hohes Maß an Intuition

## Automatisierter Stabilitätsnachweis

- wünschenswert für den Reglerentwurf

## Projekinhalt

- 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



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

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

# Lehre – Vorlesungen / Übungen / Praktika

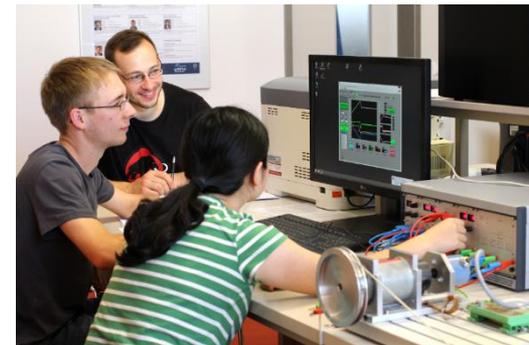
Die Lehrveranstaltungen decken ein weites Feld von Themengebieten ab

Pflichtveranstaltungen im 5. und 6. Semester	Lehrveranstaltungen in Wahlpflichtmodulen des 8. und 9 Semesters (je nach Bedarf)			
	Vertiefende Seminare	Nichtlineare Regelung	Vertiefung lineare Regelung	Spezielle Methoden
Lineare Regelung Grundlagen		Nichtlineare Regelungstechnik 1 2/1/0 (Winkler)	Regelung von Mehrgrößensyst. 2/1/0 (Röbenack)	Prozess-identifikation 2/1/0 (Röbenack)
Regelungstechnik 2 2/1/1 (Röbenack)	Oberseminar Reg. & /Steu.-theorie 0/2/0 (Röbenack u.a.)	Nichtlineare Regelungstechnik 2 2/1/0 (Röbenack)	Optimale Steuerung 2/0/0 (Bartholomäus)	Steuerung örtl. verteil. Systeme 2/0/0 (Winkler)
Regelungstechnik 1 3/1/1 (Röbenack)	Hauptseminar AMR 0/2/0 (Knoll u.a.)	Flachheitsbasierte Folgeregelung 2/1/0 (Winkler)	Robuste Regelung 2/0/0 (Bartholomäus)	Algorithmisches Differenzieren 2/0/0 (Röbenack)



## Zusätzliches Methodenwissen:

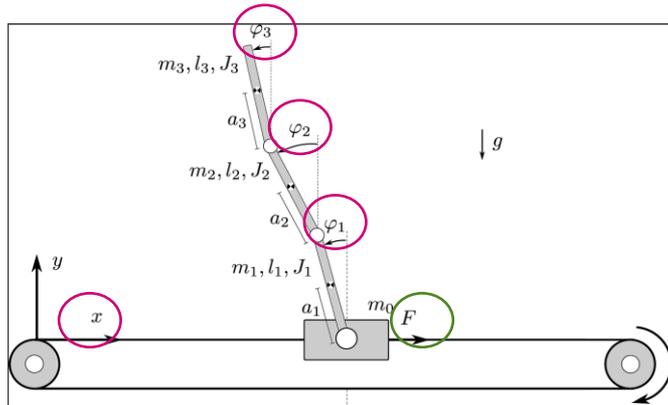
- Numerik
- Computer-Algebra
- Programmierung



# Beispiel Laborversuch „Verschiebliches 3-fach-Pendel“

## 4 Freiheitsgrade – aber nur ein Aktor

### 1. Übersicht



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

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

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

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

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

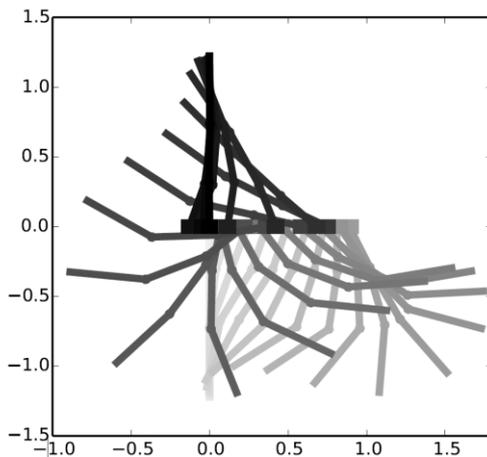
$$\begin{aligned} M_{41}(\mathbf{q}) &= M_{14}(\mathbf{q}), & M_{42}(\mathbf{q}) &= M_{24}(\mathbf{q}), \\ M_{43}(\mathbf{q}) &= M_{34}(\mathbf{q}), & M_{44}(\mathbf{q}) &= m_0 + m_1 + m_2 + m_3. \end{aligned}$$

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

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

Tabelle 2 – Einträge der Massenmatrix.

### 3. Simulation



### 4. Umsetzung am Versuchsstand (hier: Überführung von Ruhelage UOO → OOO)



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

Vorstellung der Studienrichtung Automatisierungs-, Mess- und Regelungstechnik (AMR)

Folie 20

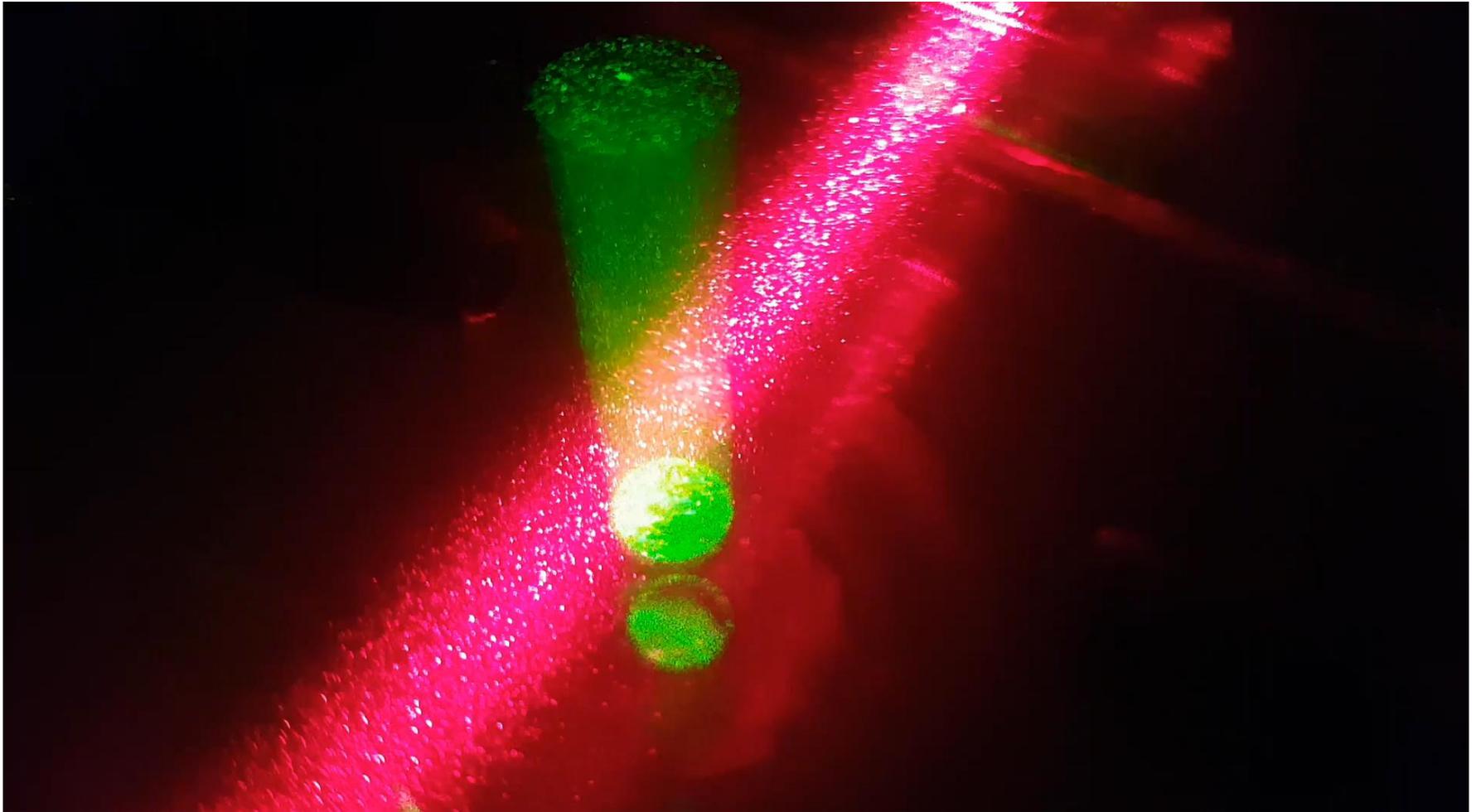


# Professur für Mess- und Sensorsystemtechnik

## Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Czarske

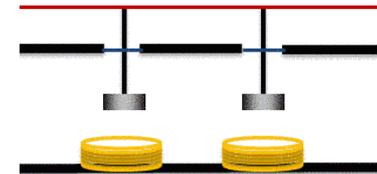
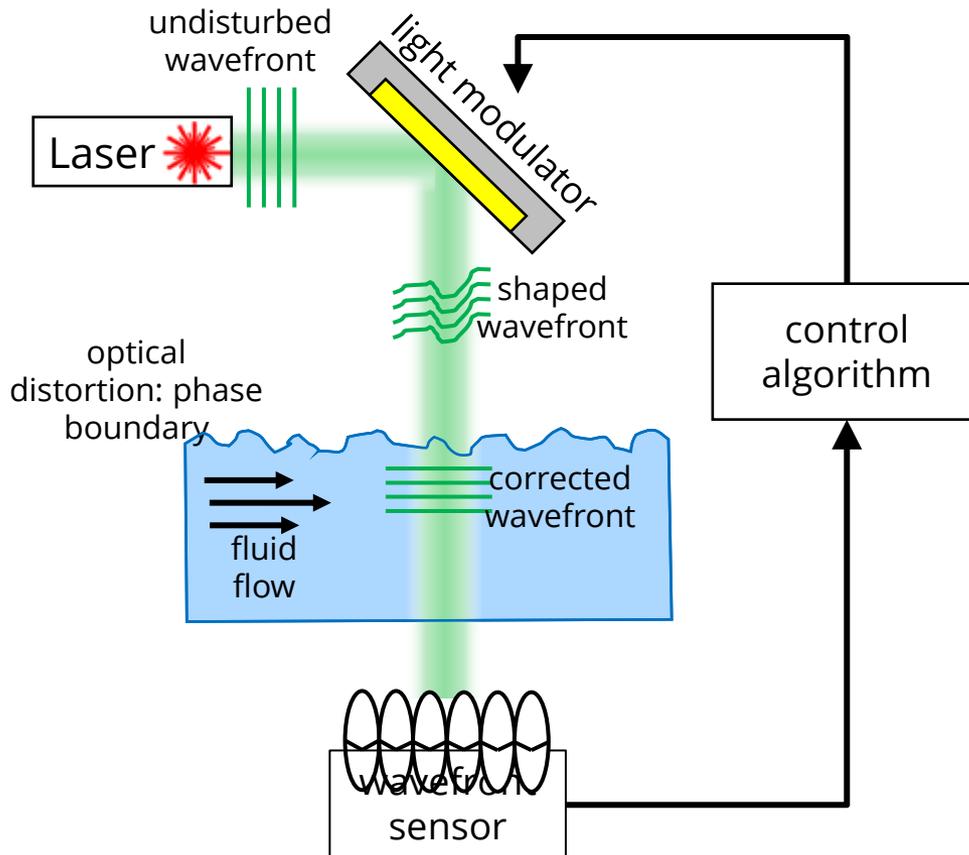


# Adaptive Lasermesstechnik



# Angepasstes Licht für neuartige Messungen

## Denken in Systemen

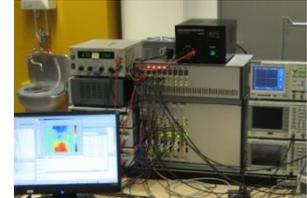


[www.alpao.com](http://www.alpao.com)



## • Computerbasierte adaptive Lasermesssysteme

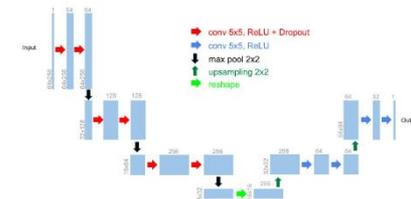
- FPGA-basierte Mess- und Regelungstechnik für deformierbare Spiegel (Adaptive Optik)
- High-speed-Kameras, Selbstkalibrierung, Simulation, Denken in Systemen
- Physical Layer Security – novel multimode fiber technique



FPGA System

## • Computerbasierte adaptive Ultraschallmesssysteme

- Digitale Mess- und Regelungssysteme (Latenz < 1 ms)
- AI – Deep Learning: U-Net topology (~20 layers)
- Ultrasound multimode waveguides (time reversal technique)



U-net

## • Anwendungen in der Biomedizin

- Digitale Lasermikroskopie mit neuartiger Bildverarbeitung (Computational Optical Metrology)
- Optogenetik: Digitale Echtzeitholographie für menschliche Gehirnanorgane
- Brillouin-Elastographie von biologischen Zellen (Krebsdiagnose mit Biomarkern)
- Berührungslose Zellrotatoren mit programmierbarer Optik (optische Pinzette)



Brennstoffzelle

## • Anwendungen in der Energie- und Prozesstechnik

- Phased-Array-Sensoren für Strömungen (Industrie 4.0)
- Untersuchungen zur Energieeinsparung bei technischen Strömungen (Brennstoffzellen, etc.)

# Verzerrung von Licht



**Senkrechtstarter Harrier II**

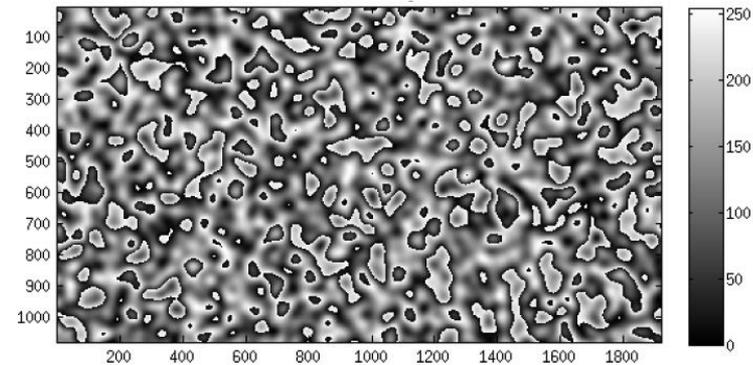


**Glas mit Sprudel**

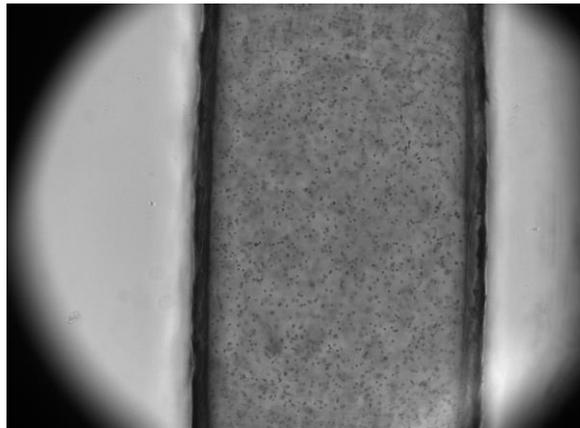
## Laminar flow in a micro channel

→ Image-correlation based  
flow-field measurement

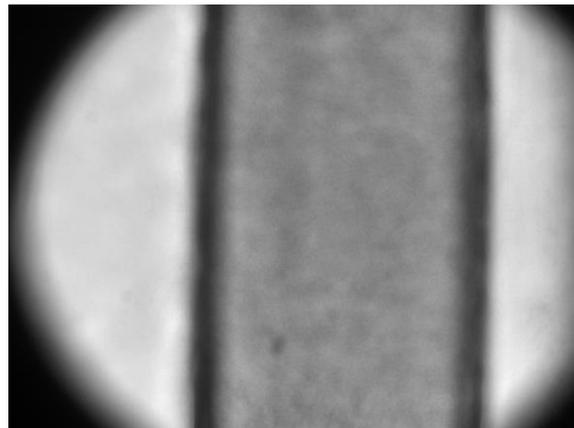
## Scattering layer (disturbing speckle field)



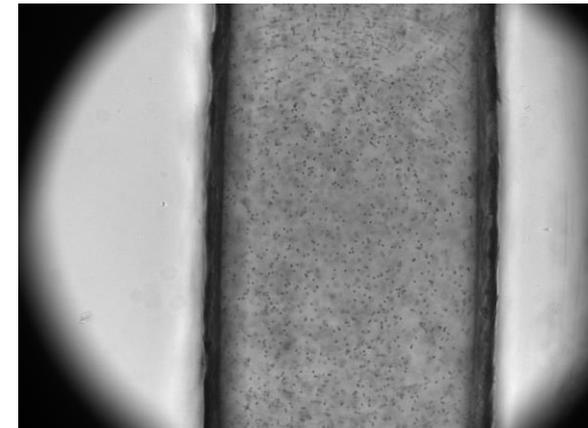
## Reference



## Aberrated image



## Corrected image



Digital holography and phase  
conjugation (light modulation)

# 3D Bildgebung durch komplexe Medien (Fokussieren durch Mäuseschädel)

## Problem

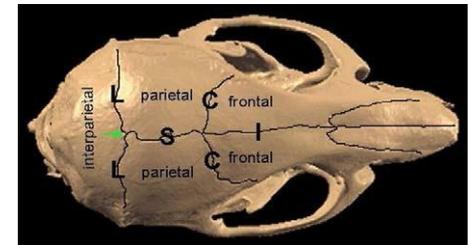
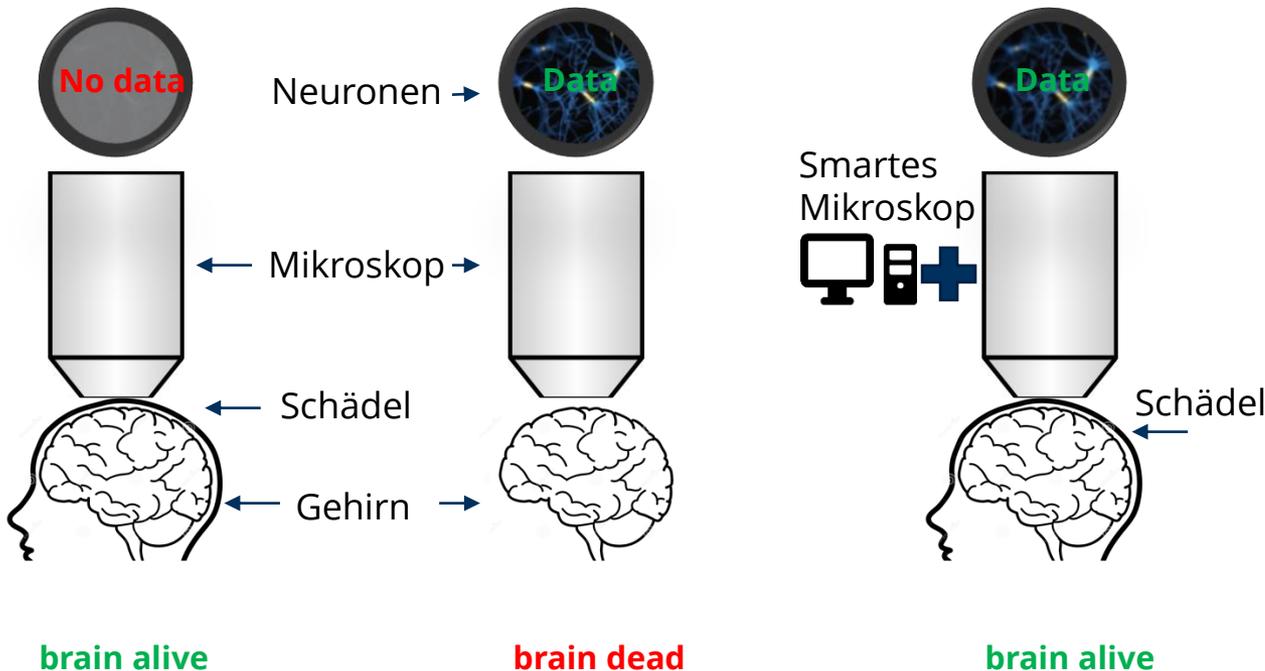
Lichtstreuung im Schädelknochen

## Bisheriger Stand

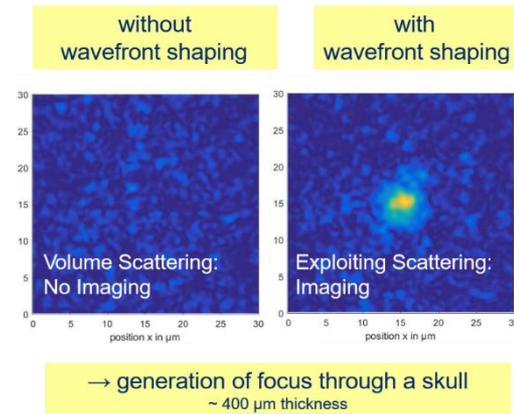
Schädel entfernen:  
Ex Vivo

## Neuer Ansatz

Smartes Mikroskop: In Vivo



Skull provided by Moritz Kreysing (MPI-CBG)



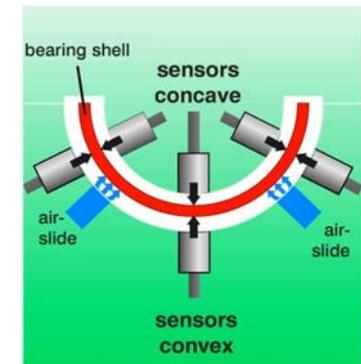
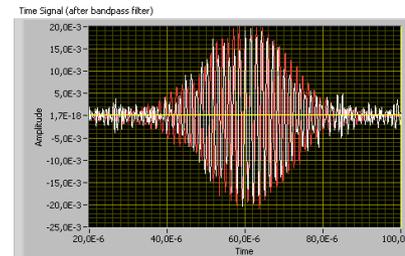
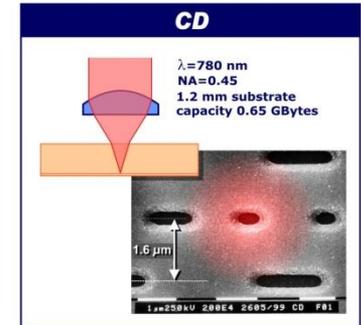
**Messsystemtechnik**  
6. Semester, 2 SWS  
(im Modul Prozessleittechnik)



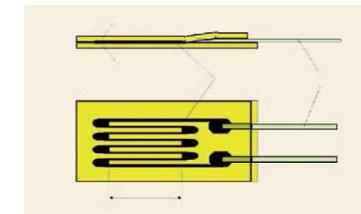
**Mess- und Sensortechnik**  
5. Semester, 4 SWS  
(inkl. Praktikum)



**Grundzüge des Messens**  
4. Semester, 2 SWS  
(im Modul Mess- und Automatisierungstechnik)



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



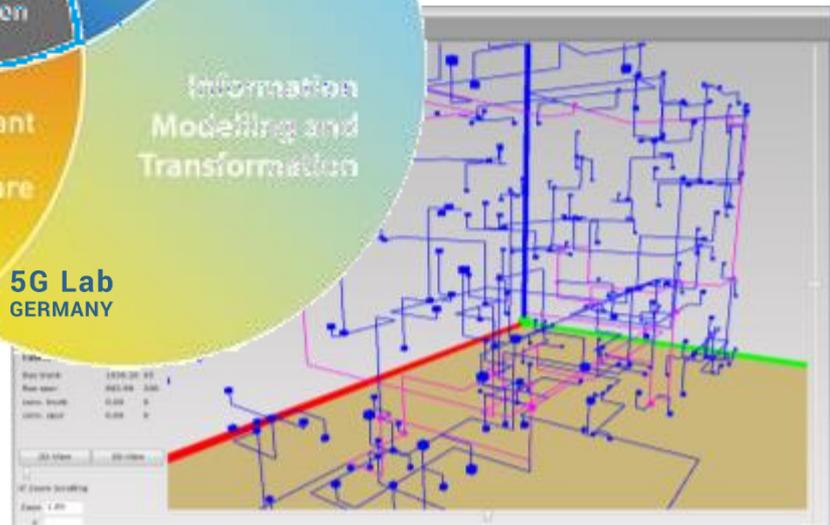
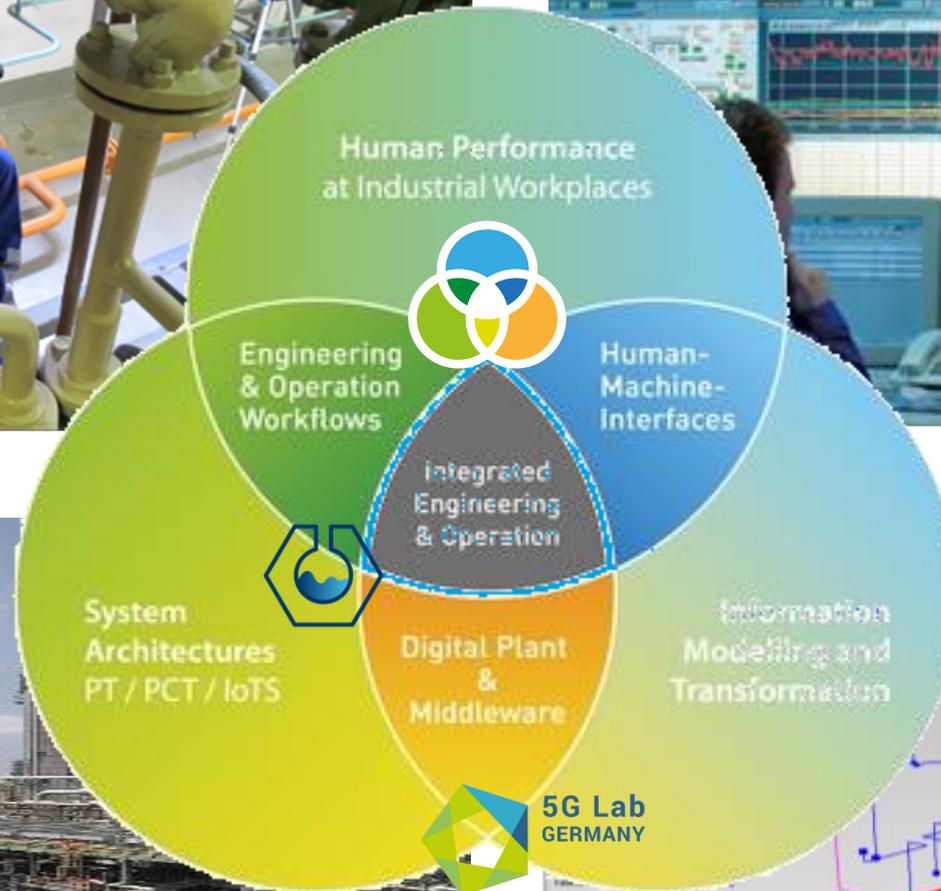


# Professur für Prozessleittechnik

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



# Themenfelder der Professur



# Inkubator Process-to-Order Lab



## Lücke zwischen Geschäftsalltag und Digitalisierung

### Herausforderungen und Potentiale der Prozessindustrie

Schnell wechselnde  
Markanforderungen

Erhöhung der  
Sicherheit

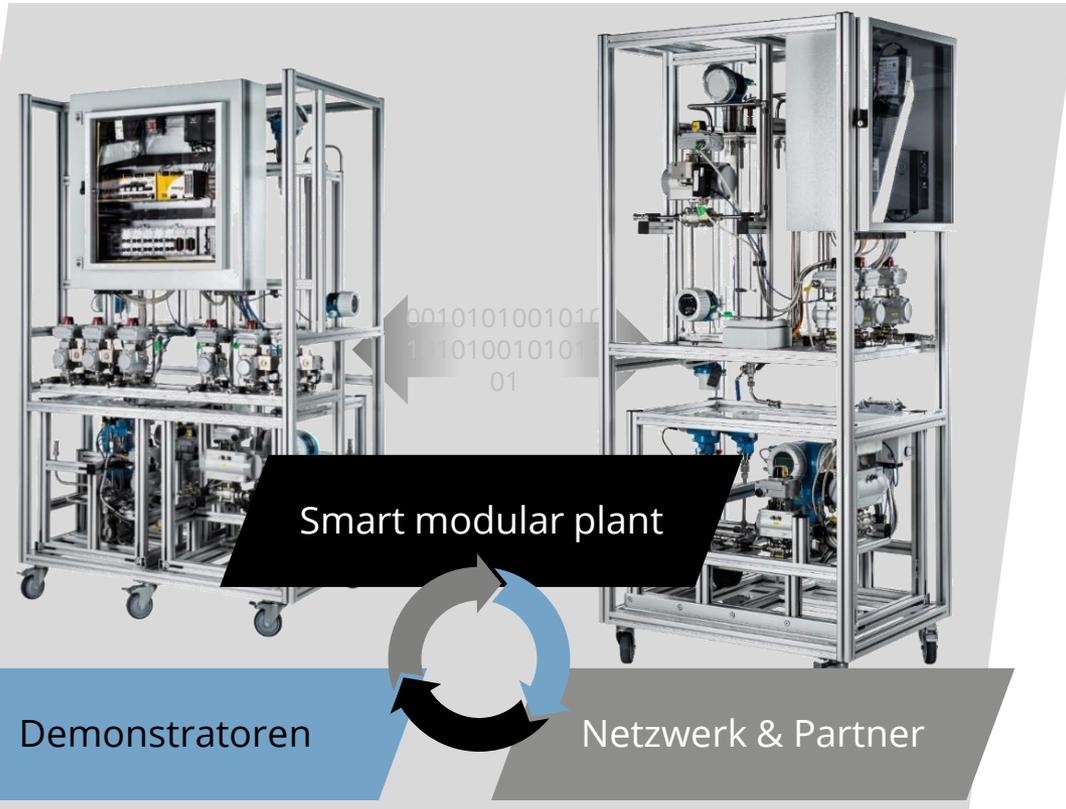
Einsparung von Zeit  
und Ressourcen

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**

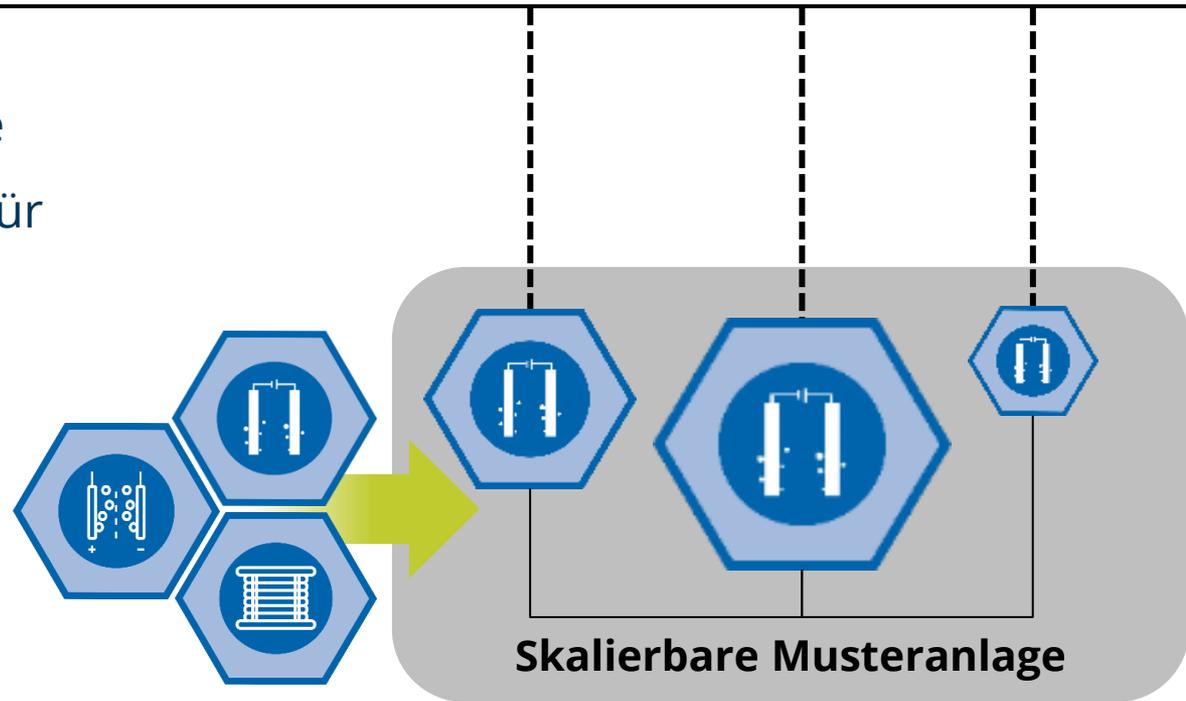
**Einsicht / Vorhersage / Exploration**

# 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



## 3./4. Semester

**MRT 1**  
Mikrorechentechnik 1

**MRT 2**  
Mikrorechentechnik 2

## 5./6. Semester

**HS AMR**  
Hauptseminar Automatisierungs-, Mess- und Regelungstechnik

**PLT1**  
Prozessleittechnik 1

auch belegbar für VNT

**PLT2**  
Prozessleittechnik 2

**SVT**  
Systemverfahrenstechnik

**PAVP**  
Prozessanalyse und Versuchsplanung

auch belegbar für ET, IST, RES



## 8. Semester

**CAE-PA**  
Computerassistiertes Engineering in der Prozessautomatisierung



**TPA**  
Theoretische Prozessanalyse

**EPA**  
Experimentelle Prozessanalyse

## 9. Semester

**MMST**  
Mensch-Maschine-Systemtechnik

auch belegbar für VNT

**OS MMI**  
Oberseminar Mensch-Maschine-Interaktion

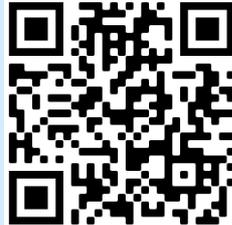
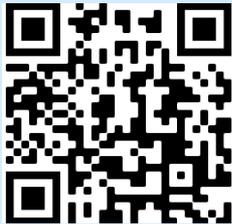
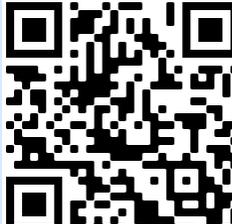
auch belegbar für VNT

**SimOpt**  
Simulation und Optimierung

auch belegbar für ET, IST, RES

# 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>	