

IAAM

Institute for Applied  
Automation and  
Mechatronics

FH AACHEN  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ideenfunke

2020



# Vorwort

## Foreword

Liebe Leserinnen und Leser,

herzlich willkommen am IaAM, dem Institut für angewandte Automation und Mechatronik an der FH Aachen. Das Institut wurde im Frühjahr 2019 von sieben Professorinnen und Professoren des Fachbereichs Maschinenbau und Mechatronik gegründet, mit dem Ziel die Kompetenzen für die Digitalisierung im Maschinenbau zu bündeln. Interdisziplinäre Zusammenarbeit ist heute der Schlüssel für eine erfolgreiche Umsetzung von Problemlösungen für die gesamte Wertschöpfungskette des Maschinenbaus vom Systems Engineering über die digitale Produktentstehung bis zur konstruktiven und fertigungstechnischen Realisierung aller Prozessschritte sowie der Logistik und Produktionsoptimierung. Fertigungsgerechte Konstruktionen aller Querschnittsdisziplinen und die Verwaltung der Produkte über den gesamten Lebenszyklus bis zur Entsorgung erfordern heute eine umfassende Dokumentation im digitalen Zwilling.

Das IaAM unterstützt Unternehmen aller Größen in der Umsetzung digitaler Strategien und bietet ein breites Knowhow für interdisziplinäre Projekte in der angewandten Forschung sowie in der praktischen Umsetzung. Auf Basis verschiedener Schulungskonzepte für Industrie 4.0, additive Fertigung und mobile autonome Robotik werden Schlüsseltechnologien für die digitale Transformation international unterschiedlichster Zielgruppen in den Hochschulen und in der Industrie vermittelt.

Mit diesem Bericht möchten wir über die Meilensteine und Forschungsprojekte des IaAM informieren und damit eine Basis geben, um Ideen für zukünftige gemeinsame Projekte zu generieren.

Sprechen Sie uns an, wenn sie Fragestellungen im Themengebiet haben, und nutzen sie diese Lektüre, um einen Einblick in die Tätigkeiten des IaAM zu bekommen.

Wir freuen uns auf ihre Kommentare und Anregungen!



Prof. Dr.-Ing. Jörg Wollert  
(Institutsleitung)



Prof. Dr.-Ing. Sebastian Bremen  
(stellv. Institutsleitung)

Dear readers,

welcome to the IaAM, the Institute for Applied Automation and Mechatronics at the FH Aachen. The institute was founded in spring 2019 by seven professors from the Department of Mechanical Engineering and Mechatronics with the aim of bundling competencies for digitalization in mechanical engineering. Today, interdisciplinary cooperation is the key to the successful implementation of solutions for the entire value chain of mechanical engineering, from systems engineering and digital product development to the design and manufacturing realization of all process steps as well as logistics and production optimization. Today, production-oriented design of all cross-sectional disciplines and the management of products over the entire life cycle up to disposal require comprehensive documentation in the digital twin.

The IaAM supports companies of all sizes in the implementation of digital strategies and offers a broad know-how for interdisciplinary projects in applied research as well as in practical implementation. On the basis of various training concepts for Industry 4.0, additive manufacturing and mobile autonomous robotics, key technologies for digital transformation are taught to a wide range of target groups in universities and industry internationally.

With this report we would like to inform about the milestones and research projects of the IaAM and thus give a basis to generate ideas for future joint projects.

Please contact us if you have any questions in the subject area and use this reading to get an insight into the activities of the IaAM.

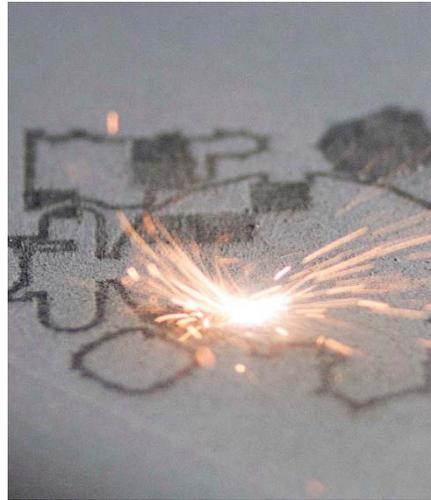
We look forward to your comments and suggestions!



# Institute for Applied Automation and Mechatronics

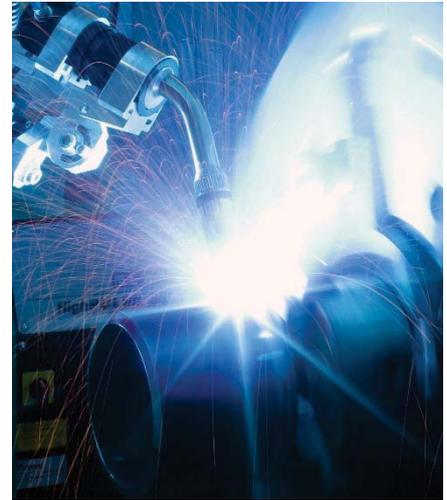
## Institut

4 Vorstellung



## Additive Fertigung

- 7 GoetheLab
- 8 Neue Werkstoffe der additiven Fertigung
- 9 Drucken ohne Unterstützung
- 10 Motorenbau leicht gemacht
- 11 Thermalkontrolle von Satellitenkomponenten
- 12 WIR! Wandel durch Innovation in der Region
- 13 Gründungszentrum der FH Aachen



## Innovative Fügetechnik

- 15 Fügetechnische Labore
- 16 Laserstrahlschweißen im Vakuum
- 17 Intelligente elektrochemische Beizverfahren
- 18 Neuartige Vakuumwalze
- 19 Umweltfreundlicher Leichtbau
- 20 Produktionseffizient in der Kleinserie



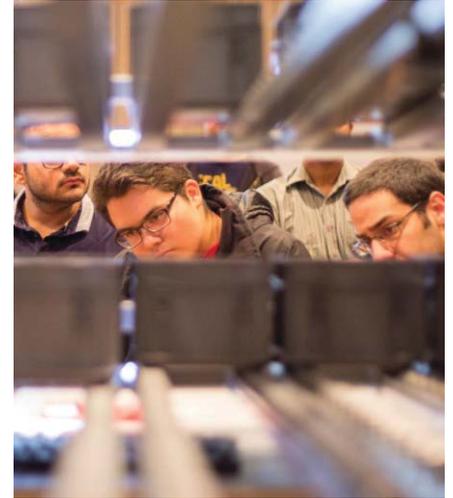
### **Mobile Autonome Robotik**

- 23 Labor für autonome Robotik
- 24 Entwicklung neuartiger Inspektionsmethoden
- 25 Weltgrößter Robotik-Wettbewerb MBZIRC
- 26 Artenschutz mittels künstlicher Intelligenz



### **Industrie 4.0**

- 29 Labor für Industrie 4.0
- 30 CARL – Computer Aided Roller Logger
- 31 Agentenbasiertes Softwareframework
- 32 Unterstützungssysteme mit Gamification Anteil



### **Ausbildung und Lehre**

- 35 ROS Summer School
- 36 Industrie 4.0 Summer School
- 37 3D Printing Summer School
- 38 Promotionen
- 44 Innovative Lehrkonzepte

# Institutsvorstellung

## Angewandte Automation und Mechatronik

Die Kernmission des Instituts ist es die digitale Transformation greifbar zu machen und neue anwendungsnahe Technologien zu entwickeln. Mit entsprechenden Technologiellaboren und einer Innovationsfabrik werden neuste Erkenntnisse in die Praxis umgesetzt. Hands-on-Erlebnisse sorgen für weitergehende Einblicke in den digitalisierten Maschinenbau und ermöglichen die Entwicklung neuer Impulse und Ideen. Sowohl Unternehmen als auch unsere eigenen Studierenden sollen einen tiefen Einblick in Technologien und Anwendungen mit direktem Bezug zur Industrie erhalten.

Mit den Professorinnen und Professoren sowie wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wird ein Umfeld geschaffen, das anwendungsorientierte Forschung auf Spitzenniveau ermöglicht. Aktuell werden sieben Promotionen innerhalb des Instituts mit verschiedenen Partneruniversitäten im In- und Ausland durchgeführt, die alle einen wichtigen Beitrag zur innovativen Weiterentwicklung des Maschinenbaus im 21. Jahrhundert leisten.

Die Gründungsmitglieder des IaAM decken ein breites Kompetenzfeld im Maschinenbau und den angrenzenden Disziplinen ab. Das Angebot des IaAM richtet sich vor allem an klein- und mittelständischen Unternehmen, mit dem Ziel diesen Unternehmen Zugang zu den neuesten Technologien zu ermöglichen und dadurch mit zur interdisziplinären Ausgestaltung der Arbeitswelt des 21. Jahrhunderts beizutragen.

Das IaAM bündelt alle Kernkompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der digitalen Produktion. Forschungsschwerpunkte bilden hierbei die Arbeitsgebiete der Gründungsprofessuren:



**Prof. Pamela Stöcker**

Lehrgebiet:  
Produktentwicklung und  
Konstruktionssystematik  
[pamela.stoecker@fh-aachen.de](mailto:pamela.stoecker@fh-aachen.de)  
T: +49.241.6009 52501



**Prof. Markus Schleser**

Lehrgebiet:  
Füge- und Trenntechnik /  
Lasertechnologie  
[schleser@fh-aachen.de](mailto:schleser@fh-aachen.de)  
T: +49.241.6009 52385



**Prof. Sebastian Bremen**

Lehrgebiet:  
Fertigungstechnik und Additive  
Manufacturing  
[bremen@fh-aachen.de](mailto:bremen@fh-aachen.de)  
T: +49.241.6009 52473



**Prof. Jörg Wollert**

Lehrgebiet:  
Eingebettet Systeme und  
Industrie 4.0  
[wollert@fh-aachen.de](mailto:wollert@fh-aachen.de)  
T: +49.241.6009 52503



**Prof. Stephan Kallweit**

Lehrgebiet:  
Robotik und  
Automatisierungstechnik  
[kallweit@fh-aachen.de](mailto:kallweit@fh-aachen.de)  
T: +49.241.6009 52348



**Prof. Peter Kämper**

Lehrgebiet:  
Mikrosystemtechnik und  
Sensorik  
[kaemper@fh-aachen.de](mailto:kaemper@fh-aachen.de)  
T: +49.241.6009 52500



**Prof. Nils Luft**

Lehrgebiet:  
Intralogistik und Fabrikplanung  
[nils.luft@fh-aachen.de](mailto:nils.luft@fh-aachen.de)  
T: +49.241.6009 52501

# Institute Presentation

## Applied Automation and Mechatronics

The core mission of the institute is to make the digital transformation tangible and to develop new application-oriented technologies. With corresponding technology labs and an innovation factory, the latest findings are put into practice. Hands-on experiences provide further insights into digitalized mechanical engineering and enable the development of new impulses and ideas. Both companies and our own students should gain a deep insight into technologies and applications with direct relevance to industry.

With the professors and scientific staff, an environment is created that enables application-oriented research at the highest level. Currently, seven doctoral programs are conducted within the institute with various partner universities in Germany and abroad, all of which make an important contribution to the innovative advancement of mechanical engineering in the 21st century.

The founding members of the IaAM cover a broad range of competencies in mechanical engineering and related disciplines. The IaAM's services are primarily aimed at small and medium-sized enterprises, with the goal of providing these companies with access to the latest technologies and thus contributing to the interdisciplinary development of the working world of the 21st century.

The IaAM bundles all core competencies along the entire value chain of digital production. The main focus is on the work areas of the founding professorships:



**Prof. Pamela Stöcker**

Subject area:  
Product development and design systematics  
[pamela.stoecker@fh-aachen.de](mailto:pamela.stoecker@fh-aachen.de)  
P: +49.241.6009 52501



**Prof. Markus Schleser**

Subject area:  
Joining and cutting technology / laser technology  
[schleser@fh-aachen.de](mailto:schleser@fh-aachen.de)  
P: +49.241.6009 52385



**Prof. Sebastian Bremen**

Subject area:  
Manufacturing technology and additive manufacturing  
[bremen@fh-aachen.de](mailto:bremen@fh-aachen.de)  
P: +49.241.6009 52473



**Prof. Jörg Wollert**

Subject area:  
Embedded systems and Industry 4.0  
[wollert@fh-aachen.de](mailto:wollert@fh-aachen.de)  
P: +49.241.6009 52503



**Prof. Stephan Kallweit**

Subject area:  
Robotics and automation technology  
[kallweit@fh-aachen.de](mailto:kallweit@fh-aachen.de)  
P: +49.241.6009 52348



**Prof. Peter Kämper**

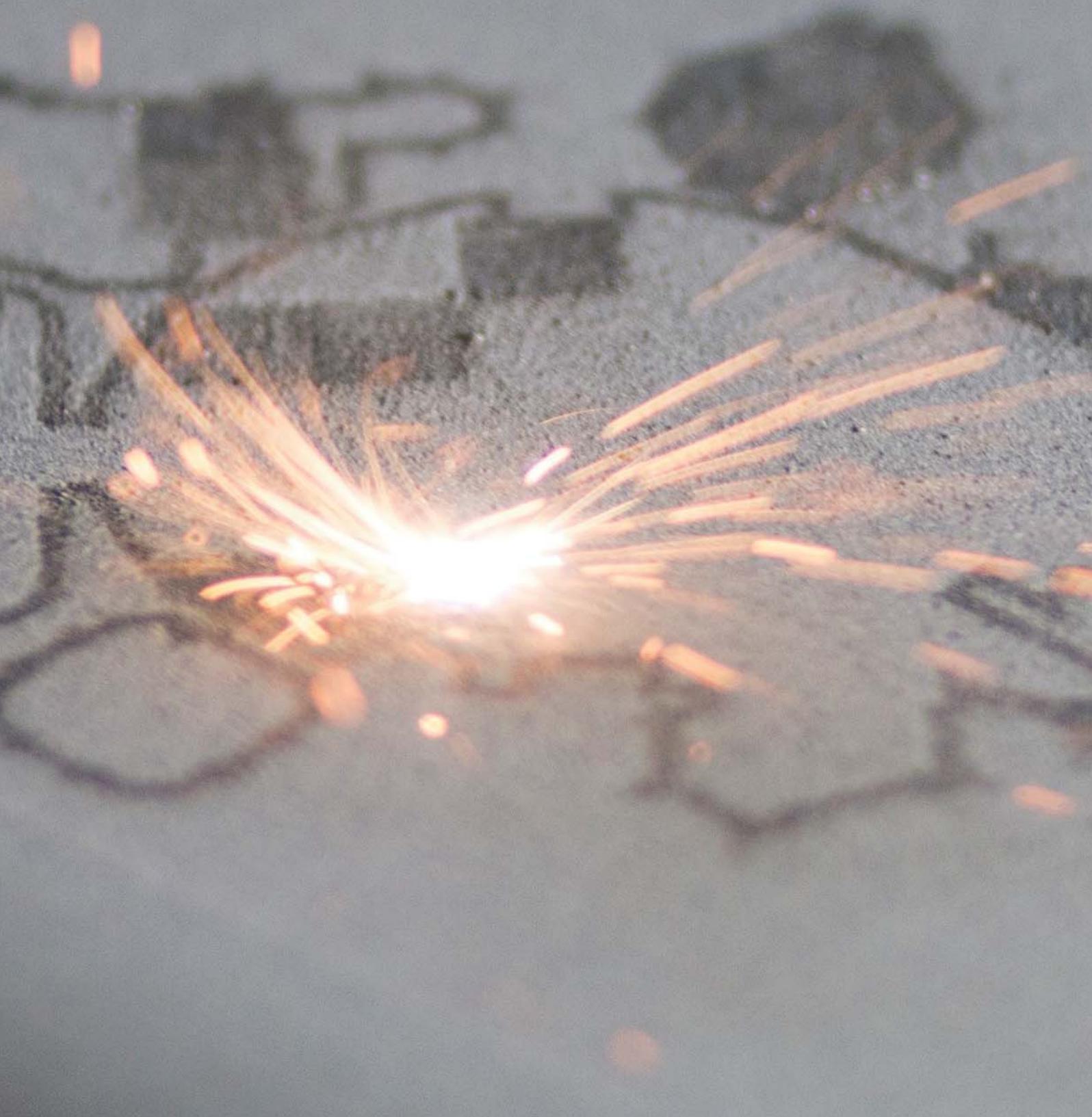
Subject area:  
Microsystem technology and sensor technology  
[kaemper@fh-aachen.de](mailto:kaemper@fh-aachen.de)  
P: +49.241.6009 52500



**Prof. Nils Luft**

Subject area:  
Intralogistics and factory planning  
[nils.luft@fh-aachen.de](mailto:nils.luft@fh-aachen.de)  
P: +49.241.6009 52501

# Additive Fertigung



# GoetheLab

## GoetheLab



M1 Cusing - Concept Laser



X Line 2000 R - Concept Laser

*LPBF Systeme des GoetheLab. (LPBF Systems of the GoetheLab)*

Das Rapid Prototyping und die Weiterentwicklung des Additive Manufacturing haben sich im Verlauf des vergangenen Jahrzehnts als Teilprozesse der Produktentwicklung und Fertigungstechnik etabliert. Im Jahr 2010 hat sich am Fachbereich für Maschinenbau und Mechatronik ein junges und technikbegeistertes Team gebildet, welches sich der Thematik der additiven Fertigungstechniken widmet. Das so entstandene GoetheLab ist stetig gewachsen und umfasst mittlerweile 20 Mitarbeiter.

Der Themenschwerpunkt liegt auf der Weiterentwicklung und industriellen Nutzung unterschiedlicher additiver Fertigungsverfahren für die Verarbeitung von Metallen, Polymeren und Sonderwerkstoffen.

Diese neue Fertigungstechniken bieten durch den schichtweisen Aufbau eine enorme Geometriefreiheit, wodurch Funktionen ressourceneffizient und ohne zusätzlichen Aufwand in Bauteile integriert werden können.

Forschungsschwerpunkte in aktuellen öffentlich geförderten oder bilateralen Projekten sind die Ermittlung neuer industrieller Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks, die Erschließung neuer Materialien sowie die konstruktive und fertigungsgerechte Gestaltung von Bauteilen. Zur Durchführung dieser Projekte verfügt das Lehrgebiet über eine umfangreiche Anlagenausstattung.

Seit 2013 besteht eine gemeinsame Forschungsgruppe mit dem Fraunhofer Institut für Lasertechnik ILT im Bereich der additiven Fertigung, die durch den Lehrgebietsinhaber Prof. Dr.-Ing. Bremen geleitet wird.

Rapid prototyping and the further development of additive manufacturing have established themselves as sub-processes of product development and manufacturing technology over the past decade. In 2010, a young team of technology enthusiasts was formed at the Department of Mechanical Engineering and Mechatronics to work on the subject of additive manufacturing techniques. The resulting GoetheLab has grown steadily and now has 20 employees.

The main focus is on the further development and industrial use of different additive manufacturing techniques for the processing of metals, polymers and special materials.

These new manufacturing techniques offer enormous freedom from geometry due to their layer-by-layer structure, allowing functions to be integrated into components in a resource-efficient manner and without additional effort.

Current publicly funded or bilateral projects focus on the identification of new industrial applications for 3D printing, the development of new materials, and the design of components in line with construction and production requirements. The department has extensive equipment at its disposal for carrying out these projects.

Since 2013, there has been a joint research group with the Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT in the field of additive manufacturing, which is headed by the chair holder Prof. Dr.-Ing Sebastian Bremen.



**Prof. Dr.-Ing.  
Sebastian Bremen**

E-Mail: [bremen@fh-aachen.de](mailto:bremen@fh-aachen.de)  
Phone: +49.241.6009 52681

# Neue Werkstoffe der additiven Fertigung

## New additive manufacturing materials



*Verarbeitung von Glaswerkstoffen mittels Laser Powder Bed Fusion.  
(Processing of glass materials by laser powder bed fusion.)*

Technische Glaswerkstoffe zeichnen sich besonders durch ihre hohe chemische und thermische Beständigkeit aus, weshalb für diesen Werkstoff interessante industrielle Anwendungen existieren. Allerdings bestehen bei der Verarbeitung von Glaswerkstoffen Limitierungen hinsichtlich der geometrischen Freiheit der Bauteilgestalt. Hier kann der Einsatz additiver Fertigungstechniken Vorteile verschaffen.

Die hohe Temperaturbeständigkeit und geringe Wärmeleitfähigkeit, welche Glas zu einem interessanten technischen Werkstoff machen, werfen hinsichtlich der Verarbeitung mittels pulverbett-basiertem Laserstrahlschmelzen jedoch Herausforderungen auf. Im IGF Forschungsvorhaben „Einsatzgrenzen beim Strahlschweißen von Glaswerkstoffen“ (EGS) wird die generelle Verarbeitbarkeit von Glaswerkstoffen mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) grundlegend untersucht. Ziel ist die Definition von Einsatzgrenzen und Prozessfenstern, in denen eine additive Herstellung von Bauteilen aus technischen Gläsern möglich ist. Dazu werden im Laufe des Projekts Pulverwerkstoffe charakterisiert und qualifiziert.

Technical glass materials are characterized in particular by their high chemical and thermal resistance, which is why there are interesting industrial applications for this material. However, there are limitations in the processing of glass materials with regard to the geometric freedom of the component shape. Here, the use of additive manufacturing techniques can provide advantages.

However, the high temperature resistance and low thermal conductivity, which make glass an interesting technical material, pose challenges with regard to processing using powder bed-based laser melting. In the IGF research project "Application limits for beam welding of glass materials" (EGS), the general processability of glass materials using laser powder bed fusion (LPBF) is being fundamentally investigated. The aim is to define application limits and process windows in which additive manufacturing of components made of technical glass is possible. To this end, powder materials will be characterized and qualified in the course of the project.



### **Projekt EGS**

09.2017 – 02.2020

### **Contact:**

Fabian Eichler, M.Sc.  
eichler@fh-aachen.de



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Drucken ohne Unterstützung

## Printing without support structures

Die Additiven Fertigungsverfahren auf Basis von Photopolymeren und selektiver Belichtung, wie beispielsweise die Stereolithographie (SLA) oder Projektionsverfahren (DLP), stellen aktuell die 3D-Druckverfahren mit höchster Auflösung und Oberflächengüte dar. Ein Nachteil sind Stützstrukturen, welche bei geometrisch komplexeren Bauteilen notwendig sind. Das vom Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT) entwickelte TwoCure Verfahren vermeidet diese Stützstrukturen über eine spezielle Temperaturführung, eine Kombination aus Lichthärten und Einfrieren. Im Forschungsvorhaben AIPhaMat werden auf Basis dieses Verfahrens gemeinsam Herausforderungen und Limitierungen bei bekannten Werkstoffen beseitigt und neue Formulierungen von Photoharzen untersucht.

Der Forschungsverbund ist aufgrund der interdisziplinären Charakteristik der Thematik breit aufgestellt. Die Firma Dreve verfügt über das notwendige Wissen im Bereich Materialentwicklung und die Erfahrung für erste Beispielapplikationen. Das Fraunhofer ILT bietet die entsprechende Prozesskenntnis und verfügt über weitreichende Erfahrungen zur Materialentwicklung. Das GoetheLab wird das Vorhaben in den Bereichen Produktcharakterisierung sowie Produktqualifizierung unterstützen. Verstärkt wird das Vorhaben durch die Firma IWF, die entsprechende Handlungsempfehlungen in den Bereichen Kundenbedarf, Prozessstrukturierung und Materialeinsatzerarbeitet sowie angepasste Schulungskonzepte entwickelt.

Die Produktcharakterisierung und insbesondere die Produktqualifizierung der gedruckten Bauteile ist ein Schlüsselement hin zu einer additiven Produktion von Polymerbauteilen. Durch eine Vergleichsanalyse wird zunächst das Verfahren in die Prozesse der additiven Fertigung eingeordnet. Nach der Charakterisierung spezieller Probekörper werden diese auf unterschiedlichsten industriellen additiven Fertigungsanlagen hergestellt und durch die analysierte Vergleichsmaßstabsdefinition evaluiert. Durch mechanische Untersuchungen erfolgt anschließend eine Produktcharakterisierung.



**Projekt AIPhaMat**  
04.2019 – 03.2022

**Contact:**  
Karim Abbas, M.Eng.  
abbas@fh-aachen.de

Additive manufacturing processes based on photopolymers and selective exposure, such as stereolithography (SLA) or projection processes (DLP), currently represent the 3D printing processes with the highest resolution and surface quality. One disadvantage is support structures, which are necessary for geometrically more complex components. The TwoCure process developed by the Fraunhofer Institute for Laser Technology (ILT) avoids these support structures by means of a special temperature control, a combination of light curing and freezing. In the AIPhaMat research project, challenges and limitations in known materials are being jointly eliminated on the basis of this process, and new formulations of photo resins are being investigated.

The research network is broadly based due to the interdisciplinary nature of the subject. The Dreve company has the necessary knowledge in the field of material development and the experience for initial example applications. The Fraunhofer ILT offers the corresponding process knowledge and has further experience in material development. The GoetheLab will support the project in the areas of product characterization and product qualification. The project will be supported by IWF, which will develop recommendations for action in the areas of customer requirements, process structuring and material use, as well as customized training concepts.

Product characterization and, in particular, product qualification of printed components is a key element towards additive production of polymer components. A comparative analysis is first used to classify the process in the additive manufacturing processes. After characterization of special test specimens, these are produced on a wide variety of industrial additive manufacturing equipment and evaluated by the analyzed comparative scale definition. Subsequently, a product characterization is carried out by mechanical examinations.



# Motorenbau leicht gemacht

## Engine building made easy

Ziel des Verbundprojektes „LEIMOT“ ist die Entwicklung eines additiv hergestellten Verbrennungsmotors mit einer Verringerung des Motorgewichts von 30-40%, bei verbessertem Betriebswirkungsgrad, Betriebsverhalten, Thermomanagement und reduzierter Geräuschentwicklung. Der Projektverbund deckt ein breit gefächertes Kompetenzfeld ab und umfasst sowohl Anwender und Entwickler aus der Industrie wie auch aus der Forschung.



*LeIMot Motorkonzept.*

Neue Konstruktions-, Auslegungs- und Herstellungsverfahren werden in Zukunft stärker auf den Produktentwicklungsprozess Einfluss nehmen. Ziel des Vorhabens ist es, den Verbrennungsmotor auf zukünftige Herstellungsverfahren auszurichten und neue Potentiale zu nutzen. Die heutigen konventionellen Herstellverfahren lassen mittelfristig kaum größere Entwicklungsschritte erwarten. Der Ansatz des Vorhabens ist, frei von Herstellungsrestriktionen wie Gusskernen oder Entformungen, die einen erheblichen Einfluss auf die Gestaltung von z.B. Kurbelgehäuse und Zylinderkopf haben. Zur Erreichung dieser Ziele wird das selektive Laserstrahlschmelzen (SLM) für metallische Motorkomponenten, neben hochbelastbaren Kunststoffkomponenten aus Faserverbundwerkstoff eingesetzt.

The aim of the "LEIMOT" joint project is to develop an additively manufactured internal combustion engine with a reduction in engine weight of 30-40%, improved operating efficiency, operating behaviour, thermal management and reduced noise development. The project network covers a broad field of expertise and includes users and developers from industry as well as from research.



*LeIMot Motor Concept.*

New design, layout and manufacturing processes will have a greater influence on the product development process in the future. The aim of the project is to align the internal combustion engine with future manufacturing processes and to exploit new potential. Today's conventional manufacturing processes are unlikely to lead to major development steps in the medium term. The approach of the project is to be free of manufacturing restrictions such as casting cores or demolding, which have a considerable influence on the design of e.g. crankcase and cylinder head. To achieve these goals, selective laser beam melting (SLM) will be used for metallic engine components, in addition to highly stress able plastic components made of fiber reinforced composites.



### **Projekt LeIMot**

07.2018 – 12.2021

### **Contact:**

Marco Skupin, B.Sc.  
skupin@fh-aachen.de

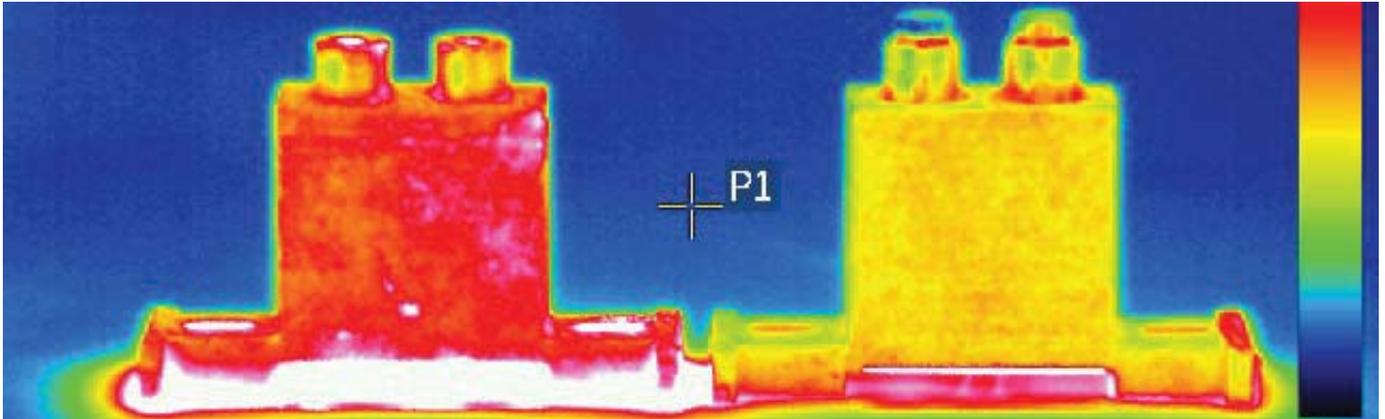
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Thermalkontrolle von Satellitenkomponenten

## Thermal control of satellite components



Thermografiebild eines Latentwärmespeichers (Thermographic image of a latent heat storage tank).

Die Thermalkontrolle von Satellitenkomponenten hat einen entscheidenden Einfluss auf die Messgenauigkeit der Instrumente. Durch die stark schwankenden externen Temperaturen im Orbit und die unterschiedlichen Operationsmodi im Inneren des Satelliten unterliegen die Messinstrumente einem zyklischen Wechsel von Ausdehnung und Schrumpfung. Diese Verformung betrifft vor allem die metallischen Komponenten und verringert neben der Messgenauigkeit auch die Lebensdauer der Instrumente.

Im Forschungsvorhaben „Infused Thermal Solutions“ (ITS) wird in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Markus Czupalla vom Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik die Verwendung von bereits erprobten Latentwärmespeichern in Kombination mit der additiven Fertigung untersucht. Insbesondere die Geometriefreiheit der additiven Fertigungsverfahren bietet hierbei enorme Vorteile. Die Einbettung von „Phase Change Material“ (PCM) in additiv gefertigte doppelwandige Gehäuse ist ein neuartiger Ansatz, um eine passive Thermalkontrolle zu erreichen, ohne weitere Peripherie mitführen zu müssen. Durch die Gitterstrukturen innerhalb der Gehäusewandung wird zum einen eine Gewichtsreduktion und zum anderen eine Effizienzsteigerung der Wärmeübertragung in das PCM erzielt. Die Phasenübergänge des PCM sorgen dabei für eine hohe Pufferkapazität für thermische Schwankungen.

The thermal control of satellite components has a decisive influence on the measurement accuracy of the instruments. Due to the strongly fluctuating external temperatures in orbit and the different operation modes inside the satellite, the measuring instruments are subject to a cyclic change of expansion and contraction. This deformation mainly affects the metallic components and reduces not only the measurement accuracy but also the lifetime of the instruments.

In the research project "Infused Thermal Solutions" (ITS), the use of already tested latent heat accumulators in combination with additive manufacturing is being investigated in collaboration with Prof. Dr. Markus Czupalla from the Department of Aerospace Engineering. The geometric freedom of additive manufacturing processes in particular offers enormous advantages here. The embedding of "phase change material" (PCM) in additively manufactured double-walled housings is a novel approach to achieve passive thermal control without having to carry further peripherals. The internal lattice structures within the enclosure wall achieve both a weight reduction and an increase in the efficiency of heat transfer into the PCM. The phase transitions of the PCM provide a high buffer capacity for thermal fluctuations.



### Projekt ITS

04.2019 – 03.2022

### Contact:

Fabian Eichler, M.Sc.  
eichler@fh-aachen.de

Marius Schild, M.Eng.  
schild@fh-aachen.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# WIR!–Wandel durch Innovation in der Region

WE! change through innovation in the region

Das Programm „WIR!- Wandel durch Innovation in der Region“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gibt den Anstoß für neue regionale Bündnisse und einen nachhaltigen innovationsbasierten Strukturwandel in allen strukturschwachen Regionen Deutschlands. WIR!-Bündnisse, welche die Umsetzungsphase erreichen, werden bis zu 6 Jahre lang mit bis zu 15 Mio.€ gefördert.

Das WIR!-Bündnis LASER.region.AACHEN steht für gemeinschaftliche lasertechnische Lösungen. Mit dem Bündnis soll die LASER.region.AACHEN zu einem global sichtbaren Vorreiter für agile Lösungen laserbasierter Produktionstechniken etabliert werden. Der Wandel in der Region soll vor allem von inhabergeführten, mittelständischen Unternehmen betrieben und unterstützt durch die starke regionale Forschung realisiert werden. Durch die Produktion und Nutzung dieser neuen laserbasierten Produktionslösungen sollen nachhaltig Arbeitsplätze und wirtschaftliche Erfolgsfaktoren für die LASER.region.AACHEN geschaffen werden.

Nach erfolgreicher Skizzeneinreichung wurden die drei Konsortialpartner Clean-Lasersysteme GmbH, RWTH Aachen und FH Aachen von September 2020 an für die neunmonatige Konzeptphase gefördert. In dieser Zeit wurde das Partnerkonsortium auf ca. 40 Partner weiter ausgebaut. Gemeinsam mit dem Konsortium wurden in mehreren Workshops Industriebedarfe gesammelt und in schlagkräftigen Forschungsvorhaben gebündelt. Gemeinsam mit dem strategischen Gesamtkonzept für die Region werden diese Forschungsvorhaben zum Ende Mai 2021 beim Projektträger eingereicht. Wir wünschen dem Antrag viel Erfolg, um den Strukturwandel in der Region aktiv mitgestalten zu können.

The program "WIR! - Change through Innovation in the Region" from the Federal Ministry of Education and Research provides the impetus for new regional alliances and sustainable innovation-based structural change in all structurally weak regions of Germany. WIR! alliances that reach the implementation phase receive funding of up to €15 million for up to 6 years.

The WIR! alliance LASER.region.AACHEN stands for joint laser technology solutions. The alliance aims to establish LASER.region.AACHEN as a globally visible pioneer for agile solutions in laser-based production technologies. The transformation in the region is to be driven primarily by owner-operated, medium-sized companies and realized with the support of strong regional research. The production and use of these new laser-based production solutions should create sustainable jobs and economic success factors for LASER.region.AACHEN.

After successfully submitting their outlines, the three consortium partners Clean-Lasersysteme GmbH, RWTH Aachen University and FH Aachen University of Applied Sciences were funded for the nine-month concept phase starting in September 2020. During this time, the partner consortium was further expanded to approximately 40 partners. Together with the consortium, industrial needs were collected in several workshops and bundled into powerful research projects. Together with the overall strategic concept for the region, these research projects will be submitted to the project management organization by the end of May 2021. We wish the application every success in actively shaping structural change in the region.



## Projekt

09.2020 – 05.2021

## Contact:

Sebastian Bremen  
bremen@fh-aachen.de  
Markus Schleser  
schleser@fh-aachen.de

**wir!** Wandel durch  
Innovation  
in der Region

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Gründungszentrum der FH Aachen

## Foundation Center of the FH Aachen

Die Maßnahme StartUpLab@FH verfolgt die Intention, „Idee- und Kreativräume einzurichten und den Gründergeist an den Hochschulen zu fördern“. Am Campus Eupener Straße entsteht durch das StartUpLab@FH geförderte Projekt „Match Box“ auf über 450m<sup>2</sup> Fläche ein Ort für Gründungsinteressierte. Die Gründungsteams erwarten eine Prototypenwerkstatt mit verschiedenen Bereichen, wie Elektronik, Holz- und Metallbearbeitung sowie Ausrüstung zur additiven Fertigung in Industriequalität. Neben Office und Co-Working Spaces steht zusätzlich Raum für Events, Workshops und für Lehrveranstaltungen zur Verfügung.

Durch individuelle Angebote wie Coaching und Beratung erhalten Gründungsinteressierte und Hochschulangehörige die optimale Unterstützung, um ihre innovative Idee voranzutreiben. Im Fokus steht dabei die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Angehörigen verschiedener Fachbereiche. Dafür werden anhand von Team-Matchings verschiedene Expertisen vereint, mit dem Ziel optimale Teams zu bilden.

Dies spiegelt sich auch bei den fachübergreifenden MitarbeiterInnen und ProfessorInnen des Projekts wieder, welche verschiedene Kompetenzen und Erfahrungen mitbringen. Hierzu zählen unter anderem:

- Prof. Dr.-Ing. Martin Wolf
- Prof. Dr. rer. pol. Constanze Chwallek
- Prof. Dipl.-Kom. Christoph Scheller
- Prof. Dipl.-Des. Eva Vitting
- Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Sebastian Bremen

Das Projekt Match Box trägt zudem gemeinsam mit dem Projekt Founded@FHAachen dazu bei, dass Gründungszentrum der FH Aachen aufzubauen, an dem alle Hochschulangehörigen eine optimale und langfristige Gründungsunterstützung erhalten.



### Gründungszentrum FH Aachen

04.2020 – 03.2024

#### Contact:

Dr.-Ing. Johannes König  
koenig@fh-aachen.de

The StartUpLab@FH measure pursues the intention of "setting up idea and creative spaces and promoting the start-up spirit at universities". At the Eupener Straße campus, the StartUpLab@FH funded project "Match Box" is creating a place for people interested in founding a company on an area of over 450m<sup>2</sup>. The start-up teams can expect a prototype workshop with different areas, such as electronics, wood and metal processing as well as equipment for additive manufacturing in industrial quality. In addition to office and co-working spaces, there is also space for events, workshops and teaching events.

Through individual offers such as coaching and consulting, people interested in founding a company and university members receive optimal support to advance their innovative idea. The focus is on interdisciplinary cooperation between members of different departments. For this purpose, different expertise is combined by means of team matching, with the aim of forming optimal teams.

This is also reflected in the interdisciplinary staff and professors of the project, who bring different competences and experiences. These include, among others:

- Prof. Dr.-Ing. Martin Wolf
- Prof. Dr. rer. pol. Constanze Chwallek
- Prof. Dipl.-Kom. Christoph Scheller
- Prof. Dipl.-Des. Eva Vitting
- Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Sebastian Bremen

The Match Box project, together with the Founded@FHAachen project, also contributes to the establishment of a start-up center at Aachen University of Applied Sciences, where all university members receive optimal and long-term start-up support.

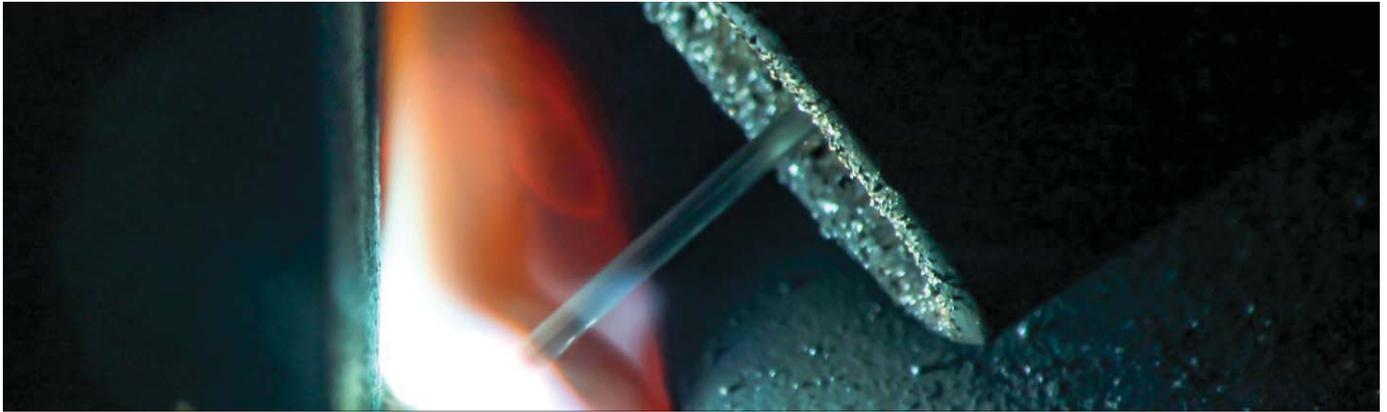




# Innovative Fügetechnik

# Fügetechnische Labore

## Welding laboratories



*MAG-Schweißen. (MAG welding.)*

Die Fügetechnik ist eine Schlüsseltechnologie sowohl in handwerklich geprägten als auch in industriellen Produktionsumgebungen. Kaum ein Produkt kommt ohne sie aus, dies galt bereits für einfachste Werkzeuge in der Steinzeit und gilt heutzutage umso mehr für komplexe aktuelle Produkte, beispielsweise moderne Fahrzeugkarosserien in Multimaterialbauweise.

Die fügetechnischen Labore am Fachbereich Maschinenbau und Mechatronik umfassen ein schweißtechnisches Labor, ein klebtechnisches Labor sowie ein metallographisches Labor mit umfassender moderner Anlagenausstattung. Die Themenschwerpunkte in den Laboren liegen auf der industriegerechten Anwendung und Weiterentwicklung der Verfahrens- und Prozesstechnik sowie deren Integration in die Prozesskette

Neben der praxisnahen Ausbildung von Studierenden kooperiert das Forschungsgebiet Fügetechnik eng mit der Industrie in Form von Abschlussarbeiten, passgenauen Schulungen, direkten F&E-Dienstleistungen sowie größeren, meist öffentlich geförderten Forschungsprojekten. Aktuelle Forschungsfelder sind beispielsweise das automatisierte Schweißen kleiner Losgrößen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, die Entwicklung eines ergonomischen Heizpinsels zur effizienten Nachbearbeitung von Schweißnähten, die Entwicklung einer neuartigen Technologie und Anlagentechnik zum Laserstrahlschweißen im Vakuum sowie das Fügen additiv gefertigter Bauteile oder natürlich gewachsener Bambusrohre.

Joining technology is a key technology in both craft-based and industrial production environments. Hardly any product can do without it; this was already true for the simplest tools in the Stone Age and is even more true today for complex current products, such as modern vehicle bodies in multi-material construction.

The joining technology laboratories at the Department of Mechanical Engineering and Mechatronics include a welding technology laboratory, a bonding technology laboratory and a metallographic laboratory with comprehensive modern equipment. The laboratories focus on the industrial application and further development of process technology and its integration into the process chain.

In addition to the practical training of students, the Joining Technology research area cooperates closely with industry in the form of theses, tailored training courses, direct R&D services and larger, mostly publicly funded research projects. Current research fields include, for example, automated welding of small batches to increase economic efficiency, the development of an ergonomic pickling brush for efficient post-processing of weld seams, the development of a novel technology and plant engineering for laser beam welding in a vacuum, and the joining of additively manufactured components or naturally grown bamboo tubes.



**Prof. Dr.-Ing.  
Markus Schleser**

E-Mail: [schleser@fh-aachen.de](mailto:schleser@fh-aachen.de)

Phone: +49.241.6009 52368

# Laserstrahlschweißen im Vakuum

## Laser welding in vacuum

Dr. Benjamin Gerhards und sein Team entwickeln das Laserstrahlschweißen mit mobilem im Vakuum zur Marktreife. Hierbei wird er von Prof. Dr. Markus Schleser sowie dem herzogenrather Unternehmen CleanLaser unterstützt. Das technologisch neuartige Verfahren ist nicht nur präziser und sauberer als etablierte Schweißmethoden, sondern auch deutlich umweltfreundlicher.

Im Vergleich zum konventionellen Schweißen an Atmosphäre lässt sich die Einschweißtiefe durch das Vakuum signifikant erhöhen – und dass bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität.



*Vergleich Schweißpunkt unter Atmosphäre und im Vakuum. (Comparison of weld spot under atmosphere and in vacuum.)*

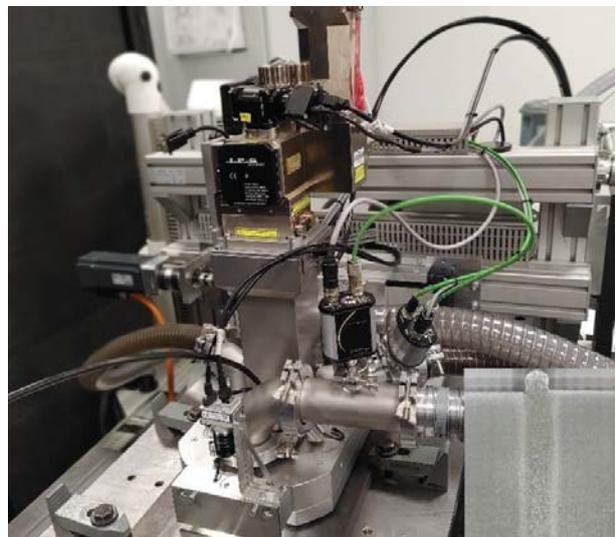
Das Werkstück, welches bearbeitet werden soll, befindet sich beim Laserstrahlschweißen mit mobilem Vakuum nicht mehr wie sonst üblich in einer stationären Vakuumkammer. Das Vakuum wird innerhalb des mobilen Vakuumsystems nur ganz lokal um die Schweißstelle erzeugt und das System mit dem Schweißprozess mitbewegt. Dadurch eignet sich das Verfahren besonders für die Verarbeitung dicker Bleche, die in der Regel auch mit großen Bauteilvolumina verbunden sind. Der prädestinierte Anwendungsfall ist die Herstellung von Gründungsstrukturen für Offshore-Windparks.

In assoziierten Forschungsarbeiten an der FH Aachen werden Applikationen im Bereich des Dickblechschweißens mit Blechdicken bis zu 100 mm für einen industriellen Einsatz vorbereitet.

Dr. Benjamin Gerhards and his team are developing mobile vacuum laser welding to market maturity. He is supported in this by Prof. Dr. Markus Schleser and the CleanLaser company from herzogenrath. The technologically novel process is not only more precise and cleaner than established welding methods, but also significantly more environmentally friendly.

Compared to conventional welding in the atmosphere, the welding depth can be significantly increased by the vacuum - and that with a simultaneous increase in quality.

In laser beam welding with mobile vacuum, the workpiece to be processed is no longer located in a stationary vacuum chamber. The vacuum is generated within the mobile vacuum system only very locally around the welding point and the system is moved along with the welding process. The predestined application is the manufacture of foundation structures for offshore wind farms.



*Demonstratoranlage. (Demonstrator system.)*

In associated research work at Aachen University of Applied Sciences, applications in the field of thick plate welding with plate thicknesses of up to 100 mm are being prepared for industrial use.



**Projekt MoVak**  
11.2019 – 04.2021

**Contact:**  
Dr. Benjamin Gerhards  
b.gerhards@fh-aachen.de



# Intelligente elektrochemische Beizverfahren

## Intelligent electrochemical pickling processes



Prototyp des iRemoV Bearbeitungskopf. (Prototype of the iRemoV machining head.)

Im Rahmen des ZIM-Kooperationsprojekts iRemoV wird in Zusammenarbeit mit der GSM GmbH ein innovatives System für das elektrochemische Beizen entwickelt. Eingesetzt werden soll iRemoV zur Nachbehandlung geschweißter Edelstahlbauteile. Das System ist in der Lage, alle wesentlichen prozessrelevanten Parameter zu erfassen, in engen Grenzen einzustellen und intelligent zu regeln. Das umfasst auch die Regelung der Elektrolytzufuhr, die Absaugung der im Prozess entstehenden nitrosen Gase auf Basis der Leistungsparameter des Beizprozesses sowie den Einsatz speziell angepasster Elektrolyte.

Gegenüber den derzeit verfügbaren Systemen für das mobile Beizen von lokal begrenzten Bauteilbereichen werden signifikante Verbesserungen bezogen auf Behandlungsqualität, Prozesssicherheit, Standzeit der Pinselelektrode, Arbeitsschutz, Ressourceneffizienz und Automatisierbarkeit des Prozesses erreicht. Ein besseres Beizergebnis wird prozesssicherer in kürzerer Zeit erzielt. Mit dem neuen Gerät wird zudem ein teilmechanisierter Beizprozess entwickelt, welcher die Grundlage zur vollmechanischen und in der Folge zur automatischen Bearbeitung ebnet. Der Beizprozess wird damit Industrie-4.0-tauglich.

As part of the ZIM cooperation project iRemoV, an innovative system for electrochemical pickling is being developed in collaboration with GSM GmbH. iRemoV is to be used for the post-treatment of welded stainless steel components. The system is capable of recording all essential process-relevant parameters, setting them within narrow limits and controlling them intelligently. This also includes the control of the electrolyte supply, the extraction of nitrous gases generated in the process based on the performance parameters of the pickling process, and the use of specially adapted electrolytes.

Compared to the systems currently available for mobile pickling of locally limited component areas, significant improvements are achieved in terms of treatment quality, process reliability, service life of the pinselectrode, occupational safety, resource efficiency and process automation capability. A better pickling result is achieved with greater process reliability in a shorter time. The new unit also develops a partially mechanized pickling process, which paves the way for fully mechanized and subsequently automated processing. This makes the pickling process suitable for Industry 4.0.



### Projekt iRemoV

01.2019 – 06.2021

### Contact:

Dipl.-Ing. Hans Lingens MBA IWE  
lingens@fh-aachen.de



Gefördert durch:



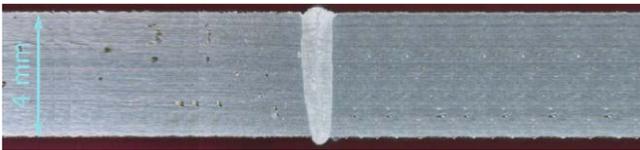
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Neuartige Vakuumwalze

## Novel vacuum roller

Ziel des ZIM-Kooperationsprojektes VacuFL3X ist die Entwicklung einer neuartigen Vakuumwalze zum sicheren und flexiblen einseitigen Antrieb von Warenbahnen inkl. der erforderlichen Isolation von Bahnspannungen. Das System soll die bei heutigen am Markt verfügbaren Walzen vorhandenen Qualitätsprobleme eliminieren, den Wirkungsgrad erhöhen, eine konstruktiv einfache Anpassung an Kundenwünsche ermöglichen und neuartige Funktionen integrieren, die den Fertigungsprozess gedruckter Schaltungen verbessern.

Das System zeichnet sich zudem durch seine Skalierbarkeit aus, so dass es für beliebige Warenbahnbreiten eingesetzt werden kann. Dazu wird gemeinsam mit der JHT GmbH und der IWF GmbH ein Konzept entwickelt, das durch in den Walzenmantel integrierte Vakuum- und Druckdüsen ein variables und lokal begrenztes Ansaugen und Ablösen der Warenbahn ermöglicht und somit die Möglichkeit bietet, die Anpress- und Ablösekräfte variabel an das zu verarbeitende Produkt anzupassen.



*LaVa-geschweißte Naht am Walzen-Mantel. (LaVa-welded seam on the roller shell.)*

Weiterhin zeichnet sich das System durch ebenfalls in den Walzenmantel integrierte Temperierkanäle aus, die selektiv ansteuerbar sind und eine gezielte, produktabhängige Temperierung ermöglichen. Das gesamte System wird segmentiert aufgebaut. Dies bietet erhebliche Vorteile im Hinblick auf die Skalierbarkeit auf beliebige Walzenabmessungen und verspricht zudem Vorteile bei Reparaturen oder Modifikationen.

Die FH Aachen erarbeitet im Projekt geeignete Füge- und Dichtkonzepte zur sicheren Verbindung der additiv gefertigten Segmente.



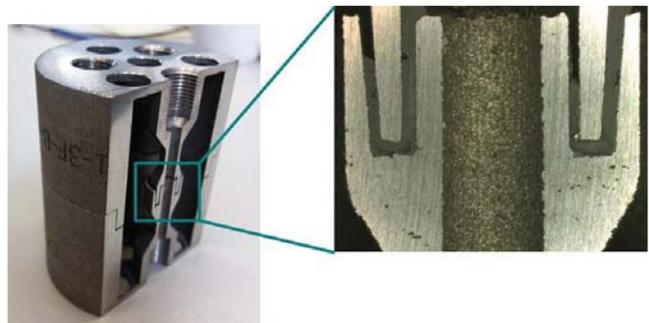
### Projekt VacuFL3x

10.2019 – 10.2021

### Contact:

Lukas Griebner, BA, IWE  
griebner@fh-aachen.de

The aim of the ZIM cooperation project VacuFL3X is to develop a new type of vacuum roll for the safe and flexible single-sided drive of webs, including the necessary isolation of web tension. The system is designed to eliminate the quality problems associated with current rollers on the market, increase efficiency, enable simple design adaptation to customer requirements and integrate novel functions that improve the production process for printed circuits.



*Mediendichte Klebeverbindung der Vakuumkanäle. (Media-tight adhesive connection of the vacuum channels.)*

The system is also characterized by its scalability, so that it can be used for any web width. To this end, a concept is being developed in collaboration with JHT GmbH and IWF GmbH that enables variable and locally limited suction and release of the web by means of vacuum and pressure nozzles integrated into the roll shell, thus offering the possibility of variably adapting the contact pressure and release forces to the product to be processed.

The system is also characterized by temperature control channels integrated into the roll shell, which can be selectively controlled and enable targeted, product-dependent temperature control. The entire system is designed in segments. This offers considerable advantages in terms of scalability to any roll dimensions and also promises benefits in the event of repairs or modifications.

In the project, the FH Aachen is developing suitable joining and sealing concepts for securely connecting the additively manufactured segments.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Umweltfreundlicher Leichtbau

## Environmentally friendly lightweight construction

Das Ziel des Gründungsvorhabens camboo ist die industrielle Nutzung von natürlich gewachsenem Bambusrohr als Leichtbauwerkstoff. Bambus ist die am schnellsten wachsende Pflanze der Welt und stellt gleichzeitig sehr geringe Anforderungen an die Bodenqualität. Die mechanischen Eigenschaften von Bambusrohr sind vergleichbar mit Aluminium.

Die Herausforderungen bei der Verarbeitung des Naturmaterials ergeben sich durch seine inhomogenen Werkstoffeigenschaften und eine unregelmäßige Geometrie. In einer patentierten Prüfmethode werden die individuelle Biegesteifigkeit und Kontur jedes Bambusrohrs mit optischer Messtechnik ausgewertet.



*Innovative Prüf- und Verbindungsmethoden zur Herstellung verbesserter Bambusrohrstrukturen. (Innovative testing and joining methods to produce improved bamboo cane structures.)*

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde an der FH Aachen ein innovativer Knotenverbinder entwickelt und patentiert, der eine deutliche Reduzierung von Fertigungszeit und damit Fertigungskosten sowie eine automatisierte Fertigung ermöglicht. So sollen zukünftig wirtschaftlich konkurrenzfähige Produkte mit deutlich verringerter CO<sub>2</sub>-Bilanz hergestellt werden, darunter auch Chassis für die nächste Generation Elektrofahrzeuge oder Flugzeugsitze.



**EFRE.NRW**  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung

The aim of the camboo start-up project is the industrial use of naturally grown bamboo cane as a lightweight construction material. Bamboo is the fastest growing plant in the world and at the same time makes very low demands on soil quality. The mechanical properties of bamboo cane are comparable to aluminium.

The challenges in processing this natural material arise from its inhomogeneous material properties and irregular geometry. In a patented testing method, the individual bending stiffness and contour of each bamboo cane are evaluated using optical measurement technology.



*Fahrrad aus Bambusrohren. (Bicycle made from bamboo.)*

As part of the research project, an innovative node connector was developed and patented at Aachen University of Applied Sciences, which enables a significant reduction in manufacturing time and thus manufacturing costs as well as automated production. In this way, economically competitive products with a significantly reduced CO<sub>2</sub> footprint are to be manufactured in the future, including chassis for the next generation of electric vehicles or aircraft seats.

### Projekt camboo

01.2019 – 12.2020

#### Contact:

Simon Blum, M.Eng.

s.blum@fh-aachen.de

Yannic Windeln, M.Eng.

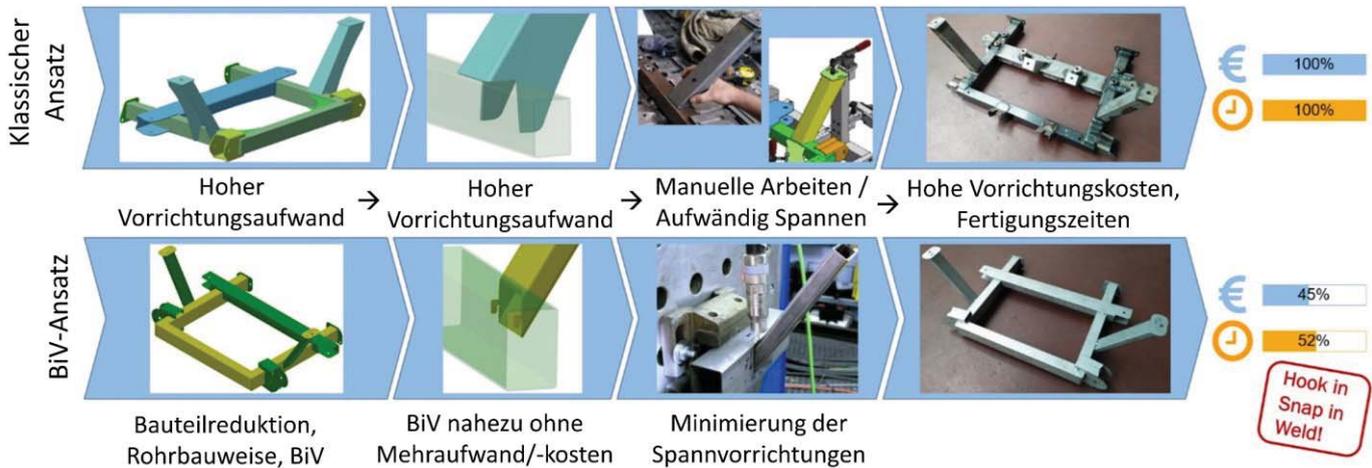
windeln@fh-aachen.de



**EUROPÄISCHE UNION**  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

# Produktionseffizient in der Kleinserie

## Production efficiency in small series



### BiV Ansatz. (BiV Approach)

Das Forschungsvorhaben „Produktionseffizienz in der Kleinserie“ (ProeK) zielt darauf ab, innovative technische Lösungen zu entwickeln und zu untersuchen, um Kleinserien im Zukunftsfeld Elektromobilität kostengünstig, effizient und flexibel herstellen zu können.

Insbesondere in der Kleinserienproduktion können Kosteneinsparungen und Effizienzsteigerungen durch innovative Produkt- und Prozesskonzepte gehoben werden. Dies erfordert kostengünstige, aber gleichzeitig auch effiziente und flexible Lösungen. Das Ziel ist, baugruppenspezifische Investitionskosten zu senken, indem z.B. Werkzeug- und Vorrichtungskosten reduziert werden. Der Fertigungsprozess muss dabei eine Flexibilität hinsichtlich Stückzahlen und Derivate aufweisen. Neuartige fertigungstechnische Prozessketten müssen daher gezielt im Hinblick auf eine Reduzierung von Werkzeugen und Vorrichtungen sowie eine Vereinfachung des Toleranzkonzeptes betrachtet werden.

Die FH Aachen entwickelt hierfür schweißgerechte bauteilintegrierte Vorrichtungen (BiV). Eine nach den BiV-Prinzipien optimierte Rahmenbaugruppe eines E-Fahrzeuges konnte so deutlich kostengünstiger und zeiteffizienter hergestellt werden.

The research project "Production Efficiency in Small Series Production" (ProeK) aims to develop and investigate innovative technical solutions for the cost-effective, efficient and flexible production of small series in the future field of electric mobility.

Particularly in small series production, cost savings and efficiency increases can be achieved through innovative product and process concepts. This requires cost-effective, but at the same time efficient and flexible solutions. The aim is to reduce assembly-specific investment costs, for example by reducing tooling and fixture costs through new product and process concepts. The manufacturing process must be flexible in terms of quantities and derivatives. New manufacturing process chains must therefore be specifically considered with regard to a reduction of tools and fixtures as well as a simplification of the tolerance concept.

For this purpose, the FH Aachen is developing welding-compatible component-integrated fixtures (BiV). A frame assembly of an e-vehicle optimized according to the BiV principles could thus be manufactured significantly more cost-effectively and time-efficiently.



**Projekt ProeK**  
03.2017 – 02.2020

**Contact:**  
Prof. Markus Schleser  
schleser@fh-aachen.de



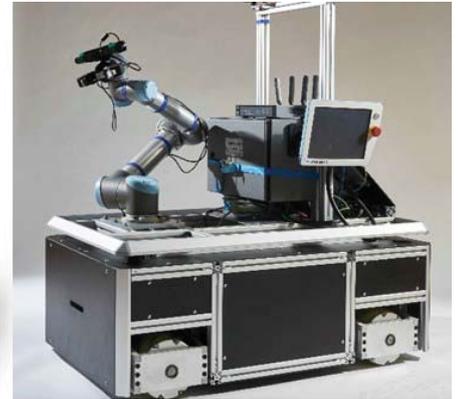


# Mobile Autonome Robotik



# Labor für autonome Robotik

Lab for autonomous robots



Robotersysteme entwickelt am IaAM: Kletterroboter SMART, Feldroboter Etarob, Mobiler Manipulator Omnivil. (Robot systems developed at IaAM: Climbing robot SMART, Field robot Etarob, Mobile manipulator Omnivil.)

Die mobile autonome Robotik stellt einen wesentlichen Bestandteil der Industrie-4.0 Strategie des IaAM dar. Prof. Dr. Stephan Kallweit leitet als Lehrgebietesinhaber für Robotik und Automatisierung die entsprechende Arbeitsgruppe „Mobile autonome Systeme“ des IaAM. Die Arbeitsgruppe befasst sich mit den drei grundlegenden Themenbereichen Umgebungswahrnehmung, autonome Navigation und Manipulation sowie der Mensch-Roboter Interaktion.

Damit ein Robotersystem autonom navigieren kann, muss es in der Lage sein seine Umgebung zu erfassen und deren grundlegende Struktur zu kartographieren. Es muss jederzeit wissen, wo es sich befindet (Lokalisierung), und einen kollisionsfreien Weg zu seinem Zielpunkt ermitteln (Pfadplanung). Durch Methoden der probabilistischen Robotik können autonome Robotersysteme auch in komplexen und unstrukturierten Umgebungen, wie sie eine industrielle Produktionsstraße darstellt, robust navigieren. Kollaborative Manipulatoren und entsprechende Sicherheitssensorik schaffen einen Arbeitsraum, in dem Roboter und Mensch gemeinsam arbeiten und sich gegenseitig unterstützen. Durch Methoden der künstlichen Intelligenz – speziell aus dem Bereich maschinelles Lernen - sind komplexe Aufgabenstellungen, z.B. aus dem Themenfeld der Manipulation, auch unter wechselnden Umgebungsparametern mit einer hohen Wiederholgenauigkeit lösbar. Solche lernenden Systeme besitzen ein großes Potential in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen.

Im Fokus der Forschungsaktivitäten der Arbeitsgruppe steht die Implementierung neuartiger Methoden zur Generierung zukünftiger industrieller Applikationen.

Mobile autonomous robotics is an essential part of the IaAM's Industry 4.0 strategy. Prof. Dr. Stephan Kallweit is head of the corresponding working group "Mobile Autonomous Systems" at the IaAM. The working group deals with the three basic topics of environment perception, autonomous navigation and manipulation, and human-robot interaction.

In order for a robotic system to navigate autonomously, it must be able to perceive its environment and map its basic structure. It must know where it is at all times (localization) and determine a collision-free path to its destination (path planning). Probabilistic robotics methods enable autonomous robotic systems to navigate robustly even in complex and unstructured environments such as an industrial production line. Collaborative manipulators and corresponding safety sensors create a workspace in which robots and humans work together and support each other. Using methods of artificial intelligence - especially from the field of machine learning - complex tasks, e.g. from the field of manipulation, can be solved with high repeatability even under changing environmental parameters. Such learning systems have great potential in a variety of application areas.

The research activities of the group focus on the implementation of novel methods for the generation of future industrial applications.



**Prof. Dr.-Ing.**

**Stephan Kallweit**

E-Mail: [kallweit@fh-aachen.de](mailto:kallweit@fh-aachen.de)

Phone: +49.241.6009 52348

# Entwicklung neuartiger Inspektionsmethoden

## Development of novel inspection methods

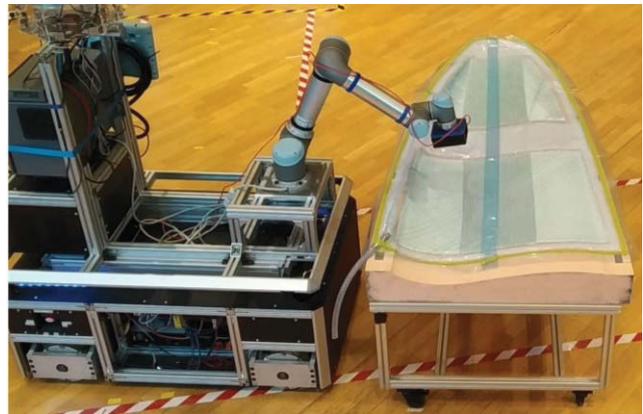
Im Forschungsvorhaben FiberRadar entwickelt das IaAM gemeinsam mit dem Fraunhofer FHR, der Ruhr-Universität Bochum und der Aeroconcept GmbH ein neuartiges Verfahren zur Qualitätskontrolle des Fertigungsprozesses hochfester Faserverbundwerkstoffe.

Bei der Herstellung von glasfaserverstärkten Strukturbauteilen wird die Faserstruktur durch das Umschließen verlegter Glasfaserhalbzeuge mit einer Harzmatrix fixiert. Unregelmäßigkeiten in der Ausrichtung sowie im Verlauf der Faserverstärkung verändern die Struktureigenschaften und reduzieren somit die Qualität des entstandenen Verbundwerkstoffes. Derzeit ist eine Untersuchung des Faserverlaufs und der Faserschichtung bei Infusions- oder Injektionsprozessen vor dem Einbringen der Harzmatrix nicht möglich. Dies macht eine kontrollierte Prozesskette de facto unmöglich und sorgt für kostenintensive Nacharbeit bis hin zur Verschrottung von Bauteilen. Durch hochauflösende Radarabbildung kann die Faserstruktur bereits vor dem Vergießen dreidimensional abgebildet und somit noch optimierend eingegriffen werden.

Das IaAM bildet im Forschungsverbund die notwendige Robotikkompetenz ab. Ziel ist die Entwicklung eines mobilen Messsystems für die großräumigen Bauteile in der Fertigung von Windkraftanlagen. Dieser neuartige Ansatz ermöglicht eine Qualitätskontrolle von Faserverbundbauteilen in derzeit nicht realisierbarer Präzision.

In the FiberRadar research project, IaAM, together with Fraunhofer FHR, Ruhr University Bochum and Aeroconcept GmbH, is developing a novel method for quality control of the manufacturing process of high-strength fiber composite materials.

In the production of glass fiber reinforced structural components, the fiber structure is fixed by enclosing laid glass fiber semi-finished products with a resin matrix. Irregularities in the alignment as well as in the course of the fiber reinforcement change the structural properties and thus reduce the quality of the resulting composite material. At present, it is not possible to examine the fiber orientation and fiber layering in infusion or injection processes before the resin matrix is introduced. This makes a controlled process chain de facto impossible and results in cost-intensive rework up to the scrapping of components. By means of high-resolution radar imaging, the fiber structure can be mapped three-dimensionally before casting and thus optimized.



*Mobile Manipulator executing the inspection process.*

The IaAM represents the necessary robotics competence in the research network. The aim is to develop a mobile measuring system for large-scale components in the production of wind turbines. This novel approach enables quality control of fiber composite components with a precision that is currently not feasible.

**2014** EFRE.NRW  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



### Projekt FiberRadar

05.2019 – 04.2022

### Contact:

Patrick Coenen, M.Sc.  
coenen@fh-aachen.de

Harshal Dawar, M.Sc.  
dawar@fh-aachen.de

# Weltgrößter Robotik-Wettbewerb MBZIRC

## World's largest robotics competition MBZIRC

Die Mohamed Bin Zayed International Robotics Challenge (MBZIRC) ist ein internationaler Robotik-Wettbewerb, welcher alle drei Jahre in Abu Dhabi (Vereinigte Arabische Emirate) stattfindet. Mit über 5 Mio. US-Dollar an Preisgeldern und Sponsorings ist der MBZIRC Wettbewerb derzeit der höchstdotierteste seiner Art im Bereich der autonomen mobilen Robotik. In insgesamt drei Einzelwettbewerben messen sich einige der international bekanntesten und renommiertesten Forschungsinstitute und Universitäten, die auf Robotik spezialisiert sind.

Bereits zum zweiten Mal hatte es das Team der FH Aachen in das Finale des Wettbewerbs geschafft. Vorangegangen waren zwei Qualifizierungsrunden, in welchen sich das Team erfolgreich gegen die internationale Konkurrenz durchsetzen konnte.



*FH Aachen Team bei MBZIRC 2020 in Abu Dhabi.*

Der Wettbewerb fand im Februar 2020 statt und umfasste insgesamt drei Einzelwettbewerbe, welche in speziellen Arenen stattfanden. So musste ein autonomer Multikopter einen weiteren Multikopter in einer der Arenen aufspüren, abfangen und diesem einen Ball abjagen. In einer weiteren Arena musste eine Mauer nach einem vorgegebenen Muster aufgebaut werden. Hierzu sollten mehrere UAVs sowie ein mobiler Manipulator kooperieren. In der dritten und letzten Arena wurde ein Feuerbekämpfungsszenario simuliert. Hierbei mussten indoor und outdoor Brandherde gefunden und bekämpft werden. In der sogenannten Grand Challenge mussten alle drei Teilaufgaben in einer Arena synchron gelöst werden.

Insgesamt hatten sich 30 Teams zum Wettbewerb qualifiziert. In der Gesamtbewertung konnte sich das Team der FH Aachen erfolgreich auf dem 12. Platz behaupten und ließ dabei einige sehr bekannte Forschungseinrichtungen hinter sich.

The Mohamed Bin Zayed International Robotics Challenge (MBZIRC) is an international robotics competition held every three years in Abu Dhabi, United Arab Emirates. With over \$5 million in prize money and sponsorships, the MBZIRC competition is currently the most highly endowed of its kind in the field of autonomous mobile robotics. In a total of three individual competitions, some of the best-known and most prestigious international research institutes and universities specializing in robotics compete against each other.

This was the second time that the team from Aachen University of Applied Sciences had made it to the finals of the competition. This was preceded by two qualification rounds, in which the team was able to successfully assert itself against the international competition.

The competition took place in February 2020 and included a total of three individual competitions, which took place in special arenas. An autonomous multicopter had to track down another multicopter in one of the arenas, intercept it and chase a ball away from it. In another arena, a wall had to be built according to a given pattern. Several UAVs and a mobile manipulator had to cooperate. In the third and last arena, a fire-fighting scenario was simulated. Here, indoor and outdoor sources of fire had to be found and fought. In the so-called Grand Challenge, all three sub-tasks had to be solved synchronously in one arena.

A total of 30 teams qualified for the competition. In the overall evaluation, the team from Aachen University of Applied Sciences was able to successfully hold its own in 12th place, leaving some very well-known research institutions behind.



### Projekt MBZIRC2020

#### Contact:

Patrick Wiesen, M-Sc.  
wiesen@fh-aachen.de

# Artenschutz mittels künstlicher Intelligenz

## Species protection by means of artificial intelligence

In einem gemeinsamen Forschungsvorhaben entwickeln das IaAM und das MASKOR Institut zusammen mit der Tshwane University of Technology (Südafrika) neue Konzepte zum Artenschutz in Nationalparks.



*Nashorn im Pilansberg-Nationalpark. (Rhino in Pilansberg National Park)*

Die Wilderei stellt Nationalparks vor große Probleme. Insbesondere sind z.B. Nashörner als stark gefährdete Arten davon betroffen. Jährlich werden mehr als 1.000 Tiere getötet, obwohl auf Wilderei harte Strafen stehen. Aufgrund der weitläufigen Flächen, die in den Parks bis zu 20.000 m<sup>2</sup> betragen - das entspricht etwa der Fläche Hessens - ist eine Überwachung vom Boden aus lückenhaft. Durch den Einsatz von unbemannten Multikoptern oder Starrflüglern können im Vergleich sehr viel größere Areale abgedeckt werden. Weiterhin ist durch Algorithmen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz (Deep Convolutional Networks) auch eine kontinuierliche Erfassung des Tierbestands möglich.

Die am IaAM entwickelten autonom fliegenden Systeme unterstützen die Ranger vor Ort bei ihrer Arbeit und leisten einen Beitrag zum Erhalt gefährdeter Arten. Die FH-Forscher arbeiten eng mit der südafrikanischen Tierschutzorganisation SPOTS (Strategic Protection of Threatened Species) zusammen, die sich dem Schutz gefährdeter Tierarten verschrieben hat. Gemeinsam mit SPOTS ist es bereits gelungen, Wilderer aus der Luft zu detektieren und durch Verfolgung mittels Luftunterstützung zu ergreifen.

In a joint research project, IaAM and MASKOR Institute together with Tshwane University of Technology (South Africa) are developing new concepts for species conservation in national parks.

Poaching poses major problems for national parks. Rhinos, for example, as a highly endangered species, are particularly affected. More than 1,000 animals are killed every year, although poaching is punishable by severe penalties. Due to the extensive areas, which can be up to 20,000 m<sup>2</sup> in the parks - roughly equivalent to the area of Hesse - monitoring from the ground is patchy. By using unmanned multicopters or fixed-wing aircraft, much larger areas can be covered in comparison. Furthermore, through algorithms from the field of artificial intelligence (Deep Convolutional Networks), continuous recording of the animal population is also possible.



*Multikopter beim Feldtest in Südafrika. (Multicopter during field test in South Africa.)*

The autonomous flying systems developed at IaAM support the rangers on site in their work and contribute to the conservation of endangered species. The UAS researchers are working closely with the South African animal protection organization SPOTS (Strategic Protection of Threatened Species), which is dedicated to the protection of endangered species. Together with SPOTS, it has already been possible to detect poachers from the air and apprehend them by tracking them with air support.



### Projekt Wildlife

#### Contact:

Patrick Wiesen, M-Sc.  
wiesen@fh-aachen.de

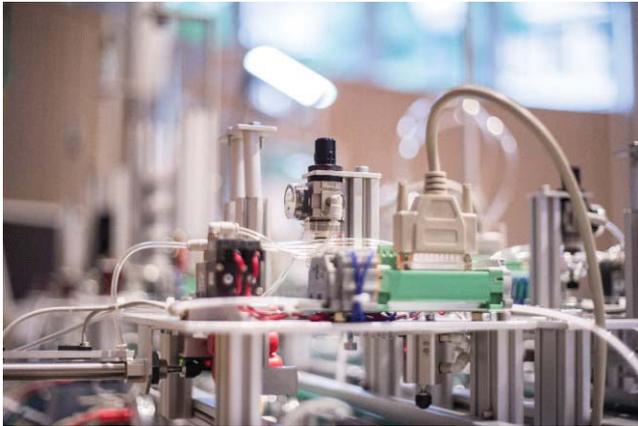


# Industrie 4.0



# Labor für Industrie 4.0

Laboratory for Industry 4.0



Die Arbeitsgruppe „Industrie 4.0“ unter der Leitung von Prof. Dr. Jörg Wollert beschäftigt sich mit der Entwicklung sowie Implementierung von erweiterten Industrie-4.0-Konzepten und forscht an der Entwicklung sowie Nutzung zukünftiger Technologien für die Automatisierungstechnik. Im Fokus steht hierbei vor allem die praxisnahe Entwicklung von Lösungen für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU). Die entwickelten Technologien und Testszenarien werden in der Industrie-4.0-Modellfabrik der FH-Aachen an diversen Anlagen und Produktionsstraßen erprobt und der Öffentlichkeit vorgestellt. Durch weitreichende Schulungstätigkeiten im Bereich von Industrie 4.0 und Automatisierungstechnik erfolgt zudem ein breiter Wissenstransfer in die Wirtschaft.

Die Arbeitsgruppe befasst sich mit der gesamten Wertschöpfungskette in den Unternehmen. Generische Sensor-Interfaces mit semantischen Schnittstellen ermöglichen eine einheitliche Produktionsdatenerfassung. Die Ermittlung von Prozesskennzahlen kann hierdurch bedarfsorientiert formuliert werden, sodass der technologische Aufwand bei der Adaption neuer Datenquellen reduziert wird. Übergeordnete Automatisierungskonzepte abstrahieren komplexe Dienste und Fertigungseinheiten zur Selbstauskunft gebenden Plug-and-Play-Systemen.

Die Entwicklung von Basisplattformen für AGVs (Autonomous Guided Vehicles) ermöglichen die Bereitstellung intelligenter Transportsysteme bis hin zur Schwarmintelligenz. Die Aggregation der Systeme und Technologien in einem gemeinsamen Cloud-basierten Framework bietet eine einheitliche Sicht auf den orchestrierbaren Produktionsbereich. Hierdurch ist eine breite Basis für weitere innovative Forschungstätigkeit gegeben.



The working group "Industry 4.0" under the direction of Prof. Dr. Jörg Wollert deals with the development and implementation of extended Industry 4.0 concepts and researches the development and use of future technologies for automation technology. The focus here is primarily on the practical development of solutions for small and medium-sized enterprises (SMEs). The developed technologies and test scenarios are tested on various plants and production lines in the Industry 4.0 model factory of the FH-Aachen and presented to the public. Extensive training activities in the field of Industry 4.0 and automation technology also ensure a broad transfer of knowledge to industry.

The working group is concerned with the entire value chain in companies. Generic sensor interfaces with semantic interfaces enable uniform production data acquisition. The determination of process parameters can thus be formulated in a demand-oriented manner, so that the technological effort required for the adaptation of new data sources is reduced. Higher-level automation concepts abstract complex services and production units into self-reporting plug-and-play systems.

The development of basic platforms for AGVs (Autonomous Guided Vehicles) enable the provision of intelligent transportation systems up to swarm intelligence. The aggregation of systems and technologies in a common cloud-based framework provides a unified view of the orchestratable production domain. This provides a broad basis for further innovative research activities.



**Prof. Dr.-Ing.**

**Jörg Wollert**

E-Mail: [wollert@fh-aachen.de](mailto:wollert@fh-aachen.de)

Phone: +49.241.6009 52681

# CARL - Computer Aided Roller Logger

## CARL - Computer Aided Roller Logger

Zusammen mit der Firma Carl KRAFFT & Söhne GmbH & Co. KG wird im Rahmen eines ZIM-Projekts ein Sensorkonzept entwickelt. Das im Anlagenbau tätige Unternehmen ist unter anderem auf die Planung, Produktion und den Service von Walzen spezialisiert. Mit dem "Computer Aided Roller Logger" (CARL) wird ein walzenfester Sensor für den so genannten Tambour in der Papierproduktion entwickelt, um hierfür eine neue Service-Dienstleistung anbieten zu können.

Die Tambourwalze ist nicht ortsfest, unterliegt unterschiedlichen Belastungsszenarien und ist nicht verwaltet. Im Gegensatz dazu werden ortsfeste Walzentypen bereits häufig über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg überwacht. Dies gilt insbesondere für Maschinen, welche in einem 24/7-Betrieb laufen und einen geregelten Wartungs- und Instandhaltungszyklus besitzen. Um eine hohe Verfügbarkeit der Anlagen sicherzustellen, sind unplanmäßige Störungen unbedingt zu vermeiden. Hierzu hat eine Verwaltung der Betriebsmittel, und damit auch der Tamboure, höchste Bedeutung.

Der walzenfeste CARL ermöglicht eine kontinuierliche Erfassung der kritischen Parameter, wie Drehzahl, Nutzungsdauer und Überlast. Dank niedrigem Energieverbrauch kann der Sensor wartungsarm eingesetzt werden. An der FH Aachen wird auf Basis der kontinuierlich gewonnenen Betriebsdaten eine prädiktive Wartung von Tambourwalzen mit Hilfe Künstlicher Intelligenz realisiert. So können Nutzungsprofile ausgewertet und Wartungsintervalle vorhergesagt werden. Eine Cloud-basierte Agentenstruktur verwaltet die gewonnenen Daten. Das Konzept sieht einen Agenten je Walze vor und ist dementsprechend leicht skalierbar.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Together with the company Carl KRAFFT & Söhne GmbH & Co. KG, a sensor concept is being developed as part of a ZIM project. The company, which is active in plant engineering, specializes among other things in the planning, production and service of rollers. With the "Computer Aided Roller Logger" (CARL), a roll-fixed sensor for the so-called reel spool in paper production is being developed in order to be able to offer a new service for this.



Tambourwalzen. (Reel spools.)

The reel spool is not stationary, is subject to different load scenarios and is not managed. In contrast, stationary roll types are already frequently monitored throughout their entire life cycle. This is especially true for machines that run in 24/7 operation and have a regulated maintenance and servicing cycle. In order to ensure high availability of the equipment, unscheduled malfunctions must be avoided at all costs. For this purpose, management of the operating equipment, and thus also of the reels, is of utmost importance.

The CARL roll-fixed sensor enables continuous detection of critical parameters such as speed, service life and overload. Thanks to low energy consumption, the sensor can be used with low maintenance. At Aachen University of Applied Sciences, predictive maintenance of reel spools is being implemented using artificial intelligence on the basis of the continuously acquired operating data. In this way, usage profiles can be evaluated and maintenance intervals predicted. A cloud-based agent structure manages the data obtained. The concept provides for one agent per roller and is therefore easily scalable.

### Projekt Carl

01.2020 – 12.2021

### Contact:

Yannic Windeln, M.Eng.  
windlen@fh-aachen.de

Christian Strieffler, B.Eng.  
strieffler@fh-aachen.de



# Agentenbasiertes Softwareframework

Agent-based software framework



Das Forschungsvorhaben ASF hat das Ziel der Entwicklung und Realisierung eines Agenten-basierten Softwareframeworks für Industrie-4.0-Anlagen. Kern des Vorhabens ist die Durchführung von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten sowie die Implementierung des Frameworks auf der Lucas-Nülle Industrie 4.0 Education Anlage.

Gerade im Mittelstand ist heute ein breites Spektrum unterschiedlicher proprietärer Systemlösungen vorhanden. Diese basieren in der Regel auf monolithischer Software, die den neuen Anforderungen an eine universelle, anwendungsübergreifende Kommunikation nicht gerecht werden. Wie im Rahmen von Industrie 4.0 vorgeschlagen, müssen klassische Strukturen aufgebrochen werden, um dem Wunsch nach integrierbaren, flexiblen und skalierbaren Systemen nachzukommen. Das Referenz Architektur Modell RAMI 4.0 (DIN 91345) bietet den Rahmen und beschreibt sowohl die Datensicht als auch die prinzipielle Kommunikation zwischen Industrie 4.0-Assets und der Infrastruktur. Eine konkrete Realisierung ist bis zum bisherigen Zeitpunkt noch nicht vorhanden.

Im Rahmen des Projektes wird der Ansatz verfolgt ein auf die Problemstellungen der Automatisierungstechnologie zugeschnittenes Framework auf der Basis von Mehragentensystemen bereit zu stellen. Als Agenten sind konfigurierte Anwendungen nach dem Microservice-Gedanken zu verstehen, die unter anderem als zentrale Vermittlungsstelle zwischen Datensätzen und Datenquellen dienen. Jede aktive Partei, d.h. Kunde, Auftrag, Maschine oder Produkt, erhält so eine dezentrale Intelligenz, mit der sie sich selbst verwaltet.

Unabhängige und spezialisierte Agenten bilden eine wiederverwendbare Abstraktionsschicht, die eine umfassende Modularisierung realisiert. Dies ermöglicht sowohl ganzheitliche Implementierungen über die gesamte Unternehmensstruktur als auch leicht zu integrierende und flexibel spezifische Lösungen mit geringem Anpassungsaufwand.

The ASF research project aims to develop and implement an agent-based software framework for Industrie 4.0 plants. The core of the project is the execution of research and development activities as well as the implementation of the framework on the Lucas-Nülle Industrie 4.0 Education plant.

Today, a wide range of different proprietary system solutions is available, especially in medium-sized companies. These are usually based on monolithic software that does not meet the new requirements for universal, cross-application communication. As proposed in the context of Industrie 4.0, classic structures must be broken down to meet the desire for systems that can be integrated, are flexible and scalable. The reference architecture model RAMI 4.0 (DIN 91345) provides the framework and describes both the data view and the basic communication between Industrie 4.0 assets and the infrastructure. A concrete realization is not yet available at this point in time.

The project is pursuing the approach of providing a framework tailored to the problems of automation technology on the basis of multi-agent systems. Agents are configured applications according to the microservice idea, which among other things serve as a central mediation point between data sets and data sources. Each active party, i.e., customer, order, machine or product, is thus given a decentralized intelligence with which it manages itself.

Independent and specialized agents form a reusable abstraction layer that realizes comprehensive modularization. This enables both holistic implementations across the entire corporate structure as well as easily integrated and flexibly specific solutions with low adaptation effort.



## Projekt ASF

09.2016 – 06.2023

### Contact:

Sebastian Braun, M-Sc.  
Sebastian.braun@fh-aachen.de

# Unterstützungssysteme mit Gamification Anteil

Support systems with gamification share



Im Zuge von Industrie 4.0 müssen Produktionsumgebungen stetig adaptiert werden. Um dies zu bewältigen, bedarf es flexibler und effizienter Arbeitsumgebungen. Zudem müssen sich die Beschäftigten regelmäßig auf neue Arbeitsabläufe und neue Produktionsprozesse einstellen. Ein ständiger und effizienter Lernprozess ist unabdingbar, um eine höhere Flexibilität in der Belegschaft zu erreichen. Darüber hinaus müssen die Mitarbeiter angemessen unterstützt werden, um die steigende Arbeitskomplexität zu bewältigen.

Derzeit werden in der Industrie die Mitarbeitenden on-the-job in neue Varianten, Produkte und Produktionsprozesse eingearbeitet. Während der Arbeit liefern digitale Unterstützungssysteme Informationen, z. B. durch Augmented-Reality-Systeme (AR), während Sensorsysteme die Handlungen kontrollieren. Die bestehenden digitalen Unterstützungssysteme bleiben jedoch unflexibel, indem sie jedem Arbeiter die gleiche Unterstützung bieten, ohne dabei die berufliche Erfahrung und das Wissen zu berücksichtigen. Dieser Ansatz kann zur Ermüdung von Spezialisten und zur Überlastung von Auszubildenden führen. Durch die ständige Nutzung der Unterstützungssysteme können zudem unerwünschten Abhängigkeiten vom System entstehen.



*Industrie 4.0 Handarbeitsplatz in der virtuellen Realität. (Industry 4.0 manual workstation in virtual reality.)*

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt hat zum Ziel, adaptive und fehlertolerante Unterstützungssysteme zu schaffen, die personalisierte Anweisungen entsprechend den Benutzeraktionen anzuzeigen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Integration von Gamification-Strategien in Produktionsumgebungen. Die Spielelemente sollen die Arbeiter motivieren, individuelle Unterstützung ermöglichen und die Flexibilität und Arbeitsleistung erhöhen.

In the course of Industry 4.0, production environments must be constantly adapted. To cope with this, flexible and efficient working environments are needed. In addition, employees must regularly adapt to new workflows and new production processes. A constant and efficient learning process is essential to achieve greater flexibility in the workforce. In addition, employees must be adequately supported to cope with increasing work complexity.

Currently in industry, employees are trained on-the-job in new variants, products and production processes. During work, digital support systems provide information, e.g., through augmented reality (AR) systems, while sensor systems control actions. However, existing digital support systems remain inflexible, providing the same support to each worker without taking into account job experience and knowledge. This approach can lead to specialist fatigue and trainee overload. The constant use of support systems can also create undesirable dependencies on the system.



The research project presented here aims to create adaptive and fault-tolerant support systems that display personalized instructions according to user actions. One focus is on the integration of gamification strategies into production environments. The game elements are intended to motivate workers, enable individualized support, and increase flexibility and work performance.



## Projekt AMVR

09.2016 – 06.2023

### Contact:

Jessica Ulmer, M.Sc.  
ulmer@fh-aachen.de



# Ausbildung & Lehre



# Summer Schools

## Mobile autonomous robotics, additive manufacturing und Industry 4.0

Das IaAM bietet diverse internationale Schulungskonzepte an. Neben der Ausbildung im Umfeld von Forschungsinstituten und Universitäten sind auch praxisnahe Weiterbildungsmöglichkeiten für Beschäftigte der Industrie möglich. Die Schulungen gliedern sich in die Schwerpunkte: mobile Robotik, additive Fertigung und Industrie 4.0.

### **ROS Summer School**

Die ROS Summer School wurde erstmals 2012 ausgerichtet. Schnell wurde klar, dass ein großes Interesse an Schulungen im Bereich der mobilen Robotik besteht. Das umfangreiche Forschungsfeld macht es insbesondere Anfängern relativ schwer Fuß zu fassen. Durch ein praxisnahes Lernkonzept wird den Teilnehmer in kurzer Zeit sowohl die Theorie als auch die Praxis im richtigen Umgang mit mobilen Systemen nähergebracht. Hierzu wird eine mobile Plattform verwendet, welche auf dem Framework ROS (Robot Operating System) aufbaut – der FH-Bot.

Die Philosophie der ROS Summer School lautet: "Learning by doing to get hands-on experience". Die Teilnehmer erlernen die vier grundlegenden Themenbereiche der mobilen Robotik: Lokalisierung, Pfadplanung, Kartenerstellung sowie Umgebungswahrnehmung und wenden ihr neues Wissen praktisch in Kleingruppen mit Hilfe unseres FH-Bots an.

In einem kleinen Wettbewerb am Ende der Summer School wetteiferten die Teilnehmer in einem Find-and-Rescue-Szenario miteinander. Hierzu wendeten sie ihr neu erlerntes Wissen selbstständig an und entwickelten effiziente Lösungsstrategien. Abgerundet wird die Veranstaltung durch einen Tagesausflug nach Paris sowie einem Willkommens- und einem Abschiedsgrillfest.

Aufgrund der Einschränkungen verursacht durch die Corona Pandemie mussten wir leider die Summer School im Jahr 2020 absagen. Aufgeschoben heißt aber nicht aufgehoben und wir freuen uns bald wieder ein internationales Publikum an der FH Aachen begrüßen zu dürfen.



### **ROS Summer School**

#### **Contact:**

Patrick Wiesen, M-Sc.  
ros@fh-aachen.de

The IaAM offers various international training concepts. In addition to training in the environment of research institutes and universities, practical training opportunities are also available for employees in industry. The training courses are divided into the following main areas: mobile robotics, additive manufacturing and Industry 4.0.

### **ROS Summer School**

The ROS Summer School was first organised in 2012. It quickly became clear that there was great interest in training in the field of mobile robotics. The extensive field of research makes it relatively difficult for beginners in particular to gain a foothold. Through a practical learning concept, participants are taught both the theory and the practice of the correct handling of mobile systems in a short time. For this purpose, a mobile platform is used which is based on the framework ROS (Robot Operating System) - the FH-Bot.



*FH-Bot der ROS Summer School.*

The philosophy of the ROS Summer School is: "Learning by doing to get hands-on experience". The participants learn the four basic topics of mobile robotics: localisation, path planning, map creation and environment perception and applied their new knowledge practically in small groups with the help of our UAS bot.

In a small competition at the end of the Summer School, the participants competed with each other in a find-and-rescue scenario. They applied their newly acquired knowledge independently and developed efficient solution strategies. The event is rounded off by a day trip to Paris and a welcome and farewell barbecue.

## Industrie 4.0 Summer School

Die Schulung "Industrie 4.0" gibt einen Einblick in die Ziele und Strategien von Industrie 4.0. Die Teilnehmer erfahren den aktuellen Stand der Aktivitäten und Ideen rund um Industrie 4.0 und wie man davon schon heute profitieren kann. Neben einer theoretischen Einführung in Industrie 4.0, werden die wichtigsten Technologien und Prozesse für die Implementierung von Industrie 4.0 vorgestellt und in einem Workshop vertieft.

Ausgehend vom Prozess selbst wird die Digitalisierung von Prozessen eingeführt und anhand von praktischen Beispielen erweitert. Anhand eines Modellsystems werden die technologischen Möglichkeiten aufgezeigt.

- Bedeutung des Konzepts Industrie 4.0 für die europäische Industrie.
- Entwicklungsstrategie für Industrie 4.0 und welche Maßnahmen noch zu ergreifen sind.
- Keywords rund um Industrie 4.0 von Augmented Reality über Cloud, CPS und IoT bis hin zu Smart Factory, Wertschöpfungsketten und XaaS.
- Die digitale Wertschöpfungskette vom intelligenten Sensor bis hin zu Cloud Services.
- Technologien, welche eine Maschine, Anlage oder Fabrik in der industriellen Kommunikation Industrie 4.0 fit machen.
- Bedeutung von IT, IT Infrastruktur und IT Sicherheit im Rahmen von Industrie 4.0.
- Gestaltung eines digitalisierten Prozesses und Informationen über die Auswirkungen auf eine Modellfabrik.



*iOS Aufbau. (iOs setup)*

Vom 16.11.-20.11.2020 fand die erste virtuelle Industrie 4.0 Sommerschule in Kooperation mit der RMIT University aus Australien statt. Insgesamt 12 Teilnehmer(innen) der RMIT University konnten auf die Vorlesungseinheiten in Form von Lernvideos zurückgreifen und an den live durchgeführten Praktikumseinheiten teilnehmen.

## Industrie 4.0 Summer School

The training "Industrie 4.0" provides an insight into the goals and strategies of Industrie 4.0. Participants learn about the current status of activities and ideas around Industrie 4.0 and how one can already benefit from it today. In addition to a theoretical introduction to Industrie 4.0, the most important technologies and processes for the implementation of Industrie 4.0 will be presented and deepened in a workshop.

Starting from the process itself, the digitalisation of processes will be introduced and expanded on the basis of practical examples. A model system will be used to demonstrate the technological possibilities.

- Significance of the Industrie 4.0 concept for European industry.
- Development strategy for Industry 4.0 and which measures still need to be taken.
- Keywords around Industry 4.0 from augmented reality to cloud, CPS and IoT to smart factory, value chains and XaaS.
- The digital value chain from intelligent sensors to cloud services.
- Technologies that make a machine, plant or factory fit for Industry 4.0 industrial communication.
- Importance of IT, IT infrastructure and IT security in the context of Industrie 4.0.
- Design of a digitalised process and information about the impact on a model factory.

From 16.11.-20.11.2020, the first virtual Industry 4.0 Summer School took place in cooperation with RMIT University from Australia. A total of 12 participants from RMIT University were able to access the lecture units in the form of learning videos and participate in the live practical units.



*Virtual Industrie 4.0 Summer School 2020.*



### **Industrie 4.0 Summer School**

#### **Contact:**

Jessica Ulmer, M-Sc.  
4.0industrie@fh-aachen.de

### 3D Printing Summer School

Der 3D-Druck steht kurz davor, die Art und Weise, wie wir Produkte entwerfen und herstellen, zu revolutionieren. Daher ist es für die technisch Interessierten unerlässlich, die Fähigkeiten, Herausforderungen und Nachteile dieser Technologie zu verstehen. Während diese Technologie auch in privaten Bereichen wie Zeitschriften und Fernsehen einen Hype markiert, wird sie in der Ingenieurausbildung kaum gelehrt.

Die 3D Printing Summer School bietet einen umfassenden, theoretischen Zugang zur 3D-Technologie kombiniert mit praktischer Erfahrung. In der einwöchigen Schulung erlernen die Teilnehmer folgendes Wissen zum 3D-Druck:

- Aufbau und Inbetriebnahme eines 3D-Druckers.
- Erlernen des Umgangs mit Druckdaten und –formaten für den Druckerbetrieb.
- Herausforderungen der verschiedenen Modelltypen.
- Generierung von reproduzierbaren Teilen mit gleichbleibender Qualität.



*Additive Fertigung als Technologiefeld der Zukunft.*

Die 3D Printing Summer School findet in einer entspannten Atmosphäre statt, in der die Dozenten:

- immer verfügbar sind, um Fragen zu beantworten, die Teilnehmer motivieren, sich zu engagieren und Feedback zu geben,
- sicherstellen, dass es auch Spaß und Action nicht zu kurz kommen.

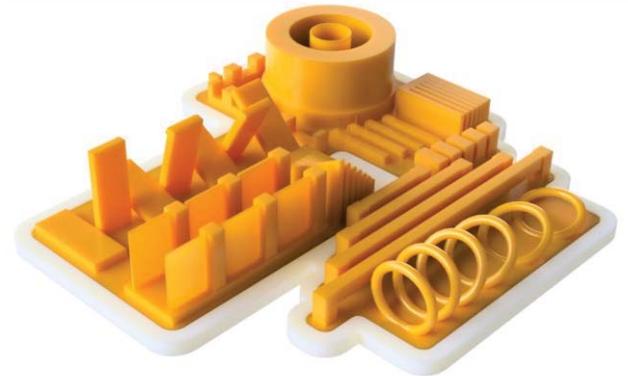
Aufgrund der Einschränkungen verursacht durch die Corona Pandemie mussten wir leider die Summer School im Jahr 2020 absagen. Aufgeschoben heißt aber nicht aufgehoben und wir freuen uns bald wieder ein internationales Publikum an der FH Aachen begrüßen zu dürfen.

### 3D Printing Summer School

3D printing is on the verge of revolutionising the way we design and manufacture products. Therefore, it is essential for the technically inclined to understand the capabilities, challenges and drawbacks of this technology. While this technology marks a hype even in private sectors like magazines and television, it is hardly taught in engineering education.

The 3D Printing Summer School offers a comprehensive, theoretical approach to 3D technology combined with practical experience. In the one-week training, participants learn the following knowledge about 3D printing:

- Setting up and commissioning a 3D printer.
- Learning how to handle print data and formats for printer operation.
- Challenges of the different model types.
- Generation of reproducible parts with consistent quality.



*Additive manufacturing as a technology field of the future.*

The 3D Printing Summer School takes place in a relaxed atmosphere where the lecturers:

- are always available to answer questions,
- motivate participants to get involved and give feedback,
- ensure that there is also fun and action.

Due to the restrictions caused by the Corona Pandemic, we unfortunately had to cancel the Summer School in 2020. But postponed is not cancelled, and we look forward to welcoming an international audience to FH Aachen again soon.



### **3D Printing Summer School**

#### **Contact:**

Prasanna Rajaratnam, M-Sc.  
3dprinting@fh-aachen.de

# Promotionen

## Promotionsvorhaben im Rahmen des IaAM

### Ability based digital support using Gamification for Industry 4.0

Kooperierende Hochschule:  
RMIT University (Australien)

Promovend:  
Jessica Ulmer



Im Zuge von Industrie 4.0 müssen Produktionsumgebungen stetig adaptiert werden. Um dies zu bewältigen, bedarf es flexibler und effizienter Arbeitsumgebungen. Zudem müssen sich die Beschäftigten regelmäßig auf neue Arbeitsabläufe und neue Produktionsprozesse einstellen. Ein ständiger und effizienter Lernprozess ist unabdingbar, um eine höhere Flexibilität in der Belegschaft zu erreichen. Darüber hinaus müssen die Mitarbeiter angemessen unterstützt werden, um die steigende Arbeitskomplexität zu bewältigen.

Derzeit werden in der Industrie die Mitarbeitenden on-the-job in neue Varianten, Produkte und Produktionsprozesse eingearbeitet. Während der Arbeit liefern digitale Unterstützungssysteme Informationen, z. B. durch Augmented-Reality-Systeme (AR), während Sensorsysteme die Handlungen kontrollieren. Die bestehenden digitalen Unterstützungssysteme bleiben jedoch unflexibel, indem sie jedem Arbeiter die gleiche Unterstützung bieten, ohne dabei die berufliche Erfahrung und das Wissen zu berücksichtigen. Dieser Ansatz kann zur Ermüdung von Spezialisten und zur Überlastung von Auszubildenden führen. Durch die ständige Nutzung der Unterstützungssysteme können zudem unerwünschten Abhängigkeiten vom System entstehen.

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt hat zum Ziel, adaptive und fehlertolerante Unterstützungssysteme zu schaffen, die personalisierte Anweisungen entsprechend den Benutzeraktionen anzuzeigen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Integration von Gamification-Strategien in Produktionsumgebungen. Die Spielelemente sollen die Arbeiter motivieren, individuelle Unterstützung ermöglichen und die Flexibilität und Arbeitsleistung erhöhen.

In einem ersten Schritt wurde ein Gamification-Framework für manuelle Arbeit im Fertigungsbereich entwickelt. In einem zweiten Schritt wurde das Gamification Framework für eine Virtual Reality (VR) Trainingsumgebung umgesetzt. Hierfür wurde der bestehende Handarbeitsplatz der Industrie 4.0

Modellfabrik inklusive seiner Funktionalitäten in der virtuellen Welt abgebildet und verschiedene Montageaufgaben integriert. Dem Nutzenden wird es hierdurch ermöglicht, in einer individuellen Geschwindigkeit die einzelnen Level der VR Trainingsumgebung und hierdurch die einzelnen Montagesequenzen zu erlernen.

### English:

In the course of Industry 4.0, production environments must be constantly adapted. To cope with this, flexible and efficient working environments are needed. In addition, employees must regularly adapt to new workflows and new production processes. A constant and efficient learning process is essential to achieve greater flexibility in the workforce. In addition, employees need to be adequately supported to cope with increasing work complexity.

Currently in industry, employees are trained on-the-job in new variants, products and production processes. During work, digital support systems provide information, e.g. through augmented reality (AR) systems, while sensor systems control actions. However, existing digital support systems remain inflexible, providing the same support to each worker without taking into account professional experience and knowledge. This approach can lead to specialist fatigue and trainee overload. The constant use of support systems can also create undesirable dependencies on the system.

The research project presented here aims to create adaptive and fault-tolerant support systems that display personalised instructions according to user actions. One focus is on the integration of gamification strategies in production environments. The game elements are intended to motivate workers, enable individual support and increase flexibility and work performance.

In a first step, a gamification framework for manual work in manufacturing was developed. In a second step, the gamification framework was implemented for a virtual reality (VR) training environment. For this, the existing manual workstation of the Industrie 4.0 model factory including its functionalities was mapped in the virtual world and various assembly tasks were integrated. This enables the user to learn the individual levels of the VR training environment and thus the individual assembly sequences at an individual speed.

## Multi-agent systems to control, simulate and optimize resilient smartfactories

Kooperierende Hochschule:  
RMIT University (Australien)

Promovend:  
Sebastian Braun



Gerade im Mittelstand ist heute ein breites Spektrum unterschiedlicher proprietäre Systemlösungen vorhanden. Diese basieren in der Regel auf monolithischer Software, die den neuen Anforderungen an eine universelle, anwendungsübergreifende Kommunikation nicht gerecht werden. Wie im Rahmen von Industrie 4.0 vorgeschlagen, müssen klassische Strukturen aufgebrochen werden, um dem Wunsch nach integrierbaren, flexiblen und skalierbaren Systemen nachzukommen. Das Referenz Architektur Modell RAMI 4.0 (DIN 91345) bietet den Rahmen und beschreibt sowohl die Datensicht als auch die prinzipielle Kommunikation zwischen Industrie 4.0-Assets und der Infrastruktur.

Diese Arbeit verfolgt den Ansatz ein auf die Problemstellungen der Automatisierungs-technologie zugeschnittenes Framework auf der Basis von Mehragentensystemen bereit zu stellen. Als Agenten sind konfigurierte Anwendungen nach dem Microservice-Gedanken zu verstehen, die unter anderem als zentrale Vermittlungsstelle zwischen Datensätzen und Datenquellen dienen. Jede (aktive) Partei, d.h. Kunde, Auftrag, Maschine oder Produkt, erhält so eine dezentrale Intelligenz, mit der sie sich selbst verwaltet. Dies ermöglicht sowohl ganzheitliche Implementierungen über die gesamte Unternehmensstruktur als auch leicht zu integrierende und flexible spezifische Lösungen mit zu geringem Anpassungsaufwand.

### **English:**

Especially in small and medium-sized businesses, a wide range of different proprietary system solutions are available today. These are usually based on monolithic software that does not meet the new requirements for universal, cross-application communication. As proposed in the context of Industry 4.0, classic structures must be broken down to meet the desire for integrable, flexible and scalable systems. The reference architecture model RAMI 4.0 (DIN 91345) provides the framework and describes both the data view and the principle communication between Industrie 4.0 assets and the infrastructure.

This work pursues the approach of providing a framework tailored to the problems of automation technology on the basis of multi-agent systems. Agents are to be understood as configured applications according to the microservice idea, which, among other things, serve as a central intermediary between data

sets and data sources. Each (active) party, i.e. customer, order, machine or product, thus receives a decentralised intelligence with which it manages itself. This enables both holistic implementations across the entire corporate structure as well as easily integrated and flexible specific solutions with too little adaptation effort.

## Semantic data model for the integration of intelligent generic devices

Kooperierende Hochschule:  
CIDESI (Mexiko)

Promovend:  
Victor Chavez



Die Erhöhung der Flexibilität in der Automationsbranche und die Einbeziehung von Technologiestrategien aus dem bekannten Industrie 4.0 Konzept erfordert die Entwicklung neuer Methoden für deren vollständige Integration. Ein zentraler Aspekt von Industrie 4.0 ist das Zusammenwirken der "Dinge". Dies erfordert, dass "Assets", wie sie in DIN SPEC 91345 beschrieben sind, Informationen gemeinsam nutzen, was ohne Semantik nicht möglich ist.

Heutzutage werden in der Industrie herstellerabhängig unterschiedliche Kommunikationsstandards und Datenstrukturen verwendet, wodurch eine Integration nach der gleichen Methodik nicht gewährleistet werden kann. Darüber hinaus erfordert die Entwicklung intelligenter Geräte die Integration verschiedener Funktionalitäten, sogenannter Profile, die ihr Verhalten beschreiben können. Daher können die Entwicklung, die Gerätetests und die Integration in der Automatisierungsindustrie für diese neuen intelligenten Geräte vergleichsweise umständlich sein und ein gesondertes Vorgehen für jeden einzelnen Anwendungsfall erfordern. Außerdem wird die Wiederverwendbarkeit derselben Technologie und Konzepte für andere Anwendungen beeinträchtigt.

Aus diesem Grund ist es das Ziel dieser Arbeit, ein semantisches Modell zu erstellen, das generische Funktionalitäten und Kategorien für die Realisierung dieser intelligenten Geräte ganzheitlich integriert.

### **English:**

Increasing flexibility in the automation industry and incorporating technology strategies from the well-known Industrie 4.0 concept requires the development of new methods for their complete integration. A central aspect of Industrie 4.0 is the interaction of "things". This requires that "assets", as described in DIN SPEC 91345, share information, which is not possible without semantics.

Today, different communication standards and data structures are used in the industry, depending on the manufacturer, which means that integration according to the same methodology cannot be guaranteed. Furthermore, the development of smart devices requires the integration of different functionalities, so-called profiles, which can describe their behaviour. Therefore, the development, device testing and integration in the automation industry for these new smart devices can be comparatively cumbersome and require a separate approach for each use case. Furthermore, the reusability of the same technology and concepts for other applications is compromised.

For this reason, the aim of this work is to create a semantic model that integrates generic functionalities and categories for the realisation of these intelligent devices in a holistic way.

### **An Autonomous Mobile Manipulation for Human-Robot Collaborative Industrial Environments**

Kooperierende Hochschule:

Tshwane University of Technology (Südafrika)

Promovend:

Heiko Engemann



Heutige Produktionsstrukturen sind größtenteils für konstant große Produktionschargen und definierte Produkte ausgelegt. Allerdings hat in den letzten Jahren die Nachfrage nach kundenspezifischen bzw. benutzerdefinierten Produkten stark zugenommen und somit die Anforderungen an die industrielle Automatisierung verändert.

Der Einsatz autonomer mobiler Manipulatoren im Produktionsprozess ist ein Ansatz für die Umsetzung einer flexibleren und agileren Automatisierung. Die Soft- und Hardwarekomponenten eines solchen autonomen industriellen mobilen Manipulators (AIMM) müssen den besonderen Anforderungen einer flexiblen industriellen Produktionsumgebung entsprechen.

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung und Implementierung eines autonomen mobilen Manipulators, der mit menschlichen Arbeitern in einem industriellen Produktionsszenario zusammenarbeitet. Hierbei werden alle Kernbereiche der mobilen Manipulation: Mapping, Lokalisierung, Pfadplanung, visuelles Servoing, Arbeitsraumüberwachung sowie Bahnplanung abgedeckt. Trotz der Tatsache, dass in den letzten Jahren viele Forschungsarbeiten das Thema der mobilen Manipulation behandelt haben, ist diese Technologie noch kein Bestandteil heutiger Produktionsprozesse. Der Grund hierfür liegt in der hohen Komplexität des Gesamtsystems.

Ziel dieser Arbeit ist daher insbesondere Bottlenecks bei der Implementierung von AIMMs aufzuzeigen und Konzepte zu deren Beseitigung zu entwickeln.

### **English:**

Today's production structures are largely designed for consistently large production batches and defined products. However, in recent years, the demand for customised or user-defined products has increased significantly, changing the requirements for industrial automation.

The use of autonomous mobile manipulators in the production process is one approach to implementing more flexible and agile automation. The software and hardware components of such an autonomous industrial mobile manipulator (AIMM) must meet the specific requirements of a flexible industrial production environment.

This thesis deals with the development and implementation of an autonomous mobile manipulator that interacts with human workers in an industrial production scenario. All core areas of mobile manipulation are covered: mapping, localisation, path planning, visual servoing, workspace monitoring and path planning. Despite the fact that many research papers have dealt with the topic of mobile manipulation in recent years, this technology is not yet part of today's production processes. The reason for this is the high complexity of the overall system.

The aim of this work is therefore to identify bottlenecks in the implementation of AIMMs and to develop concepts for their elimination.

### **Design and Control of a climbing Robot for Wind Turbines**

Kooperierende Hochschule:

Tshwane University of Technology (Südafrika)

Promovend:

Josef Franko



Windkraftanlagen (WA) gewinnen an Bedeutung für eine nachhaltige Energieversorgung. Der Zugang für die Wartung der Strukturteile ist aufgrund der schwierigen Wetterbedingungen und der großen Dimensionen moderner Windkraftanlagen problematisch. Der aktuelle Stand der Technik beim Zugang zu den Strukturen von Windkraftanlagen ist der Einsatz von Industrielkletterern und seilgestützten Wartungsplattformen. Für beide Lösungen sind aufgrund der begrenzten Stabilität gegenüber Windkräften stabile Wetterbedingungen erforderlich.

Diese Arbeit trägt zur Entwicklung eines Turmkletterroboters (TKR) bei. Die Konstruktion verwendet einen auf Reibung basierenden Klettermechanismus ohne die Notwendigkeit von Seilen. Dadurch kann die Wartung auch bei instabilen Wetterbedingungen durchgeführt werden. Der Klettermechanismus hat zwei Subsysteme für die Fortbewegung und die Adhäsion. Reibungsbasiertes Klettern erfordert Adhäsionskräfte. Der Adhäsionsmechanismus ist auf verschiedene Turmdurchmesser einstellbar. Bei der Entwicklung des TKR wurden mechanisches Design, Sensorintegration und Controller-Layout kombiniert. Das primäre Ziel ist die Optimierung der Roboterkinematik und -dynamik, wobei die Adhäsionskräfte an die Tragfähigkeit des Turms angepasst werden müssen.

Der TKR stellt eine mobile autonome Plattform für verschiedene WA-Wartungsanwendungen dar. Fortschrittliche mobile Robotik auf Basis des Robot Operating System (ROS) ist die Schlüsseltechnologie, die es dem TKR ermöglicht, autonom zu arbeiten.

#### **English:**

Wind turbines (WT) are becoming increasingly important for sustainable energy supply. Access for maintenance of the structural parts is problematic due to difficult weather conditions and the large dimensions of modern wind turbines. The current state of the art for accessing wind turbine structures is the use of industrial climbers and rope-supported maintenance platforms. Both solutions require stable weather conditions due to limited stability against wind forces.

This work contributes to the development of a tower climbing robot (TKR). The design uses a friction-based climbing mechanism without the need for ropes. This allows maintenance to be carried out even in unstable weather conditions. The climbing mechanism has two subsystems for locomotion and adhesion. Friction-based climbing requires adhesion forces. The adhesion mechanism is adjustable to different tower diameters. The development of the TKR combined mechanical design, sensor integration and controller layout. The primary goal is to optimise the robot kinematics and dynamics, while adapting the adhesion forces to the load-bearing capacity of the tower.

The TKR represents a mobile autonomous platform for various WA maintenance applications. Advanced mobile robotics based on the Robot Operating System (ROS) is the key technology that enables the TKR to operate autonomously.

## **Basic research on direct printed injection molds made from high performance plastics**

Kooperierende Hochschule:  
TUC- Technical University of Cluj-  
Napoca (Rumänien)

Promovend:  
Karim Abbas



Die fertigende Industrie ist zunehmend auf innovative Technologien angewiesen, um schnell und flexibel Güter zu produzieren. Hier kristallisiert sich die Additive Fertigung als einer der jüngsten und wichtigsten Fertigungsverfahren heraus. Das sogenannte Schichtbauverfahren, auch unter dem Begriff 3D-Druck bekannt, ermöglicht durch die Verfahrensart und diversen Materialien ungeahnte Möglichkeiten der Fertigung. Nahezu jede Geometrie ist mit nur einer Anlage realisierbar. Mit dieser Technologie können Prozessketten entscheidend beeinflusst und verkürzt werden. Dies reduziert die Fertigungszeit, kann den Einsatz von Ressourcen minimieren, reduziert den maschinellen Aufwand und folglich auch die Kosten.

Diese Eigenschaften sind für den Einsatz bei der Werkzeugherstellung überaus vorteilhaft. Die Herstellung eines Spritzgusswerkzeugs ist sehr kosten- sowie zeitintensiv. Bei der Auslegung eines Werkzeuges wird ein fundiertes Knowhow vom Konstrukteur und vom Anlagentechniker benötigt. Doch auch mit viel Erfahrung sind mehrere iterative Schritte notwendig, um zum endgültigen Werkzeug zu gelangen. Die Entwicklungsdauer ist demnach enorm.

An dieser Stelle soll die additive Fertigung ihren Einsatz finden und die Möglichkeit zu einer Effizienten Werkzeugentwicklung eröffnen. Ferner soll hierzu der Einsatz von sogenannten Hochleistungspolymeren verhelfen. Die hohe Temperaturbeständigkeit und die hohen mechanischen Eigenschaften sind dabei das wichtigste Auswahlkriterium für den geplanten Einsatz als Werkzeugmaterial.

#### **English:**

The manufacturing industry is increasingly dependent on innovative technologies to produce goods quickly and flexibly. Additive manufacturing is emerging as one of the most recent and important manufacturing processes. The so-called layer construction process, also known as 3D printing, enables unimagined manufacturing possibilities due to the type of process and various materials. Almost any geometry can be realised with just one system. With this technology, process chains can be decisively influenced and shortened. This reduces the production time, can minimise the use of resources, reduces the machine effort and consequently also the costs.

These properties are extremely advantageous for use in mould production. The production of an injection moulding tool is very cost-intensive as well as time-consuming. When designing a mould, a profound know-how is required from the designer and the plant engineer. But even with a lot of experience, several iterative steps are necessary to arrive at the final mould. The development time is therefore enormous.

This is where additive manufacturing should come in and open up the possibility of efficient tool development. Furthermore, the use of so-called high-performance polymers should help to achieve this. The high temperature resistance and the high mechanical properties are the most important selection criteria for the planned use as tool material.

## Flexibilization of Production Systems through Additive Manufacturing

Kooperierende Hochschule:  
TUC- Technical University of Cluj-  
Napoca (Rumänien)

Promovend:  
Angela Luft



Die erfolgreiche Etablierung eines wirtschaftlich sinnvollen Flexibilitätsgrades stellt eine große Herausforderung für Unternehmen dar. Die bestehenden Flexibilitätstheorien der letzten Jahrzehnte sind durch die Grenzen der Flexibilisierung von Produktionssystemen mittels konventioneller Fertigungstechnologien zwangsläufig auf wiederkehrende Probleme und Gestaltungsgrenzen gestoßen.

Hier verbirgt sich ein großes Potenzial in einem Überdenken der bestehenden Forschung zur Flexibilisierungstheorie mit Hilfe von additiven Technologien (AM): Aufgrund ihrer natürlich gegebenen sehr hohen Flexibilität bietet AM eine mögliche Lösung, um das Dilemma konventioneller Fertigungstechniken und Flexibilitätskonzepte zu lösen. Um dieses Potenzial zu erschließen, ist jedoch ein neuer Ansatz zur Bewertung der Flexibilität und zum Verständnis der additiven Fertigung erforderlich. Derzeit fehlen jedoch Indikatoren für eine mehrdimensionale Bewertung der AM-Potenziale, eine Integration von AM in die Flexibilitätstheorie sowie eine mehrdimensionale Gesamtbewertung des Nutzens der Technologie abseits der Stückkostenbetrachtung (z.B. Lagerbestände, OEE, Durchlaufzeit, Rüstkosten).

Das Dissertationsprojekt wird ein erster Ansatz sein, um die Forschungslücke zu schließen, indem ein Bewertungsmodell zur Flexibilisierung eines Produktionssystems durch den Einsatz der AM-Technologie untersucht wird. Damit wird ein neuer

Ansatz zur Flexibilisierung von Produktionssystemen mittels Additiver Fertigung geschaffen und die bestehenden Flexibilisierungstheorien erweitert.

### English:

Successfully establishing an economically viable degree of flexibility is a major challenge for companies. The existing flexibility theories of recent decades have inevitably encountered recurring problems and design limits due to the limitations of flexibilising production systems using conventional manufacturing technologies.

This is where there is great potential in rethinking existing research on flexibility theory with the help of additive technologies (AM): due to their naturally given very high flexibility, AM offers a possible solution to solve the dilemma of conventional manufacturing technologies and flexibility concepts. However, in order to tap this potential, a new approach to assessing flexibility and understanding additive manufacturing is needed. Currently, however, there is a lack of indicators for a multidimensional assessment of AM potentials, an integration of AM into flexibility theory, and a multidimensional overall assessment of the benefits of the technology away from unit cost considerations (e.g. inventory levels, OEE, lead time, set-up costs).

The dissertation project will be a first approach to close the research gap by investigating an evaluation model for the flexibilization of a production system through the use of AM technology. This will create a new approach to the flexibilization of production systems by means of additive manufacturing and extend the existing flexibilization theories.

## Research on producing complex metal parts by Laser Powder Bed Fusion, to be welded onto larger components

Kooperierende Hochschule:  
TUC- Technical University of Cluj-  
Napoca (Rumänien)

Promovend:  
Fabian Eichler



Das additive Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion bietet ein herausragendes Potenzial zur Herstellung konturnaher funktionsintegrierter Bauteile aus metallischen Werkstoffen. Durch den schichtweisen Aufbau begegnet das Verfahren den Forderungen nach steigender Komplexität und steigender Flexibilisierung herzustellender Produkte. Trotz der Vorteile dieser jungen Fertigungstechnologie wird sie aktuell vornehmlich zur Herstellung von hochwertigen bzw. kostenintensiven Bauteilen in kleinen Losgrößen

eingesetzt. Industrielle Anwendungsbeispiele finden sich primär in den Branchen Luft- und Raumfahrt, Energietechnik und Medizintechnik. Ursache für den derzeitigen limitierten industriellen Einsatzgrad der LPBF-Technologie sind die fehlende Einbindung des Verfahrens in die vorhandenen industriellen Prozessketten, die geringe Produktivität und die eingeschränkte herstellbare Bauteilgröße.

Der in dieser Promotion verfolgte, vielversprechende Ansatz diesen Herausforderungen zu begegnen, beinhaltet die intelligente Kombination des LPBF-Verfahrens mit dem Fügeprozess Schweißen. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer ganzheitlichen Prozesskette zu Herstellung von großvolumigen und funktionsintegrierten Bauteilen mittels additiver Fertigung und Schweißen.

So könnten Bauteilbereiche, die komplexe und funktionsintegrierte Elemente enthalten, mittels LPBF gefertigt werden, während andere Bereiche, die konventionell (Zerspanung, Umformen) kosteneffizienter gefertigt werden können, mit bestehenden Fertigungsverfahren hergestellt werden. Außerdem ist es denkbar, den möglichen Bauraum von LPBF-Konstruktionen durch das Verschweißen von mehreren LPBF-Teilen zu vergrößern.

Dem gegenüber stehen viele metallurgische sowie prozesstechnische Hindernisse, die im gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik noch nicht ausführlich diskutiert wurden. Die ersten Schritte des Vorhabens beinhalten, nach einer tiefgehenden Recherche, die Anpassung des LPBF-Prozesses zur Reduktion resultierender Eigenspannungen. Materialsimulationen werden ebenso Einsatz finden, wie eine detaillierte Betrachtung der auftretenden Temperaturgradienten entlang beider Fertigungsprozesse. Gestützt durch regelmäßige metallurgische Untersuchungen wird versucht Verzug zu minimieren und metallurgisch vollständige Verbindungen zu erzielen.

#### **English:**

The additive manufacturing process Laser Powder Bed Fusion offers outstanding potential for the production of near-contour function-integrated components made of metallic materials. Due to the layer-by-layer structure, the process meets the demands for increasing complexity and increasing flexibility of products to be manufactured. Despite the advantages of this young manufacturing technology, it is currently mainly used for the production of high-quality or cost-intensive components in small batch sizes. Examples of industrial applications can be found primarily in the aerospace, energy technology and medical technology sectors. The reasons for the current limited industrial application of LPBF technology are the lack of integration of the process into the existing industrial process chains, the low productivity and the limited component size that can be produced.

The promising approach pursued in this doctoral thesis to meet these challenges involves the intelligent combination of the LPBF method with the joining process of welding. The aim of the work is to develop a holistic process chain for the production of large-volume and functionally integrated components using additive manufacturing and welding.

Thus, component areas that contain complex and functionally integrated elements could be manufactured using LPBF, while other areas that can be manufactured more cost-efficiently conventionally (machining, forming) could be manufactured using existing manufacturing processes. In addition, it is conceivable to increase the possible installation space of LPBF constructions by welding together several LPBF parts.

In contrast to this, there are many metallurgical as well as process-related obstacles that have not yet been discussed in detail in the current state of science and technology. The first steps of the project include, after an in-depth research, the adaptation of the LPBF process to reduce the resulting residual stresses. Material simulations will be used as well as a detailed examination of the temperature gradients occurring along both manufacturing processes. Supported by regular metallurgical investigations, the aim is to minimise distortion and achieve metallurgically complete joints.

# Multimedia unterstütztes Lehrsystem

## Multimedia supported teaching system



Im Rahmen der Industrie 4.0 Aktivitäten sind „digitaler Zwilling“, „virtuelle Inbetriebnahme“, „Kundenintegriertes Engineering“ oder auch „predictive Maintenance“ häufig genannte Begriffe, da sie interessante Anwendungsfälle für reale Problemstellungen beschreiben. Herausfordernd ist im Besonderen die multidisziplinäre Sicht auf die ganzheitliche Entwicklung von Maschinen und Anlagen.

Die heute üblichen Ausbildungsgänge sind häufig noch in die Fachgebiete Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik unterteilt. Ebenfalls ist die Disziplin der Mechatronik nicht so weit entwickelt, dass gute Mechatroniker gleichzeitig gute Konstrukteure oder gute Programmierer sind. Aufgrund der persönlichen Disposition sind immer wieder individuelle Vertiefungen vorhanden und auf der anderen Seite signifikante Wissenslücken.

Gleichzeitig werden am Markt interessante Toolwelten angeboten, die eine entsprechende Integration und Umsetzung der Industrie 4.0 Ideen ermöglichen. Im Besonderen sind hier die Siemens Toolwelten NX, Teamcenter, TIA-Portal und Mechatronic Concept Designer zu nennen. Vieles wird in der Ausbildung zum Produktdesigner oder Mechatroniker oder in dem Studium in den Modulen Automatisierungstechnik oder CAD verwendet. Stand heute ist jedoch eine ganzheitliche, disziplinübergreifende Ausbildung noch nicht umgesetzt. Auch hier sind vielfach die Detailkompetenzen für eine ganzheitliche Lösung nicht vorhanden.

Im Rahmen dieses Projekts wird eine Lehr- und Forschungsanlage in Form einer interaktiven Lernumgebung entwickelt. Hierzu werden Elemente einer Industrie 4.0 Anlage des Herstellers Lucas Nülle mit Festo-Didactic Komponenten der Festo Meclab Familie kombiniert.

Ziel ist es Studierende des Maschinebaus, der Mechatronik und weiterer Ingenieurwissenschaften in einfachen Aufgabenstellungen eine ganzheitliche Systemlösung von der Konstruktion, der SPS-Programmierung, der virtuellen Inbetriebnahme bis hin zur realen Inbetriebnahme zu vermitteln.

In the context of Industry 4.0 activities, "digital twin", "virtual commissioning", "customer-integrated engineering" or "predictive maintenance" are frequently mentioned terms, as they describe interesting use cases for real problems. In particular, the multidisciplinary view of the holistic development of machines and plants is challenging.

Today's standard training courses are often still divided into the disciplines of mechanical engineering, electrical engineering and information technology. Likewise, the discipline of mechatronics is not so far developed that good mechatronics engineers are also good designers or good programmers. Due to personal disposition, there are always individual specialisations and, on the other hand, significant gaps in knowledge.

At the same time, interesting tool worlds are offered on the market that enable the corresponding integration and implementation of Industry 4.0 ideas. In particular, the Siemens tool worlds NX, Teamcenter, TIA Portal and Mechatronic Concept Designer should be mentioned here. Much of this is used in training as a product designer or mechatronics technician or in the automation technology or CAD modules during studies. As of today, however, holistic, cross-disciplinary training has not yet been implemented. Here, too, the detailed competences for a holistic solution are often not available.

Within the framework of this project, a teaching and research system in the form of an interactive teaching environment is being developed. To this end, elements of an Industry 4.0 system from the manufacturer Lucas Nülle will be combined with Festo-Didactic components from the Festo Meclab family.

The aim is to teach students of mechanical engineering, mechatronics and other engineering sciences a holistic system solution from design, PLC programming and virtual commissioning to real commissioning in simple tasks.



**Prof. Dr.-Ing.  
Pamela Stöcker**

E-Mail: [pamela.stoecker@fh-aachen.de](mailto:pamela.stoecker@fh-aachen.de)

Phone: +49.241.6009 52487

# Industrie 4.0 Produktion von E-Longboards

## Industry 4.0 Production of E-Longboards



Longboard.

Das Wort „Industrie 4.0“ ist heute weitläufig bekannt. Viele Fabriken auf der ganzen Welt sind dabei, die zugrundeliegenden Konzepte umzusetzen, um ihre Produktions- und Fertigungsprozesse zu automatisieren. Die Idee hinter Industrie-4.0 ist der Aufbau einer „Smart Factory“, in der alle Stationen über das Internet verbunden sind, sodass die Fertigungsprozesse aus der Ferne beobachtet und sogar gesteuert werden können.

Beispielhaft soll in der Modellfabrik des IaAM ein kundenspezifisches elektrisch angetriebenes Longboard produziert werden. Im Mittelpunkt dieses Studentenprojektes steht der Bau einer Laser-Gravierstation, welche die Oberfläche des E-Longboards mit einem QR-Code versieht. Die Funktion dieses QR-Codes besteht darin, jedem E-Longboard eine Teilenummer und somit einen digitalen Zwilling zuzuordnen, um den Überblick über alle produzierten Teile zu behalten. Darüber hinaus hat der Kunde auch die Möglichkeit, ein individuelles Bild auf der Oberfläche des E-Longboards gravieren zu lassen.

Zur Steuerung der Laser-Gravierstation werden eine Arduino-Mikrosteuerung und eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) eingesetzt. Open-Source-Bibliotheken werden verwendet, um den Arduino in eine CNC-Steuerung zu verwandeln. Diese Bibliotheken werden auch von einigen kommerziellen CNC-Maschinen, 3D-Druckern, Laserschneidemaschinen usw. verwendet. Die Herausforderung in diesem Projekt besteht darin, den Laser so anzupassen, dass er auf der unebenen Oberfläche des E-Longboards gravieren kann. Daher ist eine z-Achsenbewegung erforderlich, um die Position des Lasermoduls zu steuern und so einen konstanten Abstand zwischen dem Lasermodul und der Oberfläche einzuhalten.

The word "Industry 4.0" is widely known today. Many factories around the world are implementing the underlying concepts to automate their production and manufacturing processes. The idea behind Industry 4.0 is to build a "smart factory" in which all stations are connected via the internet so that manufacturing processes can be monitored and even controlled remotely.

As an example, a customised electrically driven longboard is to be produced in the model factory of the IaAM. The focus of this student project is the construction of a laser engraving station that provides the surface of the e-longboard with a QR code. The function of this QR code is to assign a part number and thus a digital twin to each e-longboard in order to keep track of all the parts produced. In addition, the customer also has the option of having an individual image engraved on the surface of the e-longboard.

An Arduino microcontroller and a programmable logic controller (PLC) are used to control the laser engraving station. Open source libraries are used to turn the Arduino into a CNC controller. These libraries are also used by some commercial CNC machines, 3D printers, laser cutting machines, etc. The challenge in this project is to adapt the laser so that it can engrave on the uneven surface of the e-longboard. Therefore, a z-axis movement is required to control the position of the laser module to maintain a constant distance between the laser module and the surface.



**Contact:**

Jessica Ulmer, M-Sc.  
ulmer@fh-aachen.de

# Kostengünstiges autonomes Transportmittel

## Low-Cost Autonomous Mover

Die Industrie 4.0 Modellfabrik der FH Aachen wird vorrangig durch studentische Projekt- und Abschlussarbeiten aktualisiert und erweitert. In diesem Projekt wird ein kostengünstiges, fahrerloses Transportsystem (FTS) entwickelt und umgesetzt, welches die verschiedenen Bearbeitungsstationen der Modellfabrik miteinander verbinden kann.

Das Projekt beinhaltet die Simulation, den Aufbau und die Inbetriebnahme des FTS in einem interdisziplinären Team. Ziel ist die Entwicklung eines eigenen FTS für eine Nutzlast von bis zu 100 kg zu erstellen. Das FTS soll für den Einsatz in typischen Produktionsumgebungen ausgelegt werden; die Integration der erforderlichen Sensorik und Logik für die Wegplanung und die Personensicherheit ist daher ein essenzieller Bestandteil des Projektes.

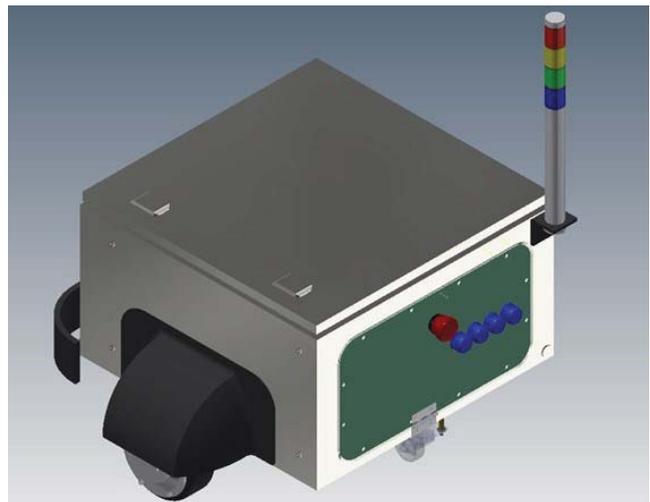


AGV Konzept. (AGV concept)

Für das Projekt wurde ein modularer Aufbau entwickelt, sodass verschiedene Sensorik und Aktorik zu Testzwecken ausgetauscht werden kann. Zudem wurde der Mover in der ROS-Umgebung simuliert und erste Funktionalitäten, wie beispielsweise das Folgen von Linien implementiert.

The Industry 4.0 model factory at the FH Aachen University of Applied Sciences is primarily updated and expanded through student project work and final theses. In this project, a cost-effective driverless transport system (AGV) is being developed and implemented that can connect the various processing stations of the model factory.

The project includes the simulation, construction and commissioning of the AGV in an interdisciplinary team. The aim is to develop a dedicated AGV for a payload of up to 100 kg. The AGV is to be designed for use in typical production environments; the integration of the necessary sensors and logic for path planning and personal safety is therefore an essential part of the project.



FTS. (AGV.)

A modular design was developed for the project so that different sensors and actuators can be exchanged for testing purposes. In addition, the mover was simulated in the ROS environment and initial functionalities, such as following lines, were implemented.



**Contact:**

Jessica Ulmer, M-Sc.  
ulmer@fh-aachen.de

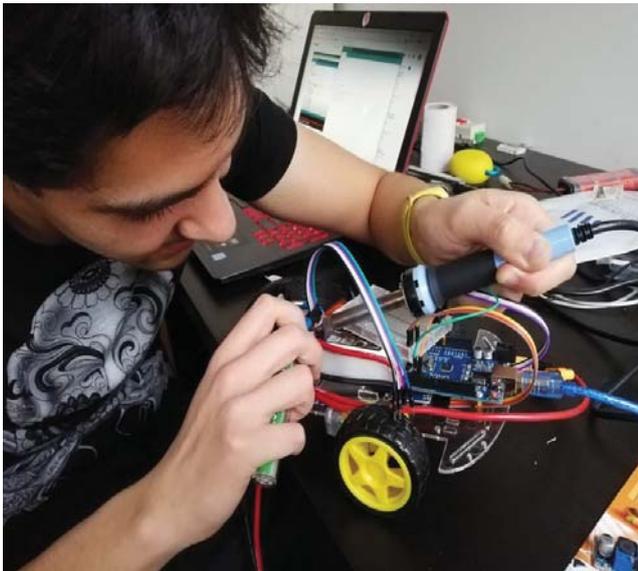
# Intelligenter Mähroboter

## Intelligent robotic Mower

Im Rahmen der Veranstaltung „Systems Engineering“ wurden von mehreren Studierendengruppen intelligente Mähroboter entwickelt. Grundlage war hierfür ein Roboterkit bestehend aus mechanischen Komponenten sowie Sensoren, Motoren und einem Mikrocontroller.

Mit viel Kreativität und Einfallsreichtum entwickelten die Gruppen kleine Mähroboter im Homeoffice. Gestartet wurde mit Pflichten- und Lastenheften und weiter ging es mit UML- und SysML-Diagrammen. Am Ende des Projektes konnten die Roboter unter anderem abgetrennte Bereiche abfahren, Aufträge über Handy-Apps annehmen, und die Aktivität abhängig von Wetterdaten planen.

Insgesamt konnte durch das Projekt ein System Engineering Entwicklungszyklus durchlaufen und erprobt werden.



*Studenten bei der Arbeit. (Students at work.)*

As part of the "Systems Engineering" course, several student groups developed intelligent mowing robots. The basis for this was a robot kit consisting of mechanical components as well as sensors, motors and a microcontroller.



*Studenten bei der Arbeit. (Students at work.)*

As part of the "Systems Engineering" course, several student groups developed intelligent mowing robots. The basis for this was a robot kit consisting of mechanical components as well as sensors, motors and a microcontroller.

With a lot of creativity and ingenuity, the groups developed small mowing robots in their home offices. They started with specifications and requirements and continued with UML and SysML diagrams. At the end of the project, the robots were able, among other things, to mow separated areas, accept orders via mobile phone apps, and plan the activity depending on weather data.

Overall, the project enabled a system engineering development cycle to be run through and tested.



**Contact:**

Jessica Ulmer, M-Sc.  
ulmer@fh-aachen.de



## Impressum

### HERAUSGEBER

Der Rektor der FH Aachen  
Bayernallee 11, 52066 Aachen  
T. +49.241.60090 | [www.fh-aachen.de](http://www.fh-aachen.de)  
© FH Aachen

### REDAKTION

Heiko Engemann M.Sc.  
Arnd Gottschalk M.A.

### BILDNACHWEIS:

FH Aachen außer:  
Seite 10: FEV Europe GmbH  
Seite 31 & 32: Lucas Nülle Firmenlogo

## Kontakt IaAM

### IaAM

#### Institute of applied Automation and Mechatronics

Prof. Dr.-Ing. Jörg Wollert  
Goethestraße 1, 52064 Aachen  
[iaam@fh-aachen.de](mailto:iaam@fh-aachen.de)  
[www.fh-aachen.de/iaam](http://www.fh-aachen.de/iaam)



