

# forschung im fokus

Ausgabe Nr. 23 / 2020



Autonomie des Menschen  
versus autonome Systeme



RIZ Energie  
Regionales Innovationszentrum  
für Energietechnik

Rektor Prof. Dr. Winfried Lieber (vorn rechts) mit den Prorektoren (von links unten nach rechts oben) Prof. Dr. Anne Najderek (Geschäftsbereich Lehre und Studium), Prof. Dr. Thomas Breyer-Mayländer (Marketing und Organisationsentwicklung), Prof. Dr. Andreas Christ (Medienentwicklung, Studierendenservice und Forschung), Dr. Bülent Tarkan (Kanzler) und Prof. Dr. Gerhard Kachel (Technologie- und Wissenstransfer)



Nach nunmehr fast acht Jahren als Wissenschaftlicher Leiter des Instituts für Angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Offenburg hat Prof. Elmar Bollin mit dem Eintritt in seinen Ruhestand die Leitung des IAF abgegeben. Die Hochschule und das Rektorat sprechen ihm größten Dank für seine im IAF und für die Förderung der Forschung an der Hochschule geleistete Arbeit aus. Er und sein IAF-Team unterstützten in diesen acht Jahren alle in der Forschung engagierten Professorinnen und Professoren und Mitarbeitenden bei den vielfältigen Aufgaben wie Antragstellung und Angebotserstellung, Projektabwicklung, Patenten und Promotionsförderung.

Gleich wichtig waren ihm die Organisation von Veranstaltungen zu Forschungsthemen und zur Öffentlichkeitsarbeit wie die „Forschung auf dem Campus“ oder die „UnternehmenZukunft“-Reihen, die „Professoren-Slams“, aber auch die „Doktoranden-Kolloquien“ oder die zahlreichen Einzelveranstaltungen. Besonders am Herzen lagen ihm die vielfältigen Beratungs- und Informationsgespräche mit den Forschenden. Nicht zuletzt stellt das vom IAF verantwortete *forschung im fokus (fif)*, dessen neueste Ausgabe Sie in den Händen halten, in seiner ansprechenden Aufmachung regelmäßig aktuelle Forschungsthemen an der Hochschule Offenburg vor.

Ursprünglich als Institut für forschungsinteressierte Professorinnen und Professoren mit wenigen Mitgliedern gegründet, wuchs das IAF schnell zur ersten Anlaufstelle für Forschung heran und wurde anhand neuer Aufgaben Schritt für Schritt weiterentwickelt. Prof. Elmar Bollin übernahm das von seinem Vorgänger Prof. Dr. Dirk Jansen an der Hochschule etablierte Institut für Angewandte Forschung in einer Zeit des Umbruchs und Wandels der Hochschule hin zu einer der forschungsstärksten HAW

in Baden-Württemberg. Unter seiner Leitung übernahm das IAF zusätzliche wichtige hochschulweite Aufgaben der Forschungsförderung und -administration, entwickelte sich zum umfassenden Dienstleistungszentrum rund um die Forschungsbelange für alle Professorinnen und Professoren und vergrößerte sukzessive mit der Aufgabenerweiterung das Team.

Das IAF besitzt eine Mitgliederstruktur und diese Mitglieder wählen die wissenschaftliche Leitung aus ihrer Mitte, so Prof. Elmar Bollin am 12. Juni 2012. Seine Stellvertreter waren Prof. Dr. Axel Sikora bzw. ab 2016 Prof. Dr. Thomas Seifert. Ab 2011 sind zu ausgewählten Forschungsschwerpunkten eigenständige Forschungsinstitute gegründet worden, die in der Mehrzahl weiterhin auf die Dienstleistungen des IAF zurückgreifen.

Die Erfolge seien beispielhaft beleuchtet: So steigerte sich in Bollins Zeit als Wissenschaftlicher Leiter die Forschungsdrittmitteleinwerbung von etwa vier Millionen auf etwa sieben Millionen Euro im Jahr 2019, die Anzahl der Doktorandinnen und Doktoranden verdreifachte sich auf fast 50 bis Ende 2019, die Anzahl der IAF-Mitglieder wuchs um mehr als das Doppelte von 31 auf 65. Die kollegiale Führung des IAF und die Einbeziehung von dessen Mitarbeitenden in die Entscheidungsprozesse trugen wesentlich zu diesem Erfolg bei.

Neben seiner Aufgabe als Wissenschaftlicher Leiter des IAF gründete Prof. Elmar Bollin als aktiver Forscher zu nachhaltiger Energietechnik im Jahr 2012 das heute größte Forschungsinstitut der Hochschule, das Institut für Energiesystemtechnik (INES), das er 2016 an seinen Nachfolger Prof. Dr. Wolfgang Bessler übergab.

*Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Winfried Lieber und Prof. Dr. -Ing. Andreas Christ*

# RIZ Energie

## Regionales Innovationszentrum für Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott

Mit dem „Regionalen Innovationszentrum für Energietechnik“, kurz RIZ Energie genannt, entsteht an der Hochschule Offenburg ein neues Forschungsgebäude mit großem Technikum als Plusenergiegebäude. Die Hochschule Offenburg wird ab Sommer 2020 hier die vielfältigen Forschungsaktivitäten rund um Ressourcen- und Energieeffizienz zusammenführen.

*With the „Regional Innovation Centre for Energy Technology“, or RIZ Energie for short, a new research building with a large technical centre is being built at Offenburg University of Applied Sciences as a plus-energy building. Starting in summer 2020, Offenburg University of Applied Sciences will bring together here the diverse research activities related to resource and energy efficiency.*



Das RIZ Energie ist ein Demonstrations- und Forschungsgebäude. Es stellt einem breiten Publikum aus der Energiebranche die Energieflüsse und die Arbeitsplatzqualität in einem netzdienlichen Nullenergiegebäude vor. Hier demonstrieren wir die Anwendung innovativer Inbetriebnahme- und Betriebsführungsmethoden in der Praxis. Wir stärken dabei gezielt die Forschungs- und Entwicklungskapazität (FuE) der Hochschule, und durch die Vernetzung mit ansässigen Unternehmen wird die Wettbewerbsfähigkeit in der Region erhöht. Um signifikante Fortschritte in der FuE zu erzielen, reicht es nicht, einzelne Komponenten wie auch einzelne Schritte der Wertschöpfungskette losgelöst zu untersuchen oder zu optimieren. Vielmehr erforschen Hersteller und Anwender hier im engen wechselseitigen Austausch neue Lösungsansätze und setzen diese zeitnah nachhaltig um.

Das RIZ Energie ist Teil des regionalen Entwicklungskonzepts der Wettbewerbsregion Südlicher Oberrhein, das unter der Federführung des Vereins Klimapartner Oberrhein im Rahmen des Wettbewerbs „Regionale Wettbewerbsfähigkeit durch Innovation und Nachhaltigkeit – RegioWIN“ erarbeitet wurde. RegioWIN selbst ist ein wesentliches Pro-

grammelement der EFRE-Strategie (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) des Landes Baden-Württemberg für die Förderperiode 2014–2020 und wurde bereits 2013 durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst und dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz aufgelegt.

### Forschungsprojekte am RIZ Energie

Das RIZ Energie bringt Forschung, Lehre und Anwendung transparent zusammen und zeigte bereits in der baulichen Gestaltung und anlagentechnischen Ausrüstung die Energiewende in praktischer Umsetzung. Die Forschungsaktivitäten liegen im Bereich der Querschnittstechnologie Energie/Umwelt und werden maßgeblich durch die Arbeitsfelder Maschinenbau, Verfahrens-, Elektro- und Informationstechnik, Mechatronik und Energiesystemtechnik getragen.

Themenschwerpunkte bilden hierbei die Ressourceneffizienz in der Produktentwicklung, Gebäudesystem- und Energieversorgungstechnik, Bauphysik und Gebäude, Management von Energiesystemen, Smart Grid Technology, thermische und elektrische Speichersysteme, regenerative Energiesysteme, Wasserstofftechnik



**ökologische Ziele:** Holzbau, Umweltenergiekonzept, Solarstrom

**ökonomische Ziele:** hocheffiziente TGA-Komponente, insbesondere Wärmepumpe und Übergabesysteme

**soziale Ziele:** hohe Arbeitsplatzqualität deutlich über den gesetzlichen Vorgaben, reduzierter Primärenergiebedarf

und energieeffiziente Antriebskonzepte sowie numerische Simulationsverfahren in diesen Themenfeldern.

## Gebäude- und Energiekonzept

Das RIZ Energie ist ein nachhaltiges Gebäude und wurde integral geplant. Ökologische, ökonomische und soziale Ziele standen dabei im Vordergrund. Es umfasst ein 900 m<sup>2</sup> bzw. 9.000 m<sup>3</sup> großes Technikum (zzgl. Außenlaborflächen) und über 50 innovative Arbeitsplätze. Zudem zeichnet es sich insbesondere durch folgende Merkmale aus:

Die Gebäudehülle ist nach Passivhausstandard mit sehr gutem Wärmeschutz erstellt und die Fassade wie auch das gesamte Technikum in Holz ausgeführt. Die Lüftungsanlage hat eine Wärmerückgewinnung. Die Büros werden über eine Bauteilaktivierung und das Technikum über eine Industrieflächentemperierung geheizt und gekühlt. Heizung, Lüftung und Kühlung können individuell geregelt und bedarfsgerecht betrieben werden. Der gesamte Energiebedarf für Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchten im Bürotrakt wird mit Photovoltaik gedeckt. Büro und Technikum werden in einem Smart Grid zu einem netzdienlichen Betrieb verbunden.

Neben acht vollausgestatteten vernetzbaren Technikumsplätzen (IT/Strom, Kühlung-/Abwärmernutzung, Erdgas, zwei Ebenen, technische Gase separat zuführbar aus der Außenlage) für großvolumige Aufbauten ist zudem ein großzügiger Werkstattbereich auch für kleine Versuche vorhanden.

## Finanzierung

Die Baukosten des Gesamtvorhabens betragen 8,5 Millionen Euro, wobei das Grundstück von der Stadt Offenburg bereitgestellt wurde. Für die Erstausrüstung sind Mittel in Höhe von 1,5 Millionen Euro vorgesehen. Die Finanzierung dieser 10 Millionen Euro wird zu 50 Prozent durch die Europäische Union im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, zu 30 Prozent durch den Stifterkreis und die Hochschule Offenburg und zu 20 Prozent durch das Land Baden-Württemberg getragen.

## Zeitachse

Im August 2012 wurde im Rahmen des RegioWIN-Wettbewerbs des Landes Baden-Württemberg eine erste Projektidee zum „Sustainable Energy Valley“ entwickelt. Ein Jahr später wurde darauf basierend ein regionales Strategiekonzept und im August 2014 das regionale Entwicklungskonzept zur Energiewende-Region Südlicher Oberrhein vorgelegt. Dort vorgeschlagen als förderfähiges Leuchtturmprojekt meldete die Hochschule Offenburg das Projekt im März 2015 in Absprache mit dem Ministerium für Wissenschaft und Kunst bei Vermögen und Bau Baden-Württemberg (Amt Freiburg) an. Der Projektstart war mit der „ersten großen Planungsbesprechung“ im September 2015. Die Abgabe der Bauunterlage erfolgte im Januar 2016 und die Baufreigabe schließlich im Oktober 2017. Seit Ende März 2020 werden die Büros und das Technikum eingerichtet. Der Einzug ist aktuell für Mai 2020 vorgesehen. Im Lauf der folgenden Monate werden alle Laborrichtungen installiert und schrittweise in Betrieb genommen.

# Stabsübergabe am IAF

19. Februar 2020, Hochschule Offenburg

Mit der Wahl der neuen Geschäftsführenden Leitung übergab Prof. Elmar Bollin, der in den Ruhestand tritt, die Geschäfte des Instituts für Angewandte Forschung (IAF) an seine Nachfolger Prof. Dr. Thomas Seifert (Geschäftsführender Leiter) und Prof. Dr. Niklas Hartmann (stellvertretender Geschäftsführender Leiter). Beide sind versierte Forschungsakteure mit Fraunhofer-Hintergrund und routiniert in der Angewandten Forschung. Thomas Seifert ist zudem durch seine jahrelange Stellvertreterposition am IAF bestens mit dessen Geschäftsprozessen vertraut.



Prof. Elmar Bollin und Prof. Dr. Thomas Seifert (v.l.n.r.)

Professor Elmar Bollin hatte in den Jahren 2012 bis 2020 die IAF-Leitung inne. In dieser Zeit wuchs die IAF-Geschäftsstelle von zwei auf sieben Mitarbeiter. Dieses deckt gegenwärtig von Information und Beratung über Finanzadministration und Dokumentation bis zu Kommunikation und Marketing ein umfassendes Serviceangebot für die forschungsaktive Professorenschaft der Hochschule Offenburg ab, die von bis zu 130 Hochschulmitarbeitenden unterstützt werden. Dem vorausgehend wuchs die Einwerbung an Forschungsdrittmitteln der Hochschule Offenburg seit 2012 um das Doppelte auf sieben Millionen Euro (2019). Mit dieser Leistung steht sie heute zu Recht in der Spitzengruppe der forschenden Hochschulen in Baden-Württemberg.

Angewandte Forschung unterstützt die strategischen Ziele der Hochschule und gehört heute quasi zum Pflichtprogramm eines Hochschulprofessors. Durch die Beschaffung von Forschungsgroßgeräten – wie ein Rasterelektronenmikroskop, eine Virtual-Reality-Anlage als „Werkstromorientierte Lernfabrik“, einen Elektromotorenprüfstand, eine Wasserstoffsystemeinheit, zwei begehbare Klimakammern, eine Rapid-Prototyping-Anlage für selektives Lasersintern sowie Batterie-Teststände, um nur einige zu nennen – konnte in den vergangenen Jahren eine Forschungsinfrastruktur aufgebaut werden, die eine hervorragende Basis dafür bietet.

Die Palette der Forschungsthemen reicht dabei von Nachhaltigen Energiesystemen über Robotik, Life Science Engineering, Wirtschaft & Handel bis hin zur KI-basierten Systemtechnik und Medien- und Kommunikationstechnik. Die Professorenschaft kooperiert seit Jahren mit Industriebetrieben und Kommunen – teils direkt, teils kooperativ – in öffentlichen Forschungsvorhaben und trägt so zur Vernetzung der Hochschule mit der Gesellschaft bei.

Mit der Gründung zahlreicher Forschungsinstitute ermöglichte die Hochschule seit 2012 den Forschungsakteuren ferner, sich am Forschungsmarkt zu etablieren und zu labeln. Dies ist unter anderen den Instituten INES und ivESK, die 2019 in Summe 2,7 Millionen Euro (40 Prozent) der Forschungseinwerbungen der Hochschule generieren konnten, gelungen. Mit den neuen Räumlichkeiten wie dem Peter Osypka Institut und dem Regionalen Innovationszentrum RIZ Energie bietet die Hochschule ihren Forschenden zudem eine Umgebung, die zu Innovationen anregt und neue Forschungsaktivitäten hervorbringt.

So betrachtet haben die vergangenen acht Jahre dem IAF eine enorme Entwicklung gebracht. Das Team stand dabei immer wieder vor neuen Herausforderungen, die es bestens gemeistert hat. Das IAF ist heute gut gerüstet, um den zukünftigen Anforderungen an Prozessen und Standings in der Forschungslandschaft in Baden-Württemberg gerecht zu werden. Die neue Leitungsmannschaft kann sicher auf dem bisher Erbrachten aufbauen und neue Ziele angehen.

*Prof. Elmar Bollin & Prof. Dr. Thomas Seifert*



- 1 Danksagung
- 2 Titelthema: RIZ Energie  
Regionales Innovationszentrum für Energietechnik
- 4 Vorwort
- 8 Black Forest Formula Student  
Elektrischer Formelrennwagen –  
Konzeption und Aufbau
- 13 Forschungsallianz Oberrhein  
Technische Grundlagen der Nachhaltigkeit
- 19 Maschinenbau und  
Verfahrenstechnik [M+V]
- 20 BioMeth  
Biologische Methanisierung mit Membran-  
begasung in einer Molke-Pilotbiogasanlage
- 24 LaDiVo  
Laserunterstützter Digitaldruck keramischer  
Farben auf vorgespanntem Glas
- 28 Digitale Zwillinge  
Wichtige Bausteine in Lehre und Forschung  
im Ingenieurwesen
- 33 Kristallklare Einblicke in Metalle  
Vom Ein- zum Polykristall
- 37 Pulsed Electrical Fields (PEF)  
Mögliches Verfahren zur Gewinnung von  
Paramylon aus *Euglena gracilis*?
- 41 Virtuelle Ergonomie- und Sichtfeld-  
optimierung am Hocheffizienzfahrzeug
- 44 Von wegen „konstant!“
- 51 Medien [M]
- 52 Project OVVL  
Threat Modeling Support  
for the entire secure development lifecycle
- 55 Autonomie des Menschen versus  
autonome Systeme
- 59 ABSCHIED VOM AUSSEN  
Suchbewegung nach dem Terrestrischen
- 63 Teilhabe und Emotionen im Marketing  
Strategische, organisatorische und  
kommunikative Anforderungen
- 69 Elektrotechnik, Medizintechnik  
und Informatik [EMI]
- 70 3D-Druck der Ablation von Vorhofflimmern
- 72 Simulation der  
transösophagealen Neurostimulation
- 75 Oracle Datenbank-Optimierung mit Tracefiles
- 79 Promotionskolleg „MERAGEM“
- 85 Betriebswirtschaft und  
Wirtschaftsingenieurwesen [B+W]
- 86 Entwicklung eines formalen Kalküls  
Schaffung einer angemessenen Informations-  
grundlage für riskante Entscheidungen
- 90 Professional UX  
Benutzerfreundlichkeit einfach optimiert
- 94 Forschungsgruppe: Prof. Dr. Thomas Wendt
- 99 Institut für verlässliche  
Embedded Systems und  
Kommunikationselektronik [ivESK]
- 100 Toward Achieving URLLC with 5G:  
A Simulation Evaluation
- 104 Entwicklung von Security:  
Erweiterungen für PROFINET
- 108 Time Synchronization for  
Time Sensitive Networks
- 113 Institut für  
Energiesystemtechnik [INES]
- 114 Verbundbetrieb von zwei autonom  
arbeitenden Microgrids
- 118 MOSAIK  
Entwicklung eines  
leistungsstarken Gebäudemodells  
in einer Stadtklimasimulation
- 121 SHK.4.FE  
Vom Übersee-Container zum  
energieautarken Tiny House
- 124 PHOTOPUR  
Photokatalytische Reinigung für  
pestizidbelastetes Wasser im Weinbau
- 129 Elektrische Energiespeicherung  
mit Batterien und Brennstoffzellen

- ▶ **133 Institute for Trade and Innovation [IfTI]**
  - 134 Convergence of Development and Export Finance
  - 138 Exportkreditversicherungsgeschäft  
Maschinelles Lernen zur Vorhersage von Schadensfällen
- ▶ **142 Affective and Cognitive Institute [ACI]**
  - 143 SUITCEYES – horizon 2020-Projekt – Menschen mit Taubblindheit navigieren autonomer durch haptisches Feedback
- ▶ **146 Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation [POI]**
  - 147 InterSim III  
Demonstration of progressive features of current cardiac electronic implants
- ▶ **151 Institut für nachhaltige Silikatforschung Offenburg [NaSiO]**
  - 152 Dämmsteine aus Schilf und Glasabfall
- ▶ **155 Institute for Unmanned Aerial Systems [IUAS]**
  - 156 ELCOD: Endurance Low Cost Drone
- ▶ **159 Institute for Machine Learning and Analytics [IMLA]**
  - 160 Deepfake Detection  
Bildmanipulationen auf der Spur
- ▶ **162 Publikationen 2019**
- 173 Promotionen 2019**
- 175 Patente 2019**
- 176 Kontakt**

## Impressum

Herausgeber:  
 Institut für Angewandte Forschung [IAF]  
 Hochschule Offenburg  
 Badstraße 24 · 77694 Offenburg  
 iaf@hs-offenburg.de  
 www.iaf.hs-offenburg.de

 **Hochschule Offenburg**  
 offenburg.university

Redaktion, Projektkoordination, Layout:  
 Sandra Lutz-Vogt, Hochschule Offenburg  
 Verantwortlich für den Inhalt:  
 Autoren und Projektleiter der jeweiligen Projekte  
 Bildnachweis:  
 Hochschule Offenburg, Shutterstock, wikipedia  
 Titelbild:  
 Prof. Dr. Dan Curticapean, Hochschule Offenburg  
 Druckerei:  
 Druckhaus Franz Seibert GmbH & CO. KG, Osthofen  
 Auflage:  
 2500 Exemplare – ISSN 1866-9352

# Black Forest Formula Student

## Elektrischer Formelrennwagen: Konzeption und Aufbau

Alexander Sperka B.Eng., Andre Lang B.Eng., Patrick Funk B.Eng.,  
Philipp Degel M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Patrick König, Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffler

Ein interdisziplinäres Team aus Studierenden befindet sich gerade im Aufbau eines Formula Student Teams für die Hochschule Offenburg. Dieses hat es sich zum Ziel gesetzt, bis zum Sommer 2020 ein vollelektrisches Rennfahrzeug nach dem Formula Student Reglement aufzubauen. Dies ist eine besondere Herausforderung für alle beteiligten Fachbereiche, was eine hohe Interdisziplinarität voraussetzt. Zentrale Aufgabenstellungen im Team waren die Auslegung der Systemarchitektur, sowie die 400-V-Batterieentwicklung inklusive Strömungssimulation und Gehäusekonstruktion.

*An interdisciplinary team of students is currently building up a Formula Student Team for the University of Applied Sciences Offenburg. This team has set itself the goal of building a fully electric racing car according to the Formula Student regulations by summer 2020. This is a special challenge for all participating departments, which requires a high level of interdisciplinarity. Central tasks in the team were the design of the system architecture as well as the 400-V-battery development including flow simulation and housing design. Furthermore, the frame design, implementation of the control unit and early torque vectoring research played a major role in the project.*

### Einleitung & Systemarchitektur

Im August 2019 gab es den offiziellen Startschuss für das elektrische Formula Student Team der Hochschule Offenburg. Die generellen Anforderungen an ein Formula Student Rennfahrzeug auf kurvigen und kurzen Strecken sind:

- hohe dynamische Beschleunigungen
- geringes Gewicht
- Maximalgeschwindigkeit von ca. 130 km/h
- Wendigkeit bei geringen Kurvenradien
- effizientes Fahrzeug (Rekuperation)
- maximale Sicherheit der Person am Steuer

Diese Kriterien und die daraus abgeleiteten Bedingungen dienen als Entscheidungsgrundlagen für alle weiteren Fragestellungen. Innerhalb eines freiwilligen zweiwöchigen Workshops konnten verschiedene Antriebs- und Rahmenkonzepte evaluiert und die zukünftige Systemarchitektur des Fahrzeugs vorausgelegt werden. Das erste Fahrzeugchassis wird mit einem Stahlrohrrahmen aus handelsüblichen S355 Rund- und Vierkantrohren konstruiert und gefertigt, wobei eine Vielzahl an sicherheitsrelevanten Vorgaben aus dem aktuellen Formula Student Reglement zu beachten sind.

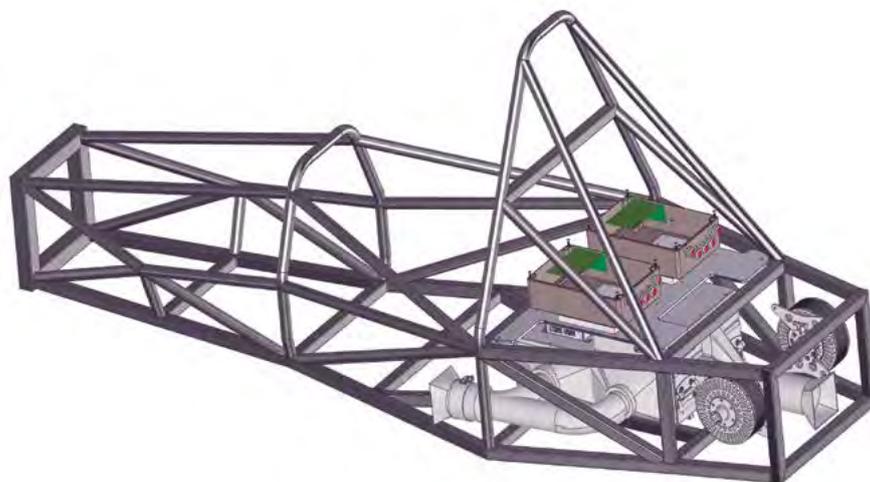


Abb. 1:  
Antriebsstranganordnung innerhalb des Stahlrohrrahmens

Die Abbildung 1 zeigt den Rahmenentwurf inklusive Tandem-Einachsantrieb, der sich dadurch auszeichnet, dass jeweils ein Elektromotor ein Hinterrad antreibt. So kann ein elektrisches Differential abgebildet werden [1]. Die Motoren befinden sich innerhalb des Fahrzeugrahmens mit den Vorteilen eines vereinfachten Fahrwerkaufbaus und geringeren ungefederten Massen. Die Permanentmagnet-Synchronmotoren werden von zwei unabhängigen Invertern angesteuert, die die Gleichspannung der Batterie in die benötigte dreiphasige Sinusspannung der Motoren wandeln. Das selbstentwickelte Steu-



Abb. 2:  
Referenzfahrzeug des Black  
Forest Formula Teams

ergerät, basierend auf der STM32-Baureihe, hat die Aufgabe, ein dem Fahrwunsch entsprechendes Drehmoment einzustellen. Dabei müssen Randbedingungen wie Fahrbahnzustand, Querschleunigung und Kurvenfahrt berücksichtigt werden, um die Vorteile des Antriebskonzepts mit einzeln angetriebenen Rädern optimal ausnutzen zu können.

Herzstück des Fahrzeugs ist die Batterie als Energiequelle. Um die Anforderungen einer hohen Dynamik und geringen Gewichts bestmöglich einhalten zu können, wurde ein 400-V-System mit Luftkühlung eingesetzt. Da dies ein Hochspannungssystem ist, das unter keinen Umständen direkt berührt werden darf, sind besondere Vorsichts- und Sicherungsmaßnahmen notwendig. Diese orientieren sich eng an einschlägigen Normen sowie am FS-Reglement und betreffen sowohl die generelle Bauteilsicherheit im Handling und Transport als auch die Sicherheit im Crashfall bis zu einem Aufprall von 40 g. Um das Risiko der Beschädigung einer Zelle durch das thermische Durchgehen möglichst gering zu halten, wurden ausführliche Simulationen zur Absicherung des Bauteils durchgeführt und evaluiert.

### Anordnung der Li-Ionen-Zellen

Das Thermomanagement der 400V-Lithium-Ionen-Batterie spielt bei der Auslegung eines Rennwagens eine herausragende Rolle, da

eine bestmögliche Performance unter sicherheitskritischen Aspekten das Ziel ist. Die Batterie verfügt in diesem Fall über 18650er-Rundzellen, die z. B. auch in Laptops Anwendung finden. Die Batterie kann hierbei in acht Stacks unterteilt werden, die in sich geschlossene Teilssegmente bilden und miteinander in Reihe geschaltet sind.

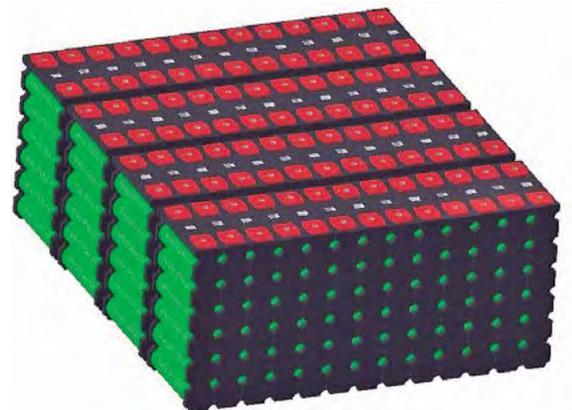


Abb. 3:  
Vier Zellstacks des Akkumulatorgehäuses

Jeder dieser Stacks besteht aus 13 modularen Zellblöcken, von denen jeder Block aus sechs parallel geschalteten Zellen besteht [2]. Zusammengesetzt ergibt dies eine Zellanordnung von S1046P mit einer nominellen Spannung von 3,7 V pro Zelle und einer Kapazität von 18,6 Ah. In Summe sind dies 7,1 kWh für die gesamte Einheit.

## CFD-Simulation: luftgekühlter Akkumulator

Um die Stacks sinnvoll in dem Akkumulatorgehäuse platzieren zu können, mussten die Rahmenbedingungen des Reglements und die Luftzu- und -abführung berücksichtigt werden. Für die Auslegung wurden spezifische Kenndaten bezüglich der Luftströmung benötigt. Anhand der Gegebenheit der periodischen Symmetrie der Kühlbohrungen wurde entschieden, den Fokus der strömungstechnischen Untersuchung nur auf einen Kühlkanal zu richten. Die Simulation hatte das Ziel, folgende Parameter zu identifizieren:

- Druckdifferenz,
- Druckverlustbeiwert,
- Temperaturdifferenz,
- konvektiver Wärmeübergang,
- Detektion auftretender Strömungseffekte.

Zuerst betrachtete man dann die abgerundete Bohrung, die für die CFD-Simulation auf ein Viertelmodell reduziert werden konnte (Abbildung 4 links).

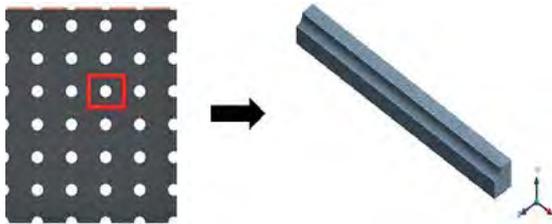


Abb. 4:  
Seitenansicht eines Batteriestacks mit periodischem Muster der Kühlbohrung (li) und Viertelmodell des Solids (re)

Die daraus resultierende Geometrie stellte den Solid-Körper für weitere strömungssimulative Untersuchungen dar (Abbildung 4 rechts). Darauf folgend wurde ein Rechengebiet des Fluids sowie ein Netz generiert, das mit lokalen Elementgrößen und der Generierung einer konzentrischen Prismenschicht zwischen Fluid und Solid weiter verfeinert werden konnte.

Der numerischen Lösung des Strömungsfalls liegt das Rechenmodell Reynolds-Average-Navier-Stokes (RANS-Modell) und als Turbulenzmodell das k-ε-Modell zugrunde [3]. Am Inlet durchströmt die Umgebungsluft als ideales Gas die Kühlbohrung. Dabei wird die Luft mit einer statischen Temperatur von 35 °C und dem atmosphärischen Druck beaufschlagt. Der Zahlenwert der statischen Temperatur erklärt sich

damit, dass hier die Fahrt auf der Rennstrecke im Hochsommer widergespiegelt werden soll. Der Wärmestrom ergibt sich bedingt durch den Innenwiderstand der Batterie mit 12,8 mOhm und einer Stromstärke bei maximalen Entlastestrom von 15 A bei hochdynamischen Beschleunigungen.

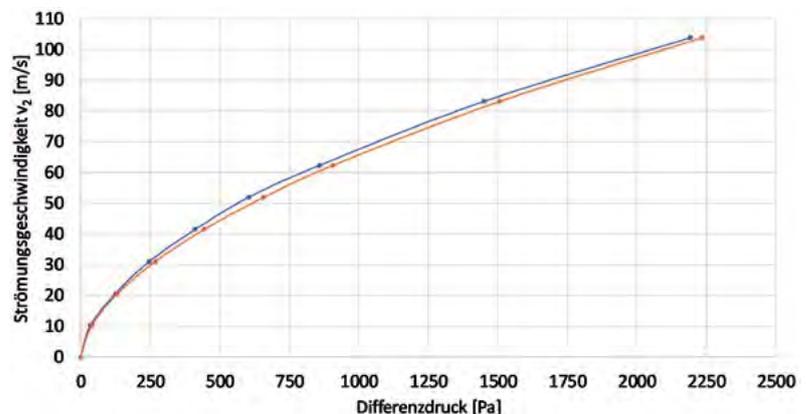
Nachfolgend fand eine Plausibilitätsprüfung der Simulationsergebnisse mit einer analytischen Berechnung im ausschließlich inkompressiblen Strömungsbereich statt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhalten. Analytisch wurde die Druckdifferenz  $\Delta p$ , der Druckverlustbeiwert  $\zeta$ , die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  wie auch die mittlere Nusselt-Zahl  $Nu_m$  nach Gleichung 1 bestimmt [4, S. 785 - 788].

$$Nu_m = \frac{\frac{\zeta}{8} * (Re - 1000) * Pr}{1 + 12,7 * (Pr^{\frac{2}{3}} - 1) * \sqrt{\frac{\zeta}{8}}} * \left[ 1 + \left( \frac{L}{h} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \quad (1)$$

Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_m$  kann dann genutzt werden, um die analytische Temperaturdifferenz und so einen Vergleichswert für die Druckdifferenz  $\Delta p$  bei inkompressiblen Medien zu kalkulieren [4, S. 786, S. 1223].

## Simulationsergebnisse

Die simulative Druckdifferenz ist 2750 Pa bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit des Fahrzyklus von  $v_1 = 10$  m/s. Die weiteren ermittelten Druckdifferenzen über die Strömungsgeschwindigkeiten zeigt die Abbildung 5.



Die simulativ ermittelte Druckdifferenz weist gegenüber der analytischen eine mittlere Abweichung von 7,09 % auf.

Abb. 5:  
Temperaturdifferenz  $\Delta T$  über die Strömungsgeschwindigkeit  $v_2$  innerhalb der Bohrung

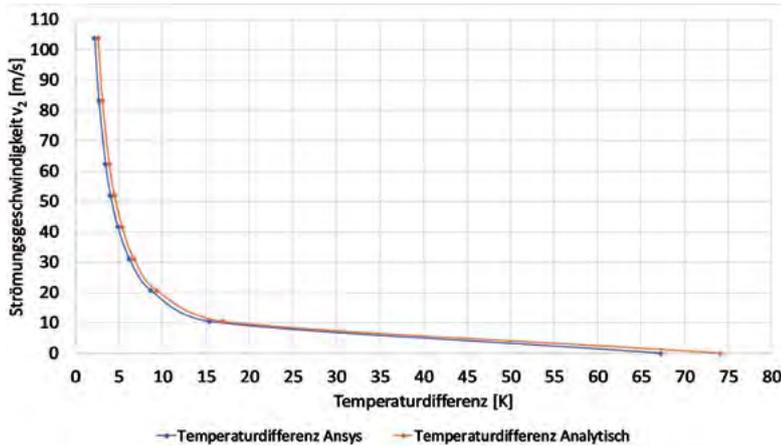


Abb. 6:  
Druckdifferenz über die Strömungsgeschwindigkeit  $v_2$  innerhalb der Bohrung

Abbildung 6 zeigt, dass die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz entlang der Strömung variiert und das arithmetische Mittel möglicherweise nicht das reale Mittel widerspiegelt, aber eine ausreichende Näherung darstellt. Für den mittleren Geschwindigkeitswert ergibt sich ein  $\Delta T_m$  von 2,65 K [5]. Dieser Wert nimmt mit steigender Strömungsgeschwindigkeit des Fluids ab. Beim Vergleich der aus ANSYS gewonnenen Werte mit den analytisch berechneten Werten ergibt sich eine mittlere Abweichung von 11,7 %.

Es konnten alle für die Zu- und Abströmung relevanten Kennwerte ermittelt und validiert werden. Die Abweichung der Simulation gegenüber den Vergleichsrechnungen beträgt bei allen Parametern etwa 10 %. Da es sich bei den analytischen Berechnungen um vereinfachte Gleichungen handelt, die zum einen gemittelte und zum anderen idealisierte Werte darstellen, sind die Abweichungen der Lösungen im erwarteten Rahmen.

Aufgrund der vorliegenden Simulationsergebnisse wurde festgestellt, dass ab einer Strömungsgeschwindigkeit von  $v_1 = 1$  m/s eine unkritische Erwärmung der Batterie auftritt. Ausschlaggebend für die gute Wärmeabfuhr ist die hohe Strömungsgeschwindigkeit  $v_2$  in der Kühlbohrung. Das bedeutet, dass ein Überhitzen der Batterie nur im Fall eines Stillstands des Rennwagens zustande kommt.

Das Projektteam schlussfolgerte, dass weitere experimentelle Versuche durchgeführt werden sollten, die den Batteriestack idealerweise in einem Strömungskanal testen. Dieser experimentelle Ansatz dient zum weiteren Abgleich der bisherigen analytischen und simulativen Ergebnisse.

## Konstruktion: Batteriegehäuse

Das Reglement sieht eine räumliche Abgrenzung der Zellen und der Batterieelektronik vor. Deshalb wird das Gehäuse aus gebogenem und geschweißtem Blech gefertigt (siehe Abbildung 7). Die Zellen befinden sich im unteren Gehäuse und die Elektronik im Gehäuse darüber.



Abb. 7:  
Akkumulatorgehäuse mit Anströmkanälen, HV-Stecker (orange) & Batteriemanagementsystem (schwarz)

Von den Seiten werden die Ansaugkanäle angeschlossen. Die Leitungen führen, nach der Filterung der Luft, auf die Seiten des Gehäuses (Abbildung 8), wo dreidimensional gedruckte, trichterförmige Öffnungen die Luft zielgerichtet auf die Kühlbohrungen der Batterie leiten sollen.



Abb. 8:  
Seitenansicht: trichterförmige Anströmöffnungen für die Bohrlöcher

Dies gewährleistet eine bestmögliche laminare Luftführung zu den Kühlbohrungen, die basierend auf die vorangegangenen Simulationsergebnisse optimiert wurde.

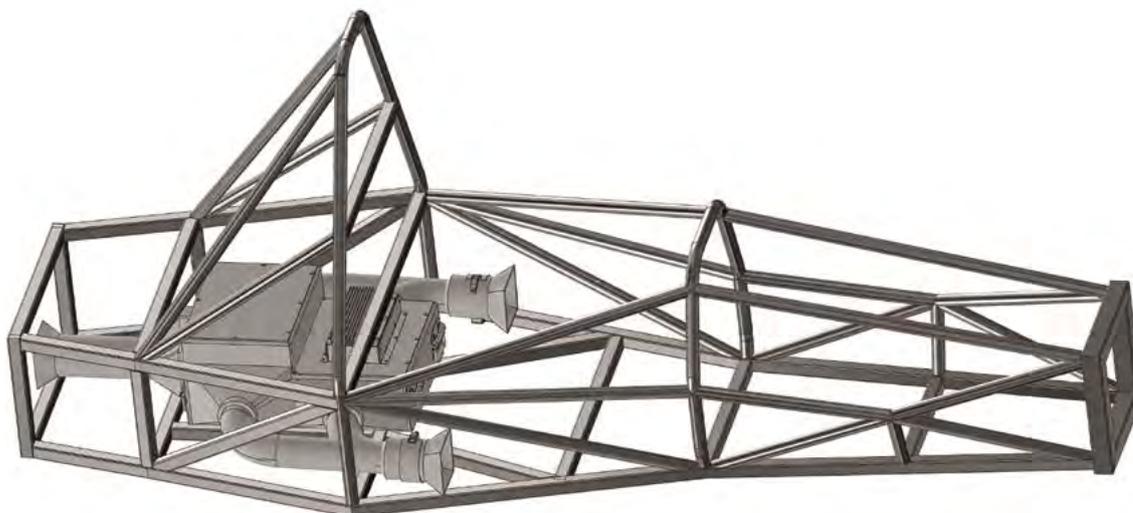


Abb. 9:  
Akkumulator im Rahmen angeordnet

Zum Fahrzeugheck hin befindet sich der zentrale, 3D-gedruckte Luftauslass, bei dem ein großer Lüfter aktiv Luft aus dem Gehäuse entzieht und so für eine möglichst effiziente turbulente Strömung sorgt. Abbildung 9 zeigt die Anordnung im Fahrzeugrahmen.

## Ausblick

Momentan befindet sich die Konstruktion des Batteriesystems in den finalen Zügen – die Fertigung des Gehäuses, der Halterung und der Luftführung steht kurz bevor. Die Auslegung der Temperaturüberwachung und das Platinenlayout, die Microcontrollerprogrammierung und die BMS-Parametrierung werden parallel erstellt. Spannend wird, wie nah Simulation und Realität der Temperatur innerhalb der Batterie während eines Fahrzyklus zusammenliegen und welche Anpassungen am Herzstück des Fahrzeugs notwendig sein werden. Wichtige Erkenntnisse werden erste Tests mit der gesamten Hochvolt-Batterie liefern, sowohl im Labor als auch im Prototyp selbst.

## AUTOREN



Alexander Sperka B.Eng.  
Student E+I MK  
Black Forest Formula Team  
asperka@stud.hs-offenburg.de



Andre Lang B.Eng.  
Student M+V MME  
Black Forest Formula Team  
alang2@stud.hs-offenburg.de



Patrick Funk B.Eng.  
Student M+V MME  
Black Forest Formula Team  
pfunk@stud.hs-offenburg.de

Philipp Degel M.Sc.  
Fakultät EMI, philipp.degel@hs-offenburg.de  
Prof. Dr.-Ing. Patrick König  
Fakultät M+V, patrick.koenig@hs-offenburg.de  
Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffler  
Fakultät EMI, christian.kloeffler@hs-offenburg.de

## Referenzen/References:

[1] Springer Vieweg, Michael Trzesniowski: „Antrieb“, 978-3-658-15535-3, FH Joanneum Graz, Ö, 2017

[2] <https://www.energusps.com/shop/product/li1x6pvtc6t-li-ion-building-block-3-6v-18-6ah-15c-179>

[3] Prof.Dr.-Ing. Jörg Ettrich, „Numerische Fluidmechanik“, Skriptum, HSO, WS 2019/20

[4] Springer Vieweg, „VDI-Wärmeatlas“, 11. bearb. und erw. Aufl., Ser. VDI-Buch, ISBN 3642199828, Berlin, 2013

[5] Prof. Dr.-Ing. Susanne Mall-Gleißle, „Thermodynamik 2“, Skriptum, HSO, WS 2019/20

# Forschungsallianz Oberrhein

## Technische Grundlagen der Nachhaltigkeit

*Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ, Prof. Dr. rer. nat. Jasmin Aghassi-Hagmann,  
Prof. Dr. rer. nat. Daniel Kray, Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott, Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder*

In der Forschungsallianz Oberrhein erforschen die Hochschulen Offenburg, Furtwangen und Karlsruhe, die Universität Freiburg sowie das KIT in gemeinsamen Teams technische Systeme, die Nachhaltigkeit ermöglichen bzw. selbst nachhaltig sind. Der Forschungsallianz gelang es, neue Kooperationen zu initiieren bzw. zu intensivieren. Der Beitrag beschreibt Forschungsergebnisse aus den fünf Projekten, an denen die Professoren der Hochschule Offenburg aktiv beteiligt waren.

*Working in joint teams as part of the Upper Rhine Research Alliance, the Universities of Applied Sciences of Offenburg, Furtwangen and Karlsruhe, as well as the University of Freiburg and the KIT, explore technical systems that enable sustainability or are themselves sustainable. The Research Alliance has been successful in initiating new collaborations and intensifying existing partnerships. This article describes research results from the five projects in which professors of Offenburg University of Applied Sciences have been actively involved.*

„Die Thematik der globalen Erwärmung und der Ressourcenknappheit sowie die damit einhergehenden ökologischen wie sozialen Konsequenzen sind eine der grundlegenden aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen. Das Konzept der Nachhaltigkeit scheint unter diesem Gesichtspunkt unabdingbar für die zukünftige Erhaltung einer ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Stabilität. Gerade auf technischer Ebene können hierzu wesentliche Beiträge geliefert werden.“ Diese Sätze beschreiben die Mission der Kooperation „Forschungsallianz Oberrhein zu den technischen Grundlagen der Nachhaltigkeit“, wie sie im Antrag formuliert wurde. Hier erforschen die Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, das Karlsruher Institut für Technologie, die Hochschulen Karlsruhe, Furtwangen und Offenburg in gemeinsamen Teams technische Systeme, die Nachhaltigkeit ermöglichen bzw. selbst nachhaltig sind, d. h. wie widerstandsfähig und resilient sie gegenüber einer Vielzahl von äußeren Einflüssen sind. Es sind diese Fortschritte in physikalisch-technischen Systemen, die mitunter den Aufbau einer nachhaltigen Wirtschafts- und Gesellschaftsstruktur möglich machen werden.

Die Allianzmitglieder organisierten sich in einem Leitungskreis mit je einem gewählten Mitglied aus den beteiligten Institutionen. Ebenso wählten die Allianzmitglieder in ihrer ersten Vollversammlung einen Sprecher – Prof. Dr. Reindl (Universität Freiburg) – sowie dessen Stellvertreter – Prof. Dr. Korvink (KIT).



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU

Begonnen im Herbst 2016, hat das MWK die Kooperation für drei Jahre mit insgesamt ca. 900.000 Euro gefördert. Zusammen mit einem Eigenanteil in gleicher Höhe konnte an 12 ausgewählten Forschungsthemen aus den drei Forschungsbereichen „Resiliente Werkstoffe und nachhaltige Fertigungsverfahren“, „Effiziente Energieumwandlung und -speicherung“ sowie „Modellierung, Datenerfassung, Kommunikation und Regelung in verteilten Energiesystemen“ wissenschaftlich gearbeitet werden.

In meist Hochschularten übergreifenden Teams beteiligten sich insgesamt über 20 Professorinnen und Professoren – von der Hochschule Offenburg sind dies Prof. Dr. Jasmin Aghassi-Hagmann, Prof. Dr. Daniel Kray, Prof. Dr. Jens Pfafferott, Prof. Dr. Werner Schröder und Prof. Dr. Andreas Christ. Über die Forschungsprojekte mit ihrer Beteiligung wird folgend berichtet.

## Drahtlose Ultra-Low-Power Systeme für Passive Biotelemetrische Anwendungen

(Prof. Dr. Jasmin Aghassi-Hagmann, HS Offenburg; Prof. Dr. Leonhard Reindl, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Low-Power, induktiv betriebene, auf Radiofrequenz-Identifikation (RFID) oder Nahfeldkommunikation (NFC) basierende passive Telemetrie-Systeme für industrielle oder biomedizinische Anwendungen haben in letzter Zeit stark an Popularität gewonnen. Die Leistungsaufnahme und die Größe der Elektronik stellen die wesentliche Herausforderung dar. Für Biotelemetrie-Anwendungen wie z. B. von einem Implantat wird erwartet, dass die Elektronik so klein wie möglich ist und dabei einen sehr geringen Stromverbrauch hat. Ein passives System ist eine optimale Wahl, wenn eine konstante Stromversorgung wie eine Batterie nicht erforderlich ist. Hierfür werden kleine, stromsparende und kostengünstige passive Elektronikchips entwickelt – sogenannte System-on-Chip (SoC). Das für die Forschungsarbeit entwickelte SoC entspricht dem Standard der RFID International Organisation for Standardisation (ISO) 15693/ NFC 5.

Der neu entwickelte Mixed-Signal-SoC [Ag1] integriert analoge Schaltungen und digitale Logik. Die analogen Schaltungen umfassen eine Power-Management-Einheit, eine RFID/NFC-Kommunikationseinheit und eine Sensorausleseschaltung mit einem 12-Bit-Sukzessiv-Approximationregister Analog-Digital-Wandler (SAR-ADC). Die digitale Logik umfasst einen integrierten 32-Bit-Mikrocontroller mit Reduced-Instruction-Set-Computer (RISC) und einige andere digitale Peripherieeinheiten. Die internen Speicherbausteine umfassen 16-Kilobyte-Speicher mit Random-Access-Memory (RAM) und einen 16-Kilobyte Read-Only-Memory (ROM). Als effektive Maßnahme zur Reduzierung des Stromverbrauchs des Analogblocks werden mehrere Stromversorgungsschienen zusammen mit der effizienten Nutzung von komplementären Metalloxid-Halbleiter-subthreshold-Operationen (CMOS) verwendet. Der Sensorausleseteil wird bei Nichtbetrieb komplett abgeschaltet. Zur Herstellung des SoCs wird der One-Poly, Six-Metal 0,18 µm CMOS-Prozess von United-Microelectronics-Corporation (UMC)-Foundry verwendet. Die Anzahl, der für das SoC benötigten externen Komponenten ist auf einen externen Speicherbaustein, Sensoren, eine Antenne und passive Bauteile beschränkt. Der externe Speicherbaustein enthält die anwendungsspe-

zifische Firmware, die je nach Anforderung der Anwendung modifiziert werden kann. So wird das SoC konfiguriert und das Anwendungsprogramm auf Basis der Anwendung geändert. Aufgrund dieser Vielseitigkeit wird der SoC als General Application Passive Sensor Integrated Circuit oder einfach GAPSIC bezeichnet.

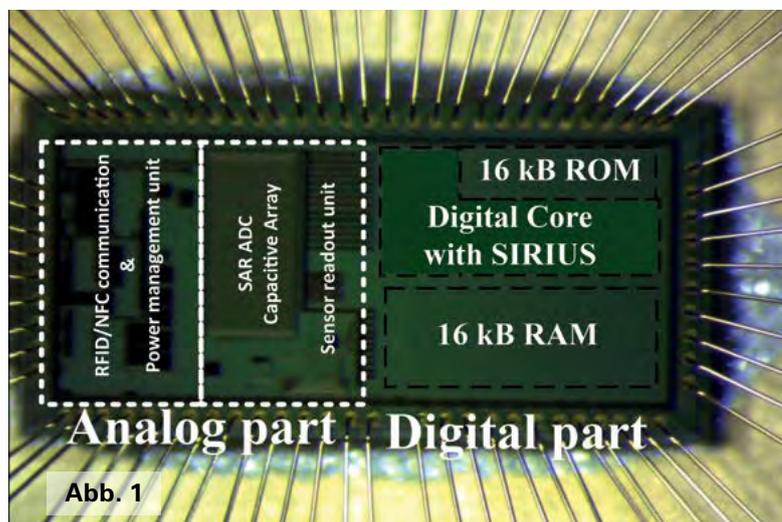


Abb. 1



Abb. 2

Der GAPSIC SoC ist auf einer Fläche von 1,52 mm × 3,24 mm realisiert (Abb. 1). Ein Leadless-Chip-Carrier (LCC) 84-Gehäuse kapselt den Testprototypen des SoCs (Abb. 2). Die Versorgungsspannung für den SoC liegt im Bereich von 1,4 V bis 1,8 V bei einer Betriebstemperatur von -30 °C bis +85 °C. Er ist kompatibel zu allen handelsüblichen externen Geräten wie Temperatur- oder Drucksensoren oder externen Speicherbausteinen wie Flash oder Ferroelectric Random Access Memory (FRAM). Nach bestem Wissen der Forschungspartner und Autoren ist der GAPSIC der einzige passiv programmierbare SoC, der eine Power-Management-Einheit, eine RFID/NFC-Kommunikationsschnittstelle, eine Sensorausleseschaltung, einen 12-Bit-SAR-ADC und einen integrierten 32-Bit-Mikrocontroller

Abb. 1:  
Das Mikrofoto des GAPSIC SoC ist in der Abbildung zusammen mit den Bonddrähten dargestellt. Auf der linken Seite ist der analoge Teil des SoCs und auf der rechten Seite der digitale Teil dargestellt.

Abb. 2:  
Testboard zum Testen der Funktionalitäten des GAPSIC SoC

enthält. Die Sensorausleseschaltung des SoCs ist geeignet, resistive Sensordaten auszulesen. Der SoC eignet sich z. B. für medizinische Implantate zur Messung physiologischer Parameter wie Temperatur, Druck oder Elektrokardiogramm (EKG). Als Anwendungsbeispiel wäre ein Bioimplantat zur Messung des arteriellen Blutdrucks bei Patienten mit Peripherer Arterienkrankung (PAD) denkbar. Andererseits ist das SoC auch für passive industrielle Sensoranwendungen wie Umgebungstemperaturmessung, Leitfähigkeitsmessung oder Druckmessung gleichermaßen geeignet.

Schwerpunkt der Arbeit waren Umbauten und Erweiterungen des Multi-Tools zur Erhöhung der Messgenauigkeit. So wurde auch eine neue Kontaktiereinheit zur Kontaktierung der Busbars einer Solarzelle konstruiert und aufgebaut. Damit wurde die Messgenauigkeit signifikant erhöht. Es wurden hier Kontaktpins eingesetzt, die auch bei Sonnensimulatoren zur Kontaktierung der Solarzellen verwendet werden. Außerdem konnte durch einen weiteren Umbau eine Temperaturregelung eingebaut werden. Dies ermöglicht Messungen bei einer konstanten Temperatur  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  (entspricht der Vorgabe bei der Messung unter Standardtestbedingungen) durchzuführen. Eine weitere wichtige Erweiterung war die Entwicklung einer Kontaktiereinheit zur Messung busbarloser Solarzellen. In Anlehnung an eine bekannte Technologie zur Modulherstellung wurde eine Halterung entwickelt, mit der es nun möglich ist, busbarlose Solarzellen zu charakterisieren.

### Optische Analyseverfahren

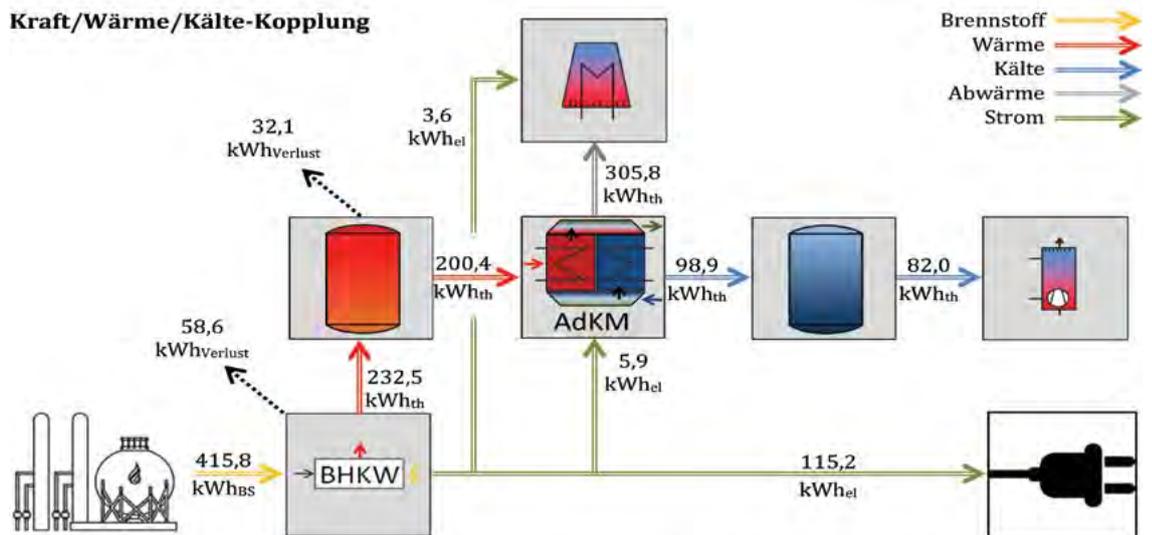
(Prof. Dr. rer. nat. Daniel Kray,  
Dr. Dirk Reinwand, *HS Offenburg*)

Im Teilprojekt „Optische Analyseverfahren“ wurde die Erweiterung eines Messaufbaus (Multi-Tool) zur umfassenden Charakterisierung kristalliner Silizium-Solarzellen und Solarmodulen bei gleichzeitig niedrigen Investitionskosten (im Vergleich zu handelsüblichen Messgeräten im Solarzellenbereich) realisiert. Mit diesem Multi-Tool können z. B. Stromspannungskennlinien (Hell- und Dunkelkennlinie) und Foto- / Elektrolumineszenzbilder zur Charakterisierung aufgenommen werden.

### Betriebsoptimierung von thermisch angetriebenen Kältemaschinen

(Prof. Dr. Jens Pfafferott, *HS Offenburg*;  
Dr. Ferdinand Schmidt, *KIT Karlsruhe*)

#### Kraft/Wärme/Kälte-Kopplung



#### Kompressionskältemaschine

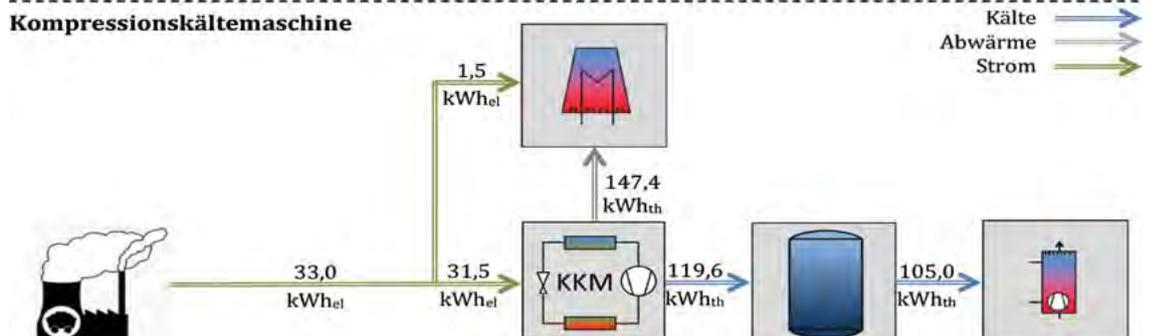


Abb. 3: Energieflussbild für die Kälteerzeugung mit einer Adsorptions- und einer Kompressionskältemaschine an jeweils einem ausgewählten Tag mit vergleichbaren Umgebungsbedingungen im August 2018

Thermisch angetriebene (Adsorptions-)Kältemaschinen können mit einem verhältnismäßig geringen elektrischen Energieaufwand bzw. mit einer hohen elektrischen Leistungszahl Kälte bereitstellen [Pf1]. Wird die zum Antrieb erforderliche Wärme aus industrieller Abwärme bereitgestellt, ist diese Kältebereitstellung energetisch effizienter als die Kältebereitstellung über eine Kompressionskältemaschine. Wird die Wärme jedoch in Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt, ist die primärenergetische Bewertung sowohl von mehreren Teilwirkungsgraden als auch den Primärenergiefaktoren für den eingesetzten Brennstoff und die erzeugte bzw. bezogene elektrische Energie abhängig. Eine umfangreiche Messkampagne im Sommer 2018 liefert unter realitätsnahen Randbedingungen in einer Laborumgebung detaillierte Energiekennzahlen für einen typischen Tagesgang des Kältebedarfs. Damit gelingt es, Teilenergiekennwerte für die Planungspraxis abzuleiten und das Gesamtsystem energetisch mit einer konventionellen Kompressionskältemaschine zu vergleichen (Abbildung 3).

Das Gesamtsystem mit einer Kompressionskältemaschine lieferte in dieser Messkampagne eine Arbeitszahl EER (Energy Efficiency Ratio) von  $EER_{KKM} = 3,6 \text{ kWh}_{th,Kälte}/\text{kW}_{hel}$ . Erwartungsgemäß liegt die elektrische Arbeitszahl der Adsorptionskältemaschine bei nahezu identischen Betriebsbedingungen im Gesamtsystem mit  $EER_{AdKM,el} = 10,4 \text{ kWh}_{th,Kälte}/\text{kW}_{hel}$  deutlich höher, wobei auch die zum Antrieb nötige (Ab-)Wärme mit einer thermischen Arbeitszahl von  $EER_{AdKM,th} = 0,49 \text{ kWh}_{th,Kälte}/\text{kWh}_{th,Wärme}$  berücksichtigt werden muss.

Damit stehen praktisch anwendbare Teilenergiekennwerte zur Verfügung, um die Energieeffizienz der thermisch angetriebenen Kälteerzeugung in der Anlagenplanung zu bewerten. Wird die Adsorptionskältemaschine mit einem Blockheizkraftwerk in Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung betrieben, kann sie dann besonders effizient eingesetzt werden, wenn das Blockheizkraftwerk netzdienlich betrieben wird.

In einem Folgeprojekt wird dafür eine modell-prädiktive Regelung entwickelt, um die Betriebsführung eines dezentralen Energieverbundsystems in Abstimmung mit der aktuellen Leistungsbilanz im Stromnetz und dem tatsächlichen Strom-, Wärme- und Kältebedarf zu optimieren.

## Effiziente Simulation von Solarzellen

(Prof. Dr. Werner Schröder, Prof. Dr. Andreas Christ, *HS Offenburg*; Prof. Dr. Stefan Glunz, Prof. Dr. Peter Thiemann, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*)

Umfangreiche Simulationsrechnungen erfordern i. a. hohe Rechenleistungen. Eine Optimierung benötigt viele Durchläufe, so dass eine hohe Rechenleistung häufig unabdingbar ist. Seit einigen Jahren wird zunehmend die Rechenleistung von Graphikprozessoren (GPUs) genutzt. Diese waren ursprünglich nicht für algorithmische Rechenzwecke gedacht und sind daher dafür umständlich zu programmieren. Insbesondere durch Weiterentwicklungen der Firma Nvidia in Hardware und einem Präprozessor (CUDA) für C/C++-Programme ist die Nutzung dieser Prozessoren einfacher und leistungsfähiger geworden. Das Besondere an diesen Prozessoren ist, dass man mit ihnen massiv parallel rechnen kann. In unserem Fall verwenden wir ein Tesla-K40-board mit 3000 Prozessoren, die auf überlappende Speicherbereiche zugreifen können. Parallele algorithmische Strukturen sind neu und erfordern an die Algorithmen eine völlig neue Herangehensweise. Eine Umsetzung solcher paralleler Algorithmen in die gegebene Hardware ist eine weitere Schwierigkeit, die bei der klassischen seriellen Programmlogik nicht auftritt. Dafür ist die Erarbeitung eines großen Erfahrungsschatzes erforderlich, wobei es im Prinzip zunächst einmal egal ist, an welcher Problemstellung die Denk- und Arbeitsweise erarbeitet wird und Erfahrungen gesammelt werden. „Parallel gleich schnell“ ist zudem nicht immer der Fall; auch hier muss man ein „Gefühl“ entwickeln.

Wegen der Radaraktivitäten am Institut für Unbemannte Flugsysteme (IUAS) lag es nahe, die dort bestehenden Algorithmen für die Rekonstruktion von dreidimensionalen Objekten in parallel arbeitende Programmstrukturen umzusetzen. Hierfür wurden zwei Ansätze verfolgt: a) eine auf der Basis einer Version von Matlab, die für parallele Datenverarbeitung auf Nvidia-boards optimiert ist und b) die direkte Umsetzung der Algorithmen in C/C++.

Die Programmierarbeiten sind zu einem guten Teil abgeschlossen; wobei die Programme noch zu optimieren sind und insbesondere Kalibrierungswerte an die Radarhardware anzupassen sind. Erst dann kann man den klassischen Weg und die beiden Parallelrechnerversionen bzgl. der Rechengeschwindigkeit miteinander vergleichen.

## Datenkonsistenz in dynamischen Netzwerken mit hybriden P2P-Architekturen für nachhaltige Smarte Systeme

(Prof. Dr. Andreas Christ, HS Offenburg;  
Prof. Dr. Christian Schindelbauer,  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Smarte Systeme, z. B. Smart Grids, sind ein wesentlicher Baustein zur Verbesserung der Nachhaltigkeit. Diese Systeme werden in Netzwerken von Tausenden bis zu Millionen Endknoten mit einander vernetzt. Dies kann mit skalierbaren ausfallsicheren Kommunikationslösungen erreicht werden, die die weitgehend autonom agierenden Endgeräte vernetzen. Um zum Beispiel die Energieversorgung sicherzustellen und die Einsparungspotentiale voll auszunutzen, ist es notwendig, schnell und gezielt Informationen der Knoten zu verarbeiten, die zudem noch über separate, heterogene Kommunikationsverbindungen angebunden sind. Dadurch entsteht eine hohe zeitliche Dynamik der Teilnahme einzelner Knoten und Kommunikationsverbindungen im Gesamtsystem.

Schwerpunkt der Arbeiten war die Aggregation von Datenströmen bei wachsender Anzahl von Knoten. Eine dezentrale Datenaggregation spielt eine wichtige Rolle beim Schätzen des Netzwerkstatus oder zur Bestimmung systemweiter Größen. Aggregationsgrößen sind z. B. die Ermittlung von Maxima und Minima, die Summenbildung oder die Mittelwertbildung. Viele der verfügbaren Ansätze in Peer-to-peer-Netzwerken haben aber eine unzureichende Ausfalltoleranz der Netzkomponenten. Schwerpunkt des Forschungsprojekts war, diese zu erhöhen. Hierzu generiert das Peer-to-peer-Netzwerk eigenständig ein robustes, selbstorganisierendes Overlay-Netzwerk mit Baumstruktur, das die Ausfallwahrscheinlichkeit einzelner Knoten berücksichtigt. Grundlage sind die dynamisch ermittelten Eigenschaften der Knoten, insbesondere deren Zuverlässigkeit im Netzwerk. Das Overlay-Netzwerk unterscheidet zwischen Hub- und Spoke-Nodes, die weiter in „Dating Hub“, „Intermediate Hub“ und „Party Hub“ bzw. „Unattached Spoke“ und „Attached Spoke“ unterteilt werden [Ch1]. Der heuristische Ansatz wurde inspiriert von biologischen und soziologischen Selbstorganisationsmechanismen. Das entworfene Protokoll erfüllt insbesondere die Aufgabe nach Zustandsstörungen, wie dem Ausfall von Knoten oder Verbindungen, die Overlay-Netzwerkstruktur wiederherzustellen, ohne den zusätzlichen Nachrichtenverkehr im Peer-to-peer-Netzwerk zu stark zu erhöhen.

### AUTOREN



Prof. Dr. rer. nat.  
Jasmin Aghassi-Hagmann  
Fakultät EMI  
jasmin.aghassi-hagmann@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ,  
Prorektor  
Fakultät M+I, Wiss. Leiter Labor Mobile  
Kommunikation und Wellen, Lehrgebiete:  
Mikrowellentechnik, Mobilkommunikation  
christ@hs-offenburg.de



Prof. Dr. rer. nat. Daniel Kray  
Fakultät M+V  
Professor für Photovoltaik und Pflanzenkohle,  
INES, Forschungsgr. Photovoltaik-Technik  
daniel.kray@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferoth  
Fakultät M+V, INES, Forschungsgr. Energieeffiziente Gebäudetechnik, Lehrgebiete: techn. Gebäudeausrüstung, Thermodynamik, Mess- und Regelungstechnik  
jens.pfafferoth@hs-offenburg.de



Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder  
Fakultät EMI  
Wiss. Leiter IUAS  
w.schroeder@hs-offenburg.de

### Referenzen/References:

- [Ag1] Bhattacharyya, M.; Gruenwald, W.; Jansen, D.; Reindl, L.; Aghassi-Hagmann, J.: „Design of a Programmable Passive SoC for Biomedical Applications Using RFID ISO 15693/NFC5 Interface. J. Low Power Electron. Appl. 2018, 8, 3.“
- [Pf1] Pfafferoth, J.; Reißmann, S.: „Messtechnische Evaluation von thermisch und elektrisch angetriebener Kälteerzeugung“. GI - Gebäudetechnik in Wissenschaft & Praxis 04|19 (140. Jg.), ISSN 2195-643X
- [Ch1] Marepalli, S. M.; Christ, A.: „Computing Aggregates on Autonomous, Self-organizing Multi-Agent Systems: Application ‘Smart Grid’“. In: Javier Bajo et. al. (Eds.): Highlights of Practical Applications of Cyber-Physical Multi-Agent Systems, pp 271-283. Communications in Computer and Information Science, vol 722. Springer International Publishing, 2017. ISSN: 1865-0929

## READY FOR TAKE-OFF?

Seit mehr als 50 Jahren entwickelt und produziert HYDRO mit mehr als 750 Mitarbeitern weltweit innovative Lösungen für den Bau, die Wartung und die Reparatur von Zivil- und Militärflugzeugen. Die Erfahrung und das Wissen unserer Mitarbeiter haben uns zum Marktführer gemacht.

Zu unseren über 800 Kunden zählen alle international bedeutenden Flugzeughersteller, Airlines, Flughäfen und Flugzeugwartungsbetriebe.

Neben dem Hauptsitz in Biberach hat HYDRO Standorte in China, Dubai, Frankreich, Singapur, UK und den USA.

### WAS WIR DIR BIETEN

Vertrauen, Wertschätzung, Respekt und Verlässlichkeit sind Werte, die bei uns täglich gelebt werden. Als Unternehmen in Privatbesitz bieten wir Dir einen Arbeitsplatz mit Perspektive.

### Was bei uns zum Standard gehört?

#afterworkevents #flexiblearbeitszeiten

#sportgruppen #modernearbeitsplätze

#betrieblichesgesundheitsmanagement

#englischunterricht #interneschulungen

[www.hydro.aero](http://www.hydro.aero)

**WERDE TEIL  
UNSERER CREW!**

Social Media? Check!



# MASCHINENBAU UND VERFAHRENSTECHNIK

Die Professorinnen und Professoren der Fakultät M+V waren 2019 an 59 Forschungsprojekten beteiligt. Allein im Forschungsbereich „Nachhaltige Energiesysteme“ wird von ihnen an 22 Projekten geforscht. Die Bandbreite dabei ist groß und reicht von „Landwirtschaft 5.0“ über „Automationsgestützte Energieverbrauchserfassung“ und „Entwicklung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ bis hin zur „Modellbasierten Gesundheitsdiagnostik von Lithium-Ionen-Batterien“. Auch in den Forschungsfeldern „Life Science Engineering“, „Innovative und nachhaltige Produkt- und Prozessentwicklung“ und „Sichere, autonome und KI-basierte Systeme“ wird seit Jahren an der Fakultät M+V geforscht. Des Weiteren besteht zum Forschungsbereich „Medien und Kommunikation“ eine zusätzliche Kooperation.

Einen besonderen M+V Forschungsschwerpunkt bilden „Digitale Zwillinge“. Sie werden entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der Industrie immer wichtiger: „Ein Digitaler

Zwilling ist ein virtuelles Duplikat eines realen Systems. Dazu integriert der Digitale Zwilling bislang oft nur fragmentiert verfügbare Daten und Simulationsmodelle.“ Näheres können Sie dem Bericht von Prof. Dr. Treffinger ab Seite 28 entnehmen.

Insgesamt erwirtschafteten die M+V-Projekte Einzahlungen in Höhe von rund zwei Millionen Euro der hochschulweiten Einnahmen an Forschungsgeldern in 2019. Neben der Professorenschaft sowie den Promovierenden wirken auch Studierende der Master-Studiengänge an den Forschungsprojekten mit. So verknüpfen sich Lehre und Forschung erstklassig miteinander.

„Forschung, Wissens- und Technologietransfer sind für die Fakultät M+V bidirektional. Dies wollen wir weiterhin intern und extern aktiv begleiten und vorantreiben.“

*Dekan Prof. Dipl.-Ing. Dietmar Kohler*



Über 80 Interessierte aus Wirtschaft und Wissenschaft nahmen am Symposium „Digitaler Zwilling in Anwendung, Forschung und Lehre“ am 18. November 2019 an der Hochschule Offenburg teil (Im Bild: Rektor Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Winfried Lieber bei der Eröffnungsrede)

# BioMeth

## Biologische Methanisierung mit Membranbegasung in einer Molke-Pilotbiogasanlage [Projektphase A]

Dr.-Ing. Oliver Jochum, Prof. Dr. rer. nat. Christiane Zell, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg

Die mikrobielle Umwandlung von Wasserstoff und Kohlendioxid zu Methan, bekannt als biologische Methanisierung, kann als zentraler Baustein von Power-to-Gas-Verfahren gesehen werden. Aus verfahrenstechnischer Sicht ist hierbei das Löslichkeitsverhalten des Wasserstoffs in wässrigen Lösungen eine der größten Herausforderungen. Im beschriebenen Projekt sollen die verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen für den Gaseintrag mit Membransystemen experimentell bestimmt werden. Darauf aufbauend soll eine Demonstrationsanlage mit biologischer Methanisierung an einer bestehenden Biogasanlage realisiert werden.

*The microbial synthesis of hydrogen and carbon dioxide into methane, known as biological methanation, can be seen as the central component of power-to-gas processes. From a process-engineering point of view, the solubility of hydrogen in aqueous solutions is one of the greatest challenges. In this project, the process engineering framework for gas input using membrane systems is to be determined experimentally. Based on those findings, a demonstration plant with biological methanation is going to be implemented on an already operating biogas plant.*

### Motivation

Vor dem Hintergrund des Ausbaus erneuerbarer Energien im Zug der Energiewende ist die Implementierung geeigneter Energiespeicherkonzepte für eine stabile, ganzheitliche Stromversorgung in Deutschland bzw. auf europäischer Ebene zukünftig unabdingbar. Das Energiespeicherkonzept Power-to-Gas basiert auf der Umwandlung von elektrischer Energie in chemisch gebundene Energie. Dabei wird durch Nutzung von elektrischem Strom Wasserstoff erzeugt, der in einem weiteren Prozessschritt mit Kohlendioxid zu Methan umgewandelt werden kann. Das erzeugte Methan kann anschließend als Energieträger in das Erdgasnetz eingespeist und diesem bei Bedarf zeit- und ortsunabhängig wieder entnommen werden. Der Prozessschritt der Methanherzeugung, auch als Methanisierung bekannt, basiert auf der Reaktion von Wasserstoff mit Kohlendioxid und kann nach der folgenden Gleichung beschrieben werden:  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ .

Die auch als Sabatier-Reaktion bekannte Gleichung kann durch metallbasierte Katalysatoren und durch Stoffwechselprozesse spezieller Mikroorganismen in technischen Reaktoren realisiert werden. Die biokatalytische Erzeugung von Methan wird als biologische Methanisierung bezeichnet und ist inhaltlicher Schwerpunkt des hier vorgestellten Projekts.

Da die hierfür verantwortlichen Mikroorganismen, sogenannte methanogene Archaeen, Wasserstoff und Kohlendioxid nur in physikalisch gelöster Form aufnehmen und verstoffwechseln können, läuft die Reaktion stets in einem wässrigen Milieu ab. Die technische Ausführung des Prozesses findet daher in flüssigkeitsgefüllten Bioreaktoren statt. Die geringe Löslichkeit des gasförmigen Wasserstoffs in wässrigen Medien gilt dabei als eine der größten technischen Herausforderungen des Verfahrens. Die Entwicklung eines Gaseintragungssystems, mit dem eine möglichst große Menge Wasserstoff vollständig gelöst in den Bioreaktor eingebracht werden kann, ist daher von entscheidender Bedeutung.

### Zielstellung

Im Vorgängerprojekt Arthymes konnte durch die Forschungsarbeit der Hochschule Offenburg gezeigt werden, dass sich der Wasserstoffeintrag mittels eines speziellen Membranbegasungssystems in einem selbst entwickelten Bioreaktorteststand realisieren lässt. Hierbei wurde ein kontinuierlicher Wasserstoffeintrag mit Membranbegasung in Biogasreaktoren mit Biomassezufuhr durchgeführt.



Aufbauend auf den vielversprechenden Ergebnissen dieser Versuchsreihen wurde das hier beschriebene Folgeprojekt BioMeth – Biologische Methanisierung mit Membranbegasung in einer Molke-Pilotbiogasanlage gestartet, um die gewonnenen Erkenntnisse zu erweitern und das Verfahren großtechnisch an einer bestehenden Industrie-Biogasanlage zu integrieren und unter realen Bedingungen zu testen.

Im Zug des Projekts wird daher das Membranbegasungssystem weiter optimiert und für eine Anwendung im industriellen Maßstab ausgelegt. Hierzu werden verschiedene Membrantypen sowie unterschiedliche Prozessarten untersucht. Das Verfahren wird anschließend an der Biogasanlage der Käserei Monte Ziego GmbH & Co. KG in Teningen installiert. Die Biogasanlage wird ausschließlich mit dem Abfallprodukt Molke der Käserei betrieben. Durch die Wasserstoffeinspeisung soll die Methankonzentration gesteigert, der CO<sub>2</sub>-Ausstoß reduziert und der Energiegehalt des Produktgases erhöht. Hierzu soll der Wasserstoffeintrag automatisch geregelt werden. Auf diese Weise ermöglicht der Einsatz der biologischen Methanisierung mit Membranbegasung in einer Molke-Pilotbiogasanlage eine ganzheitliche energetische Optimierung des Betriebs und liefert zudem wichtige technische als auch wirtschaftliche Erkenntnisse für die großtechnische Etablierung der biologischen Methanisierung in einem Power-to-Gas-Konzept.

## Ergebnisse der experimentellen Versuchsreihen

Die Projektphase A bestand vorrangig aus experimentellen Versuchsreihen zur Charakterisierung eines optimalen Begasungssystems zur Erzeugung einer blasenfreien Wasserstoffbegasung. Hierzu wurden verschiedene Membransysteme herangezogen, die hinsichtlich von betriebsrelevanten Parametern wie Material, Porengröße, Membranoberfläche und -durchmesser sowie dem Volumenstrom und dem Betriebsdruck untersucht wurden. Basierend auf dem in Abbildung 1 dargestellten Versuchsstand des Vorgängerprojekts, im Zuge dessen ein halbautomatischer Teststand zur biologischen Methanisierung in parallelen 2-Liter-Bioreaktoren entwickelt wurde, wurde eine erste Versuchsanordnung konzipiert, die es ermöglicht, eine in-situ Methanisierung mit einer Membran auf Silikonba-



Abb. 1:  
Halbautomatischer Teststand zur biologischen in-situ-Methanisierung in sechs parallelen 2-Liter Bioreaktoren

sis durchzuführen. Die in-situ-Methanisierung beschreibt die Einbringung von Wasserstoff in einen laufenden Biomasseabbauprozess direkt in den Bioreaktor, um das dort erzeugte Kohlendioxid zu Methan umzuwandeln. Auf diese Weise kann die Wasserstoffeinbringung in einen realen Biogasfermenter simuliert werden. Durch die Erweiterung des bestehenden Anlagensystems aus dem Vorprojekt mit einem Massendurchflussregler zur druck- sowie volumenstromgesteuerten Wasserstoffzufuhr konnte der Einfluss des Membraninnendrucks auf den Stofftransport des Wasserstoffs von der Gasphase in die Flüssigkeitsphase bestimmt werden. Weiterführende Versuchsreihen diesbezüglich sowie Versuche zur volumenstromgesteuerten Wasserstoffeinbringung werden derzeit durchgeführt.

Parallel zu diesen Versuchsreihen wurde ein weiterer Aufbauten mit selbstgefertigten Membranmodulen geplant und realisiert, um die Auswirkung unterschiedlicher Membranmaterialien und Porengrößen sowie unterschiedlicher Membraninnendrucke auf den Stoffübergang des Wasserstoffs von der Gasphase in die Flüssigkeitsphase zu bestimmen. Das dabei verwendete Anlagenkonzept basiert, im Gegenteil zu den vorherigen Versuchen, auf der ex-situ Methanisierung. Bei der ex-situ-Methanisierung findet der Wasserstoffeintrag nicht direkt im Bioreaktor statt, sondern in einem separaten Reaktor ohne Biomassezufuhr, wodurch erhebliche prozessrelevante Vorteile hinsichtlich der Auslegung sowie der zu erzielenden Umsatzraten zu erwarten sind. Hierfür wurden drei unterschiedliche Membrantypen herangezogen.



Abb. 2:  
Verwendete Membrantypen im selbstgefertigten Trägersystem (li) und Blasenbildung an der Membranoberfläche (re)

Für einen Vergleich der unterschiedlichen Membranen wurde ein Reaktorsystem entwickelt, das einen einfachen Wechsel des zu testenden Membrantyps ermöglicht. Bei den Experimenten mit den dafür selbst entwickelten Membranträgersystemen erwiesen sich die verwendeten Membran-Anschlüsse in Hinblick auf die Dichtigkeit als problematisch. Als weiterer Schritt wurde ein zusätzliches Anlagenkonzept, basierend auf dem ex-situ-Verfahren, entwickelt. Ein erster selbstgefertigter Prototyp ist in Abbildung 3 dargestellt. Trotz einer speziellen Stützstruktur konnte in Druckversuchen beobachtet werden, dass die verwendete Membran aufgrund des Membranmaterials zu starker Instabilität neigt. Aufgrund dieser Erfahrungen, die mit den selbst entwickelten Reaktorkonzepten und den dazugehörigen Membran-Trägersystemen gemacht wurden, entschied man, ein Reaktorkonzept zu entwickeln, das auf industriell gefertigten Membranmodulen basiert. Auch der gesamte Membranreaktor sollte aufgrund der Erfahrungen vollständig industriell gefertigt sein. Ein solches Prototyp-Membranreaktormodul stellte der Projektpartner Wehrle Umwelt GmbH bereit.

Für die Experimente mit den industriell gefertigten Membranreaktormodulen wurde ein komplett neuer Teststand errichtet. In der Versuchsanordnung können Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid über separate Membranen eingebracht werden. Eine Vielzahl von Vorversuchen zur Charakterisierung des neuen Sys-

tems wurden bereits durchgeführt, um die Versuchsreihen mit Gaszufuhr in eine mikrobiell aktive Flüssigkeitsphase darzustellen. Da es sich hierbei um ein bislang nicht beschriebenes Anlagenkonzept handelt und die Ergebnisse der ersten Versuchsreihen sehr vielversprechend ausgefallen sind (blasenfreie Begasung mit hohem Stofftransport; Wasserstoffumsatz: >99 %), kann vor dem Hintergrund einer eventuell angedachten Patentanmeldung an dieser Stelle auf Details des Konzepts und der erzielten Ergebnisse nicht eingegangen werden. Die Versuchsreihen werden in Projektphase B weitergeführt.



Abb. 3:  
Prototyp des neuentwickelten Membranmoduls

## Ausblick

In der Projektphase B werden Versuchsreihen im neuen Anlagenkonzept durchgeführt, um die Integration des Systems an der Biogasanlage der Monte Ziego GmbH vorzubereiten. Als Stellschrauben zur Optimierung des Prozesses können folgende Parameter variiert werden:

- Eingetragener Kohlendioxidvolumenstrom bzw. Kohlendioxid-Partialdruck innerhalb des Membranreaktors
- Eingetragener Wasserstoffvolumenstrom bzw. Wasserstoff-Partialdruck innerhalb des Membranreaktors

- Zirkulationsgeschwindigkeit der Flüssigkeitsphase innerhalb des Systems
- Variation der Porengröße der Membranmodule

Der Versuchsstand soll mit weitreichender Messtechnik ausgestattet werden, um eine möglichst vollständige, belastungsfähige Beurteilung der Ergebnisse zu gewährleisten. Neben den Membraninnendruck, den Gasvolumenströmen und dem Flüssigkeitsvolumenstrom wird das Volumen des Produktgases sowie dessen Zusammensetzung messtechnisch erfasst. Zudem wird die Stabilität der Mikroorganismen innerhalb der Flüssigkeitsphase durch eine online pH- und Temperaturmessung ergänzt. Darüber hinaus geben Proben der Flüssigkeitsphase in regelmäßigen Abständen Erkenntnis über die quantitative Entwicklung der Mikroorganismen im zeitlichen Verlauf der Versuche. Im weiteren Verlauf soll der Eintrag der Gase über den pH-Wert der Flüssigkeitsphase geregelt werden. Anschließend ist vorgesehen, dass der Versuchsstand an der Biogasanlage der Monte Ziego GmbH installiert und das Verfahren mit realem Biogas getestet wird. Hierbei soll ein möglichst großer Anteil des Biogases dem separaten ex-situ-Methanisierungsreaktor zugeführt und auf eine Methankonzentration von 95 Vol.-% gesteigert werden. Die Demonstrationsanlage soll die Machbarkeit einer biologischen Methanisierung auf Basis eines Membraneintragssystems in Kombination mit einer Biogasanlage darstellen.

Der Demonstrationsreaktor soll so konzipiert werden, dass eine modulare Erweiterung um zusätzliche Membranmodule möglich ist. Wie Abbildung 4 zeigt, kann auf diese Weise die Leistungsfähigkeit variiert werden, was eine Anpassung des entnommenen Biogasvolumenstroms für die biologische Methanisierung ermöglicht. Der mobile Aufbau soll zudem ermöglichen, auch über das Projekt hinaus, das Verfahren an weiteren Biogasanlagen, Kläranlagen oder sonstigen Anlagen, die als Kohlendioxidquelle in Frage kommen, zu testen.

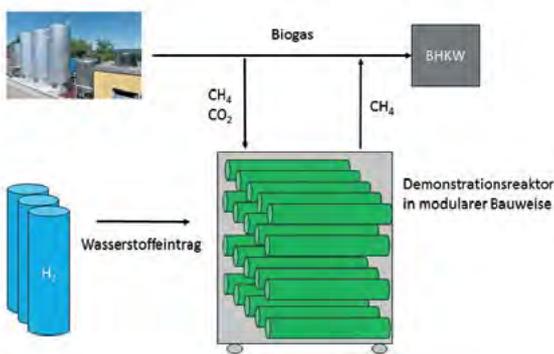


Abb. 5: Dr. Markus Bieri (Ecobel Biotechnik und Umweltsysteme GmbH), Katharina Haas und Prof. Dr. Christiane Zell (Hochschule Offenburg), Martin Schaub (Wehrle Umwelt GmbH) und Martin Buhl (Monte Ziego GmbH & Co. KG) vor den Biogasfermentern der Biogasanlage der Käserei Monte Ziego GmbH & Co. KG (v.l.n.r.)

## Projekt-Team

Unterstützung erhält die Hochschule Offenburg durch die Projektpartner Wehrle Umwelt GmbH aus Emmendingen, mit weitreichender Expertise im Bereich der Membrannutzung zur Abwasserbehandlung, Ecobel Biotechnik und Umweltsysteme GmbH aus dem schweizerischen Rüslikon, die die bestehende Biogasanlage bei der Käserei wissenschaftlich und technisch betreut, sowie die Käserei Monte Ziego GmbH & Co. KG in Teningen selbst. Gefördert wird das Projekt durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU).

### AUTOREN



Dr.-Ing. Oliver Jochum  
Fakultät M+V  
Bioverfahrenstechnik  
oliver.jochum@hs-offenburg.de



Prof. Dr. rer. nat. Christiane Zell  
Fakultät M+V  
Biotechnologie, Bioverfahrenstechnik,  
Gentechnik, Bioinformatik  
christiane.zell@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg  
Fakultät M+V  
Mess- und Regelungstechnik  
ulrich.hochberg@hs-offenburg.de

Abb. 4: Konzept einer ex-situ-Methanisierung mit modular gestaltetem Demonstrationsreaktor am Standort der Biogasanlage der Monte Ziego GmbH in Teningen

# LaDiVo

## Laserunterstützter Digitaldruck keramischer Farben auf vorgespanntem Glas

Prof. Dr.-Ing. Günther Waibel, Ulrich Müller B.Eng.

Entwicklung eines Druckverfahrens zur schädigungsfreien Weiterverarbeitung von vorgespannten Gläsern zur Herstellung funktionaler Schichten für optische und sensorische Anwendungen im Automobilbereich.

*Development of a printing process for the free of damage further processing of tempered glasses for the production of functional layers for optical and sensory applications in the automotive sector.*



**THIEME**



Abb. 1: Sensortechnik erleichtert unseren Alltag

### Ausgangssituation, Marktbedarf

Siebdruck und Digitaldruck keramischer Farben auf Glas gewinnt eine zunehmende Bedeutung insbesondere im Bereich von Automobilgläsern. Der Vorteil der Verwendung keramischer Farben ist, dass diese Farben in einem thermischen Prozess mit dem Glas verschmolzen und dadurch dauerhaft mit dem Glas verbunden werden. Kratzfestigkeit, Chemikalienbeständigkeit und Wetterfestigkeit sind neben der UV-Beständigkeit entscheidende Vorteile, die eine Veränderung über Zeit ausschließen. Dies ist im Gegensatz zu organischen Farben, die häufig bei Anwendungen mit eingeschränkten Anforderungen an die Dauerbeständigkeit eingesetzt werden, ein entscheidender Vorteil für dieses anspruchsvolle Einsatzgebiet. Bei Automobilgläsern wird insbesondere schwarze Farbe an den Rändern eingesetzt. Durch die Schwarzrandbedruckung werden drei wesentliche Funktionen erfüllt:

- Schutz der Klebeverbindung zwischen Glas und Karosserie vor UV-Licht,
- Unterbau-Konstruktion wird „versteckt“,
- hohe Designfreiheit des hochwertig erscheinenden Glases.

Neben einfachem Floatglas spielt im Bereich der Automobilindustrie das Sicherheitsglas eine besondere Rolle. Heutige Windschutzscheiben werden meist hochautomatisiert als Verbundglas-Sicherheits-scheibe (VSG) hergestellt. Dabei kommen insbesondere thermisch vorgespanntes Einscheibensicherheitsglas (ESG, DIN 12150) und teilvorgespanntes Glas (TVG, DIN EN 1863) zum Einsatz. ESG wird beim Herstellungsprozess erhitzt und anschließend schnell abgekühlt. Dies bewirkt eine relativ hohe Widerstandsfähigkeit gegen Schlag, Verwitterung und Temperaturschwankungen.



Abb. 2: Anwendungsbeispiele von bedrucktem Sicherheitsglas: smart glass der Zukunft (li), Sensorik und Infosysteme im Automotive Bereich (re)

Im Zerstörungsfall entsteht die typische Bruchstruktur mit vielen kleinen Bruchstücken. Aus zwei ESG-Scheiben wird dann im Verbundaufbau mit einer PVB-Zwischenfolie (Polyvinylbutyral) ein Sicherheitsglas, das im Fall eines Unfalls dafür sorgt, dass die feinen Glasbruchstücke durch die Folie zusammengehalten werden [1].

Im Automobilbau ist der Einsatz von Sicherheitsglas seit langem gesetzlich vorgeschrieben. Die rechtliche Grundlage für den Einbau von Fahrzeugscheiben ist in der ECE-Regelung Nr. 43 fixiert [2]. Des Weiteren sind im Zusammenhang mit Industrie 4.0 beispielsweise eindeutige Merkmale zur Rückführbarkeit der Glasprodukte erforderlich. Jedes Glas soll mit einem eigenen Code versehen werden. Um diese Anforderung zu erfüllen, können variable Daten im Digitaldruck aufgebracht werden. Bei der zukünftigen Entwicklung von „Smart glass“ oder „intelligentem Glas“ sollen Sensoren hinter der Glasscheibe angebracht oder gar Funktionalitäten in das Glas selbst integriert werden, wie z. B. optische Features, Kamera, Display, Sensorik (Temperatur, Luftfeuchtigkeit). Hierfür werden völlig neue Qualitätsanforderungen an das bedruckte Glas gestellt. Innovative Drucktechniken mit widerstandsfähigen Farboberflächen und Laserprozesse werden vermehrt nachgefragt. Diese Merkmale sollen häufig zusätzlich bzw. nachträglich auf bestehende Produkte aufgetragen werden, bei denen Kamera- und Sensortechnik eingeführt wird. Die sehr hohe Innovationsrate der Automobilhersteller bei dem Einsatz neuartiger

Sensor- und Kamerasysteme, die letztlich das autonome Fahren ermöglichen sollen, erfordert permanente Weiterentwicklung des Glasdrucks und damit verbunden schnell einzuführende Änderungen. Hierbei können die Vorteile von Digitaldruck voll ausgespielt werden.

Die Hauptproblematik bei heutigem Stand der Technik liegt darin, dass bei thermisch vorgespannten Sicherheitsgläsern (ESG, TVG) eine nachträgliche Bearbeitung nicht mehr möglich ist. Dies bedeutet, vorgespanntes Glas kann nach dem ersten Druckprozess bei der Herstellung nicht weiter mit keramischer Farbe bedruckt werden. Die erforderliche Aushärtetemperatur würde das bereits vorgespannte Glas zerstören. Zur Lösung dieser Problematik bietet die Zusammenarbeit der drei Partner (Laserlabor Göttingen, HS Offenburg und THIE-ME GmbH & Co. KG) mit den Kompetenzfeldern Laser, Material & Forschung und mittelständischer Maschinenbau große Perspektiven [3, 4, 5, 6, 7].



Abb. 3: Anwendungsbeispiele von Sicherheitsglas ESG und VSG, Bruchbild ESG-Sicherheitsglas (li), VSG-Sicherheitsglas nach Bruch (re) (Quelle: wikipedia)

## Technologische Trends: Produkte, Verfahren, Dienstleistungen

Projektziel ist die Entwicklung eines Prototyps einer Druckmaschine für Automobilgläser, die den kompletten Prozess zur schädigungsfreien Bedruckung samt Laseraushärtung und Weiterverarbeitung von vorgespannten Gläsern zur Herstellung funktionaler Schichten für optische und sensorische Anwendungen im Automobilbereich ermöglicht. Ziel ist es, zunächst ein geeignetes Verfahren zu entwickeln, um Sicherheitsgläser und andere qualitativ hochwertige Gläser mehrfach mit Keramikfarbe bedrucken zu können, ohne dabei die definierten Glaseigenschaften durch den erforderlichen Härteprozess zu beeinträchtigen. Folgend soll ein Prototyp einer Maschine entwickelt werden, die die hierfür erforderlichen Technologiekomponenten idealerweise integriert und im industriellen Umfeld in einer 24/7-Produktion eingesetzt werden kann. Es werden alle erforderlichen Grundlagen entwickelt, um die Prozessfähigkeit anhand von Demonstratoren (bedruckte Gläser) nachweisen zu können. Kriterien für den Prozessfähigkeitsnachweis sind ausreichende Haftfestigkeiten zwischen den Oberflächen, ausreichende Festigkeiten und technische Eignung der Drucksubstanzen sowie Farbaushärtung ohne Eigenschaftsänderungen oder Schädigung des Trägermaterials. Besonders wichtig in diesem Zusammenhang ist der Erhalt der optischen Eigenschaften des Glases.

Schwerpunkte des Projekts gliedern sich in Untersuchungen zum Schädigungsverhalten von vorgespanntem Glas, in die Entwicklung eines geeigneten Digitaldruckverfahrens zur selektiven Bedruckung sowie in die Versuchsdurchführung mit unterschiedlichen Laserstrahlquellen als Basis für die Aushärtung der Drucksubstanzen. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse werden in ein Maschinendesign überführt.



Abb. 4:  
Ulrich Müller im Laserlabor der HSO (Projektkoordination)

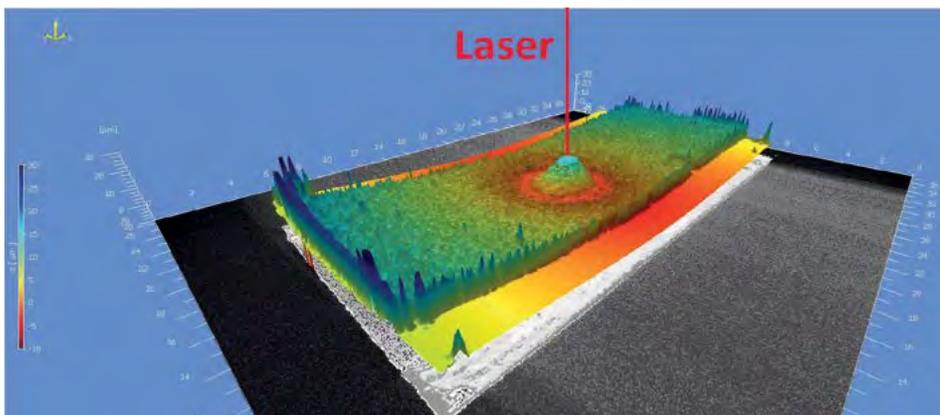


Abb. 5:  
Bestimmung der Oberflächentemperatur und der thermisch induzierten Spannungen durch Simulation der Lasereinstrahlung mit ABAQUS

## Projektverlauf und Ausblick

Das Projekt ist über eine Gesamtlaufzeit von drei Jahren in fünf Arbeitspakete gegliedert. Die fünf Phasen erstrecken sich von ersten Machbarkeitsuntersuchungen anhand von Labormustern über Tests mit verschiedenen Lasersystemen mit Parametervariation durch Simulation, z. B. mit ABAQUS bis hin zur Realisierung eines funktionsfähigen Prototypen eines Digitaldrucksystems, das in der Lage ist, erstmals keramische Farben auf vorgespanntes Sicherheitsglas zu drucken. Parallel zu den

Versuchsdurchführungen im Laserlabor wird mit ABAQUS eine Simulation zur Beschreibung der Temperaturverteilung und der daraus resultierenden Spannungen aufgestellt. Der einhergehende Technologietransfer der Forschungseinrichtungen auf die beteiligten Unternehmen erhöht die Innovationskraft von Spezialisten auf dem Gebiet der Digitaldrucktechnik, liefert neue Fertigungsprozesse für die Glasindustrie und insbesondere weitere Applikationsmöglichkeiten in der Automobilindustrie.



Abb. 6: Einsatzmöglichkeiten für den Digitaldruck, hier als Bürotrennwand (li), Empfangrückwand (Mitte) oder Balkonverkleidung (re) (Quelle: Thiele AG)

### Referenzen/References:

- [1] Saint-Gobain Sekurit: Automobilverglasung und Sicherheitsglas: [www.saint-gobain-sekurit.com/de/glossar/automobilverglasung](http://www.saint-gobain-sekurit.com/de/glossar/automobilverglasung) (Zugriff 16.06.2019)
  - [2] Amtsblatt der EU, 31.08.2010: ECE-Regelung Nr. 43 der Wirtschaftskommission der (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Sicherheitsverglasungswerkstoffe und ihres Einbaus in Fahrzeuge; 2010
  - [3] BF Bundesverband Flachglas: Verbundsicherheitsglas (VSG) für die Anwendung im Bauwesen, BF-Merkblatt 013, Troisdorf, 2013
  - [4] BF Bundesverband Flachglas: ESG-H – ein geregeltes und fremdüberwachtes Bauprodukt auf höchstem Sicherheitsniveau, BF-Merkblatt 010, Troisdorf, 2011
  - [5] SANCO Beratung Glas Trösch GmbH: Glasbruch durch thermische Spannungen; Anwendungstechnische Informationen, TEAM ABSATZFÖRDERUNG GMBH 11/2012, ([www.sanco.de](http://www.sanco.de))
  - [6] GlasHandbuch 2017, 38. Aufl., Flachglas MarkenKreis GmbH, 2017 ([www.GlasHandbuch.de](http://www.GlasHandbuch.de))
  - [7] Flachglas Markenkreis, Einscheiben-Sicherheitsgläser – Für konstruktive Gestaltungsvielfalt. 07/2008 ([www.flachglas-markenkreis.de](http://www.flachglas-markenkreis.de))
- ZIM Projekt LaDiVo => Förderkennzeichen: ZF4384208RU9

### AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Günther Waibel  
Fakultät M+V  
Projektleitung „LaDiVo“,  
Maschinenelemente und Produktentwicklung  
[guenther.waibel@hs-offenburg.de](mailto:guenther.waibel@hs-offenburg.de)



Ulrich Müller B. Eng.  
Akademischer Mitarbeiter  
Projektkoordination „LaDiVo“  
[ulrich.mueller@hs-offenburg.de](mailto:ulrich.mueller@hs-offenburg.de)

# Digitale Zwillinge

## Wichtige Bausteine in Lehre und Forschung im Ingenieurwesen

Prof. Dr.-Ing. Peter Treffinger, Dipl.-Ing. (FH) Jens Glembin

Durch stetige Fortschritte in der Rechenleistung von Computern und in der Speicherung großer Datenmengen sowie in der Sensortechnik wurde es möglich, komplette virtuelle Abbilder von (technischen) Systemen und Prozessen zu schaffen – sogenannte Digitale Zwillinge –, die in Echtzeit mit dem korrespondierenden Physikalischen Zwilling verknüpft sind. Digitale Zwillinge können vielfältig genutzt werden, z. B. für die virtuelle Inbetriebnahme, die vorbeugende Wartung und die Verbesserung von Steuerung und Regelung im Betrieb. In der Regel ist der Kern des Digitalen Zwillings ein sogenanntes multidisziplinäres Simulationsmodell. Dies bedeutet, dass mehrere ingenieurwissenschaftliche Disziplinen kombiniert werden. Es wird erwartet, dass zukünftig ein steigender Anteil an Ingenieuren mit derartigen komplexen Modellen in der Praxis konfrontiert werden. Hier an der Hochschule wurde im Rahmen des Projekts EduFabLab ein Pilotprojekt durchgeführt mit dem Ziel, den Studierenden einen niederschweligen Einstieg in den Themenkomplex Digitaler Zwilling zu geben. Konkret wurde ein Digitaler Zwilling einer noch überschaubaren Versuchsanlage entwickelt und in Echtzeit mit dem realen Prüfstand verknüpft. Dieses Beispiel ermöglicht die umfassende Diskussion des Themas in der Lehre. Dazu wurde ein modulares Lehrkonzept skizziert. Im ersten Durchlauf des Lehrkonzepts wurde von den Studierenden besonders der ganzheitliche Ansatz der Beispielanwendung positiv hervorgehoben. Dies habe wesentlich zur Entwicklung eines umfassenden Verständnisses beigetragen. Da es den Studierenden möglich war, Digitale Zwillinge des Maschinenlabors der Fakultät M+V über eine Web-Anwendung zu bedienen, konnten auch im „Lock-Down“ der Corona-Krise Labore durchgeführt werden, die nahezu gleichwertig zu den Reallaboren waren.

*Through steady progress in the computing power of computers and in the storage of large volumes of data as well as in sensor technology, it has become possible to create complete virtual models of (technical) systems and processes - so-called Digital Twins - which are linked in real time with the corresponding physical twin. Digital Twins can be used in many ways, e. g. for virtual commissioning, preventive maintenance and the improvement of control and regulation during operation. Usually, the core of the Digital Twin is a so-called multidisciplinary simulation model. This means that several engineering disciplines are combined. It is expected that in the future an increasing number of engineers will be confronted with such complex models in practice. A pilot project was carried out at the University of Applied Sciences Offenburg within the EduFabLab project. The aim of this project is to give students a straightforward introduction to the subject of Digital Twins. Specifically, a Digital Twin of a relatively modest experimental test rig was developed and linked in real time with the physical test rig. This example enables a comprehensive discussion of the topic in teaching. A modular teaching concept was outlined. In the first run, the students particularly emphasized the holistic approach of the example application. This has contributed significantly to the development of a comprehensive understanding. As it was possible for the students to operate Digital Twins of the machine laboratory of the Faculty of M+V via a web application, it was even feasible to run laboratories in the lock-down of the corona crisis that were almost equivalent to real laboratories.*

## Einleitung

Aufgrund neu eingeführter und sich stetig wandelnden Methoden und Prozessen in den Ingenieurwissenschaften sind die Curricula der Studiengänge stets im Wandel. Die fortschreitende Digitalisierung in Unternehmen,

Forschungseinrichtungen und Behörden katalysieren die Anpassung der Curricula mit zunehmender Geschwindigkeit. In den Hochschulen stellt sich die Frage, wie die Studierenden an die komplexen Strukturen, die sich durch die Verzahnung von Prozessen und Methoden ergeben, herangeführt werden können.



Abb. 1:  
Studierende arbeiten  
im Rahmen eines La-  
bors am Strömungs-  
prüfstand der HSO

Eine Akkreditierungsagentur formuliert das Kompetenzziel von Ingenieurstudiengängen in allgemeiner Form: „Das Curriculum muss die Studierenden befähigen, die Prinzipien der Ingenieurwissenschaften, der Grundlagenwissenschaften und der Mathematik (einschließlich Analysis mehrerer Variablen und Differentialgleichungen) anzuwenden. Darauf aufbauend physikalische Systeme, Komponenten oder Prozesse zu modellieren, zu analysieren, zu entwerfen und zu realisieren. Letztlich sollen die Absolventen in die Lage versetzt werden, ihren Beruf entweder im Bereich der thermischen oder mechanischen Systeme auszuüben, wobei die oben genannten Fähigkeiten erforderlich sind.“ [ABET 2017]

Der obige Anspruch ist sehr umfassend, aber thematisiert noch nicht das Methoden- und Prozesswissen. Selbst in Bezug auf die Grundlagenwissenschaften sind sich die meisten Hochschullehrer wohl einig, dass im Rahmen eines Bachelorstudiums nicht alles gelehrt werden kann. Nun erlangen Computer Aided-Engineering-Methoden (CAE) eine immer größere Bedeutung in der beruflichen Praxis. Diese werden häufig explizit in Stellenangeboten und Anforderungsprofilen für Ingenieure genannt. Die Hochschulen haben darauf reagiert und dies in den Curricula abgebildet. Daher haben Bachelorabsolventen in der Regel Kenntnisse in 3D-Computer-Aided-Design (3D-CAD), mindestens Basiskenntnisse in Finite-Element-Analyse (FEA), und darüber hinaus gegebenenfalls punktuell vertiefte Kenntnisse in weiteren Bereichen, wie z. B. Numerischer Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics, CFD) und Maschinellem Lernen (Machine Learning, ML).

Oben wurden das komplexe Grundlagen- und Methodenwissen angesprochen. Hier kommt auch aufgrund der Digitalisierung als weitere Dimension das Prozesswissen hinzu. Dies, da die Tätigkeit des Ingenieurs durch we-

sentliche Restriktionen gekennzeichnet ist. So sind sämtliche Ressourcen, die zur Verfügung stehen, auch zeitliche Ressourcen, durch einen aufgabenspezifischen, ökonomischen Rahmen begrenzt. Die meisten Aufgaben werden heute kollaborativ gelöst. Das heißt, die Gesamtlösung wird arbeitsteilig unter Einbindung vieler unternehmensinterner und -externer Partner gelöst. Die Aufzählung der Randbedingungen ist nicht vollständig. Selbstverständlich gibt es noch weitere, wie z. B. rechtliche und ethische Rahmenbedingungen/Restriktionen. Die ökonomischen Rahmenbedingungen der Ingenieursarbeit und die kollaborative Arbeitsweise sind Treiber für den Einsatz von Prozessmodellen für die Ingenieurstätigkeit, die sowohl einen rationalen Ressourceneinsatz versprechen als auch eine kollaborative Arbeitsweise mit hoher Effizienz ermöglichen. Im Licht dieser Randbedingungen ist die Einbettung der Entwicklungsmethoden in die Prozesse von überragender Bedeutung für die Ingenieursarbeit.

Bereits oben ist die Bedeutung der Modellierung für die Ingenieursarbeit angeklungen. Es wird erwartet, dass diese zukünftig noch bedeutender wird. Dies auch, da die Fortschritte in der Digitalisierung ein umfassenderes Vorgehen ermöglichen. Dieser Ansatz wird Modell Based Systems Engineering (MBSE) genannt. Der International Council on Systems Engineering (INCOSE) gibt hierfür folgende Definition: „Mit dem MBSE wird das Ziel verfolgt, einen Paradigmenwechsel in der Produktentwicklung von heterogenen, dokumentenzentrierten Produktmodellen hin zu einem konsistenten und vernetzten Produktmodell zu gestalten. Dabei wird der Begriff der modellbasierten Produktentwicklung bzw. des modellbasierten Systems Engineering (engl. Model Based Systems Engineering) verwendet. Im MBSE sollen Ergebnisse unterschiedlicher Aktivitäten der Produktentwicklung in einem Modell unterstützt und abgebildet werden. Dazu zählen die Aktivitäten der Zielsystembildung, der Modellierung von Prinzip und Gestalt sowie der Validierung.“ Zitiert nach [Bursac 2016, S. 29].

Mit der modellbasierten Entwicklung ist ein weiterer Begriff verknüpft, der immer häufiger genannt wird – der Digitale Zwilling. Stark et al. definieren den Digitalen Zwilling wie folgt: „Ein Digitaler Zwilling ist die digitale Repräsentation eines materiellen oder immateriellen Gegenstands (Produkt, Maschine, Dienstleistung, ...), die mithilfe von Modellen, Informationen und Daten seine Eigenschaften, seinen Zustand und sein Verhalten umfasst.“ Zitiert nach [Stark 2017].

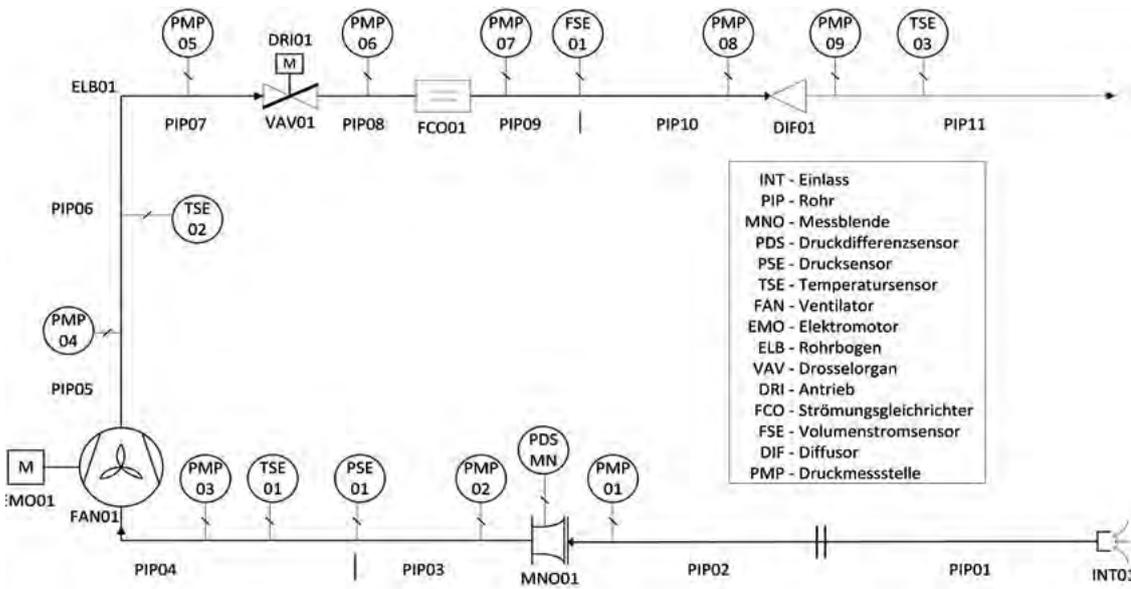


Abb. 2: Fließbild des Strömungsprüfstands im Maschinenlabor der HSO

## Digitale Zwillinge im Studium

Es stellt sich nun die Frage, wie Ingenieurstudierende im Rahmen der Curricula an Entwicklungsprozesse, wie MBSE, und komplexe Werkzeuge, wie Digitale Zwillinge, herangeführt werden können. Die wohl größte Reife haben Digitale Zwillinge im Flugzeugbau und im Straßenfahrzeugbau erreicht. Derartige Beispiele mit sehr hoher Komplexität würden Studierende überfordern. Daher entstand die Idee, Digitale Zwillinge von Versuchsanlagen mit überschaubarer Komplexität zu entwickeln. Vorzugsweise solche Versuchsanlagen, die die Studierenden im Rahmen von Vorlesungen kennenlernen können und an denen sie mehrmals unterschiedlichen Aufgabenstellungen nachgehen können. In den Grundlagenvorlesungen können dann bereits Impulse gegeben werden, die zu einem Verständnis des Gesamtthemas beitragen.

Mit dieser Vorbereitung kann dann in einer abschließenden Lehrveranstaltung der Vergleich des Digitalen Zwillings im Labor mit praktisch realisierten Digitalen Zwillingen gelingen.

Für das Pilotprojekt wurde ein Strömungsprüfstand im Maschinenlabor der HSO ausgewählt. Abbildung 2 zeigt ein Fließbild des Strömungsprüfstands. Es handelt sich um ein Rohrleitungssystem, das Luft aus einem Raum ansaugt und wieder an diesen abgibt.

Ein Radialventilator (FAN01) sorgt für die Umwälzung der Luft. Ein weiterer Aktuator ist eine Klappe (VAV01), mit der der Strömungswiderstand des Leitungssystems verändert werden kann. Im Rohrleitungssystem befinden sich weitere strömungsmechanische Grundelemente, wie zum Beispiel ein Diffu-

sor (DIF01). Es gibt eine Reihe von Druck- und Temperaturmessstellen. In der Grundlagenvorlesung Strömungslehre kann der Prüfstand vielfältig eingesetzt werden, so auch für die praktische Demonstration von Druckverlusten in Rohren, Krümmern und die Wirkung von Diffusoren. In weiterführenden Vorlesungen kann die Interaktion von Arbeitsmaschine und System demonstriert oder die Arbeitsweise von Strömungsmaschinen radialer Bauart diskutiert werden. Insgesamt handelt es sich um ein mechatronisches System mit mechanischen, elektrischen und strömungsmechanischen Komponenten in überschaubarer Komplexität. Es erfüllt insbesondere die Anforderungen, dass es für unterschiedliche Fragestellungen im Studienverlauf in Curricula eingeflochten werden kann.

## Realisierung eines Digitalen Zwillings im Lehlabor

Abbildung 3 zeigt schematisch, wie ein Digitaler Zwilling mit einem physikalischen Zwilling verknüpft wird. Im Pilotprojekt ist der physikalische Zwilling der oben angesprochene Strömungsprüfstand, der im rechten oberen Block durch eine Fotografie repräsentiert wird. Der physikalische Zwilling ist in die jeweilige Umgebung, hier in die Umgebung des Labors, eingebettet. Da sein Verhalten auch von Umgebungsvariablen bestimmt wird, müssen die relevanten Umgebungsvariablen messtechnisch erfasst werden. Dies sind hier Umgebungsdruck und -temperatur. Der physikalische Zwilling ist über Datenschnittstellen mit Messdatenerfassung und Steuerungsrechner verbunden. Die Messdaten des physikalischen Zwillings werden mit der Messdatenerfassung aufgenommen und in einem Datenspeicher gespeichert. Der Steuerungsrechner

Referenzen/References:  
 [ABET 2017] "Criteria for Accrediting Engineering Programs". Report E001, 10/20/2017. Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET, url: <https://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/02/E001-18-19-EAC-Criteria-11-29-17.pdf> (besucht am 29. 07. 2019)).  
 [Bursac 2016] Bursac, Ahmad-Rami 16) „Model Based Systems Engineering zur Unterstützung der Baukastenentwicklung im Kontext der frühen Phase der Produktgenerationsentwicklung.“ Dissertation, KIT.  
 [Gopisetty 2017] Gopisetty, Satya, Peter Treffinger und Leonhard Michael Reindl (2017), „Open-source energy planning tool with easy-to-parameterize components for the conception of polygeneration systems“. In: Energy 126, Supplement C, S. 756–765. doi: 10.1016/j.energy.2017.03.013.  
 [Janschek 2012] Janschek, Klaus (2012) "Mechatronic Systems Design: Methods, Models, Concepts". Berlin: Springer [Lucke 2014] Lucke, Dominik u. a. (2014). „Strukturstudie Industrie 4.0 für BW: Baden-Württemberg auf dem Weg zur Industrie 4.0“. Ministerium für Finanzen und Wirtschaft BW, [Modelica 2019] „Modelica Language“. url: <https://www.modelica.org/modelicalanguage> (29. 07. 19).  
 [Opitz 2016] Opitz, Florian und Peter Treffinger (2016). „Physics-Based Modeling of Electric Operation, Heat Transfer, and Scrap Melting in an AC Electric Arc Furnace“. In: Metallurgical and Materials Transactions B 47B, S. 1489–1503. doi: 10.1007/s11663-015-0573-x.  
 [Stark 2017] Stark, Rainer, Simon Kind u. Sebastian Neumeyer (17), „Innovations in Digital Modelling for Next Generation Manufacturing System Design“. In: CIRP Annals 66.1, S. 169–172. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.045.

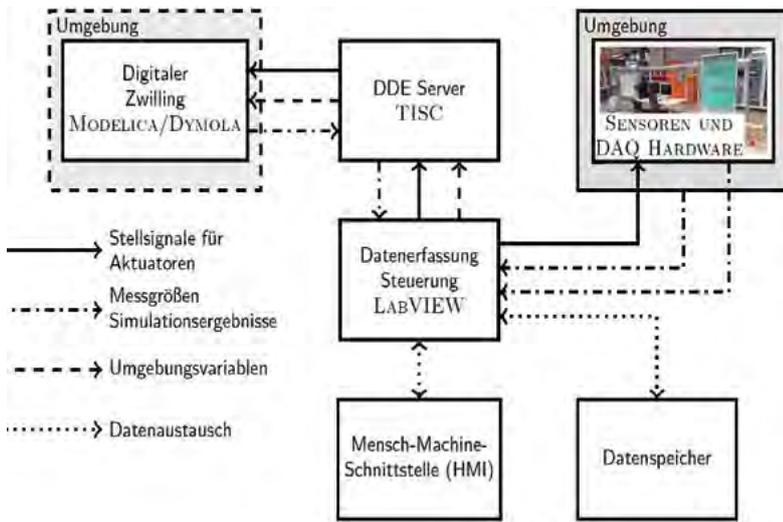


Abb. 3: Verknüpfung von Digitalem und Physikalischem Zwilling

gibt die Sollwerte für die Stellsignale an die Aktuatoren. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human-Machine-Interface, HMI) ist in der Regel eine grafische Benutzeroberfläche mit verschiedenen Möglichkeiten zur Anzeige der Messwerte und Vorgabe von Sollwerten.

Wie oben gesagt, kann das erforderliche mathematische Modell als mechatronisches Systemmodell mit Komponenten aus den Domänen Elektrotechnik, Mechanik und Strömungsmechanik charakterisiert werden. Als Modellierungssprache wurde die multidisziplinäre Sprache Modelica ausgewählt [Modelica 2019]. Der offene Sprachstandard wird auch von führenden Produktlebenszyklusmanagement- (Product Life Cycle Management, PLM)-Anbietern wie Siemens und Dassault genutzt.

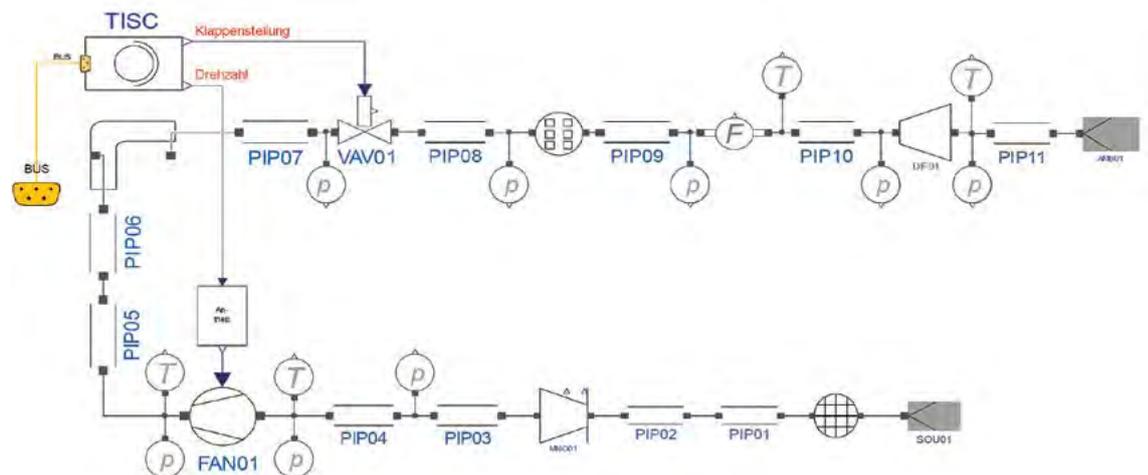
Modelica wurde bereits in mehreren Projekten an der Hochschule für die Modellierung komplexer multidisziplinärer Systeme erfolgreich eingesetzt [Gopisetty 2017, Opitz 2016]. Sie nutzt objektorientierte Paradigmen, bspw. Vererbung, und hat Vorteile in Bezug auf Skalierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Modularität. Eine vergleichende Darstellung von Modellierungssprachen für mechatronische Systeme

findet man beispielsweise in [Janschek 2012]. Die Modellierung von mechatronischen Systemen ist Gegenstand von Lehrveranstaltungen in Bachelor- und Masterstudiengängen.

Abbildung 4 zeigt das aus den Komponenten der Strömungsbibliothek zusammengesetzte Objektdiagramm des Strömungsprüfstands. Die einzelnen Objekte beinhalten das Symbol der jeweiligen Komponente, die Schnittstellen, die eine Verknüpfung mit anderen Komponenten erlauben, die mathematischen Gleichungen zur Beschreibung der Komponente und die Parameter für die spezifische Komponente. Es sind deutlich Parallelen zwischen dem Verfahrensbild und dem Objektdiagramm zu erkennen. Die Komponenten sind jeweils klar zuordnenbar. Im Objektdiagramm sind Schnittstellen zur Datenübertragung, zur Messdatenerfassung sowie von der Anlagensteuerung beinhaltet. Von der Anlagensteuerung müssen die Signale für die Aktuatoren parallel zum Digitalen Zwilling übertragen werden. Außerdem müssen die relevanten Umgebungsvariablen ebenfalls übertragen werden. Für den Vergleich zwischen physikalischem und Digitalem Zwilling müssen die Sensordaten des Digitalen Zwillings an den Steuerungsrechner bzw. die Mensch-Maschine-Schnittstelle übertragen werden. Die Bedeutung dieser Schnittstellen wird bei der Betrachtung der Teilaspekte deutlich, die nach [Lucke 2014] für Industrie 4.0-Anwendungen kennzeichnend sind:

- eine ganzheitliche Herangehensweise, ausgehend vom Produktlebenszyklus,
- eine echtzeitnahe Synchronisierung der physischen Welt mit den Modellen in der digitalen Welt und
- eine flexible und sichere Vernetzung der Informationen in unterschiedlichen Werkzeugen und Systemen [Lucke 2014].

Abb. 4: Objektdiagramm des Digitalen Zwillings für den Strömungsprüfstand



## Ergebnisse und Ausblick

Die Ergebnisse der Modellberechnung können mit realen Messergebnissen zur Bewertung der Modellqualität verglichen werden. Abbildung 5 zeigt berechnete und gemessene Druckerhöhungen des Ventilators bei Variation der Ventilator Drehzahl. Eine gute Übereinstimmung zeigt sich vor allem bei gleichbleibenden Bedingungen, während im dynamischen Verhalten noch Abweichungen festzustellen sind. Im Projekt konnte das grundlegende Prinzip und die Realisierbarkeit eines Digitalen Zwillinges erfolgreich demonstriert werden. Das Modell wird in Zukunft, vor allem auch auf Grundlage des Vergleichs zu realen Messdaten, weiter verbessert.

Zur Einbindung von Digitalen Zwillingen in Curricula wurde ein Studierendenprojekt durchgeführt. Zu dessen Beginn wurde die Ausgangsbasis der Studierenden erfragt. Das Ergebnis war, dass die beteiligten Studierenden, wenn überhaupt, nur rudimentäre Kenntnisse von Digitalen Zwillingen hatten. Gleichwohl verfügten die Studierenden über Wissen zu einzelnen Bausteinen, die für den digitalen Zwilling benötigt werden. Zu Ende des Projekts konnten die Studierenden im Rahmen eines selbst gestalteten Kolloquiums überzeugend ihre Arbeiten und auch das Gesamtkonzept darstellen. Sie beantworteten Fragen zum konkreten Beispiel, dem Digitalen Zwilling des Prüfstands, und konnten auch auf entsprechende Nachfragen den Bogen zu Anwendungen in der Industrie spannen. Mit dem Studierendenprojekt wurden damit zwei Kompetenzziele erreicht: Die Studierenden erwarben das Verständnis für den Aufbau des komplexen Systems Digitaler Zwilling und sind nun in der Lage, angepasst an spezifische Fragestellungen Architekturvorschläge für Digitale Zwillinge zu erstellen. Darüber hinaus erwarben sie in ihrem spezifischen Projektschwerpunkt die Fähigkeit, einzelne Bausteine für Digitale Zwillinge zu entwickeln. In der abschließenden Projektauswertung betonten die Studierenden, dass es besonders wertvoll für sie war, durch die Zusammenarbeit ein Grundverständnis für die spezifischen Probleme in mehreren Bausteinen des Digitalen Zwillinges zu erhalten. Dies habe auch wesentlich zur Entwicklung des Gesamtverständnisses beigetragen.

Der Königsweg zur Auseinandersetzung mit Digitalen Zwillingen in Ingenieurstudiengängen wären daher wohl Studierendenprojekte. Dies ist aber aufgrund der zeitlich be-

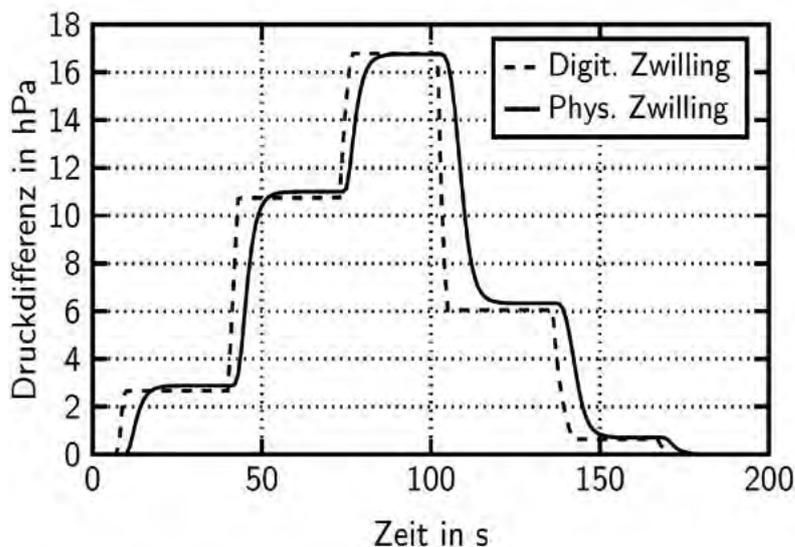


Abb. 5: Vergleich von Simulationsergebnissen und Messwerten

grenzten Ressourcen von Studierenden und Lehrenden nicht machbar. Aus der Diskussion des Projektteams wurde daher ein Vorschlag für eine Lehrveranstaltung als Kombination von Vorlesung, Seminar und Labor erarbeitet, die mit einem Zeitaufwand von etwa 2 SWS in das Curriculum in einem höheren Semester im Bachelorstudium eingebaut werden kann.

Während des „Lock-Downs“ in der Corona-Krise konnten Reallabore nicht durchgeführt werden. Mit Hilfe mehrerer Digitaler Zwillinge im Maschinenlabor der HSO konnte den Studierenden ein nahezu gleichwertiges Labor geboten werden. Wie in der Arbeit im Technikum war es den Studierenden möglich, die Anlagen – nun allerdings die Digitalen Zwillinge - zu bedienen, Messreihen aufzunehmen und so die in Vorlesungen besprochenen Themen in der Praxis anzuwenden.

### AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Peter Treffinger  
Fakultät M+V, Maschinenlabor (<http://kua.mv.hs-offenburg.de>); Fluidenergiemaschinen, Energietechnik, Dynamische Modellierung von Energiesystemen, Thermodynamik  
[peter.treffinger@hs-offenburg.de](mailto:peter.treffinger@hs-offenburg.de)



Dipl.-Ing. (FH) Jens Glembin  
Akad. MA, Maschinenlabor (<http://kua.mv.hs-offenburg.de>); Prüfstandsautomatisierung, Labor Kraft- und Arbeitsmaschinen, Hands-on-Labor  
[jens.glembin@hs-offenburg.de](mailto:jens.glembin@hs-offenburg.de)

# Kristallklare Einblicke in Metalle

## Vom Ein- zum Polykristall

Simon Schilli M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert

Nicht nur Kochsalz oder Schnee ist aus Kristallen aufgebaut – auch Metalle haben eine kristalline Struktur, wobei ein Metall wie beispielsweise Stahl meist aus einer großen Anzahl an mikroskopisch kleinen Einkristallen besteht. Der polykristalline Aufbau der metallischen Werkstoffe bestimmt maßgeblich die Eigenschaften des Werkstoffs, so dass Ingenieurinnen und Ingenieure großes Interesse daran haben, diese Einflüsse zu verstehen und für Maschinen und Anlagen zu nutzen.

*Not only salt or snow is made of crystals. Metals also have a crystalline structure, whereby a metal such as steel usually consists of a large number of microscopically small single-crystals. The poly-crystalline structure of metallic materials has a significant effect on the properties of the material, so that engineers are interested in understanding these effects and using them in the development of efficient and reliable machines and equipment. The experimental investigation of materials structure-properties relations is time consuming. This is why computational methods are developed that are able to predict material properties of poly-crystalline metallic materials.*

### Einleitung

Für die Entwicklung von technisch hoch komplexen sowie ressourceneffizienten Bauteilen und Anlagen haben Ingenieurinnen und Ingenieure hohe Anforderungen an die eingesetzten Werkstoffe und deren Werkstoffeigenschaften, wie beispielsweise die Forderung einer hohen Festigkeit oder Härte. Daher ist es zwingend notwendig, dass Werkstoffeigenschaften genau bekannt sind und die Eigenschaften in für den Werkstoff charakteristischen Werkstoffkennwerten ausgedrückt werden können. Typischerweise werden die Werkstoffeigenschaften in Versuchen an Werkstoffproben ermittelt. Dafür werden die Proben beispielsweise beim sogenannten Zugversuch mit einer Zugkraft beansprucht. So wird ermittelt, ab welcher mechanischen Belastung (Spannung) der Werkstoff sich nicht nur elastisch, sondern auch plastisch verformt. Was genau unter plastischer Verformung verstanden wird, wird anhand eines einfachen Beispiels deutlich: Wird der Draht einer Büroklammer nur leicht gebogen, reicht die hervorgerufene mechanische Belastung nicht aus, um plastische Deformationen im Werkstoff hervorzurufen. Der Werkstoff wird lediglich elastisch deformiert, sodass bei Wegnahme der Kraft die Büroklammer in ihren Ausgangszustand zurückfedert. Wird die Büroklammer allerdings stark gebogen, ergeben sich im Werkstoff Spannungen, die

eine bleibende plastische Deformation des Werkstoffs bewirken. Die Büroklammer hat nun eine andere Form und ist dauerhaft verbogen. Kennen die Ingenieurinnen und Ingenieure dieses Werkstoffverhalten von einem Werkstoff genau, ist es ihnen möglich, durch konstruktive Maßnahmen und eine geeignete Werkstoffauswahl unzulässige Deformationen oder gar ein Bruch eines Bauteils auszuschließen.

Die Eigenschaften eines metallischen Werkstoffs hängen von seiner Mikrostruktur ab. Denn betrachtet man ein Metall im Lichtmikroskop, wird deutlich, dass der Werkstoff eben nicht homogen ist, wie es von außen aussieht. Er besteht aus einzelnen Körnern, auch Kristalle genannt, die zusammengesetzt zu einem Polykristall, viele miteinander verbundene Körner, den jeweiligen Werkstoff ergeben. Abbildung 1, links zeigt das Schlibbild eines metallischen Werkstoffs im Lichtmikroskop, bei dem die Kornstruktur des Metalls deutlich sichtbar wird. Die einzelnen Körner sind durch Korngrenzen voneinander getrennt, die in Abbildung 1, links als schwarze Linien erkennbar sind.

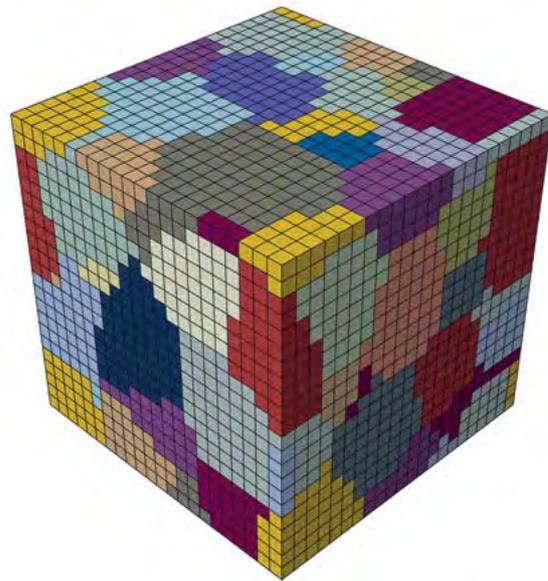
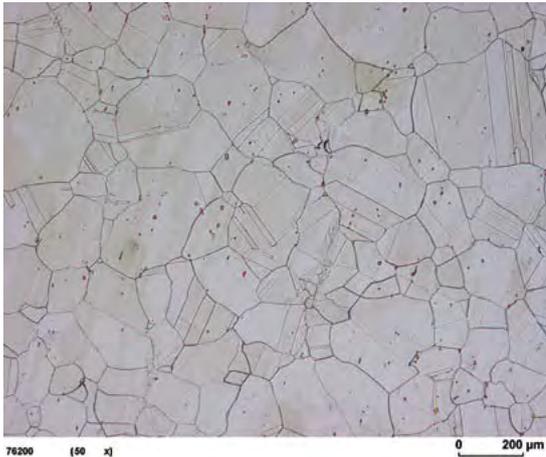


Abb. 1:  
Kornstruktur eines  
metallischen Werk-  
stoffs: Aufnahme in  
einem Lichtmikroskop  
(li), dreidimensionales  
Computermodell (re)

Je nachdem wie groß nun diese Körner sind, welche Form sie haben und wie sie angeordnet sind, ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften für den Werkstoff. Die Kornstrukturen können zufällig variieren, wie es bei Strukturen in der Natur meist üblich ist. Dies hat zur Folge, dass auch die Werkstoffeigenschaften mit den variierenden Kornstrukturen streuen. Werden mehrere Werkstoffproben auf immer die gleiche Weise mechanisch belastet, so unterscheidet sich das Versuchsergebnis von Probe zu Probe, weil jede Probe ihre eigene Kornstruktur hat. Eine Untersuchung der Streuung der Werkstoffeigenschaften bedarf einer großen Anzahl an experimentellen Versuchen. Erst dann kann eine statistische Aussage über das Werkstoffverhalten getroffen werden. Versuchsreihen mit einer großen Anzahl an Versuchen sind jedoch sowohl kosten- als auch zeitintensiv.

Es ist daher das Ziel, in einem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten und an der Hochschule bearbeiteten Forschungsprojekt, Werkstoffeigenschaften unter Berücksichtigung der Kornstruktur in Computermodellen berechenbar zu machen, damit zukünftig auf große Versuchsreihen verzichtet werden kann. Hierzu werden im Forschungsprojekt theoretische Werkstoffmodelle zur Simulation mikrostrukturabhängiger Werkstoffeigenschaften entwickelt. Die Werkstoffmodelle sind dabei mathematische Modelle, die die Eigenschaften eines einzelnen Kristalls (Einkristall) berechenbar machen. Mit diesen Einkristallplastizitätsmodellen können die polykristallinen Eigenschaften untersucht werden, ohne weitere aufwendige Versuche durchführen zu müssen. Ingenieurinnen und

Ingenieure sind dank dieser Computermodelle in der Lage, einen Blick in die Vorgänge im Inneren der polykristallinen Metallstrukturen zu werfen – sie erhalten einen kristallklaren Einblick! Die im Forschungsprojekt zur Validierung der Computermodelle notwendigen experimentellen Daten werden vom Projektpartner, dem Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK) der RWTH Aachen, bereitgestellt.

## Methodik und Ergebnisse

Um mikrostrukturabhängige Werkstoffeigenschaften in einem Computermodell vorhersagen zu können, wird ein dreidimensionales Modell der Kornstruktur des Werkstoffs und ein Werkstoffmodell zur Beschreibung der Eigenschaften jedes einzelnen Kornes, d.h. ein Einkristallplastizitätsmodell, benötigt. Während die dreidimensionale Kornstruktur in einem sogenannten Finite-Elemente-Modell repräsentiert werden kann (Abbildung 1, rechts), das die Berechnung der Werkstoffbelastung infolge von auf den Werkstoff wirkenden Kräften erlaubt, steht in den kommerziell verfügbaren Finite-Elemente-Programmen kein Einkristallplastizitätsmodell zur Verfügung. An der Hochschule wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein auf dem Modell von Harder [1] basierendes Einkristallplastizitätsmodell entwickelt und in ein Finite-Elemente Programm implementiert. Das entwickelte Einkristallplastizitätsmodell beschreibt die bei einer plastischen Verformung in einem einzelnen Kristall ablaufenden physikalischen Vorgänge [2]: Bei der plastischen Verformung eines Kristalls werden die Atomebenen bei ausreichend großer mechanischer Belastung gegeneinander verschoben. Das Verschieben der Atomebenen

wird als „Abgleiten“ bezeichnet. Allerdings können nicht alle Atomebenen beliebig abgleiten, sondern nur bestimmte. Eine verschiebbare Atomebene zusammen mit der Richtung, in der sie abgleiten kann, heißt Gleitsystem.

Bei einer zyklischen Belastung des Werkstoffs, wie sie auch beim mehrmaligen plastischen Hin- und Herbiegen einer Büroklammer auftritt, wird der Bauschinger-Effekt beobachtet: Das Zurückschieben einer Atomebene bei einer Belastung in Gegenrichtung ist deutlich leichter. Grund dafür sind innere Spannungen, die sich während der Verschiebung der Atomebenen in den Gleitsystemen aufbauen. Die inneren Spannungen wirken exakt in die entgegengesetzte Richtung zu der von außen aufgetragenen Spannung und begünstigen daher bei Belastungsumkehr ein Zurückschieben der Atomebenen. Dieser Effekt wird durch die Einführung einer sogenannten kinematischen Verfestigung in jedem Gleitsystem im entwickelten Einkristallplastizitätsmodell berücksichtigt. Um nun nicht nur die lokalen Effekte dieser Atomebenenverschiebung, sondern auch die globalen Auswirkungen auf das plastische Verhalten des Werkstoffs beschreiben zu können, werden im Einkristallplastizitätsmodell die Vorgänge in allen Gleitsystemen des Werkstoffs in Bezug gesetzt. Somit liefert das Verhalten jedes Gleitsystems einen kleinen Beitrag zu den im Computermodell zu berechnenden Werkstoffeigenschaften.

Durch ein Aufsummieren aller Spannungen in den Gleitsystemen kann das Einkristallplastizitätsmodell die im Einkristall insgesamt wir-

kende Spannung berechnen. Betrachtet man die für Zug-Druck-Versuche typische Spannungs-Dehnungs-Hysterese in Abbildung 2 (positive Spannung dehnt den Werkstoff und negative Spannung führt zur Stauchung), wird auch der beschriebene Bauschinger-Effekt deutlich: Die mechanische Belastung für einen Übergang zwischen elastischer und plastischer Deformation ist nach der Belastungsumkehr deutlich geringer. Den Übergang zwischen elastischer und plastischer Deformation erkennt man an der einsetzenden Krümmung der Kurve und dem damit verbundenen Verlassen des linear-elastischen Bereichs. Das Begünstigen des Zurückschiebens der Atomebenen in den einzelnen Gleitsystemen konnte somit computerbasiert auf das makroskopische Verhalten der Proben übertragen werden.

Werden nun unterschiedliche dreidimensionale Modelle des Werkstoffs analog zu Abbildung 1, rechts mit denselben statistischen Korngrößen, -orientierungen und -formen, wie sie der reale Werkstoff aufweist, erzeugt, so lässt sich die Streuung der Werkstoffeigenschaften infolge der Mikrostrukturvariation in einem „Computorexperiment“ ermitteln: Ein digitaler Zwilling des realen Werkstoffs ist erschaffen. In den Computorexperimenten lässt sich so die Streuung der Festigkeit des Werkstoffs bei zyklischer Belastung, auch zyklische Streckgrenze, quantifizieren. Die zyklische Streckgrenze beschreibt in einem weit verbreiteten Werkstoffmodell nach Ramberg und Osgood [3] den Übergang von elastischer zu plastischer Verformung. Sie wird für jedes erzeugte Mikrostrukturmodell des Werkstoffs berechnet, so

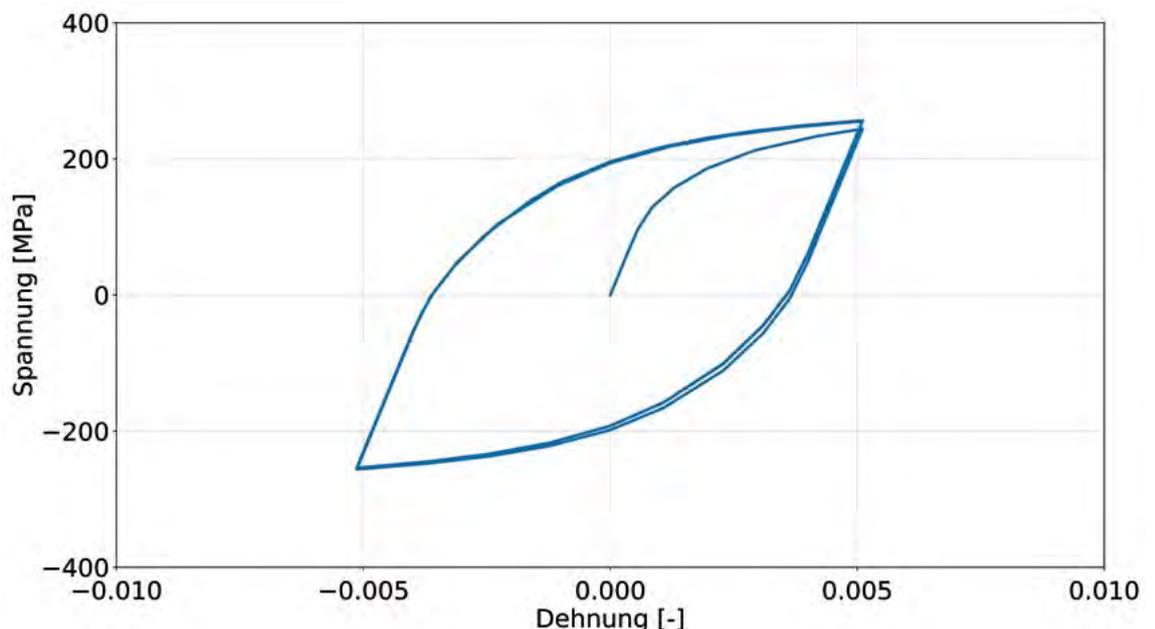


Abb. 2: Spannungs-Dehnungs-Hysterese einer Simulation eines Zug-Druck-Versuchs an einem Einkristall

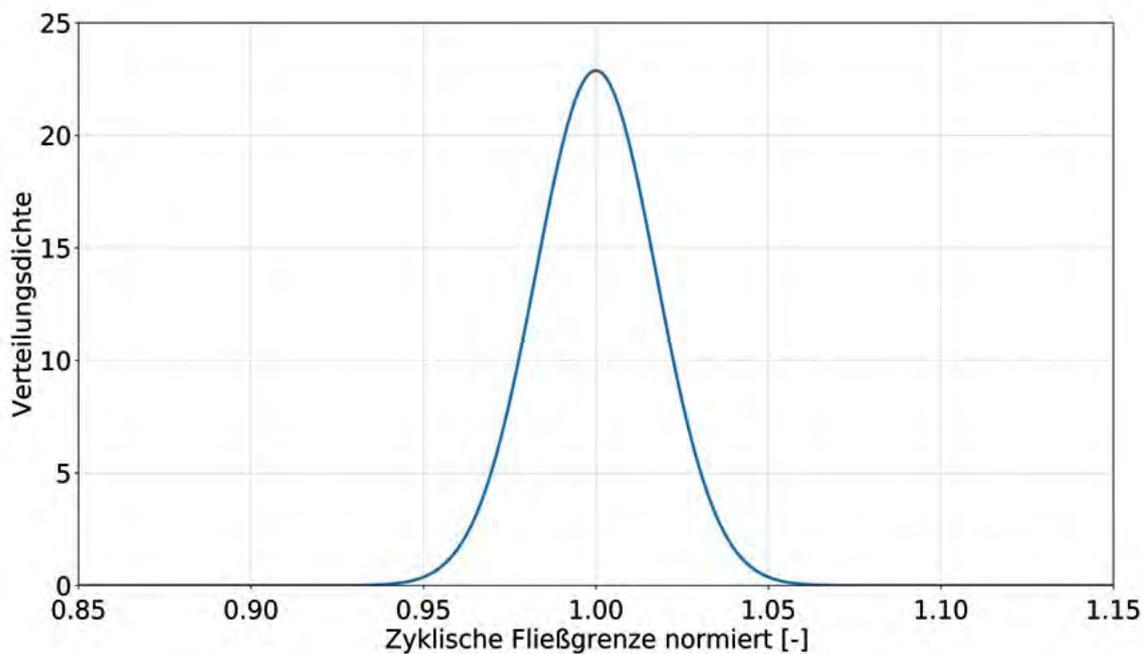


Abb. 3:  
Normierte Normal-  
verteilung der aus  
Computersimulationen  
mit Polykristallen  
unterschiedlicher Korn-  
struktur berechneten  
zyklischen Fließgrenze

dass aus den Berechnungen die in Abbildung 3 gezeigte Normalverteilung für die zyklische Streckgrenze ermittelt werden konnte. Eine statistische Aussage über den Einfluss der Mikrostruktur auf die Werkstoffeigenschaften konnte folglich computerbasiert berechnet werden, die von Ingenieurinnen und Ingenieuren in der Bauteilauslegung herangezogen werden kann.

## Zusammenfassung

Es wurden dreidimensionale Modelle von Polykristallen mit für einen metallischen Werkstoff typischen Korngrößen, -orientierungen und -formen erzeugt. Die Eigenschaften eines Kristalls wurden mit einem an der Hochschule Offenburg entwickelten und in ein Finite-Elemente-Programm implementierten Einkristallplastizitätsmodell beschrieben. Mit den dreidimensionalen Modellen der Polykristalle kann der Einfluss der Mikrostruktur auf das mechanische Verhalten von Metallen berechenbar gemacht werden. Insbesondere wird der bei zyklischer Belastung auftretende Bauschinger-Effekt mikrostrukturbasiert abgebildet. Auch sind Einblicke auf die Vorgänge im Werkstoffinnern computerbasiert möglich. Die über Computersimulationen berechenbare Kenntnis der Streuung der Werkstoffeigenschaften infolge von Mikrostrukturvariationen kann von Ingenieurinnen und Ingenieuren genutzt werden, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Maschinen und Anlagen zu erhöhen und gleichzeitig näher an die Grenzen der Belastbarkeit eines Werkstoffs gehen zu können.

### AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert  
Fakultät M+V, Institutsleitung IAF,  
Werkstoffmechanik und Simulation,  
Schadenskunde  
thomas.seifert@hs-offenburg.de



Simon Schilli M.Sc.  
Akad. MA  
simon.schilli@hs-offenburg.de

### Referenzen/References:

- [1] J. Harder, A crystallographic model for the study of local deformation processes in polycrystals, Internat. Journal of Plasticity 15, 605-624, 1999
- [2] R.J. Asaro, Micromechanics of Crystals and Polycrystals, Advances in Applied Mechanics 23, 1-115, 1983
- [3] W. Ramberg und W.R. Osgood. Description of stress-strain curves by three parameters, National Advisory Committee for Aeronautics NACA, Technical Note 902, 1943

# Pulsed Electrical Fields (PEF)

## Mögliches Verfahren zur Gewinnung von Paramylon aus *Euglena gracilis*?

Dipl.-Ing. Philipp Huber, Manuel Scharffenberg M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg

Gepulste elektrische Felder (PEF) werden in der Biotechnologie verwendet, um Zellen zu zerstören oder um Zellwände permeabel zu machen (Mikalovic, D. (2019)). Dieses Verfahren wird auch als Elektroporation bezeichnet. *Euglena gracilis* (Augentierchen) sind Einzeller, die intrazellulär Paramylon produzieren, ein Kohlehydrat mit speziellen glycosidischen Bindungen. Dieses Kohlehydrat, könnte man es großtechnisch zu vertretbaren Kosten gewinnen, wäre ein Molekül mit Anwendungen in der Pharmazie und in der Biotechnologie oder gar für die Herstellung von Biokunststoffen. An der Hochschule Offenburg wurde ein Versuchsstand aufgebaut und ein Analyseverfahren entwickelt, um gepulste elektrische Felder zur Extraktion von Paramylon aus *Euglena gracilis* zu untersuchen.

*Pulsed electric fields (PEF) are used in biotechnology to destroy cells or to make cell walls permeable for molecules (Mikalovic, D. (2019)). This process is also known as electroporation. Euglena gracilis is an unicellular organism that produce an intracellular storage polymer: Paramylon, a carbohydrate with special glycosidic bonds. If this carbohydrate could be produced on an industrial scale at reasonable cost, it would be a molecule with applications in pharmacy and biotechnology or even for the production of bioplastics. At the University of Applied Sciences in Offenburg, a test facility has been established and analytical methods developed to investigate pulsed electric fields for the extraction of paramylon from Euglena gracilis.*

### Verfahren und Versuchsstand

Die Elektroporese ist in der Biotechnologie ein etabliertes Verfahren zum Einschleusen von DNA in eine Zelle. Dabei wird die Zellwand durch Anlegen eines elektrischen Felds kurzzeitig porös und DNA kann in die Zelle eindringen. Großtechnisch wird das Verfahren zum Zellaufschluss bei der Herstellung von Kartoffelchips eingesetzt. Abhängig von Impulsdauer und -länge, mit der die Zellen dem elektrischen Feld ausgesetzt werden, wird die Zelle entweder zerstört, damit kleine Moleküle in die Zelle eingebracht werden können, oder es können Moleküle extrahiert werden (Abbildung 1).

### Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 skizziert und in Abbildung 3 dargestellt. Über eine Konstantstromquelle a mit Schutzeinrichtung und Spannungsmessgerät wird der Energiespeicher b geladen. Als Energiespeicher wurde ein Koaxialkabel verwendet, dessen Ersatzschaltbild die gezeichnete Verschaltung von Kondensatoren und Spulen ist. Sobald der Schalter c geschlossen wird, baut sich ein elektrisches Feld im Probengefäß auf. Das Probengefäß mit *Euglena gracilis* mit Kondensa-

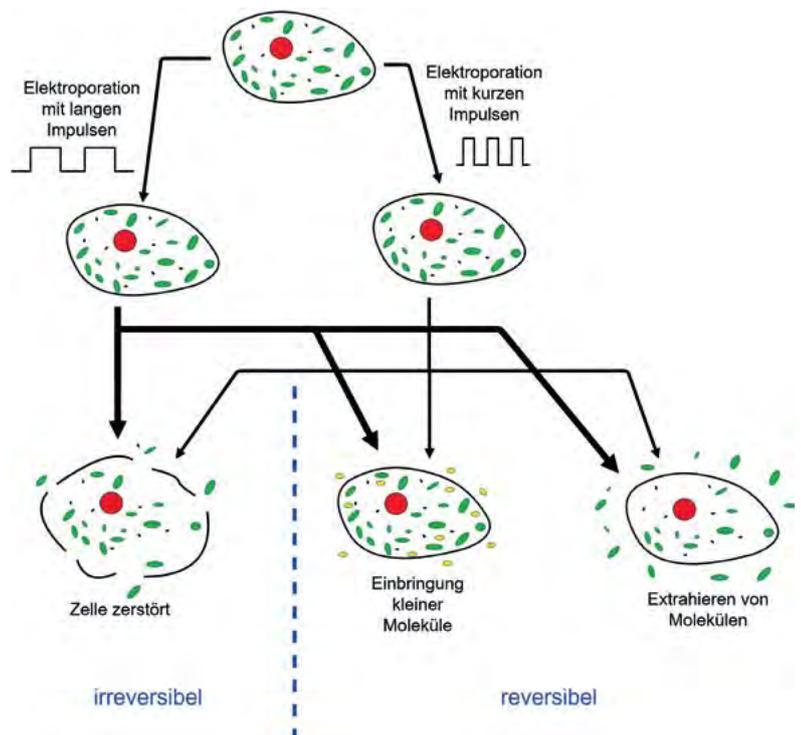


Abb. 1: Veranschaulichung verschiedener Verfahren der Behandlung von Zellen mit gepulsten elektrischen Feldern in Anlehnung an Reberšek, M. (2017)

torplatten und Strommessgerät ist in Teil d der Abbildung 2 (rechts) angedeutet. Wichtig ist, dass das elektrische Feld schnell aufgebaut wird, damit die Energie nicht infolge parasitärer Ströme im Probengefäß dissipiert. Als Schalter wird daher eine Funkenstrecke verwendet. Die Spannung, ab der der Schalter schließt, ist abhängig vom Abstand der Elektroden der Funkenstrecke und kann im Bereich von 5 – 25 kV eingestellt werden.

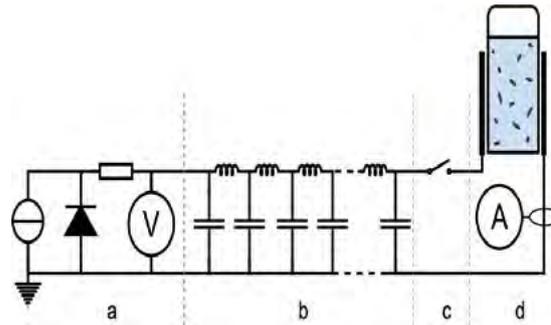


Abb. 2:  
Prinzipschaltbild  
Elektropropagator

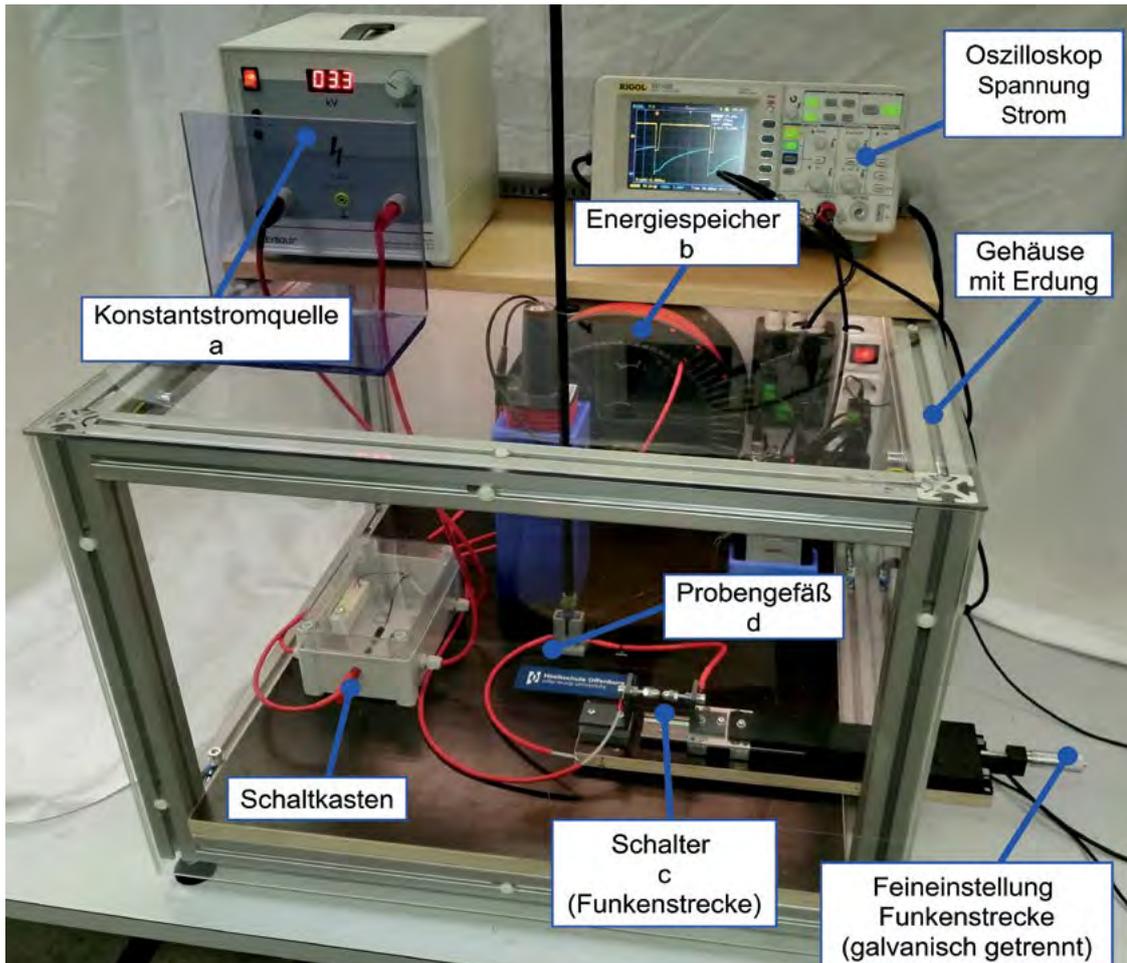


Abb. 3:  
Der Elektropropagator und  
die einzelnen Kompo-  
nenten im Detail

## Euglena gracilis und Paramylon

Die Geißelalge *Euglena gracilis* synthetisiert unter heterotrophen Bedingungen eine wertvolle Verbindung als Reservestoff, das  $\beta$ -1,3-Glucan-Paramylon. Paramylon hat mehrere positive Wirkungen: Es ist entzündungshemmend und verzögert dadurch die Zellalterung. Es stimuliert das Immunsystem und hemmt das Wachstum einiger Tumorarten. Auch hat es einen positiven Einfluss auf den Blutzuckerspiegel, die Insulinregulation und den Cholesterinspiegel (Brown, G. et al. (2001), Misaki, A. et al. (1993), Wang, L. et al. (1997), Wood, P. et al. (1994)). Das Potenzial für verschiedene Anwendungsfelder ist groß, z. B. in der Kosme-

tikindustrie, als Proteinquelle und Nahrungsergänzungsmittel sowie als Ausgangsmaterial für Biokunststoffherstellung (Cholewa, D. (2016)).

Paramylon wird von *Euglena gracilis* intrazellulär gespeichert. Aktuell etablierte Verfahren zur Abtrennung von Paramylon zerstören die Zellfunktion von *Euglena gracilis*. Da die Wachstumsgeschwindigkeit von *Euglena gracilis* mit einer Verdoppelungszeit von ca. 15 Stunden in der Mikrobiologie vergleichsweise gering ist (*E. coli* hat eine Verdopplungszeit von ca. 30 min), hat ein Verfahren, das Paramylon freisetzt und gleichzeitig die Zellfunktionen erhält, bedeutende wirtschaftliche Vorteile.

Mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) werden die Zellen vor und nach der Elektroporation begutachtet und auf Veränderungen der Pellicula, der Zellhülle, untersucht. Abbildung 4 und 5 zeigen *Euglena gracilis* vor der Elektroporation. Die Sichtbarkeit der Pellicula im Elektronenmikroskop hängt von dem verwendeten Medium ab, in dem die Mikroorganismen kultiviert werden. Gute Ergebnisse werden mit dem *Euglena* Medium 9 der Sammlung von Algenkulturen Göttingen (SAG) erzielt, da dort die Paramylongranula weniger ausgeprägt und damit die Pellicula besser sichtbar ist.



Abb. 4: REM Aufnahme von *Euglena gracilis* in *Euglena* Medium 9. Die feinen, ringförmigen Linien der Pellicula sind gut erkennbar

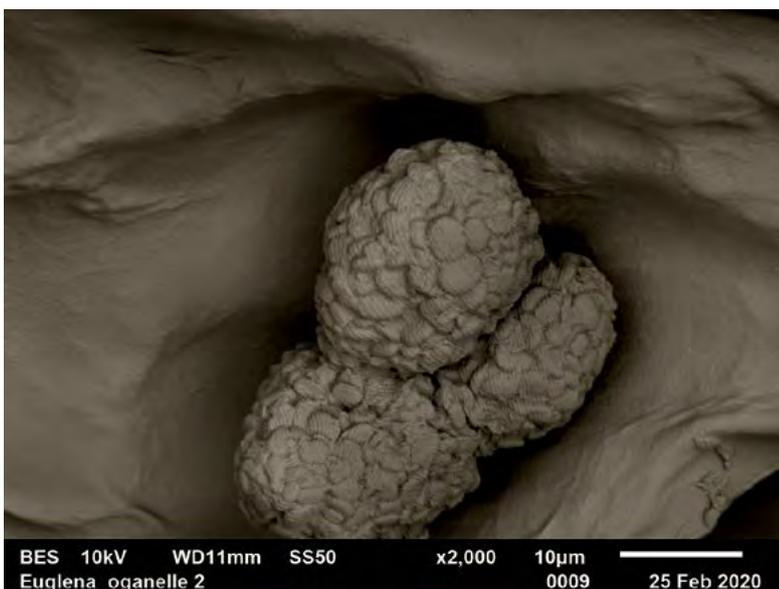


Abb. 5: REM Aufnahme von *Euglena gracilis* in Hutner Medium mit gut sichtbaren Paramylongranula.

Der ringförmige Aufbau der Pellicula, der sich schützend um die Zellorganellen legt, ermöglicht eine flexible Veränderung der Erscheinungsform. Die streifenartigen Platten sind gegeneinander verschiebbar und führen zu einem stäbchenförmigen bis kugelrunden Aussehen von *Euglena gracilis* unter dem Mikroskop. Die Größe kann dabei zwischen 100 µm und 20 µm variieren.

Die Elektroporation wird in 2 ml Küvetten durchgeführt, in denen zwei Elektroden eingebaut sind. Da *Euglena gracilis* in der Lage ist, sich über eine Geißel fortzubewegen, wird sie in Alginatkügelchen für die Dauer der Elektroporation fixiert. Die Fixierung ermöglicht zusätzlich eine einfache Abtrennung von Mikroorganismen und Medium. Das Medium wiederum wird mit einem TOC-Analysegerät auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff (total organic carbon, TOC) als Summenparameter untersucht. Das Verfahren ist schnell und sensibel.

### Ergebnisse und Ausblick

Die entwickelte Versuchsanlage ist geeignet, um wässrige Suspensionen von *Euglena gracilis* elektrischen Feldern von bis zu 5 MV/m auszusetzen. Die Impulsanstiegszeit liegt dabei in der Größenordnung von 20 ns und die Ströme zum Aufbau des elektrischen Felds bei 500 A. Die Impulsdauer ist durch die Größe und Bauart des Energiespeichers bestimmt und beträgt derzeit 480 ns. Sie kann durch Änderung des Energiespeichers eingestellt werden.

Da der Energiespeicher eine Impedanz von 50 Ω hat, muss die Leitfähigkeit der Suspension entsprechend angepasst werden. Eine Fehlanpassung bewirkt, dass ein Teil der Energie reflektiert wird und nicht zum Aufbau des elektrischen Felds zur Verfügung steht – der Effekt auf *Euglena gracilis* vermindert sich entsprechend. Darüber hinaus ist der verwendete Isolator im Energiespeicher ungeeignet, um schnell umgepolte Ladungen aufzunehmen: Das Dielektrikum des Energiespeichers polarisiert sich beim Versuch und wird bei der schnellen Umpolung zerstört.

Bei kurzen, schwachen Impulsen nimmt *Euglena gracilis* eine runde Form an, wie sie auch in der Literatur bei Zellstress beschrieben wird, siehe Abbildung 6 (Felski, M. (1968)). In dieser Form dürfte es nicht möglich sein, durch gepulste elektrische Felder Paramylon freizusetzen. Bei sehr starken Impulsen wird die Zellwand zerstört und Paramylon freigesetzt. Im Weiteren soll jetzt untersucht werden, ob es möglich ist, Paramylon zu gewinnen, ohne *Euglena gracilis* zu zerstören.



Abb. 6:  
Euglena gracilis in runder und länglicher Form

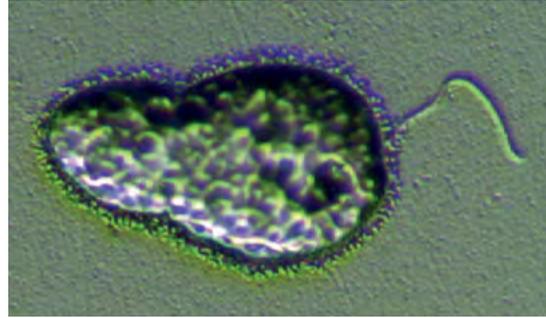


Abb. 7:  
Euglena gracilis im Compound Light Microscope

In einer Versuchsreihe sind Alginatkügelchen mit Zellen und der identische Versuchsansatz ohne Zellen im Elektroporator bei 5 kV für 10 Impulse ausgesetzt worden. In der Probe mit Zellen war der TOC-Gehalt in der flüssigen Phase erhöht gegenüber der identischen Probe ohne immobilisierte Zellen (Abbildung 8). Ausgehend von den Zellen sind kohlenstoffhaltige Verbindungen aufgrund der Elektroporation in die flüssige Phase übergewechselt. Ein Effekt der Elektroporation auf die Zellen ist damit nachweisbar, wenngleich noch unklar ist, welche Verbindungen aus der Zelle transferiert wurden.

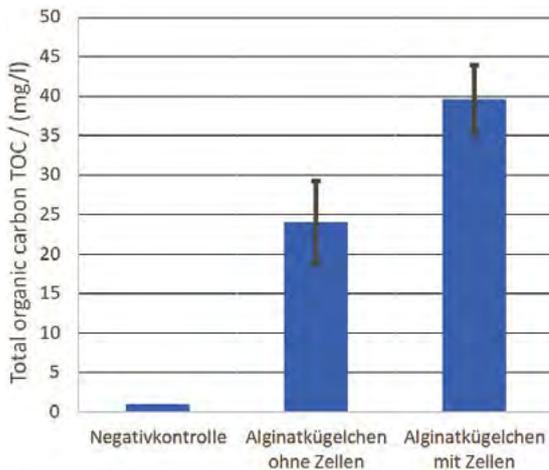


Abb. 8:  
Skizze des parametrischen Modells mit den zehn wichtigsten Parametern

Für den analytischen Nachweis von Paramylon werden in späteren Versuchsreihen im Medium nach Abtrennung der Alginatkügelchen Enzyme – in diesem Fall  $\beta$ -1,3-Glucanasen – zugegeben, die Paramylon in Glucose zerlegen. Anschließend wird mit 3,5-Dinitrosalicylsäure (DNS)-Methode die Konzentration an Glucosemolekülen photometrisch gemessen, um eine quantitative Aussage zum Paramylongehalt zu erhalten.

Der Fokus der weiteren Forschung liegt nun auf der Durchführung von Versuchsreihen mit unterschiedlichen elektrischen Feldstärken sowie Retentionszeiten, einer begleitenden Untersuchung der Zellen mit dem Elektronenmikroskop sowie der Überprüfung, ob das Zielprodukt – das Paramylon – in die flüssige Phase übergegangen ist.

„Sie studieren an der Hochschule Offenburg und interessieren sich für das Projekt?“

Kontaktieren Sie uns!“

## AUTOREN



Dipl.-Ing. Philipp Huber  
Akad. Mitarbeiter  
Biotechnologie  
philipp.huber@hs-offenburg.de



Manuel Scharffenberg, M.Sc.  
Akad. Mitarbeiter,  
Mess- und Regelungstechnik,  
manuel.scharffenberg@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg  
Fakultät M+V  
Mess- und Regelungstechnik  
ulrich.hochberg@hs-offenburg.de

# Virtuelle Ergonomie- und Sichtfeldoptimierung am Hocheffizienzfahrzeug

Fabian Beck B.Eng., Prof. Dipl.-Ing. Claus Fleig

Für die Neuentwicklung eines Hocheffizienzfahrzeugs ist die optimale ergonomische Gestaltung der Fahrgastzelle und des Sichtfelds von großer Bedeutung. Für den Nachfolger des Leichtbaufahrzeugs „Schluckspecht 3“ wurden intensive Studien zur virtuellen Komfort- und Sichtfeldanalyse durchgeführt. Trotz des geringen gestalterischen Spielraums konnte durch die Studien ein Optimum an Komfort erreicht werden.

*For the new development of a high-efficiency vehicle, the optimal ergonomic design of the passenger cell and the field of vision is of great importance. For the successor to the lightweight vehicle „Schluckspecht 3“, intensive studies were carried out on virtual comfort and field of vision analysis. Despite the limited scope for design, the studies made it possible to achieve optimum comfort.*

## Einleitung, Motivation

Das Projekt „Schluckspecht“ der Hochschule Offenburg nimmt seit 1998 sehr erfolgreich an einem der weltweit größten Effizienzwettbewerbe für individuelle Mobilität – dem „Shell Eco-marathon“, teil. Neben dem vierradrigen „Schluckspecht 5“, der in der Urban-Concept-Klasse startet, verfügt das Team auch über ein Fahrzeug für die Prototype-Klasse – den „Schluckspecht 3“. Dieser wird in 2020 durch den neu gestalteten „Schluckspecht 6“ abgelöst. Die Karosseriegestaltung ist in der Fahrzeugklasse Prototype im Gegensatz zur Urban-Concept-Klasse mit nur wenigen reglementbedingten Beschränkungen verbunden. So werden in dieser Klasse die Fahrzeugkarosserien hinsichtlich Aerodynamik und Leichtbau optimal gestaltet. Dies führt zu sehr kompakten und sich horizontal erstreckenden Fahrgasträumen. Durch diese Gestaltung der Fahrgastzelle ergibt sich eine ähnliche Körperhaltung wie in einem Formel-1-Fahrzeug (s. Abb. 1).

Zum Zeitpunkt dieser Arbeit bestand bereits, basierend auf Strömungssimulationen, eine aerodynamisch optimierte Gestalt der Fahrzeughülle. Auch die Fertigungsplanung war bereits vorhanden. So soll das Fahrzeug für eine hohe Leichtbaugüte größtenteils aus kohlefaserverstärktem Kunststoff an der Hochschule gefertigt werden. Mit diesem Werkstoff können bei geringer Masse hervorragende Karosseriesteifigkeiten und -festigkeiten erreicht werden. Für eine Verbesserung der ergonomischen Bedürfnisse wurde basierend auf dem vorhandenen 3D-CAD-Modell eine virtuelle Ergonomie- und Sichtfeldoptimierung am digitalen Fahrzeugmodell mit folgender Zielsetzung durchgeführt:

- den Diskomfort verringern,
- die Betätigungskräfte ermitteln und
- das Sichtfeld analysieren.



Abb. 1:  
Sitzposition bei a) PKW, b) Formel-1, c) Shell Eco-marathon

## Methodik und Ergebnisse

Zu Beginn der Analyse wurden die konstruktiven Gestaltungsfreiheiten und die maximalen anthropometrischen Parameter (z. B. max. Körperhöhe 170 cm) der zukünftigen Autofahrenden festgelegt. Da die Karosserieform durch die Aerodynamik vorgegeben war und eine Crash-zone (10 cm) im Vorderwagen reglementbedingt zu beachten ist, resultiert ein geringer Gestaltungsspielraum. Die Ergonomie- und Sichtfelduntersuchungen wurden mit der Software RAMSIS durchgeführt. Im Automobilssektor ist diese Analysesoftware Stand der Technik und wird von allen namhaften deutschen PKW-Herstellern verwendet.

### Diskomfort-Analyse

Die Bewertung des Diskomforts in RAMSIS erfolgt anhand spezifischer Kriterien mit Werten zwischen null und acht. Dabei repräsentiert ein Wert von null gar keine Unannehmlichkeiten und ein Wert von acht das Maximum an Unbehagen bzw. Schmerzen. An dieser Stelle ist jedoch anzumerken, dass eine Haltung, bei der alle Kriterien mit null bewertet sind, nicht existiert. Die Bewertung des Komfortempfindens ist an Umwelteinwirkungen (z. B. Lärm, Gerüche), emotionale sowie anthropometrische Parameter des Individuums geknüpft und deshalb nur schwer greifbar. Deshalb werden im Rahmen einer Diskomfort-Analyse die vorherrschenden Unannehmlichkeiten anhand quantifizierbarer und individuumsunabhängiger körperlicher Parameter wie der Muskelbelastung, Gewebedurchblutung oder Gelenkwinkel des digitalen Menschmodells ermittelt.

Durch eine Vielzahl an Untersuchungen konnte iterativ eine erhebliche Verringerung des Diskomforts erreicht werden. Geringe Änderungen am Anstellwinkel des Fußes und die Vergrößerung der Auflageflächen im Bereich des Rückens sowie der Schulter-Nacken-Partie führten zu einer erheblichen Komfortsteigerung. Durch diese Maßnahmen wurde eine rechnerische Verbesserung des Diskomforts insbesondere im Rücken- und Nackenbereich

von acht auf drei bzw. fünf erzielt (s. Abb. 2). Auch die Arme und Beine konnten eine – hinsichtlich der Ergonomie – schonendere Haltung einnehmen. Die Bereiche Gesäß und Schultern weisen immer noch maximale Diskomfortwerte auf. Diese Erkenntnis wird in der realen Umsetzung durch zusätzliche Polsterungen in den kritischen Bereichen berücksichtigt.

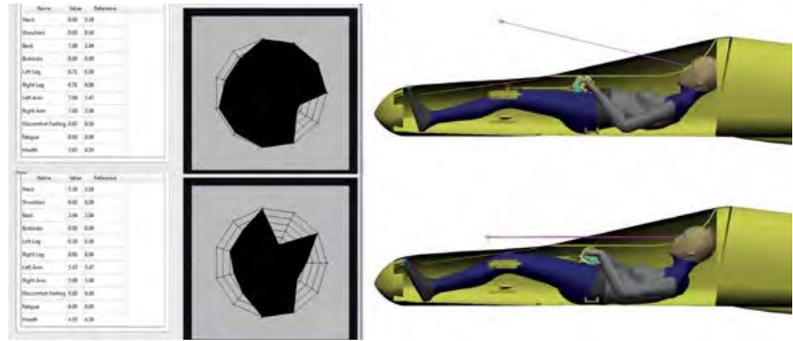


Abb. 2: Diskomfortanalyse: Ausgangssituation (oben), optimierte Situation (unten)

### Betätigungskräfte

Neben der Optimierung des Komforts konnten auch die Betätigungs-kräfte rechnerisch bestimmt werden. Neben der „aktiven“ Kraft, welche die Muskelkraft der direkt beteiligten Körperteile bestimmt, kann auch die „passive“ Kraft virtuell bestimmt werden. Die „passive“ Kraft resultiert durch zusätzliches Abstützen anderer Körperteile (z. B. Rücken und Schulter) am Interieur des Leichtbaufahrzeugs.

Beispielhaft wird hier die ermittelte maximale Fußbremskraft von 820 N angeführt (s. Abb. 3). Diese setzt sich aus einer Kraft der Fuß-/ Beinpartie von 295 N und einer zusätzlichen Kraft durch das Abstützen des Körpers an der Sitzschale bzw. dem Monocoque von 525 N zusammen. Die Bestimmung dieser Werte ist eine wichtige Grundlage für die Bauteilauslegung. Basierend auf diesen Werten erfolgte so eine Strukturoptimierung des Pedalträgerblocks, der das Bremspedal aufnimmt. Auch konnte mit dieser Untersuchung die Belastung des Sitzes beim Bremsvorgang ermittelt werden.

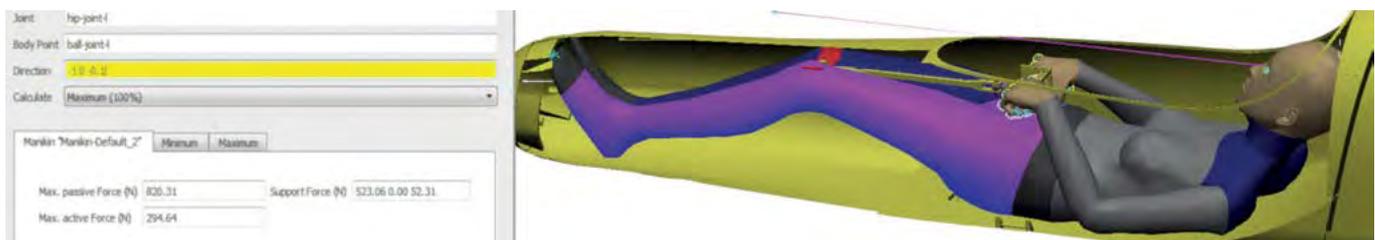


Abb. 3: Bestimmung Fußpedalkraft

### Sichtanalyse

Für die Zulassung am Wettbewerb müssen die Fahrzeuge zuvor eine technische Abnahme bestehen. In dieser wird auch das Sichtfeld der Fahrenden geprüft. Eine uneingeschränkte Sicht nach vorn sowie rechts und links zur Fahrzeuginnenachse muss gewährleistet werden. Die Analyse des Sichtfelds ist mit einem digitalen Fahrzeugmodell nach der Festlegung der anthropometrischen Parameter der virtuellen Fahrenden sowie der ermittelten Sitzposition möglich. Im Ausgangsmodell des Schluckspechts 6 war bereits eine gute Sicht nach vorn gewährleistet (s. Abb. 4). Lediglich im Abstand von zwei Metern vor dem Hochenergieeffizienzfahrzeug werden Gegenstände bis zu einer Höhe von 20 cm durch dessen Monocoque verdeckt (entspricht dem dunkelroten Farbring in Abb. 4). Erhebliche Mängel wurden dahingegen bei der Analyse des Sichtfelds rechts und links zur Fahrzeuginnenachse festgestellt. Erst durch zusätzliche Seitenscheiben wurde eine reglementkonforme Sicht erreicht (s. Abb. 5). Für die Auslegung der Rückspiegel, die aus aerodynamischen Gründen im Inneren der Fahrgastzelle lokalisiert sind, konnte mit dem virtuellen Modell die optimale Position und das zu erwartende rückwärtige Sichtfeld ermittelt werden. Durch die Verwendung von sphärisch gekrümmten Spiegeln ist ein ausreichend großer Bereich hinter dem Fahrzeug durch eine optimale Positionierung der optischen Einrichtungen (Pos. S3 in Abb. 6) einsehbar.

### Zusammenfassung und Ausblick

Durch intensive und detaillierte virtuelle Untersuchungen wurde das Nachfolgemodell „Schluckspecht 6“ hinsichtlich Ergonomie und Sichtfeld weiter verbessert und notwendige konstruktive Maßnahmen ermittelt. Diese Erkenntnisse werden in die Fertigung an der Hochschule eingearbeitet. So ist neben dem zusätzlichen Seitenfenster auch eine diskomfortverringende Sitzauflage vorgesehen. Diese wird für eine bestmögliche Entlastung individuell an die Fahrerinnen angepasst. Der Pedalblock für die Fußbremse kann mit den gewonnenen Daten bauoptimal als leichtes 3D-Druck-Bauteil gefertigt werden. Beim Shell Eco-marathon 2020 wird das neue Fahrzeug erstmals eingesetzt. Durch die gewonnenen Erkenntnisse ist ein komfortableres und sichereres Fahren zu erwarten. Neben diesen Maßnahmen wird das neue Fahrzeug zudem noch leichter, aerodynamischer und erhält einen verbesserten Antriebsstrang. Ziel ist, mit dem neuen Schluckspecht den bisherigen Rekord von 640 km/kWh klar zu überbieten und weiterhin beste Platzierungen zu erreichen.

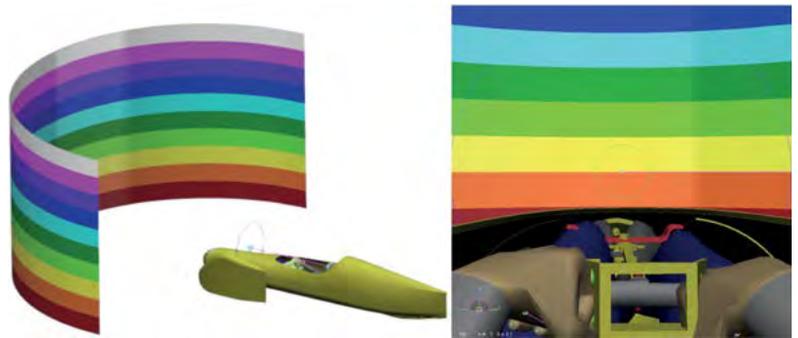


Abb. 4:  
Sichtfeldanalyse

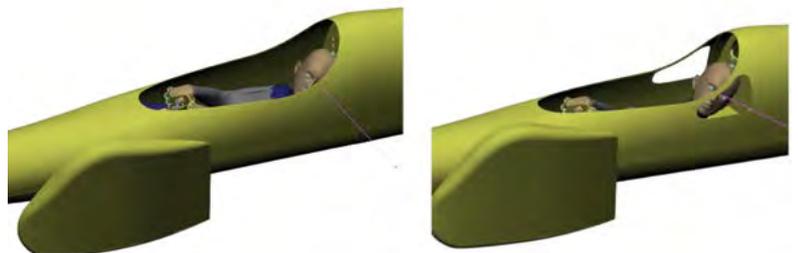


Abb. 5:  
Karosserie ohne und mit zusätzlicher Seitenscheibe

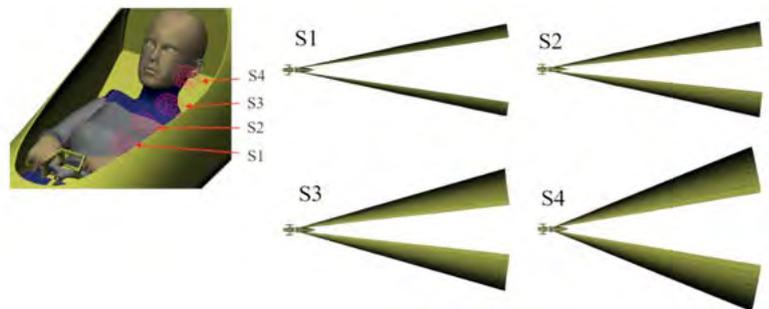


Abb. 6:  
Spiegelpositionen S1 bis S4 (li) und die sich daraus ergebenden Sichtfeldkegel in der Fahrzeugdraufsicht

#### AUTOREN



Fabian Beck B.Eng.  
Student M+V  
fbeck@stud.hs-offenburg.de



Prof. Dipl.-Ing. Claus Fleig  
Fakultät M+V  
Gesamtprojektleiter „Schluckspecht“  
claus.fleig@hs-offenburg.de

# Von wegen „konstant“!

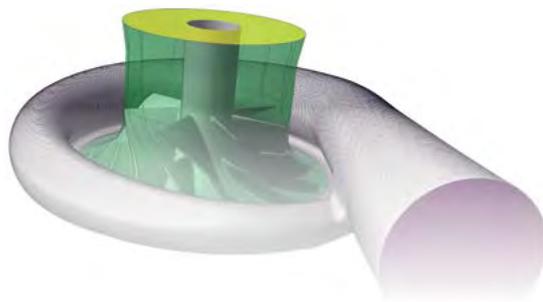
Prof. Dr.-Ing. Jörg Ettrich, Max Meier B.Sc.

Viele Methoden der Ingenieurwissenschaften – wenn nicht sogar die Mehrzahl – betrachten technische Maschinen und Apparate in einem beständigen Gleichgewichts- oder Beharrungszustand. Dies ist eine vereinfachende, oft aber auch notwendige Voraussetzung, um eine Auslegung, Dimensionierung bzw. Berechnung überhaupt erst zu ermöglichen. In der Realität hingegen sind diese Vorgänge alles andere als „gutmütig“ konstant, sondern vielmehr durch einen fortwährenden Wechsel, Fluktuationen und Veränderungen geprägt. Erweckt eine Maschine oder ein Apparat von außen betrachtet den Eindruck einer zeitlich konstant ablaufenden Einheit, so wird bei einer genaueren Betrachtung schnell klar, dass die im Detail ablaufenden Vorgänge i. d. R. inhärent nicht-konstant sind. Die Eigenschaft, dass eine oder mehrere charakteristische Größen eines Systems zeitlich variieren – gerade nicht konstant sind, wird hierbei als Instationarität oder auch Transienz bezeichnet. Für den Ingenieur stellt sich nun die Frage, welchen Einfluss diese transienten Vorgänge oder Instationaritäten haben, ob sie bei einer Auslegung oder Nachrechnung berücksichtigt werden müssen und ob sie überhaupt von den verwendeten physikalischen und mathematischen Modellen erfasst und beschrieben werden und am Ende mit welcher Genauigkeit?

*Many methods of engineering science – if not the majority – consider technical machines and devices in a constant state of equilibrium or steady-state. This is a simplifying, but often also a necessary prerequisite to enable a design, dimensioning or calculation in the first place. In reality, on the other hand, these processes are anything but „good-natured“ constant, but are rather characterized by constant change, fluctuation and alteration. If a machine or apparatus from the outside gives the impression of a unit that runs constantly over time, a closer look will quickly show that the processes running in detail are generally inherently non-constant. The property that one or more characteristic values of a system vary in time – are not constant – is called instationarity or transience. For the engineer, the question arises, what influence these transient processes or instationarities have, whether they have to be considered in a design or recalculation, and whether they captured and described by the physical and mathematical models used, and ultimately with what accuracy?*

## Anwendung Hochleistungsverdichter

Als wichtiges Beispiel für Anwendungen, bei denen instationäre Effekte von großer Bedeutung sind und bereits in einer frühen Phase des Entwurfs berücksichtigt werden müssen, seien an dieser Stelle die Turbomaschinen oder auch Strömungsmaschinen angeführt, die mit dem rotierenden Laufrad (Rotor) und ortsfesten Leitrad (Stator) Komponenten sowohl im rotierenden als auch im ruhenden Bezugssystem haben. Im Maschinenlabor der Hochschule Offenburg wird seit dem Jahr 2016 ein Sonderprüfstand für schnelldrehende Verdichter mit Drehzahlen von bis zu 200'000 Upm am Laufrad betrieben, an dem Themen aus Forschung und Inhalte aus der Lehre bearbeitet werden. Sowohl in Anwendungen aus dem Bereich der Energieerzeugungsanlagen als auch dem Bereich der Antriebssysteme kommt dem Verdichter eine besondere Bedeutung als Schlüsseltechnologie zu; Beispi-



le hierfür sind z. B. Anwendungen als Turbo-lader im Bereich der Fahrzeugtechnologie, Verdichter in Gasturbinen und Strahltriebwerken sowie Industrieverdichter. Die komplexen multi-physikalischen Problemstellungen (Aerodynamik, Mechanik, Wärmeübertragung, Materialverhalten, u.v.m.) sind auch heute noch eine besondere Herausforderung für die gesicherte Auslegung solcher Verdichter. Von besonderem Interesse sind hierbei u. a. detaillierte Untersuchungen komplexer aerothermodynamischer Fragestellungen wie das

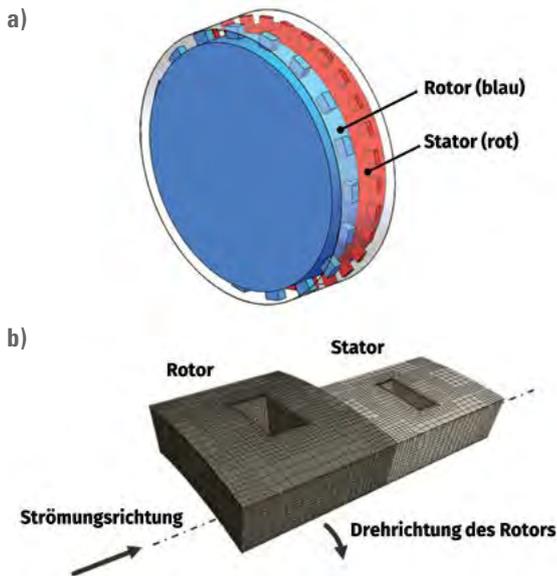


Abb. 1:  
Generischer Testfall für die Untersuchung unterschiedlicher Kopplungsmöglichkeiten der Bezugssysteme in Rotor (1500 min<sup>-1</sup>) und Stator; a) einfache quaderförmige Ersatzgeometrie für Rotor (12 Quader, blau) und Stator (30 Quader, rot); b) beispielhaftes Rechennetz für Rotor und Stator mit unterschiedlicher Periodizität bzw. ungleichmäßiger Überdeckung in Umfangsrichtung

Betriebsverhalten an der Stabilitätsgrenze (Pumpgrenze, rotating stall) oder die mechanische und thermische Wechselwirkung zwischen Strömung und Bauteilen.

### Kopplung unterschiedlicher Bezugssysteme

Um die Relativbewegung zwischen diesen Bauteilen und deren Auswirkung auf die Strömung durch diese Bauteile in einer Simulation realitätsnah zu erfassen, ist eine physikalisch und mathematisch korrekte Modellierung notwendig. Oft werden für die unterschiedlichen Bauteile lokale Bezugssysteme definiert; relativ zur betrachteten Komponente meist ruhende Bezugssysteme. Besondere Bedeutung kommt der Schnittstelle am Übergang zwischen diesen Bezugssystemen zu, die grundlegend in „stationäre“ und „instationäre“ Methoden unterschieden werden können, d. h. Methoden, die die Relativbewegung zwischen den Komponenten als zeitlich gemittelten bzw. stationären Effekt betrachten, und solche, die diese Wechselwirkung zeitlich aufgelöst erfassen. Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Methoden sowie der damit erzielbaren Ergebnissen werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse eines generischen Testfalls präsentiert, der mit einer einfachen quaderförmigen Geometrie die Verhältnisse zweier unterschiedlicher Schaufelreihen aus Rotor und Stator einer Strömungsmaschine widerspiegelt (vgl. Abb. 1).

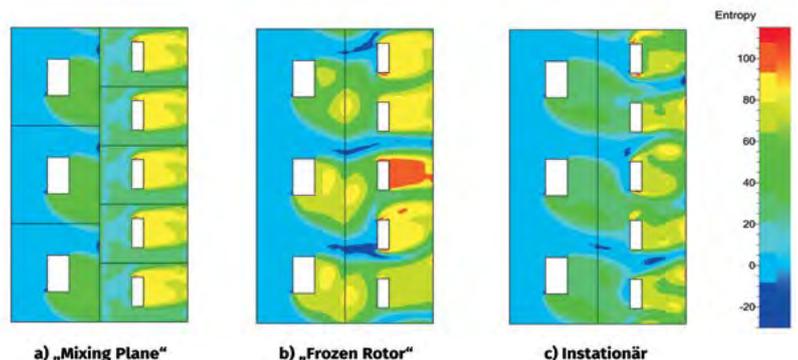
Die vergleichsweise einfache Geometrie und ein Rechennetz geringer Auflösung erlauben eine schnelle Umsetzung und einen qualitativen Vergleich der unterschiedlichen Methoden zur Kopplung der

Bezugssysteme in Rotor und Stator. Exemplarisch wird für den Vergleich der Ergebnisse die thermodynamische Größe Entropie herangezogen (Referenzwert bei 293 K und 1 bar). Als Konvergenz- bzw. Qualitätskriterium wurden zudem alle Simulationen bis zu einem voll eingeschwungenen Zustand der Erhaltungsgröße Massenstrom am Ein- und Austritt des Rechengebiets durchgeführt.

Alle Untersuchungen werden hierbei mit den CFD-Simulationsumgebungen FINE™ / Turbo und FINE™ / Open durchgeführt – speziell auf den Anwendungsbereich der Strömungsmaschinen ausgerichteten Werkzeugen aus dem Haus NUMECA. Die Software ermöglicht die vollautomatisierte Erstellung von qualitativ hochwertigen strukturierten Netzen für Beschauelungen sowie qualitativ hochwertigen unstrukturierten Gittern ausschließlich aus Hexaeder-Elementen.

Bei den stationären Methoden unterscheidet man im wesentlichen die sog. „Frozen Rotor“- sowie die sog. „Mixing Plane“-Methode [1-4]. Bei Letzterer wird an der Schnittstelle zwischen den Komponenten Rotor und Stator – dem sog. Rotor-Stator Interface – nur ein umfangsgemittelter Wert ausgetauscht – ganz anschaulich lehnt man sich hier an der Vorstellung an, dass für den schwankenden Zeiger eines Messgeräts in der Praxis ebenfalls oft lediglich ein Mittelwert erfasst wird. Durch die Mittelung in Umfangsrichtung am Rotor-Stator-Interface wird die Einschränkung hinsichtlich der Periodizität der Komponenten hinfällig. Es ist ausreichend jeweils nur einen Schaufelkanal des Rotors und des Stators zu modellieren – ein immenser Vorteil im Hinblick auf Rechenzeit und Speicherplatzbedarf. Auf der anderen Seite geht durch den Austausch eines umfangsgemittelten Ergebnisses am Rotor-Stator-Interface jegliche Information über den sog. Nachlauf der Strömung hinter dem Rotor verloren. So ist z. B. trotz ungleicher Teilungen in Rotor und Stator die Strömung in jeder Schaufelpassage des Stators identisch (vgl. Abb. 2a).

Abb. 2:  
Vergleich der Entropie als Farbverteilung auf 50% Kanalhöhe für Berechnungen mit den Kopplungsmethoden a) „Mixing Plane“, b) „Frozen Rotor“ und c) „Instationär“



Die „Frozen Rotor“-Methode ist schlicht eine Momentaufnahme des wirklichen Vorgangs, das heißt, die Relativbewegung zwischen Rotor und Stator wird also vernachlässigt und somit kann die „zeitliche Historie“ der Strömung nicht abgebildet werden (vgl. Abb. 2b). Dabei müssen beide Komponenten am Rotor-Stator-Interface gleiche Querschnitte aufweisen, damit die Massenerhaltung bzw. Kontinuität gewährleistet wird. Dies bedeutet i. d. R. gleiche Periodizität bzw. räumliche Ausdehnung in Umfangsrichtung. Für Strömungsmaschinen mit einer unterschiedlichen Anzahl von Schaufeln in Rotor und Stator bedeutet dies, dass ein möglichst hoher größter gemeinsamer Teiler (ggT) der Schaufelzahlen gefunden werden muss, um die Größe des zu modellierenden Gebiets möglichst gering zu halten. Für den untersuchten Testfall wurden drei Passagen des Rotors und fünf des Stators modelliert.

Die beiden genannten Methoden erlauben leider keine exakte Erfassung der zeitlichen Wechselwirkung zwischen den Komponenten, weshalb hierfür nur die Modellierung der zeitlich aufgelösten instationären Strömung unter Berücksichtigung der Relativbewegung zwischen dem rotierenden und ortsfesten Bezugssystem in Rotor und Stator infrage kommt. Abbildung 2c zeigt das Ergebnis einer instationären Berechnung. Die Relativbewegung zwischen den Bezugssystemen wurde mit 50 Positionen aufgelöst, und wiederum wurden drei Passagen des Rotors und fünf des Stators modelliert.

Um den Modellierungsaufwand zu begrenzen, wird in der Praxis dabei häufig ein sog. „domain-scaling“ angewendet [1-4] – hierbei werden die Schaufelzahlen in Rotor und Stator so angepasst, dass ein möglichst hoher ggT erreicht wird und die Verfälschung der Geometrie gleichsam geringfügig bleibt. Außer Frage steht, dass die damit einhergehende Modifikation der Geometrie einen ganz bewussten offensichtlichen Modellfehler darstellt, dessen Einfluss a priori nicht quantifiziert werden kann. Demgegenüber steht die genaueste Vorgehensweise, die Modellierung der Rotor- und Stator-Geometrie unter Einhaltung der realen Periodizitäten, die im ungünstigsten Fall eine Vernetzung aller Beschaukelungen in Umfangsrichtung notwendig macht – für z. B. ein Verhältnis von 13:17 Schaufeln in Rotor und Stator, gibt es keinen ggT > 1; bei der Auslegung von Turbomaschinen werden die Schaufelzahlen oft bewusst so gewählt, um z. B. die Anregung von Schaufelschwingungen zu minimieren.

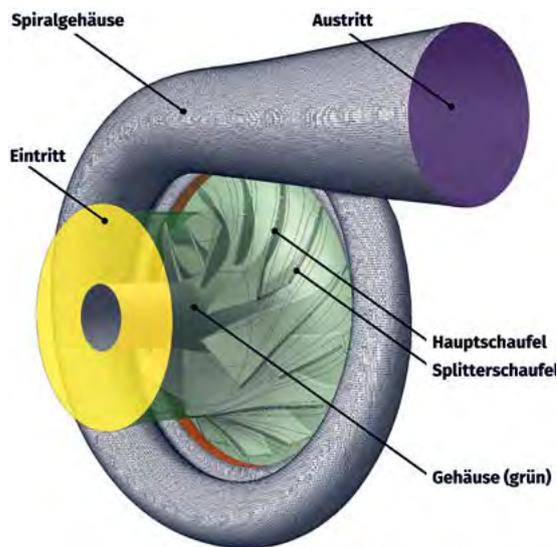


Abb. 4:  
Computermodell des Hochleistungsverdichters; Laufrad mit Haupt- und Splitterschaufeln sowie Spiralgehäuse

In den letzten Jahren haben sich Methoden etabliert, die davon ausgehen, dass sämtliche instationären Effekte maßgeblich durch die sog. Schaufelpassierfrequenz angeregt werden. In allen Schaufelpassagen treten demnach die gleichen Phänomene auf, jedoch zeitlich phasenverschoben. Bei der sog. Non-Linear-Harmonic-(NLH-)Methode wird die von Ort und Zeit abhängige Strömungsgeschwindigkeit in einen zeitlichen Mittelwert und in eine Summe aus periodisch auftretenden Variationen aufgeteilt. Es wird davon ausgegangen, dass es sich bei den Variationen um periodische Funktionen handelt, weshalb diese sich durch eine Fourier-Reihe darstellen lassen. Je größer dabei die Anzahl der Summanden – der sog. Harmonischen –, desto genauer wird die Ausgangsfunktion angenähert, und die Koeffizienten der Fourier-Reihe werden aus dem zeitlichen Mittelwert und der Winkelgeschwindigkeit der einzelnen Harmonischen bestimmt, vgl. [5, 6]. Da die instationären Effekte nun als harmonische Schwingungen vorliegen, kann die sog. Methode der harmonischen Balance angewendet werden, das heißt, über eine Darstellung im Frequenzbereich ist es damit möglich, nichtlineare instationäre Differentialgleichungen in lineare stationäre Gleichungen zu überführen [5, 7]. Größter Vorteil der NLH-Methode ist dabei, dass für die Modellierung der instationären Strömung in den unterschiedlichen Bezugssystemen die Berücksichtigung jeweils nur einer Schaufelpassage ausreichend ist. Dadurch führt dieser Ansatz trotz einer höheren Anzahl zu lösender Gleichungen zu einer signifikanten Reduzierung der Rechenzeit und des Speicherplatzbedarfs im Vergleich zu klassischen o. g. Berechnungsmethoden, bei denen in diskreten Zeitschritten unterschiedliche Relativpositionen zwischen Rotor und Stator berechnet werden müssen. Die Genauigkeit der Ergebnisse nimmt mit der Anzahl an berücksichtigten Harmonischen zu, ebenso der

Referenzen/References:  
 [1] NUMECA International, „User Guide“, Brussels Belgium, 2020  
 [2] Rai, M. M., „Navier-Stokes Simulations of Rotor/Stator Interactions Using Patched and Overlaid Grids“, AIAA Journal of Propulsion and Power, Vol. 3, No. 5, Sept., 1987, pp. 387-396.  
 [3] Denton J. D., „The calculation of three dimensional viscous flow through multistage turbomachines“, ASME, 1990. 90-GT-19  
 [4] Hall E. J., „Aerodynamic modelling of multistage compressor flow fields Part 1: Analysis of rotor-stator/rotor aerodynamic interaction“, Proc Inst Mech Eng Part G-J Aerosp Eng, 1998, 212: 77–89  
 [5] He, L., „Fourier methods for turbomachinery applications“. In: Progress in Aerospace Sciences 46, 2010  
 [6] Adamczyk, J. J., „Model equation for simulating flows in multistage turbomachinery“. In: 30th Internat. Gas Turbine Conference and Exhibit, Houston, Texas, 1985  
 [7] Palenschat, T., „Modeling Unsteady Flow in Turbomachinery Using a Harmonic Balance Technique“, RWTH Aachen University, Aachen, 2014

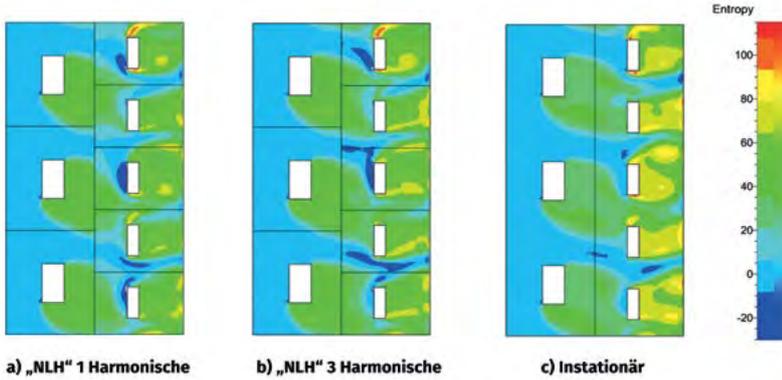


Abb. 3: Vergleich der Entropie als Farbverteilung auf 50% Kanalhöhe für Berechnungen mit den Kopplungsmethoden a) „NLH“ 1 Harmonische, b) „NLH“ 3 Harmonische und c) „Instationär“

Rechenaufwand, wobei für übliche technische Anwendungen die Berücksichtigung von zwei bis fünf Harmonischen genügt, um die Strömung mit sehr guter Genauigkeit abzubilden.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse aus zwei Berechnungen mit der NLH-Methode, jeweils mit einer und drei Harmonischen, dem Ergebnis der instationären Simulation gegenübergestellt. Wenngleich der Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit – hier nicht dargestellt – qualitativ nahezu keine Unterschiede aufweist, erlaubt die Verteilung der Entropie in Abbildung 3 eine Unterscheidung. An der Schnittstelle zwischen Rotor und Stator ist für die NLH-Berechnung mit nur einer Harmonischen eine deutliche Diskontinuität im Strömungsverlauf erkennbar. Mit bereits drei Harmonischen nähert sich das Ergebnis qualitativ sehr gut an die instationäre Referenz an, während die absoluten Werte der Entropie insgesamt etwas geringer ausfallen.

Methode	abs. Rechenzeit [ s ]	spez. Rechenzeit [ s/Gitterpunkt/Iteration ]	Arbeitsspeicher [ MB ]	Gitterpunkte
Mixing Plane	7	$- 2 \times 10^{-05}$	220	44'000
Frozen Rotor	23	$- 2 \times 10^{-05}$	550	200'000
Instationär	1306	$- 2 \times 10^{-05}$	550	200'000
NLH	86	$- 8 \times 10^{-05}$	300	44'000

Tab. 1: Vergleich der unterschiedlichen Methoden hinsichtlich Rechenzeiten und Speicherbedarf

Alle Testrechnungen wurden auf einer Workstation mit einem Intel Xeon E5620 2,4 GHz-Prozessor (4 Kerne/8Threads) durchgeführt; Rechenzeiten und Speicherplatzbedarf sind in Tabelle 1 aufgeführt. Während die „Mixing Plane“-Methode am schnellsten Ergebnisse liefert, ist sie nach dem qualitativen Vergleich die ungenaueste Methode. Die spezifische Rechenzeit – Sekunden pro Gitterpunkt und Iteration – zeigt für die drei klassischen Methoden „Mixing Plane“, „Frozen Rotor“ und „Instationär“ nahezu identische Werte, da das grundlegende mathematische Modell identisch ist. Die absoluten Werte weichen jedoch aufgrund des unterschiedlichen Modellierungsaufwands erheblich voneinander ab. Wenngleich die spezifische Rechenzeit für die NLH-Methode für diesen Testfall um Faktor vier auf einen Wert

angestiegen ist, genügt die Modellierung je einer Schaufelpassage, weshalb die absolute Rechenzeit lediglich ein 1/15 der instationären Methode bei qualitativ und quantitativ sehr guten Ergebnissen beträgt.

### Anwendungsfall

Im Rahmen dieser Arbeit wird der an der Hochschule installierte transsonische Hochleistungsverdichter der Firma ROTREX samt Spiralgehäuse als Beispiel bearbeitet (vgl. Abb. 4). Das Laufrad hat sieben Haupt- und Splitterschaufeln und wurde unter Berücksichtigung der fertigungsbedingten Radien an den Schaufelfüßen sowie der Radialspalte zwischen Schaufeln und Gehäuse modelliert. Das gesamte Berechnungsmodell umfasst etwa 2,77 Millionen Gitterpunkte, wobei durch den Einsatz der NLH-Methode lediglich eine Schaufelpassage des Laufrads mit einer Haupt- und Splitterschaufel sowie das Spiralgehäuse vernetzt wurde (Teilungsverhältnis 7:1). In dieser Konfiguration wurden insgesamt acht Punkte einer Betriebskennlinie bei einer Drehzahl von 50'000 Upm nachgerechnet, wobei als Randbedingungen jeweils die Drehzahl, der Totaldruck und die statische Temperatur am Eintritt sowie der mittlere statische Druck am Austritt vorgegeben wurden. Für die NLH-Methode wurden drei Harmonische berücksichtigt. Auf einem Rechner mit zwei Intel Xeon E5620 2,4 GHz-Prozessoren und 16 Rechenkernen konnte so eine stationäre Lösung mit der „Mixing Plane“-Methode in ca. 4,5 Stunden erzielt werden. Die Simulation eines Betriebspunkts mit der NLH-Methode erforderte eine Rechenzeit von etwa 50 Stunden. Im Vergleich hierzu ergibt die Hochrechnung für eine vergleichbare instationäre Berechnung eines Betriebspunkts aus den bislang erzielten Erfahrungswerten eine Rechenzeit von ca. 50 Tagen (!) – das heißt, die Rechenzeit konnte um den Faktor 24 reduziert werden.

Die Abbildung 5 zeigt den Vergleich der nachgerechneten Betriebspunkte (rot) im Vergleich zu den Kennfelddaten des Herstellers. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung sowohl des Kennlinienverlaufs als auch der absoluten Werte. Bemerkenswert ist an dieser Stelle, dass der mit „\*“ gekennzeichnete Betriebspunkt bereits im sog. „off-design“ jenseits der Stabilitätsgrenze der Maschine liegt. Bei einer detaillierten Auswertung einer Lösung mit der NLH-Methode kann für diesen Betriebspunkt das Phänomen eines rotierenden Strömungsabrisses sichtbar gemacht werden (Abb. 6). Exemplarisch für den unterschiedlichen Informationsgehalt ist in Abbildung 7 die

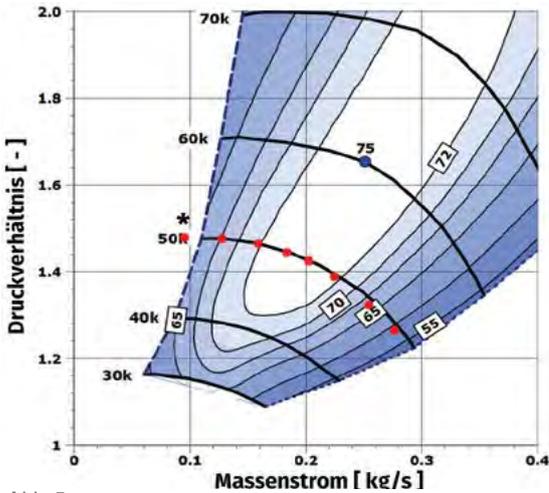


Abb. 5: Vergleich der berechneten Betriebspunkte (rot) mit den Kennfelddaten des Herstellers

Verteilung der Entropie für den Querschnitt durch die Gesamtkonfiguration einmal für die stationäre („Mixing plane“) und einmal für die beispielhafte Relativposition aus einer instationären (NLH-)Lösung dargestellt. Während die stationäre Lösung ohne zeitliche Auflösung der Wechselwirkung globale Größen gut wiedergibt, werden die lokalen Effekte des Laufrads an der Schnittstelle zum Spiralgehäuse gemittelt und haben nur eine eingeschränkte Aussagekraft über das Strömungsfeld stromab. Im Vergleich zur instationären Lösung, in der die Effekte des Rotornachlaufs eine deutliche Wirkung bis in das Spiralgehäuse zeigen, sind diese in der stationären Rechnung zeitlich „verschmiert“ und lokale Extremwerte werden nicht abgebildet. Insbesondere für eine Beurteilung der thermisch und mechanisch wechselnden Beanspruchungen von Komponenten ist die Erfassung des tatsächlichen Lastkollektivs von besonderer Bedeutung und somit eine instationäre Auswertung unabdingbar.

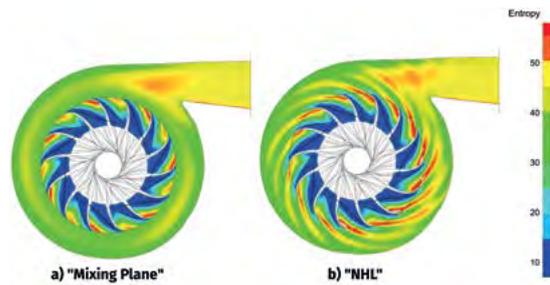


Abb. 7: Vergleich der Verteilung der Entropie auf einem Querschnitt durch die Gesamtmaschine a) für eine stationäre und b) für einen beispielhafte Zeitpunkt einer instationären (NLH-)Lösung

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse sowohl der Testrechnung als auch des Anwendungsfalls sind äußerst vielversprechend im Hinblick auf die Reduzierung des Modellierungsaufwands, der Rechenzeit und des Speicherbedarfs für instationäre Untersuchungen im Allgemeinen sowie der komplexen transsonischen Strömung in einer Turbomaschine. Die Simulationsergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Referenzdaten, und selbst komplexe, instationäre physikalische Phänomene konnten erfasst werden.

Diese Arbeit ist als Validierung der NLH-Methode die Ausgangsbasis und Grundlage für weitere nun folgende Forschungsarbeiten im Bereich der Aerothermodynamik von Hochleistungsverdichtern, wobei die Ergänzung von numerischen Untersuchungen am digitalen Modell mit experimentellen Arbeiten am Verdichterprüfstand der Hochschule Offenburg eine vielversprechende Kombination sind.

### AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Jörg Ettrich, M.Sc.  
Fakultät M+V, Stv. Institutsleiter IUAS  
Thermodynamik, Strömungslehre, Strömungsmaschinen, Numerische Fluidmechanik, Gasdynamik  
joerg.ettrich@hs-offenburg.de



Max Meier B.Sc.  
Fakultät M+V,  
Studierender im Studiengang MME im Wintersemester 2019/20  
max.meier@stud.hs-offenburg.de

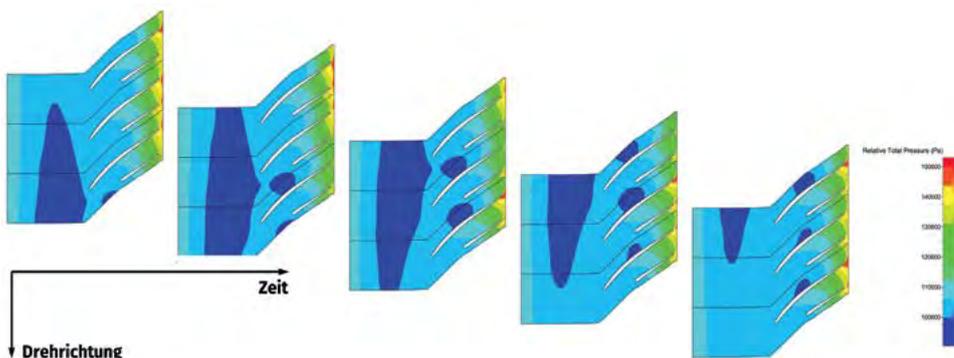


Abb. 6: Simulation eines Betriebspunkts im „off-design“ und numerische Simulation des Phänomens des rotierenden Strömungsabrisse. Deutlich kann der Bereich niedrigen relativen Totaldrucks wahrgenommen werden, der in einer zeitlichen Abfolge auf einer Schnittebene bei 50 % Schaufelhöhe entgegen der Drehrichtung durch das Laufrad wandert.

# DYNAMIK PRÄZISION *WEGWEISEND*

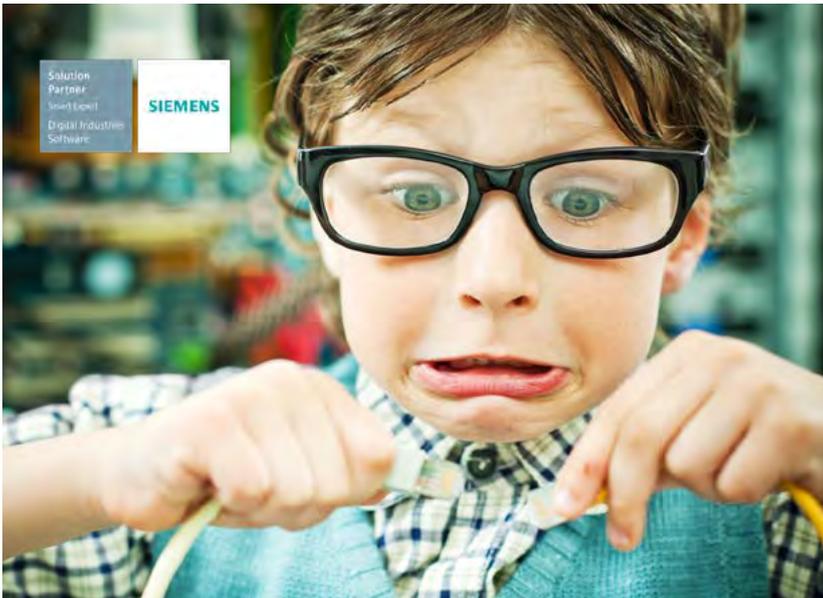
Die JUNKER Gruppe entwickelt, produziert und vertreibt hochpräzise Schleifmaschinen sowie innovative Filtrationslösungen. Dem intensiven Dialog mit anspruchsvollen Kunden aus aller Welt verdankt die JUNKER Gruppe eine einzigartige Lösungskompetenz, die Sie zum Impulsgeber der kompletten Branche macht.

Für einen perfekten Start ins Berufsleben, bieten wir Ihnen ein zu Ihren Kompetenzen und Fähigkeiten optimal passendes Jobprofil, das vollkommen neue Zukunftsperspektiven eröffnet.

Dynamisch erfolgreich sein!

[www.junker-group.de/karriere](http://www.junker-group.de/karriere)





## Lust auf Digitalisierung?

Ob als Student oder Absolvent - hier warten spannende Aufgaben auf Sie!

- Praktika
- Abschlussarbeiten
- Werkstudententätigkeiten
- Jobs für Berufseinsteiger

[www.bct-technology.com](http://www.bct-technology.com)



Innovative Software aus Willstätt • Siemens Digital Industries Software Partner • Teil der Unternehmensgruppe Badische Stahlwerke GmbH





# GeneSys

Sensor & Navigation Solutions

**Seit 1996 betreuen wir Studenten in diesen Bereichen:**

- ▲ Automotive Testing Equipment
- ▲ Sensorik für Baumaschinen & Tunnelling
- ▲ Neigungs-, Kreisel-, Laser-Messtechnik
- ▲ Industrielle Bildverarbeitung

**Sitz in Offenburg**

GeneSys Elektronik GmbH | In der Spöck 10 | 77656 Offenburg | T 0781 969279-0 | [www.genesys-offenburg.de](http://www.genesys-offenburg.de)

**Suchen sie ein Thema für Ihre Thesis?  
Dann sprechen Sie uns an!**



SQ-9002BM60005  
DIN EN ISO 9001:2008



- Reinschnupern und die beste Spürnase entwickeln
- Gasmess- und Gasspürgeräte
- Digitale Gasrohrnetzüberprüfung

[www.schuetz-messtechnik.de](http://www.schuetz-messtechnik.de)

# MEDIEN UND INFORMATIONSWESEN

Die Fakultät Medien und Informationswesen zeichnet sich durch ihre hohe Interdisziplinarität in Lehre und Forschung aus. Dieser besondere Charakter wird durch verschiedene inhaltliche Schwerpunkte in den Disziplinen der Medientechnik, der Medienwirtschaft, der Medieninformatik und der Mediengestaltung geprägt.

2019 wurden in den unterschiedlichen Mediendisziplinen einige interessante Drittmittelprojekte bearbeitet. Im Bereich IT-Sicherheit ist zum Beispiel das Projekt „ML-Sec II“ zu nennen. In diesem Rahmen wird in Kooperation mit der Wirtschaft untersucht, wie Methoden des maschinellen Lernens für die Erkennung von Malware eingesetzt werden können. Auch wird ein spannendes Interreg-Projekt mit der Universität Straßburg verfolgt. So sollen im Zug von „RhinEdits“ in Baden, dem Elsass und der Schweiz private Amateurfilme der letzten hundert Jahre für die Nachwelt gesichert werden, bevor sie als wichtige Dokumente der regionalen Geschichte durch Entrümpelung oder Verfall verloren gehen. Gleichzeitig beschäftigt sich ein weiteres Projekt mit dem Klimawandel am Oberrhein: Clim'Ability Design (CAD) schlägt vor, die allgemeinen Trends der Folgen des Klimawandels auf der Ebene von Unternehmen und Geschäftsbereichen anzupassen, um zum Beispiel Antworten in Bezug auf das Wohlbefinden am Arbeitsplatz zu finden. Ebenso ist die Gestaltung von User Interfaces und die Analyse der damit eng verbundenen User Experience ein typisches Forschungsfeld der Fakultät, mit dem sich viele Kolleginnen und Kollegen aus unterschiedlichen Perspektiven auseinandersetzen.

Eine weitere Besonderheit der Fakultät sind Ideenwettbewerbe, kulturelle Veranstaltungen, künstlerische Ausstellungen und Performances. Dabei sind die SHORTS als trinationales Filmfestival seit 20 Jahren eine wichtige Plattform, um die mediale und filmgestalterische Kompetenz der Studierenden öffentlichkeitswirksam zu präsentieren. Darüber hinaus existiert an der Fakultät das Innovationsnetzwerk THINK NEW, um verschiedenste Organisationen aus Wirtschaft, Kultur und Gesellschaft mit den Studierenden zu vernetzen.

Daneben zeigt sich die interdisziplinäre Vielfalt der Fakultät aber auch in zahlreichen Publikationen und der jährlich im Sommer stattfindenden WERKSCHAU. Bei diesem besonderen Event werden Projekt- und Abschlussarbeiten aus den Bereichen der Mediengestaltung, der Medieninformatik, der Medienwirtschaft und der Medientechnik präsentiert. Darüber hinaus werden Installationen, Illustrationen sowie Medienproduktionen ausgestellt und die Filmhighlights aus den vergangenen Semestern gezeigt. Bei den aktuellen Publikationen stehen hingegen Themenfelder wie die „Autonomie des Menschen versus autonome Systeme“ oder das Gebiet „Teilhabe und Emotionen im Marketing“ im Zentrum. Beispielhafte Einblicke in die Forschungsarbeit der Fakultät geben die nachfolgenden Beiträge.

*Dekanin Prof. Dr. rer. pol. Ute Rohbock*



# Project OVVL

## Threat Modeling Support for the entire secure development lifecycle

Prof. Dr. phil. Andreas Schaad M.Sc.

OVVL (the Open Weakness and Vulnerability Modeller) ist ein Tool und Methodik, um Bedrohungsmodellierung schon in den frühen Phasen eines sicheren Software-Lebenszyklus zu unterstützen. Wir geben einen Überblick über OVVL(<https://ovvl.org>), sein Datenmodell und Browser-basierte Oberfläche. Zudem diskutieren wir, wie identifizierte Bedrohungen in der Designphase mit späteren Aktivitäten (automatisierte Schwachstellenanalyse und Testen) abgeglichen werden können.

*OVVL (the Open Weakness and Vulnerability Modeller) is a tool and methodology to support threat modeling in the early stages of the secure software development lifecycle. We provide an overview of OVVL (<https://ovvl.org>), its data model and browser-based UI. We equally provide a discussion of initial experiments on how identified threats in the design phase can be aligned with later activities in the software lifecycle (issue management and security testing).*

### Introduction

Threat Modeling is an effort to identify potential security design flaws and vulnerabilities as early as possible in the software development lifecycle to avoid costly fixes and re-engineering activities in the later stages. Apart from STRIDE [Sh14] and TAM2 [SB12], surprisingly little has been done so far regarding practical and lightweight “hands-on” methodologies as well as automated tool support - although it is conventional wisdom that early identification of security issues is good engineering and management practice. We thus present OVVL, a methodology and tool that integrates into the different stages of the software lifecycle to further drive technical and managerial acceptance of threat modeling. The goal is to not only identify vulnerabilities, but to track them throughout the later lifecycle stages and thus increase the quality of cybersecurity in real-world systems.

### OVVL (the Open Weakness and Vulnerability Modeller)

#### Underlying Methodology & Data Model

OVVL [Sch20], [SR19] is based on (an extends) the commonly accepted STRIDE methodology for threat modeling [Sh14]. A complex system design can be abstracted to data flow diagrams and a first match is made with respect to possible STRIDE threats (Spoofing, Tampering, Repudiation, Information Disclosure, Denial, Elevation of Privileges). What distinguishes the OVVL approach from the known

body of work is that the OVVL data model allows to enrich a design with information about the components that may be used for realising a system. For example, a software architect can describe that the underlying database will be a MongoDB with a certain release level. Based on that information, OVVL will query existing vulnerability databases and identify existing CVE entries, i.e. known and reported vulnerabilities. Information about the identified threats (at design level) and known vulnerabilities (at operational level) can then be pushed to available tooling in the software development lifecycle. In the context of this paper we discuss bug tracking and vulnerability testing.

#### Technical Architecture

OVVL is a pure web application enabled by Spring Boot. The javascript application logic is consumed through an Angular UI / frontend. Data is managed in a MongoDB and all OVVL services are available through Swagger-generated REST APIs. The OVVL server can be operated as a virtual machine to be used internally where required.

#### Case Study 1: Threat modeling of a cloud application (CloudProtect)

OVVL has been developed as part of the CloudProtect project [CP2018] and is now used to provide an initial security analysis of the CloudProtect architecture (Figure 1). This analysis yielded over a dozen potential design threats and 5 known existing major vulnerabilities (CVE entries > 7.0) which at this stage of the project serves as a good basis for technical discussions.

Model 74f3bd3d-8374-4315-8940-589662688a42

Available Scanners:  openvas  nmap\_vulners  openvas  nessus

OVVL-Type	Name	Type	# CVEs	CPE	CPE Name	IP	scope
interactor	Browser	Browser	0			192.168.2.120	<input type="checkbox"/>
interactor	Handy Linux	Generic Interactor	0			192.168.2.120	<input type="checkbox"/>
datastore	Userdata	Non-Relational Database	7	Apache Software Foundation CouchDB 1.0.0	cpe:/a:apache:couchdb:1.0.0	192.168.2.110	<input type="checkbox"/>
datastore	Log Database	Generic Data Store	26	PostgreSQL PostgreSQL 9.3	cpe:/a:postgresql:postgresql:9.3	192.168.2.125	<input type="checkbox"/>
process	Application Server	Web Server	20	Apache Software Foundation Apache HTTP Server 2.2.20	cpe:/a:apache:http_server:2.2.20	192.168.2.125	<input type="checkbox"/>
process	Userdata Database	Web Server	591	Microsoft Windows 7 64-bit Service Pack 1 (initial release)	cpe:/o:microsoft:windows_7-sp1-x64	192.168.2.119	<input type="checkbox"/>
process	Load Balancer	Web Server	3	Nginx 1.15.2	cpe:/a:nginx:nginx:1.15.2	192.168.2.117	<input type="checkbox"/>

CVE-ID	Publish date	Update Date	Score	Access	Complexity	Authentication	Availability Impact	Confidentiality Impact	Integrity Impact
CVE-2018-16843	2018-11-07	2018-12-12	7.8	Network	Low	None	Complete	None	None
CVE-2019-16844	2019-11-07	2018-12-12	7.8	Network	Low	None	Complete	None	None
CVE-2018-16845	2018-11-07	2019-02-01	5.8	Network	Medium	None	Partial	Partial	None

Fig. 1: OVVL Model of CloudProtect (with examples of threats and vulnerabilities)

### Case Study 2: Retrospect Threat Modeling (green&easy)

We used OVVL to model a web application called “green&easy” [Eb19]. The interesting fact here is that the responsible architect was not security trained and used OVVL in retrospect after he and his team had already provided a first working proof of concept.

The OVVL-based system design consisted of 2 interactors, 7 processes, 1 database grouped over 4 trust boundaries. 22 threats were automatically identified by OVVL out of which 20 threats were deemed as critical enough to be pushed into the projects issue tracker (Zoho). The majority of these identified threats (16) addressed possible elevation of privileges. On basis of the provided metadata, 13 immediate vulnerabilities were flagged with respect to used components such as MongoDB, ExpressJS and Redux. In fact, the analysis made in [Eb19] provides detailed estimates that the overall design effort is even reduced from 808 to 702 developer hours when using OVVL (now already including a detailed threat and vulnerability analysis).

### OVVL Integration into the Secure Development Lifecycle

#### Bugtracker Integration

OVVL supports integration with the Zoho bugtracker. This allows to automatically push identified threats and associated metadata into an off-the-shelf project management tool (Figure 2). Based on this, a project manager can track whether identified threats or vulnerabilities are resolved throughout the project lifecycle. A detailed analysis of the Zoho API and corresponding data items in OVVL has been provided [Eb19].

#20-12  
Spoofing

von jonathan.eberle am 04-20-2019 06:42 PM

Status: **Offen**

Beschreibung \*

Fehler-Informationen

Zuordnen zu	jonathan.eberle	Fällig am	06-28-2019 12:00 AM
Status	Offen	Schweregrad	Medium
Veröffentlichungsmeth...	Complete OWL Tasks	Betroffener Meilenstein	Complete OWL Tasks
Reproduzierbarkeit	Nicht anwendbar	Klassifizierung	Security
Modul	OVVL	Markierung	Intern
OVVL Bug Art	Threat	Anwendbarkeit	strenu
Datenfluss Quelle	MongoDB	Datenfluss Ziel	ExpressJS
Datenfluss Art	Generic Data Flow	NVD Link	Nicht anwendbar
Interactor/Process/DB	Nicht anwendbar		

Fig. 2: OVVL Threat managed in the Zoho Bugtracker

### Vulnerability Testing

As described earlier, OVVL can help to identify design threats as well as existing vulnerabilities. We thus analysed whether reported CVEs can be used as a reference when applying automated vulnerability scanners such as Nessus (as well as openvas and nmap\_vulners) in the later stages of the software lifecycle. As shown in figure 3, a test engineer can then identify whether an issue reported by Nessus had already been identified in OVVL (and thus early) or whether a new vulnerability was found. OVVL provides the needed interfaces and reporting UIs to Nessus.

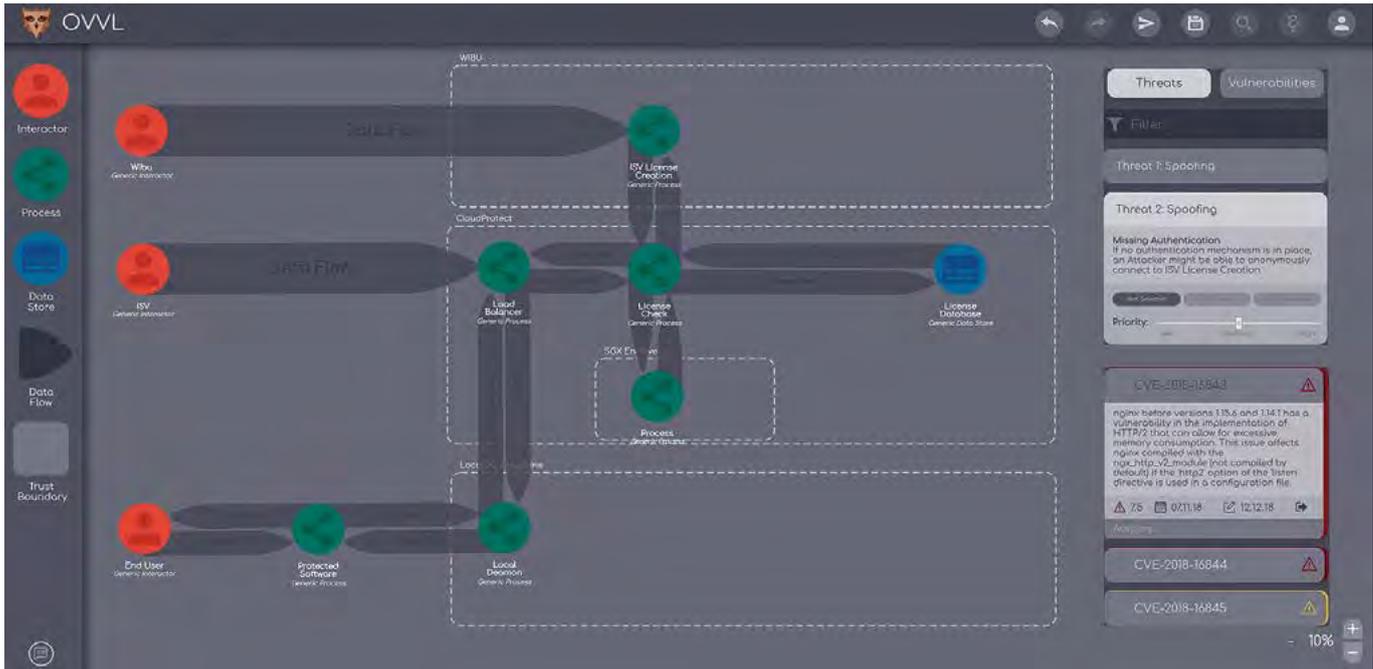


Fig. 3: OVVL data used by vulnerability scanners (Nessus, nmap-vulners, openvas)

## Summary & Conclusion

OVVL is an open-source project available at <https://github.com/OVVL-HSO>. OVVL differs from existing open source tools by distinguishing between design threats and technical vulnerabilities. OVVL data can be used by other tools in the development chain such as issues trackers or vulnerability scanners.

OVVL is used as part of hands-on teaching activities in the ENITS and UNITS courses. Currently we are working on adopting Machine-Learning methods in the context of automated threat modelling.

An open problem is which source data threat modelling tools such as OVVL are using. We have already demonstrated that we can use a text classification system to derive a „threat catalogue“ from openly available threat and vulnerability databases such as CVE and CWE (<https://github.com/OVVL-HSO/Threat-Catalogue>). This approach allowed us to generate a threat catalogue containing several hundred threats that can be used to analyze architectural models for potential design and deployment problems.

**AUTOR**



**Prof. Dr. phil. Andreas Schaad M.Sc.**  
Fakultät M+I, Professor für IT-Sicherheit  
[andreas.schaad@hs-offenburg.de](mailto:andreas.schaad@hs-offenburg.de)

Referenzen/References:  
 [Sch20] Project OVVL - Threat Modeling Support for the entire secure development lifecycle. GI Sicherheit 2020: 121-124  
 [Eb19] Jonathan Eberle: „Konzeption eines agilen Software-Sicherheitsmanagements am Beispiel einer Mobile App“, Hochschule Offenburg, 2019, Nr. 1676005854  
 [SB12] Andreas Schaad, Mike Borozdin “TAM2: Automated threat analysis”, ACM SAC 2012  
 [Sh14] Adam Shostack “Threat Modeling: Designing for Security” Wiley, 2014  
 [SR19] Andreas Schaad, Tobias Reski: „Open Weakness and Vulnerability Modeler“ (OVVL): An Updated Approach to Threat Modeling. ICETE (2) 2019: 417-424  
 [CP2018] BMBF KMU-Innovativ “CloudProtect“ FKZ: 16KIS0850

# Autonomie des Menschen versus autonome Systeme

Prof. Dr. phil. Ralf Lankau

Die Diskussionen über Bedeutung und Folgen der Digitalisierung sind kaum noch überschaubar. Einig sind sich die meisten, dass Digitalisierung und sogenannte „Künstlicher Intelligenz“ (sKI) sowohl „alternativlos“ wie entscheidend für die Zukunft seien. Was aber verbirgt sich an technischen Systemen hinter Schlagworten wie Big Data, Künstliche Intelligenz und autonome Systeme und welche Konsequenzen können diese Systeme für den Einzelnen haben?

*The discussions about the significance and consequences of digitisation are hardly manageable. Most agree that digitisation and so-called „artificial intelligence“ (sKI) are both „without alternative“ and crucial for the future. But what are the technical systems behind catchwords like Big Data, Artificial Intelligence and autonomous systems and what consequences can these systems have for the individual?*

## Begriffsklärung: Was heißt digital und digitalisieren?

Um etwas zu verstehen, muss man die Begriffe korrekt benutzen. Das englische „digit“ ist die Zahl oder Ziffer. Als Adjektiv bedeutet „digital“; „in Ziffern dargestellt oder auf Digitaltechnik oder -verfahren beruhend“. Als Verb bedeutet „etwas zu digitalisieren“, ein analoges in ein digitales Signal umzuwandeln und/oder Informationen in maschinenlesbare Daten umzuwandeln. Rechner (Computer sind Rechenmaschinen) verarbeiten schließlich keine Informationen, sondern immer nur Daten. Es sind im Wortsinn Datenverarbeitungssysteme. Auch die sog. „Künstliche Intelligenz“ (sKI) ist eine z.T. zwar hochkomplexe und mittlerweile extrem leistungsstarke automatisierte Datenverarbeitung, aber es bleiben Rechenoperationen. Die Microsoft-Deutschland-Chefin Sabine Bendiek präziserte im FAZ-Interview: „Eine KI kann viele Dinge ganz toll, aber letztlich rechnet sie auf Basis von großen Datenmengen.“(1)

Das relativiert den Begriff der „Intelligenz“ von technischen Systemen, der vor allem im öffentlichen Sprachgebrauch schnell überhöht wird und besser mit „technischer Komplexität“ übersetzt werden sollte. Denn wie komplex und schnell eine Maschine oder ein Netzwerk aus Computern auch immer rechnen mag, es bleiben mathematische Operationen. Rechner (Computer) können extrem schnell und komplex rechnen. Nicht mehr, nicht weniger. Die Grundlage jeder automatisierten Datenverarbeitung wiederum sind Algorithmen.

Algorithmen sind mathematische Beschreibungen von Aufgaben und/oder Funktionen (was soll ein Programm tun). Es sind eindeutige Handlungsvorschriften zur Lösung technischer, mathematischer Probleme oder einer Klasse von Problemen.

Auch die komplexesten Algorithmen bestehen aus endlich vielen, exakt definierten Einzelschritten (Rechenoperationen). Alle Rechenschritte sind regelbasiert. „Maschinelles Lernen“ bedeutet im Wesentlichen, dass ein komplexes mathematisches (algorithmisches) System die vorhandenen Regeln für eine Aufgabe um weitere ebenso exakt definierte Regeln erweitern kann, sofern es dafür programmiert ist. Wer also über Digitalisierung und die sog. „Künstliche Intelligenz“ spricht, sollte immer darauf verweisen, dass es um das Sammeln und Auswerten von (Nutzer-)Daten geht, um diese Maschinen lesbar zu machen und anschließend automatisiert durch komplexe Rechenoperationen (Big Data Analysis oder neu, weil Big Data doch sehr nach Big Brother klingt, Data Sciences) auszuwerten. Damit stellt sich die Gretchenfrage der IT: „Wie hältst Du es mit den Daten?“ (2) Das wiederum führt zur Frage: Wer steht an der Spitze von Datensammlungen und ist es erstrebenswert, zu diesen Datensammlern an der Spitze zu gehören?

## Der dritte Weg

Zwei Systeme stehen zur Wahl: Das Erste ist das US-amerikanische System des digitalen Überwachungskapitalismus (3) aus dem Silicon Valley. Es steuert Nutzer mit Techniken und Methoden der Werbepsychologie (persuasive technologies), um die Umsätze der „Big Five“ der IT (Alphabet/Google, Apple, Amazon, Facebook, Microsoft) zu optimieren. (An die staatlichen und militärischen Überwachungsinstrumente sei hier nur ergänzend erinnert.) Die Parameter der kommerziellen Daten-Ökonomie aus dem Valley sind: neoliberal, marktradikal und asozial. Ziel ist die Maximierung der Bildschirmzeiten der User, um Werbung schalten und Produkte verkaufen zu können. Dabei werden gezielt Suchtpotenziale adressiert, gesundheitliche Folgen und soziale Isolation ebenso in Kauf genommen wie die zunehmende Verrohung im Netz. Es sind Märkte, die radikal zur Gewinnmaximierung bespielt werden. So verweigert etwa die YouTube-Chefin Susan Wojcicki selbst auf dringende Bitten von Mitarbeitern der Video-Plattform und sogar der Anwälte das Kennzeichnen oder Löschen von Hassvideos und Verschwörungstheorien mit dem Hinweis, Reichweite und Ertrag würden dadurch gemindert. (4)

Der zweite Weg, das staatstotalitäre chinesische Überwachungsnetz, ist keine Alternative. Alle Bürger werden komplett überwacht und der Staat hat Zugriff auf alle digitalen Geräte, auch auf die private Kommunikation im staatlich kontrollierten Netz. China hat zudem ein Sozialpunktesystem (Citizen Scoring) eingeführt, das erwünschtes Verhalten belohnt und unerwünschtes Handeln sanktioniert. Überwacht und bewertet werden alle Aktionen am Rechner und Smartphone, aber auch im Straßenverkehr und im öffentlichen Raum. Abhängig vom Punktestand bekommt man besser oder schlechter bezahlte Arbeit und gute, schlechte oder gar keine Schul- und Studienplätze für die Kinder. Auch wird besondere medizinische Betreuung je nach Punktestand gewährt oder verweigert.

Für Deutschland und Europa sind beide Optionen keine Vorgehensweise. Sie müssen deshalb einen dritten Weg gehen. Dieser hält nicht vor zusätzlichen Datenschutzverordnungen und vermeintlichen Sicherungsoptionen, sondern stellt Datensammelungen generell in Frage. Man weiß: Vorhandene Daten werden benutzt – auch für zunächst nicht gedachte Aspekte. Was in der automatisierten Produktion

(Industrie 4.0) von Vorteil sein kann – Qualitätsmanagementsysteme und Kennzahlenfixierung zur Effizienzsteigerung und Kostenreduktion – ist für soziale Systeme ungeeignet. Shoshana Zuboff hat bereits 1988 in ihrem Buch „The Age of Smart Machines“ (5), lang vor dem Web und der Plattform-Ökonomie der Digitalmonopole die drei Zuboffschen Gesetze formuliert:

1. Was automatisiert werden kann, wird automatisiert.
2. Was in digitalisierte Information verwandelt werden kann, wird in digitalisierte Information verwandelt.
3. Jede Technologie, die für Überwachung und Kontrolle genutzt werden kann, wird, sofern dem keine Einschränkungen und Verbote entgegenstehen, für Überwachung und Kontrolle genutzt, unabhängig von ihrer ursprünglichen Zweckbestimmung.

Die Einschränkung „sofern dem keine Einschränkungen und Verbote entgegenstehen“ ist nach den Enthüllungen von Edward Snowden im Jahr 2013 revidiert. Der letzte Satz lautet heute: Jede Technologie, die für Überwachung und Kontrolle genutzt werden kann, wird für Überwachung und Kontrolle genutzt, unabhängig von geltendem Recht. Daraus folgt zwingend, dass das Ziel nicht sein kann, immer noch mehr Daten zu speichern und in intransparenten Datensilos der IT-Monopole zu sammeln, um das Verhalten der Menschen zu manipulieren. Es ist dringend geboten, andere Parameter einzuführen. (6) Datenreduktion und -minimierung müssen das Ziel sein, nicht Datenmaximierung, wenn wir weiter mit digitalen Netzwerkstrukturen arbeiten – und eine freie Gesellschaft bleiben wollen. Empirie, Statistik und Mustererkennung können und dürfen nur der Ausgangspunkt für den Diskurs sein. Sie dürfen keinesfalls zu Automatismen für Entscheidungen werden, die z. B. über Bildungs- und Erwerbsbiografien oder Zuteilung von Wohnraum bestimmen.

Zugleich müssen die Algorithmen transparent und die Rechenwege als Entscheidungspfade transparent gemacht werden. (7) Das Argument der Geschäftsgeheimnisse sticht nicht, wenn Anwendungen über das Verhalten oder Lebenswege von Menschen bestimmen. Wer realisiert, dass es keine fehlerfreien digi-

talen Systeme gibt, wird schon aus selbstverständlicher Skepsis gegenüber intransparenten technischen Systemen die Offenlegung der Berechnungen fordern. Sarah Spiekermann, Professorin an der Wirtschaftsuniversität Wien, schreibt in der FAZ: „Jeder, der mit KI und Daten gearbeitet hat, weiß, dass die Daten nicht vollständig, dass sie oft falsch, dass sie selektiv sind und dass sie über Kontexte hinweg verbunden und verfremdet werden. Künstliche Intelligenzen machen die absurdesten Klassifikationsfehler. Wenn man mit diesen Fehlern weiterrechnet, entsteht noch mehr Unsinn.“ (8) Statt von sogenanntem „KI“ sollte man daher besser von komplexen, möglicherweise fehlerhaften Berechnungsautomatismen sprechen. Für den Physiker Max Tegmark ist das entscheidende Kriterium zur Beurteilung einer sogenannten „KI“ ohnehin deren konkreter Anwendungszweck: „Welche Aufgaben kann sie bewältigen und kann sie das nach quantifizierbaren Maßstäben besser oder schlechter als der Mensch?“ Ob sie dabei tatsächlich „denkt“, etwas empfindet oder sogar noch ganz andere Erwägungen anstellt, ist aus diesem Blickwinkel zweitrangig.“ (9) Skepsis gegenüber dem Sammeln von immer mehr Daten und Skepsis gegenüber der angeblichen „Intelligenz“ der sogenannten KI sind notwendige Voraussetzungen, um diese Technologien der automatisierten Datenverarbeitung in ihrem möglichen (!) Nutzen für die Menschen und menschliche Gemeinschaften einzuschätzen.

Gleichwohl sind die zu erwartenden Folgen der „Digitalisierung aller Lebensbereiche“ nicht zu überschätzen. Alles wird verdatet, in Big-Data-Rechnernetzen gesammelt und mit Methoden des Data Analytics ausgewertet, um mit diesen Daten und Mustern das Verhalten der Menschen zu steuern. Der Einzelne wird zum Datensatz. In Frage steht: Bleibt der Mensch als Individuum, autonome Persönlichkeit und Subjekt das Ideal freier Gesellschaften oder wird er zum Datenlieferanten der zu perfektionierenden Datenverarbeitungssysteme der Daten-Ökonomie?

„Menschen sind lediglich Instrumente, um das Internet der Dinge zu schaffen, das sich letztlich vom Planeten Erde aus auf die gesamte Galaxie und das gesamte Universum ausbreiten könnte. Dieses kosmische Datenverarbeitungssystem wäre dann wie Gott. Es wird überall sein und alles kontrollieren. Die Menschen sind dazu verdammt, darin aufzugehen.“ (10)

Deutschland und Europa haben die Wahl: Sie können demokratische und soziale Gesellschaften bleiben und den dritten Weg gehen: digitale Technologien nach gründlicher Technikfolgeabschätzung gezielt da einsetzen, wo ein Nutzen zu erwarten und nicht nur unter ökonomischen Aspekten zu belegen ist. Wobei darauf zu achten ist, dass diese Datenverarbeitungssysteme transparent und nur innerhalb des erlaubten rechtlichen Rahmens eingesetzt werden. Oder Deutschland und Europa ordnen sich den Bedingungen der Daten-Ökonomie und der Heilslehre des Data-Ismus unter: Dabei ist es dann letztlich egal, ob es das US-System oder das Chinesische ist, die beide mit den identischen Technologien und ebenso identischem Ziel arbeiten: die eigene Bevölkerung in ihrem Verhalten zu steuern – auch wenn es einmal um Konsummaximierung, das andere Mal um Gehorsam gegenüber dem Staat geht. Die Autonomie und Selbstbestimmung des Individuums wird in beiden Fällen negiert.

## Thesen und Forderungen

1. Daten-Ökonomie und digitaler Überwachungskapitalismus (3) aus dem Silicon Valley basieren auf immer mehr personenbezogene Daten jedes Einzelnen. Mobile Geräte und Kameras oder Sensoren im privaten wie im öffentlichen Raum (Internet of Things, IoT) ermöglichen es, den Menschen mit seinem Verhalten nahezu vollständig aufzuzeichnen und auszuwerten. Er wird zum unfreiwilligen Datenspendeur für Big Data und Datenanalysen der IT-Monopole.
2. Der permanente Rückkanal für personenbezogene Daten etabliert immer umfangreichere Mess- und Kontrollstrukturen in allen Lebensbereichen. Daraus entstehen immer exaktere Bewegungs-, Verhaltens- und Persönlichkeitsprofile. Diese Profile ermöglichen es, das Nutzerverhalten zu prognostizieren und Nutzer – mit persuasiven Technologien\* der Werbe-Psychologie – in ihrem Verhalten zu beeinflussen.
3. Freie, demokratische und soziale Gesellschaften bleiben nur dann freie, demokratische und soziale Gemeinschaften, wenn sie andere IT- und Netzkonzepte entwickeln, anstatt neoliberale und marktradikale Strukturen zu übernehmen. Auch Infrastruktur- und Kommunikationssysteme unterliegen in Rechtsstaaten dem geltenden Recht,

das sich für Netzanwendungen erst entwickeln muss. Mit dem Netzwerkdurchsetzungsgesetz, der europaweit gültigen Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) und dem europäischen Urheberrecht sind erste Grundpfeiler eingeschlagen, um das vermeintlich „rechtsfreie“ Internet und Web zu zivilisieren.

4. Statt permanenter Datenmaximierung nach der Logik der IT-Konzerne müssen Datenschutz, Datenvermeidung und Datenreduktion zu den obersten Geboten der neuen Datenwirtschaft werden. Eine zentrale Rechtsgrundlage muss die verpflichtende und vollständige Transparenz der eingesetzten Algorithmen werden. (7) Dazu zählen als weitere Prämissen Datensparsamkeit, Dezentralisierung der technischen Infrastruktur (statt Zentralisierung in Server-Farmen), freier Zugriff der Nutzer auf ihre und generelle Löschpflicht für alle nicht mehr benötigten Daten.
5. Personenbezogene Daten dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Nutzer genutzt und kommerzialisiert werden. Die Nutzer müssen an den mit diesen Daten generierten Umsätzen beteiligt werden. Datenschutzbefohlener Minderjähriger (Kinder, Jugendliche) dürfen weder für die Profilierung noch zur Kommerzialisierung genutzt werden. Gleiches gilt für Gesundheitsdaten, die ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke in klar definierten Umgebungen und für konkrete Forschungsfragen genutzt werden dürfen.
6. Digitaltechnik in Schulen wird nur lokal (Intranet, Edge Computing) zur Unterstützung der Lehrenden beim Unterrichten in den Präsenzlehrphasen und für Lernende bei

Gruppenarbeiten bzw. in Selbstlernphasen eingesetzt. Dabei werden weder Schülerdaten gesammelt noch werden Lern- oder Persönlichkeitsprofile erstellt. Keine Daten gehen ins Netz.

7. Wenn wir das Web weiter nutzen wollen, müssen wir IT neu denken. (11) Aus dem Versprechen eines freien Netzes und hierarchiefreier Kommunikation ist ein Überwachungs- und Konsuminstrument zum Nutzen weniger IT-Konzerne und staatlicher Überwachungsorgane geworden. Das kommerzielle Netz wird von Fake News, Spam und Gewalt dominiert. Die Utopie eines unregulierten Netzes in eigener Verantwortung der Nutzer hat sich als nicht tragfähig erwiesen. Arbeiten wir an einer tragfähigen Alternative auf rechtsstaatlicher Basis.
8. Eine freie und reflektierende Gesellschaft weiß, dass Daten immer nur der Ausgangspunkt und die Grundlage für Diskussionen und Entscheidungen sein können, allein aber nicht aussagekräftig sind. Daher muss die Daten- wie die Digitalgläubigkeit aufgebrochen, der interpersonale Diskurs und die Kontroverse wieder in ihr Entscheidungsrecht eingesetzt werden. Denn wer daten-gläubig Maschinen entscheiden lässt, was Menschen tun, lernen oder wünschen sollen, zerstört die Autonomie des Menschen und seine Handlungsfreiheit zugunsten eines algorithmisch berechneten Regimes autoritärer technischer Systeme.
9. Technologische Systeme zur automatisierten (algorithmisch berechneten) Verhaltensmanipulation verstoßen gegen die Würde des Menschen, seine Grundrechte und Selbstbestimmung. Sie sind in demokratischen und humanen Rechtsstaaten untersagt.

Literatur und Quellen:

- 1) Armbruster, Alexander (2019) Nicht jeder muss ein Informatiker sein, Interview mit Microsoft-Deutschland-Chefin Sabine Bendiek, FAZ v. 01.04.2019
- 2) Grunwald, Armin (2019) Künstliche Intelligenz: Gretchenfrage 4.0, in: SZ, 26. Dezember 2019, S. 9
- 3) Zuboff, Shoshana (2018) Das Zeitalter des Überwachungskapitalismus, Frankfurt: Campus
- 4) Steinlechner, Peter (2019) Problem-inhalte: Management von Youtube soll Hassvideos ignoriert haben, Golem, 3.4.2019
- 5) Zuboff, Shoshana (1988) In the Age of Smart Machines. The Future of Work and Power
- 6) Berners-Lee (2019) Contract for the Web, <https://contractfortheweb.org/>
- 7) Gigerenzer, Gerd; Rebitschek, Felix G.; Wagner, Gert G. (2018) Eine vermessene Gesellschaft braucht Transparenz, in: Wirtschaftsdienst 2018/12, S. 860-868; DOI: 10.1007/s10273-018-2378-4
- 8) Spiekermann, Sarah (2018) Big Data Illusion, FAZ v. 25.4.2018, S. 13
- 9) Armbruster, Alexander (2018) Was kann das Computergehirn? Manuela Lenzen erklärt die Wege Künstlicher Intelligenz, FAZ vom 6.4.2018, S. 10
- 10) Harari, Yuval Noah (2017) Homo Deus, München: C.H. Beck
- 11) Lankau, Ralf (2017) futur iii – Forschungsbericht Sommer 2017; Digitaltechnik zw. Freiheitsversprechen und Totalüberwachung, <http://futur-iii.de/2018/02/22/futur-iii-forschungsbericht-sommer2017/>

### AUTOR



Prof. Dr. phil. Ralf Lankau  
 Professor für Mediengestaltung /-theorie,  
 Leiter der grafik.werkstatt, Forschungsprojekt: futur iii – Digitaltechnik zw. Freiheitsversprechen u. Totalüberwachung ([futur-iii.de](http://futur-iii.de))  
[ralf.lankau@hs-offenburg.de](mailto:ralf.lankau@hs-offenburg.de)

### Fußnote:

\*] Persuasive Technologies („überzeugende“ Technologien) verändern durch Computertechnologie die Einstellungen und das Verhalten von Personen. Werden persuasive Technologien zu Werbezwecken genutzt, spricht man von „persuasive advertising“

# ABSCHIED VOM AUSSEN

## Suchbewegung nach dem Terrestrischen

Prof. Dipl.-Ing. Daniel Fetzner

Vom 13. September bis 27. Oktober 2019 wurde die Ausstellung ABSCHIED VOM AUSSEN im Kunstverein Freiburg als medienökologische Suchbewegung realisiert. Eine Vielzahl an Gesprächen, Workshops, Performances, Medieninstallationen und Konzerten erörterten Fragen zum Klimawandel, zur globalen Migration und zu Fragen sozialer Ungleichheit. An die Stelle der üblichen Außenperspektive traten künstlerische Positionen, die einen neuen Blick auf die „Critical Zone“ unseres Planeten eröffneten.

*From 13 September to 27 October 2019, the exhibition ABSCHIED VOM AUSSEN at the art association Freiburg was realized as a media-ecological search movement. A large number of discussions, workshops, performances, media installations and concerts discussed issues of climate change, global migration and social inequality. In place of the usual external perspective, artistic positions were taken that opened up a new view of the „critical zone“ of our planet.*



Abb. 1:  
Vernissage der Ausstellung „Abschied vom Außen“, Kunstverein Freiburg 2019, © DEGLOBALIZE.com, Foto: Marc Doradzillo

Die distanzierte Perspektive von außen auf den blauen Planeten, die Vorstellung einer fortschreitenden Expansion und Eroberung von Neuland führen in die Irre. Menschen sind über nichts erhaben, sondern immer mittendrin. Es gibt keine Weltabgeschiedenheit und kein Außen. Alles Leben ist gebunden an die Critical Zone<sup>1</sup>, die dünne, nur wenige Kilometer dicke luft- und wasserführende Schicht rund um unseren Planeten. Was bedeutet das für unsere Wahrnehmung von Welt, unser Handeln und Zusammenleben?

ABSCHIED VOM AUSSEN griff diese Fragen nicht nur theoretisch auf, sondern verwandelte den Kunstverein Freiburg vom 13.9. bis 27.10.2019 in ein Experimentalsystem für die Suchbewegung nach dem Terrestrischen – ein Begriff, den der Soziologe Bruno Latour für ein noch zu umreißendes, anderes Verhältnis zum Planeten Erde gebraucht. In Zusammenarbeit mit Kunstschaffenden, Forschenden, Philosophinnen und Philosophen wie auch dem Publikum wurde der Kunstverein mit Installationen, Performances, Konzerten, Vorträgen, Workshops und Filmscreenings zu einem Labor für ästhetische Kollisionen und ungewöhnliche Begegnungen. Im Gegensatz zu allbekannten Katastrophenszenarien des Anthropozän wurde auf das kreative Potenzial des Menschen, dessen Verantwortung und Handlungsmöglichkeiten fokussiert. Als Basis diente die künstlerische Forschung DE\GLOBALIZE von Daniel Fetzner, Martin Dornberg und Ephraim Wegner mit Arbeitsergebnissen aus Indien und Ägypten in Form von raumgreifenden Medieninstallationen.

Soziale Ungerechtigkeit, Migration, Umweltverschmutzung und der Klimawandel wenden den Blick auf unser alltägliches Handeln und die beschränkten Ressourcen der Erde im Zeitalter des Anthropozän. Wer sehr viel Geld hat, sichert für sich und die Seinen ein Stück Land in einem Erdteil mit positiven Klimaprognosen. Donald Trump will Grönland kaufen und ein paar wenige Reichsten der Reichen träumen gar wieder von einem Leben auf dem Mars.<sup>2</sup>

Für alle anderen aber gibt es keinen Fluchweg, keine abgeschirmte „Weltabgeschiedenheit“ und kein „Außen“. Milliarden von Menschen haben nur diese eine Oberfläche: eine poröse und zugleich fluide Membran aus tektonischen Platten, gezeichnet von Meteoriteneinschlägen und Ausstülpungen in Form von Vulkanen, bevölkert von Mikroben und mannigfaltigen Formen des Lebens, überdeckt von

Wäldern und Wüsten, durchzogen von Städten und Seewegen, übersät von Acker- und Industrieflächen mit all ihren Furchen und Faltungen. Die Rede vom Terrestrischen setzt einen Rahmen, der bewusst machen möchte, dass es für Lebendiges ein Außen, eine „Whole Earth“<sup>3</sup> nicht mehr geben kann.<sup>4</sup> Die erhabene Perspektive auf den Blauen Planeten und mit ihm die Konzepte des unbeteiligten Beobachters reiner Fakten (matters of fact) führen für biologische Wesen in die Irre. Wir sind über nichts erhaben und nie unbeteiligt. Auch die Natur ist uns Menschen nicht äußerlich, vielmehr Teil unseres Körpers, unseres Denkens und Fühlens. Wir sind durchdrungen von ihr und Teil des uns Fremden, leben auf Augenhöhe und in einem verwobenen Stoffwechsel mit Tieren, Pflanzen und Substanzen. Mit Gaia<sup>5</sup> als Summe aller Umwelten sind Umgebendes und Umgebenes eins.

Die Ressourcen, Wirklichkeiten, Gefahren und Möglichkeiten einer Erde, die sich fortlaufend differenziert und faltet, Nischen, Überlappungen, Krümmungen, Bruchkanten und Höhlen bildet, liegen in ihrem »Innern«. Es geht heute nicht mehr um ein grenzenloses Wachstum, Ausdehnung, den Griff nach den Sternen oder die Kolonisierung ferner Galaxien. Vielmehr fokussiert es sich auf die Vielfalt und Pflege von Innen- und Hohlwelten: auf Landschaften, Dinge, Lebewesen und deren Bedürfnisse, Beseeltheit und Verletzlichkeit.

Während der Animismus wieder salonfähig wird und Tornados, Affen, Plastikbecher, Unternehmen und nicht zuletzt die Klimaerwärmung als Quasi-Objekte<sup>6</sup> herumgeistern, verzweifeln die bodenlosen Digitalnomaden der Spätmoderne zunehmend an der globalen Entgrenzung und sehnen sich nach dem Terrestrischen, der terranen Ordnung, nach Terra-Polis<sup>7</sup> oder anderen Refugien des Innen: Schrebergärten, Biomärkte und Filterbubbles werden zu neuen Heimaten. Soziale Gruppen kapseln sich ab, umzäunen ihr Terrain in den Rissen ausgetrockneter Erde. Ob Katalonien, America first oder Brexit, manche errichten Mauern und sichern Grenzen, andere haben das Mittelmeer.

Das Außen kann 2019 nicht mehr Verheißung von Neuland oder endloses Prospektionsgebiet bedeuten, es umschließt das Sein vielmehr als undurchdringlicher Hohlspiegel. Auch die Critical Zone wirft den Blick radikal zurück. So sehr wir uns als Oberflächenwesen wahrnehmen, müssen wir uns doch mehr der Erkundung unserer Verbundenheit und Hohlwelten stellen. An diesem Punkt setzt unsere

Suchbewegung an. ABSCHIED VOM AUSSEN versteht sich so weniger als Kunstaussstellung, sondern als Sondierung und Komplexitätsbearbeitungsstrategie. Ausgangspunkt ist das künstlerische Forschungsprojekt DE\GLOBALIZE<sup>8</sup> mit Probebohrungen in Indien und Ägypten.

## Zwei medienökologische Experimentalsysteme

Wir verabschieden uns von dem Gedanken, dass Landschaften als gerahmte Bilder an der Wand hängen. Wir graben den Boden auf, spannen Fäden, empfangen seismische Signale von der Erdkruste. Wir suchen nach einer Null-Personen-Perspektive, die eine ökologische Verflechtung unseres Bewusstseins mit den Dingen ermöglicht. Wir verlassen die erhabene Sicht auf die Welt und durchmischen uns mit den Dingen. Zwei medienökologische Experimentalsysteme<sup>9</sup> untersuchen, wie Töne klingen und Bilder wirken, wenn sich das Innen ins Außen stülpt.

### 1. Unfold

Seismische Messdaten von Bodenschwingungen aus den beiden Erdlaboren am Indian Institute of Science dienen als Impulsgeber für das medienökologische Experimentalsystem Unfold im Kunstverein. Eine stereografische Videoprojektion zeigt Querschnitte durch kritische Zonen in Indien und Ägypten. Der seismische Datenstrom steuert die Rotation der Bilder und den über 12 Lautsprecher generierten Klang. Ein Feed-Back-Delay-Network greift dabei in regelmäßigen Abständen Klangpartikel aus dem Kunstverein ab. Die im Widerhall des Raums entstehenden Frequenzen werden auf ihre Amplituden und Rhythmen hin analysiert, in einzelne Spektren zerlegt und musikalisch interpretiert.

### 2. Subterranean Homesick Sounds

Direkt vor dem Kunstverein verkehrt über die B 31 eine Haupttrasse des Schwerlastverkehrs zwischen Porto und Riga. Verkehrs- und Warenströme fließen parallel zur renaturierten Dreisam. Immobilieninvestoren spekulieren bereits auf die Verlegung der Trasse in die Hohlwelt des geplanten Freiburger Stadttunnels.

Die Installation Subterranean Homesick Sounds nutzt die tief frequenten Geräusche der vorbeifahrenden Lkws und transformiert diese in Echtzeit in einen hochfrequenten Bereich. Für Teilnehmende der Suchbewegung eine musikalisch erschütternde Single-User-Erfahrung in den Hohlräumen des ehemaligen Schwimmbads.

## Kollisionsmontagen und Samplings als Formen der künstlerischen Forschung

*»Und gäbe es ungeheure Wassermassen  
ich weiss Du nähmst an keiner Flut mehr teil  
selbst wenn es heute noch Meteore regnet  
Du bist ganz einfach nicht mehr dabei.«*

Blixa Bargeld, Ein leichtes leises Säuseln

Kern der Ausstellung ist das künstlerische Forschungsprojekt DE\GLOBALIZE (2018-21). Das Projekt quasi eine Black Box, die den White Cube des Kunstvereins besiedelt, sich vorübergehend dort niederlässt und dann weiterwandert. Es ist eine Art Bakterium, das Gene mit ABSCHIED VOM AUSSEN austauscht. Ein Pantoffeltierchen, das vom Geschehen im Kunstverein umschlossen wird und das Teile von diesem Geschehen in sich aufnimmt und wiederum Partikel für ihn absondert.

Der Name DE\GLOBALIZE: Seit knapp zwei Jahren nehmen wir an einer Arbeitsgruppe unter der Leitung des französischen Soziologen und Philosophen Bruno Latour am ZKM in Karlsruhe teil, die die letzte Großausstellung<sup>10</sup> von Bruno Latour und Peter Weibel mit vorbereitet. Sie wird im Mai 2020 eröffnet und beschäftigt sich mit der sogenannten Critical Zone. Auch unser Projekt wird dort gezeigt. Bei einer Sitzung warf uns Bruno Latour diesen Namen für unseren Projektzyklus entgegen – DE/GLOBALIZE: Ohne Zentralperspektive, weg vom Blick von oben. Fort vom immer mehr und immer globaler. Anders denken, andere Wahrnehmungs- und Handlungsperspektiven eröffnen. Lokaler, konkreter und dennoch mit Bezug zur Erde, zum Globalen, auf der Suche nach dem Terrestrischen.

Unsere Projekte sind von einem Netz unterschiedlicher Aktanten, Materialien und Themen durchzogen, die immer wieder neue Kreuzungs- und Mischungsverhältnisse eingehen. Metamorphosen: zwischen Kunst, Medien und Philosophie. Sound und Bild, Medizin und Anthropologie, Denken und Handeln. Bildung und Praxis. Mensch und Tier und Ding. Welt werden. Wir versuchen nicht zu vereinfachen, sondern einen neuen Umgang mit Komplexität und Verdichtung erfahrbar zu machen. Beobachtung von Beobachtung. Wahrnehmung von Wahrnehmung. Denken des Ungedachten. So unfertig und missverständlich dieser Term ist: Wir nennen unsere Versuche „Künstlerische Forschung“. Keine reine Kunst, keine reine Forschung, aber neue Überlappungsformen zwischen Mensch und Welt.

DE\GLOBALIZE hat zwei Vorläuferprojekte: BUZZ (2014), das sich mit der Mensch-Tier-Beziehung und der Frage von Beobachtung und Wissenschaft beschäftigte und WASTELAND (2016), das von den Dingen, dem neuen Materialismus und der Frage nach den Abfällen, dem Müll, handelt. Wie ein Tier, das sein Revier durchstreift, kehren wir bei DE\GLOBALIZE zu den Orten von BUZZ (Indien) und WASTELAND (Ägypten/Oberrhein) zurück. Materielle Prozesse, deren Medialisierung und die Frage nach dem Leben und dessen Verletzlichkeit/Kritikalität wurden uns immer wichtiger. Diese Entwicklung ist in DE\GLOBALIZE eingeflossen, wie auch der Begriff und das Phänomen der „Kritischen Zone“. Unter dieser Perspektive haben wir bei DE/GLOBALIZE einerseits die Wissenschaften, insbesondere die Biologie und die Erdwissenschaften, in dem uns von BUZZ bekannten indischen Wissenschaftskontext erneut unter die Lupe genommen (Critical Scien- cing Zone) und andererseits der Frage nach der Prekarität von Leben nachgespürt. In Kairo/ Ägypten an der Schnittstelle zwischen Megacity, Nil und Nilinsel hat sich uns dann das Thema Wasser aufgedrängt (Critical Water Zone). Damit dann auch das Thema der Klimaerwärmung, deren Folgen für kleine und mittlere Unternehmen am Oberrhein wir seit 2020 im Rahmen eines EU-Projekts transdisziplinär erforschen (Critical Industrial Zone).

Zufall, Notwendigkeit? Auf unseren medienökologischen Streifzügen kommt es immer wieder zu ungewöhnlichen Begegnungen, die kreative Energie, interessante Bilder und Sounds sowie neue Gedanken entstehen lassen. Die Begegnungen mit Erdwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern am Indian Institute of Science in Bangalore führten uns zur Beschäftigung mit der Frage nach dem Erdinnern und der Meteore – so stießen wir auf den Meteor von Ensisheim und Athanasius Kircher, auf dessen Arbeiten über Vulkane, Hohlwelten und Himmelskörper.



DE\GLOBALIZE heißt für uns: auf unserer Erde ankommen. Einschläge ernst nehmen, aber nicht nach den Sternen greifen, sondern verstehen, dass wir auch aus Sternenstaub gemacht sind. DE\GLOBALIZE heißt im Lokalen ankommen, dessen vielfältige Möglichkeiten zu entdecken, ohne sich darin zu verbarrikadieren. Wasser, Erde, Luft, Feuer durchziehen unser Leben, unsere Emotionalität und Kreativität: Manchmal kondensiert ein Text wie das Gedicht Kubla Khan von Samuel Taylor Coleridge, dass in NILE VODOO zu einem zentralen Kondensationspunkt unserer künstlerischen Suchbewegung in Ägypten wurde.

Aus einer Fülle von Bezügen und Begegnungszonen haben wir die gesamte Suchbewegung ABSCHIED VOM AUSSEN montiert. Offen vor allem für das Unvorhersehbare. Die dazugehörige Publikation<sup>11</sup> vermittelt einen Eindruck von den unterschiedlichen Prozessen, Formaten und Kollisionen.

Idee und künstlerische Forschung: Prof. Daniel Fetzner, Hochschule Offenburg, Dr. Dr. Martin Dornberg, Universität Freiburg  
Sound, Video, Schnitt, Interaktive Webdokumentation: Ephraim Wegner, Adrian Schwartz, Josua Krüger, Maxime Merkel, Zaid Ghasib und Daniel Fetzner, HS Offenburg  
Forschungsanbindungen: DEGLOBALIZE ist Teil des BMBF-Forschungsprojektes GENDERING MINT sowie des Interreg-Projektes CLIM'ABILITY DESIGN

Team Indien: Prof. Raghavendra Gadagkar Biologist, Centre for Ecological Sciences/IISc, Dr. Vasanthi Mariadass, Sriшти School of Art, Design and Technology, Dr. Souvik Mandal, Biologist, Dr. Anindita Brahma, Biologist. Ponanna, Biologist. CES/IISc, Prof. Kusala Rajendran, Prof. Binod Sreenivasan, Centre for Earth Sciences/IISc, Prof. Sekhar Muddu Environmental Engineer. Head of the Kabini Critical Zone Observatory, Dr. Pascal Jouquet, Soil Ecologist. Dr. Laurent Ruiz, Hydrologist. IFCWS, Indo-French Cell/ IISc, Prof. Jyotirmoy Dey, Aerospace Engineering/IISc  
Team Ägypten: François Mackandal K&K, Moussa Pilot, Garbage Village, Adrian Schwartz, Lukas Mehl, Maxime Merkel, HS Offenburg, Prof. Cornelia Redecker, Prof. Sabine Müller, Meriam Elmahdy, Noha Haddad, Sara Elias German University Cairo. Otto Fetzner und Nina Imgraben

Fußnoten:

- 1] Neues interdisziplinäres Forschungsgebiet in den Geo- und Umweltwissenschaften
- 2] Siehe Terraforming Mars von Elon Musk <https://www.space.com/mars>
- 3] Von dem kybernetischen Hippie- traum ist eine löchrige Erde voller prekärer Hohlräume übriggeblieben
- 4] Anselm Franke (2013) in „Earth-wise und das Verschwinden des Außen“
- 5] Die Erdgöttin Gaia wird hier nicht als teleologische Personifizierung verstanden, sondern als „non-global, non-total vision“ (Bruno Latour in einem Interview in Soziale Welt 67, 2016) Siehe hierzu auch der Gaia-Workshop am 27.09.2019 im ABSCHIED VOM AUSSEN
- 6] Begriff von Michel Serres. Quasi-Objekte sind Objekte, die das Soziale binden, tragen und erzeugen. Beispielsweise die Rolle eines Balls in einem Ballspiel. Dieser ist mehr als ein Mitspieler, ihm jagen die Spieler nach, er verbindet sie untereinander als Spieler und Gegner. Ein Quasi-Objekt ist ein das Soziale oder das Kollektiv webendes Objekt.
- 7] Begriffe von Bruno Latour und Donna Haraway
- 8] Ein künstlerisches Forschungs- projekt von Daniel Fetzner und Martin Dornberg, siehe [http:// deglobalize.com](http://deglobalize.com) (Zugriff am 13.2.2020)
- 9] Entwickelt am Labor für Medienökologie der Hochschule Offenburg <http://mediaecology.de> (Zugriff am 13.2.2020)
- 10] [http://zkm.de/en/eshhibition/2020/ 05/critical-zones](http://zkm.de/en/eshhibition/2020/05/critical-zones) (Zugriff am 13.2.2020)
- 11] <http://deglobalize.com/zeitung.pdf> (Zugriff am 13.2.2020)

### AUTOR



Prof. Dipl.-Ing. Daniel Fetzner  
Labor für Medienökologie HS Offenburg  
Künstlerische Forschung  
[daniel.fetzner@hs-offenburg.de](mailto:daniel.fetzner@hs-offenburg.de)

Abb. 2:  
Critical Zone Forscher im Erdlabor am IISc, Bangalore

# Teilhabe und Emotionen im Marketing

## Strategische, organisatorische und kommunikative Anforderungen

Prof. Dr. phil. Thomas Breyer-Mayländer

Bei vielen Marketingthemen geht es nicht nur um die Vermittlung eines konkreten Kundennutzens, mit dem aufgezeigt wird, welches Problem mit dem beworbenen Produkt – seien es nun Sachgüter oder Dienstleistungen – gelöst werden kann, sondern um die emotionale Ansprache der Zielgruppen. Dabei ist es keineswegs nur eine Kommunikationsaufgabe, sondern die Produktkonzeption und die Gesamtausrichtung des Marketings verändern sich so, dass eine Teilhabe am Produkt, der Produktentwicklung und der Produktidee möglich wird.

*To communicate the use and new features of a product is quite often not any more sufficient in marketing. Instead of these rational topics and principles we need quite often a merely emotional based communication, focused on specific target groups. This change in communication focus is not only a challenge for the communication but also the product development. It changes the marketing approach in a way that customers and potential customers are able to participate in the whole development process.*

In vielen Einsatzbereichen des Marketings sind die rein rationalen Argumentationsebenen ausgereizt und ermöglichen dennoch keine ausreichende Differenzierung. Die stärkere Interaktion und Dialogorientierung, die mit dem Web 2.0 und der Entwicklung sozialer Medien entstanden ist, führen zu neuen Anforderungen der Integration von Kunden in den Produktentwicklungs- und Kommunikationsprozess sowie auch für eine zielgruppenorientierte, werbetbasierte Kommunikationsstrategie.

### Vom Abonnement zu Membership-Modellen

Ein Anwendungsbereich, in dem diese Veränderung sehr stark sichtbar wird, ist das Marketing von redaktionellen Presseprodukten, das traditionell vertriebsorientiert über Abonnementmodelle oder im Digitalsektor über Paid-Content-Modelle betrieben wurde. Hier sind stattdessen integrierende Mitgliedschaftsmodelle in der Entwicklung, die deutlich über die reinen Vorteils- und Rabattclubs hinausgehen, wie sie im Kontext der Einführung von Abonnement- und Service-Cards an vielen Stellen entstanden sind. Den deutlichsten Unter-

schied zwischen einer Kundenbeziehung und einer rein nutzenorientierten Mitgliedschaft im Sinn eines Rabattsystems und einem Mitgliedschaftsverständnis, bei dem man selbst Teil des Ganzen ist, kann man bei Vereinen wahrnehmen. Wenn etwa ein Fußballverein wie der 1. FC Kaiserslautern bei einer außerordentlichen Jahreshauptversammlung über 1500 Mitglieder aktivieren kann und dabei auch nach mehr als neun Stunden bei keinesfalls nur positiven Aussprache- und Diskussionsthemen mehr als 1000 Mitglieder weiter dicht gedrängt in der Versammlungshalle des Stadions sitzen, dann setzt dies eine so starke emotionale Bindung an die Institution Verein und damit letztlich an die Marke 1. FCK voraus [1].

Eine solche Bindung kann man kaum mit herkömmlichen Mitteln bei Produkten und entsprechenden Markenwelten erreichen. Daher ist die emotionsorientierte Kundenbeziehung eine grundsätzliche strategische Entscheidung. Angesichts der disruptiven und nichtdisruptiven Marktveränderungen im Mediengeschäft ist es erforderlich, die bestehenden Erlösmodelle auf ihre langfristige Wirksamkeit hin zu überprüfen (vgl. Abb. 1).

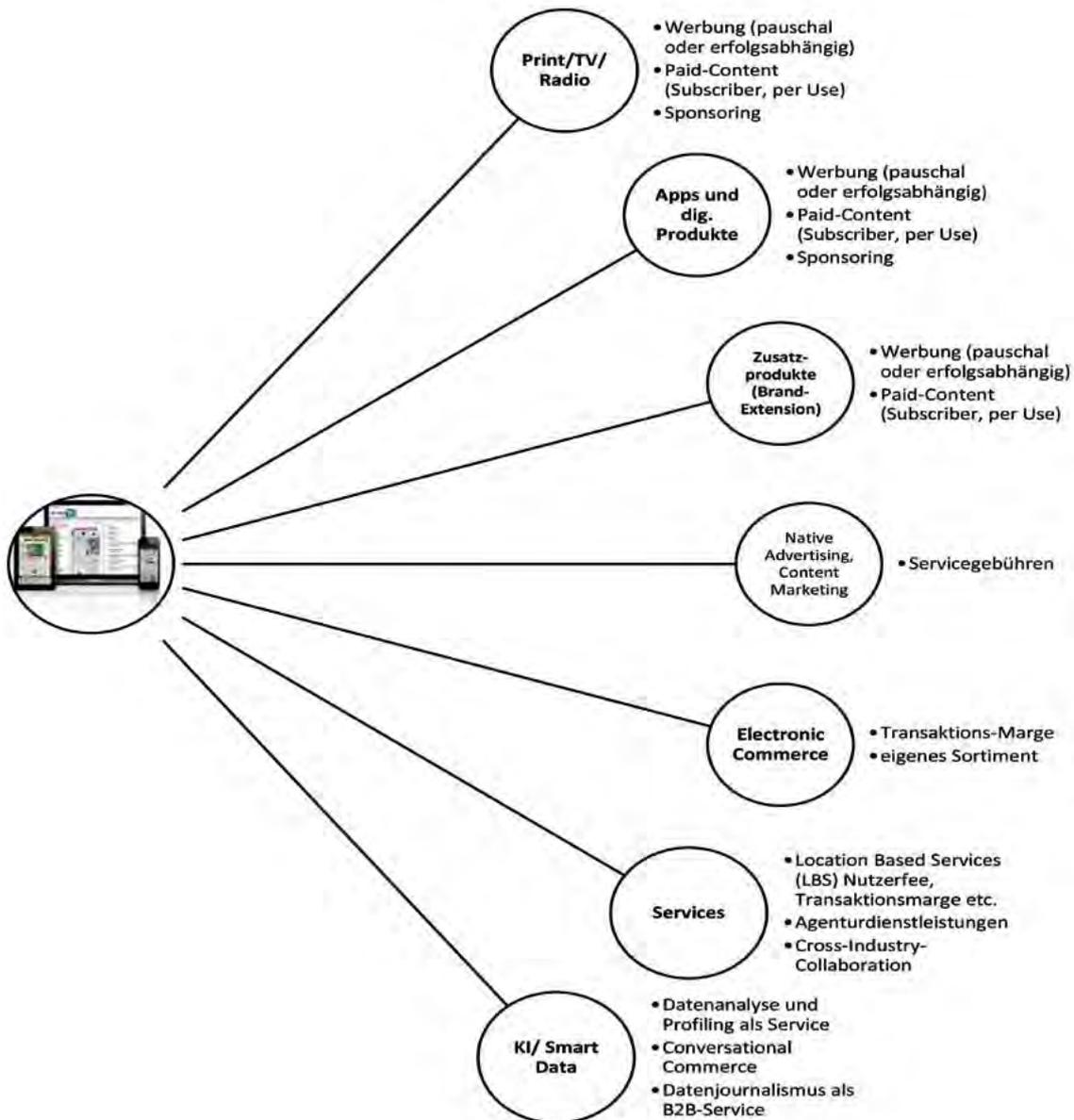


Abb. 1:  
Beispielhafte Erlösmodelle im Mediensektor [2, S. 87]

Die neue Dominanz durch Plattformen, seien es nun Suchmaschinen, Aggregatoren oder andere Varianten der Plattformökonomie, führt auch bei redaktionell geprägten Medien dazu, dass die Erlöse in den klassischen Bereichen schwinden und vor allem der Werbeerlös in einem zunehmend fragmentierten Markt für das einzelne Medium immer weniger Potenzial zur Refinanzierung bietet. Die neue Bedeutung der Vertriebs- gegenüber Werbeerlöse führt in der Konsequenz auch zu einer neuen Bedeutung des Abonnements. Dennoch gelingt es den klassischen Publishern, nur begrenzt diese Modelle im Print- oder Digitalbereich zu etablieren, während Plattformen mit Streamingdiensten [vgl. 2, S. 72] wie Netflix, DAZN oder Spotify am finanziellen und zeitlichen Medienbudget der Zielgruppen angreifen. Die Lösung im Bereich des klassischen Abonnementmarketings mit „dummer“ oder „intelligenter“ Customer Relationship Management (CRM)-Lösungen

und Kundenkartensysteme Mehrwerte für die Abonnenten zu generieren, führt zu einer primär rationalen Produktargumentation, die häufig auch den Sekundärnutzen (Vergünstigungen beim Einkaufen bzw. allgemeiner ausgedrückt bei Transaktionen in der Region) in den Vordergrund rückt.

Für die Bindung an die Marke, das Produkt und die Institution im Sinn des oben skizzierten Erfolgsmodells der emotionalen Bindung ist diese sowohl bei Printabonnements als auch bei digitalen Subscriber-Modellen genutzte Variante nicht zuträglich.

Echte Membership-Modelle im In- und Ausland wie Tourtoise oder der Handelsblatt-Wirtschaftsclub sind wesentlich dichter am direkten redaktionellen Konzept und der Produktkonzeption des Medienprodukts angesiedelt. Es geht nicht darum, einen Gemischtwarenladen

an Zusatzerlösen zu ermöglichen, sondern um das Gefühl, Teil einer Mediengemeinschaft zu sein, die unabhängige redaktionelle Berichterstattung für einen Wert an sich hält, der gerade angesichts populistischer Tendenzen auch immer wertvoller für die einzelnen Konsumenten, aber auch für die Gesellschaft insgesamt wird. In der Folge sind dies auch interdisziplinäre Projekte in den Medienhäusern, bei denen traditionelle Fachabteilungen wie Werbevermarktung, Abonnementvertrieb, Marketing/Events und Redaktion zusammenwirken müssen. Damit ist die Zuordnung innerhalb der Aufbauorganisation außerhalb der bestehenden funktionalen Gliederung einer der entscheidenden Erfolgsfaktoren für den Aufbau echter, emotionaler Bindungskonzepte in diesem Branchenbereich. Wenn Membership-Modelle über reine Vorteilsclubs hinausgehen sollen, dann sind Zuordnungen in bestehende Fachabteilungen wie etwa Kundenmanagement o. ä. nicht hilfreich. Auch bei funktionsübergreifenden Projektgruppen oder agilen Teams unter Einbeziehung der Redaktion wäre diese Abteilung, die am dichtesten an den von den Mitgliedern geschätzten Produktmerkmalen arbeitet, nur mit einem „Gaststatus“ versehen. Die Modelle, bei denen tatsächlich unterschiedliche fachliche Kompetenzen und damit auch die unterschiedlichen Funktionsbereiche der Aufbauorganisation zusammenwirken, sehen daher eigene Zuordnungen vor.

### Werteorientierte und emotionale Kommunikationsanforderungen am Beispiel „Schul-PR“

Die Notwendigkeit einer verstärkt emotionalen Bindung hat jedoch nicht nur Auswirkungen auf die organisatorische Einbindung der Maßnahmen, wie sie oben am Beispiel der Nachrichtenmedien aufgezeigt wurde, sondern wirkt sich auch auf den Kommunikationsansatz selbst aus. Am Beispiel der PR-Arbeit in und für Schulen lässt sich dies plastisch darstellen. Dass Schule eng mit emotionalen Befindlichkeiten gekoppelt ist, lässt sich nachvollziehen: „Schulisches Erleben ist stets ein emotionales Erleben, das durchaus unterschiedlich und wechselhaft sein kann. Dabei beginnt zunächst der Einstieg in die Schule in vielen Fällen mit einer grundsätzlich positiven Tendenz. Die angehenden Erstklässler\*innen sind meist sehr stolz auf ihren Einstieg in die nächste Stufe des „Großwerdens“ und gehen in vielen Fällen sehr positiv gestimmt und hoch motiviert ans

Werk. Eine emotionale Grundhaltung gegenüber dem System Schule, die sich dann (leider) über die Jahre hinweg verlieren und verschleifen kann“ [3]. Angesichts der zunehmenden Heterogenität und Diversität der Schülerschaft entstehen in vielen Fällen zusätzliche Herausforderungen für alle Beteiligten, sowohl aufseiten der Lehrenden und Betreuenden als auch aufseiten der Lernenden. Dieses Phänomen ist dabei nicht auf einzelne Schulformen und Schularten begrenzt. Ein Gymnasium, das zunehmend mit Kindern unterschiedlicher Eingangsvoraussetzungen gefordert wird, kann hier genauso betroffen sein wie eine Realschule.

Die Antworten auf die herausfordernden Situationen sind oftmals die Individualisierung innerhalb und außerhalb des Klassenverbands und selbstständiges, eigenverantwortliches Lernen, das auch aufgrund des Stands der Lehr- und Lernforschung als wirksames Instrumentarium zur Vorbereitung auf eine nicht im Detail planbare gesellschaftliche und berufliche Zukunft gilt.

Um nun verstärkt emotionale Elemente in die Kommunikation aufzunehmen und damit auch den Markenbildungsprozess von Schulen zu stärken, müssen zunächst die grundlegenden Voraussetzungen für emotionale Kommunikation geklärt werden. Emotionale Botschaften wirken dann authentisch, wenn sie sich auf vorrangig emotionale Anlässe beziehen. Daher müssen zunächst diese Anlässe ausgearbeitet und berücksichtigt werden.

#### Emotionale Szenarien im Schulalltag

- **Emotionale Anlässe:**
- Einschulung
- Zeugnisse
- Schulabbruch/Schulwechsel
- Schulabschluss
- Musik-, Kunst-, Sportveranstaltungen
- **Emotionale Themenfelder des Schulalltags:**
- Freundschaft
- Vertrauen
- Liebe
- Die Kehrseite (Hass, Misstrauen, Feindschaft etc.)
- **Emotionale Projektionen von außen:**
- Erwartungen von Elternseite
- Wahrnehmungsverschiebungen von Elternseite
- Erwartungen von externen Stakeholdern
- Systemprojektionen aus der Politik
- Emotionale Begriffe wie „Kindheit“ und „Schulzeit“

Abb. 2:

Emotionale Szenarien am Beispiel der Schulkommunikation [3]

Die individualisierten Lehr- und Lernkonzepte sowie das teilweise sehr stark individualisierte Freizeit- und Mediennutzungsverhalten beinhalten jedoch auch die Gefahr einer negativen Form der Individualisierung, die in eine Egozentriertheit münden kann. Daher sind Schulen verstärkt als wertebildende Instanz gefordert, die Kinder und Jugendliche dabei unterstützt, sich in einem stabilen Wertegerüst weiterzuentwickeln. Da zudem die Halbwegszeit von Wissen und Kompetenzen in einer digitalen Umwelt und Arbeitsumgebung in vielen Bereichen immer kürzer wird, sind Schulen zunehmend als Vermittler von Sinn und Grundsätzlichem gefordert. Auch dies zahlt auf den Stellenwert der Werte in der schulischen Arbeit ein. Damit sich eine Schule im Wettbewerb zu anderen Schulen positionieren kann, muss sie in der Lage sein, auch auf der Ebene der Kommunikation klarzumachen, welches inhaltliche Profil sie besitzt und wie dieses Profil mit spezifischen Werten der Schule in Verbindung steht. Diese Wertorientierung muss dann jedoch nicht nur auf der inhaltlich-intellektuellen Ebene, das bedeutet auf der rationalen Wirkung, verankert sein, sondern im Schulalltag real werden und somit auch emotional erlebbar sein.

Aus beiden genannten Dimensionen (Wertorientierung auf rationaler und emotionaler Basis) entsteht verstärkt daher auch beim Beispiel der PR-Arbeit im schulischen Sektor die Anforderung, emotionale Kommunikationsanlässe [vgl. 3] zu nutzen und zudem emotionale Kommunikationskanäle und -formate zu finden (vgl. Abb. 3).

Vor allem diese emotionalen Kanäle und Formate legen nahe, dass sich die Kommunikationsverantwortlichen damit auseinandersetzen, wie man diese Kommunikations- und vor allem auch Interaktionsformen nutzen kann. Dies setzt ein eigenes Narrativ voraus, bei dem es auch um ein emotionsorientiertes Storytelling geht.

Gerade in der ungleich schwierigeren Phase der Krisen-Kommunikation der Schulen in Corona-Zeiten sind emotionale Bindungen und verbindliche Werte eine wichtige Voraussetzung für den Kommunikationserfolg [4].

- Veranstaltungen (Jahreszeitenfeste, musisch-künstlerische Events, Sport etc.)
- Biografische Wendepunkte als Event (Einschulung, Abschluss etc.)
- Zeitungen/Anzeigenblätter (Reportagen mit emotionaler Perspektive)
- Lokales Radio (O-Töne von Schüler\*innen)
- Online-Werbung (dig. Banner, SEA für Veranstaltungen/Events)
- Social Media (lokal eingrenzbar Werbung auf Facebook etc.)
- Aufkleber, Freecards (kostenlose Karten) mit emot. Slogans/Grafik
- Out-of-Home-Medien (Plakate mit starken Bildmotiven, z. B. Personen)
- Schulträger: Plakate an städtischen Gebäuden, z. B. am Bahnhof der Stadt)
- Schulträger: Aufdruck auf städtischen Fahrzeugen
- Mailings und Newsletter (Bildmotive, Links zu Videos etc.)

Abb. 3: Emotionale Kommunikationskanäle und -formate für Schulen [3]

### Referenzen/References:

[1] Breyer-Mayländer, Thomas (2019): Emotionale Bindung in Membership-Modellen, Vortrag beim Fachtag „WELCOME TO THE CLUB: Neue Mitgliedschaftsmodelle für Verlage“, Bundesverband Deutscher Zeitungsverleger, Berlin, 3. Dezember 2019, Teilbericht basierend auf der Moderation des TOP „Aussprache“ der a. o. JHV des 1. FCK am 1. Dezember 2019 in Kaiserlautern

[2] Breyer-Mayländer, Thomas (2019): Hintergrund: Abomarketing im Umfeld disruptiver und nichtdisruptiver Veränderungen aus wissenschaftlicher und praktischer Perspektive; in: Breyer-Mayländer, T./Keil, M.(Hrsg.); Kundengewinnung und Kundenbindung bei Presseabonnements: Aktuelle Methoden und praktische Erfahrungen;

Springer Gabler; Wiesbaden; S. 67-91; ISBN 978-3-658-26049-1

[3] Breyer-Mayländer, Thomas (2020): Öffentlichkeitsarbeit muss Werte und Emotionen vermitteln, in: Regenthal, G./Schütte, J.; Öffentlichkeitsarbeit mach Schule; Wolters Kluwer Deutschland (Aktualisierungslieferung Nr. 25; Februar 2020); Loseblatt-Werk; Neuwied; ISBN 978-3-556-01044-0

[4] Breyer-Mayländer, T. (2020): Interne und externe Schulkommunikation in der Corona-Krise: Erfahrungen und Empfehlungen für Krisenzeiten, in: Schulverwaltung Ausgabe Hessen, Rheinland-Pfalz, 25. Jg. 05/2020, S. 149-152

### AUTOR



Prof. Dr. phil. Thomas Breyer-Mayländer  
 Professor für Medienmanagement,  
 Forschungsgebiete: Medienmanagement,  
 Führung, Digitale Transformation, Wissens-  
 schafts- und Bildungsmanagement  
 breyer-maylaender@hs-offenburg.de



**HOBART**

**KOMM IN EIN  
STARKES TEAM!**



## **STARTE JETZT DEINE KARRIERE**

beim Weltmarktführer gewerblicher Spültechnik

Als Student haben Sie in unterschiedlichen Abteilungen die Möglichkeit sich und Ihre Ideen einzubringen. Egal ob Entwicklung, Konstruktion, Produktion, Logistik oder Einkauf – wir sind immer auf der Suche nach starkem Nachwuchs!

### **WIR BIETEN**

Bachelor- und Master-Studenten (m/w/d) der **Studiengänge Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen oder Elektrotechnik** spannende Möglichkeiten:

- Praxissemester
- Bachelor- und Masterarbeiten
- Werkstudententätigkeiten
- Masterstipendien

### **WIR SUCHEN**

Innovative Köpfe, die mit uns gemeinsam die Vision „Spülen ohne Wasser“ verfolgen und mit eigenen Ideen zum Erfolg unseres Unternehmens beitragen.

**JETZT ONLINE BEWERBEN!**

**HOBART GmbH** | [www.hobart.de](http://www.hobart.de)

ARBEITEN IN EINEM DER MODERNSTEN STAHLWERKE EUROPAS

LIEBER  
HIGHTECH  
STATT STAUB UND  
HITZE!



Dein Job unter: [www.bsw-kehl.de](http://www.bsw-kehl.de)  
**BADISCHE STAHLWERKE. MEHR ALS NUR STAHL.**

Maximilian Kalbfleisch  
Betriebsleiter Walzwerk, seit 13 Jahren bei BSW

Du kannst vieles und willst noch mehr? Super! Denn bei uns bist du nicht nur Ingenieur, sondern immer auch Praktiker. Du musst dir nicht die Hände schmutzig machen. Aber du kannst. Denn wir haben Kehls heißeste Jobs. Garantiert.



Mehr als nur Software: Ihr neuer Job in einem innovativen Umfeld!

## Sie möchten Spuren setzen statt ausgetretenen Pfaden zu folgen?

Dann ergreifen Sie die Möglichkeit, in diesem innovativen Umfeld entscheidende Akzente zu setzen!

Die iqs Software GmbH zählt zu den führenden Anbietern von IT-Lösungen für die Fertigungsindustrie. Seit 25 Jahren begeistern und betreuen wir weltweit über 400 Kunden, die unsere CAQ-Software einsetzen. Machen auch Sie innovative Ideen und zukunftsweisende Technologien in Qualitätssicherung und -management zu Ihrer Leidenschaft und wachsen Sie mit uns!



Einscannen und Akzente setzen!  
[www.iqs.de/karriere](http://www.iqs.de/karriere)

iqs Software GmbH · Erlenstraße 13c · 77815 Bühl (Baden)

 [www.iqs.de](http://www.iqs.de)  
 [bewerbung@iqs.de](mailto:bewerbung@iqs.de)

**iqs**  
CAQ mit System

# ELEKTROTECHNIK, MEDIZINTECHNIK UND INFORMATIK

Die vielfältigen und intensiven Forschungsaktivitäten spiegeln die breite fachliche Aufstellung der Fakultät Elektrotechnik, Medizintechnik und Informatik (EMI) wider. Diese reichen von der Forschung in der Medizintechnik über Themen der Elektromobilität bis hin zu Projekten in der Informatik und der Künstlichen Intelligenz. 2019 konnte die Fakultät EMI insgesamt 2,8 Millionen Euro für ihre Forschungsaktivitäten einwerben. Ein Großteil der Forschungsprojekte ist fakultätsübergreifend und interdisziplinär. Dies zeigt sich u. a. in der fakultätsübergreifenden neuen Forschungsgruppe „Electric Mobility Competence Center EMC<sup>2</sup>“ zur Elektromobilität, die von Prof. Dr. Christian Klöffler (Fakultät EMI) und Prof. Dr. Patrick König (Fakultät M+V) gemeinsam geleitet wird, oder in dem ebenfalls fakultätsübergreifenden Forschungsprojekt „Predictive Maintenance“, das von der Carl Zeiss Stiftung finanziert wird.

Die Interdisziplinarität spielt auch beim Roboterfußball eine große Rolle. Beim humanoiden Roboter „Sweaty“ arbeiten und forschen

Kollegium sowie Studierende aus den Bereichen Maschinenbau, Mechatronik, Informatik und Medien zusammen. Das Team magmaOfenburg unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus Dorer (Fakultät EMI) und das Team Sweaty unter der Leitung von Prof. Dr. Ulrich Hochberg (Fakultät M+V) wurden 2019 in Sydney wieder Vizeweltmeister in der 3-D-Simulationsliga bzw. der Liga der humanoiden Roboter!

Verstärkt wurde das Kollegium der Fakultät EMI im zurückliegenden Jahr durch Prof. Dr. Janis Keuper, der im Sommer 2019 die Stiftungsprofessur „Analytics und Data Science“ gestiftet vom Unternehmen Markant, angetreten hat und mit seiner Expertise im Bereich maschinelles Lernen eine Bereicherung für die Fakultät und Hochschule ist.

Auszüge der vielfältigen Forschungsarbeiten in der Fakultät EMI werden in den folgenden Beiträgen vorgestellt.

*Dekan Prof. Dr. rer. nat. Stephan Trahasch*



# 3D-Druck der Ablation von Vorhofflimmern

Sandra Wehsener B.Sc., Prof. Dr.-Ing. med. habil. Matthias Heinke, Robin Müssig M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk, Johannes Hörth M.Sc., Steffen Schrock M.Eng.

Um medizinische Behandlungsverfahren in der Praxis besser verstehen und anwenden zu können, gewinnt die Visualisierung der Prozesse an immer größerer Bedeutung. Durch Anwendung der Computer-Simulationssoftware CST können elektromagnetische und thermische Simulationen zur Analyse verschiedener Herzrhythmusstörungen durchgeführt werden. Eine weitere Form der Visualisierung erfolgt durch haptische, dreidimensionale Druckmodelle. Diese Modelle können mit einem generativen Herstellungsverfahren, wie z. B. einem 3D-Drucker, in kürzester Zeit hergestellt werden.

*In order to better understand and apply medical treatment procedures in practice, the visualization of processes is becoming increasingly important. By using the computer simulation software CST, electromagnetic and thermal simulations can be carried out to analyse various cardiac arrhythmias. Another form of visualization is the use of haptic, three-dimensional pressure models. These models can be produced with a generative manufacturing process, such as a 3D printer, in a very short time.*

## Einleitung

Der Einsatz neuer Technologien und Innovationen bedeutet für ein Unternehmen meist einen langen Entwicklungsprozess und somit einen erhöhten Kostenaufwand. Im Vorfeld erstellte virtuelle Simulationen und Prototypen können diesen Entwicklungsprozess deutlich effizienter gestalten. Mit diesen virtuellen Simulationen können verschiedenste Materialien und deren Eigenschaften in einem frühen Entwicklungsstadium getestet und analysiert werden. Durch die Herstellung eines daraus resultierenden Prototyps entsteht eine weitere Visualisierungsmöglichkeit, die einen Eindruck von Optik und Haptik des Produkts vermittelt [1]. Zur Anfertigung solcher Prototypen werden zunehmend additive Fertigungsverfahren, wie der 3D-Druck, eingesetzt. Die Kombination beider Möglichkeiten bietet erhebliche Vorteile, insbesondere in der Medizintechnik. So könnte in der Kardiologie und Elektrophysiologie die Ablations-Therapie zur Isolierung der Pulmonalvenen, die zur Behandlung von Vorhofflimmern eingesetzt wird, patientenindividuell geplant werden.

## Zielsetzung

Ziel dieser Forschungsarbeit war, geeignete 3D-Modelle des Offenburger Herzrhythmusmodells mit unterschiedlichen 3D-Druckverfahren zu realisieren, um diese zur Visualisierung ei-

nes Vorhofflimmer-Ablationsverfahrens für die Lehre und Forschung einzusetzen.

## Methoden

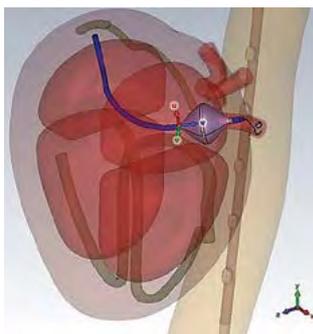
Die Simulation der Pulmonalvenen-Isolation durch Kryoablation wurde mit der elektromagnetischen und thermischen Simulationssoftware CST (Computer Simulation Technology) durchgeführt. Der Arctic Front Advance™-Katheter mit einem Durchmesser von 28 mm und ein zirkulärer Mapping-Katheter wurden entsprechend den technischen Handbüchern des Herstellers Medtronic modelliert und in das Offenburger Herzrhythmusmodell integriert (Abb. 1 und 2) [2, 3, 4].



Abb. 1:  
Ballonkatheter Arctic Front Advance™, 28 mm durch  
CST-Software

Zur Realisierung der 3D-Druck-Objekte musste das Modell mit einer CAD-Software (PTC Creo Elements Direct Modeling) vorbereitet werden (Abb. 3) [5]. Anschließend konnten zwei verschiedene 3D-Druckverfahren genutzt werden: zum einen ein Bindemittelstrahldrucker mit Polymergeips und zum anderen ein Multimaterialdrucker mit Photopolymer. Das erste 3D-Druckmodell aus Polymergeips wurde

Abb. 2:  
Ballonkatheter Arctic  
Front Advance™ in der  
linken unteren Lungen-  
vene des Offenburger  
Herzrhythmusmodells  
mit CST-Software



mit dem Projekt 660Pro von 3D-Systems im Pulverbett gedruckt. Das zweite Modell wurde mit einem Stratasys-Multimaterialdrucker aus Photopolymer gedruckt. Die Druckmodelle sind so gestaltet, dass sie zum Blick ins Innere des Modells geteilt werden können.



Abb. 3:  
CAD-Modell – unterer  
und oberer Teil des  
Druckmodells

## Ergebnisse

Nach den Druckvorgängen liegen zwei Präsentationsmodelle vor. Diese sind in zwei Hälften teilbar. Im Inneren der Modelle sind die Reizleitung des Herzens sowie der Ballonkatheter dargestellt. Die Druckzeit für das erste 3D-Druckmodell aus Polymergips (Abb. 4) betrug etwa 90 Minuten und musste anschließend noch weitere 90 Minuten im Pulverbett aushärten. Nach dem Druck wurde das Modell zusätzlich bearbeitet, um die Oberfläche widerstandsfähiger zu machen (Infiltration). Die Farben wurden in gleicher Weise gestaltet wie das CST-Simulationsmodell und kommen in ihrer vollen Wirkung zur Geltung.

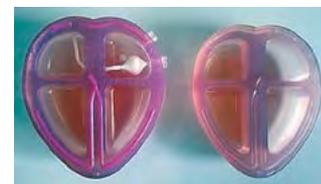


Abb. 4:  
3D-Druck Modell  
„Offenburger Herz-  
rhythmusmodell mit  
Kryoballonkatheter“  
aus Polymergips

Das zweite 3D-Druckmodell aus Photopolymer (Abb. 5) war nach etwa 10,5 Stunden Druck fertig und musste nicht nachbearbeitet werden. Um einen kostspieligen Materialkartuschenwechsel zu umgehen, wurden die Druckfarben hier nur begrenzt eingesetzt und beschränkten sich auf die zum Zeitpunkt der Ausarbeitung installierte Farbpalette (Magenta-Clear-Spektrum). Das zweite Modell ist doppelt so teu-

er wie das erste Modell, bietet aber bessere Materialeigenschaften. Das erste Modell ist wegen des Gipsmaterials bruchempfindlicher und kann somit lediglich als Präsentationsmodell eingesetzt werden.

Abb. 5:  
3D-Druck Modell  
„Offenburger Herz-  
rhythmusmodell mit  
Kryoballonkatheter“  
aus Photopolymer



## Schlussfolgerungen

Die Simulation der Pulmonalvenen-Isolation durch Kryoablation mit der Software CST Studio Suite™ kann zur Planung und Gestaltung komplexer Ablationskatheter eingesetzt werden. Parallel zur Simulation können die dreidimensionalen Druckmodelle als Präsentationsmodelle in der Lehre und Forschung oder für die Patientenaufklärung genutzt werden. Auch eine Weiterentwicklung dieser Modelle ist möglich. Sie könnten durch weitere Komponenten (z. B. Herzklappen) oder durch leitfähige Materialien ergänzt werden. Zusätzlich könnte die thermische Ausbreitung während des Ablationsvorgangs in Form von verschiedenen Farben am Druckmodell verstärkt werden.

### Referenzen/References:

- [1] S. Wehsener, M. Heinke, R. Müssig, J. Hörth, S. Junk, S. Schrock: 3d print of heart rhythm model with cryoballoon catheter ablation of pulmonary vein. Current Directions in Biomedical Engineering, Band 5, Heft 1, Seiten 235–238, ISSN (Online) 2364-5504, DOI: <https://doi.org/10.1515/cdbme-2019-0060>
- [2] M. Schalk, M. Heinke, R. Echle: Heart rhythm model and simulation of electrophysiological studies and highfrequency ablations. Europace 19, Suppl. 3, 2017, iii1822
- [3] M. Kraemer, R. Echle, M. Heinke: Simulation of electrical fields in cardiac resynchronization therapy and temperature spread in HF ablation. Europace 19, Suppl. 3, 2017, iii185
- [4] Metzner et al. (August 2013). Increased Incidence of Esophageal Thermal Lesions Using the Second-Generation 28-mm Cryoballoon.
- [5] A. Gebhardt, Additive Fertigungsverfahren, Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion (5. Auflage), München: Carl Hanser Verlag, 2016

### AUTOREN



Sandra Wehsener B.Sc.  
Fakultät EMI, Medizintechnik Absolventin  
swehsene@stud.hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. med. habil.  
Matthias Heinke  
Fakultät EMI, Praktikantenamtsleiter Medizintechnik, Wissenschaftl. Ltg. Labor Kardi-ovaskuläre Gerätetechnik u. Rhythmologie  
matthias.heinke@hs-offenburg.de

Robin Müssig M.Sc.: Fakultät EMI; Medizintechnik Absolvent, [rmuessig@hs-offenburg.de](mailto:rmuessig@hs-offenburg.de)  
Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk: Prodekan Fakultät B+W Wissenschaftl. Ltg. Labor Rapid Prototyping/ Tooling und Reverse Engineering; [stefan.junk@hs-offenburg.de](mailto:stefan.junk@hs-offenburg.de)  
Johannes Hörth M.Sc.: Fakultät EMI, Akad. Mitarbeiter; [johannes.hoerth@hs-offenburg.de](mailto:johannes.hoerth@hs-offenburg.de)  
Steffen Schrock M.Eng.: Fakultät B+W, Akad. Mitarbeiter; [stefen.schrock@hs-offenburg.de](mailto:stefen.schrock@hs-offenburg.de)

# Simulation der transösophagealen Neurostimulation

Manuela Schleh B.Sc., Prof. Dr.-Ing. med. habil. Matthias Heinke, Johannes Hörth M.Sc.

Die transösophageale Neurostimulation ist eine neue Therapieform und könnte unter anderem zur Schmerzlinderung während einer transösophagealen Linksherzstimulation angewendet werden. Sie ist in die Kategorie der Rückenmarksstimulation (SCS) einzuordnen, die die meist verwendete Technik der Neurostimulation ist. Die derzeit auf dem Markt vorhandenen Ösophaguskatheter werden bei einer elektrophysiologischen Untersuchung mit Ablation und transösophagealer Echokardiographie zur Temperaturüberwachung eingesetzt. Das Ziel dieser Arbeit war, das vorhandene Offenburger Herzrhythmusmodell, um die Wirbelsäule zu erweitern, einen neuen Ösophagus-Elektroden-Katheter für die transösophageale elektrische Stimulation des Rückenmarks zu modellieren und mittels 3D-Computer-Simulationen auf Ihre Wirksamkeit zu untersuchen.

*Transesophageal neurostimulation is a new form of therapy and could be used to reduce pain during transesophageal left heart stimulation. It belongs to the category of spinal cord stimulation (SCS), which is the most commonly used technique of neurostimulation. Esophageal catheters currently available on the market are used to monitor the temperature during an electrophysiological examination with ablation and transesophageal echocardiography. The aim of this work was to extend the existing Offenburg heart rhythm model with the spinal column, to model a new esophageal electrode catheter for transesophageal electrical stimulation of the spinal cord and to investigate the effectiveness by means of 3D computer simulations.*

## Einleitung

Die in diesem Forschungsbericht vorgestellten Methoden und Forschungsergebnisse zur Modellierung und Simulation der transösophagealen Neurostimulation wurden in einem Vortrag und einer Publikation auf der BMT Conference of the German Society for Biomedical Engineering (DGBMT within VDE), 25. – 26. Sep. 2019 in Frankfurt a. M. vorgestellt und sind Bestandteil dieses Forschungsberichts [1]. Die Entwicklung innovativer Ösophagus-Elektrodentypen oder deren Weiterentwicklung ist für ein Unternehmen kostspielig. Zusätzliche Kosten entstehen für die Zeit, die benötigt wird, um Prototypen herzustellen und in einer realen Umgebung zu testen – insbesondere um die Wechselwirkung mit biologischem Gewebe zu testen. Virtuelle 3D-Computer-Simulationen ermöglichen, Modelle mit realen Materialeigenschaften zu erstellen und die Interaktion mit ihrer Umgebung zu simulieren und zu bewerten. Diese Alternative kann Kosten und Zeit einsparen. Die Rückenmarkstimulation ist heute eine der häufigsten Behandlungsmethoden für chronische Schmerzen [2]. Ziel der Arbeit war, die Wirbelsäule und einen neuartigen Öso-

phagus-Elektroden für die transösophageale elektrische Stimulation des Rückenmarks über die Speiseröhre zu modellieren und in das vorhandene Offenburger Herzrhythmusmodell zu integrieren [3]. Da die linksventrikuläre Herzstimulation in der Speiseröhre oft als schmerzhaft empfunden wird, soll hierbei die Reizübertragung durch die Nerven mit elektrischen Impulsen gehemmt werden.

## Methoden

Die Modellierung und Simulationen wurden mit der elektromagnetischen und thermischen Simulationssoftware CST (Computer Simulation Technology, Dassault Systèmes) durchgeführt. Die beiden neuartigen Ösophagus-Elektrodenkatheter wurden auf Basis des technischen Handbuchs des temporären Ösophagus-Katheters TO8 des Herstellers OSYPKA AG modelliert (Abb. 1). Die Brustwirbelsäule wurde auf Basis der Dimensionen eines menschlichen Skeletts modelliert [4]. Der 20 mm Ösophagus-Ballonkatheter und die Brustwirbelsäule wurden anschließend in das

Offenburger Herzrhythmusmodell integriert (Abb. 2). Die Simulation der transösophagealen Neurostimulation stellt mit dem „Low Frequency Time Domain Solver“ das elektrische Feld sowie die Ausbreitung des elektrischen Potentials dar (Abb. 3, 5 und 6).

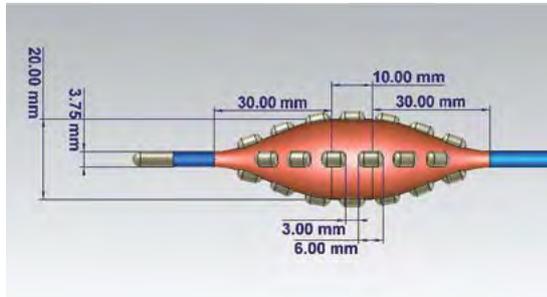


Abb. 1: Modellierung des neuartigen Ösophagus-Ballonkatheters

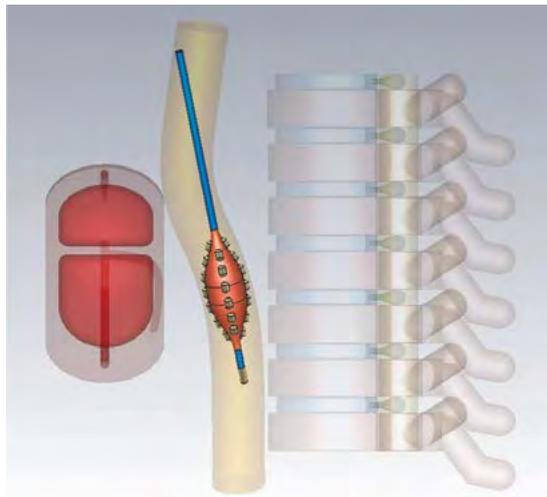


Abb. 2: Ösophagus-Ballonkatheter und Brustwirbelsäule integriert in das vorhandene Offenburger Herzrhythmusmodell

Tiefe gemessen werden. 2,08 V wurden im Rückenmark bei einer Tiefe von 70 mm gemessen (Tab. 1). Die Simulation wurde ebenfalls mit einer Spannung von 2 V und 7 V durchgeführt.

Tiefe	2 V	5 V	7 V
0 mm	1.74 V	4.33 V	6.07 V
2 mm	1.48 V	3.71 V	5.19 V
10 mm	1.07 V	2.68 V	3.76 V
30 mm	0.88 V	2.19 V	3.07 V
50 mm	0.84 V	2.10 V	2.95 V
70 mm	0.83 V	2.08 V	2.91 V

Tab. 1: Vergleich der transösophagealen Neurostimulation

Die drei verschiedenen Messdurchgänge zeigten, dass das Verhältnis zwischen abgegebener Spannung an den Elektroden und der Spannung, die am Rückenmark anliegt, linear ist.

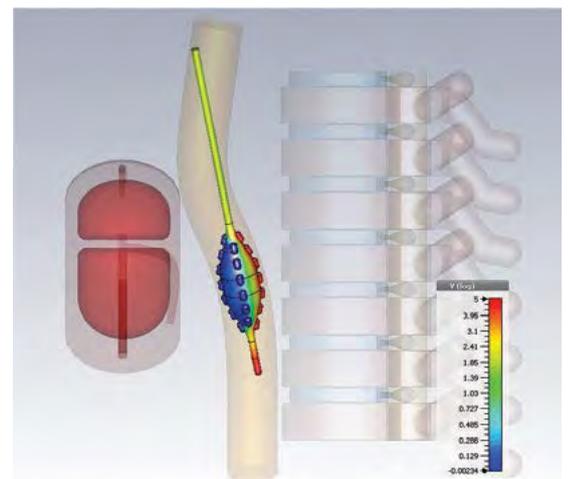


Abb. 3: Ösophagus-Ballonkatheter mit elektrischem Potential an den Elektroden zur transösophagealen Neurostimulation

## Ergebnisse

Die transösophageale elektrische Stimulation des Rückenmarks wurde mit einem trapezförmigen Signal und einem den Ösophagus-Elektroden zugeordneten elektrischen Potential von 5 V durchgeführt (Abb. 4). Die Neurostimulation wurde für eine Sekunde mit einem Stimulationsimpuls von 0,01 s und einer Periode von 0,05 s durchgeführt. Dies entspricht einer Frequenz von 25 Hz. Die Streuung des Potentials wurde an sechs Messpunkten gemessen. Nach einer Sekunde konnte ein Potential von 4,33 V direkt an der Elektrode, 3,71 V bei 2 mm Tiefe im Myokard, 2,68 V bei 10 mm Tiefe im Myokard, 2,19 V bei 30 mm Tiefe im Myokard und 2,1 V im Brustwirbel in 50 mm

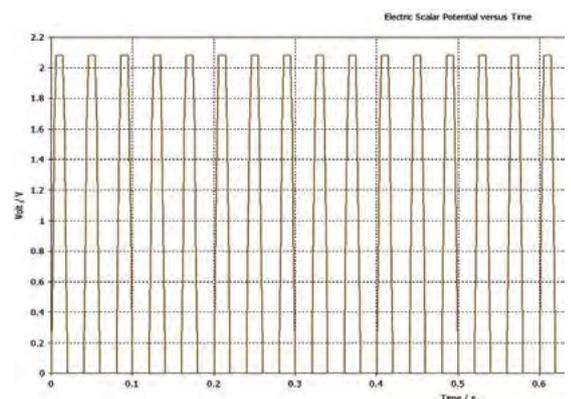


Abb. 4: Messung des Rückenmarkspotentials bei 5 V während der transösophagealen Neurostimulation

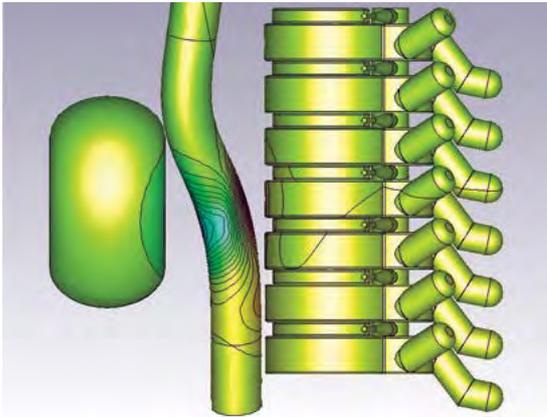


Abb. 5:  
Potenzialausbreitung bei der transösophagealen Neurostimulation bei 5 V mit Blick von außen in 3D

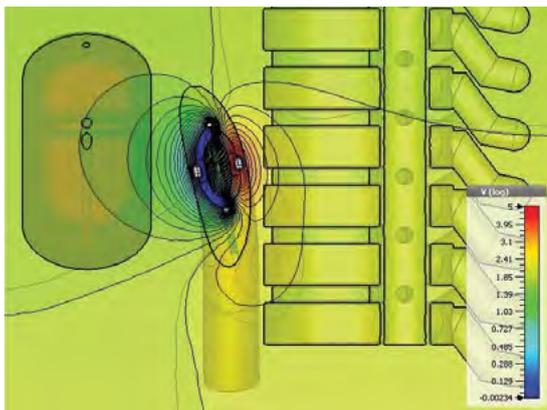


Abb. 6:  
Potenzialausbreitung bei der transösophagealen Neurostimulation bei 5 V mit Blick von der Schnittebene in 2D

## Diskussion

Ösophagus-Ballonkatheter- und Herzrhythmusmodelle sowie die Simulation von elektrischen Stimulationsfeldern und elektrischen Sensorfeldern ermöglichen die statische und dynamische Simulation der gerichteten transösophagealen elektrischen Stimulation des Rückenmarks. Der Vorteil der Simulation mit CST kennzeichnet sich durch eine realistische Ausbreitung der elektrischen Feldlinien. Grund hierfür ist die Auswahl der unterschiedlichen Leitungseigenschaften von Gewebe und Knochen. Die Simulationen zeigen sowohl das elektrische Potenzial als auch die im Rückenmark detektierten elektrischen Feldlinien auf.

Die Ergebnisse der 25 Hz transösophagealen Neurostimulation lieferten positive Ergebnisse, die für die weitere Forschung in diesem Bereich genutzt werden können. Damit ist eine Schmerzreduktion bei der Herzstimulation möglich. Es zeigt sich, dass sich die transösophageale Neurostimulation auch in Richtung des Herzens ausbreitet. Da die transösophageale Neurostimulation ein unerforschtes Verfahren ist, sind die Auswirkungen auf die Herzstimulation noch unklar. Die 3D-Simulation der elektrischen Abtast- und Stimulationsfelder kann zur Optimierung der transösophagealen Neurostimulation genutzt werden.

## Schlussfolgerungen

Virtuelle Herzrhythmus- und Kathetermodelle sowie die Simulation von elektrischen Stimulationsfeldern und elektrischen Sensorfeldern ermöglichen die statische und dynamische Simulation der gerichteten transösophagealen elektrischen Stimulation des Rückenmarks. Die 3D-Simulation der elektrischen Wahrnehmungs- und Stimulationsfelder kann zur Optimierung der transösophagealen Neurostimulation eingesetzt werden.

- Referenzen/References:
- [1] M. Schleh, M. Heinke, J. Hörth: Esophageal electrode model and simulation of directed transesophageal electrical pacing of the spinal cord. *Current Directions in Biomedical Engineering*, Bd. 5, Heft 1, S. 89–92, ISSN (Online) 2364-5504, DOI: <https://doi.org/10.1515/cdbme-2019-0023>
  - [2] Morales A, Yong RJ, Kaye AD, Urman RD: Spinal Cord Stimulation: Comparing Traditional Low-frequency Tonic Waveforms to Novel High Frequency and Burst Stimulation for the Treatment of Chronic Low Back Pain. *Curr Pain Headache Rep*. 2019 Mar 14;23(4):25. doi: 10.1007/s11916-019-0763-3
  - [3] M. Heinke, M. Schalk: Ösophagus-elektroden-sonde und Vorrichtung zur kardiologischen Behandlung und/oder Diagnose. DE 10 2017 010 318 B3 2019.02.21, Anmeldetag: 07.11.2017, Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 21.02.2019
  - [4] Morgenstern U, Kraft M, *Biomedizinische Technik - Faszination, Einführung, Überblick*, Bd. 1, Berlin: De Gruyter, 2014

### AUTOREN



**Manuela Schleh B.Sc.**  
Fakultät EMI, Medizintechnik Absolventin  
mschleh@stud.hs-offenburg.de



**Prof. Dr.-Ing. med. habil. Matthias Heinke**  
Fakultät EMI, Praktikantenamtsleiter Medizintechnik, Wissenschaftl. Ltg. Labor Kardiologische Gerätetechnik u. Rhythmologie  
matthias.heinke@hs-offenburg.de



**Johannes Hörth M.Sc.**  
Fakultät EMI, Akademischer Mitarbeiter, Laborassistent Labor Kardiologische Gerätetechnik und Rhythmologie  
johannes.hoerth@hs-offenburg.de

# Oracle Datenbank-Optimierung mit Tracefiles

Prof. Dr.-Ing. Hartwig Grabowski

Treten bei der Nutzung einer Oracle Datenbank Performance Probleme auf, kann das Lastverhalten mit dem Tracefile (z. Dt. Ablaufverfolgungsdatei) analysiert werden. Das von Oracle erzeugte Tracefile ist jedoch schwer lesbar und kann nicht mit Bordmitteln interaktiv ausgewertet werden. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Tool entwickelt, das das Tracefile in ein Datenbank-Schema überführt und so eine Auswertung durch SQL-Abfragen ermöglicht.

*If performance problems occur when using an Oracle database, the load behavior can be analyzed using the tracefile. However, the tracefile generated by Oracle is difficult to read and cannot be evaluated interactively with on-board tools. Therefore, a tool was developed, which transfers the tracefile into a database schema and thus enables an evaluation using SQL queries.*

## Das Oracle Tracefile

Treten bei bestimmten SQL-Statements Performance-Probleme auf, sodass die Antwortzeit der Datenbank zu groß wird, kommt man um eine Auswertung des Tracefiles nicht herum [1, 2]. Das Tracefile enthält die aus einem SQL-Statement erzeugten grundlegenden Datenbank-Operationen (PARSE, EXEC, FETCH, etc.), auch Events genannt, die um weitere Informationen wie z. B. dem aktuellen Zeitstempel nach Ausführung der Operation oder der benötigten Ausführungszeit ergänzt werden. Für eine tiefere Analyse kann das sogenannte Extended SQL Tracefile [3] erzeugt werden, das weitere Informationen insbesondere auch zum sogenannten WAIT-Event enthält. Die WAIT-Events geben Aufschluss über die Wartezustände der Oracle-Prozesse. Man unterscheidet zwischen den „idle waits“ (der Prozess wartet auf Anweisungen vom Client)

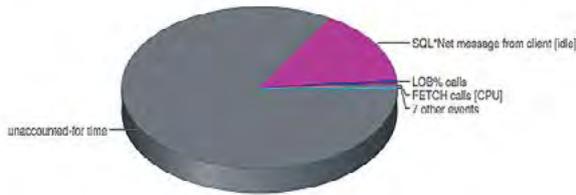
und den „busy waits“ (der Prozess wartet auf eine Ressource, wie z. B. IO-Kanal, Daten-Puffer oder einen Datenblock). Viele und lange „idle waits“ sind ein Indikator, dass die der Datenbank überliegende Anwendung zu langsam ist, wogegen das Auftreten vieler „busy waits“ auf ein Problem im Zusammenspiel der Datenbank mit dem unterliegenden Betriebssystem hinweist.

Erzeugt man während des Datenbankbetriebs ein Extended SQL Tracefile (SQL-Anweisung: ALTER SESSION SET EVENTS '10046 trace name context forever, level 8'), kann dies schnell mehrere tausend Zeilen enthalten, die zwar im Klartext vorliegen, jedoch mit einer einfachen Dateibetrachtung kaum noch auszuwerten sind. Listing 1 zeigt den Ausschnitt eines typischen Tracefiles.

```
PARSING IN CURSOR #140289808019968 len=158 dep=0 uid=50 oct=3 lid=50 tim=1576354812266780
hv=1156813489 ad='9803cd18' sqlid='28dzua12g74pj'
select g.url, g.email, g.beschreibung, g.cover, b.kommentar, b.gefallen
from bewertung b right outer join gadgets g
ON (b.url = g.url) AND (b.email = '12345')
END OF STMT
PARSE #140289808019968:c=6525,e=138336,p=0,cr=11,cu=0,mis=1,r=0,dep=0,og=1,plh=1514576463,
tim=1576354812266779
EXEC #140289808019968:c=24,e=24,p=0,cr=0,cu=0,mis=0,r=0,dep=0,og=1,plh=1514576463,tim=1576354812266868
WAIT #140289808019968: nam='SQL*Net message to client' ela= 6 driver id=1413697536 #bytes=1 p3=0
obj#=-1 tim=1576354812266902
WAIT #140289808019968: nam='SQL*Net message from client' ela= 1082 driver id=1413697536 #bytes=1 p3=0
obj#=-1 tim=1576354812268124
WAIT #140289808019968: nam='SQL*Net message to client' ela= 6 driver id=1413697536 #bytes=1 p3=0
obj#=-1 tim=1576354812268341
```

Listing 1:  
Ausschnitt aus einem Extended SQL Tracefile

Session Flat Profile Pie Chart



Session Flat Profile

Event Name	% Time	Seconds	Calls	- Time per Call -		
				Avg	Min	Max
unaccounted-for time	83.6%	7.1827s				
SQL*Net message from client [idle]	14.8%	1.2696s	8	0.1587s	0.0002s	1.2307s
LOB% calls	0.8%	0.0693s	1	0.0693s	0.0010s	0.0010s
FETCH calls [CPU]	0.6%	0.0550s	14	0.0039s	0.0001s	0.0062s
SQL*Net message from client	0.1%	0.0084s	10	0.0008s	0.0005s	0.0017s
SQL*Net more data to client	0.0%	0.0038s	45	0.0001s	0.0000s	0.0002s
FARGE calls [CPU]	0.0%	0.0031s	5	0.0006s	0.0001s	0.0025s
direct path read	0.0%	0.0022s	91	0.0000s	0.0000s	0.0001s
EXEC calls [CPU]	0.0%	0.0018s	5	0.0004s	0.0000s	0.0013s
asynch descriptor resize	0.0%	0.0008s	185	0.0000s	0.0000s	0.0001s
SQL*Net message to client	0.0%	0.0001s	17	0.0000s	0.0000s	0.0000s
<b>Total</b>	<b>100.0%</b>	<b>8.5967s</b>				

Abb. 1: Die mit orasrp erzeugte HTML-Datei schlüsselt die Laufzeit nach Events auf

## Die Analysetools

Um das Tracefile zu analysieren, kann man sich zunächst der von Oracle zur Verfügung gestellten Tools bedienen. Das wohl bekannteste Tool ist TKPROF (Transient Kernel Profile), das das Tracefile auswertet und in eine lesbare Form überführt [4]. Die Aussagekraft von TKPROF ist aber beschränkt, da erstens TKPROF die Zusatzinformationen des Extended SQL Tracefiles nicht vollständig auswertet (WAIT-Events) und zweites nicht den tatsächlichen SQL execution plan (SQL-Ausführungsplan) erzeugt, sondern den sog. SQL explain plan, der sich vom tatsächlichen Ausführungsplan unterscheiden kann. Etwas mehr Information liefert das von Egor Starostin entwickelte Tool „orasrp“ [5, 6], das aus dem Tracefile eine HTML-Datei erzeugt, die im Browser betrachtet werden kann.

Die in Abbildung 1 mit „orasrp“ dargestellte Auswertung des Extended SQL Tracefiles zeigt die Schwäche der gängigen Auswertetools: Die gesamte Laufzeit der SQL-Abfrage in unserem Beispiel beträgt 8,59 Sekunden, 7,18 Sekunden (83,6%) davon werden jedoch als „unaccounted-for time“ klassifiziert. Im Oracle Tracefile wird zwar für jede Operation die verstrichene Zeit (elapsed time) mitprotokolliert, jedoch kann die Summe der protokollierten

Zeit und der tatsächlich verstrichenen Zeit – wie unser Beispiel zeigt – differieren. Diese Differenz wird dann „unaccounted-for time“ genannt und kann nicht weiter aufgeschlüsselt und den einzelnen Events zugeordnet werden. Somit ist eine weitere Ursachenforschung für die in unserem Fall zu lange Laufzeit (8,59 Sekunden bei nur 91 gespeicherten Datensätzen) erstmal nicht möglich.

## Entwicklung eines Auswertetools für das Tracefile

Zur Lösung der oben beschriebenen Problematik wird das Tracefile am Beispiel zweier aufeinanderfolgender Events genauer untersucht. Listing 2 zeigt zwei unmittelbar hintereinander auftretende WAIT-Events. Die verstrichene Zeit (elapsed time) für den WAIT-Event wird im Parameter ela angegeben, der Parameter tim enthält den genauen Zeitpunkt, an dem der Event beendet wurde. (Es sei darauf hingewiesen, dass tim den Zeitpunkt der Beendigung des Events und nicht den Startzeitpunkt des Events enthält. Die Zeiten werden ab Oracle 9i in Mikrosekunden angegeben.)

```
WAIT #140289808019968: nam='asynch descriptor resize' ela= 2 ... tim=1576354813034882
WAIT #140289808019968: nam='asynch descriptor resize' ela= 9 ... tim=1576354813073875
```

Listing 2: Zwei aufeinanderfolgender WAIT-Events: Die Differenz der Zeitstempel (tim) und die Summe der verstrichenen Zeit (ela) differiert deutlich.

Die Differenz der beiden Zeitstempel zeigt, dass der zweite WAIT-Event erst 38993 Mikrosekunden nach dem ersten WAIT-Event beendet wurde, die Ausführung (elapsed time) der Events zusammen aber nur 11 Mikrosekunden gedauert hat. Aus genau dieser Diskrepanz ergibt sich die „unaccounted-for time“, die die Ursache für unsere lange Ausführungszeit ist.

Für die weitere Untersuchung ist es daher sinnvoll, für jede Operation die Differenz des Zeitstempels tim der Operation zu seiner Vorgängeroperation zu ermitteln. Diese Differenz wird im Folgenden mit dtim bezeichnet und kann für jede Operation außer der ersten Operation berechnet werden. Für die erste Operation wird dtim auf 0 gesetzt. Es wurde im Rahmen dieser Arbeit das Tool trace2sql entwickelt, das das Tracefile parsed und für jede Operation den Namen der Operation (WAIT, EXEC, ...), den durch die Raute gekennzeichneten Cursor, die verstrichene Zeit (ela), den Zeitstempel (tim) und noch weitere Parameter des Tracefiles erkennt und in eine Tabelle überführt. Weiterhin wird die Tabelle unter anderem um die Spalten dtim (Zeitdifferenz zwei aufeinanderfolgender Zeitstempel), dftim (dtim in Sekunden), adtim (Differenz eines Zeitstempels zum allerersten Zeitstempel) ergänzt. Eine vollständige Beschreibung der erzeugten Tabelle und ihrer Spalten findet sich unter [7]. Dabei kann die Tabelle durch entsprechender SQL-DDL Befehle (CreateTable ..., Insert Into ...) als SQL-Tabelle erzeugt werden und so im Oracle-Datenbanksystem mit den gängigen SQL-Abfragebefehlen ausgewertet werden. Das Tracefile wird also in eine SQL-Tabelle überführt, die mit SQL bequem ausgewertet werden kann.

Eine weitere Herausforderung ist die Bestimmung des zu den Events gehörenden SQL-Statements. Hinter jedem Event ist der Cursor mit einer 15-stelligen Zahl – der sog. CursorID – definiert (z. B. PARSING IN CURSOR #140289808019968). Bis Oracle 9i war diese CursorID für jedes SQL-Statement eindeutig, d. h., alle Events mit der gleichen CursorID gehörten zum gleichen SQL-Statement. Ab Oracle 9i ist die CursorID nicht mehr eindeutig, d. h. zwei unterschiedliche SQL-Statements können die gleiche CursorID haben. Um die zu einem SQL-Statement gehörenden Events zu bestimmen, müssen diejenigen Events bestimmt werden, die zwischen dem entsprechenden „PARSING IN CURSOR“-Event und später abschließenden „CLOSE“-Event liegen und die gleiche CursorID haben. Das Tool ordnet die

sen Events eine „virtuelle CursorID“ (vCursor) zu, die mit 0 beginnt und mit jedem „PARSE IN CURSOR“-Event um 1 inkrementiert wird. Durch die „virtuelle CursorID“ ist dann wieder eine eindeutige Zuordnung der Events zum jeweiligen auslösenden SQL-Statement möglich.

## Analyse mit trace2sql

Trace2sql erzeugt aus dem Tracefile eine SQL-Tabelle, die mit SQL-Abfragen ausgewertet werden kann (Abb. 2).

LINE#	COM...	V...	TIM	DTIM	FTIME	SQLTEXT
563	EXEC	5	1576354819495014	86	21:20:19.495	EXEC #140289808017936:c=24,e=25,p=0,cr=0,cu
564	WAIT	5	1576354819495040	26	21:20:19.495	WAIT #140289808017936: nam='SQL*Net message
565	FETCH	5	1576354819495160	120	21:20:19.495	FETCH #140289808017936:c=103,e=101,p=0,cr=3

Abb. 2:  
Ausschnitt der aus dem Tracefile erzeugten Tabelle

Über die Gruppierung nach dem „virtuellen Cursor“ (vCursor) und Aufsummierung der Zeitdifferenzen dtim kann bestimmt werden, welches SQL-Statement bei der Ausführung am meisten Zeit benötigt hat (Listing 3a). Da es im Tracefile auch Events ohne CursorID gibt, werden deren Zeiten dem vCursor „null“ zugeordnet. Im nächsten Schritt können dann auf analoge Weise für den ermittelten vCursor (im unserem Beispiel vCursor = 3) diejenigen Events bestimmt werden, die für die lange Laufzeit ursächlich sind (Listing 3b; die WAIT-Events verbrauchen mit 7,08 Sekunden am meisten Zeit).

In unserem Fall ergibt eine weitere Untersuchung dieser Events, dass es sich bei den WAIT-Events um die sog. „buys waits“ handelt: Oracle versucht die Anzahl der I/O-Slots dynamisch zu erhöhen. Der Linux-Kernel erlaubt jedoch eine Erhöhung nur dann, wenn alle ausstehenden I/O-Operationen abgearbeitet sind. Das führt dazu, dass alle weiteren asynchronen I/O-Operationen warten müssen, bis diese Erhöhung erfolgt ist. Als „Workaround“ für dieses Problem können asynchrone I/O-Operationen ausgeschaltet werden (Set DISK\_ASYNCH\_IO = false). Das Problem ist unter dem Bug 9829397 bekannt und sollte ab Oracle 12.1 behoben sein.

In Oracle kann dies durch den Befehl „alter system set disk\_asynch\_io=false scope=spfile“ erfolgen. Eine erneute Abfrage mit ausgeschaltetem asynchronem Zugriff führt dann zu einer deutlichen Verkürzung der Abfragedauer. Listing 3c zeigt die neuen Laufzeiten. Da sich die Reihenfolge der Events geändert hat, sind auch die generierten vCursor unterschiedlich: Der Event mit dem vCursor 1 entspricht nun dem Event mit dem vCursor 3.

```

/* -- Listing 3a --*/
select vcursor, sum(dtim)
from sqltracefile
group by vcursor
order by sum(dtim) desc;
    
```

VCURSOR	SUM(DTIM)
3	7122287
5	1231256
2	96573
0	74239
1	41131
null	31334
4	1795

```

/*-- Listing 3b --*/
select command, sum(dtim)
from sqltracefile
where vcursor = 3
group by command
order by sum(dtim) desc;
    
```

COMMAND	SUM(DTIM)
STAT	
WAIT	7085582
FETCH	35852
PARSING IN CURSOR	646
CLOSE	119
EXEC	89
PARSE	-1

Listing 3a und 3b: Bestimmung der zeitintensivsten Events mit einer SQL-Abfrage

## Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Tools trace2sql das Oracle Tracefile in eine SQL-Tabelle überführt wird und somit über konventionelle SQL-Abfragen ausgewertet werden kann. Zusätzlich wurden weitere Spalten hinzugefügt, die die Auswertung und Analyse vereinfachen. Die Einsatzmöglichkeiten sind umfangreich, sodass neben der Analyse eines einzelnen Tracefiles auch Leistungsvergleiche verschiedener Hardwareumgebungen detailliert durchgeführt werden können, weil insbesondere auch die Laufzeiten verschiedener Events aufsummiert (vgl. Listing 3b) und miteinander verglichen werden können. Das Projekt liegt als Open Source vor und ist frei verfügbar [7].

```

/*-- Listing 3c ---*/
/* Auswertung nach */
/* "Workaround" */
    
```

VCURSOR	SUM(DTIM)
1	85374
0	75331
2	3951
3	651
null	26

Listing 3c: Verbesserung der Laufzeit durch Abschalten des asynchronen Zugriffs

**AUTOR**



Prof. Dr.-Ing. Hartwig Grabowski  
 Fakultät EMI  
 Datenbanksysteme & Mobile Computing  
 hartwig.grabowski@hs-offenburg.de

Referenzen/References:

[1] Christian Antognini: "Troubleshooting Oracle Performance", ISBN 978-1-4302-5758-5, Apress 2nd ed., 2014  
 [2] Richard Niemiec: "Oracle Database 12c Release 2 Performance Tuning Tips & Techniques", ISBN 978-1259589683, McGraw-Hill Education Ltd., 2017  
 [3] Norman Dunbar: "Oracle Trace Files Explained", <https://github.com/NormanDunbar/OracleTraceFilesExplained/blob/master/OracleTraceFilesExplained.pdf>, 2019  
 [4] Tim Hall: „SQL trace, 10046, trcsess and tkprof in Oracle“, <https://oracle-base.com/articles/misc/sql-trace-10046-trcsess-and-tkprof>, 2019  
 [5] Egor Starostin: „Oracle Session Resource Profiler“, <http://oracledba.ru/orasrp/>, 2019  
 [6] Uwe Kuechler: „Oracle-Performance-Analyse mit frei verfügbaren Tools“, [https://www.opitz-consulting.com/fileadmin/user\\_upload/Collaterals/Artikel/red-stack-magazin-2018-05-oracle-performance-analyse-mit-frei-verfuegbaren-tools\\_2018-red-stack\\_kuechler\\_sicher.pdf](https://www.opitz-consulting.com/fileadmin/user_upload/Collaterals/Artikel/red-stack-magazin-2018-05-oracle-performance-analyse-mit-frei-verfuegbaren-tools_2018-red-stack_kuechler_sicher.pdf), 2018  
 [7] Hartwig Grabowski: „trace2sql“, <https://github.com/hgrabows/trace2sql>, 2020

# Promotionskolleg „MERAGEM“

*Prof. Dr. rer. nat. Jasmin Aghassi-Hagmann, Alexander Scholz M.Sc.*

Das im November 2016 ins Leben gerufene kooperative Promotionskolleg „MERAGEM“ (Modellierung, Entwurf, Realisierung und Automatisierung von gedruckter Elektronik und ihren Materialien) der Hochschule Offenburg und des Karlsruher Instituts für Technologie beschäftigt sich mit Materialien, Bauelementen und Anwendungen der gedruckten und hybriden Elektronik. Insgesamt forschen 12 Doktoranden gemeinsam an beiden Standorten.

*The cooperative graduate college “MERAGEM” (Modeling, Design, Realization and Automation of Printed Electronics and its Materials) launched in November 2016 of the University of Applied Sciences Offenburg and the Karlsruhe Institute of Technology deals with materials, devices and applications of printed and hybrid electronics. A total of 12 PhD students are conducting research at both locations.*

## Entstehung und Ziele des MERAGEM-Promotionskollegs

Das kooperative Promotionskolleg der Hochschule Offenburg (HSO) und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) wurde im Rahmen des Wettbewerbs zu der Ausschreibung „Förderung des Exzellenten Nachwuchses“ durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg eingeworben. Es wird kollegial von Prof. Dr. Aghassi-Hagmann, HSO, und Prof. Dr. Tahoori, KIT, als wissenschaftliche Sprecherin bzw. Sprecher geleitet.

Seit dem Start im November 2016 beschäftigt sich das kooperative Promotionskolleg MERAGEM (Modellierung, Entwurf, Realisierung und Automatisierung von gedruckter Elektronik und ihren Materialien) mit Fragestellungen rund um die gedruckte Elektronik, ihren Materialien und ihren Anwendungen. Zwölf Promovierende aus den Disziplinen Materialwissenschaften, Physik, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie aus der Informatik forschen seither gemeinsam an neuen Lösungen für druckbare Elektronik. Die Stipendiaten und Stipendiatinnen in MERAGEM werden von zehn Professorinnen und Professoren an der HSO und des KIT intensiv in Tandems betreut.

Das wissenschaftliche Ziel des Projekts ist die systematische Erforschung optimierter, aber noch nicht industriereifer Druckprozesse, Druckmaterialien und Designs von gedruckter Elektronik auf organischer und anorganischer Basis sowie deren Entwurf und Anwendungspotenzial für sensorische Systeme. Die im Projekt erarbeiteten Komponenten werden

anschließend in einem computerunterstützten Design-System umgesetzt und in Form eines Process Design Kits als Software zusammengefügt. Das Design-System steht nicht nur den Promovierenden, sondern auch interessierten Forschungs- und Industriepartnern in Zukunft zur Verfügung. Beispielsweise wurden bereits digitale Schaltungen, Speicherelemente, Thermoelektrische Energy Harvester und andere Bauelemente entworfen und hergestellt. Auch hybride elektronische Systeme, insbesondere Sicherheitsschaltungen sowie optoelektronische Sensoren, sind Gegenstand der Forschung.

Das Projekt wird vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg mit einer Laufzeit von zunächst drei Jahren mit anschließender kostenneutraler Laufzeitverlängerung bis Ende 2021 finanziell unterstützt. Neben der Forschungsarbeit soll das Promotionskolleg mit seinen interdisziplinären Ansätzen insbesondere die Perspektiven des wissenschaftlichen Nachwuchses von Hochschulen der angewandten Wissenschaften und Universitäten aus dem In- und Ausland fördern. Dafür wurde ein anspruchsvolles Auswahlverfahren zur Förderung des exzellenten Nachwuchses durchgeführt.

In allen involvierten Fakultäten im Rahmen des Promotionskollegs MERAGEM, der Informatik, dem Chemieingenieurwesen und der Verfahrenstechnik sowie der Elektrotechnik und Informationstechnik konnte eine fachspezifische Anpassung der Promotionsordnung da-

hingehend erzielt werden, dass Absolvierende anderer Universitäten sowie Hochschulen für angewandte Wissenschaften bei sehr gutem bis gutem Abschluss im Einzelfall bei einschlägigem Studium ohne Auflagen zur Promotion angenommen werden können.

Fünf der insgesamt 12 Promovierenden forschen am Standort Offenburg, die anderen sieben am KIT. Aufgrund der Nähe der beiden Standorte können sich Promovierende und Professorenschaft regelmäßig wissenschaftlich austauschen. Der Austausch findet durch gemeinsame Doktorandenseminare (monatlich) sowie gemeinsame Aktivitäten, wie jährliche Klausurtagungen (Summer-/Winter-School), gruppeninterne Schulungen und Exkursionen zu Unternehmen und anderen Forschungsstandorten, statt.

## Struktur und Zusammenarbeit zwischen HSO und KIT

Der strukturelle Forschungsaufbau des Promotionskollegs ist in vier Teilarbeitsbereiche, A: Technologie und Prozess, B: Devices, C: Komponenten und Module, D: Systeme und Applikationen, eingeteilt. Das abgedeckte Forschungsspektrum reicht hierbei von der Bauteilebene/Grundlagenforschung bis hin zur Systementwicklung in Form hybrider Systeme, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Die enge Zusammenarbeit zwischen der HSO und dem KIT bietet den Promovierenden die Möglichkeit, beide Institutionen und ihre Infrastruktur zu nutzen. Dies ermöglicht z. B. im

Bereich der hybriden Systeme die Nutzung der Infrastruktur zur Elektronikentwicklung an der HSO sowie die Forschungslaboratorien für gedruckte Elektronik des KIT. So wird ebenfalls ein bidirektionaler, interdisziplinärer Wissenstransfer ermöglicht, der die Entwicklung neuartiger, auch komplexerer Systeme durch mehrere Promovierende und ihrer Forschungsergebnisse erlaubt. In Abbildung 2a ist ein Fujifilm Dimatix DMP Piezo-Inkjet Drucker der Arbeitsgruppe „Gedruckte Elektronik“ am Institut für Nanotechnologie (INT) des KIT zu sehen. Der Drucker ermöglicht das Aufbringen von Fluiden auf verschiedenste Substrate. Die durchschnittliche Tropfenmenge eines Einzeltropfens, in Abhängigkeit des genutzten Druckkopfs, liegt bei ~10 pL. Abbildung 2b zeigt die Charakterisierungsmöglichkeiten gedruckter Elektronik am INT. Zur Verfügung stehen mehrere Source-Meter-Units (SMUs), Micro Probe Stations, ein Parameteranalysator und weiteres Charakterisierungsequipment. Am Beispiel der hybriden Systeme werden am INT Transistoren auf ein Glassubstrat gedruckt und mit einer definierten Schnittstelle in ein Printed Circuit Board (PCB) eingebettet. Zur vollautomatischen Charakterisierung wurde eine Software-/Hardware-Peripherie an der HSO entwickelt (siehe Abbildung 2c) und im Technologieraum bestückt. Zur Messung des Systems mit kontrollierten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen wurde ein Klimaprüfschrank des Technikums an der HSO genutzt (Abbildung 2d). In fast allen Promotionsvorhaben konnte erfolgreich von der Infrastruktur und dem Know-how beider Institutionen profitiert werden.

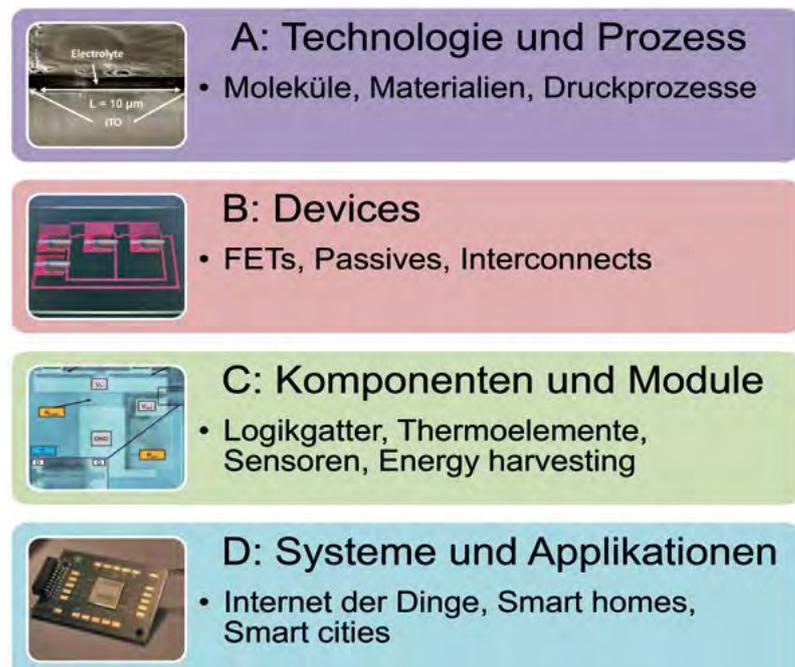


Abb. 1: Darstellung der vier Forschungsschwerpunkte und Teilprojekte innerhalb von MERAGEM

Ein weiterer integraler Bestandteil des Promotionskollegs besteht im Austausch der Promovierenden und Professorenschaft im Rahmen verschiedener Summer- und Winter-Schools. Diese meist mehrtägigen Veranstaltungen bieten die Möglichkeit, den Stand der Forschungsarbeit über Präsentationen der beteiligten Professorenschaft vorzustellen und sich wissenschaftlich auszutauschen. Abbildung 3 zeigt die am Promotionskolleg Beteiligten bei der MERAGEM Summer-School 2017 in Rastatt. Des Weiteren wurden Treffen der Promovierenden organisiert, um untereinander mögliche gemeinsame Forschungsthemen auszuarbeiten. Gruppenseminare und Workshops zu verschiedensten Themen, wie z. B. der Karriereplanung, wurden seitens des Promotionskollegs angeboten, um den Promovierenden verschiedene Karrierewege aufzuzeigen. Die Teilnehmer eines Workshops zum Thema „Occupational Career Planning“ sind in Abbildung 4 zu sehen.

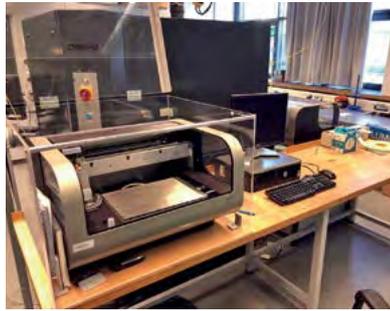


Abb. 2a:  
Fujifilm Dimatix DMP Piezo-Inkjet Drucker am INT

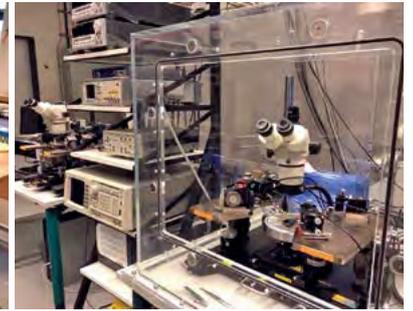


Abb. 2b:  
Gemeinsamer Teststand für die elektrische Charakterisierung am INT

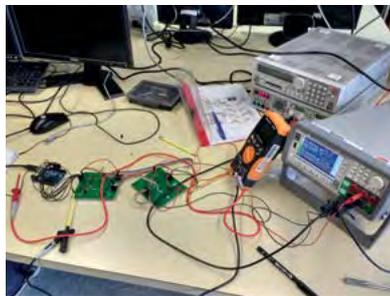


Abb. 2c:  
Prototyp Elektronikentwicklung in den Laboren der HSO



Abb. 2d:  
Hybrides System mit integriertem gedrucktem Bauteil in Klimaprüfschrank des Technikums der HSO



Abb. 3:  
Teilnehmer (DoktorandInnen und ProfessorInnen) der Meragem Summer School 2017 in Rastatt

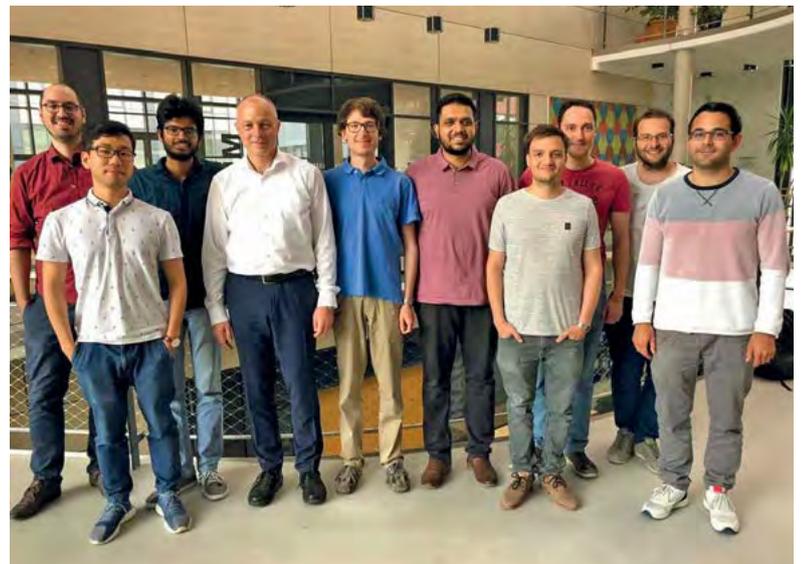


Abb. 4:  
Meragem Occupational Career Planning Workshop am Institut für Nanotechnologie, KIT

## Forschung

Die Forschungsthemen reichen von der Herstellung von Transistoren, Widerständen und thermoelektrischen Generatoren bis hin zu integrierten Sicherheitsschaltungen und hybriden Systemen, bestehend aus gedruckten Elementen und CMOS-Siliziumtechnologie. Durch die Fokussierung der Forschung in die bereits vorgestellten Teilarbeitsbereiche wird eine themenspezifische Vernetzung der Promovierenden auch mit den bestehenden Arbeitsgruppen an der HSO und dem KIT erzielt und so eine noch größere kritische Masse zu einzelnen Themen erreicht. Die erzielten Forschungsergebnisse wurden auf zahlreichen internationalen wissenschaftlichen Konferenzen wie der IEEE RFID-TA (Pisa, Italien), der IEEE ASP-DAC (Beijing, China), der IEEE ICET (Chengdu, China), der IEEE DATE (Florenz, Italien) in Vorträgen vorgestellt und durch Posterpräsentationen bei Veranstaltungen der DPG (Berlin, Deutschland), der LOPEC (München, Deutschland) ergänzt. Es gab zudem Vorträge auf der E-MRS (Nizza, Frankreich), der LOPEC (München, Deutschland) sowie eine Live-Hardware-Demonstration auf der IEEE HOST (Washington D.C, USA), eine der bedeutendsten Sicherheitskonferenzen weltweit.

Neben diesen Aktivitäten im Bereich der Wissenschaftskommunikation wurden ebenfalls zahlreiche Publikationen in internationalen Fachzeitschriften vorgestellt, beispielsweise vollständig gedruckte Dünnschichttransistoren mit inorganischen Halbleitern [1], Daten-getriebene Modellierungs- und Applikationsansätze für gedruckte Elektronik [2,3,4] sowie Ergebnisse zu physikalisch nicht klonbaren Funktionen in Form von hybriden Systemen [5]. Abbildung 5 zeigt die Doktoranden Alexander Scholz (links) und Lukas Zimmermann (rechts) auf dem IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST) in Washington D.C., bei der Hardware-Demonstration einer physikalisch nicht klonbaren Funktion (PUF) Plattform mit begleitendem Poster. Zudem hielt Doktorand Dennis Weller einen Vortrag über eine gedruckte Aktivierungsfunktion für neuronale Netze auf der IEEE Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC) in Beijing. Die vielfältigen Ergebnisse über verschiedene Themenbereiche hinaus haben das Promotionskolleg zu einem hervorragenden virtuellen Ort für die interdisziplinäre Forschung gemacht.

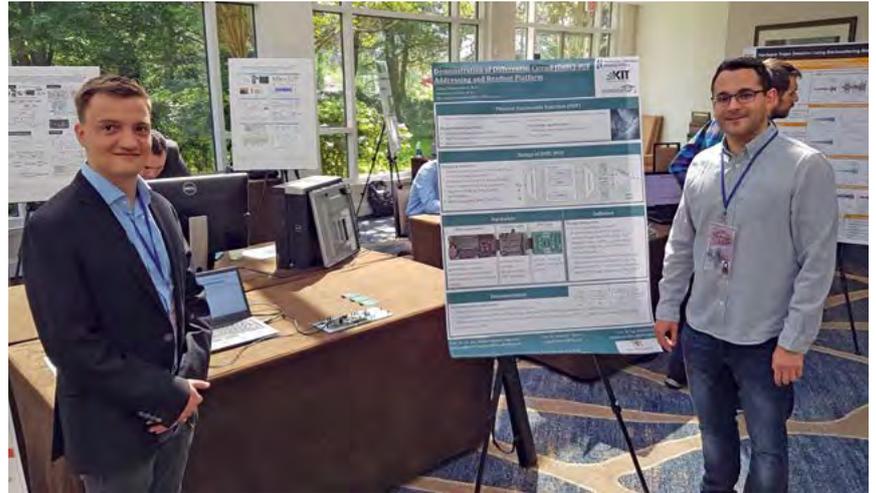


Abb. 5: Hardware-Demonstration einer physikalisch nicht klonbaren Funktion (PUF) als hybride Plattform mit begleitendem Poster; Alexander Scholz, Lukas Zimmermann (v.l.n.r.)

## Ausblick

Die bisher erzielten Ergebnisse sowie die hohe Motivation und Ideenvielfalt der Promovierenden haben in der letzten veranstalteten Winter-School im Februar 2020 in Ringelbach (Ortenaukreis) die beteiligten Professorinnen und Professoren nachhaltig beeindruckt. Basierend auf dem gesammelten Feedback der Promovierenden und der Einschätzung der neuesten Forschungsentwicklungen haben die beteiligten Professorinnen und Professoren ein wissenschaftliches Folgeprogramm entworfen, das bis Mitte des Jahres 2020 dem Ministerium in Baden-Württemberg vorgelegt werden soll. Natürlich hoffen alle Beteiligten und die beiden Hochschulleitungen auf eine zweite Förderperiode, um die erfolgreiche Zusammenarbeit auch in Zukunft fortzusetzen und weiter ausbauen zu können.

Referenzen/References:

- [1] Singaraju, S.; Baby, T.; Neuper F.; Kruk R.; Aghassi-Hagmann, J.; Hahn H.; Breitung B., Development of Fully Printed Electrolyte-Gated Oxide Transistors Using Graphene Passive Structures. ACS Applied Electronic Materials 2019, 1,8, 1538-1544
- [2] Rasheed F.; Golanbari M.; Marques G.; Baradan T.; Aghassi-Hagmann J., A Smooth EKV-Based DC Model for Accurate Simulation of Printed Transistors and Their Process Variations. IEEE Transactions on Electron Devices 2018, 65, 2
- [3] Weller D.; Marques G.; Aghassi-Hagmann J.; Tahoori M., An Inkjet-Printed Low-Voltage Latch Based on Inorganic Electrolyte-Gated Transistors, IEEE Electron Device Letters 2018, 39, 6
- [4] Le V.; Moser P.; Lemmer U.; Mackensen E., A Comparison of Printed Flexible RFID/NFC Antennas for a Microelectronic Measurement System, IEEE Int. Conference on RFID-Technology and Applications (RFID-TA), 2019
- [5] Zimmermann L.; Scholz A.; Sikora A.; Aghassi-Hagmann J., A hybrid system architecture for the readout of a printed physical unclonable function, IEEE Int. Conference on Electronics Technology (ICET), 2018

### AUTOREN



Prof. Dr. rer. nat. Jasmin Aghassi-Hagmann  
Fakultät EMI  
jasmin.aghassi-hagmann@hs-offenburg.de



Alexander Scholz M.Sc.  
Doktorand MERAGEM  
alexander.scholz@hs-offenburg.de

# #heimat #Technologieführer



Innovator des  
Jahres 2018



Top-Arbeitgeber  
2017

Sina Tiziana Huber, 23  
(Foto: Sebastian Wehrle)

## Inspired by **temperature**

Sie suchen Freiräume für Ihre Ideen und gute Karrierechancen? Dann heißen wir Sie herzlich willkommen in der Tangofabrik in Offenburg – dem kältesten Punkt der Ortenau. Hier ist unsere Heimat und hier entwickeln und produzieren wir seit 50 Jahren hochgenaue Temperierlösungen für Forschung und Industrie von -125 bis +425 °C.

# huber

[www.huber-online.com/jobs](http://www.huber-online.com/jobs)



**ENTWICKLUNG AM PULS DER ZEIT:  
Steckverbinder für Industrie 4.0**

Die HUMMEL AG entwickelt innovative Rundsteckverbinder für Power, Signal und Industrial Ethernet Applikationen im industriellen Umfeld. Connectivity zählt zu den Schlüsseltechnologien für Industrie 4.0. Technologie-Experten, die mit Spaß und Begeisterung die Zukunft mitgestalten möchten, sind bei uns willkommen.  
[www.hummel.com](http://www.hummel.com)

**HUMMEL**  
smart & reliable connections

HUMMEL AG DENZLINGEN    HUMMEL INTERNATIONAL : FRANKREICH GROSSBRITANNIEN ÖSTERREICH POLEN ITALIEN RUSSLAND SKANDINAVIEN CHINA INDIEN SÜDKOREA BRASILIEN

**Ihr Erfolg.**

Stark zusammen mit bundesweit 12 Verlagen der Unternehmensfamilie!

Ihr Partner für verkaufsstarke Marketinglösungen vor Ort.

Für jeden Bedarf das passende Produkt.

Für mehr Kundenkontakte und steigende Verkaufszahlen!

**SELLWERK**  
Wir helfen verkaufen.

[www.sellwerk.de](http://www.sellwerk.de)

Eine Marke Ihres **kramerverlag**

Kramer Verlags-GmbH & Co. KG  
Zähringerstraße 6  
77652 Offenburg  
Telefon 0781 207-0  
[www.kramerverlag.de](http://www.kramerverlag.de)

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

Wir suchen:

**PRAKTIKANT (PFLICHTPRAKTIKA)/  
STUDENTISCHE HILFSKRAFT FÜR**

1. die Qualitätskontrolle
2. das Qualitätsmanagement

**QUALIFIKATION:**

Student/in des Studiengangs  
Verfahrenstechnik, Biotechnologie  
oder ähnlicher Studiengang

**KLOCKE GRUPPE**

Klocke Pharma-Service GmbH, Personalabteilung, Straßburger Str. 77, 77767 Appenweier  
[susanne.bruder@klocke-pharma.de](mailto:susanne.bruder@klocke-pharma.de)

# BETRIEBSWIRTSCHAFT UND WIRTSCHAFTSINGENIEURWESEN

Die vielfältigen Forschungsaktivitäten spiegeln die breite fachliche Aufstellung der Fakultät B+W wider. Sie reichen von anwendungsnaher Forschung in den Bereichen Handel und e-Commerce über das Data Mining bis hin zu ingenieurwissenschaftlichen Aufgabenstellungen. Dabei ist aktuell die enge Verzahnung von Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftsingenieurwesen unter den Schlagwörtern „Industrie 4.0“ und Digitalisierung ein wichtiger Ansatz für die gemeinsame bereichsübergreifende Forschung.

Grundlage für diese Forschungsarbeit sind die vielfältigen Labore der Fakultät B+W, die sowohl die Bereiche Marketing und Handel, aber auch Wirtschaftsinformatik und Lean-Produktion umfassen. In den letzten Jahren konnten einige Labore neu eingerichtet bzw. erweitert werden. So wurde das Labor Multi-Channel-Management eingerichtet, in dem eine reale Ladenumgebung des Einzelhandels simuliert und optimiert werden kann. Das Labor Work-Life Robotic wurde dank einer Spende aus der regionalen Wirtschaft um einen modernen Gelenkarmroboter erweitert. Diese gute Ausstattung der Labore und ihre stetige Forschungsarbeit schlagen sich auch in der steigenden Zahl ihrer kooperativen Promotionen in Zusammenarbeit mit renommierten Hochschulen, wie z. B. der Universität Freiburg oder dem Karlsruhe Institute of Technology KIT, nieder. Durch die konsequente Einbindung der

Studierenden aus den Bachelor- und Masterstudiengängen in spannende Neuentwicklungen wird eine aktive Nachwuchsförderung für die Forschung an der Hochschule praktiziert. Aktuell arbeitet ein hochmotiviertes Team von Studierenden und Beschäftigten am Offener Barroboter „O'BARRO“, der schon auf vielen Events und internationalen Messen ein breites Publikum begeistert hat.

Ein weiteres Indiz für erfolgreiche Forschung an der Fakultät B+W ist die Einwerbung von Drittmitteln, wie z. B. für verschiedene Projekte zur Optimierung der Robotik und Energieeffizienz in Zusammenarbeit mit regionalen Unternehmen. Dabei stehen immer die konkreten Anforderungen der KMUs aus der Region im Vordergrund, wie z. B. bei einem Forschungsprojekt zur „Sensorikbasierten Zustandserfassung, Überwachung und Regelung technisch anspruchsvoller Spritzgussverfahren“. In der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit mit Forschern aus Frankreich und der Schweiz werden aktuelle Fragestellungen in der Digitalisierung bearbeitet. So wird im Forschungsprojekt „INTERREG – VIRTFac“ die eine virtuelle integrierte Plattform für die Planung von cyber-physischen Fabriken für KMUs entwickelt.

*Dekan Prof. Dr. Philipp Eudelle*



# Entwicklung eines formalen Kalküls für die Schaffung einer angemessenen Informationsgrundlage bei riskanten Entscheidungen

Prof. Dr. rer. pol. habil. Matthias Graumann

Topmanager müssen jede riskante Entscheidung auf eine angemessene Informationsgrundlage stützen, sonst laufen sie Gefahr, für anfallende Schäden vom eigenen Unternehmen verklagt zu werden. Vorschläge dafür, wie man methodisch am besten vorgeht, um eine solche Informationsgrundlage herzustellen, sollen nun auch informationstechnisch unterstützt werden. Die Voraussetzung dafür ist eine inhaltliche Vervollständigung der Vorschläge und ihre Darstellung in einem formalen Kalkül.

*Executives make risky decisions. If these decisions are not based on adequate information the executives may be legally liable for damages resulting out of these decisions. Scholars have developed some methodological recommendations to support decision makers in their endeavour to generate adequate information. In the research project these recommendations are to be completed and transformed into a formal calculus. This should prepare the ground for incorporating the method into modern computer software which may support decision-making more effectively than it is the case so far.*

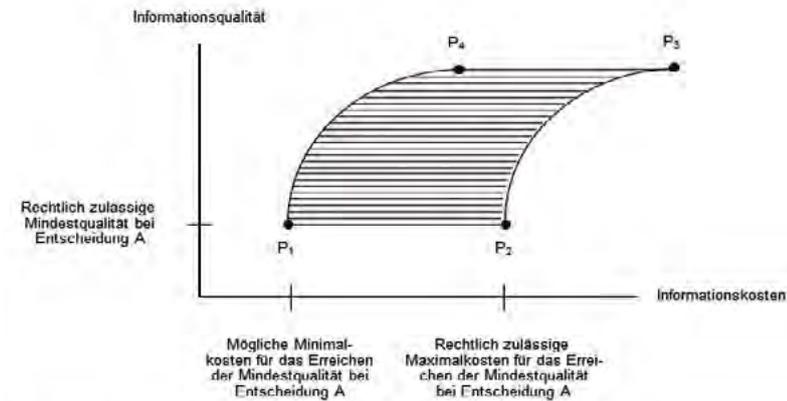
## Managerhaftung

Der Beruf des Managers ist nicht nur anspruchsvoll, er ist auch riskant. Leitungsorgane von Körperschaften (GmbH, AG, KGaA, Genossenschaft), also Vorstände und Geschäftsführer, können unter bestimmten Bedingungen von ihren eigenen Unternehmen für die von ihnen verursachten Schäden ersatzpflichtig gemacht werden. Angesprochen ist hier die Problematik der zivilrechtlichen Innen- bzw. Binnenhaftung. Die einschlägigen Vorschriften sind §§ 93 Abs. 1 Satz 1, Abs. 2 Satz 1 AktG; 43 Abs. 1, 2 GmbHG; 34 Abs. 1, 2 GenG.

Ein wichtiger Gesichtspunkt, der von den Gerichten hier überprüft wird, ist der Informationsstand des Leitungsorgans zum Zeitpunkt des Treffens der Entscheidung. Sofern die Entscheidung auf einer angemessenen Informationsgrundlage gründete, sind die Chancen des Leitungsorgans gut, dass die Richter eine Erfüllung der Sorgfaltspflicht erkennen und einen Schadenersatzanspruch ablehnen. Wird indes die Informationsgrundlage als „nicht angemessen“ eingestuft, ist eine Pflicht zur Leistung von Schadenersatz an das eigene Unternehmen wahrscheinlich. Diese Einschätzung wurde in zahlreichen Rechtsfällen bestätigt (siehe hierzu näher Graumann/Linderhaus/Grundeis 2010).

## Erste Lösungsvorschläge und Aufgaben des Forschungsprojekts

Eine angemessene Informationsgrundlage soll – so die juristische Vermutung – die Erfolgsträchtigkeit einer riskanten Entscheidung vergrößern. Das Wort „angemessen“ macht dabei deutlich, dass es sich nicht um die bestmögliche Informationsqualität handelt. Das Leitungsorgan darf vielmehr jede Verbesserung der Informationsqualität gegen die damit einhergehenden Kosten (Geld und Zeit) abwägen. Aus formaler Sicht ist die angemessene Information dann erreicht, wenn eine Verbesserung der Informationsqualität die dafür erforderlichen Geld- oder Zeitkosten nicht lohnt (vgl. Fleischer 2015, Rn. 64; Spindler 2014, Rn. 48). Wie in Abbildung 1 verdeutlicht, erfüllen im Regelfall verschiedene Kombinationen aus Informationsqualität und Informationskosten die Bedingung der Angemessenheit, weshalb die Leitungsorgane über ein gewisses Ermessen verfügen.



$P_1 P_4$ : Menge möglicher minimaler Informationskosten für alternative Informationsqualitäten bei Entscheidung A (Minimalkostenkombination)

$P_2 P_3$ : Menge rechtlich zulässiger maximaler Informationskosten für alternative Informationsqualitäten bei Entscheidung A

Der schraffierte Bereich zeigt alle Kombinationen aus Informationsqualität und Informationskosten, die als „angemessene Informationsgrundlage“ im juristischen Sinne gelten dürfen

Abb. 1:  
Angemessene  
Informationsgrundlage

So unstrittig diese formalen Überlegungen sind, so schwer fällt den Juristen die konkrete Bestimmung der angemessenen Informationsgrundlage, denn aus den bislang entschiedenen Rechtsfällen lassen sich nur sehr beschränkt allgemeingültige Grundsätze erkennen. Man behilft sich bislang mit Aussagen wie der, dass die riskante Entscheidung auf eine sorgfältig ermittelte Tatsachengrundlage gestützt werden sollte (Schäfer 2005) oder dass bei Prognosen die branchenüblichen Verfahren zu verwenden sind (Spindler 2006). Da dieser Zustand für Manager unbefriedigend ist, hat sich auch die Betriebswirtschaftslehre an der Diskussion beteiligt und unter Berücksichtigung entscheidungstheoretischer Erkenntnisse methodische Überlegungen zur Unterstützung der Leitungsorgane entwickelt. Wichtig war insbesondere die Erkenntnis, dass es sich bei einer unternehmerischen Entscheidung nicht nur um die Auswahl einer Handlungsmöglichkeit aus Alternativen handelt, sondern zahlreiche weitere Unterentscheidungen zu treffen sind, die alle einer angemessenen Informationsgrundlage bedürfen (vgl. Graumann/Linderhaus/Grunde 2009; Graumann/Grunde/Linderhaus 2009; Graumann 2010; Graumann 2011): Welche Ziele sollen verfolgt werden? Welche Handlungsmöglichkeiten werden näher untersucht? Wie soll die Prognose der Zielbeeinflussungen erfolgen? Wie erfolgt die Bewertung der unsicheren Zielbeeinflussungen? Auf dieser Grundlage wurden dann methodische Überlegungen entwickelt, die sich auf die Bereitstellung der Informationsgrundlagen aller Unterentscheidungen beziehen. Eine besondere Beachtung erfuhr dabei die informationelle Fundierung der Prognosen, da hier die größte Unsicherheit herrscht (vgl. Graumann/Grunde 2011; Graumann/Engelsleben 2011).

Um die Praktikabilität dieser Handreichungen weiter zu verbessern, wurde vorgeschlagen, die Methodenanwendung informationstechnisch zu unterstützen (vgl. Graumann/Beier 2008; Graumann/Bialasinski/Beier 2009). Dieser Vorschlag, der schon vor zehn Jahren unterbreitet und in ersten Ansätzen auch bereits ausgearbeitet wurde (vgl. ebenda), hat vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion zu den ökonomischen Wirkungen der Digitalisierung (vgl. Müller/Graumann/Weiß 2020) eine beträchtliche Plausibilität. Dafür allerdings ist die Methode zunächst in einen formalen Kalkül umzuarbeiten. Exakt damit befasst sich das hier skizzierte Forschungsprojekt.

## Erste Ergebnisse

Für Prognosen als denjenigen Bestandteil des Entscheidungsprozesses, der am dringendsten einer angemessenen Informationsgrundlage bedarf (vgl. Graumann/Linderhaus/Grunde 2009), sind erste Teile dieses Kalküls bereits in Graumann/Schuldenzucker (2019) beschrieben. Ausgangspunkt ist der Begriff der Zielfunktion einer riskanten unternehmerischen Entscheidung. Hierbei handelt es sich um eine Funktion im mathematischen Sinn, die alle in Betracht gezogenen Handlungsmöglichkeiten mit den Zielen der Entscheidung verbindet und konkrete Prognosen erwarteter Zielbeeinflussungen ermöglicht. Die juristische Forderung nach einer angemessenen Informationsgrundlage für Prognosen lässt sich daher auch als Anforderung an die Eigenschaften der Zielfunktion, namentlich ihrer Zuverlässigkeit und ihrer Genauigkeit, begreifen. Gesucht ist, mit anderen Worten, diejenige Informationsgrundlage, die eine Zielfunktion mit angemessener (nicht notwendigerweise maximaler) Zuverlässigkeit und Genauigkeit entstehen lässt.

Um eine solche Zielfunktion formal zu definieren, sei  $\mathbb{R}^+ := \{x \in \mathbb{R} \mid x \geq 0\}$  die Menge der nicht-negativen reellen Zahlen, und es sei  $H :=$  die endliche Menge an Handlungsalternativen, die der Entscheider bei der unternehmerischen Entscheidung in Betracht zieht. Weiter sei  $Z :=$  die endliche Menge an Zielen, die der Entscheider bei der unternehmerischen Entscheidung verfolgt, und es sei  $B :=$  die endliche Menge der vom Entscheider noch zu definierenden Bedingungen, die die Beziehung zwischen  $H$  und  $Z$  wesentlich beeinflussen.

B wird im Weiteren als Kreuzprodukt endlich vieler Wahrscheinlichkeitsverteilungen diskreter oder diskreditierter Zufallsvariablen angenommen. I sei eine Indexmenge für diese endlich vielen Bedingungen. Es bezeichnet  $X_i, i \in I$ , diejenigen Zufallsvariablen, die der Entscheider am Ende des Prozesses als relevant identifiziert haben wird. Dann ist  $B = \prod_{i \in I} B_i$ , wobei  $B_i$  die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zufallsvariablen  $X_i$  ist. Es gilt:  $B_i = \{(x_{ij}, p_{ij})_{j \in J_i}\} \subset \mathbb{R} \times [0,1]$  mit abzählbarer Indexmenge  $J_i$ . Hierbei ist auch der degenerierte Fall erfasst, dass dem Erwartungswert einer Zufallsvariable die Wahrscheinlichkeit 1 zugewiesen wird. Um formalen Anforderungen zu genügen, kann weiter definiert werden:  $X_{i \in I} B_i = \{(\ )\}$  für  $I = \emptyset$ , wobei das Nulltupel  $(\ )$  das leere Tupel ist. Weiter gilt:  $X_{i \in I} B_i = B_j$  für  $|I| = 1, I = \{j\}$ .

Mit *zielfkt* wird die vom Entscheider im Lauf des Entscheidungsprozesses zu bestimmende Zuordnung bezeichnet, die die Beziehung zwischen alternativen Handlungsmöglichkeiten, Bedingungen und Zielen der unternehmerischen Entscheidung darstellt („Zielfunktion“). Die Zielfunktion ordnet Handlungsalternativen und Bedingungen gewisse Teilbereiche der Ziele zu. Hierbei ist zu beachten, dass die exakte Beschreibung der Einflussbeziehungen in der Zielfunktion entsprechend ihrer Genauigkeit vorgenommen werden muss. Diese Genauigkeit drückt sich dadurch aus, wie groß die Teilmengen sind, die den Elementen der Ausgangsmenge zugeordnet werden: Eine Einflussbeziehung  $f$  zwischen zwei Mengen  $M$  und  $N$  ordnet jedem Element  $x$  der ersten Menge  $M$  eine Teilmenge  $N_x$  der zweiten Menge  $N$  zu. Sie ist also eine Funktion  $f: M \rightarrow P(N)$ , wenn  $P(N)$  die Potenzmenge von  $N$  ist. Im engeren Sinn lassen sich drei Grade der Genauigkeit unterscheiden:

- Eine maximale Genauigkeit ist so definiert, dass jedem Element  $x \in M$  eine einelementige Menge  $N_x = \{y\}$  zugeordnet wird. In diesem Fall kann die Einflussbeziehung mit der Abbildung

$$\begin{matrix} f: M & \rightarrow & N \\ x & \mapsto & y \end{matrix}$$

identifiziert werden. Diese Funktion ermöglicht eine exakte Zuordnung zwischen Elementen von  $M$  und Elementen von  $N$ .

- Ist eine Einflussbeziehung von mittlerer Genauigkeit, so wird jedem Punkt  $x \in M$  eine Teilmenge  $N_x \subset M$  zugeordnet, die aus mehr als einem Element bestehen kann. Die Wirkung von Elementen von  $M$  auf  $N$  ist eingrenzbar, aber keine 1:1-Beziehung. Wenn

die Menge  $M$  ein Teil der reellen Zahlen ist, wird die Teilmenge  $N_x$  häufig ein Intervall sein.

- Im Fall einer minimalen Genauigkeit muss jedem Element  $x \in M$  die gesamte Menge  $N$  zugeordnet werden. Man geht davon aus, dass  $x$  eine Wirkung auf  $N$  hat, sie wird aber nicht konkretisiert. Ein solcher Fall wird in der Wirtschaftspraxis üblicherweise als „Tendenzaussage“ bezeichnet.

Es bezeichnet nun  $\tilde{B}$  wechselnde Mengen von Bedingungen, die im Lauf des Prozesses, sukzessive verbesserte Zielfunktionen zu definieren, entstehen. Diese Mengen  $\tilde{B}$  haben wechselnde Teilmengen  $\tilde{I}$  von  $I$  als Indexmenge oder weichen bei den Wahrscheinlichkeitsverteilungen von der endgültigen ab. Es seien des Weiteren  $B :=$  die Menge solcher Mengen  $\tilde{B}$  und  $Z$  die Menge der möglichen zur unternehmerischen Entscheidung  $E$  gehörigen Zielfunktionen. Dann ergibt sich  $Z = \{f: H \times \tilde{B} \rightarrow P(Z) \mid \tilde{B} = \prod_{i \in \tilde{I}} \tilde{B}_i, \tilde{I} \subseteq I\}$ . Stets gilt:  $\tilde{I} \subseteq I$ , wobei es möglich ist, dass  $\tilde{I}$  kleiner ist als  $I$ , weil bei der Erstellung der Zielfunktion regelmäßig noch nicht alle zum Schluss vorhandenen Bedingungen erfasst oder berücksichtigt sind.  $\tilde{B}_i$  sind Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die auf die endgültigen Verteilungen  $B_j$  hinführen. Es ist allerdings möglich, dass unter den bereits erfassten  $\tilde{B}_i$  Wahrscheinlichkeitsverteilungen solche von nicht hinreichender Zuverlässigkeit sind; diese Verteilungen können durch Informationshandlungen bestätigt oder verändert werden.

Um den Einfluss von Bedingungen auf Teilstrukturen der Zielfunktion zu konkretisieren, wird eine Zielfunktion  $f \in Z, f: H \times \tilde{B} \rightarrow P(Z)$  im Kalkül in Untereinheiten zerlegt, die solche Einflüsse widerspiegeln. Diese Untereinheiten sind als Einflussbeziehungen zwischen Ursachen und Wirkungen (z. B. Handlungsmöglichkeiten und Zielen oder Handlungsmöglichkeiten und Bedingungen oder Bedingungen und Zielen) zu begreifen. Für  $\tilde{B} = \{O\}$  ist  $f$  die einzige Einflussbeziehung, da Einflussbeziehungen den Einfluss von Bedingungen auf Teilstrukturen von  $f$  aufzeigen. Für den wichtigen Fall  $\tilde{B} \neq \{O\}$  wird die Zielfunktion in Einflussbeziehungen  $g_k, k \in K_{\tilde{B}}$  zerlegt. Es sei darauf hingewiesen, dass die Indexmenge mehrdimensional sein kann, sodass ein Index  $k$  einem Tupel natürlicher Zahlen entspricht. Diese Aufteilung in Einflussbeziehungen  $K_{\tilde{B}}$  ist nicht eindeutig, sondern wird vom Entscheider durch Informationsentscheidungen festgelegt.

Referenzen/References:  
 Fleischer, H.: § 93 Sorgfaltspflicht und Verantwortlichkeit der Vorstandsmitglieder. In: Spindler/Stilz (Hrsg.), Aktiengesetz, Bd. 1, 3. Aufl., München 2015  
 Graumann, M.: Gesellschaftsrechtliche Anforderungen an die Informationsgrundlage unternehmerischer Entscheidungen – Versuch einer Konkretisierung unter Einbeziehung betriebswirtschaftl. Erkenntnisse. In: Corporate Compliance Zeitschrift, 3. Jg., 2010, S. 222-228  
 Graumann, M.: Der Entscheidungsbegriff in § 93 Abs. 1 Satz 2 AktG – Rekonstruktion des traditionellen Verständnisses u. Vorschlag für eine moderne Konzeption. In: Zeitschrift für Unternehmens- und Gesellschaftsrecht, Bd. 40, 2011, S. 293–303  
 Graumann, M./Beier, M.: Haftungsabwehr durch „angemessene Information“ – Die Bestimmung der rechtlich geforderten Informationsgrundlage für riskante Entscheidungen lässt sich methodisch und informationstechnisch unterstützen. In: Zeitschrift der Unternehmensberatung, 3. Jg., 2008, S. 198-210  
 Graumann, M./Bialasinski, M./Beier, M.: Softwaregestützte Erstellung von Entscheidungsbegründungen – Die verschärfte Managerhaftung eröffnet neue Chancen für Berater. In: Zeitschrift der Unternehmensberatung, 4. Jg., 2009, S. 122-128 und S. 181-186  
 Graumann, M./Grundeis, J./Linderhaus, H.: Ausübung des Geschäftsleiterermessens bei riskanten Entscheidungen – Die Business Judgment Rule als Beitrag zu guter Corporate Governance. In: Zeitschrift für Corporate Governance, 4. Jg., 2009, S. 20-26  
 Graumann, M./Grundeis, J.: Wann entsprechen unternehmerische Entscheidungen der gesellschaftsrechtlichen Anforderung „angemessener Information“?

Es ist nun wichtig hervorzuheben, dass jede Verbesserung der Qualität einer Einflussbeziehung eine Entscheidung eigener Art ist und somit selber wieder intern über eine Zielfunktion verfügt. Um hier den Überblick zu behalten, wird die Entscheidung zur Verbesserung der Qualität einer Einflussbeziehung im Kalkül als Verbesserungsentscheidung bezeichnet. Ihre Handlungsmöglichkeiten bestehen darin, eine vorliegende Einflussbeziehung in eine Einflussbeziehung höherer Qualität umzuwandeln. Dabei wird die Qualität zurückgeführt auf die Eigenschaft einer möglichst großen Genauigkeit (siehe oben) und einer möglichst hohen Zuverlässigkeit (siehe näher Graumann/Grundeis 2011). Beide Eigenschaften werden in der Form eines Index gekoppelt, der Einflussbeziehungen unterschiedlichen Typs konstituiert (siehe hierzu näher Graumann/Schuldenzucker 2019, S. 15, Abb. 1). Dieser Typ wird als  $g_k$  bezeichnet.

Für die Modellierung der Zielfunktion der Verbesserungsentscheidung darf realistischere angenommen werden, dass die Kenntnis einer Verbesserungshandlung zu einer Einflussbeziehung  $g_k$  die Kenntnis des Typs (im obigen Sinn) von  $g_k$  und die Kenntnis des Typs der durch die Verbesserung entstehenden Einflussbeziehung einschließt. Definiert man  $\mathcal{E}$  als die Menge von möglichen Einflussbeziehungen zu einer Zielfunktion  $f \in \mathcal{Z}$ , lässt sich  $HI_{\mathcal{E}}$  definieren als Menge aller Verbesserungshandlungen einschließlich der Unterlassungsalternative. Die Unterlassungshandlung wird mit  $I_{0,\mathcal{E}}$  bezeichnet.

Es sei weiter  $ZI_{\mathcal{E}} := \{A, B, C\} \times \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+$  die Menge der Ziele der Verbesserungsentscheidung. Diese Zielmenge erfasst den Typ der aus einer Verbesserungshandlung resultierenden Einflussbeziehung, und dieser Typ als Ausdruck der Qualität einer Einflussbeziehung wird  $Q_{\mathcal{E}}$  genannt. Die Zielmenge erfasst außerdem den aufgrund der Verbesserungshandlung erwarteten Aufwand in Geld („Geldkosten“)  $K_G$  der Informationshandlung sowie den erwarteten Aufwand an Zeit („Zeitkosten“)  $K_Z$ .

Schließlich sei  $UI :=$  die Menge der Nutzenwerte von Informationshandlungen mit  $UI \subset [0,1] \subset \mathbb{R}$ ; die Nutzenwerte werden auf das Intervall von 0 bis 1 normiert. Damit wird definiert:

$$\text{zielfktI}_{\mathcal{E}}: HI_{\mathcal{E}} \times \bar{B} \rightarrow P(ZI_{\mathcal{E}})$$

$$(I, b) \mapsto \{Q_{\mathcal{E}}\} \times I_1 \times I_2$$

als Zuordnung, die mögliche Verbesserungshandlungen auf die Ziele der Verbesserungs-

entscheidung abbildet und mit Intervallen  $I_1, I_2 \subset \mathbb{R}$ , die die Geld- und Zeitkosten umfassen. Im Fall maximaler Genauigkeit können diese Intervalle auf einen Punkt degenerieren.

Weiter wird definiert:

$$\text{bewfktI}_{\mathcal{E}}: ZI_{\mathcal{E}} \rightarrow UI$$

$$\{Q_{\mathcal{E}}\} \times I_1 \times I_2 \mapsto U$$

als Zuordnung, die Ausprägungstapel solcher Informationsziele auf einen erwarteten Informationsnutzen abbildet. Wenn  $Q_{\mathcal{E}}(g_k)$  die Qualität der Einflussbeziehung  $g_k$  in Gestalt ihres Typs bezeichnet, gilt:

$$\text{bewfktI}_{\mathcal{E}}(\text{zielfktI}_{\mathcal{E}}(I)) > \text{bewfktI}_{\mathcal{E}}(\{Q_{\mathcal{E}}(g_k), 0, 0\}) \Leftrightarrow$$

Die Verbesserungshandlung  $I$  wird höher bewertet als die Unterlassungsalternative. Diese Bewertungsfunktion ist in der Lage, alternative Handlungsmöglichkeiten zur Verbesserung der Einflussbeziehung innerhalb der Zielfunktion der unternehmerischen Entscheidung zu ordnen.

Damit wäre aber noch nicht viel erreicht, sofern man die Bewertung in das Belieben der Manager stellt. Einen Unterstützungsbeitrag leistet der Kalkül erst dann, wenn es Entscheidungsregeln für die Verbesserungsentscheidung gibt, die Bewertungen im rechtlichen Sinn antizipieren und den Managern als Handreichung vorgeben. Erste Entscheidungsregeln sind auch bereits entwickelt (vgl. Graumann/Grundeis 2011) und formalisiert worden (vgl. Graumann/Schuldenzucker 2019). Ihre Verbreitung und weitere Ausarbeitung obliegen dem Forschungsprojekt.

In: Die Betriebswirtschaft, 71. Jg., 2011, S. 379-399  
 Graumann, M./Engelsleben, T.: Warum Geschäftsleiter für die Beurteilung der Informationsgrundlage von Prognosen ein regelbasiertes Verfahren benötigen – Überlegungen zur Leitungsorganisation vor gesellschaftsrechtlichem Hintergrund. In: Zeitschrift für Corporate Governance, 6. Jg., 2011, S. 69-75  
 Graumann, M./Linderhaus, H./Grundeis, J.: Wann ist die Risikobereitschaft bei unternehmerischen Entscheidungen „in unzulässiger Weise überspannt“? In: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 61. Jg., 2009, S. 492-505  
 Graumann, M./Linderhaus, H./Grundeis, J.: Wann haften Manager für Fehlentscheidungen – Ein Überblick über die Rechtsgrundlagen der zivilrechtlichen Innenhaftung. In: WiSt – Wirtschaftswissenschaftl. Studium, 39. Jg., 2010, S. 325-330  
 Graumann, M./Schuldenzucker, U.: Heuristik zur Schaffung einer angemessenen Informationsgrundlage von Prognosen. fif der HSO und der Hochschule Fresenius, abrufbar unter: <https://opus.hs-ffenburg.de/frontdoor/index/index/docId/3390>  
 Müller, A./Graumann, M./Weiß, H.-J. (Hrsg.): Innovationen für eine digitale Wirtschaft, Berlin u.a. 2020  
 Schäfer, C.: Die Binnenhaftung von Vorstand und Aufsichtsrat nach der Renovierung durch das UMAG. In: Zeitschrift für Wirtschaftsrecht, 26. Jg., 2005, S. 1253-1259  
 Spindler, G.: Prognosen im Gesellschaftsrecht. In: Die AG, 51. Jg., 2006, S. 677-689  
 Spindler, G.: AktG § 93 Sorgfaltspflicht und Verantwortlichkeit der Vorstandsmitglieder. In: Goette/Habersack/Kalss (Hrsg.), Münchener Kommentar zum Aktiengesetz, 4. Aufl., München 2014.

AUTOR



Prof. Dr. rer. pol. habil. Matthias Graumann  
 Fakultät B+W  
 Unternehmensführung und Organisation  
[matthias.graumann@hs-offenburg.de](mailto:matthias.graumann@hs-offenburg.de)

# Professional-UX

## Benutzerfreundlichkeit einfach optimiert

Prof. Dr. rer. oec. Andrea Müller, Dr. Achim Hornecker

Professional-UX als selbstlernende Systemlösung ermöglicht die Bedienung interaktiver Oberflächen zu analysieren und zu optimieren. Mit Professional-UX können Hersteller von Produkten mit Bedienschnittstellen zum Nutzer, wie z. B. Displays medizinischer Geräte, Bedienpanels von Produktionsmaschinen oder Steuerungssysteme der Materialwirtschaft, professionelle UX-Testings durchführen. Folgeschwere Fehlbedienungen z. B. im Medizingerätebereich können durch nutzeroptimierte Schnittstellen verhindert werden. Professional-UX soll zur Zertifizierung von Geräten dienen, für die bislang kein standardisiertes Testverfahren existiert. Auch auf Internetangebote wie Online-Shops und Homepages kann die Professional-UX-Systemlösung angewendet werden.

*Professional-UX is an integrated hardware and software system for the evaluation of interactive, screen-based applications. Developers of user interfaces can use Professional-UX to test their user menus, use the feedback of the test persons to optimize the interaction and eliminate possible irritations to avoid operating errors before release. Certification standards can be met with Professional-UX. The system can also be used for testing online shops and websites of all kinds.*

November 2017 bis Ende Dezember 2019 wurde an der Hochschule Offenburg zusammen mit dem Unternehmen Dr. Hornecker Softwareentwicklung, Freiburg, ein System aufgesetzt, das es ermöglicht, Benutzeroberflächen von Medizintechnikgeräten auf Fehler bei der Interaktion zwischen Bediener und System zu testen. Die Ergebnisse der einzelnen Tests, die in der normalen Arbeitsumgebung z. B. eines Krankenhauses oder einer Arztpraxis stattfinden können, dienen dazu, diese Fehler zu eliminieren und so die Bedienung der Geräte sicherer zu gestalten.

Im Rahmen des Projekts Professional-UX wurden sowohl Hard- als auch Softwarekomponenten zur Durchführung von User Experience (UX) Testings prototypisch entwickelt. Im Bereich der Hardware wurde ein Konzept aus Eye-Tracking-System und Minicomputer entwickelt, das in Verbindung mit einem Monitor oder auch mobil installiert, z. B. auf einem Stativ, betrieben werden kann. Im Bereich der Software wurden Verfahren maschinellen Lernens entwickelt, die geeignet sind, aus Mimik und Stimme Emotionen der User während der Bedienung des Geräts zu extrahieren und als Hinweise zur Systemoptimierung auszuwerten. Die Verfahren wurden in eine prototypische Analysesoftware integriert.

## Hardware zur simultanen Erfassung von Eye-Tracking, Mimik, Stimme

Masterstudierende des Studiengangs Dialogmarketing und E-Commerce an der Hochschule konstruierten und druckten in dem hochschuleigenen Rapid Prototyping Labor am Bildungscampus Gengenbach ein prototypisches 3D-Gehäuse. In diesem befindet sich ein Eye-Tracker und ein Minicomputer, an die eine externe Kamera und ein externes Mikrofon oder ein Kombigerät aus beidem per USB angeschlossen werden können. Ein wesentliches Merkmal der Hardware ist die leichte und universelle Befestigung an Monitoren oder medizintechnischen Geräten.

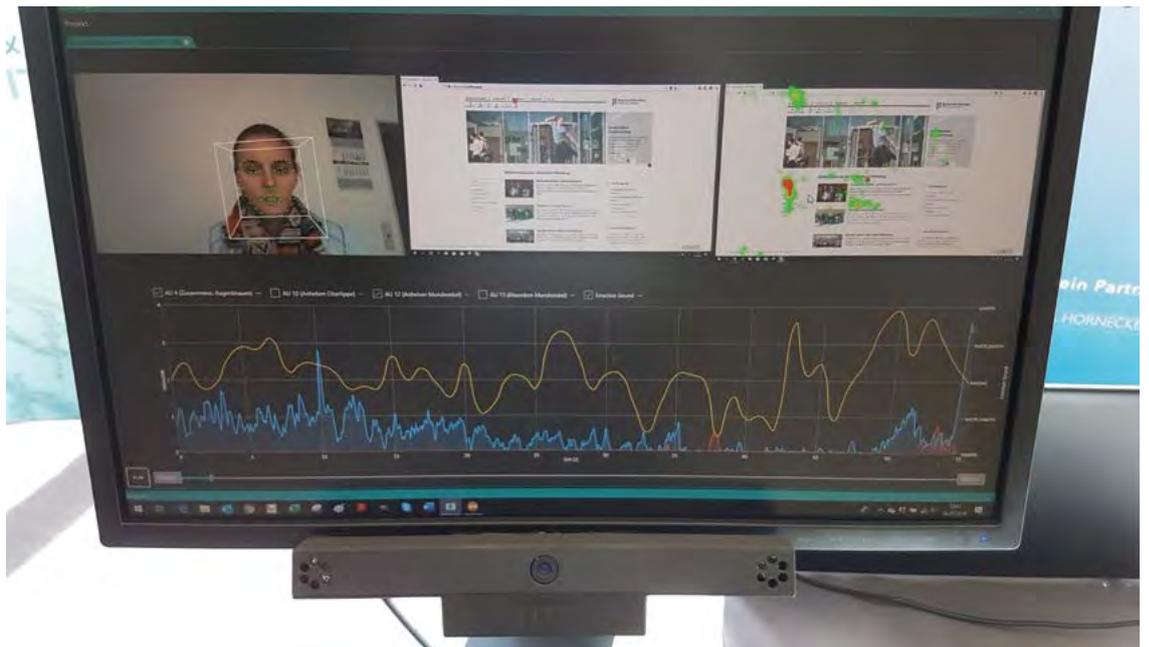


Abb. 1:  
Professional-UX:  
Erster Hard- und  
Software-Prototyp

### Software zur Extraktion zentraler Parameter aus dem Eye-Tracking

Das Eye-Tracking diente im Rahmen des Projekts zu zwei unterschiedlichen Zwecken: Einerseits wird durch die Blickverfolgung der Bezug zwischen Benutzer und Oberfläche hergestellt, andererseits sind die Messwerte des Eye-Trackers auch eine Grundlage zur Extraktion von Parametern zur Bestimmung der User Experience.

Im ersten Schritt wurden aus den Eye-Tracking-Daten die Zeitbereiche von Fixationen (ruhender Blick) und Saccaden (schnellen Augenbewegungen) ermittelt. Die Dauer von Fixationen und die Länge von Saccaden bilden hier bereits erste Hinweise auf die Benutzbarkeit der Oberfläche und werden so auch bereits in Standardsoftwares der Eye-Tracking-Analyse ausgewertet.

Im zweiten Schritt wurden spezielle Maße entwickelt, die sich mit dem Grad der Verwirrung bei der Benutzung einer Oberfläche in Verbindung bringen lassen. Hierzu wurden aus den berechneten Fixationen Cluster gebildet und der Blickverlauf als gerichteter Graph auf die Menge der Fixationscluster abgebildet. So konnten neue Maße wie die Rückkehrhäufigkeit des Blicks oder die Anzahl der Blickwechsel zwischen Clustern als Maß der Verwirrung mit Methoden der diskreten Algebra berechnet werden.

### Software zur Extraktion zentraler Parameter aus der Mimik

Die Anzahl der notwendigen Messpunkte für die Mimik konnte im Projektverlauf reduziert und so eine modifizierte FACS-Version (Facial-Action-Coding-System) entwickelt werden, die zu einem schlanken Analysesystem für die Mimik führten. Möglich wurde dies durch die Reduktion der emotionalen Parameter auf wenige, die speziell im Bereich UX relevant sind.

Da man bei UX-Testings im Wesentlichen auf negative Emotionen wie Ärger oder Verwirrung abzielt, da diese auf Schwierigkeiten in der Bedienung bis hin zum Abbruch der Tätigkeit oder Fehlbedienung führen können, war es möglich, sich auf diese Parameter zu konzentrieren. So konnten die Verfahren maschinellen Lernens gezielt trainiert werden.

Und so konnten auch aus Testdaten, die im Rahmen von umfangreichen Labormessungen an der Hochschule entstanden, eigene Verfahren maschinellen Lernens entwickelt werden, die gezielt die UX-relevanten Parameter klassifizieren.

### Software zur Extraktion zentraler Parameter aus der Stimme

Analog zur Mimik wurden auch für die Extraktion UX-relevanter Parameter aus dem Klang der Stimme relevante Merkmale definiert und aus dem Audiosignal extrahiert. Auf die extrahierten Merkmalsvektoren wurden erfolgreich Methoden maschinellen Lernens trainiert.

Das Funktionieren der erarbeiteten Verfahren konnte im Rahmen eines Proof-of-Concepts für den Prototyp anhand der hochschuleigenen Daten bestätigt werden. Allerdings erwiesen sich hier die zur Verfügung stehenden Daten als noch zu gering für ein marktreifes Produkt. Ein weiteres Training mit frei verfügbaren Daten zu Emotion und Stimme hat sich als kontraproduktiv erwiesen, da diese Daten in der Regel von Schauspielern stammen und zu didaktischen Zwecken, nicht aber zum Training von Methoden Künstlicher Intelligenz aufgenommen wurden. Aus diesem Grund wurden in diesen Daten stimmliche Merkmale in der Regel stark überbetont, was zu einem falsch trainierten Modell führen würde.

Bis zur finalen Markteinführung der Methoden zur Erkennung von Emotionen in der Stimme sind daher noch die Erfassung weiterer Trainingsdaten erforderlich, um die Methoden robust genug für den Einsatz unter verschiedenen Bedingungen zu machen.

### Softwareoberfläche zur Analyse der Messungen

Zur Entwicklung der Analysemethoden sowie zu verschiedenen Präsentationen wurde eine prototypische Analyseoberfläche geschaffen. Hier wurden einzelne der zentralen Parameter als Kurvenverlauf über die Zeit visualisiert.

Diese Möglichkeit der Visualisierung fand ein hohes Interesse bei den Teilnehmern der Feldtests und führte zu einem hinreichenden Feedback für die Finalisierung des Prototyps.

### Eingesetzte Methoden des maschinellen Lernens

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Ansätze des Geometric Deep Learnings untersucht und implementiert. Hier hatte sich früh herausgestellt, dass diese Methoden zwar deutlich rechenintensiver als herkömmliche Methoden maschinellen Lernens sind, jedoch keine signifikant besseren Resultate lieferten.

Aus diesem Grund wurden die Ansätze der geometrischen Vorverarbeitung (Modellierung von Mannigfaltigkeiten) von der Verarbeitung mit Deep Learning getrennt und mit klassischen Methoden des maschinellen Lernens neu kombiniert. Durch die Kombination ergaben sich an die Ziele des Projekts gut angepasste Verfahren, die im Vergleich zu Deep-Learning-Methoden eine deutlich bessere Performance aufwiesen.

### Ergebnisse der Feldtests mit dem innovativen Endgerät Professional-UX

Die Feldtests wurden am Peter Osypka Institut der Hochschule Offenburg durchgeführt. Dieses Institut ist spezialisiert auf Kardiologie. Als Testpersonen dienten sechs Studierende im fortgeschrittenen Medizintechnikstudium, die das Labor Herzschrittmacherprogrammierung abgeschlossen haben und erfahren mit entsprechenden Geräten waren. Die Tests fanden mit dem Herzschrittmacherprogrammiergerät Medtronic Viatron 2090 statt.

Die Funktionen der zentralen Elemente des innovativen Eye-Tracking-Geräts wurden erkannt und z. B. das Gewinde für das Anbringen an einem Stativ selbstständig gefunden. Das Anbringen und Abnehmen des Professional-UX-Systems funktionierte problemlos. Der Aufwand für Aufbau, Nutzung und Abbau wurde als gering eingeschätzt.

### Wissenschaftliche Vorträge und Publikationen

Die Zwischenergebnisse des Projekts wurden von den Teammitgliedern der Hochschule Offenburg, Prof. Dr. Andrea Müller und Doktorandin Christina Miclau, M.A. auf der HCI International 2019 in Orlando, Florida, präsentiert. Hieraus ist auch eine gemeinsame Veröffentlichung mit dem Titel „Avoiding Mistakes in Medical High-Tech Treatments and E-Commerce Applications – a Salutary UX-Research Innovation“ hervorgegangen.

Weiterhin wurden die Zwischenergebnisse auf dem 14. wissenschaftlichen interdisziplinären Kongress für Dialogmarketing im September 2019 an der Hochschule Pforzheim von Christina Miclau präsentiert und ein gemeinsamer Beitrag mit dem Titel „Nutzerprobleme beim E-Commerce sehen und hören – wie KI die Analyse der User Experience unterstützt“ in „Dialogmarketing Perspektiven 2019/2020 – Tagungsband 14. wissenschaftlicher interdisziplinärer Kongress für Dialogmarketing“ veröffentlicht.



Abb. 2:  
Das Professional-UX-  
Projektteam auf dem  
Mittelstandskongress

2018 und 2019 präsentierten die Projektpartner auf dem Mittelstandskongress und auf dem Einzelhandelssymposium der IHK 2019 in Freiburg und der Industriemesse i+e 2019 die Zwischenergebnisse des gemeinsamen Forschungsprojekts.

Die Zusammenarbeit der Projektpartner hat sich als sehr fruchtbar erwiesen. Die Kombination aus akademischem Know-how und mittelständischer Praxiserfahrung lieferte ideale Voraussetzungen und gute Synergieeffekte. In den monatlich stattfindenden persönlichen Projektbesprechungen konnten die jeweils erreichten Zwischenergebnisse abgestimmt und weitere Projektschritte geplant werden. Die räumliche und fachliche Nähe der Projektpartner hat dabei wesentlich zur guten Kommunikation beigetragen.

Zur künftigen Vermarktung des Produkts wurde die BiSigma GmbH als 100%ige Tochter von Dr. Hornecker Softwareentwicklung gegründet. Alleinigiger Inhaber und Geschäftsführer ist Dr. Achim Hornecker. Sowohl das Verfahren als Ganzes als auch einzelne Komponenten (Software, Eye-Tracker) sollen über diese Gesellschaft vertrieben werden.

Das Projektergebnis ist eine innovative technologische Herangehensweise an das Thema User Experience-Forschung und somit ein Alleinstellungsmerkmal. Hierdurch können sowohl neue Produkte angeboten werden als auch bestehende Produkte beispielsweise im Bereich der Mimik-Erkennung verbessert werden. Für

2020 ist geplant, das Produkt sowie Teile davon primär im Bereich der deutschsprachigen Regionen Europas über die BiSigma GmbH einzuführen.

Aufgrund der sehr guten Kooperationserfahrungen im ZIM-Projekt Professional-UX planen die Projektpartner eine weitere Zusammenarbeit im gerade zur Bewilligung eingereichten ZIM-Projekt EmoCare. Es baut auf die erreichten Ergebnisse von Professional-UX auf und überträgt die Fähigkeiten des Systems auf neue Anwendungsfelder der Robotik im Pflegebereich. Bei diesem Projekt wird das fakultätsübergreifende Institut der Hochschule Offenburg Affective & Cognitive Institute (ACI) die Forschung maßgeblich prägen.

Weiterführende Informationen zum Projekt Professional-UX und zum Affective & Cognitive Institute können auf der Webseite [www.professional-ux.de](http://www.professional-ux.de) bzw. [www.affective-lab.org](http://www.affective-lab.org) gefunden werden.

Referenzen/References:  
[1] GPM/ EBS-Studie  
„Makroökonomische  
Vermessung der Projekt-  
tätigkeit in Deutsch-  
land“ (10/2015)  
[2] GPM 09-04:2017  
/ VDA 4959 / PSI 10  
„Recommendation for  
Schedule Management“  
ed. 2 (automotive indus-  
try & wind energy  
sector)

#### AUTORIN



Prof. Dr. rer. oec. Andrea Müller  
Studiendekanin MBA-Studiengang Dig.  
Management / E-Commerce (Black Forest  
Business School), Wissenschaftl. Ltg.  
Labor Customer Experience Tracking,  
[andrea.mueller@hs-offenburg.de](mailto:andrea.mueller@hs-offenburg.de)

# Forschungsgruppe Prof. Dr. Thomas Wendt

*Nikolai Hangst M.Eng., Philipp Gawron M.Eng., Urban Himmelsbach M.Sc., Manuel Dorner M.Sc.,  
Alexander Gehringer B.Eng., Paul Gavrikov M.Sc., Matthias Lai M.Sc., Taimur Aftab M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt*

In der Forschungsgruppe um Prof. Dr. Thomas Wendt werden Themen in unterschiedlichsten Bereichen von Automatisierungstechnik über funktionale Sicherheit bis hin zur 3D-gedruckten Elektronik / Sensorik behandelt. Insgesamt arbeiten vier Doktoranden und vier Mitarbeiter an der Weiterentwicklung der verschiedenen Technologien, die in diesem Artikel zusammengefasst dargestellt sind.

*The research group headed by Prof. Dr. Thomas Wendt deals with topics in a wide range of areas, especially in automation technology, functional safety and 3D-printed electronics / sensors. In total, four Ph.D. students and four employees are working on the further development of the various technologies, which are summarized in this article.*

## Fahrerlose Transportsysteme: Flitzmo und Barroter O'Barro

Das Projekt „Flitzmo“ (= flexibler, interaktiver Transportroboter zur mobilen Produktionsunterstützung) wurde im November 2018 mit einer Kick-Off-Veranstaltung unter der Leitung des Labors Work-Life Robotics durch Herrn Prof. Dr. Wendt gestartet.

Im Rahmen der Kooperation zwischen zahlreichen Studierenden sowie Professorinnen und Professoren der Hochschule und Unternehmen unterschiedlicher Branchen wird ein innovatives autonomes Fertigungs- und Transportsystem entwickelt, das für verschiedene Tätigkeiten im Unternehmen eingesetzt werden kann: Sowohl in der Produktion als auch in der Lagerlogistik oder beim Picken und Verpacken ist der mobile selbstfahrende Roboter angebracht. Ein erster Entwurf zeigt Abbildung 1.

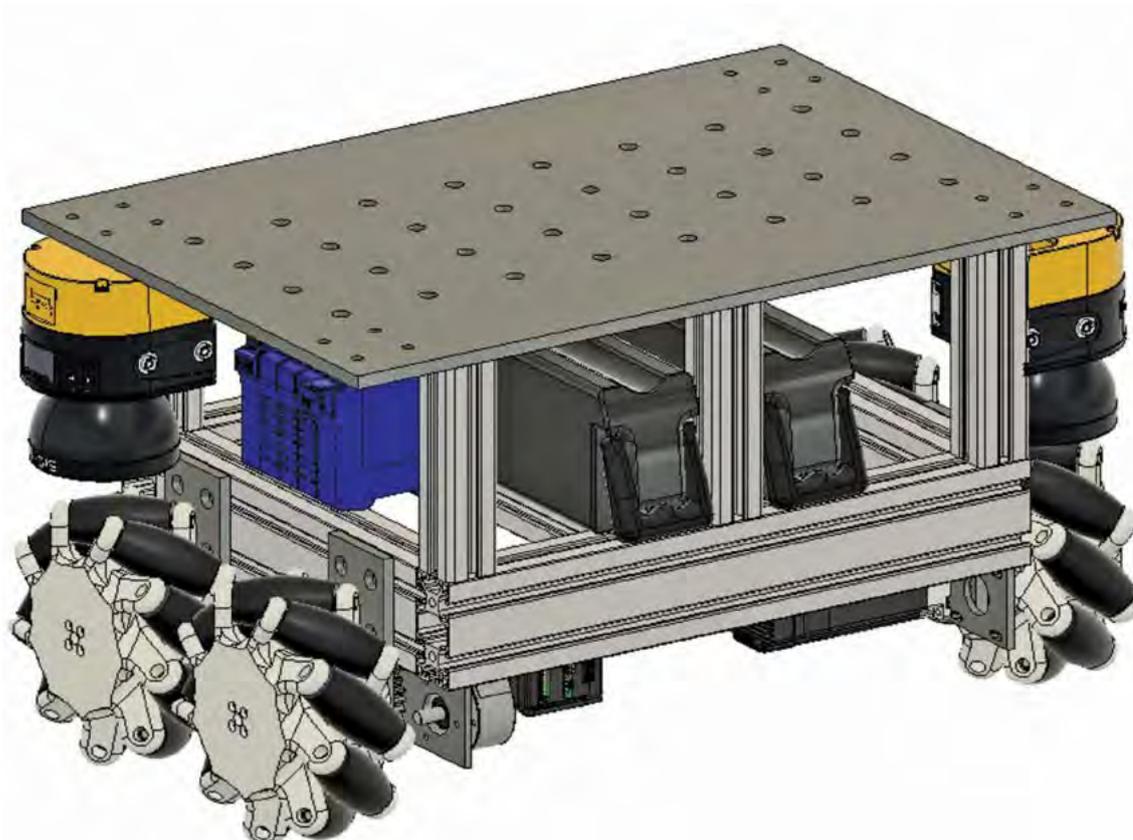


Abb. 1:  
Konstruktionsmodell  
Demonstrator-Modul  
Flitzmo

In einer Konzeptphase Anfang 2019 wurden Anforderungen aus dem mittelständischen Unternehmensumfeld der Hochschule für das Flitzmo gesammelt und mit den im Kick-Off bereits abgestimmten Features in ein erstes Designkonzept überführt. Vorrangige Zielsetzung des Projekts ist ein modulares System, das am Baukastenprinzip orientiert an verschiedene Anwendungsszenarien angepasst werden kann. Einzelne „Flitzmo-Module“ lassen sich mechanisch verbinden und bilden unterschiedliche Konfigurationen. Hierbei soll am low-cost-Ansatz ausgerichtet, vorrangig dem in der Region ansässigen Mittelstand, die Tür zur digitalen Fabrik geöffnet werden. Aus diesem Designkonzept wird im nächsten Schritt ein Demonstrator abgeleitet, anhand dessen in Zukunft Schritt für Schritt weitere Features eingebunden werden.

Der Demonstrator beinhaltet ein modulares Plattformkonzept, bestehend aus vier Grundkörpern, die sich je nach Kundenanforderung und Einsatzzweck zusammenschließen lassen. In maximaler Konfiguration entsteht hierbei eine Grundfläche nach den von den Industriepartnern geforderten Paletten-Maßen. Die Umsetzung des Demonstrators erfolgt auch unter Einbindung aktueller Rapid-Prototyping-Ansätze wie der additiven Fertigung, die an der Fakultät vertreten sind. So sind die Mecanum-Räder und diverse Halterungselemente mit der FDM-Technologie gedruckt. Dem low-cost-Ansatz folgend, werden auch möglichst viele Normteile eingesetzt, um Austauschbarkeit sowie Kostenvorteile zu realisieren.

Gegenwärtig wird der Demonstrator durch die Studierenden fertiggestellt. Des Weiteren wird das Projektbranding in den Hauptfokus wandern, um hier neben den technischen Gesichtspunkten auch Websiteentwicklung, Controlling sowie Marketing umsetzen zu können.

Abschließend lässt sich sagen, dass das Projekt für die Studierenden die Möglichkeit bietet, im Rahmen von Forschung und Lehre Kontakt zu praxisnahen Industrie-4.0-Themen zu erhalten. Beispielsweise ist hier das Ziel, das System mit dem ebenfalls im Labor Work-Life Robotics entwickelten Barroboter „O’Barro“ zu vernetzen (siehe Abbildung 2).

O’Barro ist ein Getränke-roboter der besonderen Art. Durch einen Sechs-Achs-Industrieroboter können innerhalb kürzester Zeit verschiedene Getränke wie Bier und Cocktails individuell

ausgeschenkt werden. Es werden zwar keine Flaschen durch die Luft geworfen, ansonsten ist der Zubereitungsprozess aber realitätsgetreu. Aufgrund der Verwendung verschiedenster Sensoren wie Kamerasysteme, Abstandssensoren etc. wird zusätzlich eine hohe Prozesssicherheit erreicht, die besonders bei Veranstaltungen mit vielen Gästen von enormer Bedeutung ist. Denn wer will am Ende schon ohne Getränk dastehen. Durch „Flitzmo“ wird es zukünftig möglich sein, sich die Getränke direkt an seinen Bestimmungsort liefern zu lassen. Weitere Informationen unter: [leuchtturm.hs-offenburg.de](http://leuchtturm.hs-offenburg.de) und [obarro.hs-offenburg.de](http://obarro.hs-offenburg.de).

Abb. 2:  
Offenburger Barroboter  
„O’Barro“



## Abstands- und Geschwindigkeitsüberwachung mit einzelnen Time-of-Flight-Sensoren

Roboter hatten lange den Ruf, einfach nur die menschliche Arbeit zu ersetzen. Heutzutage ist der Anspruch vielmehr, dass sie in vielen Anwendungsbereichen die menschliche Arbeit gezielt unterstützen sollen. Hierzu sind eine größere Anzahl an Sensoren im Robotersystem einzusetzen, um das Miteinander von Mensch und Roboter in einer sicheren Art zu ermöglichen.

Es gibt bereits verschiedene Systeme, um die Sicherheit in Mensch-Roboter-Applikationen zu gewährleisten. Grob können diese in zwei Arten aufgeteilt werden. Systeme, die im Arbeitsraum angebracht werden, beispielsweise an der Decke oder am Tischrand, und Systeme, die direkt am Roboterarm integriert sind wie beispielsweise eine sichere Sensorhaut.

Beide Arten haben ihre anwendungsspezifischen Vor- und Nachteile. Systeme, die an Decke, Wand oder Tischrand installiert sind, sind häufig unflexibel und benötigen einen hohen Installations- und Wartungsaufwand. Sie sind für Anwendungen geeignet, die sich für längere Zeit in ihrem Ablauf nicht ändern. In mittelständischen Unternehmen ändern sich allerdings die Anwendungen häufiger. Hier sind flexible Systeme, die direkt am Roboter integriert sind, effizienter.

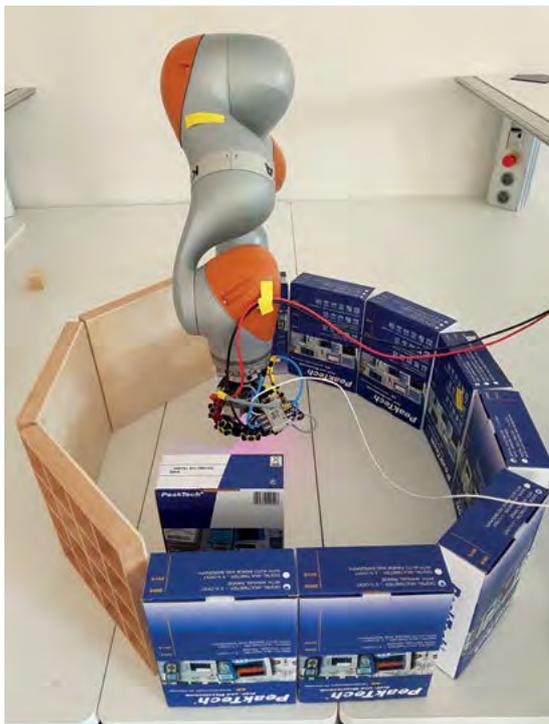


Abb. 3:  
Prototypenaufbau mit kuka iiwa 7 und TeraRanger Tower

Diese Systeme haben jedoch verschiedene andere Nachteile. Zum einen ist die Reichweite der Systeme meist auf zwei bis drei Zentimeter beschränkt, zum anderen gibt es oft Probleme mit der Eigendetektion der Roboterarm-Segmente. In unserem Forschungsvorhaben soll ein Roboterarm mit mehreren Time-of-Flight-(ToF-)Sensoren ausgestattet werden. Für die einzelnen Sensoren werden die Denavit-Hartenberg-Parameter sowie die homogene Transformationsmatrix bestimmt. Anhand dieser Parameter und der Messergebnisse der Sensoren soll dann eine verbesserte Abstands- und Geschwindigkeitsüberwachung am Roboterarm erzielt werden. Aktuell wird bei den detektierten Objekten in der Abstands- und Geschwindigkeitsüberwachung nicht zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Objekten unterschieden. Wir denken, dass diese Unterscheidung in Zukunft maßgeblich zu einem effizienteren Einsatz dieser Systeme beitragen. Deshalb wird in diesem Forschungsvorhaben ebenfalls ermittelt, inwieweit man mit diesen Sensoren eine sichere Unterscheidung zwischen Mensch und Maschine realisieren kann.

## 3D-gedruckte Elektronik und Sensorik

3D-Druck mit Kunststoffen und Metallen hat sich in den vergangenen Jahren immer weiter verbreitet und wird teilweise bereits in der Produktion fest eingesetzt. Die freie Erstellung von Geometrien durch additive Fertigung erlaubt einerseits die schnelle Realisierung von Prototypen, andererseits die Generierung von Werkstücken, die klassisch (z. B. mit Drehen und Fräsen) nicht realisierbar wären.

Die additive Fertigung von Elektronik ist ein neues Feld. Durch die Freiheiten des 3D-Drucks sind hier ebenfalls schnelle Prototypen möglich, aber auch vollkommen neue 3D-Geometrien für bspw. Schaltungen, Kleinstadapter, Sensorik oder Leitungen. Es gibt Druckverfahren für Elektronik in verschiedensten Varianten. So kommen Tinten, Pasten oder auch Filamente mit leitfähigen Partikeln zum Einsatz. Innerhalb der Forschungsgruppe laufen aktuell Projekte zu Kleinstadaptern, Energy Harvesting und Sensorik. Abbildung 4 zeigt eine mit Inkjet hergestellte Struktur einer frühen Version eines Adapters.



Abb. 4:  
Mit Inkjet hergestellte Geometrie

## 3D-gedruckte Mensch-Roboter-Kollaborationsgreifsysteme

„Die fühlende Hand durch 3D-Druck.“ Forschungseinrichtungen und Technologieunternehmen arbeiten an der Entwicklung von intelligenten und multifunktional aufgebauten Mensch-Roboter-Kollaborations-Greifsystemen. Für die Gewährleistung einer fehler- und gefahrenfreien Mensch-Roboter-Kollaboration ist es notwendig, dass sowohl der Roboter als auch das Greifsystem im Sinn der IEC 61508 sicher sind. Das bedeutet, dass zu den Robotern entsprechend sichere Greifer benötigt werden. Derzeit existiert eine Vielzahl an Greifern, die erkennbare Schwächen im Hinblick auf Flexibilität, Gewicht und Preis aufzeigen [1-2].

Mit Additive Manufacturing, auch 3D-Druck genannt, können Greifsysteme entwickelt werden, die multifunktional eingesetzt, schnell hergestellt und auch kundenspezifisch angepasst werden können. Ein Beispiel dafür zeigt das an der Hochschule entwickelte Drei-Finger-Greifsystem in Abbildung 5. Zudem kann der nachfolgende Montageaufwand aufgrund neuer Gestaltungsfreiheiten, basierend auf der Zusammenfassung mehrerer Bauteile, zu einem komplexen Bauteil reduziert werden. Ein weiterer Vorteil des Additive Manufacturing sind neue Freiheiten bei der Gestaltung von Produkten. Damit können Bauteile hergestellt werden, die in konventioneller Weise nicht wirtschaftlich oder gar nicht möglich wären. Besonders hinsichtlich des Leichtbaus spielt das eine große Rolle. Es ist möglich, mit organischen und bionischen Formen das Bauteil auf die Belastung hin zu optimieren und damit eine Gewichtsreduzierung von bis zu 50 % zu erreichen. Eine weitere Besonderheit bei der Anwendung des 3D-Multimaterialdrucks, ein Verfahren des Additive Manufacturing, ist die beliebige Konfiguration verschiedener Materialien untereinander. Damit kann ein Bauteil mit unterschiedlichen Materialeigenschaften realisiert werden [1].

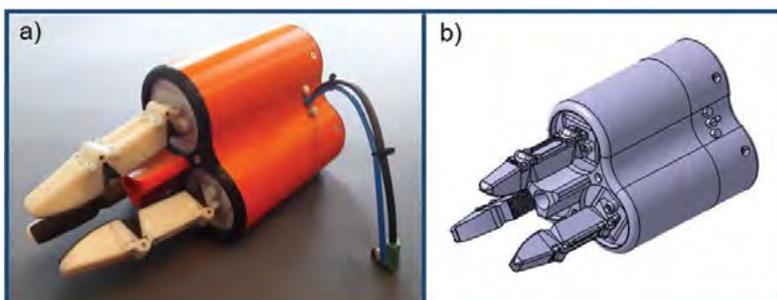


Abb. 5:  
3D-gedrucktes 3-Finger-Greifsystem für die Mensch-Roboter-Kollaboration: a) physischer Greifer, b) virtueller Greifer

Ein wichtiger Bestandteil bei MRK-Greifern liegt an der Überwachung der Greiftechnik sowie im Sicherheitskonzept zur Unterscheidung von Mensch und Bauteil. Darüber hinaus benötigen Greifer das notwendige Gefühl, filigrane und zerbrechliche Bauteile, wie ein Hühnerei, ohne die Gefahr einer Beschädigung mit einer zuvor definierten Kraft zu greifen und zu halten. Durch die Kombination der beiden Faktoren „Sicherheit“ und „Feinfühligkeit“ werden Greifsysteme für Mensch-Roboter-Kollaborations-Anwendungen erst interessant [2]. Für die Realisierung dieser Anforderungen wird entsprechende Sensorik benötigt. Mit Funktionswerkstoffen in Form von leitfähigen Materialien im 3D-Druck-Bereich wird es zukünftig möglich sein, Sensorik direkt in den 3D-Multimaterialdruck mit einzubetten [2].

Auch in der klassischen Greiftechnik wird die integrierte Sensorik immer wichtiger. Aus diesem Grund wird im nächsten Schritt erforscht, wie 3D-gedruckte Greifbacken mit unterschiedlichster Sensorik, z. B. durch Kraftmesstechnik anhand von gedruckten Dehnungsmessstreifen realisiert und in ein Greifsystem integriert werden können. Das kann dann zeitgleich in Mensch-Roboter-Kollaborations-Greifsysteme übertragen werden.

## Intelligenter Spritzguss

Für viele Anwendungen im Spritzgussbereich wird eine extrem konsistente Formteilqualität auch solcher Kleinteile gefordert, die aufgrund wirtschaftlicher Faktoren in Werkzeugen mit hoher Kavitätanzahl und bei extrem kurzen Zykluszeiten zu fertigen sind. Zudem ist eine steigende Prozesskomplexität, z. B. für Mehrkomponenten-Formteile, Umspritzung von Einlegern bzw. In-Mould-Labeling, geometrisch komplexe oder funktionsintegrierte Teile und dergleichen festzustellen. Für die oben genannten Anforderungskontexte wird eine differenzierte Erfassung und Regelung von Prozesszuständen erforderlich. Dies auf Ebene der einzelnen Kavität, da die dortigen Prozesszustände entscheidend für das Endprodukt sind. Vor diesem Hintergrund zielt das Projekt auf eine neue Technologie zur Prozessüberwachung und Regelung durch ein flexibel anwendbares, skalierbares und energieautarkes System aus digitaler Sensorik, lokaler Datenaufbereitung und -speicherung („Kavitätsintelligenz“), zentralem Informations- und Energiemanagement (Multiswitch) und Gateway zur Anlagensteuerung ab. In Abstimmung auf die neuen Möglichkeiten werden Regelstrategien und Prozessführungsmechanismen für typische Praxisanforderungen erforscht.

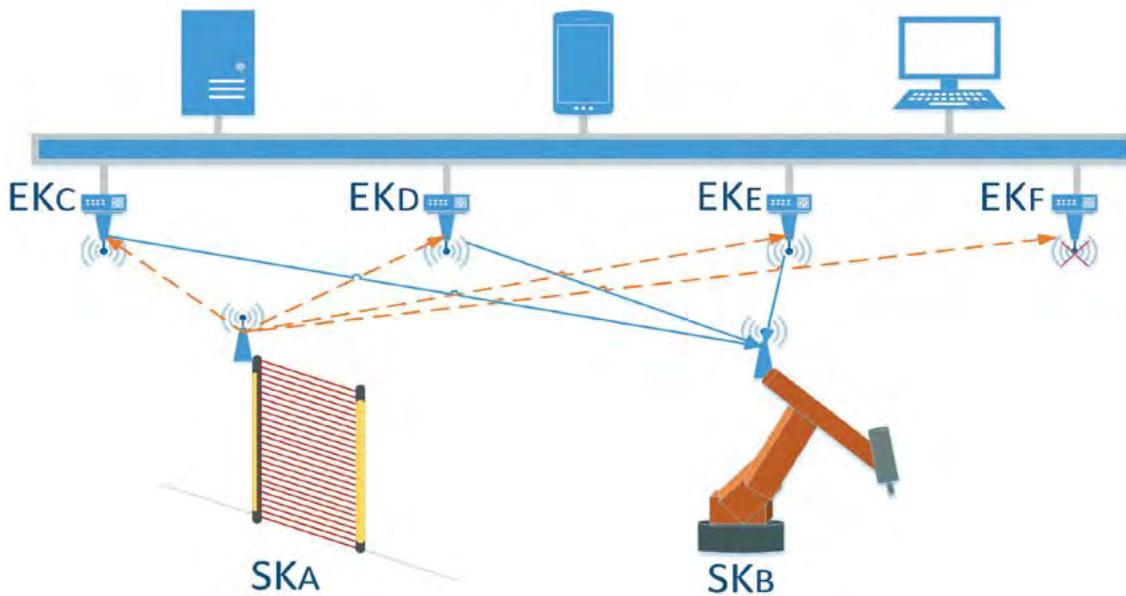


Abb. 6:  
Beispielhafte Kommunikation eines Laserschutzgitters (SKA) mit einem Industrieroboter (SKB) über die zuverlässige Technologie

### Sichere Funktechnologien Echoknoten und Sterntopologie

Um in der industriellen Fertigung aktuellen und zukünftigen Marktanforderungen entsprechen zu können, kommt wandlungsfähigen, flexiblen Produktionssystemen eine immer größere Bedeutung zu. Die kabelgebundene Signalübertragung ist dabei eine zunehmend kritische Beschränkung. Während Techniken zur drahtlosen Kommunikation bereits Einsatz in verschiedensten Anwendungen finden, sind diese in Systemen, die funktional sicher sein müssen, bisher mangels technologischer Grundlagen zur Gewährleistung der hohen Anforderungen an Latenz und Zuverlässigkeit nicht verbreitet. Vor diesem Hintergrund zielt das vorliegende Projekt auf die Entwicklung einer innovativen Wireless-Technologie, die sowohl erstmals diese Anforderungen erfüllt, als auch deren individuelle Abstimmung unter Berücksichtigung der erforderlichen Energieeffizienz ermöglicht.

Das ZIM-Projekt „Sterntopologie und Echoknoten“ zielt auf die Entwicklung einer neuen Wireless-Technologie für sicherheitskritische Kontexte wie Industrieautomation oder Medizintechnik, die durch minimale Latenz, robuste Kommunikation und variable Optimierbarkeit von Leistungsfähigkeit und Energieeffizienz erstmals für ein weites Spektrum von Anwendungen geeignet ist. Zur Umsetzung dieses überlegenen Eigenschaftsprofils wird als neuer technologischer Ansatz eine innovative Netzwerkcharakteristik angestrebt, die durch den Einsatz von speziellen kooperierenden Echoknoten in Kombination mit einem flexiblen Kommunikationsprotokoll eine bedarfsgerechte Abstimmung von Latenz, Redundanz und Ener-

gieverbrauch für jeden einzelnen Teilnehmer (Slave-Knoten) innerhalb des Wireless-Netzwerks ermöglicht. Eine beispielhafte Kommunikation ist in Abbildung 6 dargestellt.

#### AUTOREN



**Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt**  
Fakultät B + W, Ltg. Labor Work Life Robotics und 3D-gedruckte Elektronik, Forschung im Bereich Robotik, 3D-gedruckte Elektronik und Funktechnologien  
thomas.wendt@hs-offenburg.de



**Nikolai Hangst M.Eng.**  
Akad. MA., Lab. Work Life Robotics, Lab. 3D-gedruckte Elektronik, PL Fingergriffsystem, techn. PL O'Barro  
nikolai.hangst@hs-offenburg.de

**Taimur Aftab M.Sc.:** Akad. MA., PL Intelligenter Spritzguss  
Taimur.aftab@hs-offenburg.de

**Manuel Dörner M.Eng.:** Akad. MA., Verantwortg.: Lab. Work Life Robotics u. Lab. 3D-gedruckte Elektronik, PM Flitzmo  
manuel.dorner@hs-offenburg.de

**Paul Gavrikov M.Sc.:** Akad. MA., PL Echoknoten/-topologie  
paul.gavrikov@hs-offenburg.de

**Philipp Gawron M.Eng.:** Akad. MA., Lab. Work Life Robotics, Lab. 3D-gedruckte Elektronik, PL Energy Harvesting  
philipp.gawron@hs-offenburg.de

**Alexander Gehringer B.Eng.:** Akad. MA., Verantwortg.: Lab. Work Life Robotics u. Lab. 3D-gedruckte Elektronik, PL Flitzmo  
alexander.gehringer@hs-offenburg.de

**Urban Himmelsbach M.Sc.:** Akad. MA., PL Sichere Geschwindigkeits- und Abstandskontrolle in der Mensch-Roboter-Kollaboration  
urban.himmelsbach@hs-offenburg.de

**Matthias Lai M.Sc.:** Externer MA. Fakultät B+W, PL Echoknoten/-topologie  
matthias.lai@hs-offenburg.de

**Michael Stopfkuchen M.A.:** Akad. MA., kaufmännischer Projektleiter O'Barro  
michael.stopfkuchen@hs-offenburg.de

Referenzen/References:  
[1] Junk, S., Hangst, N. (2018): Einsatz von 3D-Multimaterialdruck zur schnellen Herstellung von multifunktionalen Mensch-Roboter-Kollaborations-Greifsystemen. In: Werkstoffe und Additive Fertigung, pp. 115-120, ISBN: 978-3-88355-418-1  
[2] Wendt, T.M., Hangst, N., Gawron, P., Junk, S. (2018): 3D-Druck von leitfähigen Materialien bei gedruckter Sensorik in intelligenten und multifunktional aufgebauten Mensch-Roboter-Kollaborations-Greifsystemen. In: Sensoren und Messsysteme 2018, pp. 135-138, ISBN: 978-3-8007-4683-5

# ***ivesk – INSTITUT FÜR VERLÄSSLICHE EMBEDDED SYSTEMS UND KOMMUNIKATIONSELEKTRONIK***

Das „Internet der Dinge“ (Internet of Things, IoT) durchdringt industrielle und persönliche Anwendungen zunehmend. Hierzu zählen beispielsweise Smart-Metering und Smart-Grid, Industrie- und Prozessautomation, Car-to-Car, bzw. Car-toX-Kommunikation, Heim- und Gebäudeautomation, Telehealth- und Telecare-Anwendungen. Die drahtgebundene und drahtlose Vernetzung von Embedded Systemen und deren Anbindung als sogenannte cyberphysische Systems (CPS) spielen hier eine immer wichtigere Rolle. Da auch immer mehr Systeme funktionskritische Aufgaben autonom übernehmen, gewinnen Zuverlässigkeit und Sicherheit immer mehr an Bedeutung. Entsprechend müssen die Aspekte der Datensicherheit (Security) und der Privatsphäre (Privacy) ebenfalls und von Anfang an berücksichtigt werden. Besondere Themenschwerpunkte sind gegenwärtig die in diesem Bericht vorgestellten Themenkreise der zellularen Mobilkommunikation und insbesondere die Vorbereitung auf 5G-Anwendungen und -systeme (Beitrag: Z. Amjad), die Optimierung von zeitsynchronisierten Netzwerken (Beitrag: K. Alkhouri) und die Integration von Sicherheitsarchitekturen in Feldbussysteme (Beitrag: A. Walz).

Das Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik wurde im Herbst 2015 von Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora und Prof. Dr. rer. nat. (habil.) Dirk Westhoff gegründet und hat sich seither außerordentlich positiv entwickelt. Seit Herbst 2020 ist Prof. Dr. phil. Andreas Schaad ebenfalls Mitglied am Institut. Es werden pro Jahr etwa 20 F&E-Projekte in enger Kooperation mit Unternehmen und anderen Forschungseinrichtungen bearbeitet, um das Internet der Dinge zuverlässiger und verlässlicher zu gestalten.

Am Institut arbeiten gegenwärtig 12 Vollzeitmitarbeiter sowie etwa ebenso viele Studierende. Regelmäßig sind Gastwissenschaftler aus der ganzen Welt vor Ort, um neue Themen zu erschließen. Aufgrund der weiterhin sehr positiven Projektlage sind tatsächlich immer einige Projekt- und Promotionsstellen verfügbar. Auch Kandidierende für Tutorentätigkeiten und Abschlussarbeiten sind gern gesehen.



<https://ivesk.hs-offenburg.de>

*Institutsleitung*

*Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Axel Sikora*



# Toward Achieving URLLC with 5G: A Simulation Evaluation

Zubair Amjad M.Eng., Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Axel Sikora

Die Unterstützung von ultra-niedrigen Latenzzeiten ist eine der wichtigsten Triebfedern für die Entwicklung von zellularen 5G-Netzwerken zur Unterstützung verzögerungsempfindlicher Anwendungen, wie z. B. aus der Fabrikautomation, für die Vernetzung autonomer Fahrzeuge oder das taktile Internet. Long Term Evolution for Machines (LTE-M) ist ein standardisiertes zellulares Netzwerk der 4. Generation (3GPP) Release 13, das derzeit für die Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC) optimiert ist. Um die Latenz in zellularen Netzwerken weiter zu reduzieren, hat 3GPP einige Techniken zur Latenzreduzierung vorgeschlagen; darunter Semi-Persistent Scheduling (SPS) und Short Transmission Time Interval (sTTI). Das Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik arbeitet aktiv an diesen Vorschlägen, um Anwendungen mit geringer Latenz in zellularen Netzwerken zu unterstützen. Dieser Artikel beschreibt diese Techniken zur Reduzierung der Latenzzeiten, die als Erweiterung des Open-Source-Netzwerksimulators ns-3 entwickelt wurden. Die Ergebnisse aus den Simulationen werden ebenfalls vorgestellt und diskutiert.

*Enabling ultra-low latency is one of the major drivers for the development of 5G cellular networks to support delay sensitive applications including factory automation, autonomous vehicles and tactile internet. Long Term Evolution for Machines (LTE-M) is a 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 13 standardized cellular network currently optimized for Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC). To reduce the latency in cellular networks, 3GPP has proposed a few latency reduction techniques that include Semi-Persistent Scheduling (SPS) and short Transmission Time Interval (sTTI). The ivESK institute is actively working on these proposals to support low latency applications with cellular networks. This article describes these latency reduction techniques that are developed as an extension to an open source network simulator (ns-3). The results from the simulations are also presented and discussed.*

## I. Introduction

ivESK [1] has been contributing in different domains of wireless connectivity. In 2017, as part of a collaboration project with Université de Haute-Alsace in Mulhouse France, ivESK started contributing towards the narrowband cellular networks. More precisely, the low-latency applications of Machine Type Communication (MTC) has been considered in this project to support industry automation and Intelligent Transportation System (ITS) use cases.

Low latency communication in future cellular networks is an enabler to support mission critical MTC applications. Long Term Evolution for Machines (LTE-M) is a 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 13 standardized narrowband cellular technology which uses the Long Term Evolution (LTE) standard but designed to support low power, low cost and delay tolerant applications. So far, Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC) services

with low latency requirements have not been thoroughly investigated and evaluated with narrowband LTE-M networks [2].

The user plane latency of LTE has remained unchanged from 3GPP Release 8 up to Release 13 and therefore does not meet the requirements of URLLC [3]. To reduce the latency in cellular networks, 3GPP has proposed some techniques including short Transmission Time Interval (sTTI), Semi-Persistent Scheduling (SPS) and Mobile Edge Computing (MEC) [4]. These techniques reduce the latency in different parts of the cellular network architecture as shown in Figure 1. For example, short TTI and SPS can reduce the latency between User Equipment (UE) and evolved NodeB (eNB), whereas MEC reduces the latency between the Radio Access Network (RAN) and Evolved Packet Core (EPC).

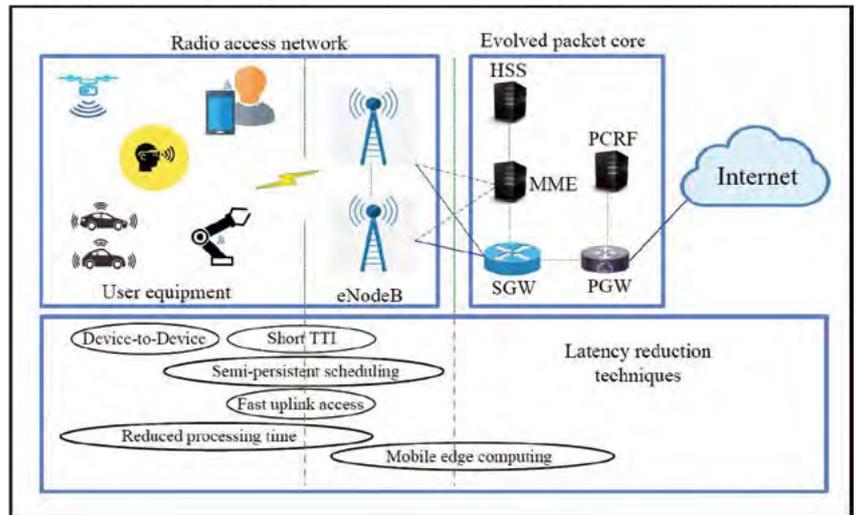


Fig. 1: Mapping of different latency reduction techniques to cellular network architecture

In order to investigate the latency reduction techniques for URLLC, the implementation of these techniques is done by the ivESK. These techniques have been implemented as an extension to the LTE module of ns-3 simulator.

The remainder of the article is organized as follows: Section II presents the latency reduction techniques. Section III describes the contributions from ivESK for URLLC simulations and results. Section IV concludes the article.

## II. Latency Reduction Techniques

As discussed earlier, the latency reduction techniques were initially proposed by 3GPP in Release 13 [4]. There a number of research available in literature that evaluate these techniques in order to validate the reduction in latency. However, these techniques have been neglected in the recent research works for narrowband cellular networks. We have considered two techniques called as short Transmission Time Interval (sTTI) and Semi-Persistent Scheduling (SPS) and described them in the following.

## A. Short Transmission Time Interval

The frame structure of LTE (cf. Figure 2) has a length of 10 ms which is subdivided into 10 subframes each of length 1 ms. Each subframe is defined as 14 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) symbols (14-os) and actually represents the Transmission Time Interval (TTI) required to make any uplink or downlink data transmissions between the UE and eNB. The TTI duration or length therefore directly imparts the latency of LTE-M systems. Shortening of TTI can be achieved by i) shortening the OFDM symbol by widening the subcarrier spacing (SCS) (e.g. 15 kHz, 30 kHz, 60 kHz) or ii) using fewer OFDM symbols per TTI (e.g. 2-os, 7-os) instead of the legacy 14 symbols. The former is supported in the flexible frame structure of the 5G New Radio (NR) [5]. In this article, we focus on the second option by using fewer symbols per TTI. Short TTI reduces the latency by reducing the time duration for data transmissions, enables faster resource assignments to different UEs and also reduces the processing time.

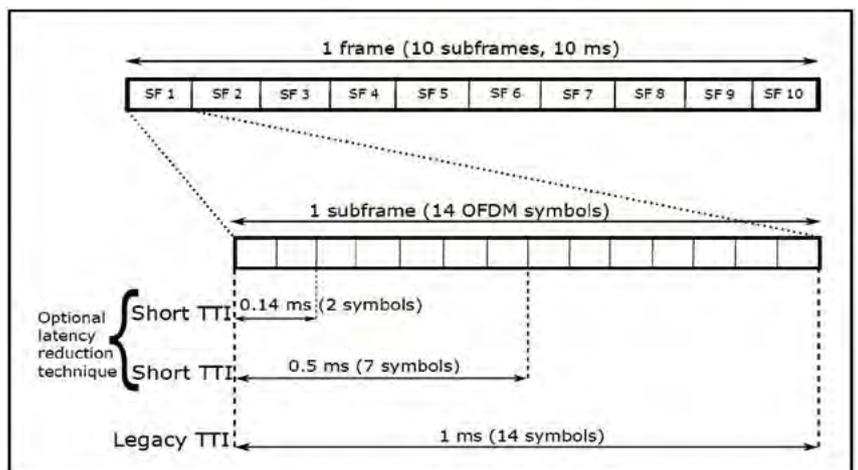


Fig. 2: LTE frame structure: A subframe consists of 14 OFDM symbols/resource elements. Transmission time interval in legacy LTE is based on one subframe i.e. 1 ms. The short TTI could be used as 7 or 2 symbols.

## B. Semi-Persistent Scheduling

The network resources are managed by the eNB in LTE network. The scheduling of data in LTE is generally based on Dynamic Scheduling (DS) where UEs have to send Scheduling Request (SR) to the eNB and in turn receive Scheduling Grants (SG) for uplink data transmissions. These signaling messages cause an increase the latency since the UE has to wait for the SG after sending SR in order to start the data transmission. In SPS, the eNB preallocates resources to the UEs to send their data without the conventional SR-SG procedure [6] as shown in Figure 3. This technique is very efficient for UEs that make regular and periodic data transmissions. However, when UEs have no data to send, they send padding information in their scheduled resources. This causes spectral inefficiency and increased energy consumption. In order to increase spectral efficiency, SPS can be used to schedule devices with periodic traffic patterns while DS is used for devices with sporadic traffic. Such technique can ensure an efficient utilization of network resources while minimizing the latency.

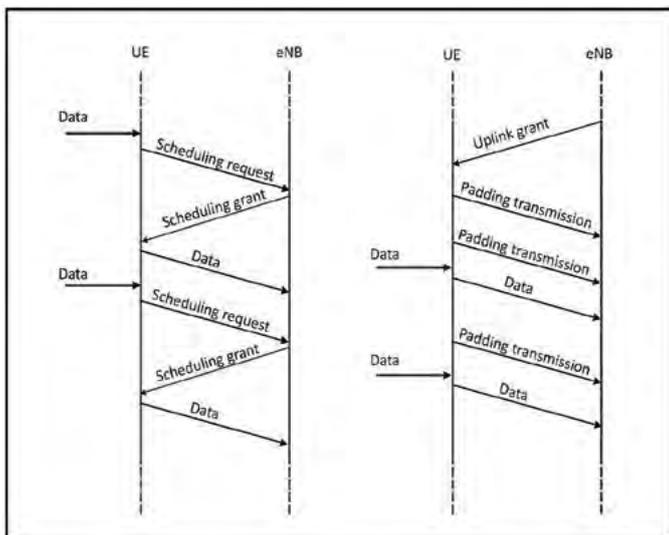


Fig. 3: Resources scheduling types in LTE, (left) Dynamic scheduling: UE sends a scheduling request when data is ready for uplink and in turn receives a scheduling grant for uploading data, (right) Semi-persistent scheduling: The eNB allocates the resource to the UE on a-priori basis. The UEs in connected state continuously receive the uplink resource regardless of amount of data available to be sent.

## III. Simulation Evaluation

The latency reduction techniques presented in section II are implemented by ivESK institute for ns-3 simulator as an extension to the existing LTE module. Indeed, the publicly available implementation of the LTE module does not support any of the latency reduction techniques. A sTTI feature for LTE module to include sTTI of 0.5 ms (7-os) and 0.14 ms (2-os) along with the legacy TTI of 1 ms (14-os) has been developed. The resource scheduling in LTE module has also been modified to include SPS in the simulations.

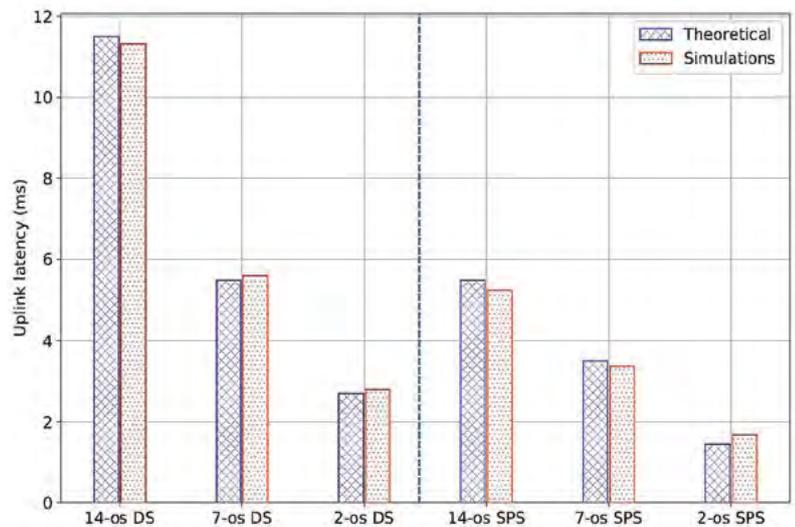
Theoretical calculations of uplink, downlink and end-to-end latency with sTTI and SPS are given in Table 1. While the sTTI leverages from the shorter transmission duration resulting in reduced uplink latency, SPS eliminates the scheduling request/grant procedure and reduces the latency. Combining both the techniques, it can be observed from Table 1 that a reduction of more than 80% is achieved. Obviously these are theoretical numbers and differ from the real life implementations. However, it gives a promising outlook of these techniques.

A comparison between theoretical and simulated uplink latencies for a single UE is shown in Figure 4 for 2-os, 7-os and the legacy 14-os TTI with dynamic and semi-persistent scheduling. These results validate the features developed in ns-3 LTE module.

Feature	TTI (ms)	Scheduling	UL Latency (ms)	DL Latency (ms)	E2E Latency (ms)
14-os	1	Dynamic	11.5	4.5	16
		SPS	5.5	4.5	10
7-os	0.5	Dynamic	5.5	2.5	8
		SPS	3.5	2.5	6
2-os	0.14	Dynamic	2.7	0.93	3.63
		SPS	1.44	0.93	2.37

Tab. 1: Theoretical latency calculations for different lengths of short TTI together with dynamic or semi-persistent scheduling. The end-to-end latency includes only the access network delay.

Fig. 4:  
Uplink latency comparison of theoretical and simulated values for three different TTI and two different scheduling schemes with a single UE sending data to a unique cell in eNB. TTI of 2-os with SPS reduces the latency for approximately 85 % as compared to the baseline legacy 14-os TTI with dynamic scheduling.



It is worth noticing that with 14-os TTI and dynamic scheduling, the minimum uplink latency is theoretically limited to 11.5 ms. Multiple transmissions required to complete a scheduling request/grant procedure are the main cause for the minimum latency limit for 14-os TTI. In this case, each uplink and downlink transmission adds a delay of 1 ms. However, for shorter TTI, both the transmission and the processing times decrease, which results in a reduced overall latency. Moreover, SPS removes the necessity of scheduling request/grant messages, which further reduces the latency. The short TTI of 2-os together with SPS can reduce the uplink latency for a single device for more than 85 % from the baseline legacy TTI with dynamic scheduling.

## IV. Summary and Outlook

One of the newer requirements for cellular networks is to enable the support for mission-critical IoT applications. The increasing demand from such applications with regard to latency poses a challenge for cellular networks. This article presented the short TTI and SPS latency reduction techniques and evaluated their potential in supporting latency-critical applications. The TTI lengths of 2-os, 7-os and legacy 14-os together with dynamic and semi-persistent scheduling were implemented in the open-source ns-3 simulator and evaluated for narrowband LTE-M. Results show that, for a single UE, short TTI of 2-os with SPS reduces the latency for more than 85 % compared to the legacy TTI 14-os with dynamic scheduling. Thus, these combinations have the potential to support URLLC applications with stringent latency requirements.

### Referenzen/References:

- [1] The Institute of Reliable Embedded Systems and Communication Electronics(ivESK), <https://ivesk.hs-offenburg.de/>
- [2] Nsiah, Kofi Atta, et al. „Latency Reduction Techniques for NB-IoT Networks.“ 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Vol. 1. IEEE, 2019
- [3] Amjad, Zubair, et al. „Latency reduction in narrowband 4g lte networks.“ 2018 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). IEEE, 2018
- [5] Nsiah, Kofi Atta, et al. „Performance Evaluation of Latency for NB-LTE Networks in Industrial Automation.“ 2019 IEEE 30th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE, 2019
- [6] Amjad, Zubair, et al. „Latency Reduction for Narrowband LTE with Semi-Persistent Scheduling.“ 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS). IEEE, 2018

### AUTOREN



Zubair Amjad M.Eng.  
Doktorand ivESK  
zubair.amjad@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora  
Wissenschaftl. Leiter ivESK, Lehrgebiete:  
Kommunikationsnetze, Bussysteme und  
Schnittstellen, eingebettete u. industrielle  
Netzwerke  
axel.sikora@hs-offenburg.de

# Entwicklung von Security: Erweiterungen für PROFINET

Andreas Walz Dipl.-Phys., Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Axel Sikora

Mit der zunehmenden Vernetzung von Produktionsanlagen spielt Datensicherheit eine immer größere Rolle. Für PROFINET, einem der führenden Protokolle zur Industrieautomatisierung, werden aktuell mit aktiver Beteiligung des Instituts für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik (ivESK) Security-Erweiterungen erarbeitet. Diese sollen zukünftig zum Schutz von PROFINET-Anlagen vor Cyberangriffen und von Unternehmen vor teuren Produktionsausfällen beitragen.

*With the increasing degree of interconnectivity in industrial factories, security becomes more and more important. For PROFINET, one of the leading protocols for factory and process automation, an activity to define and specify security enhancements shall help to protect future PROFINET systems from attacks and companies from attack-related financial losses and reputational damage. The Institute of Reliable Embedded Systems and Communication Electronics (ivESK) is actively contributing to these activities.*

Die industrielle Kommunikation war früher von relativ eingeschränkten, geschlossenen Feldbussystemen geprägt. Bereits seit einiger Zeit findet eine Konsolidierung statt, in deren Rahmen zunehmend auf das sog. Industrial Ethernet gesetzt wird. Diese Entwicklung wird auch, aber bei weitem nicht nur, durch die Vision von Industrie 4.0 getrieben.

Damit einhergeht die Möglichkeit einer horizontalen wie vertikalen Integration der Produktionsanlagen, war die Prozessebene früher weitestgehend autark und entkoppelt, so sind heute direkte Kommunikationsbeziehungen mit der Leit- und Betriebsebene keine Seltenheit mehr. Auch die Kommunikation entlang Wertschöpfungsketten gewinnt immer mehr an Bedeutung und Verbreitung. In der Konsequenz ergeben sich grundlegend neue Anforderungen an die Datensicherheit in Anlagen der industriellen Automatisierung. Mit der Öffnung der Automatisierungsnetzwerke entstehen gefährliche Angriffsflächen, die zum Diebstahl von Produktionsgeheimnissen, der Manipulation oder dem kompletten Lahmlegen der Produktionsprozesse führen können [1].

PROFINET gehört zu den führenden Systemen zur industriellen Automatisierung. Es ist daher selbstverständlich, dass PROFIBUS & PROFINET International (PI) als verantwortliche Dachorganisation dem Thema große Bedeutung beimisst. In diesem Kontext ist die Arbeitsgruppe „Security“ der PI seit einiger Zeit mit der Entwicklung und Spezifikation von

Security-Erweiterungen für PROFINET befasst. Im Kern geht es dabei um eine kryptografische Absicherung der Kommunikationsabläufe von PROFINET.

Das Institut ivESK der Hochschule unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora ist aktiv an den Arbeiten innerhalb der Arbeitsgruppe „Security“ der PI beteiligt. Dieses Engagement des ivESK wurde dabei unter anderem durch das IGF-geförderte Forschungsvorhaben SecureField (BMW i IGF 19384N) ermöglicht. SecureField beschäftigte sich bis Ende letzten Jahres u. a. mit der Integration kryptografischer Schutzmechanismen in die Feldebene von Automatisierungsnetzwerken. Hierbei war PROFINET einer der wichtigsten, aber nicht der einzige Betrachtungsgegenstand. So wurden im Rahmen der Arbeiten an SecureField z. B. auch Sicherheitslösungen für CANopen (FD) und SafetyNET p entwickelt.

## PROFINET

Bei PROFINET handelt es sich tatsächlich nicht um ein einzelnes, monolithisches Netzwerkprotokoll, sondern vielmehr um ein vielfältiges Ökosystem mit einer relativ komplexen Stackarchitektur und einer variablen Verteilung seiner Funktionalitäten auf Software- und Hardwareumsetzungen.

Eine einfache PROFINET-Anlage besteht aus einem sog. IO-Controller (IOC) und mehreren IO-Devices (IOD), die über Ethernet miteinander

der vernetzt sind (siehe Abbildung 1). Während der Hochlaufphase baut der IO-Controller mit einem azyklischen Protokollablauf ohne Echtzeitanforderungen sog. Application Relations (ARs) mit den IO-Devices auf. In der folgenden Betriebsphase findet im Wesentlichen ein zyklischer, echtzeitfähiger Austausch von IO-Daten zwischen IOC und IODs statt. Die Zykluszeit sowie der Umfang des Austauschs ist dabei abhängig vom Einsatzfeld, bewegt sich aber typischerweise in der Größenordnung mehrerer Duzend Bytes pro mehrere Millisekunden. Im Extremfall kann die Zykluszeit aber auch bei ca. 32 µs, die Datenmenge pro Zyklus bei mehr als einem kByte liegen.

### Sicherheitsanforderungen

Vorrangiges Sicherheitsziel der meisten Industrieanlagen ist die Verfügbarkeit, denn ein Ausfall kann schnell ruinöse Kosten nach sich ziehen. Tatsächlich sind entsprechende Schutzmechanismen aber eher im Design der Geräte als in der Kommunikation angesiedelt. Security-Erweiterungen für PROFINET können an dieser Stelle also nur mittelbar unterstützen.

Anders verhält es sich bei den Sicherheitszielen Authentizität, Vertraulichkeit und Integrität des Datenaustauschs zwischen den PROFINET-Komponenten. Moderne Methoden der Kryptografie, angewendet auf die PROFINET-Kommunikation, können hierbei einer Vielzahl möglicher Angriffsszenarien begegnen. Hat ein Angreifer z. B Fernzugriff auf das PROFINET-Netzwerk, so wäre es ihm zukünftig nicht mehr ohne weiteres möglich, sich unerkannt als IO-Controller auszugeben und falsche Daten an ein IO-Device zu senden.

Etwas präziser ausgedrückt: Im Rahmen des Verbindungsaufbaus zwischen einem IO-Controller und einem IO-Device müssen sich beide Geräte gegenseitig vergewissern können, dass es sich beim Verbindungspartner jeweils wirklich um das gewünschte Gerät handelt (Authentizität). Für sämtliche relevanten Daten, die im Folgenden zwischen den beiden Geräten ausgetauscht werden, muss der Empfänger prüfen können, dass die Daten vom Verbindungspartner stammen und nicht verändert wurden (Integrität). Dies betrifft insbesondere den zyklischen Datenverkehr.

Auch wenn Datensicherheit landläufig mit einer Verschlüsselung (Vertraulichkeit) gleichgesetzt wird, spielt dieser Aspekt im Kontext der industriellen Automatisierung tatsächlich nur eine untergeordnete Rolle. Sofern keine Pro-

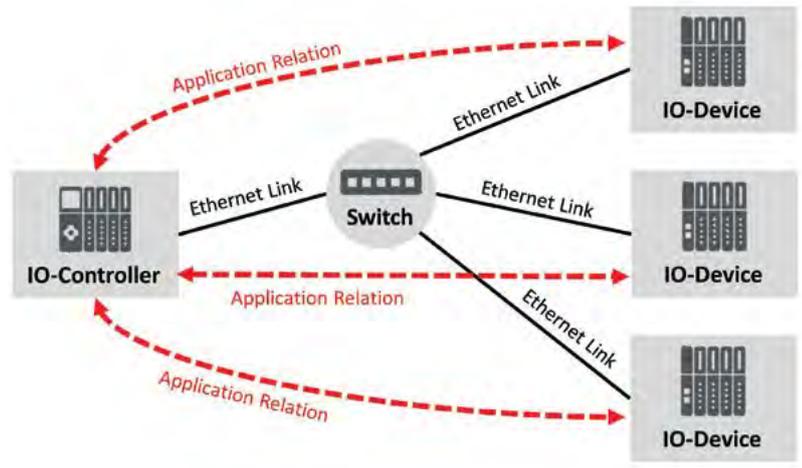


Abb. 1: Übersicht über eine einfache PROFINET-Anlage mit einem IO-Controller und drei zugeordneten IO-Devices

duktions- bzw Geschäftsgeheimnisse aus der Kommunikation zwischen den Automatisierungskomponenten abgeleitet werden können, ist eine Verschlüsselung meist sogar kontraproduktiv, denn sie erschwert die Diagnose im Fehlerfall massiv.

### Herausforderungen

PROFINET ist – wie bereits erwähnt – ein komplexes System, das zudem historisch gewachsen ist. Um die teilweise sehr anspruchsvollen Zykluszeiten erreichen zu können, greifen viele Gerätehersteller auf dedizierte PROFINET-Chips zurück, die das Erzeugen und die Verarbeitung von PROFINET-Paketen in Hardware umsetzen. Daher ist es schwierig, einen kohärenten Integrationspunkt für Security-Erweiterungen zu finden, der hersteller- und modellübergreifend tragfähig ist.

Neben dieser qualitativen Herausforderung muss aber auch einer quantitativen Problematik begegnet werden: eine kryptografische Absicherung der zyklischen Kommunikation erfordert letzten Endes, dass Datenpakete in hoher Frequenz und mit minimaler Verzögerung kryptografische Algorithmen von hoher Komplexität durchlaufen. Je nach Gerät sind hierbei schnell die Grenzen der Hardware erreicht.

Um Lösungsansätze für diese Herausforderungen zu finden, laufen am ivESK aktuell zwei Masterarbeiten, die sich mit der kryptografischen Absicherung der zyklischen PROFINET-Kommunikation im Detail beschäftigen. Die eine Arbeit befasst sich dabei vornehmlich mit der Untersuchung und der Auswahl von kryptografischen Algorithmen, die für die

Problemstellung geeignet sind. Forschungsfragen hierbei sind u. a.: Wie lassen sich die Algorithmen effizient in Soft- und/oder Hardware umsetzen? Welche Performance kann unter den verschiedenen Implementierungsumständen erreicht werden? Die Untersuchungen basieren sowohl auf einer umfassenden Literaturrecherche als auch auf eigenen Labormessungen. Um Missverständnisse zu vermeiden: Es werden hierbei keine neuen kryptografischen Algorithmen entworfen, sondern ausschließlich bestehende Algorithmen betrachtet. Die Vergangenheit hat oft genug gezeigt, dass kryptografische Algorithmen Marke „Eigenbau“ fast immer zum Scheitern verurteilt sind [2].

Die zweite Masterarbeit befasst sich mit der Konzeptionierung einer kryptographischen Absicherung der zyklischen PROFINET-Kommunikation sowie der Implementierung und Evaluierung von entsprechenden Hardware- und Softwarearchitekturen. Beantwortet werden müssen hierbei insbesondere die Fragen: Wie müssen die Zustandsautomaten von PROFINET angepasst werden, damit eine kryptographische Absicherung stattfinden kann, die den Nutzdatenfluss aber nicht beeinträchtigt? Welche Zustandsinformationen müssen bei Hardware-Implementierungen in Hardware vorgehalten werden, um die Verarbeitung nicht durch verhältnismäßig langwierige Interaktionen mit Software-Komponenten zu verlangsamen? Zu welchem Zeitpunkt in der Verarbeitungskette werden die kryptographischen Operationen durchgeführt? Hierbei ist insbesondere auf die Seite des IO-Controllers zu achten, da dieser ggf. eine große Anzahl von IO-Devices gleichzeitig bedienen muss. Die notwendigen kryptographischen Operationen müssen also ggf. parallelisierbar sein, also entweder auf mehrere Kerne oder kryptographische Recheneinheiten verteilt werden können.

Beide Masterarbeiten sind noch nicht abgeschlossen. Finale Ergebnisse liegen daher noch nicht vor.

Die aktive Beteiligung des ivESK an der Arbeitsgruppe „Security“ der PI ist im Übrigen eine gute Basis für fruchtbaren Austausch in beide Richtungen: Während die beiden Masterstudenten in ein Gremium mit „großen Namen“ und einer Fragestellung von höchster Praxisrelevanz eingebunden werden, kann die Arbeitsgruppe wiederum von den wissenschaftlichen Ergebnissen der Arbeiten profitieren.

## IT und OT: zwei Welten

Man könnte geneigt sein zu fragen, warum man für PROFINET nicht „einfach“ eine etablierte Sicherheitslösung aus dem IT-Bereich nutzt; schließlich ist das Thema Datensicherheit in diesem Bereich zwar bei Weitem nicht ultimativ gelöst, es haben sich aber über die Jahre äußerst effektive Lösungen entwickelt und etabliert. Das Transport Layer Security (TLS) Protokoll, das hinter dem mittlerweile standardmäßig genutzten HTTPS-Protokoll steht, ist hierfür nur ein Beispiel. TLS erlaubt es, zwischen einem Server und einem Client einen Kommunikationskanal aufzubauen, der die ausgetauschten Nutzdaten vor dem Mitleesen und der Manipulation durch Dritte schützt. Vor dem eigentlichen Nutzdatenaustausch können sich TLS-Client und -Server gegenseitig authentifizieren und somit versichern, dass es sich beim Gegenüber wirklich um den erwarteten Endpunkt handelt.

Tatsächlich sind Lösungen wie TLS wertvolle Vorlagen für den für PROFINET zu entwickelnden Ansatz; es wäre sicherlich wenig sinnvoll, die hierin kondensierten Erfahrungen aus vielen Jahren und einer großen Community nicht zu nutzen. Aber: diese IT-Lösungen können eben nicht eins-zu-eins übernommen werden, da die Anforderungen in der IT-Welt grundlegend von denen in der Automatisierungswelt (OT, Operational Technology) abweichen.

Wenn das Netzwerk in einem Büro für eine Sekunde nur eine deutlich reduzierte Leistung erbringen kann, hat das in der Regel keine großen Auswirkungen. Das Laden einer Website oder ein Download verzögert sich dann eben um wenige Sekunden. Wenn das gleiche im Automatisierungsnetzwerk einer Druckerei passiert, läuft die eine Papierrolle möglicherweise nicht mehr synchron zur anderen Papierrolle. In der Folge kann der Papierstrang reißen und die Anlage ggf. für Stunden stillstehen und dem Betreiber hohe Kosten bescheren.

Tatsächlich sind die Sicherheitslösungen der IT-Welt in aller Regel nicht dafür ausgelegt, „stoßfrei“; d. h. vollkommen unterbrechungsfrei und deterministisch innerhalb enger Zeitschranken über Jahre hinweg zu laufen, wie es im industriellen Umfeld aber erforderlich ist. Für Automatisierungsanlagen müssen entsprechend angepasste Lösungen entwickelt werden. Ein kryptographischer Schlüssel

Referenzen/References:

- [1] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.: „Security Erweiterungen für PROFINET – PI White Paper für PROFINET“, 12.02.2019
- [2] Website „Crypto Fails: Showcasing bad cryptography“, <https://www.cryptofails.com/>

sollte z. B. in regelmäßigen Abständen erneuert werden. Die meisten IT-Lösungen gönnen sich hierfür eine sehr kurze, für den Nutzer fast nicht wahrnehmbare Pause. Im Automatisierungsumfeld muss man stattdessen einige Tricks anwenden und sicherstellen, dass alle Vorbereitungen im Hintergrund ablaufen und der eigentliche Schlüsselwechsel dann ohne nennenswerte Verzögerung durchgeführt werden kann. Das Adaptieren von IT-Lösungen für die OT-Welt ist dabei schon seit längerem ein Grundpfeiler der Kompetenzen des ivESK.

### Datensicherheit gibt es nicht als Plugin

Die beschriebenen technischen Herausforderungen sollten nicht darüber hinwegtäuschen, dass Datensicherheit nicht allein durch technische Maßnahmen erreicht und erhalten werden kann. Die Hersteller von PROFINET-Komponenten können, müssen und werden Geräte liefern, die die technischen Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb erfüllen. Das Vorgehen bei der Inbetriebnahme sowie der Wartung und Verwaltung der Geräte bzw. der Anlagen im Betrieb sind aber ebenso wichtig für die Datensicherheit wie die technischen Maßnahmen. Diese organisatorischen Aufgaben obliegen dem Systemintegrator bzw. dem Betreiber der Anlage.

Jedem Anwender von Onlinediensten dürfte die Thematik im Grund leidlich bekannt sein: Man muss sich (sicher) registrieren, ein Passwort wählen und dieses regelmäßig erneuern. Beim Eingeben des Passwortes darf niemand zusehen und bei der Nutzung von öffentlichen PCs (z. B. im Internetcafé) sollte man ohnehin sehr zurückhaltend sein. Wer hierbei unvorsichtig ist, hat die technisch eigentlich gegebene Sicherheit fahrlässig verspielt.

Es sollte also klar sein, dass Datensicherheit nicht einfach durch den Einbau eines neuen Bausteins in eine Anlage gebracht werden kann. Vielmehr müssen sich Komponentenhersteller, Systemintegratoren und Anlagenbetreiber abstimmen und ihren jeweiligen Verantwortlichkeiten nachkommen. Hierbei sollten sich alle Beteiligten insbesondere auf die internationale Normenreihe IEC 62443 stützen, die für das Thema Datensicherheit im industriellen Umfeld ein einheitliches und systematisches Fundament bietet.

### Henne und Ei: Wie kommen die Schlüssel sicher in die Geräte?

Was für den Internetanwender Passwörter sind, sind für sichere PROFINET-Komponenten kryptografische Schlüssel und Zertifikate. Diese müssen im Rahmen der Inbetriebnahme zwischen den Geräten sicher, d. h. insbesondere fälschungssicher, bekannt gemacht werden, um später auf deren Basis sichere Verbindungen aufbauen zu können.

Beim Eröffnen eines Online-Kontos schickt der Anwender der Bank per Onlineformular sein Wunschpasswort. Aber woher weiß die Bank, dass dieses tatsächlich vom legitimen Anwender kommt? Der Trick ist hierbei meist das PostIdent-Verfahren, bei dem über einen zusätzlichen Weg der Anwender authentifiziert wird.

Für eine PROFINET-Komponente ist dies natürlich kein gangbarer Weg. Umso deutlicher wird hierbei die Verantwortung von Systemintegrator und Anlagenbetreiber. Bei Aufbau einer neuen Anlage bzw. beim Einbringen von neuen Geräten in eine bestehende Anlage müssen die Prozesse so ausgelegt sein, dass kryptographische Vertrauensbeziehungen zwischen Geräten aufgebaut werden können, auch wenn diese von unterschiedlichen Herstellern stammen und noch nie zuvor kommuniziert haben.

### Fazit

Die Datensicherheit in industriellen Automatisierungssystemen ist ein äußerst spannendes und sehr relevantes Thema. Mitarbeitende und Studierende des ivESK beschäftigen sich intensiv mit dem Thema und sind insbesondere in der Arbeitsgruppe „Security“ für PROFINET engagiert. Damit kann das ivESK einen wichtigen Beitrag zur Datensicherheit in PROFINET-Anlagen liefern.

#### AUTOREN



Andreas Walz Dipl.-Phys.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter ivESK  
andreas.walz@hs-offenburg.dee



Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora  
Wissenschaftl. Leiter ivESK, Lehrgebiete:  
Kommunikationsnetze, Bussysteme und Schnittstellen, eingebettete u. industrielle Netzwerke  
axel.sikora@hs-offenburg.de

# Time Synchronization for Time Sensitive Networks

*Kamil Alkhouri M.Sc., Dipl.-Ing. (FH) Edgar Schmitt, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Axel Sikora*

Das vom IEEE-standardisierte Time Sensitive Network (TSN)-Protokoll verspricht eine herstellerunabhängige Lösung für die Unterstützung des regulären Ethernets zu einem deterministischen Echtzeitnetzwerk. Dieser innovative Ansatz hat in der Industrie- und Automatisierungswelt große Beachtung gefunden. Aus diesem Grund engagiert sich das ivESK-Institut im Entwicklungsprozess von TSN. In diesem Artikel wird die Zeitsynchronisation als wichtigstes Element von TSN beschrieben.

*Time Sensitive Network (TSN) promises an IEEE standardized solution for upgrading the regular Ethernet to a deterministic real-time network. It is currently a novel topic, which is gaining a lot of attention in the industrial and automation world. Therefore, ivESK institute decided to participate in the development process of TSN. Time synchronization is a main requirement of TSN, in order to realize it with high accuracy, a profile of the Precision Time Protocol (PTP) is chosen as the reference. This paper describes the main working principle of this profile and points out the ongoing efforts of ivESK and the TSN community with respect to this topic.*

## Introduction

As a part of its mission, ivESK institute always keeps track of fresh and promising ideas related to embedded systems and communication technologies. In this regard, Time Sensitive Network (TSN) has a great potential. On the long run, it might be even able to replace many of the existing proprietary technologies dominating the real-time communications in the field of industrial and automation applications. Therefore, ivESK institute is taking an active part in the research and development of TSN innovative aspects such as time synchronization, traffic scheduling, network configuration and management. But what is TSN? and why is it needed?

IEEE 802 Ethernet was designed for packet-based switched networks with no guarantees regarding latency, data loss or transmission jitter. Over the years, the standards were extended to account for the increasing demand for quality of service. Some requirements like the issue of data loss were solved through higher layer protocols. Different industries, like automation or professional entertainment, developed custom extensions for Ethernet to fulfill their specific requirements. Examples for these proprietary protocols are Profinet, SERCOS III, EtherCAT or CobraNet. They are incompatible with each other and mostly even break compatibility with the IEEE standard.

Having acknowledged the need for a more

reliable deterministic behavior of Ethernet, the IEEE released a set of standards in 2010 and 2011. They are commonly referred to as Audio Video Bridging (AVB) and provide improved synchronization, low-latency and reliability for switched Ethernet networks [1]. The AVB task group was renamed to TSN to reflect the broadened scope of the addressed applications. The TSN standards aim to further improve the timing characteristics of IEEE Ethernet for a large range of applications. The standardization of TSN is currently an ongoing process with multiple (sub-) standards being under development or already published [2].

Devices in a TSN network have to reduce the latency of time-sensitive transmissions. In Ethernet, packets are usually transported through switches in a store-and-forward manner. Therefore, packets are completely received on the incoming port and are then sent through the correct outgoing port. Since the outgoing transmission blocks the outgoing port, a second packet cannot be sent through this port and needs to wait until the first packet is completely transmitted. Especially in networks with a high traffic load, this introduces a lot of varying jitter and latency to the communication. Using TSN, real-time transmissions can reserve a switched path through the network at a specific time. During this time slot, the relevant outgoing ports are kept available for the

real-time packet. Also, during this time slot the switches are prepared to forward the real-time packet at minimum latency. All of this happens based on sub millisecond time slots which points out the need for having a common understanding of time throughout the network. This is only one example that indicates why it is extremely important to have precise time synchronization between devices participating in deterministic real-time communication [3].

## Time Synchronization Standards Needed for TSN

Time synchronization can be achieved using different standards. TSN has adopted IEEE Std 1588 Precision Time Protocol (PTP) as its reference. If the hardware support is available, PTP synchronization accuracy can be within the range of nanosecond. Without hardware support, software-based implementations can reach synchronization accuracy with a couple of microseconds. There are two releases of PTP, the initial version from 2002 as well as the current version, which was published in 2008. PTP is designed for a broad range of applications and therefore it provides a large set of adjustable parameters.

The standard list of TSN has included IEEE Std 802.1AS-2011 as the chosen way deal with time synchronization. This standard, referred to as generalized PTP (gPTP), defines a profile of IEEE Std 1588 with more restrictions and less options, which makes it more suitable for the needs of TSN [4].

For the time being, an IEEE project group is working on a new revision of the IEEE Std 802.1AS. This revision is currently called IEEE Std 802.1AS-rev and was in its draft version 8.1 as of September 2019 [5]. It is expected that 802.1AS-rev will be heavily used in the TSN networks once it is released.

## Main Concept of the Generalized Precision Time Protocol

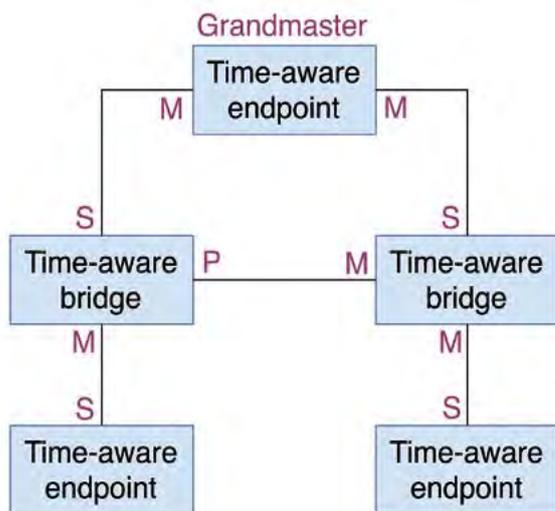
According to IEEE Std 802.1AS, the general idea of time synchronization is to select one node as the source of time and demand the rest of the nodes to synchronize their clocks to it. This group of devices is called gPTP domain. The synchronization is done on the phase and frequency levels, which means, the synchronized system does not only adjust its time to be equivalent to the time of the reference clock, but it also keeps a record of the frequency differen-

ce between the reference clock and its own [4]. Mainly, the device that handles time synchronization process is called time-aware system. Two types of time-aware systems can be distinguished: (1) time-aware end station, which is usually a device with one Ethernet port. It can be the origin of the time synchronization information (contains the reference clock) or the consumer (contains a clock that is synchronized to the reference). (2) time-aware bridge, which acts as a switching device for the time synchronization information. In other words, one or more time-aware bridges exist on the path between the device originating the reference time and the device synchronizing to it. They receive the timing information from previous devices, process it, and distribute it to the succeeding hops in the same gPTP domain. Time-aware bridge can also contain the reference clock and originate the synchronization information itself [4]. To carry out this synchronization task, the standard splits the operation into two main parts: (1) Building the synchronization tree, i.e. selecting the reference time-aware system and setting the role of every port in the gPTP domain. This part is based on the Best Master Clock Algorithm BMCA (described in 4) which results in quick initialization, maintenance, and reconfiguration of the synchronization tree if the reference time source is changed [6]. (2) Accurate communication of time synchronization information which is based on the fact that a time-aware system knows the propagation delay from its neighbors and can calculate the time a message needs to spend inside it, until it is forwarded again (more details in 5) [4].

## Best Master Clock Algorithm

The synchronization hierarchy (earlier called as synchronization tree) is a logical and functional view of the time-aware network. The single time-aware device selected as the source of time becomes the root of the synchronization tree or the grandmaster of the gPTP domain. All the ports of this device usually have the role of a master (a port that sends timing information to the port at the other end of the link). On the other end of the tree, the time-aware end stations that eventually receive the reference time from the grandmaster and synchronize themselves to it become the slaves to the selected grandmaster. These devices normally have one port with the role of a slave (a port that receives timing information from the peer master port at the end of the link) [7]. Each of the intermediate time-aware bridges between the grandmaster and slaves has

a single slave port connected to the path to the grandmaster and multiple master and/or passive ports connected to the remaining paths of the network. A passive port is a port which cannot be a slave because it exists on a time-aware bridge that has a better slave port (closer to the grandmaster), and it cannot be a master as well because the port at the other end of the link is decided to be a better master (also closer to the grandmaster). Therefore, in a stable situation, each port within the synchronization tree must have the role of master, slave, passive, or disabled (the network management can disable a port). Fig. 1 illustrates an example of how a synchronization tree would look like in a stable situation. The BMCA algorithm is continuously executed on every time-aware device to set and update the role for each existing port so the tree's consistency is ensured [4].



M: Master port  
S: Slave port  
P: Passive port

Fig. 1: Example of a gPTP synchronization tree

In order to decide which port gets which role, the BMCA needs to be fed with information about the time-aware devices in the network. For this purpose, a special type of messages is exchanged in the domain, called Announce messages. These messages carry information about the local system from which they are originated such as clock class, clock accuracy, number of hops to the grandmaster, and some other parameters that are used by the BMCA to perform the port role assignment process. The Announce messages are received periodically, and if the Announce reception timeout timer expires at any of the slave ports, it considers the current master missing and directly switches to the master role instead [4].

## Synchronization Process

The key aspect of synchronization is the delivery of accurate timing information from the grandmaster to the end stations through a number of bridges on the way. To achieve this goal, additional two types of processes run continuously and independently from each other: (1) transport of Synchronization time, and (2) peer delay mechanism. But before discussing these processes, it is important to explain timestamping, a main element they depend on. Timestamping means capturing the accurate time of an event when it happens. IEEE Std 802.1AS defines two types of messages, general and event. Each event message is timestamped twice, when it leaves the transmitter and when it arrives at the receiver. By performing simple mathematical calculations using the timestamps of different messages, the clocks can get the information they need to perform accurately [4].

## Performance Measurements of LPWAN & NB-IoT

The basic idea of this universal testbench is to have a unified and seamless test environment for a broad variety of wireless technologies. The unified testbench is realized using three different levels such as test case descriptions and automated execution tools, in various abstraction levels using identical measurement, and analysis tools. An overview of our unified LPWAN and NB-IoT test environment is shown in Fig. 2.

## Transport of Synchronization Time

After the grandmaster is selected by the BMCA and its local time is chosen as the reference time for the whole gPTP domain in the network, the grandmaster device starts to periodically transmit its local time to the network devices directly connected to it using Sync and Follow\_Up messages. The period of transmitting a Sync (and Follow\_Up) message is called Sync interval and it is defined to be  $2^{-3}$  (in seconds) which means, the Sync/Follow\_Up pair is regularly transmitted 8 times per second. Once the grandmaster generates the Sync message, it captures the local time and stores it in the precise origin timestamp field of the succeeding Follow\_Up message, which is sent directly afterwards [4].

On the other end of the link, the receiving device that gets the Sync message, timestamps it, and then waits for the corresponding Fol-

### Referenzen/References:

[1] R. Kreifeldt, A. Chang, A. Huotari, Y. Kim, K. Lewis, & K. Stanton: "AVB for Professional A/V Use", [https://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/AVnu-Pro\\_White-Paper.pdf](https://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/AVnu-Pro_White-Paper.pdf), (17.01.2020)  
 [2] N. Finn: "Introduction to Time-Sensitive Networking," vol. 2, no. 2, pp. 22–28, (2018)  
 [3] A. Nasrallah, A. S. Thyagaturu, Z. Alharbi, C. Wang, X. Shao, M. Reisslein, & H. ElBakoury: "Ultra-Low Latency (ULL) Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet standards and related 5G ULL research," pp. 1–59, (2018)  
 [4] IEEE: "Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks, 802.1AS-2011", (2011)  
 [5] G. Gamer: "P802.1AS-Rev–Timing and synchronization for time-sensitive applications", <https://1.ieee.org/tsn/802-1as-rev/>, (17.01.20)  
 [6] G. Gamer: "IEEE 802.1AS and IEEE 1588", [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/oth/06/38/T06380000040002PDFE.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/06/38/T06380000040002PDFE.pdf), (17.01.2020)  
 [7] IEEE: "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 1588-2008", (2008)  
 [8] F. Frick: "AccessTSN [Online]", <https://www.accesstsn.com/>, (20.12.19)

low\_Up message. Eventually, if this device is a time-aware bridge (which is usually the case in Ethernet networks), it retransmits an adjusted version of the Sync and Follow\_Up messages through all its master ports to the slave ports of the devices at the other ends of the links. The adjustment means, taking into consideration the following two main periods: (1) residence time, and (2) neighbor propagation delay. Residence time, as the name states, is the time period the Sync message spends within the time-aware bridge. In other words, it is the difference between the reception time of the message and transmission time of it. Neighbor propagation delay, on the other hand, is the time period needed by the message to travel from the previous neighbor to the current port. It is calculated based on the peer delay mechanism (explained in 5.2) [4].

By updating the values of these two periods and sending new copies of the received Sync/Follow\_Up pair as shown in Fig.2, the time-aware bridges technically forward the accurate synchronization information through the network until they reach the final time-aware end stations in which their information is used to adjust the time of the local clocks there [4].

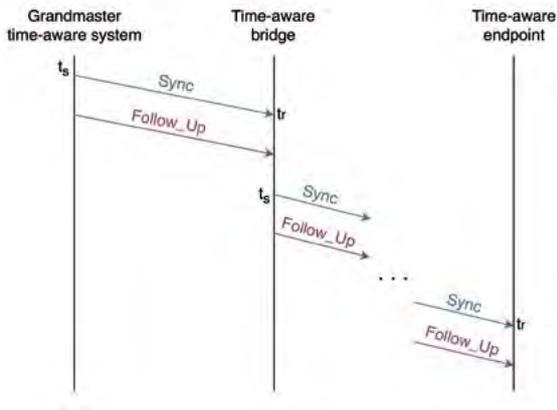


Fig. 2: Transport of time synchronization information

### Peer Delay Mechanism

Propagation delay is the time needed by the message to travel from one end of the link to the other end. Each time-aware active port needs to repeatedly calculate this period with respect to its direct neighbouring peer port and peer delay mechanism is the way to do that [4].

This mechanism, as shown in Fig. 3, is performed using two event messages (Pdelay\_Req and Pdelay\_Resp) and a general message (Pdelay\_Resp\_Follow\_Up). Where  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ , and  $t_4$  are the transmission and reception timestamps. By exchanging these messages and their corre-

sponding timestamps, the port that initiates the peer delay mechanism process gets all information it needs to calculate the propagation delay from its peer port using simple mathematical calculations [4].

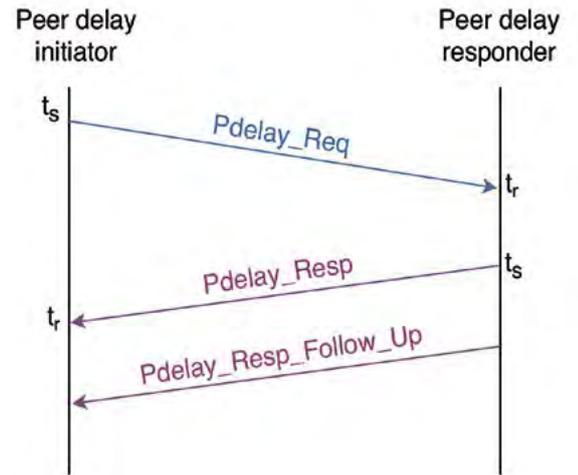


Fig. 3: Peer delay mechanism [4]

Finally, it is stated earlier that the synchronization process in gPTP is not only done with respect to time but also to frequency. The reason for this important aspect can be deduced from the previous discussion. Since the time synchronization process depends on high accurate timestamps taken by a number of clocks distributed among different devices in the network. Each of these devices contributes to an accurate time synchronization by performing calculations based on the timestamps taken by its own local clock. This means, in order for these calculations to be correct, all the devices participating in the time synchronization process need to have the same concept of time, in other words, they need to have the same frequency. For this reason, the concept of clock syntonization is introduced. Syntonizing two clocks, as defined in IEEE Std 802.1AS, does not strictly mean to change the actual frequency of the running clock, rather multiplying the performed calculations by additional variables that express the frequency difference between the two clocks in forms of ratios.

For instance, when calculating the propagation delay, the port multiplies the result with a variable called neighbor rate ratio which is the ratio of the frequency of the clock at the other end of the link to the frequency of the local clock. Additionally, by accumulating this ratio in the Follow\_Up messages along the way from the grandmaster, each time-aware device becomes aware of the frequency difference between its clock and the one running on the grandmaster device [4].

## Ongoing Activities and Outlook

As stated earlier in this article, TSN is a newly emerging technology, which still needs time to be implemented in industrial use cases. The task of developing a fully functional TSN solution is complex. For the time being, a number of projects are carried out around the world to achieve this task. These activities are executed in parallel with the standardization efforts.

From ivESK side, a number of projects and master theses are either done or currently being carried out with cooperation of many industrial and academic partners in order to achieve some remarkable results in this interesting area. One of these ongoing activities is the “AccessTSN” project [8]. The main goal of the project is to design, implement, and validate an open-source Linux-based abstraction layer for the real-time mechanisms of a generic TSN endpoint (taking a switched endpoint into consideration as well). On one hand, the project implements the Linux kernel level functionalities needed for TSN such as device drivers and time-aware scheduling. On the other hand, it provides a vendor-independent application interface, which allows the higher layer application to do network management, TSN parameter configuration, and performance monitoring.

When it comes to time synchronization, “AccessTSN” project uses “linuxptp” as the milestone. However, even though this software is the best available PTP/gPTP implementation, it could only run the IEEE Std 802.1AS in the role of a simple end station. In order to make it useful for a switched endpoint, the source-code of “linuxptp” is being improved throughout the project to fulfill the time-aware bridge requirements. In parallel, PTP drivers are also being developed (and pushed to the mainline of Linux kernel) to support a demonstrator board in order to show how the time synchronization functionality is integrated with other TSN features to make a TSN switched endpoint. So far, synchronization accuracy of around 40 ns could be achieved as illustrated in Fig. 4.

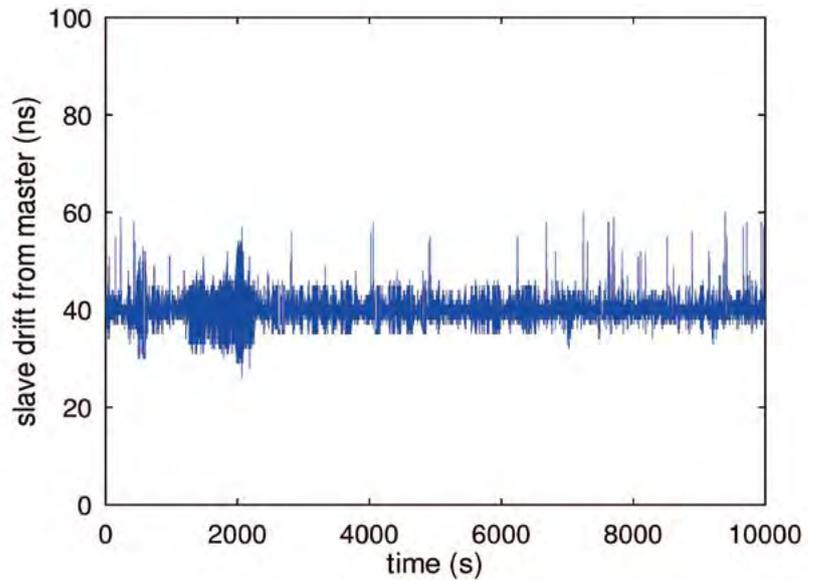


Fig. 4: Synchronization accuracy achieved

## Acknowledgment

This work is a part of the AccessTSN-Project funded by Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, based on a decision of the German Bundestag.

### AUTOREN



Kamil Alkhouri M.Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter ivESK  
kamil.alkhouri@hs-offenburg.de



Dipl.-Ing. (FH) Edgar Schmitt  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter ivESK  
edgar.schmitt@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora  
Wissenschaftl. Leiter ivESK, Lehrgebiete:  
Kommunikationsnetze, Bussysteme und  
Schnittstellen, eingebettete u. industrielle  
Netzwerke  
axel.sikora@hs-offenburg.de

# INES – INSTITUT FÜR ENERGIESYSTEMTECHNIK

Im Fokus der Forschungsaktivitäten des Instituts für Energiesystemtechnik (INES) steht die Untersuchung und Entwicklung von Systemen zur nachhaltigen Energienutzung. Elf Professoren und etwa 25 Beschäftigte arbeiten interdisziplinär in verschiedenen Projekten im weitreichenden Feld der Energiesystemtechnik. Forschungs- und Entwicklungsthemen sind Smart Grids, Gebäudeenergietechnik, Batterietechnik, Photovoltaiktechnik, Energiewirtschaft, Wasserstofftechnik und Elektromobilität. Die Gemeinsamkeiten der Projekte liegen bei der Fokussierung auf Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sowie der Nutzung erneuerbarer Energien.

Zwei neue Kollegen ergänzen das Institut seit Mitte 2019: Christian Klöffler und Patrick König haben am INES das „Electric Mobility Competence Center“ (EMC<sup>2</sup>) gegründet. Die beiden Professoren widmen sich gemeinsam mit ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Elektromobilität, insbesondere Forschungsthematiken im Bereich

des optimierten Betriebs der elektrischen Antriebskomponenten. Dies geschieht sowohl gemeinsam mit namhaften Automobilunternehmen und regionalen Industriepartnern als auch im Rahmen von öffentlich geförderten Forschungsprojekten.

Seit Juni 2020 befindet sich das INES in neuen Räumen: Das Institut ist als Hauptnutzer in das Regionale Innovationszentrum für Energietechnik, das „RIZ Energie“, eingezogen. Die beiden vorigen Standorte – Campus Nord in Bohlsbach und Steinbeis-Zentrum in der Badstraße – sind nun gemeinsam in dem neuen Gebäude am Hochschulkreisel angesiedelt. Das RIZ Energie bietet nicht nur moderne Büroräume, sondern insbesondere ein großes und gut ausgestattetes Technikum sowie zwei Außenlabore. Hier können die Forschungsaktivitäten optimal weitergeführt werden.

*Institutsleitung*

*Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*



# Verbundbetrieb von zwei autonom arbeitenden Microgrids

Parantapa Sawant M.Sc., Dipl.-Ing. (FH) Thomas Feldmann

Im Forschungsprojekt C/sells werden Konzepte für ein zellulär strukturiertes Energiesystem erforscht. Zellen können zum Beispiel Liegenschaften, Quartiere, Industriebetriebe und Flughäfen sein. Die Vernetzung der Zellen zu einem Verbund ermöglicht gemeinschaftliches Handeln für eine sichere und robuste Energieinfrastruktur. Am Institut für Energiesystemtechnik wurde nun die Kopplung zweier benachbarter Zellen beispielhaft umgesetzt.

*In the research project C/sells concepts for a cellular structured energy system are investigated. Energy supply, use, distribution, storage and other infrastructure services are optimized within the individual cells as far as possible autonomously according to the subsidiarity principle.*

*At the Institute for Energy System Technology, the coupling of two adjacent cells has now been implemented as an example. Both cells are further controlled by their own MPC-based control algorithm. The two algorithms communicate via artificial price signals and thus achieve a joint management of generation and consumption across cells.*



## Optimierter Betrieb von Energiesystemen am INES

Am Institut betreiben zwei Forschungsgruppen zwei unterschiedliche Energiesysteme, mit denen beispielhaft der Verbundbetrieb zweier Zellen erprobt und demonstriert werden kann. Es handelt sich zum einen um ein dezentrales Polygenerationssystem mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, bestehend aus einem Blockheizkraftwerk, einer Adsorptionskältemaschine, einer Wärmepumpe und Speichern für Wärme und Kälte. Als Last dient eine Triple-Klimakammer, an der zum Thema TABS (thermisch aktive Bauteilsysteme) geforscht wird. Ein Optimierungsalgorithmus sorgt für einen energieeffizienten und netzreaktiven Betrieb. Ziel der Betriebsoptimierung ist der wirtschaftliche

Betrieb, Eingangsgröße ist ein externes Preissignal. Das Optimierungskonzept, Systemmodelle, Automation und Betriebsvarianten der Anlage sind in einer weiteren Arbeit der Autoren veröffentlicht (Sawant et al., 2018; Sawant and Pfafferott, 2015).

Neben diesem Trigenerationssystem übernimmt ein elektrisches Microgrid die Funktion der zweiten Zelle. Eine PV-Anlage und ein Windrad liefern regenerative Energie, die in Li-Ionen Batterien gespeichert werden kann. Lasten sind neben einem Elektrofahrzeug verschiedene Büros und elektronische Lasten, die beliebige Lastgänge emulieren können. Die Anlage ist inselnetzfähig und wird ebenfalls von einem Optimierungsalgorithmus gesteuert, der hier jedoch als Ziel das sogenannte ‚Peak Shaving‘ verfolgt.

Abb. 1: INES Microgridrid – ein hybrides System zur Stromversorgung mit Netzkopplung (li) und KWKK-Labor (kleinskalige Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) als netzreaktives System zur energieeffizienten Bereitstellung von Wärme/Kälte und Strom (re)

	INES Microgrid	KWKK-Anlage
Methoden	MPC - Model Predictive Control	MPC - Model Predictive Control
Optimierungsproblem	MIQP (Mixed Integer Quadratic Programming)	MINLP (Mixed Integer Nonlinear Programming)
Optimierungsziel	Peak Shaving	Minimierung Betriebskosten
Prognosen	Wetter, elektrische Last	Strompreis, thermische Last
Zeitschritt	Variabel, 5 sec bis 30 min	Fest, 15 min
Software	Matlab, Yalmip	Python, CasADi, PyCombin (open source)
Löser	IBM CPLEX	IPOPT
Kommunikation	OPC UA	OPC UA
Datenbank	MSSQL Server	National Instruments Citadel

Abb. 2:

Vergleichende Charakterisierung des INES Microgrid, einem hybriden System zur Stromversorgung mit Netzkopplung und des kleinskaligen KWKK-Labors, einem netzreaktiven System zur energieeffizienten Bereitstellung von Wärme/Kälte und Strom

Hier werden die Spitzenwerte von Einspeisung und Bezug elektrischer Energie so weit wie möglich reduziert, indem die Batterien als Pufferspeicher genutzt werden (Dongol et al. 2018).

An beiden Anlagen (Abbildung 1) werden mathematische Verfahren entwickelt, die nach dem Prinzip der Model Predictive Control (MPC) arbeiten. Die Lösungsalgorithmen, die Programmierumgebung und auch die Optimierungsziele unterscheiden sich jedoch erheblich. Unter Beibehaltung der jeweils autonom arbeitenden Optimierer ist es möglich, allein durch den Austausch von Anreizsignalen und geplanter Fahrweise einen koordinierten und optimierten Verbundbetrieb zu erreichen.

## Kopplung

Das INES Microgrid als elektrisches und die KWKK-Anlage als in der Hauptsache thermisches System unterscheiden sich nicht nur anlagentechnisch und in den Zielen der jeweiligen Optimierungsalgorithmen, sondern auch ganz erheblich in ihren wichtigsten Parametern die Automatisierung und die Optimierung betreffend (Abbildung 2). Auffallend verschieden sind die Zeitschritte der Optimierer. Für die KWKK-Anlage reicht als träges thermisches System eine Optimierung alle 15 Minuten. Das elektrische Microgrid kann durch einen Zeitschritt von zu Beginn nur fünf Sekunden auch auf schnelle Änderung der Sonneneinstrahlung durch Wolken reagieren, die den Energieertrag der PV-Anlage einbrechen lassen. Der erhöhte Rechenaufwand wird hier durch eine variable Schrittweite kompensiert, die von 5 Sekunden bis zu 30 Minuten verändert wird. Auch nach der Kopplung der beiden Systeme bleiben diese Unterschiede vollständig und in jedem einzelnen Punkt bestehen. Das Modell des INES

Microgrid ist lediglich durch eine Anlage unbekannter Art ergänzt worden. Von dieser Blackbox ist nur bekannt, dass sie Energie beziehen und auch liefern kann.

Wird mit einem MPC-Algorithmus gearbeitet, müssen die Anlagen jedoch vollständig modelliert werden, um ihr zukünftiges Verhalten durch Simulation vorhersagen zu können. Die KWKK als Blackbox kann jedoch trotzdem in das Modell des INES Microgrids integriert werden, wenn ihr zukünftiges Verhalten vollständig bekannt ist. Kenntnisse über den internen Systemaufbau sind nicht notwendig. Da der KWKK-eigene Optimierer seine künftigen Systemzustände fortlaufend berechnet, kann er seinen Fahrplan für Energiebezug und -lieferung für die nächsten 24 Stunden an den MPC-Algorithmus des INES Microgrids liefern.

Vom Microgrid geht ein Preissignal an die KWKK-Anlage mit dem Ziel, dieses zur Lieferung oder auch zur Abnahme von Strom zu bewegen. Die Preisbildung erfolgt mit dem Ziel, den Energieaustausch zwischen dem Microgrid und öffentlichem Stromnetz zu minimieren. Das heißt, wenn Zeiten von Energieüberschuss prognostiziert werden, wird dieser der KWKK zu einem günstigen Preis angeboten und umgekehrt.

## Experimentelle Ergebnisse

Eine Momentaufnahme der Zusammenarbeit der Optimierer in beiden Zellen ist in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Es ist ein Winterversuch vom Nachmittag des 22.01.2020 um 14:00 Uhr mit dem Wärmelastprofil (Pth\_HL) eines Hotels mit einer Spitzenlast von 16 kWth. Die Wärme liefert das Blockheizkraftwerk mit einer Leistung 10,5 kWth und 5,3 kWel. Ein

Wärmespeicher (1500 l) mit einem integrierten Heizstab von 6 kW ergänzt das System. Die Wetterprognose hat einen sonnigen Tag vorhergesagt, dargestellt als hellblaue Kurve in der oberen IMG-Grafik Abbildung 4. Im Rheintal hat sich jedoch den ganzen Tag über zäher Nebel gehalten. Der Algorithmus zur Prognosekorrektur verbessert die optimisti-

sche Prognose anhand von aktuellen Messdaten, dargestellt als dunkelblaue Kurve. Da im Microgrid am frühen Nachmittag kaum Lastanforderung besteht, kann diese zusammen mit der PV-Energie aus der Batterie versorgt werden, was zu einem niedrigen Strompreis führt (Abbildung 4, rote gestrichelte Linie). Da die PV-Anlage erst am nächsten Tag in nennenswertem Maß zur Energieversorgung beitragen

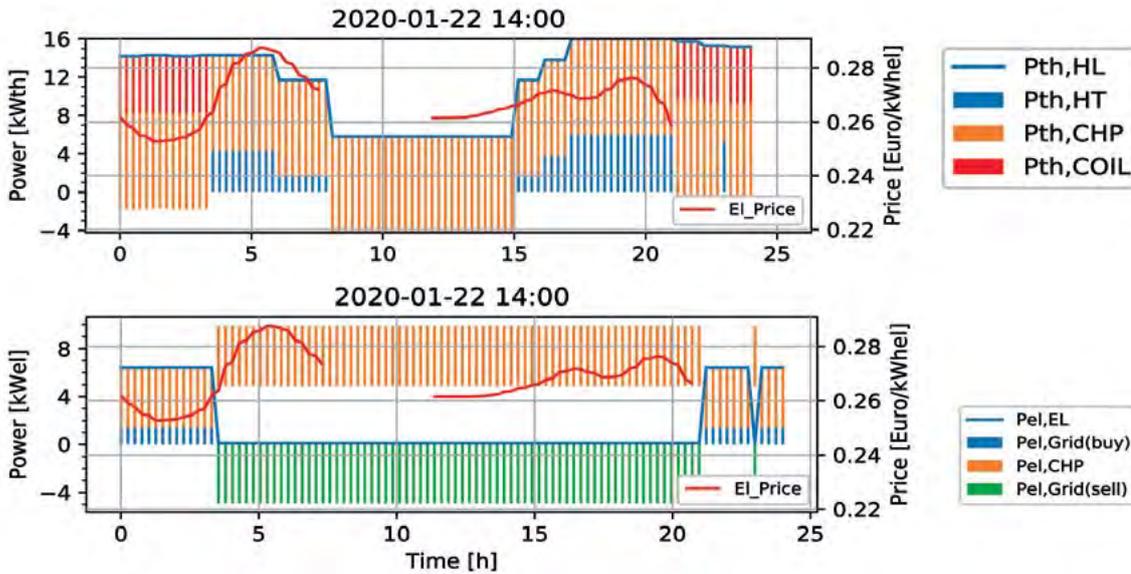


Abb. 3: Momentaufnahme vom 22.01.2020 um 14:00. INES Microgrid. Leistungen und SOC (State Of Charge) der Batterie über den Prädiktionshorizont von 24 Stunden. PV-Leistung-kor = anhand realer Messdaten korrigierte Prognose der PV-Leistung

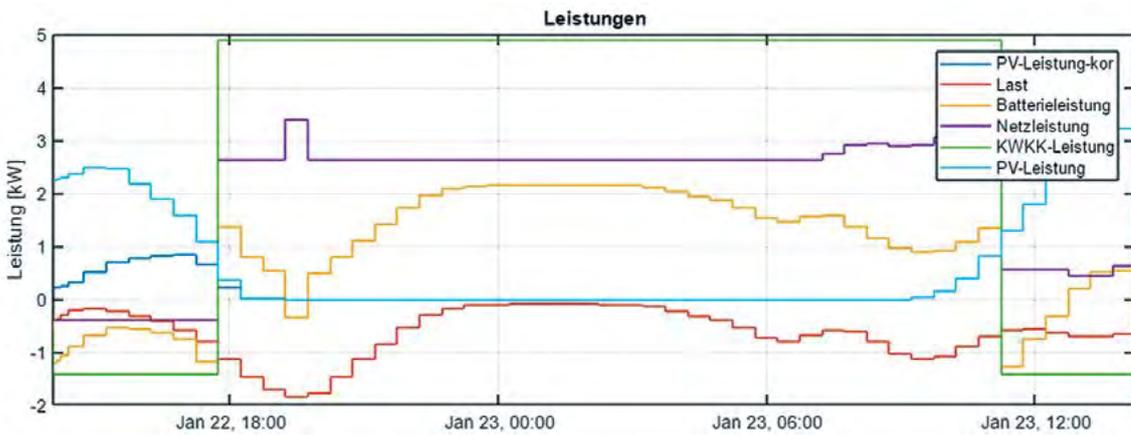
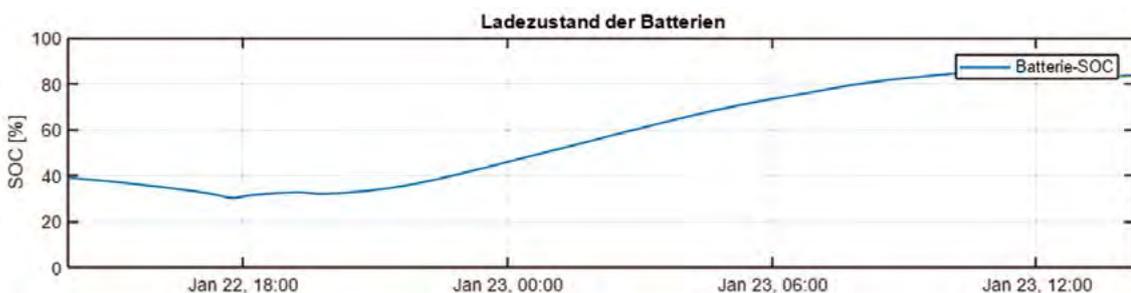


Abb. 4/5: Momentaufnahme vom 22.01.2020 um 14:00. Preissignal vom INES Microgrid und Prognose der Leistungen, thermisch (oben) und elektrisch (unten) über den Prädiktionshorizont von 24 Stunden



Referenzen/References:  
 Sawant, P., Pfafferott, J., 2015. Experimental Analysis of Micro-scale Trigeneration Systems to Achieve Thermal Comfort in Smart Buildings, in: 36th AIVC Conference. Madrid, pp. 309–319  
 Sawant, P., Pfafferott, J., Felsmann, C., 2018. Quasi-First-Principle Based Grey-Box Modelling of Micro-scale Trigeneration Systems for Application in Automatic Control. IFAC-PapersOnLine 51, 690–695 <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.785>  
 Dongol, D., Feldmann, T., Schmidt, M., Bollin, E., 2018. A model predictive control based peak shaving application of battery for a household with photovoltaic system in a rural distribution grid, Sustainable Energy, Grids and Networks 16, pp. 1-13

kann, folgt das Preissignal dem Lastbedarf im System. Erst um die Mittagszeit des Folgetages gibt es einen Überschuss an Leistung im Microgrid, was den Einbruch des Preises zur Folge hat. Auf der Seite der KWKK-Anlage ist in der oberen Grafik von Abbildung 5 die thermische Leistung zu sehen. Den Wärmebedarf des Hotels (Pth,HL) zeigt die blaue Linie. Das Blockheizkraftwerk läuft aufgrund des hohen Wärmebedarfs im Dauerbetrieb (Pth,CHP).

In Zeiten günstiger Strompreise wird der Heizstab (Pth,COIL) zugeschaltet, um den Wärmespeicher zu beladen. Dieser kann dann in Zeiten höchster Last und hoher Preise zur Stützung des BHKW genutzt werden (Pth,HT). Im unteren Teil von Abbildung 5 sind die elektrischen Leistungen dargestellt. In Orange wieder das BHKW und der Austausch mit dem Microgrid in Blau (Bezug) und Grün (Lieferung). Die blaue Linie zeigt den elektrischen Energiebedarf des Heizstabs. Weder das BHKW noch der Heizstab sind in ihrer Leistung variabel, daher gibt es in dem dargestellten Zeitraum nur zwei Lastzustände.

Der Dauerbetrieb des BHKW kann bis zum Mittag des Folgetages im Microgrid genutzt werden, um die Batterie zu laden. Erst wenn der Heizstab aufgrund niedriger Preise wieder in Betrieb geht, fließt wieder Strom zur KWKK-Anlage. Ein Teil der Energie muss ins Stromnetz eingespeist werden. Um einen schonenden Batteriebetrieb sicherzustellen und frühzeitige Alterung zu vermeiden, werden Ladezustände oberhalb von 80% nach Möglichkeit vermieden.



## Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Unterstützung der Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts „C/sells“ (Förderkennzeichen 03SIN103)

## Ausblick

Die hier beschriebene Kopplung zweier zellulärer Energiesysteme zeigt, wie ein Verbundbetrieb von jeweils autonom agierenden Energiesystemen auf einfache Art und Weise ermöglicht werden kann. Er wird allein durch den Austausch von Anreizsignalen (Strompreis) und Betriebsprognosen (prognostizierter Energieaustausch) erreicht. Im nächsten Schritt wird der KWKK-Anlage ermöglicht werden, sich zwischen dem Handel mit dem INES-Microgrid und dem mit dem öffentlichen Stromnetz zu entscheiden. Wird das Optimierungsziel ‚Peak Shaving‘ des Microgrids um die Minimierung der Betriebskosten ergänzt, können auch bidirektionale Anreizsignale eingeführt werden.

Für die Bereitstellung von Flexibilität bietet die Kopplung ebenfalls große Vorteile, indem die Freiheitsgrade, die Lieferung und Abnahme von Energie betreffend, erhöht werden. Dies ist Inhalt weiterer Arbeiten am Institut.

Für die Weiterentwicklung der Algorithmen und Modelle soll vollständig auf open source software umgestellt werden, wie bereits für die KWKK-Anlage schon erfolgreich umgesetzt.

### AUTOREN / ANSPRECHPARTNER



Parantapa Sawant M.Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter INES  
parantapa.sawant@hs-offenburg.de



Dipl.-Ing. (FH) Thomas Feldmann  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter INES  
thomas.feldmann@hs-offenburg.de



Prof. Dr. rer. nat. Michael Schmidt  
Fakultät EMI, stellv. geschäftsführender  
Leiter INES, wissenschaftl. Leiter Labor  
Regenerative Energiesysteme, Leiter  
Forschungsgruppe NET  
schmidt@hs-offenburg.de

# MOSAİK

## Entwicklung eines leistungsstarken Gebäudemodells in einer Stadtklimasimulation

Sascha Reißmann B.Eng., Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott

Im Projekt MOSAIK wurde von der Hochschule Offenburg ein Innenraummodell mit einer Gebäudedatenbank in die Large-Eddy-Stadtklimasimulation Palm-4U integriert, das Innenraumtemperatur, Energiebedarf und anthropogene Wärmeabgabe einzelner Gebäude in Abhängigkeit von bauphysikalischen Parametern, Nutzerverhalten und unterschiedlicher Gebäudetechnik berechnet. Damit können urbane Strukturen mit einer numerischen Stadtklimasimulation untersucht werden. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf dem städtischen Wärmeinseleffekt, der insbesondere im Sommer zu einer sukzessiven Erwärmung der Gebäude und infolgedessen zur Erwärmung der ganzen Stadt führt.

*In the MOSAIK project, the Offenburg University of Applied Science integrated an indoor climate model with a building database into the Palm-4U large-eddy urban climate simulation. The model calculates indoor temperatures and anthropogenic heat emissions from individual buildings depending on building physics parameters, user behavior and different building technology. As a result, urban structures can be examined for the urban heat island effect using urban climate simulations.*

### Einleitung

Gebäude haben eine große Auswirkung auf das Stadtklima. Und das Stadtklima beeinflusst wiederum das Innenraumklima und den Energiebedarf von Gebäuden. Um die Interaktion von Stadtklima und Gebäuden auch numerisch evaluieren zu können, wurde die Stadtklimasimulation PALM-4U um ein leistungsstarkes Gebäudemodell erweitert.

In einer Simulationsstudie haben Jacob und Pfafferott (2012) für mehrere Testreferenzjahre (Deutscher Wetterdienst, 2014) aufgezeigt, dass der Stadtklimaeffekt eine große Auswirkung auf die Energiebilanz der Gebäude hat. Bauphysikalische Parameter (insb. Gebäudehülle), analagenteknische Kenndaten (insb. die Gebäudeheizung, -kühlung bzw. -klimatisierung) und Nutzerverhalten haben einen großen Einfluss auf das Innenraumklima in Wohn- und Bürogebäuden (Kalz et. al., 2014; Pfafferott und Becker, 2008).

### Innenraummodell

Das Innenraummodell nach DIN EN ISO 13790 (2008) ist ein „zuschaltbares“ Modul, das mit dem Fassadenmodell gekoppelt und mit weiteren Modulen von PALM 4U interagiert. Das Innenraummodell basiert auf einer analytischen Lösung des Fourier'schen Gesetzes in Form eines 5R1C-Ersatzmodells mit fünf Widerständen  $R$  [K/W] und einer Wärmekapazität  $C$  [J/K]. Die Lösung basiert auf dem Crank-Nicolson-Verfahren mit einer Zeitschrittweite von einer Stunde. Darin beschreiben die Widerstände  $R$  den reziproken Wert der Wärmedurchgangskoeffizienten  $H$  [W/K], die die Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung, die konvektive Wärmeübertragung und die Wärmeleitung berücksichtigen. Alle Speicherkapazitäten werden zu einer Speicherkapazität zusammengefasst, wobei die Fassade (in einem separaten Modell) in drei Wandschichten (drei Wärmekapazitäten und vier Widerständen) modelliert wird.

Abbildung 1 zeigt die im Innenraummodell verwendeten Parameter  $H$  und  $C$  sowie Variablen: vier Wärmeströme ( $\Phi_{hcr}$ ,  $\Phi_{conv}$ ,  $\Phi_{rad,s}$  und  $\Phi_{rad,m}$ ), drei interne- ( $\vartheta_i$ ,  $\vartheta_s$  und  $\vartheta_m$ ) drei externe Temperaturen ( $\vartheta_n$ ,  $\vartheta_e$  und  $\vartheta_w$ ).

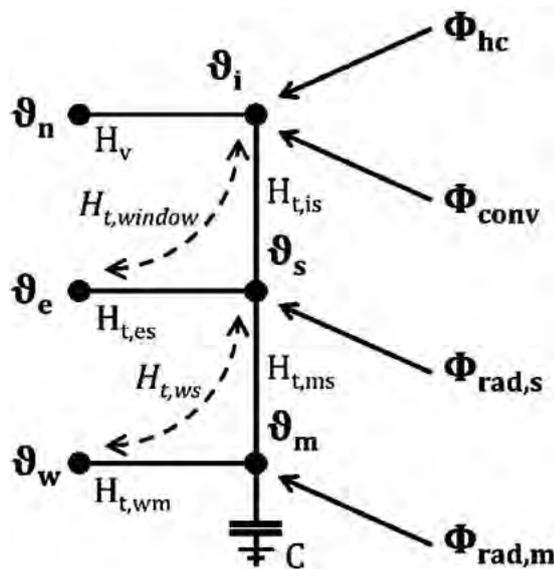


Abb. 1:  
Wärmeübertragung  
und Temperaturen in  
einem 5R1C-Ersatz-  
modell

Die Wärmedurchgangskoeffizienten und die Wärmekapazität sind folgendermaßen definiert:

- $H_v$  [W/K] für den Wärmetransport (durch Lüftung) zwischen fassadennaher Außenluft  $\vartheta_n$  und Innenluft  $\vartheta_i$ ,
- $H_{t,es}$  [W/K] für den Wärmedurchgang (durch Fenster) zwischen der Außenluft  $\vartheta_e$  und der Innenoberfläche  $\vartheta_s$ ,
- $H_{t,wm}$  [W/K] für den Wärmedurchgang (durch die Außenwand) zwischen der Wandtemperatur  $\vartheta_w$  und dem inneren Masseknoten  $\vartheta_m$ ,
- $H_{t,is}$  [W/K] für den Wärmedurchgang zwischen Innenluft  $\vartheta_i$  und Innenoberfläche  $\vartheta_s$ ,
- $H_{t,ms}$  [W/K] für die Wärmeleitung zwischen Innenoberfläche  $\vartheta_s$  und dem inneren Masseknoten  $\vartheta_m$ ,
- $C$  [J/K] der Wärmespeicherkapazität für alle raumumschließenden Gebäudeteile.

Das Innenraummodell berechnet die Energiebilanz und die Raumtemperatur und bestimmt darauf basierend den Heiz- bzw. Kühlbedarf und die anthropogene Wärmeabgabe.

Das Innenraummodell wurde durch Monitoring-Daten und durch andere Simulationen validiert bzw. auf Plausibilität geprüft. Die Genauigkeit des analytischen Modells wurde wiederholt mit numerischen Simulationen verglichen. Dabei wurde darauf geachtet, eine weite Varianz aller Eingangsparameter (Burhenne et al., 2010) zu berücksichtigen.

## Gebäudedatenbank

In der Gebäudedatenbank ist die Parametrierung des Fassadenmodells und des Gebäudemodells hinterlegt. Die Gebäudedatenbank enthält:

- die geometrischen Daten des Gebäudes,
- alle bauphysikalischen Parameter der Gebäudehülle und des Innenraums,
- alle anlagentechnischen Kenndaten für das Lüftungs-, Heizungs- und Klimatisierungssystem sowie
- sämtliche Parameter zur Betriebsführungsstrategie (inkl. Nutzerverhalten und Regelung der gebäudetechnischen Anlagen).

Die Gebäudedatenbank ist standardisiert und kann manuell an die Maße der Gebäude, die Baumaterialien oder die verwendete Gebäudetechnik angepasst werden. Sie besteht aus vier Bereichen:

1. Gebäudebeschreibung (Geometrie, Bauteilkennwerte, Fensterflächenanteil und Luftwechsel),
2. Nutzerverhalten (manueller Fensteröffnung, Verwendung von Sonnenschutzeinrichtungen und Präsenzzeiten),
3. Personenbeschreibung (Wärmeabgabe) [met] und Bekleidung [clo],
4. Gebäudetechnik (Kennlinienmodelle für verschiedene heizungs-, raumluft- und klimatische Anlagen inkl. Regelstrategien).

Die Gebäudedatenbank ist so strukturiert, dass die Angaben zum Baujahr für eine vollständige Beschreibung ausreichen. Damit kann aus drei Gebäudeklassen (Baujahr vor 1950, 1951–2000 und nach 2000) und aus zwei Gebäudetypen (Wohn- und Bürogebäude) eine standardisierte Parametrierung gewählt werden. So entstehen, ergänzt durch einen Nichtgebäudetyp für besondere Baustrukturen, sieben repräsentative „Gebäudearchetypen“ in Anlehnung an die Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU 2018).

## Ergebnisse

Das Innenraummodell wurde erfolgreich in die PALM-4U-Umgebung eingefügt. Die Gebäudegeometrie und die Rastergröße definieren das Gebäudevolumen und die Anzahl der Fassadenelemente. Jedem Fassadenelement wird ein virtuelles Innenraumvolumen zugeordnet. Alle globalen Parameter (z. B. Luftwechsel pro Stunde, interne Wärmegewinne und Wärmekapazitäten) werden auf dieses virtuelle Innenraumvolumen referenziert.

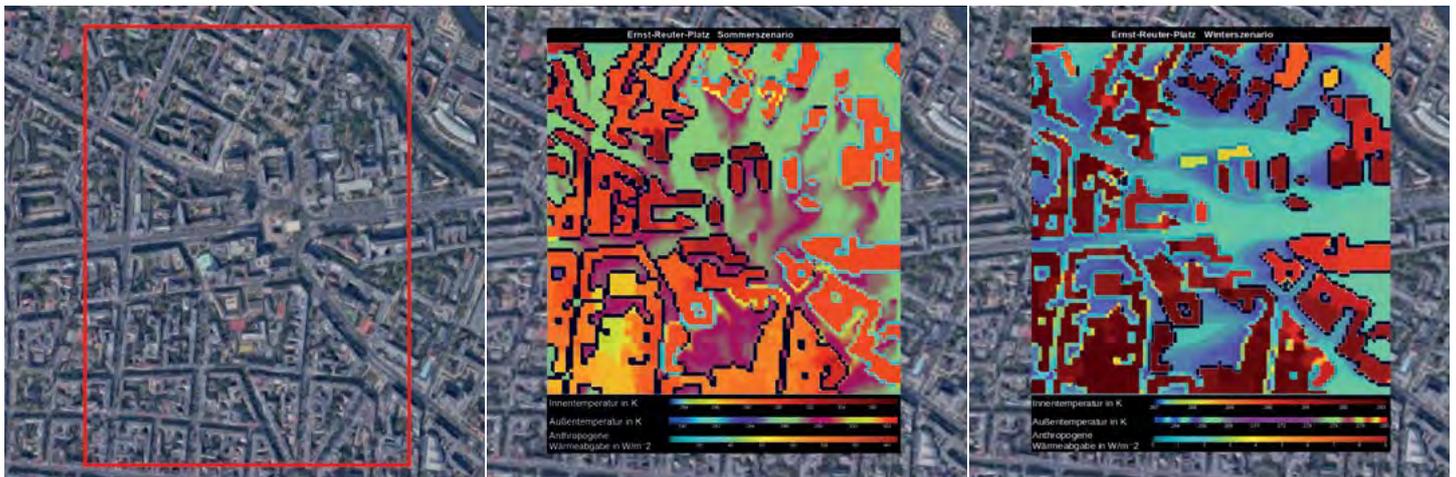


Abb. 2: Ernst-Reuter-Platz [Quelle maps.google.de] (li), ausgewählte Simulationsergebnisse für einen Sommer- (Mitte) und einen Wintertag (re)

Abbildung 2 zeigt die Simulationsergebnisse für ein Sommer- und ein Winterszenario bei einem Raster von 10 m x 10 m x 10m und einem Höhenschnitt von 11 m. Beide Grafiken beinhalten die lokalen Innenraumtemperaturen, die Lufttemperatur außerhalb der Gebäude und den anthropogenen Wärmeverlust über die Wände durch die Heiz- bzw. Kühltechnik um 11:00 Uhr in einer typischen heterogenen urbanen Umgebung (hier Ernst-Reuter-Platz in Berlin).

- Die mittlere Außentemperatur  $\vartheta_e$  beträgt etwa +24 °C im Sommerszenario (Mitte) und -10 °C im Winterszenario (rechts).
- Die operative Raumtemperatur  $\vartheta_i$  liegt bei etwa 26 °C im Sommerszenario (bei Gebäuden mit aktiver Kühlung) und bei etwa 20 °C im Winterszenario aufgrund des aktiven Heizens. Bemerkenswert ist der Temperaturunterschied zu Gebäuden ohne aktive Kühlung. Im Sommerszenario steigt die operative Raumtemperatur durch hohe solare und interne Wärmegegewinne teilweise auf bis zu 33 °C, während in Gebäuden mit guter Wärmedämmung und passiver Kühlung die Raumtemperaturen bei 22 °C liegen.
- Der Nutzenergiebedarf für das Heizen und Kühlen hängt stark von der Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Außentemperatur, aber auch von der Windgeschwindigkeit an der Fassade, der Gebäudekonstruktion, dem Fensterflächenanteil, der Orientierung des Gebäudes und der Solarstrahlung ab. Der Endenergiebedarf beinhaltet zudem die Verbräuche der verwendeten Klimatechnik. Damit kann die anthropogene Wärmeabgabe jedes einzelnen Fassadenelements berechnet werden. [Hinweis: Fassadenelemente ohne anthropogene Wärmeabgabe sind schwarz dargestellt, z. B. Gebäude mit ausschließlich passiver Fensterkühlung im Sommer

oder Nah- bzw. Fernwärme im Winter.] Die anthropogene Wärmeabgabe liegt im Winter (bei Gebäuden mit einer heizungstechnischen Anlage) zwischen 2 und 7 W/m<sup>2</sup>Fassade und im Sommer (bei Gebäuden mit aktiver Kühltechnik) zwischen 20 und 60 W/m<sup>2</sup>Fassade.



### Danksagung

Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des „Urban Climate Under Change [UC]<sup>2</sup>“-Programms *Entwicklung eines leistungsstarken Stadtklimamodells MOSAIK*, Teilprojekt *Raumklima und Energiebedarf* (Ref. 01LP1601C) finanziert.

#### AUTOREN



Sascha Rißmann B.Eng.  
Akad. Mitarbeiter, Koordinator am RIZ Energie, Institut für Energiesystemtechnik INES, Forschungsgruppe Advanced Building Technologies  
sascha.rissmann@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferoth  
Fakultät M+V  
Institut für Energiesystemtechnik INES, Forschungsgruppe Advanced Building Technologies  
jens.pfafferoth@hs-offenburg.de

Referenzen/References:  
Burhenne S, Elci, M., Jacob, D., Neumann, C., and Herkel, S.: Sensitivity analysis with building simulations to support the commissioning process, Proceedings of ICEBO 2010, 10th Int. conference for enhanced building operations, Kuwait City, 2010  
Deutscher Wetterdienst: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse, 2014  
DIN EN ISO 13790:2008-09: Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2008  
Institut für Wohnen und Umwelt, IWU: Deutsche Gebäudetypologie, 2018  
Jacob, D. and Pfafferoth, J.: Bauphysik der Fassade im Klimawandel, Dt. Wetterdienst, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, 2012  
Kalz, D.E., Herkel, S., Sonntag, M., and Pfafferoth, J.: Energieeffiziente Kühlung und thermischer Raumkomfort: Erfahrungen aus dem Langzeitmonitoring von 42 Bürogebäuden, Bauphysik, 36, 221–235, doi: 10.1002/bapi.201410030, 2014.

# SHK.4.FE

## Vom Übersee-Container zum energieautarken Tiny House

Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferoth

Im Projekt SHK.4.FE wurde ein energieautarkes Tiny House von Studierenden und Auszubildenden gemeinsam geplant und gebaut. Das Energiekonzept basiert ausschließlich auf Solarenergie: Ein kombinierter Solarkollektor wandelt die Solarenergie in Strom und Wärme um und dient dabei in den Sommernächten zusätzlich zur Wärmeabgabe. Zum Einsatz kommen verschiedene Effizienztechnologien wie Wärmepumpen, thermische und elektrische Speicher, Lüftungsanlagen und Flächentemperiersysteme.

*In the SHK.4.FE project, an energy self-sufficient tiny house was planned and built jointly by students and trainees. The energy concept is based only on solar energy: a combined solar collector converts the solar energy into electricity and heat. It is also used for heat emission during summer nights. Various efficiency technologies such as heat pumps, thermal and electrical storage systems, ventilation systems and radiant heating and cooling are used.*



Abb. 1:  
Bauphase in Freiburg

Das Projekt SHK.4.FE zeigt die Vielseitigkeit der SHK-Berufe in Ausbildung [Anlagenmechanik Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik] und der TGA-Planung im Studium [Maschinenbau / Energie- und Gebäudetechnik]. Das energieautarke Tiny House

- demonstriert, wie man von der ersten Idee bis zur Fertigstellung gemeinsam ein Projekt für die Energiewende umsetzt,

- zeigt typische Anlagenkomponenten für energieeffiziente Wohn- und Bürogebäude,
- gewährleistet über das ganze Jahr eine gute Wohnqualität mit angenehmen Raumtemperaturen und hoher Luftqualität und
- sorgt für warmes Trinkwasser und liefert Strom an alle elektrischen Systeme.

*Und das allein mit Solarenergie!*

Die Photovoltaik-Module der kombinierten PVT-Module wandeln die Solarstrahlung in Strom um, der in das Speichersystem fließt und von einer integrierten Regelung verwaltet wird. Dazu wandelt der Wechselrichter den Solarstrom auf ein Spannungsniveau von 48 Volt Gleichstrom oder 230 Volt Wechselspannung um. Er arbeitet als Laderegler für die Batterie und als Spannungsquelle für die elektrischen Verbraucher. Das ist neben der Solarwärme aus den Solarkollektoren die einzige Energiequelle für das Tiny House. Die Batterie kann acht Kilowattstunden elektrische Energie speichern und bis zu vier Kilowatt elektrische Leistung von den Photovoltaikmodulen beziehen oder an die Verbraucher liefern.

Im Winter wird die Wärme von der Wärmepumpe bereitgestellt, die die Wärme aus den Solarkollektoren auf die passende Temperatur regelt und in den Wärmespeicher einspeist. Die Solarwärme wird genutzt, um das Kältemittel auf der kalten Seite zu verdampfen. Die warme Seite der Wärmepumpe, der Verflüssiger, produziert dann Raumwärme bei der gewünschten höheren Temperatur.

Im Sommer dagegen wird die Kälte tagsüber durch die Wärmepumpe erzeugt, in dem nun die kalte Seite, der Verdampfer, genutzt wird. Dabei erwärmt die Wärmepumpe über ihre warme Seite gleichzeitig den Wärmespeicher. In der Nacht kann dann die tagsüber gesammelte Abwärme über die Kollektoren an die kühle Außenluft abgegeben werden.

Zudem erzeugt die Wärmepumpe neben Raumwärme und -kälte auch warmes Trinkwasser.

Die Verteilung und Übergabe von Wärme und Kälte findet wie folgt statt: Im Winter fließt warmes Wasser aus dem Wärmespeicher über den Heizkreisverteiler in die Fußbodenheizung. Und im Sommer fließt kühles Wasser aus dem Kältespeicher über den gleichen Verteiler in die Deckenkühlung.

Eine übergeordnete Regelung sorgt je nach Wetter sowie Wärme- und Kälteverbrauch für den optimalen Betrieb der Gesamtanlage. Die Wärmepumpe ist das Herzstück des Energiesystems und verwaltet alle Energieströme und Systemtemperaturen. Sie erhält Informationen aus dem gesamten System, insbesondere vom Solarkollektor.

Unter Nutzung des Wärme- und Kältespeichers sowie der elektrischen Batterien gelingt es so, das Tiny House während des gesamten Jahres energieautark und nur mit Solarenergie zu betreiben. Alternativ kann das Tiny House im Stromnetz netzdienlich betrieben werden. Dann werden die Batterien bei einem großen Stromangebot geladen und stellen bei Strommangel, wenn der Wind nicht weht oder die Sonne nicht scheint, elektrische Energie zur Verfügung.



Fußbodenheizung



Wärmespeicher



Kältespeicher



Solarkreis



Heizkreis befüllen und entlüften



Heiz- und Kühlkreisverteiler



Abstimmung Planung / Baustelle

Abb. 2:  
Anlagentechnik und  
Eindrücke aus der  
Bauphase

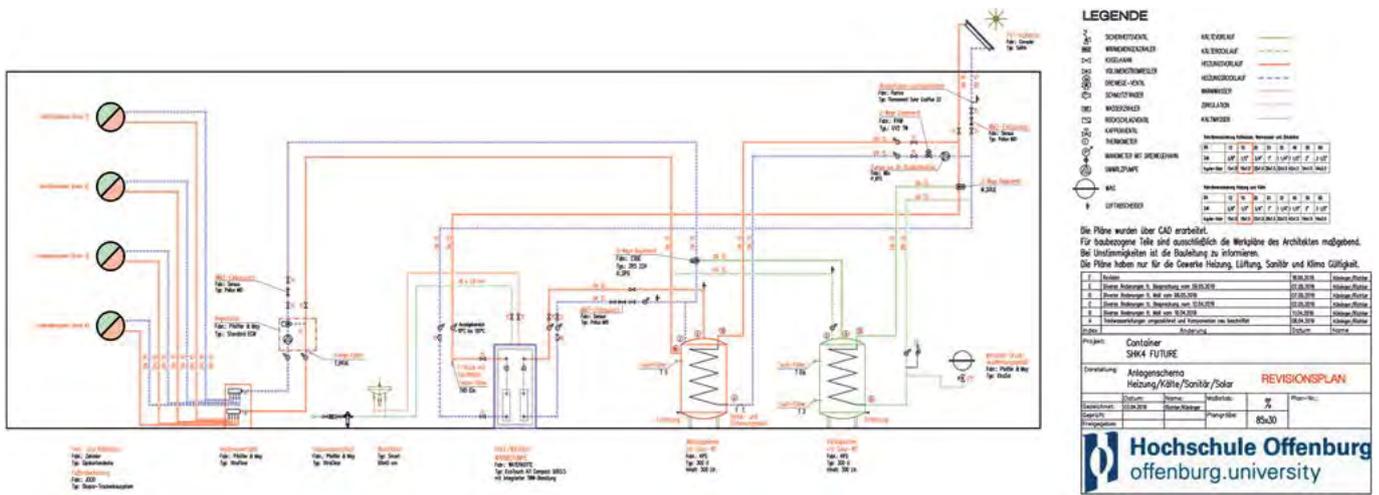


Abb. 3:  
Anlagenschema

Während der Planung wird, neben anderen Planungswerkzeugen, eine gekoppelte, dynamische Gebäude- und Anlagensimulation genutzt, um die einzelnen Anlagenkomponenten zu dimensionieren und aufeinander abzustimmen. Die Raumtemperatur liegt im Winter (zwischen 20–24 °C) und im Sommer (zwischen 23–26 °C) im Komfortbereich.

Die Jahresenergiebilanz zeigt, dass ein großer Teil des Solarstroms von der Wärmepumpe genutzt wird, um warmes Trinkwasser, Raumwärme und -kälte bereitzustellen. Das Tiny House benötigt darüber hinaus nur wenig elektrische Energie für Licht, Kleinverbraucher und für den Betrieb der Lüftungsanlage.

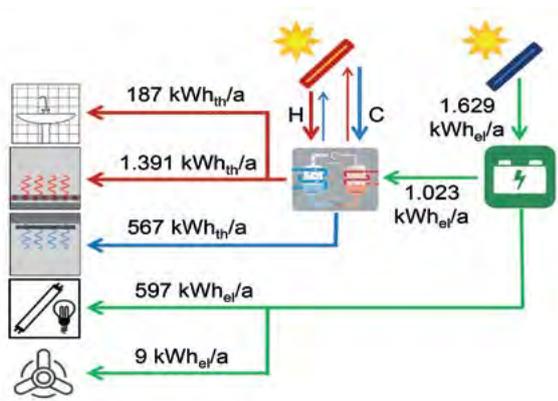


Abb. 4:  
Energieflussbild aus der Planung

Integrales Planen und Bauen sind die Grundvoraussetzungen für erfolgreiche Energie- und Bauprojekte. Hier arbeiten Bauherr, Architekt, Fachplaner und Handwerker zusammen. Der Bauherr formuliert seine Wünsche und Anforderungen und stimmt sie mit dem Architekten ab. Der Fachplaner für technische Gebäudeausrüstung plant die Haustechnik gemeinsam mit dem Architekten und koordiniert die Baustelle. Die Handwerker führen die Pläne auf der Baustelle aus. Dabei stimmen sich TGA-Planer und SHK-Handwerker immer wieder ab, um mit den einzelnen Anlagenkomponenten ein optimales Gesamtsystem zu installieren. Handwerker, Fachplaner und Architekt nehmen das Gebäude gemeinsam in Betrieb und übergeben es dem Bauherrn.

Im Projektverlauf haben die SHK-Auszubildenden aus Freiburg und die TGA-Studenten aus Offenburg alle Leistungsphasen eines Planungs- und Bauprozesses von der Grundlagenermittlung, über den Entwurf des Gesamtsystems und die Planung der Einzelkomponenten, die Ausschreibung und Vergabe, die Bauleitung und Umsetzung bis hin zur technischen Dokumentation und Inbetriebnahme kennengelernt. Studenten und Auszubildende haben Hand in Hand zusammengearbeitet und sich gegenseitig erklärt, wie das System seitens der Ingenieure geplant wurde und wie man dies auf der Baustelle handwerklich umsetzt.

Die Teilnehmer am Projekt SHK.4.FE wurden als Finalisten für den studentischen Wettbewerb STUDENTEN I GESTALTEN I ZUKUNFT nominiert. Der Container wurde auf der „bautec“, Berlin, vom 18.-21. Februar 2020 vorgestellt und Studierende konnten das Projekt im Rahmen des Hochschultages auf dem „bautec-campus“ präsentieren.

Die Verleihung des Seifritz-Preises 2020 durch den Baden-Württembergischen Handwerkstag an das Projekt SHK.4.FE zeigt darüber hinaus, dass die Ergebnisse auch in der gewerblichen Ausbildung positiv aufgenommen wurden.

Weitere Informationen rund um das Projekt, Monitoringdaten, ein Baustellen-Video und ein Video zur Anlagentechnik finden Sie unter:

 <https://riz.hs-offenburg.de/projekte/shk4fe/>

**AUTOR**



Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott  
Fakultät M+V  
Institut für Energiesystemtechnik INES,  
Forschungsgruppe Advanced Building  
Technologies  
[jens.pfafferott@hs-offenburg.de](mailto:jens.pfafferott@hs-offenburg.de)

# PHOTOPUR

## Photokatalytische Reinigung für pestizidbelastetes Wasser im Weinbau

*Jesus S. da Costa Fernandes M.Sc., Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin*

PHOTOPUR hat die Entwicklung eines photokatalytischen Prozesses zur Beseitigung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) aus dem Reinigungswasser von Spritzgeräten zum Ziel. Am INES wurde eine Energieversorgung für die photokatalytische Reinigung in zwei Bachelorarbeiten entwickelt und als Demosystem aufgebaut. Das Gesamtsystem ist nun als mobile Einheit verfügbar und wurde zuletzt um das Reaktormodul für den photokatalytischen Prozess erweitert und den Partnern für intensive Tests übergeben.

*PHOTOPUR aims to develop a photocatalytic process for the elimination of plant protection products (PPP) in the cleaning water of sprayers. At INES an energy supply for the photocatalytic cleaning system was developed in two Bachelor theses and built up as a demonstration unit. The complete system is now available assembled on a mobile lab table and recently extended by a photocatalytic reactor module designed and built up as a prototype. The system is actually undergoing an intensive test phase at the project partners.*

Das PHOTOPUR-Konsortium – bestehend aus den Partnern INES in Offenburg, ICPEES/CNRS in Strasburg, dem IUW der Universität Koblenz-Landau und dem DLR-Rheinland-Pfalz in Mussbach bei Neustadt/Weinstraße – hatte sich die Entwicklung eines photokatalytischen Prozesses bis zur Produktreife vorgenommen. Mit dem Photokatreaktor sollte die Beseitigung von Pflanzenschutzmitteln (PSM oder engl. PPP) aus dem bei der Reinigung von Spritzgeräten anfallenden Abwasser und soweit umsetzbar aus Oberflächengewässern der Trimetropolregion Oberrhein (TMO) erfolgen. Exemplarisch wurde das System für den Weinbau als eine zentrale Landwirtschaftsform der TMO entwickelt und demonstriert. In diesem Kontext hat das INES nicht nur eine PV-basierte Energieversorgung für die photokatalytische Reinigungsanlage, sondern gleich den vollständigen Prototyp der mobilen Reinigungsanlage mit den Partnern konzipiert und als Demosystem aufgebaut. Die einzelnen Funktionsmodule im Projekt wurden als mobile Einheiten geplant und aufgebaut. Nach ersten Tests und Optimierungen am INES ging es schließlich zu den Projektpartnern in den intensiven Probebetrieb.

### Methodischer Ansatz zur Wasserreinigung

Mit typischen Austragungsintervallen von drei bis sechs Wochen für den Einsatz von PSM im Weinbau innerhalb einer Trauben-

saison ergeben sich Aufarbeitungszeiten von bis zu drei Wochen für die jeweils angefallene kontaminierte Wassermenge. Lediglich das Überwachungs- und Kommunikationssystem mit der Meß-, Steuer- und Regelungstechnik stellt sich als signifikanter Dauerverbraucher heraus und muss für die Bereitschaft der Funktionseinheiten fortlaufend versorgt und die Betriebsbereitschaft des Systems sichergestellt sein.

Für den automatisierten Prozessablauf wurden im Verlauf des Projekts das auf der EU PVSEC in Brüssel [3] vorgestellte Auslegungstool für PV-Batteriesysteme [5], der Designansatz und der Automationsentwurf [4] so erweitert, dass eine Energieversorgung für PHOTOPUR-Systeme simuliert werden konnte. Dabei wird insbesondere die Skalierung der zentralen Verbraucher des Reinigungsprozesses (Photoreaktor und Zirkulationspumpe) berücksichtigt, die zu wesentlichen Änderungen der Energieversorgung beiträgt. Für den Energiebedarf von Automationskomponenten, Überwachungstechnik und Datenkommunikation wird angenommen, dass diese den Bereitschaftsbedarf peripherer Funktionen ausmachen und als größenunabhängiger Energiebedarf nahezu gleichbleibend sind. Die Anlage wird so deutlich wirtschaftlicher, je größer der Energiebedarf des Photoreaktors im Verhältnis zum Energiebedarf der Peripherie wird. Auch richtet sich der gesamte Energieeinsatz an der Effizienz (gereinigte Wassermenge/ Zeiteinheit) des photokatalytischen Reaktors.

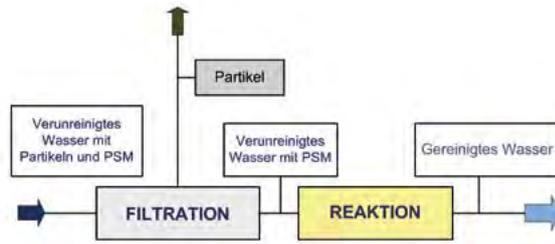


Abb. 1:  
Prozessablauf der Wasserreinigung

Das Konzept nach Abbildung 1 geht von einer durch Pestizide verunreinigten Wasserprobe in einem ca. 40 Liter großen Wassertank aus. Nach einem Draht-Gitter-Filter am Eingang werden grobe Partikel aus der Zisterne vom System ferngehalten. Anschließend erfolgt die Zirkulation im 1. Kreis mit einem Zyklon als Gravitationsfilter, d. h., schwerere Partikel werden durch die Rotation im Zyklon nach außen gedrängt und gleiten dann nach unten ab. Das Wasser wird über die Mitte wieder aus dem Zyklon ausgeleitet und zirkuliert so mehrmals über das Reservoir. Die Dauer der Zirkulation wird aus experimentellen Versuchen ermittelt und als Zeitkonstante über die SPS vorgegeben. Beim Auspumpen aus dem Reservoir wird das Wasser über einen weiteren Drahtgitter-Filter geleitet. Schließlich wird das Wasser aus dem Probenbehälter über eine zweistufige Kartuschenfilter-Anordnung in den Reaktionsbehälter gepumpt. Da beide Filter als Feinfilter gelten, wird der mehr oder weniger häufige Tausch von Kartuschen der Abbildung 2 rechts erwartet.

Abb. 2:  
(li) Filter Zyklon und  
(li oben) Filtergehäuse  
(re) 10"-Filterkartuschen  
(1-Kunststoff-Gitter,  
2-Filterpapier gewickelt,  
3-Keramik-Feinfilter,  
4-Aktiv-Kohle)  
Quelle: da Costa



Im folgenden Photoreaktorkreis (Zirkulationskreis 2) kommt nun der photokatalytische Reinigungsprozess zum Einsatz, der die Wasserprobe so lange unter UV-A-Strahlung über einen Photokatalysator (Titandioxid  $\text{TiO}_2$  - beschichtetes Schaummaterial) leitet, bis die im Wasser gelösten organischen Stoffe soweit mineralisiert sind, dass von der Wasserprobe keine toxischen Auswirkungen ausgehen. Die Reaktionszeiten liegen nach Laboranalysen des ICPEES [1,2] zwischen drei und zehn Stunden je nach Substanz bzw. Stoffgemisch, das neutralisiert werden soll.

## Photokatalytischer Reaktor

Der Photokatalytische Reaktor oder Photo-reaktor besteht aus einer Rohranordnung, bei der die Glasrohre mit Titandioxid beschichteten Schäumen gefüllt sind. Um die Rohre sind UV-A-Leuchtröhren angeordnet, die den photokatalytischen Vorgang entsprechend Abbildung 3 auslösen. Das Prinzip basiert auf der lichtangeregten Bildung von Hydroxyl-Radikalen, die aus der Verschiebung von Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband entstehen. Diese Radikale sind sehr reaktiv und brechen Bindungen in den organischen PPP-Molekülen auf. Das verwendete Trägermaterial verfügt über einen sehr geringen, kaum messbaren Strömungswiderstand und soll gleichzeitig eine tiefe Durchdringung des Rohrquerschnitts mit UV-A-Licht bewirken. Für den Test zum Energieprofil wurden Leistungsaufnahmen für die Zirkulationspumpe und die Stromaufnahme der UV-A-Leuchtstoffröhren erfasst. Während sich die Stromaufnahme der Pumpe als weitgehend unerheblich erwies, zeigt sich bei den fünf UV-A-Leuchten eine DC-Leistungsaufnahme von ca. 20 Watt je Leuchte. Diese führt zu einem Energiebedarf von ca. 100 Watt.

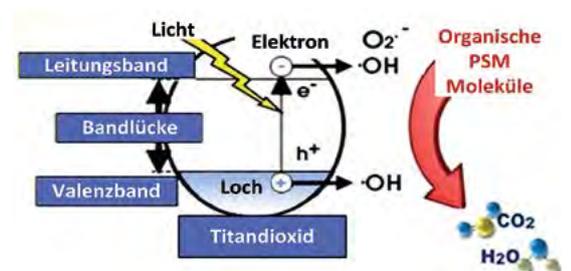


Abb. 3:  
Schema zur photokatalytischen Reaktion, die zu Radikalen führt  
Quelle: da Costa

## Systemdesign PHOTOPUR

In einer ersten Phase des Projekts wurde ein funktionsfähiges System modelliert, das als Vorstudie für das Demosystem des PHOTOPUR-Prototypen diene. Das Demosystem sollte auf Messen und Veranstaltungen das Konzept vorführen und sich zum Testen erster Photoreaktormodule eignen. Die Mobilität des Demosystems wird dadurch zum wichtigen Auslegungskriterium. Der Designansatz zielt deshalb auf ein kompaktes System in einem tragfähigen Rahmen, auf den die Photovoltaikmodule in das System montiert werden können. Dies macht das System transportfähig und somit vielseitig einsetzbar. Im Verlauf des Projekts wurden die Funktionsmodule Schritt für Schritt in die Gesamtanordnung auf einem Schwerlasttisch eingefügt.

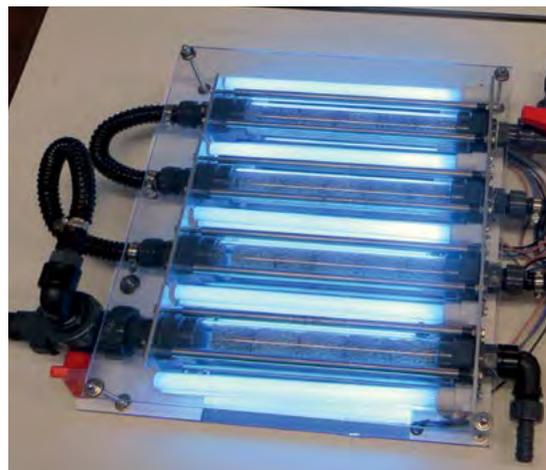
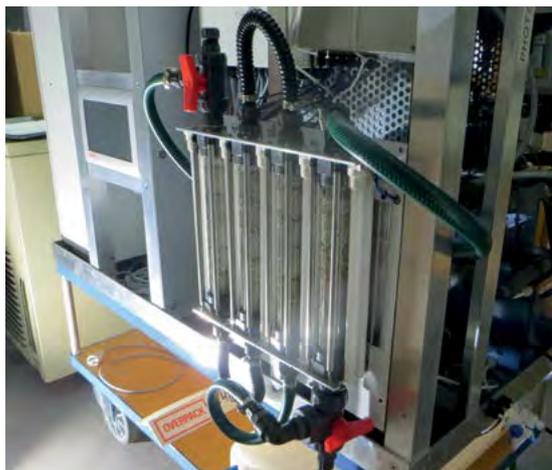


Abb. 4:  
Photokatalytischer Reaktor als Rohranordnung mit Metallschaum-Zylindern befüllt (ii) und mit UV-A-Leuchten um die Glasrohre (re)  
Quelle: da Costa

Zum Einsatz kommt das mobile System dann an Waschplätzen für landwirtschaftliche Fahrzeuge des Weinbaus. Dort werden zukünftig Fahrzeuge, die nach ihrem Sprüheinsatz verunreinigt durch Pflanzenschutzmittel zurückkommen, mit Hochdruckreinigern gewaschen. Für Festinstallationen können Waschplätze auch mit einem Solarcarport überdacht werden. Solarpanels liefern so den Strom für den Einsatz des PHOTOPUR-Prozesses.

## Konzept zur Energieversorgung

Der Photoreaktor, der im Rahmen des Projekts „PHOTOPUR“ entwickelt wurde, basiert auf der chemischen Zersetzung von Pestiziden durch Radikale, die mit UV-Licht und der Anwesenheit eines Katalysators (vorzugsweise Titan-dioxid) gebildet werden. Das gesamte Wasserreinigungssystem wird autark mit Strom aus Photovoltaikmodulen betrieben und die Energieversorgung mit Akkumulatoren gepuffert. Das Energiekonzept kann unter den genannten Prämissen als besonders umweltfreundlich bewertet werden, da mit der Sonnenenergie ausschließlich eine erneuerbare Energiequelle zur Reinigung des Wassers, d. h. für den Betrieb der technischen Anwendung genutzt wird. Am jeweiligen Betriebsort ist so kein Netzanschluss notwendig. Als Alternative ist der reine Netzbetrieb oder Stützbetrieb durch Netzanbindung vorgesehen. Eine manuelle Wahl der Betriebsart sorgt im Bedarfsfall (z. B. zum Schutz einer Bleisäure- oder Bleigel-Batterie vor Tiefentladung) für ein einfaches Energiemanagement, das jederzeit erweitert werden kann. Der Solarstrom bietet sich aufgrund der Nennleistungen und des typischen Nutzungszeitraums in den sonneneinstrahlungsreichen Sommermonaten von Mai bis September an. In diesen

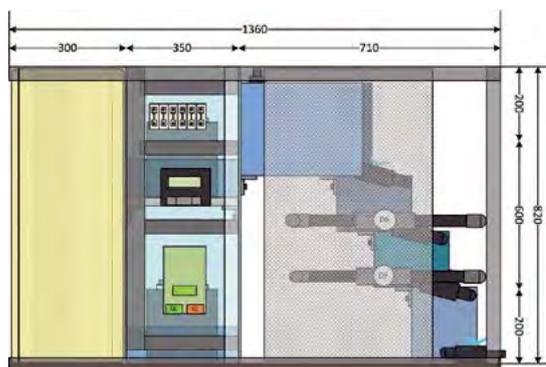


Abb. 5:  
Design-Studie (oben Quelle: [4]) und schematische Ansicht des PHOTOPUR-Systems mit Schaltschrank (li), Bedienpanel, Laderegler sowie Behälteranordnung (unten), Quelle: da Costa

Referenzen/References:  
 [1] García-Muñoz P., et al., Chemical Engineering Journal, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123315>  
 [2] Ignace Christian M'Braa, Patricia García-Muñoz, Patrick Drogui, Nicolas Keller, Albert Trokourey, Didier Robert, Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry, <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.09.007>  
 [3] da Costa Fernandes J., et al., PHOTOPUR – PV Powered water decontamination for wine growers, Session 6CV.2.28 at 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paper DOI:10.4229/35thEUPVSEC2018-6CV.2.28, ISBN: 3-936338-50-7, p.1957-1963, Brussels/BE, 2018  
 [4] Ziebold F.: Automatisierung und Regelung eines mehrstufigen Wasserreinigungssystems, Bachelor-Thesis at Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Univ. of Appl. Sciences Offenburg, HSO 2018  
 [5] Lapp S.: Entwicklung eines Auslegungstools für eine PV-basierte Energieversorgung mit Batteriespeicher für ein photokatalytisches Wasserreinigungssystem, Bachelor-Thesis at Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Univ. of Appl. Sciences OG, HSO 2018  
 [6] Da Costa Fernandes J., Schmidt M., Feldmann T., Bollin E., Use of load profiles to optimize microgrids of non-residential environments, Session 6BV.3.90 at 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paper DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-6BV.3.90, ISBN: 3-936338-47-7, p. 2739-2746, Amsterdam-NL, 2017  
 [7] Schmelas M., Feldmann T., da Costa Fernandes J., Bollin E.: Photovoltaics Energy Prediction Under Complex Conditions for a Predictive Energy Management System, Journal of Solar Energy Engineering, June 2015, Vol. 137 / 031015-3

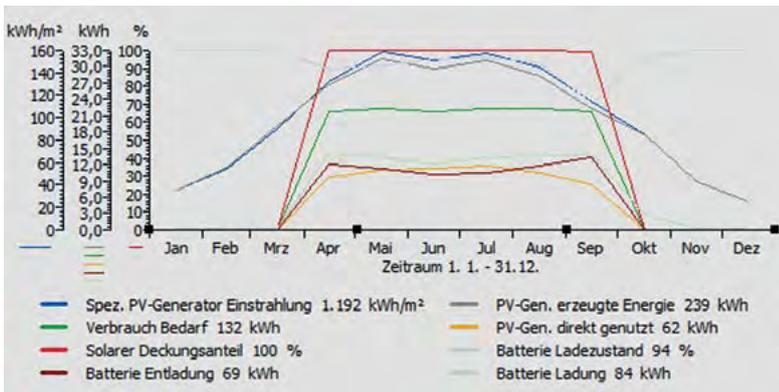


Abb. 6:  
Simulation einer für PHOTOPUR geeigneten Anlagenvariante für einen Jahresverlauf, Simulationssoftware: PV-SOL Expert©, Vers. 5.5(R6)  
Quelle: da Costa

Monaten ist in der TMO mit genügend Energieeinträgen zu rechnen, die das System tagsüber betreiben und gleichzeitig eine gute Batterieladung gestatten.

Erste Simulationen mit dem Programm „PV-Sol Expert“ haben ergeben, dass eine Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 1,2 kW und einer Bleibatterie 4,8 kWh Kapazität ausreichen würde, um eine zuverlässige Energieversorgung zu realisieren. Für diese Berechnungen wurde angenommen, dass das System 24 Stunden am Tag bei einer Leistungsaufnahme von ca. 100 W betrieben wird. Das gewählte Energieprofil beruht auf einer Auslegung, nach der die benötigte Leistung für den Reinigungsvorgang ca. 120 W beträgt und das laufende System über ca. 46 Tage eine mittlere Dauerleistung von 70 W aufnimmt. Weitere, eingehendere Berechnungen wurden mithilfe des am INES in MS Excel© entwickelten Auslegungstools gemacht. Das Tool berechnet auf Grundlage der Systemparameter für den PV-Generator und nach Eingabe von Akkumulator-Kennwerten den Lastgang für das Wasserreinigungssystem. Die verwendeten Algorithmen basieren auf Mo-

dellen für die Einstrahlungsberechnung, die in Vorarbeiten der FGNET am INES zum Einsatz gekommen sind [7].

### Energieprofil, Lastanalyse, Bilanzierung

Eine Basislast für das SPS-gestützte System von ca. 20 W und der Energiebedarf für den Reaktor mit der entsprechenden Umwälzpumpe mit einer Leistungsaufnahme von 120 W führen zu einer Spitzenleistung des Gesamtsystems bei ca. 140 W. Das Verhältnis der Zirkulationszeiten zwischen dem Vorprozess und dem Hauptprozess liegt bei deutlich über 10. Dies lässt eine nachrangige Einstufung der Pumpvorgänge für Transfers zwischen den Behältern und für den Vorprozess der Sedimentation zu. Für einen ca. 40 Liter großen Vorhaltenetank wird so eine Energiemenge von 4 kWh benötigt. Dies entspricht einem Energiebedarf von ca. 20 kWh für ein Referenzvolumen von 200 Litern mit PSM-verunreinigtem Wasser aus dem Weinbau (anfallende Wassermenge, die bei Hochdruckreinigung mit ca. 140 bar anfällt). Der aufgebaute Prototyp würde demnach ca. 28 Stunden benötigen, um 40 Liter Wasser aufzubereiten. Die Ursache der langen Prozesszeiten liegt in der Größe des Funktionsmusters (Mechanik, Gewicht und Tankgrößen), die insbesondere für den Einsatz auf Messen und Veranstaltungen gewählt wurde. Die verarbeiteten Volumina (Durchlaufzeiten) sind hier eher bescheiden, zeigen jedoch, dass die Prozesszeiten für die photokatalytische Aufbereitung zu lang sind. Eine Beschleunigung der Reaktionszeiten ist unbedingt anzustreben.

Abb. 7:  
Entwurf des Energieprofils für den automatisierten Reinigungsprozess bei noch unbekanntem Zirkulationszeiten für den Vor- und Hauptprozess, Quelle: [5]

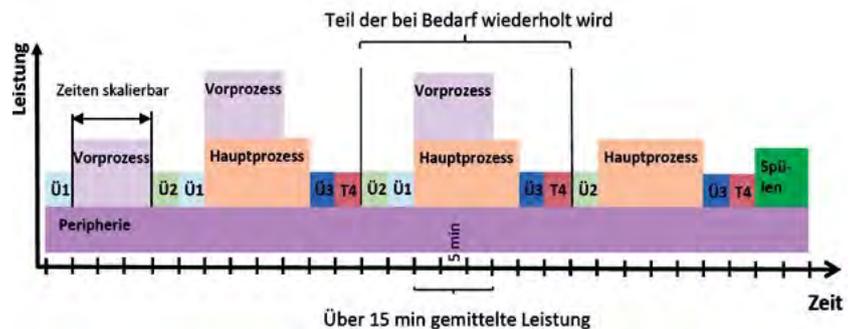
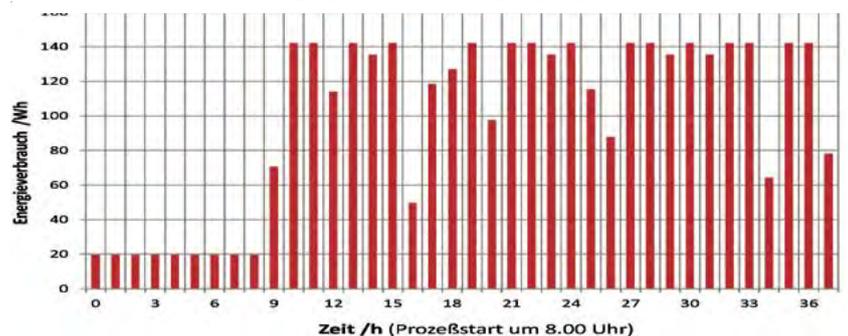


Abb. 8:  
Energieprofil des ersten Prototyps bei Annahme einer 150-min.-Reaktionszeit zum Abbau der PSM und einem Prozessstart um 8:00 Uhr  
Quelle: da Costa



## Erste Erfahrungen mit dem PHOTOPUR-Demosystem

Ähnlich wie beim Beispiel des Waschplatzes des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum (DLR) des Landes Rheinland-Pfalz am Standort Mußbach würde eine Überdachung durch einen Carport verhindern, dass Regenwasser Pestizidreste vom Waschplatz in die Umwelt spült und statt dessen dafür sorgt, dass das Regenwasser über Rinnen gesammelt und in einen Auffangbehälter geleitet wird. Aus dieser Zisterne wird das Probenwasser entnommen und mit dem PHOTOPUR-System etappenweise aufbereitet. Erste Analysen zu Prozesszeiten und zugehörigen Energiebedarfen enthält der Outputbericht „Vergleich verschiedener Photovoltaik-Batterie-Kombinationen“. Der mechanische Aufbau als mobile, kompakte Lösung hat viele Vorteile bezüglich der Transportierbarkeit des Wasserreinigungssystems und der Nutzung des ersten Prototyps für Ausstellungszwecke. Ausgestellt wurde das PHOTOPUR-System am Rheinland-Pfalz-Tag 2019 in Annweiler am Trifels, beim Tag der offenen Tür an der Weinbauschule in Mußbach. Zudem wurde das System auch an der ersten Umweltnacht an der HSO vorgeführt. Derzeit befindet sich der Prototyp zu ökotoxikologischen Performanceanalysen beim Institut für Umweltwissenschaften (IUW) der Universität Koblenz-Landau. Hier sind zur Effizienz des Prozesses zusätzliche umfangreiche Wasseranalysen erforderlich.

## Fazit zur Projektumsetzung an der Hochschule Offenburg

Das INTERREG-Projekt „PHOTOPUR“ konnte am INES als technische Anwendung sehr erfolgreich umgesetzt werden. Entgegen der Planung zum Projektstart wurden Entwicklungsleistungen erbracht, die deutlich über die Bereitstellung einer PV-basierten Stromversorgung hinausgehen. Die Prototypen zu den Funktionsmodulen des PHOTOPUR-Systems konnten alle mit dem Ziel eines funktionsfähigen Gesamtsystems am INES bereitgestellt werden. Dies führte zum ersten PHOTOPUR-Prototyp der Abbildung 9, der einer breiten Öffentlichkeit präsentiert wurde und seitdem den Partnereinrichtungen für analytische chemisch-biologische Tests zur Verfügung steht.



Abb. 9:  
Erster Aufbau (oben)  
und Update des  
PHOTOPUR-Demo-  
systems mit verrin-  
gerter Transporthöhe  
(unten)

*Das Vorhaben „PHOTOPUR“ wurde aus Mitteln des EFRE-Programms und von den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg sowie der Region Grand Est gefördert.*

### AUTOREN



Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin  
Emeritus der Fakultät M+v, IAF/ INES, NET  
Solartechnik und angew. Regelungstechnik  
bollin@hs-offenburg.de.



Jesus Salazar Da Costa Fernandes M.Sc.  
Projektmanager, HSO/INES, NET  
PV-Systeme und -Applikationen,  
dezentrale Energieversorgungen und  
nachhaltige Gebäude  
costa@hs-offenburg.de.

# Elektrische Energiespeicherung mit Batterien und Brennstoffzellen

Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler

Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung am Institut für Energiesystemtechnik (INES) der Hochschule Offenburg widmet sich der Batterie- und Brennstoffzellentechnik. Schwerpunkt ist die Modellierung und Simulation auf unterschiedlichen Skalen – von der Elektrochemie zum Energiesystem. In dem neuen Batterielabor Enerlab 4.0 finden Experimente statt. Ziel ist die verständnisgetriebene Entwicklung und Optimierung von Brennstoffzellen und Batterien.

*The research group Electrical Energy Storage at the Institute of Energy Systems Technology (INES) at Offenburg University of Applied Sciences focuses on battery and fuel cell technology. Electrochemical energy storage and conversion play a key role in an energy economy with large amounts of solar and wind power; they are also key components of electromobility. We develop and apply multi-scale and multi-physics mathematical models. We furthermore carry out experimental cell characterization. Goal of the activities is to understand and improve fuel cells and batteries.*

## Die Forschungsgruppe

Abb. 1:  
Forschungsgruppe  
Elektrische Energie-  
speicherung unter der  
Leitung von Prof. Dr.  
Wolfgang Bessler

Die Speicherung von Energie mit elektrochemischen Wandlern ist ein integraler Bestandteil einer Energieversorgung mit einem hohen Anteil an Sonnen- und Windstrom sowie Kernkomponente der Elektromobilität. Zur elektrochemischen Energietechnik gehören Batterien, Brennstoffzellen und Elektroly-

seure. Sie erlauben die gegenseitige Umwandlung von elektrischer und chemischer Energie. Der hohe Wirkungsgrad der Umwandlung und die hohe Energiedichte chemischer Energieträger haben diese Technologien zu einem festen Bestandteil unseres täglichen Lebens werden lassen.



Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung ist am Institut für Energiesystemtechnik (INES) der Hochschule angesiedelt. Wir widmen uns der Batterie- und Brennstoffzellentechnik. Schwerpunkt ist die Entwicklung detaillierter Modelle und Simulationsprogramme, um virtuelle Experimente an Batterien und Brennstoffzellen durchführen zu können. Die Verwendung von Computersimulationen erlaubt uns dabei eine verständnisgetriebene Entwicklung unter Einsparung von Kosten und Zeit. Parallel betreiben wir das Enerlab 4.0 – das „Diagnostische Batterie- und Photovoltaiklabor für Energiefragestellungen der Industrie 4.0.“ Hier stehen experimentelle Batterieteststände zur Zellcharakterisierung und Unterstützung der Modellierung zur Verfügung. Ziel ist die Verbesserung von Leistung, Lebensdauer, Energiedichte und Sicherheit elektrochemischer Wandler. Die Aktivitäten werden im Rahmen von öffentlich geförderten Projekten, Industriekooperationen sowie Doktorarbeiten und studentischen Arbeiten durchgeführt. Die Forschungsgruppe besteht aus etwa zehn akademischen und studentischen Mitarbeitenden (Abbildung 1).

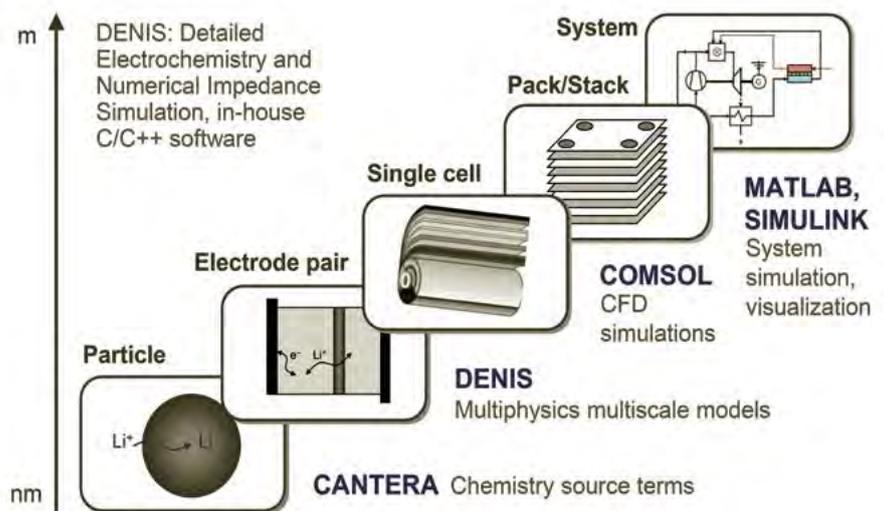
Wir widmen uns folgenden Forschungs- und Entwicklungsthemen:

- Lithium-Ionen-Batterien für stationäre und mobile Anwendungen mit Schwerpunkt auf Alterungsmechanismen, Lebensdauervorhersage und Wärmemanagement
- Zustandsdiagnostik (Lade- und Gesundheitszustand) von Batterien
- Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle und Wasserstofftechnologien
- neue Diagnosemethoden, wie die elektrochemische Druckimpedanzspektroskopie
- Energiesystemtechnik, insbesondere Photovoltaik-Batteriesysteme und Elektrofahrzeuge mit Schwerpunkt auf wechselseitiger Beeinflussung von System und Batteriezellen

## Methoden und Ausstattung

Methodische Klammer der vielseitigen Projekte ist die Multi-Skalen- und Multi-Physik-Modellierung (Abb. 2). Die Modelle reichen von der Elektrode bis zum System und von der Elementarkinetik zum Wärmetransport. Zur Methodik zählt auch die Entwicklung von numerischer Simulationssoftware, insbesondere unserem hauseigenen Code DENIS (“Detailed Electrochemistry and Numerical Impedance

Simulation”) [1]. Wir verwenden außerdem die Simulationscodes MATLAB/SIMULINK für Systemsimulationen, COMSOL für die numerische Strömungsmechanik und CANTERA für die Auswertung elektrochemischer Reaktionsmechanismen.



„Im „Diagnostischen Batterie- und Photovoltaiklabor für Energiefragestellungen der Industrie 4.0.“ kurz Enerlab 4.0, werden in-situ und post-mortem Batterieuntersuchungen für dezentrale Energiespeicher und -erzeuger durchgeführt. Das Labor wurde 2019 in Betrieb genommen (Abb. 3). Es können Leistungs-, Zyklen- und Alterungstests unter definierten thermischen Randbedingungen ebenso durchgeführt werden wie Charakterisierungen von Zellkapazität, Innenwiderstand und Impedanz, die Öffnung von Lithium-Ionen-Zellen und die Post-Mortem-Diagnostik von Elektroden und anderen Zellbestandteilen.

Die Ausstattung umfasst:

- Batteriezyklierer für verschiedene Zelltypen für Maximalströme (0,5 A - 600 A)
- Elektrochemische Impedanzspektrometer (EIS)
- Fünf Temperaturprüfschränke verschiedener Größen mit Sicherheitsausstattung für Lithium-Ionen- und Bleibatterien
- Glovebox zum Arbeiten unter Schutzgasatmosphäre
- Ausstattung zum Öffnen kommerzieller Lithium-Ionen-Zellen und Ernten von Zellkomponenten
- Probenpräparation für Rasterelektronenmikroskopie, Lichtmikroskopie und chemische Analytik

Abb. 2: Multi-Skalen- und Multi-Physik-Modellierung von Batterien und Brennstoffzellen



Abb. 3:  
Das 2019 in Betrieb genommene Batterielabor Enerlab 4.0;  
Bild: Mehmet Yagci, HSO

## Exemplarische Projekte

Im Folgenden werden drei exemplarische Projekte aus der Forschungsgruppe vorgestellt. Das Graduiertenkolleg SiMET („Simulation mechanischer, elektrischer und thermischer Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien“) wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Eine Doktorandin und ein Doktorand fertigen im Rahmen dieses Projekts in Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ihre Promotionen an. Ziel der Arbeiten ist es, ein vertieftes Verständnis der elektrochemischen Vorgänge in den Batterieelektroden zu gewinnen. Unter anderem untersuchen wir die Batteriealterung bei Schnellladung. Eine schnelle Aufladung der Batterie ist insbesondere für Elektroautos wichtig, um auch längere Fahrtstrecken mit nur kurzen Ladeпаusen zu ermöglichen. Jedoch leidet die Lebensdauer der Batterie unter vielen Schnellladevorgängen. Um dies besser zu verstehen, haben wir das sogenannte Lithium-Plating als schädliche Nebenreaktion in ein mathematisches Modell einer Lithium-Ionen-Zelle eingebaut. Damit lässt sich die Alterung der Batterie vorhersagen. Ein Ergebnis unserer Berechnungen ist in Abb. 4 dargestellt. Je schneller geladen werden soll und je niedriger die Batterietemperatur ist, desto schneller altert die Batterie.

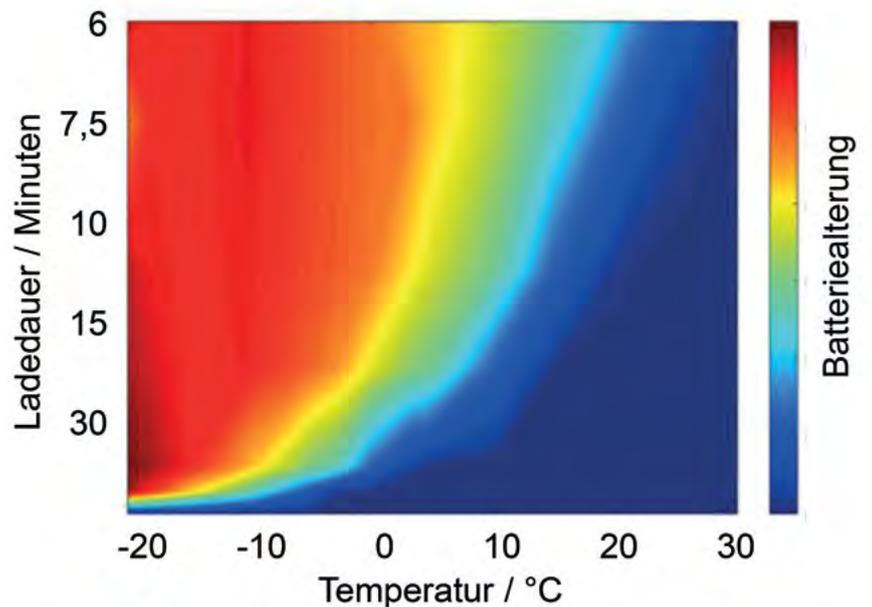


Abb. 4:  
Berechnung der Batteriealterung bei Schnellladung für verschiedene Außentemperaturen. Der rote Bereich bedeutet schnelle Alterung.

Im Projekt LIBlife („Modellbasierte Gesundheitsdiagnostik von Lithium-Ionen-Batterien“) fördert das Land Baden-Württemberg die Entwicklung von Ladezustands- und Alterungszustandsanzeigen von Heimspeicherbatterien. Heimspeicher werden immer mehr für die Speicherung von selbst erzeugtem Solarstrom eingesetzt. Die Lebensdauer ist allerdings noch unklar: Sie sollte mindestens 20 Jahre betragen, aber die Produkte sind erst zu kurz auf dem Markt, um dies beurteilen zu können. Bisher haben diese Batterien nur eine Anzeige für den Ladezustand. Mit unseren neu entwickelten Algorithmen kann auch der Alterungszustand bestimmt werden. Dies ist anspruchsvoll, da die Bestimmung im laufenden Betrieb erfolgen soll. Außerdem soll mit dem gewonnenen Wissen die Restlebensdauer der Batterie vorhergesagt werden. Dies hilft den beteiligten Unternehmen, ihre Speicher zu verbessern und prädiktiv warten zu können. In Abb. 5 ist gezeigt, wie im Rahmen des Projekts eine Lithium-Ionen-Batteriezelle geöffnet wird, um deren innere Bestandteile zu untersuchen.

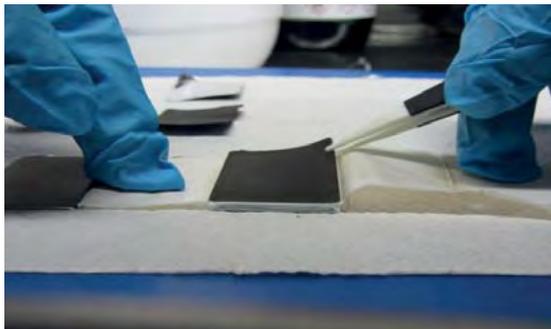


Abb. 5:  
Die Bestandteile einer Lithium-Ionen-Batterie werden entnommen, um sie im Mikroskop untersuchen zu können  
Bild: Mehmet Yagci, HSO

Im Projekt EPISTEL („Elektrochemische Druckimpedanzspektroskopie für die Charakterisierung von Transportvorgängen in elektrochemischen Zellen“) wird eine neue Diagnosemethode für Brennstoffzellen entwickelt. Brennstoffzellen gelten aufgrund ihrer hohen Energiedichte als künftige Alternative zu Batterien für den Langstrecken- oder Schwerlastverkehr. Das Betriebsverhalten ist allerdings durch komplexe Transportvorgänge geprägt, weil Gase (Wasserstoff und Luft) von außen zugeführt und Wasser (dampfförmig und flüssig) abgeführt werden müssen. In unserem Projekt entwickeln wir eine Methode, um diese Transportvorgänge zu analysieren. Hierfür wird ein dynamisch variierender Gasdruck als Messgröße herangezogen (Abb. 6). Das Projekt wird in

Zusammenarbeit mit einem französischen Projektpartner, der Universität de Lorraine, durchgeführt, der für die experimentellen Untersuchungen verantwortlich ist.

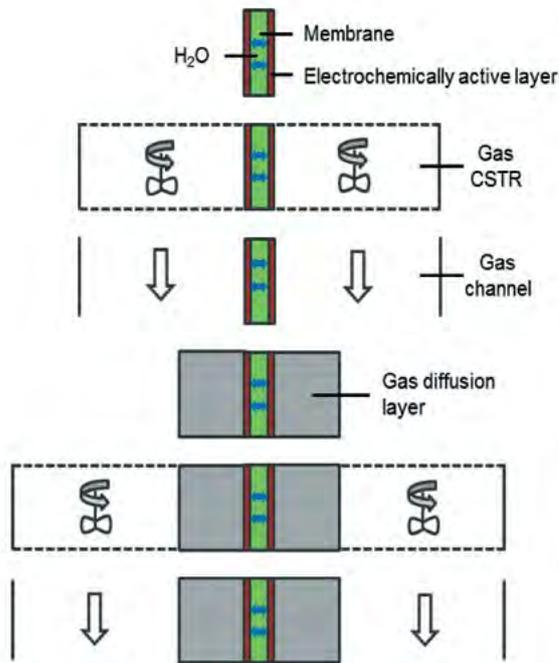


Abb. 6:  
Verschiedene Transportsituationen in einer Brennstoffzelle. Anhand der zunehmenden Komplexität wird die neuartige EPIS-Diagnostik entwickelt.

## Zusammenfassung

Die Batterie- und Brennstoffzellentechnik spielt eine zunehmende Rolle in der stationären und mobilen Energieversorgung. Die Forschungsprojekte am Institut für Energiesystemtechnik (INES) der Hochschule Offenburg behandeln aktuelle Fragestellungen wie die Batterielebensdauer oder die Brennstoffzellendiagnostik. Gemeinsam mit unseren Partnern aus Forschung und Industrie arbeiten wir an dem Ziel langlebiger, kostengünstiger und leistungsfähiger elektrischer Energiespeicher und -wandler.

### AUTOR



Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler  
Fakultät M+V, Institut INES,  
Professur für Prozesssimulations- und  
Optimierungsverfahren, Forschungsgruppe  
Elektrische Energiespeicherung  
wolfgang.bessler@hs-offenburg.de

# IfTI – INSTITUTE FOR TRADE AND INNOVATION

Das Institute for Trade and Innovation (IfTI) blickt auf ein sehr erfolgreiches Jahr 2019 zurück. Die Themenfelder Innovationsförderung, Handelspolitik, Exportfinanzierung und Wirtschaftsförderung standen wieder im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten. Sieben Professorinnen und Professoren sind aktuell an den interdisziplinären Aktivitäten des Instituts beteiligt, hinzu kommen vier internationale Research Fellows. In den Bereichen internationale Wirtschaft und Innovationsförderung forschen zudem vier Promovierende, die dem IfTI zugeordnet sind.

Die wichtigste Veröffentlichung war das „Handbook of Global Trade Policy“, das von Professor Andreas Klasen herausgegeben wurde. Mehr als 20 renommierte Autoren aus Wissenschaft und Praxis erörtern darin aktuelle Herausforderungen und Lösungen in den Themenfeldern Außenhandel im 21. Jahrhundert, internationale Institutionen und Regulierung, Welthandel und regionale Entwicklung sowie Handels- und Exportfinanzierung. Die Beiträge stammen unter anderen von Professor Gabriel Felbermayr (Präsident IfW Kiel), ADB-Chefvolkswirt Yasuyuki Sawada, Professor Judith Goldstein (Stanford University), Marc Auboin von der Welthandelsorganisation WTO sowie IfTI-Fellow Dr. Simone Krummacker (Cass Business School, City, University of London).

Ebenso führten die Institutsmitglieder zahlreiche Drittmittelprojekte durch, insbesondere mit internationalen Entwicklungsbanken und Strategieberatungen. Erfolgreich abgeschlossen wurde unter anderem ein Forschungsgutachten zur Konvergenz von Entwicklungs- und Exportfinanzierung. Ihre Resultate stellten IfTI-Forschende beispielsweise bei einer internationalen Konferenz der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) in Paris vor. Wichtige Forschungsergebnisse des Instituts wurden auch beim Swiss Smart Government Day an der Universität St. Gallen präsentiert.

Zudem hielt das Advisory Board des Instituts im vergangenen Jahr seine turnusmäßige Sitzung ab. Positive Rückmeldungen zur Arbeit der IfTI-Forscher kamen dabei von prominenten Mitgliedern wie Afreximbank-Präsident Professor Benedict Oramah, Jan Vassard (Deputy CEO von EKF Denmark's Export Credit Agency) sowie dem Leiter von Voith Finance, Michael Hannig.

Institutsleitung  
Prof. Andreas Klasen LL.M. MLitt DBA



Prof. Andreas Klasen  
mit HSG-Prorektor  
Prof. Kuno Schedler  
(v.l.n.r.)

# Convergence of Development and Export Finance

Prof. Andreas Klasen LL.M. MLitt DBA

Die internationale öffentliche Finanzarchitektur ist enormem Veränderungsdruck ausgesetzt. Bedarf, Angebot und Regulierung von Exportfinanzierung wandeln sich dramatisch, Entwicklungsfinanzierung wird modernisiert und Mobilisierung von Privatkapital wird immer relevanter. Wie vollzieht sich der Wandel? Kooperieren Institutionen oder gibt es mehr Wettbewerb? Die Studie *Convergence of Development and Export Finance* hilft, Märkte und Arbeitsteilung besser zu verstehen.

*With changing needs for export finance, modernisation of development finance and the quest for mobilising private capital, the international official finance architecture is undergoing enormous pressure for change. How is this change taking place? Are we moving towards more collaboration between institutions or are we seeing an increase in competition? How does this affect private markets? Are we using our resources efficiently? To even begin answering these questions, the first step is to understand markets and division of labour between official financial institutions. This is what the study *Convergence of Development and Export Finance* attempts to shed light on.*

Many governments in both developed and developing economies have set up government financing vehicles in order to address market failure because imperfect information or information asymmetries can result in unmet demand for credit [1]. These instruments intend to improve access to finance, foster innovation, promote exports or stimulate economic development [2]. Financing vehicles can include, for example, national development banks, innovation funds, development finance institutions (DFIs) or export credit agencies (ECAs). On a multilateral level, multilateral development banks (MDBs) provide financial support to developing countries through grants, equity, loans, guarantees as well as technical assistance.

Because policy objectives are related to investment in sustainable private sector projects and mobilisation of private sector capital in developing countries, DFIs generally operate according to three core principles: Additionality, catalysing investments from other investors, and promotion of sustainable economic development [3]. Additionality is also central to the mandate of MDBs, providing products that are additional to services from the private market. Principles of ECAs can include a 'lender or insurer of last resort' approach, catalytic effects in export development, as well as sound risk underwriting and organisational financial

viability [4]. However, some agencies or public export financing banks also provide solutions through or close to 'market window' financing of focus more on profitability [5].

## Research Framework

The study consists of a quantitative and qualitative analysis regarding collaboration and competition of development finance and export finance instruments. The aim is to map DFIs, MDBs as well as ECAs. The research also assesses regulatory frameworks and matches the different organisations in an intra- and inter-comparison approach. It looks at motivations and drivers for the involvement of DFIs, MDBs and ECAs in specific transactions, and thus analyses the financing landscape within a transactional context. In addition to a theoretical overview regarding policy interventions, five OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) and non-OECD bilateral DFIs are assessed in addition to five MDBs and five OECD ECAs to allow a broad representation of the DFI, MDB and ECA market. The approach follows a cross-sectional study design based on qualitative and quantitative methods in order to investigate general and specific characteristics. Over a four-month period, primary research was conducted. Qualitative data from DFIs, MDBs and ECAs as well as exporters, emerging markets borrowers and



Fig. 1:  
Developed for this  
Study

commercial banks was gathered via more than 30 open-ended, semi-structured formal and informal individual and telephone interviews. Secondary quantitative and qualitative data from annual reports and websites as well as other reports from publicly available sources was extensively examined providing another important basis for the Study. Challenges included limited data availability.

## Comparative Analysis

The study compares mandates, strategies, products and clients, markets, as well as governance of the selected DFIs, MDBs and ECAs (Figure 1). This abstract focuses on DFIs, as DFIs and ECAs are the most similar institutions with national ownership by the same government, the same national political background and business structure shaping the mandate and operation of the institutions. However, the full study also covers all relevant aspects of MDBs and ECAs.

Looking at the mandates of bilateral DFIs, they largely revolve around poverty reduction, green and inclusive growth and development. Typically, their focus is restricted to building the private sector's capacity in developing and emerging countries. Some bilateral DFIs have a mandate to promote the national economy as part of their engagement in developing

countries. Looking at the institutional structure, most bilateral DFIs are set-up as independent government-owned financial institutions applying private-sector management principles. While there is no clear or shared definition or concept of national interest among bilateral DFIs, it is often displayed by support to and promotion of national businesses or investors to expand their activities into emerging and developing markets. Most bilateral DFIs are to act in a complementary fashion to the private financial market and should direct their capital on transactions where they can provide additionality. However, no agreed definition of additionality among bilateral DFIs yet exists.

There are several commonalities in strategic priorities of the assessed bilateral DFIs, gearing towards achieving and enhancing impact, ensuring financial sustainability and sound operations of the institution itself as well as a promoting a form of national interest. The European bilateral DFIs tend to have international representations, and many bilateral DFIs emphasise cooperation at an international level as a means to scale up investments and maximise impact. With regard to products, development finance institutions provide a broad range of financial and non-financial services and serve various categories of clients. Loans still occupy a major portion of bilateral DFIs' portfolio, and portfolios cover all major regions. Due to the substantial development challenges faced by many countries on the African continent, bilateral DFIs place a strong focus on promoting private sector development in African countries. They are mainly active in economic sectors such as infrastructure, manufacturing, services and agribusiness. In light of global climate change commitments, investments in renewable energies and energy efficiency have become a strategic focus.

## Intra-Comparative Analysis

Following the intra-comparison and taking into consideration the different characteristics within the respective peer groups, the inter-comparative analysis examines similarities and differences between bilateral DFIs, MDBs and ECAs in detail. Although mandates are different, there is a growing convergence among all three types of institutions. In the majority of cases, bilateral DFIs and MDBs are structured as independent financial institutions owned by one or many governments applying corporate management principles and seeking to main-

tain financial sustainability. The institutional structures of ECAs tend to be more diverse. Looking at national interest, ECAs have started to reduce their national content requirements and are increasingly able to support projects that are no longer directly linked to national procurement or exporters, but instead are linked to a broader understanding of national interest. Meanwhile, bilateral DFIs that do not already have the dual mandate to support their national economy are increasingly driven by their respective governments to demonstrate their positive impact on the national economy. Due to the nature of their set-up, MDBs on the other hand do not pursue national interests.

Bilateral DFIs, MDBs and most ECAs are required by their mandates to be complementary to the private sector. This requirement is also often found in their founding charters, articles of agreement, key operating principles and strategies. Looking at strategies, ECAs are mostly focussed on advancing the national economy and specifically the respective country's trade and export performance. Similarly, all bilateral DFIs assessed in this study have an element of national interest in their respective strategies. MDBs are gearing their strategies towards improving development impact in their member countries. Part of a strategic approach is to set-up international offices and hubs to move closer to target groups and gain a better understanding of local environments with the purpose of shaping and enhancing products and services. Cooperation becomes also more important, although mostly occurs within the respective peer group, with some more cooperation between bilateral DFIs and MDBs taking place in the form of co-financing as well as policy development and knowledge exchange. In few cases, bilateral DFIs and MDBs report to seek ECA insurance for eligible transactions to free up their balance sheets. All three types of institutions have a similar core product offering consisting of loans, equity, guarantees and non-financial services. Bilateral DFIs, MDBs and ECAs have in common that they are all engaging in international finance. With regard to geographies, their risk exposures are typically spread across various countries and/or continents. Overall, the sectors in which ECAs, bilateral DFIs and MDBs are active are similar. However, as their mandates and strategic objectives vary, the reasons behind their promotion of, or support to, certain sectors is varied.

## Case Studies

The study also provides three case studies with further qualitative analysis in order to answer the research questions in a cohesive approach. It explores three types of transactions where an MDB and/or DFI successfully financed and/or guaranteed a project in which the export aspect was crucial and an ECA would be an appropriate alternative, and a joint project giving evidence for a collaboration between MDB and/or DFI and ECA instruments. In the first case study, an MDB/DFI project was assessed: The Azura Edo Independent Power Plant 459 MW project was constructed under a turnkey engineering, procurement and construction contract by a consortium of Siemens in Germany and Julius Berger Nigeria. ECA offerings competed with MDB and DFI offerings to a certain extent, as the MDB took over traditional ECA functions by providing risk mitigation instruments such as debt guarantees and political risk insurance (Figure 2).

## Conclusions

The research confirms that there is increasing convergence in the business and activities of the different institutions. Common rules for financing trade are essential for fair competition, but the study observes that national ECAs and DFIs do not apply WTO and OECD rules for export related support to the same extent. Moreover, MDBs do not have to follow the same rules as national institutions (by nature as they are multilateral institutions). This contributes to an unlevel playing field in financing, and projects, buyers and exporters seeking finance will find different offerings depending on which official institutions they contact. The study also confirms a trend where the part of business that ECAs are doing outside the regulatory framework of the OECD Arrangement is increasing, indicating that the OECD regulatory framework is under pressure as a provider of a level playing field for official trade and project finance.

In addition, some DFIs are increasingly driven by the intention to target national companies and demonstrate a positive impact on the domestic economy. In tandem, many ECAs are loosening their national content requirements and increasing their focus on positive Environmental, Social and Governance impact, which means that strategies of DFIs and ECAs are

### Referenzen/References:

- [1] Stiglitz, J.E. & Weiss, A. (1981) Credit Rationing in Markets with Imperfect Information. *The American Economic Review*. 71(3), 393-410
- [2] Klasen, A. & Eicher, B. (2017) Instrumente staatlicher Innovationsfinanzierung für Infrastruktur. *Recht der Internationalen Wirtschaft*. 11, 726-734
- [3] Bird, G. & Rowlands, D. (2004) The Catalytic Effect of Lending by the International Financial Institutions. In: Bird, G. (ed.) *Int. Finance and the Developing Economies*. Basingstoke, Palgrave Macmillan, pp. 204-226
- [4] Bischoff, B. & Klasen, A. (2012) Hermesgedeckte Exportfinanzierung. *Recht der Int. Wirtschaft*. 11, 769-777
- [5] Oramah, B.O. (2020) Export Credit Arrangements in Capital-Scarce Developing Economies. In: Klasen, A. (ed.) *The Handbook of Global Trade Policy*. Oxford, Wiley, pp. 494-535

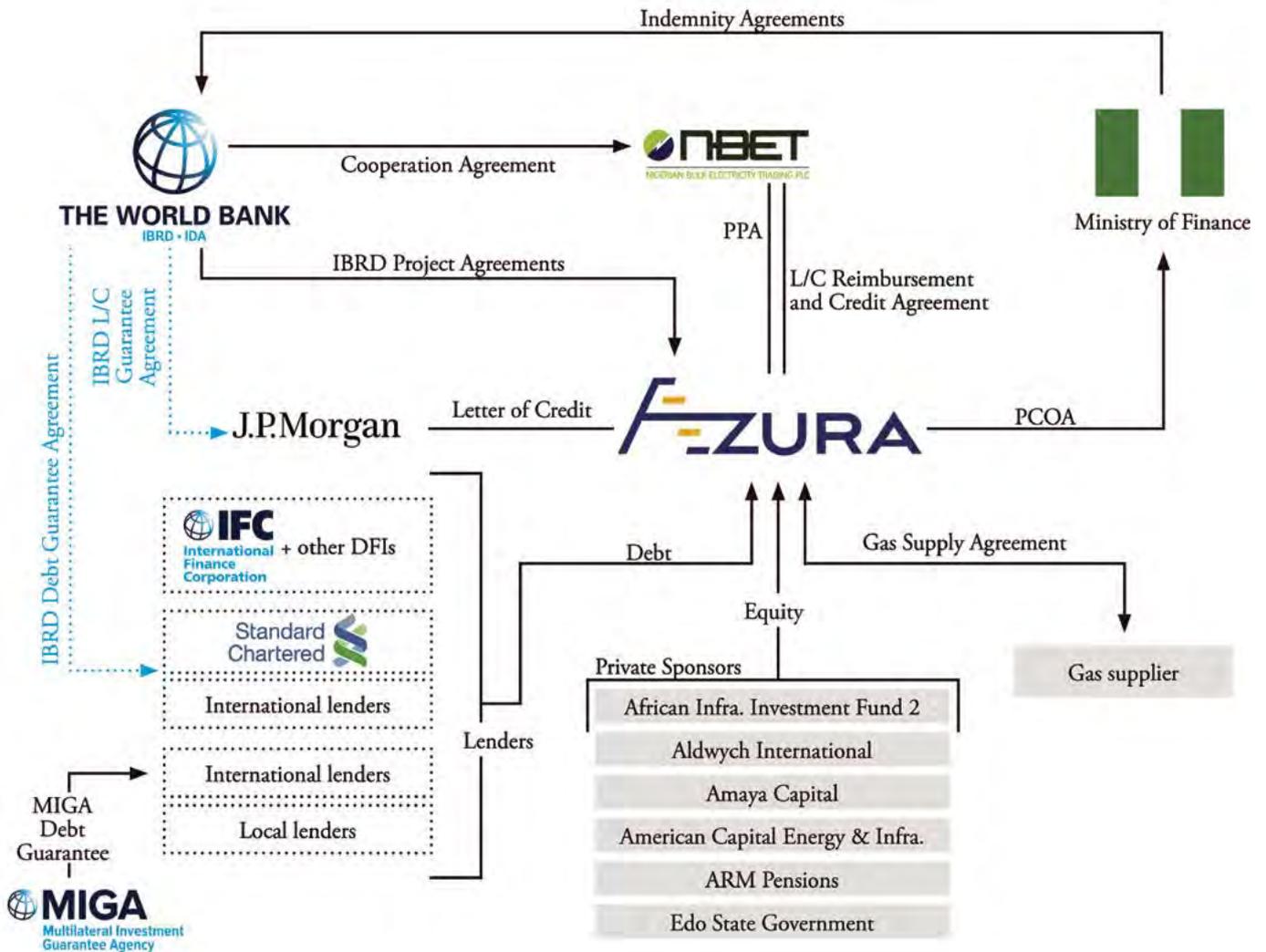


Fig. 2:  
World Bank (2018)  
Financial Solutions Brief  
Nigeria Azura-Edo IPP.  
Washington, DC, World  
Bank, p.4

converging and products are overlapping. DFIs and ECAs have both expanded their product offerings including equity, mezzanine financing and direct lending as well as insurance and guarantees. China (and some other Asian countries) use DFIs and ECAs actively in their national strategies in which they play systematic and complementary roles in order to strengthen the overall offering. Such collaboration or blending of types of support between DFIs and ECAs as well as MDBs is growing, for instance in the form of co-finance and/or in order to insure large energy projects in difficult markets.

Overall, the concept of the level playing field is in question. The key challenge is the significant rise of non-OECD development and export finance institutions in terms of number of deals, financing volumes and market power. Converging strategies and products across different types of institutions, increasing competition from non-OECD countries, and the strategic approach to the integration of DFI, MDB and ECA products in Asia are challenging the traditional OECD regulatory framework and may result in global trade distortion.

**AUTOR**



Prof. Andreas Klasen LL.M. MLitt. DBA  
Professor für Int. Betriebswirtschaft  
Wissenschaftlicher Leiter Institut IfTI  
andreas.klasen@hs-offenburg.de

# Exportkreditversicherungsgeschäft

## Maschinelles Lernen zur Vorhersage von Schadensfällen

Prof. Dr. rer. pol. Mathias Bärtl, Dr. Simone Krummaker

Die zuverlässige Vorhersage von Schadensfällen ist ein wesentlicher Baustein jedes funktionierenden Versicherungswesens. Ansätze des Maschinellen Lernens (ML) werden hierbei als Möglichkeit zur Verbesserung von Schadensprognosen angesehen, kommen bislang aber nur sporadisch zum Einsatz. Dieser Artikel beschreibt eine Studie des IfTI, in der vier Verfahren des ML auf ihre Eignung zur Vorhersage von Schäden im Exportkreditversicherungsgeschäft vergleichend untersucht wurden. Als Datengrundlage diente die Datenbank der Berner Union, die weltweit umfassendste Sammlung strukturierter Exportkreditversicherungsdaten, die bislang lediglich zwei wissenschaftlichen Untersuchungen zugänglich gemacht wurde.

*Reliable prediction of claims is essential to a functioning insurance industry. Machine Learning (ML) is seen to potentially yield benefits in claim prediction which are not fully exploited yet. This article summarizes a study undertaken by the IfTI to evaluate the adequacy of four ML techniques to predict claims in export credit insurance. The analysis draws upon the Berne Union database, which is the worldwide most comprehensive collection of structured export credit insurance data, and has been made available to only two scientific studies so far.*

### Exportkreditversicherung

Etwa 30% der Wertschöpfung entstehen weltweit durch Exporte; in Deutschland sind es etwas mehr als 47% [1]. Den hiermit verbundenen wirtschaftlichen Chancen stehen allerdings auch Risiken gegenüber, denn geopolitische und globalwirtschaftliche Unsicherheiten erhöhen die Gefahr von Zahlungsausfällen ausländischer Käufer. Sogenannte Exportkreditversicherungen bieten Exporteuren eine Möglichkeit zum Schutz gegen dieses unter Umständen existenzbedrohende Risiko. Nicht selten verlangen Kreditinstitute den Abschluss einer Exportkreditversicherung, wenn aufgrund langer Herstellungs- und Lieferzeiten bei teuren Gütern, wie etwa Schiffen oder Flugzeugen, eine Vorfinanzierung notwendig wird [2]. Gerade dann schrecken private Versicherer aber häufig vor einer Deckungszusage zurück, wenn sie die Risiken als zu hoch oder unkalulierbar einschätzen. Um in solchen Fällen aussichtsreiche Exportgeschäfte dennoch zustande kommen zu lassen und Arbeitsplätze zu sichern, springen unter speziellen Umständen staatliche Institutionen ein. Hierzu unterhalten quasi alle wirtschaftlich entwickelten Länder eine Export Credit Agency (ECA), die durch Ausstellung von Exportkreditgarantien Handel ermöglichen, der am privaten Markt nicht versicherbar ist [3].

### Vorhersage von Schadensfällen

Schadensfälle haben erheblichen Einfluss auf das Geschäft jedes Versicherers, denn sie schmälern sein Kapital und seinen Spielraum zum Abschluss neuer Verträge. Prinzipiell erfordern sie die Erhöhung von Prämien [4], was jedoch Versicherungsprodukte weniger attraktiv macht. Obwohl sie von der öffentlichen Hand getragen werden, sind auch ECAs durch internationale Verträge zur kostendeckenden Preisgestaltung und Kompensation von Schäden verpflichtet [3]. Die Vorhersage von Schadensfällen ist daher sowohl im privaten wie auch öffentlichen Bereich essentieller Bestandteil einer nachhaltigen Versicherungswirtschaft. Hierbei kommt eine Vielzahl deterministischer oder stochastischer Ansätze zur Anwendung, wie das Chain-Ladder- oder Bornhuetter-Ferguson-Verfahren [5]. Die wissenschaftliche Literatur geht jedoch davon aus, dass Vorhersagen durch den Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens (ML) weiter verbessert werden können [6].

## Die Berner Union

Die Berner Union ist die internationale Vereinigung der Exportkredit- und Investitionsversicherer. Sie wurde mit dem Ziel der Vermeidung von Wettbewerbsverzerrungen gegründet und zählt heute 85 ECAs aus 73 Ländern als Mitglieder. Die 33 bedeutendsten ECAs tauschen über die Berner Union seit vielen Jahren in sechsmonatigem Rhythmus Daten ihrer Geschäftstätigkeit aus. Hierdurch haben sie den weltweit umfangreichsten Datensatz zur Exportkreditversicherung und -finanzierung geschaffen [7]. Im Jahr 2019 führte die Berner Union gemeinsam mit dem IFTI eine Studie durch, in der die Anwendbarkeit von ML zur Vorhersage von Schadensfällen mithilfe dieser Datenbasis untersucht wurde.

## ML in aller Kürze

Algorithmen des überwachten ML durchsuchen Datensätze mit dem Ziel, Muster zu entdecken und eine Zielgröße, wie z.B. die Höhe eines zukünftigen Schadenfalls, vorherzusagen [8]. Mittlerweile hat sich eine Vielzahl verschiedener Verfahren zur Suche solcher Muster etabliert; es existiert jedoch kein anerkannter Weg zur Auswahl eines idealen Ansatzes für ein spezifisches Problem [9]. Die ML-Studie stellte daher vier typische Verfahren vergleichend gegenüber (Decision Trees (DT), Random Forests (RF), Neural Networks (NN) und Probabilistic Neural Networks (PNN)), um deren Eignung bei der Vorhersage von Schadensfällen zu bewerten.

## Methode

In populärwissenschaftlichen Abhandlungen wird ML oft als eine Art Superintelligenz dargestellt, die, einmal auf einen beliebigen Datensatz losgelassen, ohne menschliches Zutun Umengen fantastischer Erkenntnisse erzielt. Die Realität sieht hingegen etwas nüchterner aus.

Zunächst ist eine sorgfältige Datenvorbereitung eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung aussagekräftiger ML-Modelle. Zum Beispiel erscheint es sinnvoll, zur Abschätzung des Risikos eines neuen Versicherungsvertrages zu berücksichtigen, in welchem Umfang der Versicherungsnehmer bereits Kredite vergeben hat. Diese Information mag durchaus über eine Auswertung der Datenbasis verfügbar sein, aber kein Algorithmus entwickelt derartige Überlegungen von allein: Damit ein ML-Algorithmus eine bestimmte Information berücksichtigen kann, muss diese in der richtigen

Form am richtigen Ort bereitgestellt werden. Zur Durchführung der ML-Studie wurden daher zunächst 25 potenziell risikorelevante Attribute zur Größe, generellen Entwicklung, Diversifikation und Schadensfallhistorie von ECAs und Zielländern identifiziert und berechnet.

Weiter erfordert jedes ML-Projekt die Aufteilung des gesamten Datensatzes, sodass voneinander unabhängige Daten für das Training, die Validierung und zum Testen der Modelle zur Verfügung stehen: Ein bekanntes Problem von ML-Algorithmen ist, dass sie Datensätze „zu gut“ abbilden können, indem sie für nahezu jede Konstellation von Inputwerten den zugehörigen Outputwert erlernen. In aller Regel werden hierbei generell gültige Muster, die man eigentlich aufdecken möchte, verdrängt. Man könnte dies mit „Auswendiglernen“ statt „Zusammenhänge verstehen“ vergleichen. Wird dann das Modell mit neuen Daten konfrontiert, liefert es meist schlechte Ergebnisse. Durch Modellbildung auf Basis eines Trainingsdatensatzes und Prüfung des Modells anhand eines unabhängigen Validierungsdatensatzes lässt sich dieses Problem vermeiden [9]. Ferner sind verschiedene Parameter extern vorgeben, zum Beispiel die Zahl der Neuronen, aus denen ein NN aufgebaut werden soll, oder der Umfang der Datensätze, die für Training und Validierung zur Verfügung gestellt werden. Auch diese Parameter lassen sich weder aus der Problemstellung noch dem Algorithmus ableiten und müssen experimentell ermittelt werden. In der ML-Studie wurden daher die Daten der Jahre 2007 bis 2017 genutzt, um Modelle unter verschiedensten Bedingungen zu entwickeln. Aus den hierbei generierten 47.520 Modellen wurden die bei der Validierung erfolgreichsten ausgewählt, um im letztlichen Test Schadensfälle für Verträge aus dem Jahr 2018 (Abbildung 1) in unterschiedlichen Präzisionsgraden vorherzusagen:

- „Claims YES/NO“: Der Algorithmus soll als einfache „JA/NEIN“ Aussage vorhersagen, ob ein Schadensfall entstehen wird.
- „Claim ratio class“: Der Algorithmus soll die Größenordnung von möglichen Schadensfällen voraussagen, indem er eine von fünf vordefinierten Größenklassen auswählt.
- „Claim ratio“: Der Algorithmus soll eine Voraussage der Schadensfallhöhe als Prozentsatz des gesamten Versicherungsvolumens abgeben.

### Referenzen/References:

- [1] World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files [Zugriff am 08.01.2020]
- [2] Krummacker S. Export Credit Insurance Markets and Demand in Klasen, A. (ed.). The Handbook of Global Trade Policy, Wiley & Sons, pp. 536-554, Chichester (2020)
- [3] Baltensperger E., Herger N. Exporting against Risk? Theory and Evidence from Public Export Insurance Schemes in OECD Countries. *Open Econ Rev* 20: 545-563 (2009), <https://doi.org/10.1007/s11079-007-9076-y>
- [4] van der Veer K. Loss Shocks and the Quantity and Price of Private Export Credit Insurance: Evidence from a Global Insurance Group. *Journal of Risk and Insurance*, 86 (1): 73-102 (2019), <https://doi.org/10.1111/jori.12197>
- [5] Baudry M. Robert C. A machine learning approach for individual claims reserving in insurance. *Appl Stochastic Models Bus Ind.* 35: 1127-1155 (2019), <https://doi.org/10.1002/asmb.2455>
- [6] Thesmar D. et al. Combining the Power of Artificial Intelligence with the Richness of Healthcare Claims Data: Opportunities and Challenges. *Pharmacoeconomics*, Vol. 37 (6): 745-752 (2019)
- [7] Auboin M. Engemann M. Testing the trade credit and trade link: evidence from data on export credit insurance. *Rev World Econ* 150 (4): 715-743 (2014), DOI: 10.1007/s10290-014-0195-4
- [8] Varian H. Big Data: New Tricks for Econometrics. *Journal of Economic Perspectives* 28 (2): 3-28 (2014), DOI: 10.1257/jep.28.2.3
- [9] Kuhn M. Johnson K. Applied predictive modeling. Corrected at 5th printing. Springer. New York, Heidelberg, Dordrecht, London (2013), <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4614-6849-3.pdf>

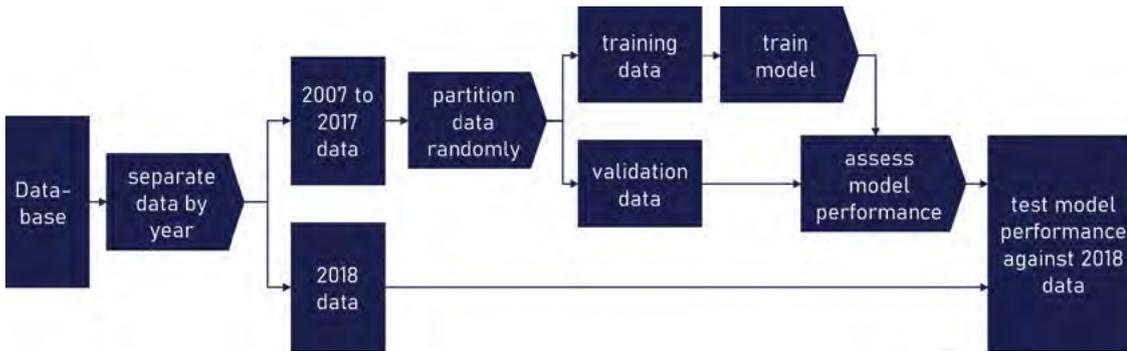


Abb. 1: Datenseparation zur Entwicklung, Validierung und Testung der ML-Modelle

Zur Bewertung der Modellgüte wurden die Treffergenauigkeit (Accuracy), also der Anteil korrekter Vorhersagen, sowie Cohen's  $\kappa$  herangezogen (Cohen's  $\kappa$  korrigiert Accuracy um den Anteil zufällig korrekter Vorhersagen; Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Accuracy und Cohen's  $\kappa$  aus der Testphase der in der Studie entwickelten Modelle). Da weder Accuracy noch Cohen's  $\kappa$  gut geeignet sind, die Güte der „Claim ratio“-Vorhersagen zu bewerten, wurde hierfür das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  berechnet. Die Gütemaße gestatten einen Vergleich der ML-Verfahren untereinander, treffen jedoch keine Aussage darüber, inwiefern der mit ML verbundene Aufwand gerechtfertigt ist. Um hier einen Maßstab zu liefern, wurde zusätzlich als Benchmark (BM) eine einfache Heuristik verwendet, die Schadensfälle für ein bestimmtes Jahr als gleitendes arithmetisches Mittel einer gewissen Anzahl vorhergegangener Jahre schätzt.

## Ergebnisse

Alle ML-Verfahren lieferten gute Ergebnisse bei der Vorhersage des Auftretens von Schadensfällen (JA/NEIN) und akzeptable Ergebnisse bei der Vorhersage der Größenklasse; die Ergebnisse zur Schadensfallhöhe fielen hingegen unbefriedigend aus (Abbildung 3 stellt die Verteilung von Cohen's  $\kappa$  bzw.  $R^2$  aller Modelle der verschiedenen Verfahren aus der Testphase gegenüber; NN wurden nicht zur Vorhersage der Claim ratio class und PNN nicht zur Vorhersage der Claim ratio untersucht). Das RF-Verfahren war insgesamt am erfolgreichsten und erzielte die höchste Validierungs-Test-Konsistenz (Modelle mit guten Ergebnissen bei der Validierung wiesen auch gute Resultate im Test auf). Allerdings schnitt die einfache Vorhersageheuristik oftmals sogar besser ab (Abbildung 4 veranschaulicht, welche Güte die in der Validierung besten Modelle in der Testphase erreichten und stellt den jeweils besten Wert der BM Heuristik gegenüber). Bedeutet dies, dass die ML-Modelle nutzlos sind? Nicht zwangsläufig,

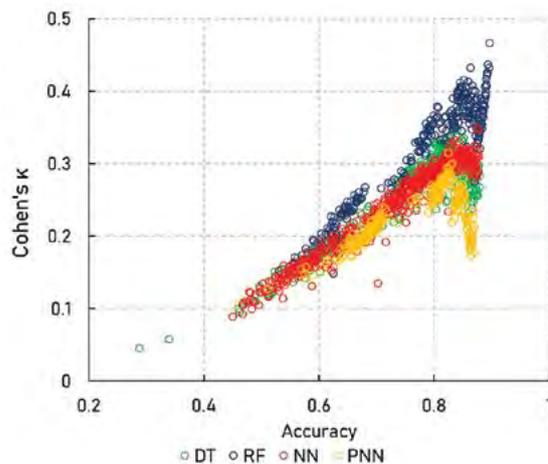


Abb. 2: Modellgüte und Zusammenhang von Accuracy und Cohen's  $\kappa$  als Gütemaße (47.520 Modelle)

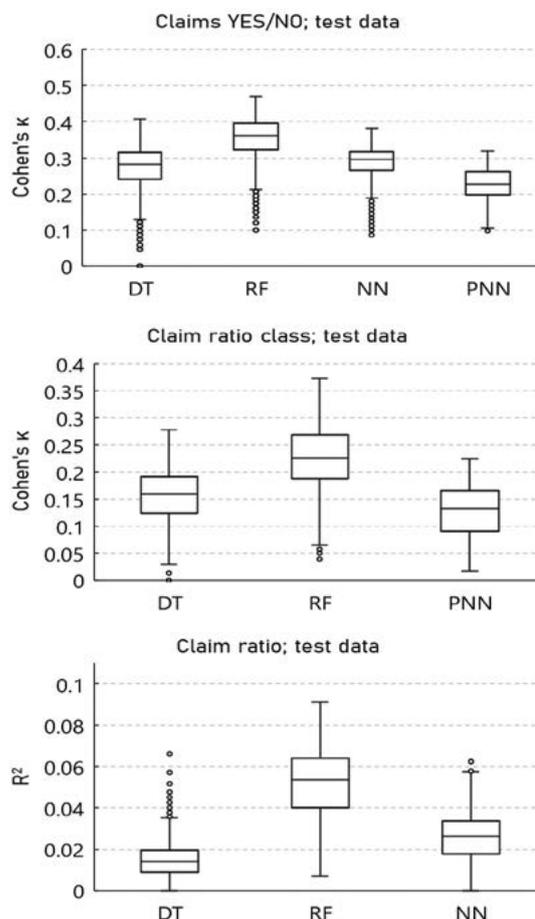


Abb. 3: Verteilung der Gütemaße in Unterscheidung der ML-Verfahren

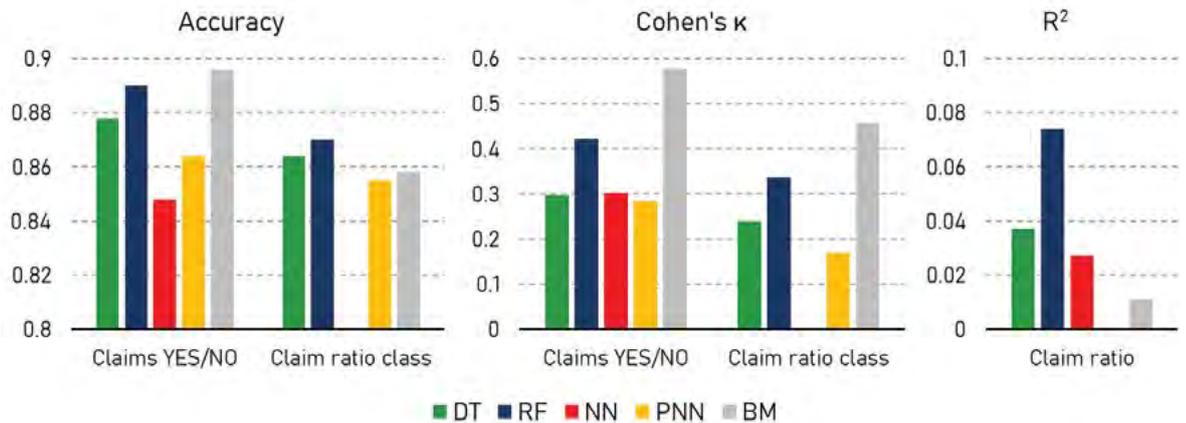


Abb. 4:  
Vergleich der besten Modelle untereinander und mit der BM Heuristik

denn tatsächlich ist ein Vergleich der ML-Modelle mit der Heuristik nicht vollkommen fair: Alle ML-Modelle wurden generisch aufgebaut, sodass sie Vorhersagen für beliebige Kombinationen aus ECA und Zielland treffen können. Die BM-Heuristik hingegen funktioniert nur, wenn bereits eine Geschäftshistorie zwischen ECA und Zielland vorliegt. Positiv betrachtet könnte man also sagen: Die ML-Modelle können die Zahlungszuverlässigkeit einer Geschäftsbeziehung oft so gut bewerten, als ob sie bereits existieren würde, selbst wenn diese erst in Zukunft zustande kommen soll.

## Folgerungen und Ausblick

Die meisten ECAs können auf eine umfassende Historie mit vielen Zielländern zurückblicken und sind daher in der Lage, mit einfachen Heuristiken ebenso gute Vorhersagen zu treffen wie die in der Studie untersuchten ML Modelle. Falls es jedoch keine historischen Beziehungen geben sollte, könnte sich ML als nützlicher Ersatz erweisen. Hierbei sollte insbesondere das RF-Verfahren in Betracht gezogen werden. Weitere Forschungsarbeiten könnten ferner die Anforderung eines generischen Modells aufgeben und versicherungsspezifische Zeitreihen durch ML auswerten. Hierdurch wäre es möglich, sinnvolle Vergleiche mit klassischen Verfahren wie Chain-Ladder oder Bornhuetter-Ferguson anzustellen.

Alle ML-Modelle und auch die BM-Heuristik lieferten unbefriedigende Ergebnisse bei der Vorhersage von individuellen Schadensfallhöhen (ausgedrückt als Prozentsatz des gesamten Versicherungsvolumens). Wenngleich es nicht überrascht, die schlechtesten Resultate bei der anspruchsvollsten Aufgabe zu finden, so ist doch der Leistungsabstand zu den anderen beiden Aufgaben bemerkenswert. Eine Detailuntersuchung der Daten lieferte Hinweise darauf, dass Einzelfälle von seltenen Schäden mit hohem Volumen die Entwicklung zuverlässiger Modelle verhindert haben. Weil es jedoch gerade diese Fälle sein dürften, die für ECAs von besonderer Bedeutung sind, könnte sich eine Nachfolgestudie mit der Untersuchung der Bedingungen beschäftigen, der Einzelereignisse mit großer Schadenssumme vorausgehen.

### AUTOREN



Prof. Dr. rer. pol. Mathias Bärtl  
Fakultät B+W, Professur für Wirtschaftsmathematik und Statistik  
IfTI  
mathias.baertl@hs-offenburg.de



Dr. Simone Krummaker  
Faculty of Actuarial Science and Insurance,  
Cass Business School, University of London,  
IfTI  
simone.krummaker@city.ac.uk

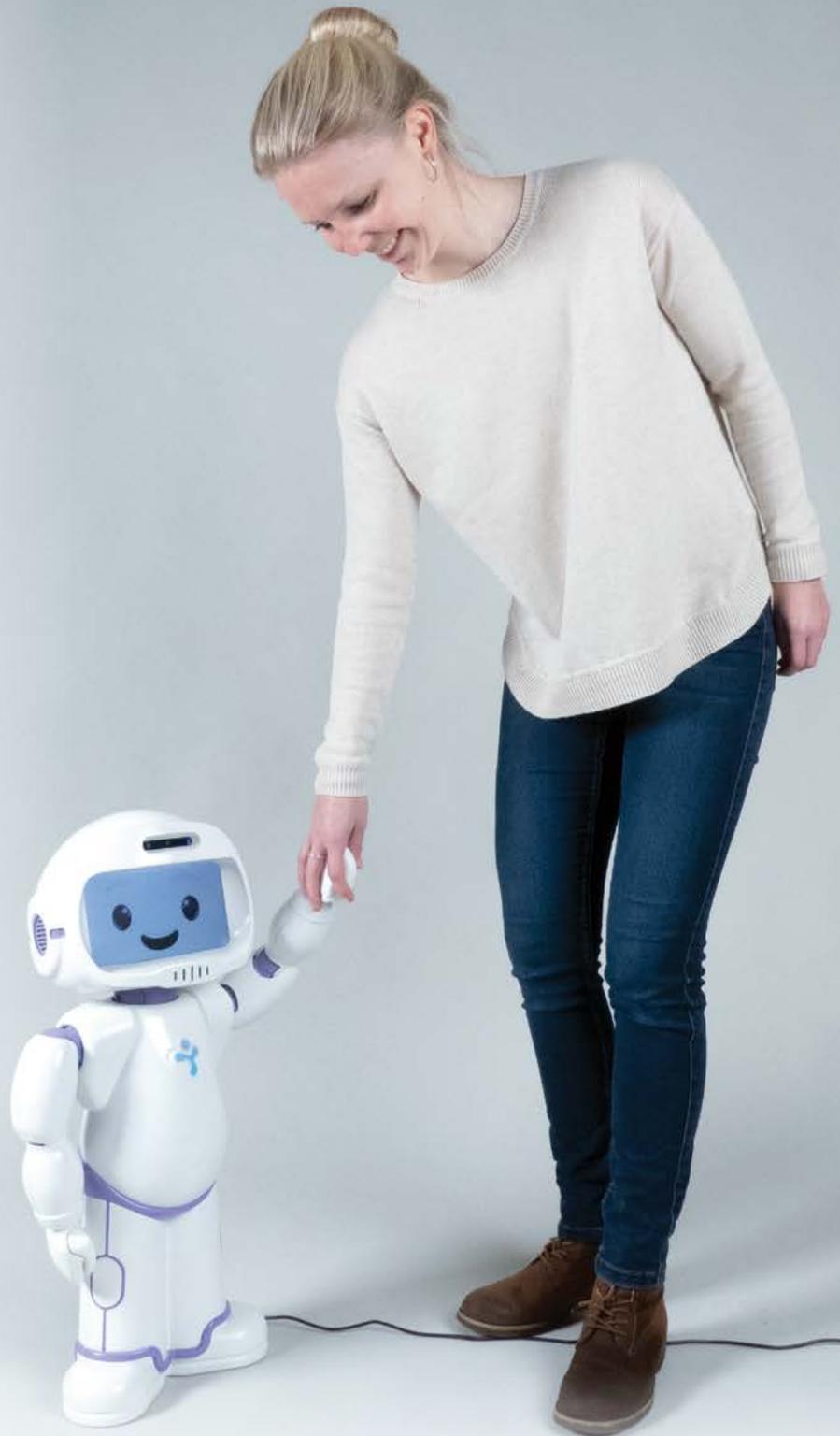
Das ACI entwickelt und erforscht Lösungen für intelligente und kontextbewusste Systeme für den Einsatz in den Bereichen Arbeit, Bildung oder Pflege. Die entwickelten Assistenzsysteme werden dabei von den entsprechenden Forschungsschwerpunkten geprägt.

Gamification (der Einsatz von spielerischen Methoden) hilft dabei, Nutzer bei ihrer Aufgabe zu motivieren. Durch Emotionserkennung, zum Beispiel über Mimikanalyse, können die Systeme zudem auf Gefühle der User angemessen reagieren. Mithilfe von interaktiven Projektionen (Augmented Reality) und virtueller Realität wird die Bedienung intuitiver gestaltet.

Zudem verfolgt das ACI in seiner Arbeit die Entwicklungen sozialer Roboter. In Befragungen und Interviews erforscht das Team, wie soziale Roboter von der Gesellschaft wahrgenommen und akzeptiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen dabei, soziale Roboter zu designen und zu entwickeln, die in Aussehen und Funktionsumfang reale Bedarfe adressieren.

Das ACI steht dabei für eine nutzerzentrierte Konzeption und Entwicklung. Iterativ passt das Team seine Arbeit an die Bedürfnisse der Anwender und Stakeholder an. Diese Methodik ist sowohl für Assistenztechnologien als auch für soziale Roboter besonders wichtig, da beide im Alltag zum Einsatz kommen und diesen erleichtern sollen. Deswegen führt das ACI regelmäßig qualitative und quantitative Studien durch. Dazu zählen nicht nur Interviews und Fokusgruppendifkussionen, sondern auch die Erhebung von physiologischen Daten mit Hilfe von Emotionserkennung und Eyetracking.

Institutsleitung  
Prof. Dr. phil. Oliver Korn



## ***Affective and Cognitive Institute – ACI***

# SUITCEYES – horizon 2020-Projekt –

## Menschen mit Taubblindheit navigieren autonomer durch haptisches Feedback

*Prof. Dr. phil. Oliver Korn, Annika Sabrina Schulz B.Sc.*

Das ACI ist eine fakultätsübergreifende Einrichtung der Hochschule Offenburg, geleitet von Prof. Dr. Oliver Korn. Das Team entwickelt und erforscht Lösungen für kontextbewusste interaktive Systeme in den Bereichen Gesundheit, Bildung und Arbeit. Nachfolgend steht das Projekt SUITCEYES im Fokus, das mit einem interaktiven kontextbewussten Kleidungsstück die Lebensqualität von Menschen mit Taubblindheit verbessern soll.

*The ACI is an inter-faculty institution of the Offenburg University headed by Prof. Dr. Oliver Korn. The team develops and tests solutions for context-aware interactive systems in the fields of health, education and work. In the following, the European project SUITCEYES is in the focus: with an interactive, context-aware wearable it aims to improve the quality of life of people with deafblindness.*

In dem EU-Projekt SUITCEYES geht es um Menschen mit „Taubblindheit“. Eine solche „multiple sensorische Einschränkung“ hat zur Folge, dass Betroffene stark von der Außenwelt isoliert sind. Im Extremfall können taubblinde Menschen nur noch über Berührungen – also haptisch – kommunizieren. Das Ziel des SUITCEYES-Projekts besteht darin, die Lebensqualität der Betroffenen zu steigern, insbesondere im Bereich der sozialen Integration.

In einer Studie des ACI wurde das Konzept eines Spiels evaluiert, das die Navigation mit taktilen Reizen ermöglichen soll. Simuliert wird das Suchen nach dem Osterei – im Wesentlichen also das Navigieren von Punkt A (Start) nach B (Versteck). Der Streckenfortschritt und Navigationshin-

weise werden dabei in Form von taktilen Feedback kommuniziert. Eine Frage war, wie häufig Probanden Feedback zum Streckenverlauf erhalten sollen.

Zu diesem Zweck wurde der Prototyp einer Weste mit mehreren Aktuatoren und einem Microcontroller entwickelt. Dieser vermittelt taktilen Feedback direkt an den Körper. Die einfache Sicherheitsweste eignet sich gut als Basis, da sie sehr einfach an unterschiedliche Körper der Probanden angepasst werden kann. Um die Aktuatoren anzubringen, wurden Stofftaschen in die Warnweste eingenäht. Getragen wird die Weste so, dass die Aktuatoren unterhalb der Gurte möglichst nah am Körper liegen, sodass die Vibrationen bestmöglich wahrnehmbar sind.



Abb. 1:  
Prototyp der inter-  
aktiven Weste mit  
Aktuatoren, basierend  
auf einer einfachen  
Warnweste

An der Studie nahmen 25 Personen ohne Behinderungen mit einem durchschnittlichen Alter von 22,7 Jahren teil. Um Taubblindheit zu simulieren, trugen die Teilnehmenden eine Augenbinde sowie Noise-Cancelling-Ohrenschützer. Da es sich bei dem Assistenzsystem noch um einen Prototyp handelte und die visuellen Komponenten beim griechischen Partner CERTH noch in Entwicklung sind, wurde ein sogenannter Wizard-of-Oz-Ansatz gewählt. Hierbei wird das taktile Feedback manuell von einem Beobachter gesteuert (Abb. 2).

Vor Beginn der Studie wurden den Studienteilnehmenden das Wearable sowie das Ziel der Studie erklärt. Anschließend wurde das „taktile Vokabular“ getestet: Hierfür wurden zufällig verschiedene Richtungen durch die Aktuatoren symbolisiert und die Nutzer sollten mit der Hand die entsprechende Richtung angeben. Bei dem tatsächlichen Studiendurchlauf wurde schließlich die Effektivität der Navigation getestet. Hierfür wurden auf einer Fläche von 60 Quadratmetern zwei Parcours mit Kombinationen aus geraden Strecken und Wendepunkten erstellt. Beide Routen beinhalteten vier Wendepunkte und fünf Meilensteine, an denen jeweils nach 20% der Route eine Rückmeldung über den Streckenfortschritt erzeugt wurde.

Eine konstante Vibration eines Aktuators indiziert eine Richtungsangabe, Meilensteine wurden dadurch symbolisiert, dass alle Aktuatoren gleichzeitig vibrierten. Alle Teilnehmenden absolvierten beide Parcours, wobei jeweils die erste Route ohne das Feedback über den Streckenfortschritt navigiert wurde und die zweite Route mit den Meilensteinen. Nach Abschluss eines Parcours wurde ein Fragebogen ausgefüllt, in dem Aussagen auf einer Skala von 1 (stimme überhaupt nicht zu) bis 5 (stimme voll zu) bewertet wurden:

1. Ich habe mich selbstbewusst gefühlt, während ich die Route absolviert habe. (Selbstvertrauen)
2. Ich hatte das Gefühl, ich habe die Kontrolle, während ich die Route absolviert habe. (Kontrolle)
3. Ich war in der Lage zu verstehen, ob ich mich erfolgreich dem Ende der Route nähere. (Transparenz)
4. Ich hatte Spaß beim Absolvieren der Route. (Spaß)
5. Ich würde lieber eine andere Person als Führung bei mir haben, als das System zu nutzen. (Persönliche Führung)
6. Ich hatte das Gefühl, das System ermöglicht es mir, mich selbst selbstständiger zu führen. (Zukunftspotenzial)

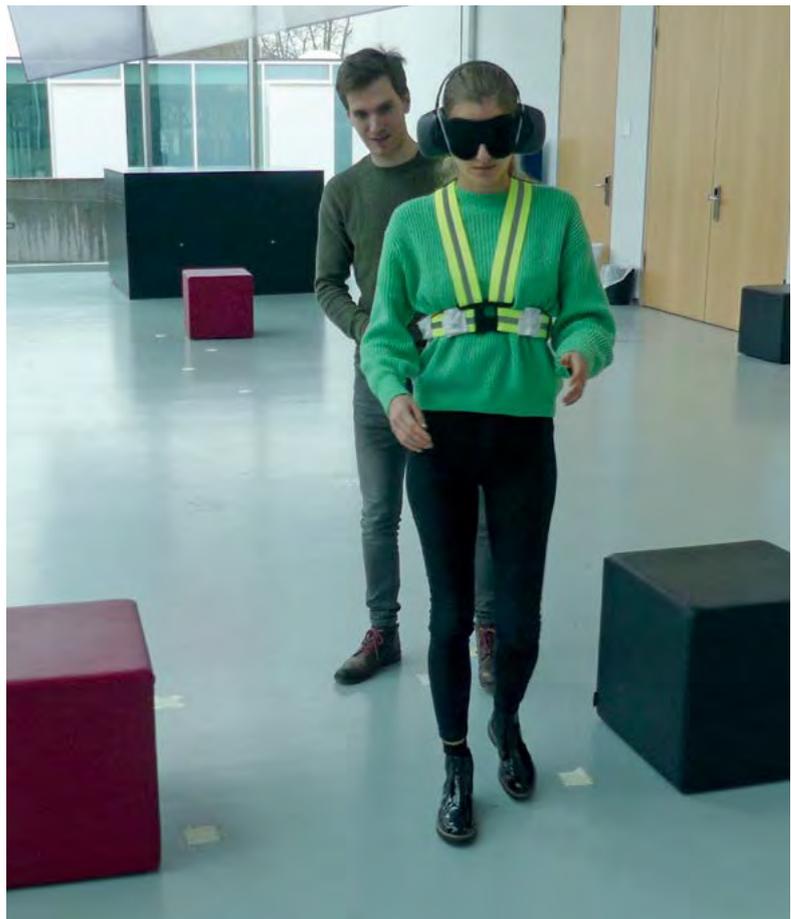


Abb. 2: Studie mit „taubblinder“ Teilnehmerin und Beobachter

Die Studie ergab, dass die Probanden für den Parcours signifikant länger mit den Meilensteinen brauchten als ohne.

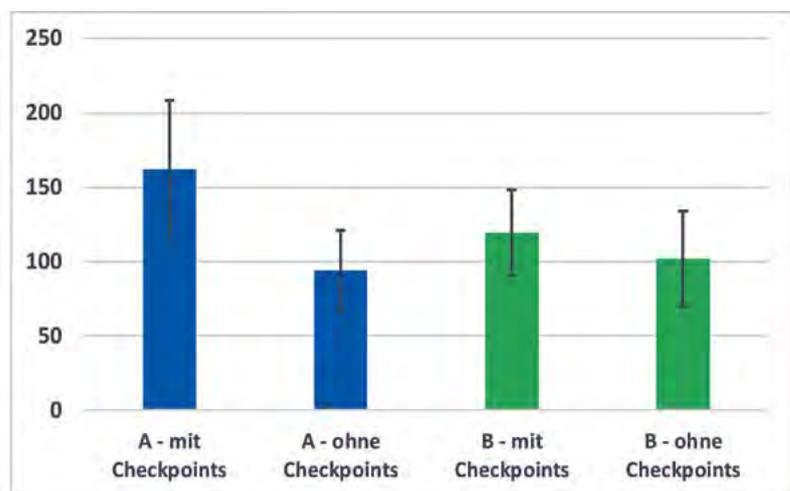


Abb. 3: Übersicht der Studienergebnisse. Ohne Checkpoints ging es in beiden Parcours schneller.

Wie in der Abbildung ersichtlich, brauchten die Nutzer mit Meilensteinen in Parcours A ( $M = 162$  s,  $SD = 46$  s) beinahe doppelt so lange wie ohne ( $M = 94$  s,  $SD = 27$  s). Bei Parcours B ist der Unterschied nicht so gravierend, aber dennoch brauchten die Studienteilnehmenden durchschnittlich nur 85% der Zeit.

Vor der Durchführung der Studie hatten wir angenommen, dass sich die Navigation mit Meilensteinen für die Probanden besser anfühlt. Die zeitliche Untersuchung deutete aber auf Gegenteiliges hin. Tatsächlich zeigte auch die parallel durchgeführte Befragung, dass die Navigation mit Feedback über den Streckenfortschritt als weniger angenehm empfunden wird. Abbildung 4 zeigt die Bewertung der Kriterien im Vergleich. Da kein signifikanter Unterschied zwischen Parcours A und B festgestellt wurde, wurden die Werte zusammengefasst.

Sowohl die Messung der Geschwindigkeit als auch die Bewertung der Aspekte bezüglich der User Experience deuteten nicht darauf hin, dass taktiles Feedback über den Streckenfortschritt eine Verbesserung ist. Die Teilnehmenden bestätigen dies: Sie bevorzugten die Variante ohne Meilensteine.

Die qualitativen Aussagen lieferten allerdings noch Ergebnisse, die allein durch quantitative Verfahren nicht erkennbar gewesen wären. So stellten die Beobachter fest, dass das Feedback zu Meilensteinen besonders dann einen negativen Effekt hatte, wenn es direkt auf das Signal eines Wendepunkts folgte. Die Teilnehmenden beschrieben, dass sie sich durch die beiden aufeinanderfolgenden Signale „überreizt“ fühlten. Andere hatten Schwierigkeiten, die Signale auseinanderzuhalten: „Ich habe gerade den Meilenstein wahrgenommen und direkt im Anschluss war eine andere Vibration. Ich war mir nicht sicher, ob das überhaupt das Signal für einen Meilenstein war oder für etwas anderes. Also hielt ich kurz an, um mich zu orientieren.“ Grundsätzlich wurden Vibrationen für Meilensteine als Stress empfunden, wenn sie direkt auf das taktile Signal für einen Richtungswechsel folgten.

Auf geraden Routenabschnitten wurde das Feedback über den Streckenfortschritt hingegen als hilfreich wahrgenommen. Ein Teilnehmer betonte, dass auf längeren Strecken ohne Richtungswechsel das Feedback wichtig sei, um zu wissen, ob alles in Ordnung sei. Ansonsten habe man das Gefühl, gegen etwas zu stoßen, wenn man geradeaus läuft.

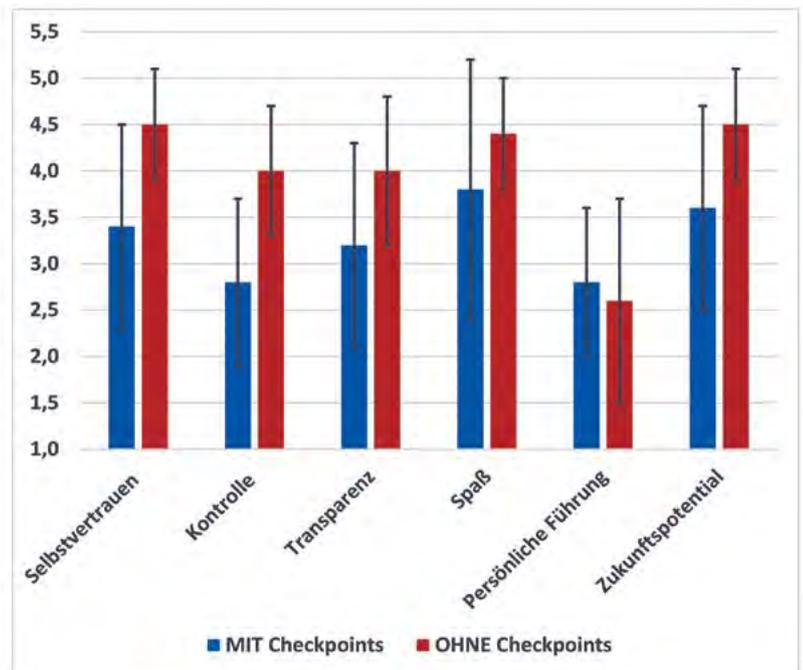


Abb. 4:

Übersicht der User Experience. Der Großteil der Kriterien wurde ohne Feedback über den Streckenfortschritt positiver bewertet.

Die Studie hat gezeigt, dass die Konzentration auf taktile Stimuli zu Navigationszwecken schnell zur Überreizung der Anwender führen kann. Auf der anderen Seite scheint Feedback in längeren Abschnitten eine bedeutende Rolle zu spielen, um den Nutzern Sicherheit zu geben und somit den Grundstein für eine angenehme Erfahrung zu liefern.

Für spielerische Ansätze lässt sich ableiten, dass es zum einen wichtig ist, Anwendern eine Rückmeldung zum Fortschritt zu geben, Informationen allerdings nicht gehäuft auftreten sollten, da die Nutzer ansonsten überfordert werden. Dementsprechend sollten inhaltliche Informationen und Informationen über den Fortschritt zeitlich voneinander getrennt kommuniziert bzw. aufeinander abgestimmt und priorisiert werden.

#### AUTOREN



Prof. Dr. phil. Oliver Korn  
Leiter Affective & Cognitive Institute (ACI)  
Human Computer Interaction  
oliver.korn@hs-offenburg.de



Annika Sabrina Schulz B.Sc.  
Wiss. Hilfskraft ACI  
aschulz@stud.hs-offenburg.de

# POI – Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation



Das POI lehrt und forscht auf den für ihre hohe Innovationsrate bekannten Gebieten der Kardiologie, der Elektrophysiologie und der elektronischen kardiologischen Implantate. Es verfolgt das Ziel einer stetigen Verbesserung der Diagnostik und Therapie von Herzerkrankungen.

Wir tragen damit einerseits den aktuellen Bedürfnissen einer alternden Gesellschaft nach individualisierten Medizinprodukten, andererseits der wachsenden Forderung der medizintechnischen Industrie nach engagierten Nachwuchskräften Rechnung und bilden Medizintechnik-Ingenieure für anspruchsvolle Zukunftsaufgaben aus. Dass uns dies gelingt, spüren wir deutlich am positiven Feedback und der Wertschätzung von zahlreichen am Institut ausgebildeten Absolventen, die bei den Marktführern und Global Playern der Branche Karriere machten.

Die Bedeutung einer hochspezialisierten Lehre für die Medizintechnik mit Fokussierung auf professionsorientierte Kompetenzen und Qualifikationen zeigt sich aktuell an der Bewältigung der Coronaepidemie.

Die Lehre ist gleichsam Impulsgeber für unsere Forschung für die Medizintechnik-Ingenieurausbildung. In Kooperation mit der Pädagogischen Hochschule Freiburg konnten in einer kontrollierten Studie die Vorteile unseres innovativen Lehrkonzepts unterstrichen

werden. Die hieraus erwachsenen Synergien und Ergebnisse bereichern die akademische Lehre in den Bachelor- und Master-Studiengängen der Medizintechnik.

Im Zentrum unserer aktuellen Forschungsaktivität steht die interdisziplinäre Grundlagen- und klinische Anwendungsforschung zu kardialen Okkludersystemen in Kooperation mit der Kinderkardiologie der Ludwig-Maximilians-Universität in München sowie dem MediClin-Herzzentrum in Lahr. Die Resultate dieser Forschung ermöglichen nicht nur eine Klassifizierung ihrer Eigenschaften, sondern auch die individuelle Vorhersage der Implantatgröße von Verschlussystemen, die zum Beispiel von Vorhofflimmern betroffene Patienten vor Schlaganfällen schützen.

Dem POI-Team ist es auch im vergangenen Jahr gelungen, seine Forschungsaktivität auf hohem Niveau weiter voranzutreiben, die in insgesamt sechs Publikationen mündeten.

Essentiell waren dafür die engen Kooperationen zu unseren klinischen, akademischen und industriellen Partnern. Sie garantierten auch den aktuellen Wissens- und Technologietransfer von der Forschung in die Lehre.

*Stellvertretende Institutsleitung  
Tobias Haber*

# InterSim III

## Demonstration of progressive features of current cardiac electronic implants

*Dipl.-Ing. (FH) Tobias Haber, Maximilian Matthes M.Sc.<sup>1</sup>, Wesley Jones B.Sc., Prof. Dr. med. Juraj Melicherik<sup>2</sup>, Prof. Dr. med. habil. Eva-Maria Bitzer<sup>3</sup>, Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer*  
*(<sup>1</sup>ORMED GmbH Freiburg, <sup>2</sup>MediClin Herzzentrum Lahr/Baden, <sup>3</sup>Pädagogische Hochschule Freiburg)*

Mit der Entwicklung des InterSim III ist für Lehrzwecke ein neuer Herzrhythmusimulator verfügbar, der den aktuellen Entwicklungen bei implantierbaren Herzschrittmachern, Defibrillatoren, CRT-Systemen und deren Elektroden Rechnung trägt. Das Gerät verfügt über eine Vielzahl von Optionen zur in-vitro Simulation von Herzrhythmusstörungen und deren Behandlung mittels elektronischer Implantate. Als weltweit erstes und einziges bietet es acht Kanäle zur Simulation der Schrittmachtherapie an verschiedenen Elektrodenpositionen sowie zwei Hochvoltkanäle für die Defibrillatortherapie. Es gestattet den Anschluss von Implantaten mit konventionellen und quadripolaren Elektroden und erlaubt realitätsnahe in-vitro Simulationen von Elektrotherapien einschließlich möglicher Störungen bei Nutzung verschiedener Strompfade und fortschrittlicher Optionen der aktuellen Implantate und ihrer Elektroden.

*With the development of InterSim III, a new cardiac rhythm simulator is available for teaching purposes. It takes current developments in implantable pacemakers, defibrillators, CRT systems and associated electrodes into account by having a variety of features for in-vitro simulation of cardiac arrhythmias and their treatment with electronic implants. It is the first and only one in the world offering 8 channels to demonstrate pacing at various electrode positions and two channels for high voltage shock delivery. It connects the implants with conventional and quadripolar electrodes and allows realistic in-vitro simulations of electrotherapies including possible malfunctions when using different current paths and advanced options of modern implants and their electrodes.*

### Introduction

The implantation of cardiac electronic implants has long been proven to be successful in the therapy of cardiac rhythm and hemodynamic diseases [3]. Modern and intelligent pacemakers and defibrillators are able to automatically influence an impaired slow heart rhythm (bradycardia) in such a way that the natural heartbeat sequence remains almost unchanged. This is crucial for the hemodynamic function of the heart. Otherwise, depending on the disease, at least the best possible correction can be done. In addition, implantable automatic defibrillators also detect acute attacks of life-threatening ventricular tachycardias and ventricular fibrillation. They immediately treat them by either electrical pacing or life-saving electric shocks. In certain cases of symptomatic heart failure, cardiac resynchronization therapy (CRT) can reduce the right and left ventricle's loss of contraction synchronicity by atrial-controlled pacing of both. Thus, CRT can considerably improve the patient's quality of life.

In the above mentioned cases, treatment by means of the implant is usually delivered via multipolar electrodes. Depending on the disease, the electrodes' implantation procedure is carried out in different heart chambers. This approach enables continuous derivation of electrocardiograms as a basis for an individualized therapy, programmed by the physician according to the patient's disease.

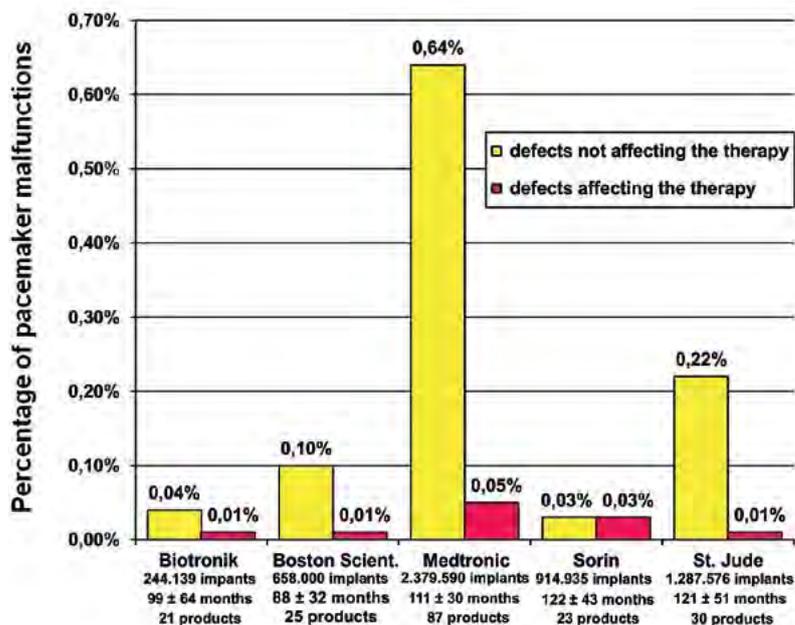
Although the reliability of these systems, consisting of an electronic unit and electrodes, is extremely high, it has been observed that both, the device and electrodes can be affected by a variety of malfunctions: Their rare occurrence requires the knowledge of physicians and medical engineering professionals involved in the implantation and follow-up of the patients to prevent these. Therefore, in-vitro training options for an elimination of these malfunctions with suitable simulators that take the variety of functions of current implants into account are desired.

## Reliability of cardiac electronic implants

Implantable pacemakers and defibrillators are reliable electronic devices. In the event of abnormalities, the manufacturers respond with firmware updates or the request for a prophylactic change of the device. Functional impairments due to electrode issues have also been registered. Causes for these were, inter alia, conductor fractures, insulation breaches or contact issues. In individual cases, electrode issues led to loss of stimulation or sensing problems up to inadequate electrotherapies. Although they can result in complications depending on the individual disease, not every functional problem translates to a replacement of the unit or the electrode. Rather, risks to the patients can often be averted initially – or even generally – with a suitable parameterization of the device /1/. All manufacturers of cardiac electronic implants document the reliability and longevity of their products. According to an analysis /7/ of Product Performance Reports of five manufacturers published until May 2017, the percentage of malfunctions that had no effect on ongoing therapy within a total of 5.48 million implanted pacemakers, reached between 0.03 % and 0.64 %. An influence of the defects on ongoing therapy was documented only between 0.01 % and 0.05 % of the cases (Fig. 1). As expected due to higher complexity, the portion of implantable defibrillator malfunctions, without compromising the therapy, was reported to be higher between 0.02 % and 1.60 %.

## Challenges in cardiac resynchronization and defibrillation

The cardiac resynchronization therapy (Cardiac Resynchronization Therapy CRT) is often indicated in patients with symptomatic heart failure, if certain conditions are met. In the majority of cases, implantation of a CRT defibrillator offers additional protection by automatically treating possible tachyarrhythmias in the course of the disease. In cardiac resynchronization, the electronic implant synchronizes the contractions of the heart's right and left ventricle during every heartbeat. The required timing has to be individualized by hemodynamic aspects. Among other factors, the success of CRT depends on the functional condition of the left ventricular electrode. Several requirements have to be taken into account intraoperatively. It should be positioned in, or at least nearby, the area of maximum desynchronization, usually via a left posterolateral cardiac vein. At the same time, a low stimulation threshold is required.



In addition, diaphragmatic irritations leading to periodic „electrical hiccups“ forced by the pacing of the left ventricle are stressful for the patient and must be avoided. An unfavourable electrode position, an electrode dislocation at a later time or the fracturing of the electrode results in a therapy failure. Therefore, reducing the proportion of patients who fail to achieve therapeutic success is the current challenge of CRT. One approach to increase therapeutic success was the development of quadripolar left ventricular electrodes with the internationally standardized connector IS4 (Fig. 2) /2, 8/. In comparison with unipolar and bipolar electrodes, they offer a range of 16 different stimulation paths. This allows left ventricular stimulation either between the single poles or against the right ventricular shock electrode. Thus, more options are available to achieve optimal hemodynamic responses and to reduce the risk of diaphragmatic irritations. In case of defects, another suitable stimulation path can be chosen.

Fig. 1: Pacemaker malfunctions registered in Product Performance Reports of five manufacturers until May 2017 in percent. Consider the different numbers of implants, follow-up periods and product lines.

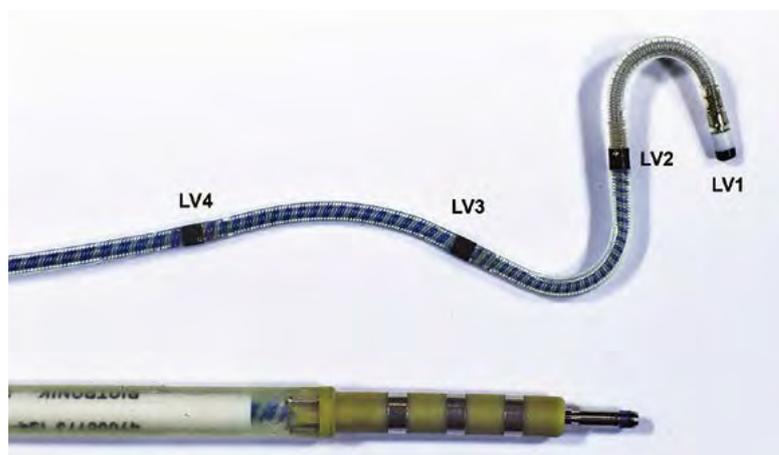


Fig. 2: Demonstration of a tip (top) and IS4 connector (bottom) of a quadripolar left ventricular electrode for the cardiac resynchronization therapy

The right ventricular defibrillator electrode contains both, the electrical leads for sensing, antibradycardia and antitachycardia pacing as well as those for high-voltage shock delivery during cardioversion or defibrillation. They are also available with the international four-pin DF4 connector, which makes it simpler to connect them. In the case of conductor defects, in addition to therapy failures, misperceptions have also been observed. Conductor defects can lead to very stressful inadequate shock deliveries for the affected patient with negative long-term psychological effects. Until today, it is a problem that has not yet been completely solved. Therefore it is the actual challenge in cardiac defibrillator therapy /5, 6/. For this purpose, a number of algorithms have been developed and implemented in the devices. For example, in modern Medtronic units (Medtronic, Minneapolis, MN 55432, USA), besides other options specifically for the management of electrode fractures, the monitoring of the integrity of the right ventricular electrode is available. This specific algorithm is based on parameters from the manufacturer's analysis of market experiences regarding the "Sprint fidelis" shock electrode's fractures. This protective function takes typical artefacts and the measured impedance trend, preceding an electrode defect, into account to automatically reprogram the detection parameters for tachyarrhythmias in order to prevent inadequate shocks. In addition to that, as part of telemetric monitoring, alerts are sent to the treating medical center. Additionally, a signal tone informs the patient.

### In-vitro simulations with current implants

The advantage of practical training in pacemaker therapy using in-vitro simulations on electronic simulators is obvious. We evaluated this approach for medical engineering students in a controlled study / 4 /. Within a period of seven years, the grades in the final written exam in the course „Electrocardiography and Pacing“ of 128 students, who participated in the elective course „Programming of pacemakers“, were compared to 93 students who did not. On average, participants with grades of  $1.9 \pm 1.0$  resulted in highly significant better performances than non-participants with  $2.4 \pm 1.1$  ( $p = 0.001$ ).

Product specialists from medical technology companies and physicians ask for much more ambitious in-vitro training than students. According to their requirements, with the development of the cardiac rhythm simulator InterSim III (Ingenieurbüro L. Lang, 09661 Rossau, Germany),

a new cardiac rhythm simulator is now available. It can be utilized for research purposes, training and further education. The device is up to date with the latest developments in implantable pacemakers, defibrillators, CRT systems and their electrodes. Optionally, the device is either tablet or PC-based. It has a variety of features for in-vitro simulations of pathological heart rhythms and conditions including their treatment using electronic implants. As the world's first and only simulator, it offers 8 independent channels to sense intracardiac electrograms and to deliver pacing therapies on various typical electrode positions completed by two channels for high voltage defibrillation.

In addition, surface ECG leads according to Einthoven are also provided as analog signals. This equipment overcomes the limitations of its proven predecessor InterSim II. It now allows realistic in-vitro simulations with different shock paths and pulse polarities provided by current implants used in clinical routine for pacing and defibrillation as well as for implant based electrophysiological investigations. The device is intended for connecting implants for conventional unipolar and bipolar, with the addition for those with the newer quadripolar IS4 and DF4, electrode connectors. To prevent accidents during in-vitro simulations of therapeutic electric shocks, implants are connected in a touch-proof housing. In practice, they can be programmed either wireless or with a programming head (Fig. 3). In addition to normal operation under a wide variety of conditions, issues based on incorrect settings of the implants can be easily simulated by varying channel parameters, such as sensing, pacing and defibrillation thresholds. Fractures, short circuits and other disturbances of electrodes can be simulated by selecting a wide range of impedance settings as well as superimposition of artificial signal patterns, emulating typical artefacts observed in clinical practice, electromagnetic interference and noise signals.

Fig. 3: Example of the CRT defibrillator Medtronic Viva CRT-D adapted via quadripolar IS4 and DF4 connectors within the touch-proof housing of the InterSim III heart rhythm simulator implant box





With the features mentioned, the InterSim III allows in-vitro simulations under a variety of aggregate configurations, which are provided by the current implants and used in clinics and research. Figure 4 exemplarily demonstrates a special experimental implant setting using the Medtronic Viva CRT-D defibrillator with IS4 and DF4 connections in order to visualize signals of a left ventricular quadripolar electrode. Demonstrated is a patients' surface ECG recording simultaneously with four different intracardiac electrograms, transmitted telemetrically via the implant. The latter were performed bipolar between tip and ring of the atrial electrode (EGM1: Atip/Aring) and between the right ventricular shock electrode and the atrial electrode ring (LEKG: RVcoil/Aring). Furthermore, the electrograms between tip and the most distant ring of the quadripolar left ventricular electrode (EGM3: LV1/ LV4) and between the ring following the tip of the left ventricular with the right ventricular shock coil as a reference (EGM2: LV2/RVcoil) are shown. The latter were superimposed with an artefact pattern that simulates the situation of a contact error or an imminent fracture in the lead to the electrode ring LV2.

Fig. 4: In-vitro simulation of normal and disturbed electrograms provided by the quadripolar left ventricular electrode of a CRT defibrillator Medtronic Viva CRT-D using the InterSim III

## Conclusions

Patients benefit from the constant development of cardiac electronic implants and associated electrodes. New device features and usage properties enable improved therapies and safety functions combined with easier handling for physicians during implantation and follow-up. With the InterSim III, a cardiac rhythm simulator is available which bridges the gap between the progressive features and algorithms of implants, the electrodes currently used in clinical routine including research with the range of options available for appropriate demonstrations and hands-on training for relevant product specialists, physicians and other professional groups.

### Referenzen/References:

- 1] Buri H, Israel C and Deharo J C (2015) The EHRA Book of Pacemaker, ICD and CRT Troubleshooting. Oxford University Press, ISBN: 978-0198727774: 30
- 2] Crossley G H, Biffi M, Johnson B, et al. (2015) Performance of a novel left ventricular lead with short bipolar spacing for cardiac resynchronization therapy: Primary results of the Attain Performa Quadripolar Left Ventricular Lead Study. Heart Rhythm 12 (4): 751
- 3] Fröhlig G, Brandl J, Buob A et al., Herzschrittmacher- und Defibrillator-Therapie, in Indikation – Programmierung – Nachsorge. 2013, Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York, ISBN 978-3-13-117182-5
- 4] Haber T, Brenner C, Melichercik J, Ismer B, Bitzer EM (2019) In-vitro Training in Cardiac Pacing - Results of a Controlled Trial (abstr.) Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology, <https://doi.org/10.1007/s10840-019-00665-1> p19
- 5] Hartmann S, Kunkler T, Haber T et al. (2016) Inadäquate Schocks -Herausforderung für Arzt und Industrie. Hochschule Offenburg, Forschung im Fokus 2016: 133-136
- 6] Lawton J S, Wood M A, Gilligan D M, et al. (1996) Implantable Transvenous Cardioverter Defibrillator Leads: The Dark Side. PACE 19(9): 1273.
- 7] Matthes M (2017) Vergleich von Product Performance Reports zur Analyse der Qualität von kardialen Implantaten. Bachelorarbeit, Hochschule Offenburg
- 8] Turagam M K, Afzal M R, Iskander S, et al. (2016) A Meta-Analysis Of Quadripolar Versus Bipolar Left Ventricular Leads On Post-Procedural Outcomes. Journal of Atrial Fibrillation 9 (2): 7-11

### AUTOREN



Dipl.-Ing. (FH) Tobias Haber  
Stellvertretender Leiter POI  
tobias.haber@hs-offenburg.de



Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer  
ehem. Leiter POI  
bruno.ismer@hs-offenburg.de



Prof. Dr. med. habil. Eva-Maria Bitzer  
Ltg. Fachrichtg. Public Health & Health  
Education PH FB  
evamaria.bitzer@ph-freiburg.de

Maximilian Matthes M.Sc.: Quality & Complaint Coordinator  
der ORMED GmbH; Freiburg, maximilianmatthes@web.de  
Wesley Jones B.Sc.: Akad. Mitarbeiter POI;  
wjones@stud.hs-offenburg.de  
Prof. Dr. med. Juraj Melichercik: Ltg. Abt.: Elektrophysiologie  
Herzzentrum Lahr/Baden; juraj.melichercik@mediclin.de

# **NaSiO – INSTITUT FÜR NACHHALTIGE SILIKATFORSCHUNG OFFENBURG**

*„Das Institut NaSiO setzt sich zum Ziel, Silikatwerkstoffe als Baumaterialien aus Wüstensand mit neuen Eigenschaften zu entwickeln, die kompatibel mit einer nachhaltigen Energietechnik sind.“*

Am einfachsten beschreibt man Silikatwerkstoffe als polymeren Sand. Der Schlüssel zur vermehrten industriellen Nutzung von (Wüsten-)Sand ist die Geopolymerstruktur. Diese wird aus Wasserglas gebildet, das schon heute kostengünstig aus Sand, Soda und Sonnenenergie (S<sup>3</sup>-Ansatz) hergestellt werden kann.

Der Schwerpunkt der Institutsarbeit liegt auf der Erforschung der chemischen Bindungen, die eine Geopolymerstruktur ausmachen. Hierzu werden als analytische Messmethoden die IR-Spektroskopie sowie in Zusammenarbeit mit mehreren universitären Instituten <sup>27</sup>Al-MAS NMR-, <sup>29</sup>Si-MAS NMR- und <sup>31</sup>P-NMR-spektroskopische Messungen an Festkörpern eingesetzt. Auch wird an der

verfahrenstechnischen Optimierung aller Prozesse geforscht, die der Bildung geopolymerer Strukturen zugrunde liegen.

Konkret wird an der Herstellung neuartiger anorganischer Dämmstoffe mit einer Dichte von unter 0,09 g/cm<sup>3</sup>, an der Entwicklung von Dämmstoffen im Bereich bis 1.100 °C, an der Entwicklung eines Ziegelersatzes aus Wüstensand oder Betonabfällen sowie an der Verkieselung von Holz gearbeitet. Bei allen Forschungs- und Entwicklungsthemen stehen Ressourcenschonung, Umweltverträglichkeit und Langlebigkeit der Produkte im Mittelpunkt.

*Institutsleitung*

*Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg*



# Dämmsteine aus Schilf und Glasabfall

Dipl.-Ing. (FH) Anna Werner, Simon Girsch B.Sc., Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg

Wasserglas (Natriumsilikat) in Kombination mit Aluminaten ist als neuartiges Bindersystem geeignet, um aus Schilfrohr Dämmsteine herzustellen. Am Institut für nachhaltige Silikatforschung in Offenburg (Institut NaSiO) werden die Eigenschaften dieses neuen Binders untersucht. Der Vorteil liegt in der niedrigen Produktionstemperatur, die im Vergleich zur Herstellung von Kalksandstein-Dämmungen enorme CO<sub>2</sub>-Einsparungen ermöglicht.

*Water glass (sodium silicate) in combination with aluminates is suitable to act as a novel binder system to produce insulation material from reed. At the Institute for Sustainable Silicate Research in Offenburg (Institute NaSiO), the properties of this new binder system is examined. The advantage is its low hardening temperature of 25°C, which enables enormous CO<sub>2</sub> savings compared to the production of sand-lime insulation bricks.*

## Problemstellung

Am Institut NaSiO (Institut für Nachhaltige Silikatforschung in Offenburg) wird Wasserglas in Kombination mit Aluminaten als Binder verwendet, um mit den verschiedensten Füllstoffen Steine herzustellen. Als Wassergläser bezeichnet man farblose wässrige Lösungen aus Natrium-, Kalium- und Lithiumsilikat. Das Akronym NaSiO steht für die chemische Formel von Natron-Wasserglas. Diese lautet  $\text{Na}_2\text{Si}_s\text{O}_{2s+1}$ . Hierin bezeichnet  $s$  den Modulwert eines Wasserglases. Dieser Wert beschreibt das molare Verhältnis von Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) zu Natriumoxid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Wassergläser zeigen Modulwerte zwischen 1,5 und 5, je nach Gehalt an Siliziumdioxid. Je höher der Modulwert ist, umso viskoser ist das Wasserglas und umso mehr Siliziumdioxid enthält es. Werden die Alkali-Kationen des Wasserglases von den negativ geladenen  $\text{SiO}$ -Gruppen chemisch entfernt, z. B. unter Bildung von Aluminaten, reagieren diese zu polymerer Kieselsäure ab. Die ausfallende Kieselsäure verbindet sich mit zugemischten Füllstoffen wie Sand, Glas, Holz oder auch Chinaschilf, und es entstehen wasserstabile Steine [1].

Für die Untersuchungen wurden getrocknete Stängel des Riesen-Chinaschilfs (*Miscanthus x giganteus*) verwendet. Diese Schilfart

ist eine natürliche Kreuzung aus Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*) und *Miscanthus sacchariflorus*. Die Art stammt ursprünglich aus Japan und ist eine sogenannte C<sub>4</sub>-Pflanze, die sich durch eine besonders hohe Produktion an Biomasse auszeichnet [2]. Sie wird bundesweit als nachwachsender Rohstoff zur energetischen und stofflichen Nutzung angebaut und kann Wuchshöhen von mehr als drei Metern erreichen, was in Abbildung 1 zu sehen ist. Mit seinen hohlen Stängeln sollte Riesen-Chinaschilf auch als nachhaltiger Dämmstoff einsetzbar sein. Ziel der Untersuchung ist es, Möglichkeiten auszuloten, wie aus Chinaschilf neuartige Dämmstoffe für den Hausbau hergestellt werden können. Angedacht sind dabei Dämmsteine, die als gemauerte Zusatzwand – außen oder innen – vor das tragende Mauerwerk gestellt werden. Die Wand im Außenbereich soll nicht nur wärmeisolierend wirken, sondern das Haus auch vor Nässe schützen. Im Innenbereich eingesetzt soll die Wand ein stabiles und konstantes Raumklima erzeugen und zugleich Schimmelbildung verhindern. Das technische Ziel der Untersuchung ist es herauszufinden, welche Wasserglasbinder für die Einbindung von Chinaschilf geeignet sind und welche Druck- und Biegezugfestigkeiten erreicht werden können.



Abb. 1:  
Chinaschilf im Rheintal  
bei Hofweier

## Ergebnisse

### Herstellung der Chinaschilfsteine

Die Vorbereitung des Schilfs umfasst das Zerschneiden auf ca. 30 bis 160 mm lange Stücke, deren Einwaage und die (nicht ganz einfache) horizontale Einfügung der Stiele in die Form. Anschließend wird das Wasserglasgemisch vorsichtig so in die Form gegossen, dass die schichtförmige Anordnung der Schilfhalme erhalten bleibt. Bei sehr zähflüssigen Binderansätzen wird ein Rütteltisch verwendet, um durch Binder eingeschlossene Luftblasen schnell entfernen zu können. Allerdings verursacht dieser Rütteltisch auch ein Aufsteigen des Schilfs innerhalb der Form. Um sicherzugehen, dass das Schilf nicht auf die Binderoberfläche der Probe „aufschwimmt“, werden entweder Mikrofasergitter oder Schilfstücke zur Verspannung in Querrichtung eingesetzt. Danach werden die Proben für eine Woche mit PE-Folie bedeckt, um eine Rissbildung beim Trocknen zu verhindern. Abbildung 2 zeigt zwei Teststeine der Größe 4 x 4 x 3 cm. Links ist ein Monolith mit unsichtbar eingebundenem Schilf, rechts einer mit sichtbar eingebundenem Schilfrohr zu sehen.

Bei der Herstellung dieser Steine wurden die Bedingungen variiert. Das Schilfrohr wurde ei-

nerseits getrocknet und andererseits angefeuchtet eingebunden. Als Füllstoffe kam chinesischer Wüstensand mit einer mittleren Korngröße von 130  $\mu\text{m}$  zum Einsatz, da der für Beton zumeist eingesetzte Flusssand weltweit immer knapper wird [3, 4]. Alternativ wurden als Binderfüllstoff Liaver®-Kugeln verschiedener Größenbereiche (0,25 – 0,5 mm, 0,5 – 1 mm, wie auch 1:1-Gemische) eingesetzt. Liaver®-Kugeln bestehen aus Blähglasgranulat. Zu ihrer Herstellung wird aufbereiteter Glasbruch aus Recyclingglas fein gemahlen, mit einem Treibmittel versehen und sphärisch geformt. Im Blähofen wird das Rohgranulat bei 750 – 900 °C gesintert und schäumt dabei auf. So entsteht ein ökologisches Schaumglas aus mineralischen Rohstoffen, das auf dem Wasser aufschwimmt und hervorragende Dämmeigenschaften besitzt [5].

### Ergebnisse der Untersuchungen

Die fertigen Schilfrohrsteine zeigen eine mittlere Dichte von etwa 1,5 g/cm<sup>3</sup> und sind damit leichter als Beton- oder Ziegelstein. Bemerkenswert ist ihr Wärmeleitkoeffizient. Er ist mit 133 mW/mK nur etwa dreimal so hoch wie der von Styropor. Bei gleicher Dämmwirkung müsste eine Wand also nur dreimal so dick mit Schilfrohrstein wie mit Styropor gedämmt werden.

Interessant ist das anisotrope Verhalten der Steine im Druckversuch. Eine Übersicht gibt Tabelle 1. Während entlang der Wuchsrichtung der Schilfröhren Druckbelastbarkeiten bis zum Bruch von 15.400 bis 27.700 N gemessen wurden, sind es quer zum Schilfrohr nur 3.420 bis 6.160 N. Daraus berechnet sich die Druckbelastbarkeit in Längsrichtung in Höhe von 9,9 und 17,8 N/mm<sup>2</sup>. Dies entspricht einer Druckfestigkeitsklasse von 8 – 16 und liegt im mittleren Bereich üblicher Tonziegel. Mit den aus Schilfrohr hergestellten Steinen könnte man Häuser bauen. Eine Mauer von 36 cm Dicke würde neben ihrer tragenden Funktion gleichzeitig eine Wärmedämmung zeigen, die in etwa der von 12 cm Styropor entspricht. Damit eröffnen sich viele neue Konstruktionsmöglichkeiten, z. B. in der Deckenisolation oder beim Bau von Rolllädenkästen.

### Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass mit einem neuartigen Wasserglas-Bindersystem und Halmen aus Schilfrohr feste Steine für Dämmzwecke hergestellt werden können. Die so hergestellten Steine zeigen eine Druckfestigkeit von bis zu 17,8 N/mm<sup>2</sup>. Viele derartige Versuche ergeben, dass sehr stabile Schilfsteine unter Einsatz verschiedenster Füllstoffe herstellbar sind, die sowohl als tragende Wand im Neubau wie auch zur Wärmedämmung im Altbau eingesetzt werden könnten. Der Vorteil der vorgestellten Methode zur Herstellung von Dämmsteinen liegt in der Verwendung natürlicher Rohstoffe wie Schilfrohr sowie der Einbindung von Recyclingmaterial. Auch wird alles bei Raumtemperatur, unter Vermeidung höherer Temperaturen, verarbeitet. Gegenüber der Herstellung von geschäumten Kalksandsteinen bietet sich hier ein enormes CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial.

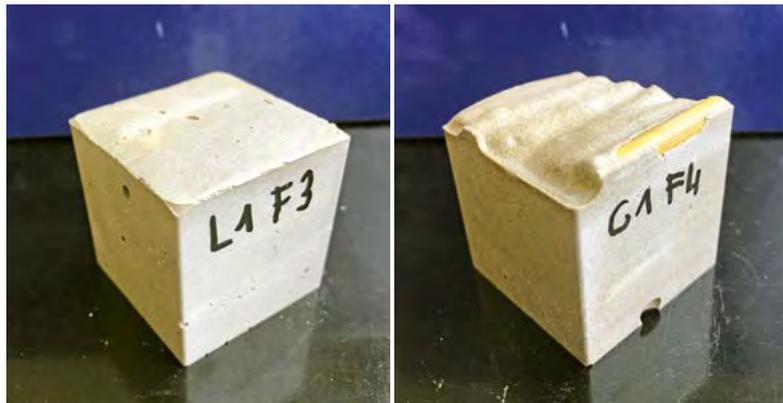


Abb. 2: Teststeine der Größe 4 x 4 x 3 cm, links als Monolith mit unsichtbar eingebundenem Schilf, rechts mit sichtbar eingebundenem Schilfrohr

Probe	Glas LSG [g]	Almatis [g]	Kugeln [g]	Σ Masse [g]	Schilf [g]	B x L x H [mm]	Σ Masse nach Austrocknen [g]		Druckprüfung F [N]	
							Messg. 1	Messg. 2		
<b>Liavera Kugeln</b>										
L1	18,5	25	10,12	54,9	(0,25-0,5)	38,5 x 38,5 x 32,5	53,22		26100	entlang Schilf
L1.1	18,69	25,04	9,99	50,1	(0,25-0,5)	-	55,6		3230	quer zum Schilf
L2	24,68	33,4	15		(0,5-1)	38,5 x 38,5 x 39	58,57		8320	quer zum Schilf
L2.1	24,91	33	15	43,82	(0,5-1)	-	48,21		2780	quer zum Schilf
L3	19,9	26,5	5 + 5,5	58,53		38,5 x 38,5 x 36,5	55,28		8040	quer zum Schilf
L3.1	20,6	25,42	4,93 + 4	47	1:1	-	51,08		3510	quer zum Schilf
L1F1	74,72	100,11	39,99	55,35	5,98	39,5 x 39,5 x 41	59,5	56,12	15400	entlang Schilf
L1F2				55,73	6,02	39,5 x 39,5 x 40	59,34	55,49	6160	quer zum Schilf
L1F3				55,55	5,98	39,5 x 39,5 x 42	59,99	56,71	3420	quer zum Schilf
L1F4				44,62	5,95	39,5 x 39,5 x 34	48,75	45,7	23100	entlang Schilf
<b>China Sand</b>										
C1F1	81,35	110,1	176	92,94	5,53	39,5 x 39,5 x 40,5	95,84	92,25	27700	entlang Schilf
C1F2				92,49	5,49	39,5 x 39,5 x 40	95,76	90,71	4040	quer zum Schilf
C1F3				93,59	5,59	39,5 x 39,5 x 40	96,57	92,83	4420	quer zum Schilf
C1F4				80,24	5,41	39,5 x 39,5 x 39	83,35	79,81	27500	entlang Schilf
									87100	ohne Schilf

Legende  
 eingewogener nasser Schilf  
 Druckprüfung gemessen entlang Schilf

Tab. 1: Experimentelle Daten zur Einbindung von Schilfstängel

Referenzen/References:

- [1] Bernd Spangenberg, Wolfgang Hemmer, Sidon Futterknecht, Poröse monolithische oder faserförmige Produkte aus anorganischen Polymeren und deren Herstellung, WO 2016026923 A1
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Riesen-Chinaschilf>, zuletzt abgerufen am 15.01.2020
- [3] Chem. Unserer Zeit, 2016, 50, 162–171
- [4] Aus Sand: Ein Rohstoff wird knapp, Le Monde diplomatique (Deutsche Ausgabe) vom 12.9.2014; <http://www.monde-diplomatique.de/pm/2014/09/12/a0010.text>, abgerufen am 15.01.2020
- [5] Liaver, Expanded Glass Technologies, <http://www.liaver.com/liaver/>, zuletzt abgerufen am 15.01.2020

### AUTOREN



Dipl.-Ing. (FH) Anna Werner  
 Masterstudentin Mechanical Engineering  
 awerner3@stud.hs-offenburg.de

---



Simon Girsch B.Sc.  
 Wiss. MA Forschungsgruppe Nachhaltige Silikatforschung  
 simon.girsch@hs-offenburg.de

---



Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg  
 Forschungsgruppe Nachhaltige Silikatforschung, Lehrgebiete Chemie, chemische Analytik, Abfall und Recyclingtechnik, Bionik  
 spangenberg@hs-offenburg.de



# IUAS – INSTITUTE FOR UNMANNED AERIAL SYSTEMS

Das Institut IUAS kann nach nunmehr neun Jahren engagierter Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, auf eine große Zahl erfolgreich umgesetzter Projekte zurückblicken und sieht mit voller Auslastung seinem Jubiläumsjahr 2021 entgegen. Während zu Beginn mehrheitlich Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für autonome Helikopter im Vordergrund standen, so hat sich heute – nicht zuletzt durch das Engagement der Kollegenschaft aus unterschiedlichen Fachgebieten – ein stark interdisziplinäres Arbeitsumfeld etabliert. Das IUAS gliedert seine Aktivitäten dabei in vier Schwerpunkte:

- Unbemannte Flugsysteme
- Ultrawideband-Radarsysteme
- Optische Systeme
- Forschung und Entwicklung mit Schulen

Erfahrene Mitarbeitende und Professoren-schaft verfügen über die nötige Expertise und technologische Kompetenz, um so Arbeiten in breitgefächerte Forschungsfeldern zu bearbeiten, wie z. B.:

- Flugsteuerung & -regelung
- Entwurf, Entwicklung, Bau & Betrieb unbemannter Flugsysteme
- Hydro-, Aerodynamik & Strömungssimulation
- Präzisionsnavigation & Inertialsysteme
- Anwendungen akustischer, optischer sowie Ultrawideband-RADAR-Messtechnik
- Navigation- & Vermessungssysteme (auch Untertage)
- Hochfrequenz-Messsysteme
- Leistungselektronik

Gemeinschaftlich mit zahlreichen Industrieunternehmen, regionalen Akteuren sowie langjährigen akademischen Partnern aus der Region Grand'Est führt das IUAS viele Aufträge und geförderte Forschungsvorhaben durch und transferiert seine Ergebnisse zurück in Praxis und Gesellschaft.

Hervorzuheben ist an dieser Stelle das Forschungsprojekt ELCOD (Endurance Low COST Drone, [www.elcod.eu](http://www.elcod.eu)), das 2020 erfolgreich zum Abschluss gebracht werden kann (vgl. Folgeartikel). Aktuell nehmen sowohl die Nachfrage als auch die Aktivitäten im Bereich der unbemannten Luftfahrt stark zu. Zum einen, da das neue Luftfahrtrecht den Erfordernissen von UAVs mehr Rechnung trägt und zum anderen, weil unbemannte Flugsysteme zunehmend als ernsthafte konkurrenzfähige Lösungen für technische Problemstellungen gesehen werden. Als Teil dieser interessanten Pionieraufgabe freut sich das IUAS, einen Forschungs- und Entwicklungsbeitrag leisten zu können.

Auch auf dem Bereich der Ultrawideband-Radar-Systeme wurden neue Forschungsarbeiten für bildgebende UWB-Radare in diversen Anwendungsbereichen akquiriert. Inspiriert durch Problemstellungen aus dem Bereich der Bauprüfung und Betoninspektion wurde ein erstes System erfolgreich realisiert. Aktuell bereits im Testbetrieb befinden sich Applikationen aus Anwendungsbereichen wie der Erfassung von Hindernissen bei Mähmaschinen oder der Detektion von Verunreinigungen in Lebensmitteln, was sehr hohe Ansprüche an das Radarsystem und die Rekonstruktionsalgorithmen stellt.

Viele spannende Aufgaben und Projekte liegen vor uns und eine Reihe herausfordernder Forschungsanträge sowie Anfragen aus der Industrie stehen aktuell zur Entscheidung – somit blicken wir auf eine weiterhin interessante Entwicklung unseres Instituts in der Zukunft! Bei Interesse treten Sie gern mit uns in Kontakt; auch im Rahmen der Lehre bietet das IUAS regelmäßig die Möglichkeit zu studentischen Projekten, Abschlussarbeiten sowie Promotionsthemen.

Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder (*Institutsleiter*)  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Ettrich (*Stv. Institutsleiter*)

# ELCOD: Endurance Low Cost Drone

Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder

Unbemannte Fluggeräte sind seit über 100 Jahren bekannt. Heutzutage sind insbesondere Multi-Kopter weit verbreitet – sowohl im professionellen als auch im privaten Bereich. Eher selten – und dann vorwiegend für militärische Zwecke – werden Langstreckendrohnen entwickelt und eingesetzt. Allerdings sind kostengünstige unbemannte Fluggeräte mit langer Flugzeit und Reichweite durchaus für kommerzielle Zwecke interessant, beispielsweise für Post- und Materialtransport in entlegenen Gebieten, für Messzwecke mit langer Messdauer (Luft- und Gasmessung), für Monitoring- und Überwachungsaufgaben usw. Das IUAS hat 2017 einen Auftrag von Interreg (Endurance Low Cost Drone, ELCOD) erhalten, zusammen mit der INSA/Strassburg eine derartige Drohne mit einer maximalen Abflugmasse von 25 kg für maximal 5 kg Nutzlast zu entwickeln. Hierbei soll insbesondere Augenmerk auf geringe Fertigungskosten gelegt werden. Zudem sollten sowohl klassische Motoren (IUAS/HSOG) als auch alternativ Brennstoffzellen (INSA) angewendet werden.

*Unmanned aircrafts have been known for over 100 years, and today multicopters are particularly widespread, both in the professional and private sector. Long-range drones are rarely developed and used - and then mainly for military purposes. However, low-cost unmanned aerial vehicles with long flight times and range are interesting for commercial purposes, for example for mail and material transport in remote areas, for measuring purposes with long measuring duration (air and gas measurement), for monitoring and surveillance tasks, etc.. IUAS received an order from Interreg (Endurance Low Cost Drone, ELCOD) in 2017 to develop such a drone with a maximum take-off mass of 25kg for a maximum payload of 5kg together with INSA/Strassburg. Particular attention will be paid to low manufacturing costs. In addition, both classic engines (IUAS/HSOG) and alternative fuel cells (INSA) should be used.*



Bei der Entwicklung liegt der Fokus darauf, dass die maximale Abflugmasse des UAV auf 25 kg begrenzt ist und die maximale Nutzlast aber 5 kg betragen soll; all dies bei geringen Herstellungs- und Betriebskosten. Partner in dem Projekt sind die INSA/Straßburg und die UNISTRA/Straßburg. Die Finanzierung erfolgt über Interreg und das Wissenschaftsministerium Baden-Württemberg.

Die Rekorde in der Gewichtsklasse liegen bei 55 Stunden Flugzeit und etwa 4.500 km Reichweite (eine Richtung). Mögliche Anwendungen für ELCOD sind Wetterdatenmessungen, Luftqualitätsüberwachung, Gewässerüberwachung, Transporte und ähnliches.

Die Herausforderungen liegen dabei insbesondere auf:

- harte Wetterbedingungen (Turbulenzen, Vereisung),
- eine lange Lebensdauer,
- hohe Zuverlässigkeit, möglicherweise intrinsische Sicherheit,
- sehr gute Aerodynamik,
- extremer Leichtbau und dennoch robust,
- sehr effizienter Motor und Propeller,
- sehr großer Tank,
- großer Nutzlastraum und -versorgung,
- eine leichte Bedien- und Wartbarkeit.



Abb. 1

Das aerodynamische Testmodell des Deltas im automatischen Start- und Landeanflug

Die Lösungswege dafür sind:

- einen bewährten 4-Takt-Industriemotor in einen Flugmotor mit Einspritzanlage, adaptiver Kühlung und Luftvorwärmung umzuentwickeln (Benzin hat die bei Weitem höchste Energiedichte),
- aerodynamisch und strukturbedingt eine optimale Luftfahrzeugkonfiguration zu ermitteln (sehr großer Tank, Nutzlastraum, intrinsische Sicherheit),
- die optimale Luftschaube zu ermitteln und gegebenenfalls neu zu entwickeln,
- eine optimale Materialauswahl sicherzustellen und Fertigungstechniken dafür zu entwickeln (Leichtbau),
- eine bewährte Flugregelung aus den IUAS-Helikoptern dafür zu modifizieren,
- die Entwicklung von Generator bzw. Stromversorgung des UAVs für Elektronik/Nutzlast,
- ein passendes Satellitenkommunikationssystem zu entwickeln (Iridiumnetz),
- einen Flugmanagementcomputer und entsprechende Software hierfür zu entwickeln,
- die Bodenstation für alles zu entwickeln.

Die Projektaufteilung unter den Partnern bei elcod ist folgend: INSA konzentriert sich auf einen alternativen Brennstoffzellenantrieb mit Elektromotor, das IUAS entwickelt „klassisch“ einen Benzinantrieb und UNISTRA ein Luftqualitätsmesssystem.

Es stellte sich schnell heraus, dass die Wahl des Antriebs einen sehr großen Einfluss auf die Aerodynamik und Bauweise hat. Der Grund liegt darin, dass der spezifische Treibstoffverbrauch bei einem Benzinmotor bei geringer Leistung sehr stark ansteigt. Es ist also in dem Fall besser, möglichst leicht zu bauen, um möglichst viel Treibstoff mitnehmen zu können. Das Gewicht spielt also die entscheidende Rolle. Beim Brennstoffzellenantrieb ist es vorteilhafter, auf bessere Aerodynamik als auf das Gewicht zu achten. Auch die Einbaumaße der Antriebe sind deutlich unterschiedlich; daher kam eine gemeinsame Zelle für beide Antriebe nicht in Frage. Letztendlich hat INSA auf die CFK/GFK-Bauweise gesetzt und das IUAS auf eine klassische Holzbauweise mit Bespannung.

Nach einigen Designansätzen fiel die Wahl beim IUAS auf einen Nurflügel, ein Delta mit einer Reisegeschwindigkeit von 110 km/h und einer minimalen Steigrate von 2,5 m/s. Spezifikationen, Filme usw. sind auf ELCOD.eu beziehungsweise ELCOD.de zu finden.

Folgend wurde ein aerodynamisches Testmodell des Deltas mit einem Elektroantrieb mit Lithiumpolymerzellen berechnet, gebaut und vielfach mit Meßequipment testgeflogen. Grund für diese Wahl war, dass ein Elektroantrieb im Flug leichter zu vermessen ist. Die beste Gleitzahl dieses Modells liegt bei 14. Das Abreißverhalten bei niedriger Geschwindigkeit ist wegen verschiedener Maßnahmen ausgezeichnet und es wurde bereits eine maximale Geschwindigkeit von 170 km/h geflogen. Die dicken Tragflächen erlauben innenliegende Treibstofftanks mit insgesamt 14 Liter Inhalt (ca. 10 kg Treibstoffmasse) und die Nutzlastbox hat ein Volumen von 30 Litern. Inzwischen fliegt dieses Modell vollautomatisch von Start bis Landung.

Zudem ist ein erstes Serienmodell für den Benzinmotor entworfen und bereits im Bau. Die Kühlluft des Motors wird bei diesem zur Enteisung der Profilnase des Flügels genutzt.

Parallel dazu wurde der Benzinmotor, ein Serien-50-ccm-Viertakt-Industriemotor, umgebaut und mit einer Einspritzanlage mit Breitbandlambdasonde versehen, deren Software aktuell noch optimiert wird. Die ersten Messungen an diesem Motor zeigen, dass der Treibstoffverbrauch im Reiseflug bei etwa 300 g/h liegen wird. Damit sind entsprechend lange Flugzeiten und Reichweiten zu erwarten.



Abb. 3: Flugvorbereitungen: Programmierung der Wegpunkte



Abb. 4: Flugvorbereitungen am Delta auf dem Startwagen

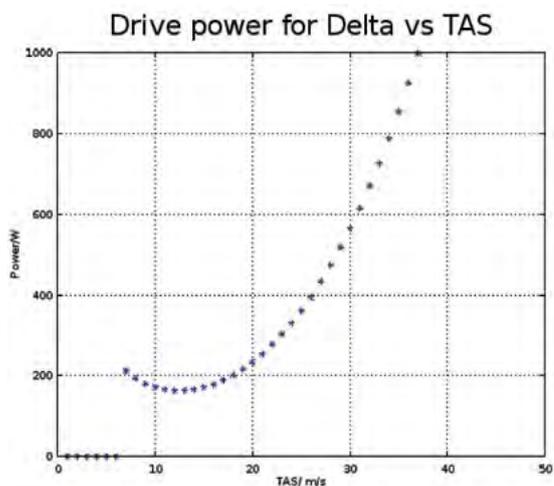


Abb. 2  
Erforderliche Wellenleistung über die Fluggeschwindigkeit (True Air Speed), errechnet aus Flugtestdaten und Propellerwirkungsgrad

**AUTOR**



Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder  
Leiter Institut IUAS  
w.schroeder@hs-offenburg.de

# IMLA – INSTITUTE FOR MACHINE LEARNING AND ANALYTICS

Machine Learning und Künstliche Intelligenz sind Schlüsseltechnologien und haben einen großen Einfluss auf den wirtschaftlichen Fortschritt sowie die gesellschaftliche Entwicklung. Das Institute for Machine Learning and Analytics (IMLA) ist seit Januar 2019 das Kompetenzzentrum für Künstliche Intelligenz und Machine Learning an der Hochschule. Aktuell sind 12 Professoren aus allen vier Fakultäten sowie Pfarrer Dr. Gernot Meier von der Evangelischen Landeskirche in Baden mit dem Schwerpunkt Digitale Ethik als externes Mitglied am Institut tätig.

IMLA beschäftigt sich in der Forschung u. a. mit der Speicherung und Analyse von großen Datenmengen, Architekturen für Large Scale Machine Learning, Autonomen Systemen und Grey Box Modelling – eine Kombination von datengetriebener und physikalischer Modellierung. Ethische Fragestellungen spielen bei Konzeption, Entwicklung und Einsatz intelligenter und prädiktiver Anwendungen eine zunehmend wichtige Rolle.

Für Unternehmen ist das IMLA Ansprechpartner und Kompetenzzentrum für Fragen rund um KI und Machine Learning. Der Weiterbildung von externen Beschäftigten kommt eine große Bedeutung zu und erfolgt u. a. im Rahmen des Projekts „Menschen Lernen Maschinelles Lernen“ sowie in einer jährlich stattfindenden Summer School zu Machine Learning.

Das IMLA betreibt eine umfangreiche Infrastruktur mit mehreren GPU- und Machine Learning Servern, die sowohl in der Forschung als auch in der Lehre eingesetzt werden. Die Mitglieder des IMLA haben es sich auch zum Ziel gesetzt, in den verschiedenen Studiengängen der Hochschule die Lehrveranstaltungen zu Machine Learning, Data Analytics etc. zu koordinieren und aufeinander abzustimmen.

Ein erfolgreicher Start des Jahres 2019 gelang dem IMLA mit der Gewinnung mehrerer Drittmittelprojekte, wie dem Polydome-KI zur Oberflächenkontrolle durch Deep Learning Algorithmen und dem KI-Labor Südbaden.

*Institutsleitung*  
Prof. Dr. rer. nat. Stephan Trahasch



Teilnehmende der Summer School Machine Learning in 2019

# Deepfake Detection

## Bildmanipulationen auf der Spur

Prof. Dr.-Ing. Janis Keuper

Künstliche Intelligenz (KI) hat auch viele Schattenseiten – eine davon sind die sogenannten „Deepfakes“: Mit aktuellen KI-Algorithmen lassen sich sehr einfach täuschend echt wirkende Manipulationen von Bild- und Videodaten erstellen. Ein Forschungsprojekt an der Hochschule hat nun einen neuen Ansatz gefunden, diese Fälschungen mit hoher Sicherheit zu erkennen.

*Generative AI models have recently achieved impressive results for many real-world applications, successfully generating high-resolution and diverse samples from complex datasets. Due to this improvement, fake digital contents have proliferated growing concern and spreading distrust in image content, leading to an urgent need for automated ways to detect these AI-generated fake images. A research project at the Institute for Machine Learning and Analytic (IMLA) is now investigating automatic detection algorithms to identify fake content. First results are very promising: a novel method developed in cooperation with Fraunhofer ITWM in Kaiserslautern and University of Mannheim achieved close to 100% accuracy on public fake detection benchmarks.*

In den letzten Jahren hat die KI-Forschung teilweise beeindruckende Fortschritte erzielt. Insbesondere im Bereich generativer Modelle, dies sind Algorithmen, die nicht nur Daten auswerten, sondern auch realistisch anmutende synthetische Daten erzeugen können, wurde mit sogenannten „Generative Adversarial Networks“ (GANs) ein Durchbruch erreicht, der auf „Deep Learning“-Algorithmen beruht.

Leider hat die GAN Technologie, wie viele andere auch, ihre negativen Nebenwirkungen. Schon kurze Zeit nach ihrer Einführung wurden GANs verwendet, um Bild und Audiodaten zu manipulieren: gefälschte, aber täuschend echte Bilder und Videos von Prominenten und Politikern wurden im Internet verbreitet. Diese Manipulationen wurden unter dem Begriff „Deepfake“ [1] bekannt. Die Abbildungen 1–3 zeigen einige Beispiele für synthetische („fake“) Gesichter, die für den menschlichen Betrachter kaum von echten (siehe Abb. 1) zu unterscheiden sind [3].



Abb. 1-3  
Synthetische (fake) Gesichter. Die Bilder wurden mit dem Ansatz von [4] generiert

Aufgrund der zu erwartenden gesellschaftlichen Auswirkungen, die mit einem vollständigen Vertrauensverlust in potenziell manipulierte Bild- und Audiodaten einhergehen würden, haben weltweit Forscherteams begonnen, Algorithmen zu entwickeln, die „Deepfakes“ automatisch erkennen können. Während die meisten derzeitigen Ansätze versuchen, wieder Lernalgorithmen einzusetzen, um die Manipulationen zu erkennen, ist eine Gruppe von Forschenden vom Institut für Machine Learning und Analytics (IMLA) der Hochschule Offenburg, des Fraunhofer Instituts für Technomathematik (ITWM) in Kaiserslautern und der Universität Mannheim einen anderen Weg gegangen: Bei ihren Analysen ist ihnen aufgefallen, dass GANs beim Generieren von Bildern inhärente Fehler machen. Diese sind zwar für das menschliche Auge kaum sichtbar, lassen sich mathematisch aber sehr leicht im Fourier-Raum abbilden.

Abb. 4 zeigt exemplarisch eine Auswertung mit der neuen, am IMLA entwickelten Methode [2]. Diese hat zu bestehenden Verfahren gleich mehrere Vorteile:

1. Der entdeckte GAN-Fehler ist systematisch bedingt. Daher ist es theoretisch unmöglich, dass GAN lernen können, den Detektor zu umgehen.
2. Es werden nur sehr wenige Beispieldaten benötigt, um „Deepfakes“ zuverlässig zu erkennen.
3. Die Methode ist sehr einfach zu implementieren und benötigt vergleichsweise wenig Rechenleistung.

Bei einer ersten Auswertung auf öffentlichen Testdaten erreichte der neue Ansatz eine Genauigkeit von nahezu 100 %.

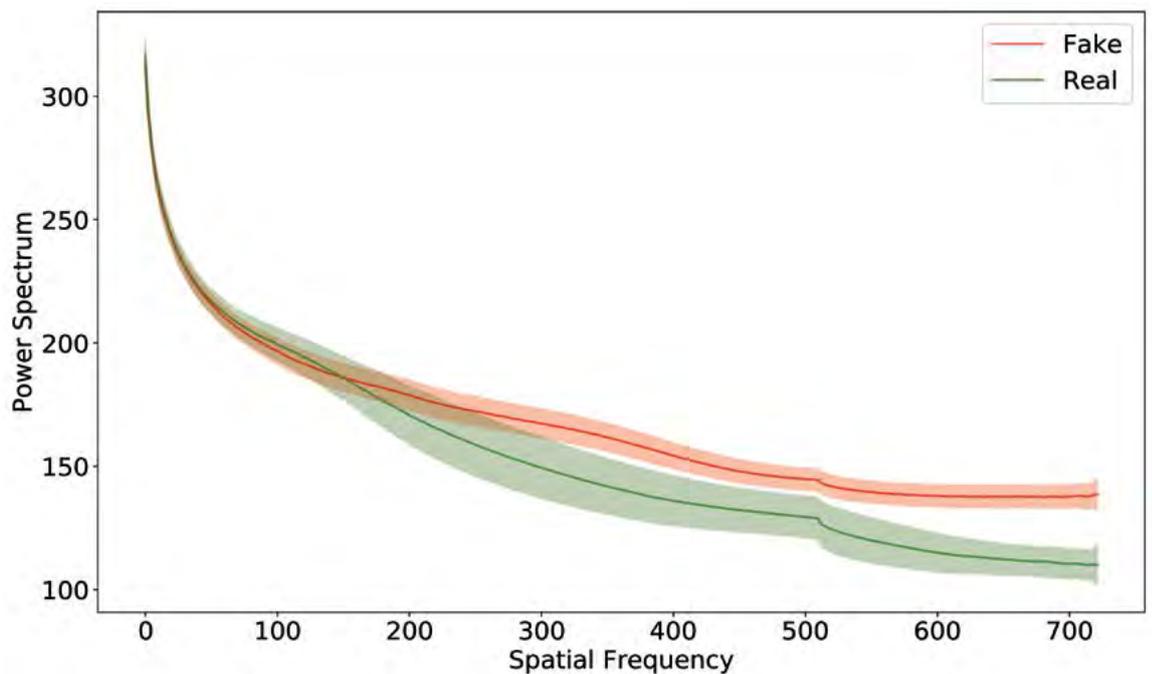


Abb. 4

ITWM Deepfake-Detektor: Nach der mathematischen Abbildung lassen sich echte und gefälschte Bilder leicht unterscheiden

Referenzen/References:

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Deepfake>
- [2] „Unmasking Deep Fakes with simple Features“, Ricard Durall, Margret Keuper, Franz-Josef Pfreundt, Janis Keuper, Pre-print: <https://arxiv.org/pdf/1911.00686.pdf>
- [3] Auf der Webseite <http://www.whichfaceisreal.com/> können Leser selbst testen ob Sie echte von generierten Gesichtern unterscheiden könnten.
- [4] Karras, Tero, Samuli Laine, and Timo Aila. “A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks.” 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (2019): n. pag. Crossref. Web.

AUTOR



Prof. Dr.-Ing. Janis Keuper  
 Institute for Machine Learning and Analytics (IMLA), MARKANT Stiftungsprofessur für Data Science and Analytics  
[janis.keuper@hs-offenburg.de](mailto:janis.keuper@hs-offenburg.de)

# Publikationen 2019

Kategorie: wissenschaftlich (peer reviewed)

Autor(en), Titel, Verlag

**Bantleon, Ulrich; Schmidt, Peter; Singler, Henrik:** Impulse für das Risikomanagement in Deutschland - COSO Enterprise Risk Management 2017. In: WPg- Die Wirtschaftsprüfung: Kompetenz schafft Vertrauen (21), S. 1134–1145. IDW Verlag GmbH. ISSN 0340-9031. (Einzelnachweis)

**Cadilha Marques, Gabriel; Seggern, Falk von; Dehm, Simone; Breitung, Ben; Hahn, Horst; Dasgupta, Subho; Tahoori, Mehdi Baradaran; Aghassi-Hagmann, Jasmin:** Influence of Humidity on the Performance of Electrolyte-Gated Transistors and Circuits. In: IEEE Transactions on Electron Devices 66 (5), S. 2202–2207. DOI: 10.1109/TED.2019.2903456

**Cadilha Marques, Gabriel; Weller, Dennis D.; Erozan, Ahmet Turan; Feng, Xiaowei; Tahoori, Mehdi Baradaran; Aghassi-Hagmann, Jasmin:** Progress Report on „From Printed Electrolyte Gated Metal Oxide Devices to Circuits“. In: Advanced Materials. Special Issue: Materials Research at Karlsruhe Institute of Technology 31 (26), S. 1806483. Online ISSN: 1521-4095. DOI: 10.1002/adma.201806483. (AG IV Ergänzungsliste)

**Carelli, Serena; Quarti, Michael; Yagci, Mehmet C.; Bessler, Wolfgang G.:** Modeling and Experimental Validation of a High-Power Lithium-Ion Pouch Cell with LCO/NCA Blend Cathode. In: Journal of The Electrochemical Society 166 (13), A2990-A3003. DOI: 10.1149/2.0301913jes

**Eichner, Fabian; Spangenberg, Bernd:** Optimized Determination of Caffeine, Equol, and Artemisinin by High-Performance Thin-Layer Chromatography–Direct Analysis in Real Time–Time of Flight–Mass Spectrometry. In: JPC - Journal of Planar Chromatography - Modern TLC 32 (3), S. 197–203. DOI: 10.1556/1006.2019.32.3.4

**Erozan, Ahmet Turan; Hefenbrock, Michael; Beigl, Michael; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Tahoori, Mehdi Baradaran:** Reverse Engineering of Printed Electronics Circuits: From Imaging to Netlist Extraction. In: IEEE Transactions on Information Forensics and Security 15, S. 475–486. DOI: 10.1109/TIFS.2019.2922237

**Feng, Xiaowei; Cadilha Marques, Gabriel; Rasheed, Farhan; Tahoori, Mehdi Baradaran; Aghassi-Hagmann, Jasmin:** Nonquasi-Static Capacitance Modeling and Characterization for Printed Inorganic Electrolyte-Gated Transistors in Logic Gates. In: IEEE Transactions on Electron Devices 66 (12), S. 5272–5277. DOI: 10.1109/TED.2019.2947787

**Feng, Xiaowei; Punckt, Christian; Cadilha Marques, Gabriel; Hefenbrock, Michael; Tahoori, Mehdi Baradaran; Aghassi-Hagmann, Jasmin:** Impact of Intrinsic Capacitances on the Dynamic Performance of Printed Electrolyte-Gated Inorganic Field Effect Transistors. In: IEEE Transactions on Electron Devices 66 (8), S. 3365–3370. DOI: 10.1109/TED.2019.2919933

**Grafinger, Katharina Elisabeth; Wilke, Andreas; König, Stefan; Weinmann, Wolfgang:** Investigating the ability of the microbial model *Cunninghamella elegans* for the metabolism of synthetic tryptamines. In: Drug Testing and Analysis 11 (5), S. 721–729. DOI: 10.1002/dta.2544

**Graumann, Matthias; Lehnen, Marc:** Analyse erwarteter Synergien mit Tornado-Diagrammen. In: DB- Der Betrieb 72 (43), S. 2361–2365. Online verfügbar unter <https://research.owlit.de/document/e268db21-ced8-3f9e-b1b2-c2ba6e31722d>. (AG IV Ergänzungsliste)

**Habib, Mustapha; Bollin, Elmar; Schmidt, Michael; Ladjici, Ahmed Amine:** One-day ahead predictive management of building hybrid power system improving energy cost and batteries lifetime. In: IET Renewable Power Generation 13 (3), S. 482–490. DOI: 10.1049/iet-rpg.2018.5454

**Hazime, Radwan; Seifert, Thomas; Chang, Cherng-Chi; Kassir, Abdallah; Sethy, Asok:** A Mechanism-Based Thermomechanical Fatigue Life Assessment Method for High Temperature Engine Components with Gradient Effect Approximation. In: SAE Technical Paper (2019-01-0536), S. 1–9. DOI: 10.4271/2019-01-0536. (AG IV Ergänzungsliste)

**Israel, Kai; Tscheulin, Dieter K.; Zerres, Christopher:** Virtual reality in the hotel industry: assessing the acceptance of immersive hotel presentation. In: European Journal of Tourism Research 21, S. 5–22. Online verfügbar unter <http://ejtr.vumk.eu/index.php/volume21/625-v21rp5>

**Israel, Kai; Zerres, Christopher; Tscheulin, Dieter K.:** Presenting hotels in virtual reality: does it influence the booking intention? In: Journal of Hospitality and Tourism Technology 10 (3), S. 443–463. DOI: 10.1108/JHTT-03-2018-0020

**Klasen, Andreas:** Strengthening Institutional Collaboration for Development and Economic Growth. In: Global Policy 10 (3), S. 397–400. DOI: 10.1111/1758-5899.12706

**Kupper, Christian; Spitznagel, Svenja; Döring, Harry; Danzer, Michael A.; Gutierrez, César; Kvasha, Andriy; Bessler, Wolfgang G.:** Combined modeling and experimental study of the high-temperature behavior of a lithium-ion cell: Differential scanning calorimetry, accelerating rate calorimetry and external short circuit. In: Electrochimica Acta 306 (306), S. 209–219. DOI: 10.1016/j.electacta.2019.03.079

**Lankau, Ralf:** Digitalisierung als Technik der Gegenauflärung. Steuerungsmechanismen am Beispiel Unterricht und Lernen. In: Psychoanalytische Familientherapie 38 (1/2019), S. 51–70. Online verfügbar unter [https://www.psycho-sozial-verlag.de/catalog/product\\_info.php/cPath/4000\\_4600/products\\_id/8276](https://www.psycho-sozial-verlag.de/catalog/product_info.php/cPath/4000_4600/products_id/8276). (Einzelnachweis)

**Lauer, Tobias; Datta, Amitava; Kaur, Amardeep; Chabbouh, Sami:** Exploiting Multi-Core and Many-Core Parallelism for Subspace Clustering. In: International Journal of Applied Mathematics and Computer Science 29 (1), S. 81–91. DOI: 10.2478/amcs-2019-0006

- Leible, Stephan; Schlager, Steffen; Schubotz, Moritz; Gipp, Bela:** A Review on Blockchain Technology and Blockchain Projects Fostering Open Science. In: *Frontiers in Blockchain 2*, Article 16. 28 Seiten. DOI: 10.3389/fbloc.2019.00016. (Einzelnachweis)
- Livotov, Pavel; Chandra Sekaran, Arun Prasad; Mas'udah; Law, Richard; Reay, David; Sarsenova, Arailym; Sayyareh, Shahin:** Eco-Innovation in Process Engineering: Contradictions, Inventive Principles and Methods. In: *Thermal Science and Engineering Progress 9*, S. 52–65. Elsevier. ISSN 2451-9049. DOI: 10.1016/j.tsep.2018.10.012. (Einzelnachweis)
- Maronga, Björn; Gross, Günter; Raasch, Siegfried; Banzhaf, Sabine; Forkel, Renate; Heldens, Wieke; Kanani-Sühring, Farah; Matzarakis, Andreas; Mauder, Matthias; Pavlik, Dirk; Pfaferott, Jens; Schubert, Sebastian; Seckmeyer, Gunther; Sieker, Heiko; Winderlich, Kristina:** Development of a new urban climate model based on the model PALM - Project overview, planned work, and first achievements. In: *Meteorologische Zeitschrift 9*, S. 1–22. DOI: 10.1127/metz/2019/0909
- Mayur, Manik; DeCaluwe, Steven C.; Kee, Benjamin L.; Bessler, Wolfgang G.:** Modeling and simulation of the thermodynamics of lithium-ion battery intercalation materials in the open-source software Cantera. In: *Electrochimica Acta 323*, S. 134797. DOI: 10.1016/j.electacta.2019.134797
- Mayur, Manik; Yagci, Mehmet C.; Carelli, Serena; Margulies, Peter; Velten, Dirk; Bessler, Wolfgang G.:** Identification of stoichiometric and microstructural parameters of a lithium-ion cell with blend electrode. In: *Physical Chemistry Chemical Physics 21* (42), S. 23672–23684. DOI: 10.1039/C9CP04262H
- Nasdala, Lutz; Blust, Andreas; Jüngel, Nikolas:** Zum Tragverhalten von geschraubten Stirnplattenstößen mit elastomerer Trennschicht. In: *Bauingenieur 94* (2), S. 63–70. Online verfügbar unter [https://www.bauingenieur.de/bauing/article.php?data\[article\\_id\]=91076](https://www.bauingenieur.de/bauing/article.php?data[article_id]=91076)
- Neidhardt, Jonathan Philipp; Bessler, Wolfgang G.:** Microkinetic Modeling of Nickel Oxidation in Solid Oxide Cells: Prediction of Safe Operating Conditions. In: *Chemie Ingenieur Technik 91* (6), S. 843–855. DOI: 10.1002/cite.201800197
- Neuper, Felix; Chandresh, Abhinav; Singaraju, Surya Abhishek; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Hahn, Horst; Breitung, Ben:** Tailoring Threshold Voltages of Printed Electrolyte-Gated Field-Effect Transistors by Chromium Doping of Indium Oxide Channels. In: *ACS Omega 4* (24), S. 20579–20585. DOI: 10.1021/acsomega.9b02513
- Nuß, Uwe:** Stabilitätsgesicherte Stellgrößenbegrenzungsstrategie für beliebige zeitdiskrete PI-Zustandsregler bei linearen zeitinvarianten Systemen. In: *at - Automatisierungstechnik 67* (4), S. 273–282. DOI: 10.1515/auto-2018-0118
- Otte, Andreas:** Pathophysiological interrelated deactivation/activation processes in the exhausted brain after whiplash injury. In: *Hellenic Journal of Nuclear Medicine 22* (2), S. 92–95. Online verfügbar unter [https://www.nuclmed.gr/wp/wp-content/uploads/2019/07/02.Otte\\_.pdf](https://www.nuclmed.gr/wp/wp-content/uploads/2019/07/02.Otte_.pdf)
- Peters, Vladimir; Spangenberg, Bernd:** Equol determination in cattle manure by HPTLC-DART-TOF-MS. In: *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies 42* (9-10), S. 311–316. DOI: 10.1080/10826076.2019.1585616
- Pfaferott, Jens; Reißmann, Sascha:** Messtechnische Evaluation von thermisch und elektrisch angetriebener Kälteerzeugung. In: *Gebäudetechnik in Wissenschaft & Praxis: GI 140* (04), S. 1–14. (AG IV Ergänzungsliste)
- Pupyrev, Pavel Dmitrievich; Nedospasov, Ilya; Mayer, Andreas P.:** Guided acoustic waves at the intersection of interfaces and surfaces. In: *Ultrasonics 95*, S. 52–62. DOI: 10.1016/j.ultras.2019.03.002
- Rasheed, Farhan; Hefenbrock, Michael; Beigl, Michael; Tahoori, Mehdi Baradaran; Aghassi-Hagmann, Jasmin:** Variability Modeling for Printed Inorganic Electrolyte-Gated Transistors and Circuits. In: *IEEE Transactions on Electron Devices 66* (1), S. 146–152. DOI: 10.1109/TED.2018.2867461
- Rösch, Tobias; Treffinger, Peter:** Cluster Analysis of Distribution Grids in Baden-Württemberg. In: *Energies 12* (20), S. 4016. DOI: 10.3390/en12204016
- Schleh, Manuela; Heinke, Matthias; Hörth, Johannes:** Esophageal electrode model and simulation of directed transesophageal electrical pacing of the spinal cord. In: *Current Directions in Biomedical Engineering 5* (1), S. 89–92. DOI: 10.1515/cdbme-2019-0023. (AG IV Ergänzungsliste)
- Seifert, Thomas; Hazime, Radwan; Chang, Cherng-Chi; Hu, Chao:** Constitutive Modeling and Thermomechanical Fatigue Life Predictions of A356-T6 Aluminum Cylinder Heads Considering Ageing Effects. In: *SAE Technical Papers* (2019-01-0534), S. 1–10. DOI: 10.4271/2019-01-0534. (AG IV Ergänzungsliste)
- Singaraju, Surya Abhishek; Baby, Tessa T.; Neuper, Felix; Kruk, Robert; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Hahn, Horst; Breitung, Ben:** Development of Fully Printed Oxide Field-Effect Transistors using Graphene Passive Structures. In: *ACS Applied Electronic Materials 1* (8), S. 1538–1544. DOI: 10.1021/acsaelm.9b00313
- Wehsener, Sandra; Heinke, Matthias; Müssig, Robin; Hörth, Johannes; Junk, Stefan; Schrock, Steffen:** 3d print of heart rhythm model with cryoballoon catheter ablation of pulmonary vein. In: *Current Directions in Biomedical Engineering 5* (1), S. 235–238. DOI: 10.1515/cdbme-2019-0060. (AG IV Ergänzungsliste)
- Weller, Dennis D.; Hefenbrock, Michael; Golanbari, Mohammad Saber; Beigl, Michael; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Tahoori, Mehdi Baradaran:** Bayesian Optimized Mixture Importance Sampling for High-Sigma Failure Rate Estimation. In: *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, S. 1–11. DOI: 10.1109/TCAD.2019.2961321
- Zimmermann, Lukas; Scholz, Alexander; Tahoori, Mehdi Baradaran; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Sikora, Axel:** Design and Evaluation of a Printed Analog-Based Differential Physical Unclonable Function. In: *IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems 27* (11), S. 2498–2510. DOI: 10.1109/TVLSI.2019.2924081
- Zirn, Stefan; Angermeier, Julian; Arndt, Susan; Aschen-dorff, Antje; Wesarg, Thomas:** Reducing the Device Delay Mismatch Can Improve Sound Localization in Bimodal Cochlear Implant/Hearing-Aid Users. In: *Trends in Hearing 23*, S. 1–13. DOI: 10.1177/2331216519843876.

# Publikationen 2019

*Kategorie: Dissertation*

*Autor(en), Titel, Verlag*

**Dongol, Deepranjan (2019):** Development and Implementation of Model Predictive Control for a Photovoltaic Battery System. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau Technische Fakultät Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK, Freiburg, 89 Seiten. Online verfügbar unter <https://freidok.uni-freiburg.de/data/149249>. DOI: 10.6094/UNIFR/149249. (Betreuer an der HSO: Prof. Elmar Bollin)

**Jilg, Andreas (2019):** Development and implementation of a cyclic plasticity model with thermal softening for hot work tool steel, 104 Seiten. DOI: 10.25673/25393. (Betreuer an der HSO: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert)

**Mittag, Steffen (2019):** Mechanismenbasierte Bewertung der Ermüdungslebensdauer von Metallen unter Berücksichtigung der Streuung der mechanischen Eigenschaften, 176 Seiten. DOI: 10.25673/25383. (Betreuer an der HSO: Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert)

**Speck, Franziska (2019):** Gütesiegel in der Markt-, Medien- und Sozialforschung. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 384 Seiten. DOI: 10.5771/9783748902119. (Betreuerin an der HSO: Prof. Dr. rer. pol. Ute Rohbock)

**Wozniak, Peter (2019):** Range imaging based obstacle detection for virtual environment systems and interactive metaphor based signalization, 192 Seiten. Online verfügbar unter <http://www.theses.fr/2019STRAD013>. (Betreuer an der HSO: Prof. Dr. Dan Curticepean)

*Kategorie: wissenschaftlich*

*Autor(en), Titel, Verlag*

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Die Umsetzung des Digitalpakts Schule als Herausforderung für Ganztagsschulen. In: Die Ganztagsschule 59 (1/2019), S. 13–24. Online verfügbar unter <https://www.ganztagsschulverband.de/zeitschrift-die-ganztagsschule/zeitschrift-die-ganztagsschule.html>

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Digital Leadership an Schulen erfordert klare Führung und Strategie. In: SchulVerwaltung Spezial 21 (1/2019), S. 8–12

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Rezension: Verlagspolitik in der Zeitungskrise - Theorien, Strukturen, Strategien. In: Medienwirtschaft 16. Jahrgang (1/2019), S. 44–45. Online verfügbar unter <https://www.medienwirtschaft-online.de/literatur/index.php?rubric=21>

**Breyer-Mayländer, Thomas; Ritter, Beate:** Damit Ganztagschule nicht aus dem Rahmen fällt. In: Die Ganztagschule 59 (1/2019), S. 67–73. Online verfügbar unter <https://www.ganztagsschulverband.de/zeitschrift-die-ganztagschule/zeitschrift-die-ganztagsschule.html>

**Drechsler, Dirk:** Das Geschäft mit dem Internet der Dinge. In: Management-Journal, S. 3–6. Online verfügbar unter <https://www.akademie-management.de/web/management-journal/home/-/blogs/das-geschäft-mit-dem-internet-der-dinge>

**Drechsler, Dirk:** Purpose - mehr als nur Versprechen. In: Management-Journal, S. 18–21. Online verfügbar unter <https://www.akademie-management.de/web/management-journal/home/-/blogs/purpose-mehr-als-nur-versprechen>

**Drechsler, Dirk:** Sharing Economy. In: Management-Journal, S. 10–13. Online verfügbar unter <https://www.akademie-management.de/web/management-journal/home/-/blogs/sharing-economy>

**Drechsler, Dirk:** Smart Cities und Big Data. In: Management-Journal, S. 3–6. Online verfügbar unter <https://www.akademie-management.de/web/management-journal/home/-/blogs/smart-cities-und-big-data>

**Drechsler, Dirk:** Unternehmerische Resilienz. In: Management-Journal, S. 14–17. Online verfügbar unter <https://www.akademie-management.de/web/management-journal/home/-/blogs/unternehmerische-resilienz>

**Durall Lopez, Ricaard; Keuper, Margret; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis:** Unmasking DeepFakes with simple Features: arXiv e-print, 8 Seiten. <https://arxiv.org/abs/1911.00686>

Durall Lopez, Ricaard; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis (2019): Semi Few-Shot Attribute Translation: arXiv e-print, 9 Seiten. <https://arxiv.org/abs/1910.03240>

**Durall Lopez, Ricaard; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis:** Stabilizing GANs with Octave Convolutions: arXiv e-print, 8 Seiten. <https://arxiv.org/abs/1905.12534>

**Ernst, Stefan:** Anforderungen an die Wirksamkeit in die Einwilligung zur E-Mail-Werbung im Zusammenhang mit der Teilnahme an einem Gewinnspiel. In: jurisPR-WettbR 9/2019, Anm. 6. Online verfügbar unter <https://www.juris.de/jportal/portal/t/16d9/page/homerl.phtml?cmsuri=/juris/de/startseite/dokvorschaueite.jsp&doc.id=JULU000523019&userHasToLogin=true&docpreview=true&showdoccase=1&metainfo=2>

**Ernst, Stefan:** Das Geschäftsgeheimnisgesetz - Praxisrelevante Aspekte der Umsetzung der EU Richtlinie 2016/943. In: Monatsschrift für deutsches Recht : Mdr, S. 897–903. Online verfügbar unter <https://www.mdr-recht.de/59558.htm>

**Ernst, Stefan:** Fortgeltung der Privilegierung des KUG für Journalisten unter der DSGVO. In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWIR (1/2019), S. 29–30. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-1-2019/ewir-2019-29-fortgeltung-der-privilegierung-des-kug-fuer-journalisten-unter-der-dsgvo/>

**Ernst, Stefan:** Irreführende Werbung durch Verweis auf Gesamtbewertungen bei Einflussnahme auf Einzelbewertungen. Anmerkung zu OLG Frankfurt. In: jurisPR-ITR 16/2019, Anm. 3. Online verfügbar unter <https://www.juris.de/jportal/portal/t/16d9/page/homerl.psm1?cmsuri=/juris/de/startseite/dokvorschauseite.jsp&doc.id=JULU000417419&userHasToLogin=true&docpreview=true&showdoccase=1&metainfo=2>

**Ernst, Stefan:** Irreführung durch Verwendung eines falschen Namens des Werbers. In: jurisPR-WettbR 8/2019, Anm. 6

**Ernst, Stefan:** Keine Verpflichtung des Unternehmers zur Angabe einer Telefonnummer („Amazon EU“). In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWiR (15/2019), S. 463–464. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-15-2019/ewir-2019-463-keine-verpflichtung-des-unternehmers-zur-angabe-einer-telefonnummer-amazon-eu/>

**Ernst, Stefan:** Markenverletzung durch Verwendung von Adwords bei Google-Suche („ORTLIEB II“). In: jurisPR-ITR 19/2019, Anm. 2. Online verfügbar unter <https://www.juris.de/jportal/portal/t/16d9/page/homerl.psm1?cmsuri=/juris/de/startseite/dokvorschauseite.jsp&doc.id=JULU000530219&userHasToLogin=true&docpreview=true&showdoccase=1&metainfo=2>

**Ernst, Stefan:** Online-Zahlungssystem der Deutschen Bahn unionsrechtswidrig („Verein für Konsumenteninformation“). In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWiR (23/2019), S. 709–710. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-23-2019/ewir-2019-709-online-zahlungssystem-der-deutschen-bahn-unionsrechtswidrig-verein-fuer-konsumenteninformation/>

**Ernst, Stefan:** Preisangaben und Inzahlungnahme. Anmerkung zu OLG Köln. In: jurisPR-WettbR 6/2019, Anm. 5. Online verfügbar unter <https://www.juris.de/jportal/portal/t/16d9/page/homerl.psm1?cmsuri=/juris/de/startseite/dokvorschauseite.jsp&doc.id=JULU000295319&userHasToLogin=true&docpreview=true&showdoccase=1&metainfo=2>

**Ernst, Stefan:** Rechtsverletzung durch Betrieb von Google Analytics ohne „anonymizeIP“. In: jurisPR-ITR 25/2019, Anm. 5. Online verfügbar unter <https://www.juris.de/jportal/portal/t/16d9/page/homerl.psm1?cmsuri=/juris/de/startseite/dokvorschauseite.jsp&doc.id=JULU000750819&userHasToLogin=true&docpreview=true&showdoccase=1&metainfo=2>

**Ernst, Stefan:** Störerhaftung des beworbenen Unternehmens bei unverlangter E-Mail-Werbung durch beauftragten Dritten. In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWiR (22/2019), S. 705–706. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-22-2019/ewir-2019-705-stoererhaftung-des-beworbenen-unternehmens-bei-unverlangter-e-mail-werbung-durch-beauftragten-dritten/>

**Ernst, Stefan:** Strenge Informationspflichten im E-Commerce. Anmerkung zu EuGH „Walbusch“. In: jurisPR-WettbR 2/2019, Anm. 1. Online verfügbar unter <https://www.juris.de/jportal/portal/t/16d9/page/homerl.psm1?cmsuri=/juris/de/startseite/dokvorschauseite.jsp&doc.id=JULU000086619&userHasToLogin=true&docpreview=true&showdoccase=1&metainfo=2>

**Ernst, Stefan:** Unlautere Veröffentlichung „gekaufter“ Kundenbewertungen auf Internetplattform. Anmerkung zu OLG Frankfurt. In: jurisPR-ITR 13/2019, Anm. 2. Online verfügbar unter <https://www.juris.de/jportal/portal/t/16d9/page/homerl.psm1?cmsuri=/juris/de/startseite/dokvorschauseite.jsp&doc.id=JULU000331919&userHasToLogin=true&docpreview=true&showdoccase=1&metainfo=2>

**Ernst, Stefan:** Verbraucherschutz durch „faire“ Algorithmen – eine Illusion. In: Verbraucher und Recht : VuR 34, S. 401–402. Online verfügbar unter <https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata%2fzeits%2fvUR%2f2019%2fcont%2fvUR%2e2019%2e401%2e1%2ehm>

**Ernst, Stefan:** Widerrufsrecht des Verbrauchers beim Kauf einer Matratze im Internet trotz Entferns der Schutzfolie („slewo“). In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWiR (8/2019), S. 235–236. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-8-2019/ewir-2019-235-widerrufsrecht-des-verbrauchers-beim-kauf-einer-matratze-im-internet-trotz-entferns-der-schutzfolie/>

**Ernst, Stefan:** Zu Webmailer (hier: Gmail) als Telekommunikationsdienst („Google“). In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWiR (18/2019), S. 573–574. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-18-2019/ewir-2019-573-zu-webmailer-hier-gmail-als-telekommunikationsdienst-google/>

**Ernst, Stefan:** Zulässiger Abschuss einer überfliegenden Drohne. In: computer und recht : CR (9/2019), S. 581–584. Online verfügbar unter [http://www.computerundrecht.de/50300\\_ODY0.htm](http://www.computerundrecht.de/50300_ODY0.htm)

**Ernst, Stefan:** Zur Beweisführung durch Vorlage von Screenshots. In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWiR (10/2019), S. 319–320. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-10-2019/ewir-2019-319-zur-beweisuehrung-durch-vorlage-von-screenshots/>

**Ernst, Stefan:** Zur Zulässigkeit presserechtlicher Informationsschreiben einer Anwaltskanzlei. In: Entscheidungen zum Wirtschaftsrecht: EWiR (9/2019), S. 285–286. Online verfügbar unter <https://www.ewir-online.de/heft-9-2019/ewir-2019-285-zur-zulaessigkeit-presserechtlicher-informationsschreiben-einer-anwaltskanzlei/>

**Ernst, Stefan; Jachmann-Michel, Monika; Radke, Holger; Voelke, Thomas; Weth, Stephan; Winterhoff, Christian:** Wettbewerbsrechtliche Zulässigkeit von Inkassoschreiben. In: Juris : die Monatszeitschrift (JM) (1/2019), S. 10–12. Online verfügbar unter [https://www.juris.de/jportal/cms/remote\\_media/media/jurisde/pdf/juris\\_jm/jm\\_2019\\_1.pdf](https://www.juris.de/jportal/cms/remote_media/media/jurisde/pdf/juris_jm/jm_2019_1.pdf). Klases, Andreas; Bärtl, Mathias (2019): Strategic benchmarking – an ECA and Exim-Bank best practice approach. In: Berne Union Yearbook 2019, S. 148–151. Online verfügbar unter <https://www.berneunion.org/Publications>

**Korn, Oliver:** Soziale Roboter – Einführung und Potenziale für Pflege und Gesundheit. In: Wirtschaftsinformatik & Management 11 (3), S. 126–135. DOI: 10.1365/s35764-019-00187-5

**Lankau, Ralf:** Bildung als Prozess zur Mündigkeit vs. digitale Vermessenheit. In: Katholische Bildung 120 (7/8), Seite 145–155

**Otte, Andreas:** Hatte Maria einen Jodmangel? In: Münchner Medizinische Wochenschrift - Fortschritte der Medizin 161 (21-22), S. 7. DOI: 10.1007/s15006-019-1206-0. (1 Seite)

**Otte, Andreas:** Johann Sebastian Bach: Die Handspanne in seinen Werken. In: Archiv für Kriminologie 243 (1+2), S. 63–65

**Otte, Andreas:** Johann Sebastian Bach's remains: Part III – the pathography. In: Archiv für Kriminologie 244 (3+4), S. 116–121

**Puttkamer, Johannes von; Zerres, Christopher:** So funktioniert E-Commerce mit Alexa & Co. In: marketing BÖRSE, 06.05.2019. 2 Formseiten. Online verfügbar unter <https://www.email-marketing-forum.de/fachartikel/details/1918-so-funktioniert-e-commerce-mit-alexa-co/156647>

**Romanov, Alexey M.; Gringoli, Francesco; Sikora, Axel:** Wireless synchronization of onboard computing devices through WiFi. In: TRUDY MAI (108), S. 1–26. DOI: 10.34759/trd-2019-108-13

**Tajan, Louis; Westhoff, Dirk; Armknecht, Frederik:** Private Set Relations with Bloom Filters for Outsourced SLA Validation. IACR Cryptology ePrint Archive 2019: 993 (2019), 29 Seiten. Online verfügbar unter <https://eprint.iacr.org/2019/993>

**Trahasch, Stephan; Fülling, Hanna; Meier, Gernot:** Machine Learning als Schlüsseltechnologie für Digitalisierung: Wie funktioniert maschinelles Lernen? In: Die digitale Revolution und ihre Kinder. Brennpunkte digitaler Ethik (EZW-Texte) (264), S. 9–20. Online verfügbar unter [https://www.ezw-berlin.de/html/119\\_10333.php](https://www.ezw-berlin.de/html/119_10333.php)

**Weinert, Oliver; Otte, Andreas:** 3-D CAD-Rekonstruktion der ersten „Eisernen Hand“ des Reichsritters Gottfried von Berlichingen (1480–1562) – 2. Fortsetzung: Funktionsprüfung eines Umbaus zu einem sensomotorischen, kontrollergesteuerten intelligenten Fingersystem. In: Archiv für Kriminologie 243 (3+4), S. 126–132

---

*Kategorie: Buch und Buchbeiträge*

*inkl. Herausgeberschaft*

*Autor(en), Titel, Verlag*

---

**Breyer-Mayländer, Thomas; Keil, Matthias (Hg.):** Kundengewinnung und Kundenbindung bei Presse-abonnements. Aktuelle Methoden und praktische Erfahrungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, X, 97 Seiten

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Bedeutung des Abonnements im Verlagsgeschäft als Säule des Paid-Content. In: Thomas Breyer-Mayländer und Matthias Keil (Hg.): Kundengewinnung und Kundenbindung bei Presseabonnements. Aktuelle Methoden und praktische Erfahrungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 1–11

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Hintergrund: Abomarketing im Umfeld disruptiver und nichtdisruptiver Veränderungen aus wissenschaftlicher und praktischer Perspektive. In: Thomas Breyer-Mayländer und Matthias Keil (Hg.): Kundengewinnung und Kundenbindung bei Presseabonnements. Aktuelle Methoden und praktische Erfahrungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 67–91

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Kundenmanagement in der Medienbranche und crossmediale Optimierung der Abonnementstruktur. In: Thomas Breyer-Mayländer und Matthias Keil (Hg.): Kundengewinnung und Kundenbindung bei Presseabonnements. Aktuelle Methoden und praktische Erfahrungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 35–46

**Wildner, Alexandra; Breyer-Mayländer, Thomas:** Innovative Neukundengewinnung und digitale Wege zum Leser von Morgen. In: Thomas Breyer-Mayländer und Matthias Keil (Hg.): Kundengewinnung und Kundenbindung bei Presseabonnements. Aktuelle Methoden und praktische Erfahrungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 27–34

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Die Kultur der Macht: Politische Kommunikation zwischen Artefakten, Manipulation und Repräsentation. 1. Aufl. Augsburg und München: Hampp Verlag, 170 Seiten (Hamburger Schriften zur Marketingforschung, 99)

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Die Umsetzung des Digitalpakts für Schulen als Herausforderung für die Schul-PR. In: Öffentlichkeitsarbeit macht Schule. Ein praxisorientiertes Handbuch zur Umsetzung von PR an Schulen (Loseblatt-Sammlung). Neuwied: Wolters Kluwer, S. 45–55

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Wertebasierte Beziehungsarbeit – Pädagogisches Credo, Führungsprinzip und Kernbotschaft der Öffentlichkeitsarbeit. In: Öffentlichkeitsarbeit macht Schule. Ein praxisorientiertes Handbuch zur Umsetzung von PR an Schulen (Loseblatt-Sammlung). Neuwied: Wolters Kluwer, S. 41–53

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Marketing für Kommunalverwaltung und Kommunalpolitik. Kommunikations- und Partizipationsstrategien für das Gemeinwohl vor Ort. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, X, 58 Seiten

**Breyer-Mayländer, Thomas; Zerres, Christopher (Hg.):** Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, IX, 550 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/smart-cities/16876758>

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Personalmarketing. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 87–102

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Stadtentwicklung. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 39–85

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Stakeholder-Management. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 25–38

**Grau, Caroline; Zerres, Christopher; Wißmann, Kai:** Instagram Stories am Beispiel des Projektes Bamberg VR Tours. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 533–550

- Zerres, Christopher:** Grundlagen eines Stadtmarketing. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 3–24
- Zerres, Christopher:** Kommunikationspolitik im Stadtmarketing. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 121–140
- Zerres, Christopher:** Markenmanagement im Stadtmarketing. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 103–119
- Zerres, Christopher; Zerres, Michael:** Leuchtturmmarketing. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 333–338
- Drechsler, Dirk (Hg.):** Schutz vor Social Engineering. Angriffspunkte und Abwehrmöglichkeiten in digitalwirtschaftlichen Ökosystemen. 1. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 217 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.compliancedigital.de/978-3-503-18860-4>
- Drechsler, Dirk:** Digitalwirtschaftliche Ökosysteme – das neue Organisationsparadigma. In: Dirk Drechsler (Hg.): Schutz vor Social Engineering. Angriffspunkte und Abwehrmöglichkeiten in digitalwirtschaftlichen Ökosystemen. 1. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 25–53
- Drechsler, Dirk:** Eine etwas andere Einleitung. In: Dirk Drechsler (Hg.): Schutz vor Social Engineering. Angriffspunkte und Abwehrmöglichkeiten in digitalwirtschaftlichen Ökosystemen. 1. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, Seite 19–23
- Drechsler, Dirk:** Risiken digitalwirtschaftlicher Ökosysteme. In: Dirk Drechsler (Hg.): Schutz vor Social Engineering. Angriffspunkte und Abwehrmöglichkeiten in digitalwirtschaftlichen Ökosystemen. 1. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, Seite 55–88
- Drechsler, Dirk:** Zusammenfassung und Fazit. In: Dirk Drechsler (Hg.): Schutz vor Social Engineering. Angriffspunkte und Abwehrmöglichkeiten in digitalwirtschaftlichen Ökosystemen. 1. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, Seite 211–217
- Drechsler, Dirk; Schmid, Marco Dennis:** Social Engineering Kill Chain. In: Dirk Drechsler (Hg.): Schutz vor Social Engineering. Angriffspunkte und Abwehrmöglichkeiten in digitalwirtschaftlichen Ökosystemen. 1. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, S. 171–209
- Hertwig, Otmar; Drechsler, Dirk:** Social Engineering aus Sicht der Polizei. In: Dirk Drechsler (Hg.): Schutz vor Social Engineering. Angriffspunkte und Abwehrmöglichkeiten in digitalwirtschaftlichen Ökosystemen. 1. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag, Seite 89–118
- Drechsler, Dirk:** Smart Cities. Governance, Big Data und Anwendungsbeispiele. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Stadtmarketing. Grundlagen, Analysen, Praxis. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 403–428
- Fetzner, Daniel; Dornberg, Martin; Reuß, Jürgen; Trinkner, Sekine:** ABSCHIED VOM AUSSSEN. Eine Suchbewegung nach dem Terrestrischen. 47 Seiten. ISBN 978-3-943301-27-4. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-38370>
- Frese, Erich; Graumann, Matthias; Talaulicar, Till; Theuvsen, Ludwig:** Grundlagen der Organisation. Entscheidungsorientiertes Konzept der Organisationsgestaltung. 11. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, XIV, 642 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783658270537>
- Giel, Dominik; Harten, Ulrich:** Brückenkurs Physik. MIN-Testanforderungen fürs Studium. 1. Aufl. Berlin: Springer Spektrum, IX, 195 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783662595527>
- Haneke, Uwe; Trahasch, Stephan; Zimmer, Michael; Felden, Carsten (Hg.):** Data Science. Grundlagen, Architekturen und Anwendungen. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH, 336 Seiten
- Haneke, Uwe; Trahasch, Stephan; Zimmer, Michael; Felden, Carsten:** Einleitung. In: Uwe Haneke, Stephan Trahasch, Michael Zimmer und Carsten Felden (Hg.): Data Science. Grundlagen, Architekturen und Anwendungen. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH, S. 1–15
- Trahasch, Stephan; Felden, Carsten:** Grundlegende Methoden der Data Science. In: Uwe Haneke, Stephan Trahasch, Michael Zimmer und Carsten Felden (Hg.): Data Science. Grundlagen, Architekturen und Anwendungen. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH, S. 65–100
- Junk, Stefan:** Fusion 360 – kurz und bündig. Praktischer Einstieg in Cloud-CAD mit Anwendungsbeispiel für 3D-Druck. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, IX, 2103 Seiten
- Klasen, Andreas (Hg.):** The Handbook of Global Trade Policy. 1. Aufl. Oxford: Wiley-Blackwell, 624 Seiten
- Klasen, Andreas:** Quo Vadis, Global Trade. In: Andreas Klasen (Hg.): The Handbook of Global Trade Policy. 1. Aufl. Oxford: Wiley-Blackwell, S. 3–21
- König, Christina; Hertle, Christian; Tenberg, Ralf; Stockinger, Christopher:** Demografiesensible betriebliche Kompetenzentwicklung in der Produktion – das Projekt ZielKom. In: Volker Heyse, John Erpenbeck und Stefan Ortmann (Hg.): Kompetenzen voll entfaltet. Praxisberichte zum Kompetenzmanagement. Münster: Waxmann, S. 221–240. Online verfügbar unter <http://waxmann.ciando.com/ebook/bid-2675112-kompetenzen-voll-entfaltet-praxisberichte-zum-kompetenzmanagement/inhalte/>
- Korn, Oliver (Hg.):** Social Robots: Technological, Societal and Ethical Aspects of Human-Robot Interaction. 1. Aufl. Cham: Springer International Publishing, xiii, 288 Seiten (Human-Computer Interaction Series). Online verfügbar unter <https://www.springer.com/gp/book/9783030171063>
- Fron, Christian; Korn, Oliver:** A Short History of the Perception of Robots and Automata from Antiquity to Modern Times. In: Oliver Korn (Hg.): Social Robots: Technological, Societal and Ethical Aspects of Human-Robot Interaction. 1. Aufl. Cham: Springer International Publishing (Human-Computer Interaction Series), S. 1–12

**Lankau, Ralf:** Datengestütztes Bildungscontrolling statt Bildung? In: Wolfgang Böttcher, Ulrich Heinemann und Botho Priebe (Hg.): Allgemeinbildung im Diskurs. Plädoyer für eine Kernaufgabe der Schule. Wien: Klett-Kallmayer, Seite 221–237

**Lankau, Ralf:** Lehrpersönlichkeit statt Avatar: Soziale Aspekte der Digitalisierung. In: Pascal Frey, Stephan Baumgartner und Andreas Pfister (Hg.): Neuland Digitalisierung. Aarau: VSDL, S. 164–181

**Miclau, Christina; Müller, Andrea; Gast, Oliver:** Möglichkeiten der Conversion-Optimierung. In: Torsten Schwarz und Stefan Schulte (Hg.): Leitfaden Customer Experience. Waghäusel: marketing Börse, S. 199–210

**Möller, Thor; Görner, Martin; Rietz, Steffen (Hg.):** Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM4). Handbuch für Praxis und Weiterbildung im Projektmanagement. 1. Aufl. Nürnberg: GPM, 1700 Seiten (Bundle (Band 1 + 2)). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-39688>

**Rietz, Steffen; Roeschlein, Ralf:** Normen und Standards im Projektmanagement. In: Thor Möller, Martin Görner und Steffen Rietz (Hg.): Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM4). Handbuch für Praxis und Weiterbildung im Projektmanagement, Bundle (Band 1 + 2). 1. Aufl. Nürnberg: GPM (Bundle (Band 1 + 2)), S. 182–215. Online verfügbar unter [https://www.gpm-ipma.de/know\\_how/publikationen/gpm\\_buecher/kompetenzbasiertes\\_projektmanagement\\_pm4.html](https://www.gpm-ipma.de/know_how/publikationen/gpm_buecher/kompetenzbasiertes_projektmanagement_pm4.html)

**Rietz, Steffen; Schneider, Lorenz:** Internationale Projektarbeit. In: Thor Möller, Martin Görner und Steffen Rietz (Hg.): Kompetenzbasiertes Projektmanagement (PM4). Handbuch für Praxis und Weiterbildung im Projektmanagement, Bundle (Band 1 + 2). 1. Aufl. Nürnberg: GPM (Bundle (Band 1 + 2)), S. 216–261. Online verfügbar unter [https://www.gpm-ipma.de/know\\_how/publikationen/gpm\\_buecher/kompetenzbasiertes\\_projektmanagement\\_pm4.html](https://www.gpm-ipma.de/know_how/publikationen/gpm_buecher/kompetenzbasiertes_projektmanagement_pm4.html)

**Nasdala, Lutz:** Mathematik 2 Beweisaufgaben. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, ix, 333 Seiten (2). Online verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783658274320>

**Otte, Andreas:** Functional Neuroimaging in Whiplash Injury: New Approaches. 2. Aufl. Cham, Schweiz: Springer, XIV, 62 Seiten. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-16215-3>

**Reich, Michael; Zerres, Christopher (Hg.):** Handbuch Versicherungsmarketing. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, XXXVII, 657 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783662577547>

**Rietz, Steffen:** Projektmanagementstandards für projektorientierte Unternehmen. In: Michael Lang und Reinhard Wagner (Hg.): Der Weg zum projektorientierten Unternehmen (Wissen für Entscheider). München: Carl Hanser Verlag, S. 267–288

**Säwert, Markus; Riempp, Roland:** Digital Storytelling im Web am Beispiel von scroll-activated animations. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 282 Seiten

**Schmidt, Herbert; Korth, Jörg-Dieter; Machura, Gregor; Podleschny, Ralf; Kammel, Christian; Volz, Michael:** Ausführung von Stahlbauten. Kommentare zu DIN EN 1090-2 und DIN EN 1090-4. 2. Aufl. Berlin: Beuth Verlag, 736 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/publikation/ausfuehrung-von-stahlbauten/272706371>

**Schwarz, Sybille:** Die Wörz'sche Heuristik. In: Bernd Banke (Hg.): Von Brücken, Menschen und Systemen : Festschrift für Michael Wörz. Reutlingen, S. 97–103. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/336439532\\_Die\\_Worzsche\\_Heuristik](https://www.researchgate.net/publication/336439532_Die_Worzsche_Heuristik)

**Schwarz, Sybille:** Governance in der vernetzten Wirtschaft. Unternehmensaufsicht im Spannungsfeld von Management, Ökonomie und Gesellschaft. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 166 Seiten (Edition Governance). Online verfügbar unter <http://www.esv.info/978-3-503-18272-5>

**Volz, Michael; Kuhlmann, Ulrike; Spiegler, Jennifer; Schmidt-Rasche, Christina; Hildebrand, Jörg; Günther, Hans-Peter:** Geschweißte Verbindungen höherfester Stähle. In: Ulrike Kuhlmann (Hg.): Stahlbau-Kalender 2019: Verbindungen, Digitales Planen und Bauen, Bd. 21. Berlin: Ernst & Sohn, S. 265–308. Online verfügbar unter <https://www.ernst-und-sohn.de/stahlbau-kalender-2019>

**Weber, Jörg-Andreas:** Fallsammlung Internationales Steuerrecht: Fälle 18-35, 40-44, 83-85, 116-118, 120, 126, 128-136 und 139. In: Kay-Michael Wilke (Hg.): Fallsammlung Internationales Steuerrecht. 13. Aufl. Herne: NWB Verlag, S. 34–254. Online verfügbar unter <https://datenbank.nwb.de/Dokument/Anzeigen/769877/>

**Wiedemann, Harald:** Numerische Physik. Ausgewählte Beispiele der Theoretischen Physik mit C++. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 360 Seiten

#### Konferenzveröffentlichungen

*Autor(en), Titel, Konferenz/Verlag*

**Ahmad, Afzal; Pasha, Muhammad Adeel; Schappacher, Manuel; Belhouichet, Assila; Masud, Shahid; Sikora, Axel:** Multi-hop Routing Implementation in Spatially Distributed Wireless Sensor Networks for Large-Scale Environmental Monitoring Applications. In: 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAA-CS) 18-21 Sept. 2019, Metz: IEEE, S. 111–116

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Regional koordinierte digitale Bildungsprojekte. In: Ralf Lankau und Paula Bleckmann (Hg.): Digitale Medien und Unterricht. Eine Kontroverse. Sammelband der pädagogischen Tagung futur iii 2018 (FH Offenburg). 1. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz, S. 144–156

**Chatzimichailidis, Avraam; Pfreundt, Franz-Josef; Gauger, Nicolas R.; Keuper, Janis:** GradVis: Visualization and Second Order Analysis of Optimization Surfaces during the Training of Deep Neural Networks. In: Proceedings of ML-HPC 2019: 5th Workshop on Machine Learning in HPC Environments, S. 66–74. DOI: 10.1109/MLHPC49564.2019.00012

**Christ, Andreas; Quint, Franz (Hg.):** Artificial Intelligence. From Research To Application. The Upper-Rhine Artificial Intelligence Symposium (UR-AI 2019), Offenburg, March 13, 2019, 117 Seiten

**Curticapean, Dan; Vauderwange, Oliver; Heitz, Benjamin:** Art and Photonics. In: Proceedings Volume 11143, Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019; Quebec City, Quebec, Canada, Bd. 11143: SPIE, 111431R-1-111431R-11. Online verfügbar unter <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11143/111431R/Art-and-photonics/10.1117/12.2523415.full>

**Curticapean, Dan; Vauderwange, Oliver; Heitz, Benjamin:** Astronomical events and their impact on knowledge transfer in optics and photonics. In: Proceedings Volume 11143, Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019; Quebec City, Quebec, Canada, Bd. 11143: SPIE, 1114310-1-1114310-10. Online verfügbar unter <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11143/1114310/Astronomical-events-and-their-impact-on-knowledge-transfer-in-optics/10.1117/12.2522847.full?SSO=1>

**Curticapean, Dan; Vauderwange, Oliver; Heitz, Benjamin:** International Day of Light (IDL): a new forum for interdisciplinary learning concepts in optics and photonics. In: Proceedings Volume 11143, Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019; Quebec City, Quebec, Canada, Bd. 11143: SPIE, 1114334-1-1114334-9. Online verfügbar unter <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11143/1114334/International-Day-of-Light-IDL--a-new-forum-for/10.1117/12.2523411.full>

**Curticapean, Dan; Wozniak, Peter; Capobianco, Antonio; Javahiraly, Nicolas:** Depth Sensor Based Detection of Obstacles and Notification for Virtual Reality Systems. In: Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design, Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors and Wearable Technologies, and the AHFE International Conference on Game Design and Virtual Environments, July 24-28, 2019, Washington D.C., USA. Cham: Springer, S. 271–282

**Daryusi, Ali; Köhler, Grit:** Using Eye Tracking Technology in Design - Possibilities and Limitations. In: New Perspectives in Science Education 8th Edition. Italy: Filodiritto Publisher, S. 173–179. Online verfügbar unter <https://conference.pixel-online.net/NPSE/files/npse/ed0008/FP/5310-ESM3595-FP-NPSE8.pdf>

**Degel, Jan Philipp; Klöffler, Christian; Doppelbauer, Martin; Wondrak, Wolfgang; Gullone, Giorgio:** A Novel Approach of High Dynamic Current Control of Interior Permanent Magnet Synchronous Machines. In: Jan Philipp Degel (Hg.): EPE'19 ECCE Europe. Genua, S. 5. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/8915058>

**Dittmann, Anna; Kober, Patrick; Lorenz, Elke; Villegas Mier, Oscar; Ruf, Holger; Schmidt, Michael:** Optimierung der PV-Speisung von Wärmepumpen durch Kurzfristprognosen mit Wolkenkameras. In: 34. PV-Symposium 2019: 19. bis 21. März 2019, Kloster Banz, Bad Staffelstein Pforzheim, Conexio 2019. Pforzheim: Conexio GMBH, S. 433–452

**Dongol, Deepranjan; Feldmann, Thomas; Bollin, Elmar; Schmidt, Michael:** A MPC Based Peak Shaving Application for a Household with Photovoltaic Battery System. In: Smart cities, green technologies and intelligent transport systems: 7th International Conference, SMARTGREENS, and 4th International Conference, VEHITS 2018, Funchal-Madeira, Portugal, March 16-18, 2018 : revised selected papers. Cham, Switzerland: Springer, S. 44–66

**Durall Lopez, Ricaard; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis:** Object Segmentation Using Pixel-Wise Adversarial Loss. In: DAGM GCPR 2019: Pattern Recognition, LNCS 11824. Cham: Springer, S. 303–316

**Ehret, Karl; Heinke, Matthias; Hörth, Johannes; Schilling, Lukas:** Electromagnetic and thermal simulation of supra-ventricular tachycardia catheter ablation. In: Europace, Bd. 21, ii159

**Elayanithottathil, Jubin Sebastian; Schappacher, Manuel; Sikora, Axel:** Unified Test Environment for LPWAN and Cellular IoT. In: Proceedings of embedded world Conference 2019, Nuremberg, Germany, 26.-28.02.2019. Haar: WEKA FACHMEDIEN GmbH, S. 187–191. Online verfügbar unter <https://www.elektroniknet.de/international/proceedings-provides-nearly-1-000-pages-and-more-than-175-papers-164279.html>

**Elayanithottathil, Jubin Sebastian; Sikora, Axel:** Performance Measurements of Narrowband-IoT Network in Emulated and Field Testbeds. In: 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 Sept. 2019, Metz: IEEE, S. 780–785

**Erozan, Ahmet Turan; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Tahoori, Mehdi Baradaran:** Inkjet Printed True Random Number Generator based on Additive Resistor Tuning. In: Proceedings of the Design Automation and Test in Europe Conference and Exhibition, 25-29 March 2019, Florence, Italy, Seite 1361–1366

**Gavrikov, Paul; Lai, Matthias; Wendt, Thomas:** A Low Power and Low Latency Scan Algorithm for Bluetooth Low Energy Radios with Energy Detection Mechanisms. In: Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile, S. 6

**Giel, Dominik:** Physik für Ingenieure: Ein Erfahrungsbericht zum „Blended Learning“. In: Helmuth Grötzebauch (Hg.): PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Aachen, 25.3. - 30.3.2019, S. 61–64. Online verfügbar unter <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/945>

**Göküs, Kerem; Heinke, Matthias; Hörth, Johannes; Schleh, Manuela:** Voltage field simulation of transesophageal left atrial pacing in combination with cardiac resynchronization therapy. In: Europace, Bd. 21, S. 700

**Hagen, Tobias; Freyburger, Klaus:** Umsetzung eines Fallbeispiels zu IBCS mit SAP Analytics Cloud. In: Karin Graeslund und Dietmar Kilian (Hg.): Proceedings SAP Academic User Group Meeting 2019. Wien, S. 1–2. Online verfügbar unter <https://resolver.obvsg.at/urn:nbn:at:at-ubtuw:3-5980>

**Heimburger, Louisa; Buchweitz, Lea; Gouveia, Ruben; Korn, Oliver:** Gamifying Onboarding: How to Increase Both Engagement and Integration of New Employees. In: Richard H.M Goossens und Atsuo Murata (Hg.): Advances in Social and Occupational Ergonomics. Cham: Springer International Publishing, S. 3–14. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/333655639\\_Gamifying\\_Onboarding\\_How\\_to\\_Increase\\_Both\\_Engagement\\_and\\_Integration\\_of\\_New\\_Employees](https://www.researchgate.net/publication/333655639_Gamifying_Onboarding_How_to_Increase_Both_Engagement_and_Integration_of_New_Employees)

**Hensel, Stefan; Marinov, Marin B.; Schwarz, Raphael; Topalov, Ivan:** Ground Sky Imager Based Short Term Cloud Coverage Prediction. In: Vladimir Poulkov (Hg.): FABULOUS 2019: Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures. Cham: Springer, S. 372–385

**Hensel, Stefan; Marinov, Marin B.; Sprich, Florian; Ganev, Borislav:** Image-Based Automated Hit Detection and Score Calculation on a Steel Dartboard. In: 2019 Second Balkan Junior Conference on Lighting (Balkan Light Junior), S. 4

**Himmelsbach, Urban; Wendt, Thomas; Hangst, Nikolai; Gawron, Philipp:** Single Pixel Time-of-Flight Sensors for Object Detection and Self-Detection in Three-Sectional Single-Arm Robot Manipulators. In: Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC), S. 250–253

**Isenmann, Ralph; Prinzbach, Jürgen; Trahasch, Stephan; Sänger, Volker; Lauer, Tobias; Hagen, Tobias; Dorer, Klaus:** Machine Learning: Menschen Lernen Maschinelles Lernen. In: Andreas Christ und Franz Quint (Hg.): Artificial Intelligence. From Research To Application. The Upper-Rhine Artificial Intelligence Symposium, OG, March 13, 2019, Seite 37–41

**Israel, Kai; Zerres, Christopher; Tschulin, Dieter K.; Buchweitz, Lea; Korn, Oliver:** Presenting Your Products in Virtual Reality: Do not Underestimate Cybersickness. In: HCI in Business, Government and Organizations. eCommerce and Consumer Behavior (Lecture Notes in Computer Science ; 11588). Cham: Springer Nature, S. 206–224. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/334371721\\_Presenting\\_Your\\_Products\\_in\\_Virtual\\_Reality\\_Do\\_not\\_Underestimate\\_Cybersickness](https://www.researchgate.net/publication/334371721_Presenting_Your_Products_in_Virtual_Reality_Do_not_Underestimate_Cybersickness)

**Junk, Stefan:** Case study on the application of a cloud-based CAD system in design teaching. In: AIP Conference Proceedings, Bd. 2116, id.230004

**Junk, Stefan; Gawron, Philipp; Schröder, Werner:** Development of an Additively Manufactured Adaptive Wing Using Digital Materials. In: Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM 19): Springer Nature, S. 49–59

**Junk, Stefan; Klerch, Benjamin:** Innovative method for Design Education for Additive Manufacturing using the example of the development of an ornithopter. In: INTED2019 Proceedings, S. 1321–1325

**Junk, Stefan; Klerch, Benjamin; Hochberg, Ulrich:** Structural Optimization in Lightweight Design for Additive Manufacturing. In: Goran D. Putnik (Hg.): Procedia CIRP, Bd. 84: Elsevier, S. 277–282

**Junk, Stefan; Niederhüfner, Michelle; Borkowska, Nina; Schrock, Steffen:** Direct Digital Manufacturing of Architectural Models using Binder Jetting and Polyjet Modeling. In: Architecture in the Age of the 4th Industrial Revolution eCAADe SIGraDi; 2019; Porto, Portugal International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe ; 37; 2019; Porto, Portugal eCAADe ; 37; 2019; Porto, Portugal Conference of the Iberoamerican Society Digital Graphics ; 23; 2019; Porto, Portugal SIGraDi ; 23; 2019; Porto, Portugal Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital ; 23; 2019; Porto, Portugal. Brussels, Rio de Janeiro, Porto: eCAADe (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe), S. 451–456

**Junk, Stefan; Schrock, Steffen; Schröder, Werner:** Additive tooling for thermoforming a cowling of an UAV using binder jetting. In: AIP Conference Proceedings 2113, S. 1–6

**Kallel, Ahmed Yahia; Uziel, Sebastian; Schappacher, Manuel; Sikora, Axel; Keutel, Thomas; Kanoun, Olfa:** A Cost-Efficient and Continuous Ethernet Cable Diagnosis Technique based on Undersampling. In: 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 Sept. 2019, Metz: IEEE, S. 695–700

**Käß, Hanno; Boin, Manuela; Braunmiller, Ulrich; Dambacher, Karl Heinz; Giel, Dominik; Harten, Ulrich et al.:** Mindestanforderungskatalog Physik – ein Vorschlag. In: Helmuth Grötzebauch (Hg.): PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Aachen, 25.3. - 30.3.2019, S. 73–78. Online verfügbar unter <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/930>

**Korn, Oliver; Rees, Adrian:** Affective Effects of Gamification: Using Biosignals to Measure the Effects on Working and Learning Users. In: Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. New York: ACM Press, S. 1–10. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/333366352\\_Affective\\_effects\\_of\\_gamification\\_using\\_biosignals\\_to\\_measure\\_the\\_effects\\_on\\_working\\_and\\_learning\\_users](https://www.researchgate.net/publication/333366352_Affective_effects_of_gamification_using_biosignals_to_measure_the_effects_on_working_and_learning_users)

**Lankau, Ralf; Bleckmann, Paula (Hg.):** Digitale Medien und Unterricht. Eine Kontroverse. Sammelband der pädagogischen Tagung futur iii 2018 (FH Offenburg). 1. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz, 184 Seiten

**Lankau, Ralf:** Vom Unterrichten zum Bildungscontrolling. In: Ralf Lankau und Paula Bleckmann (Hg.): Digitale Medien und Unterricht. Eine Kontroverse. Sammelband der pädagogischen Tagung futur iii 2018 (FH Offenburg). 1. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz, S. 54–68

**Le, Vy; Moser, Patrick; Lemmer, Uli; Mackensen, Elke:** A Comparison of Printed Flexible RFID/NFC Antennas for a Microelectronic Measurement System. In: 2019 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA) : Proceedings, S. 49–54

**Livotov, Pavel; Chandra Sekaran, Arun Prasad; Mas'udah; Law, Richard; Reay, David:** Education in systematic eco-innovation in environmental and process engineering. In: Steven Goh (Hg.): Proceedings of the 30th Annual Conference of the Australasian Association for Engineering Education - AAEE 2019 Brisbane, Australia, 8-11 Dec. Brisbane: The University of Southern Queensland (USQ), S. 1–7. Online verfügbar unter <https://www.researchgate.net/publication/338684871>

**Livotov, Pavel; Mas'udah; Chandra Sekaran, Arun Prasad:** Classification of TRIZ Inventive Principles and Sub-Principles for Process Engineering Problems. In: New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies, IFIP Advances in Information and Communication Technology book series (IFIPACT), Bd. 572. Cham: Springer Nature, S. 314–327

**Livotov, Pavel; Mas'udah; Chandra Sekaran, Arun Prasad:** Lower Abstraction Level of TRIZ Inventive Principles Improves Ideation Productivity of Engineering Students. In: New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies, IFIP Advances in Information and Communication Technology book series (IFIPACT), Bd. 572. Cham: Springer Nature, S. 526–538

**Livotov, Pavel; Mas'udah; Chandra Sekaran, Arun Prasad:** Sustainable Innovation in Process Engineering using Quality Function Deployment Approach and Importance-Satisfaction Analysis of Requirements. In: New Opportunities for Innovation Breakthroughs for Developing Countries and Emerging Economies, IFIP Advances in Information and Communication Technology book series (IFIPACT), Bd. 572. Cham: Springer Nature, S. 269–281

**Livotov, Pavel; Mas'udah; Chandra Sekaran, Arun Prasad; Law, Richard; Reay, David:** Ecological Advanced Innovation Design Approach for Efficient Integrated Upstream and Downstream Processes. In: Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design, Bd. 1. Cambridge: Cambridge University Press, S. 3291–3300

**Mackensen, Elke; Klose, Julius; Rombach, Axel; Spitznagel, Aaron:** Energy autonomous automation of Smart Home applications using the example of a wireless Indoor Smart Gardening system. In: 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) : Proceedings, S. 1087–1092

**Mackensen, Elke; Rombach, Axel; Spitznagel, Aaron; Klose, Julius:** Energieautark arbeitendes Indoor-Smart-Gardening-System mit drahtlosem Monitoring und automatisierter Bewässerung. In: Tagungsband 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2019. Wunstorf: AMA Service, S. 744–750

**Marinov, Marin B.; Topalov, Ivan; Hinov, Nikolay; Hensel, Stefan:** Mobile Platform for Particulate Matter Monitoring. In: 2019 International Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth (CREBUS), S. 6

**Miclau, Christina; Gast, Oliver; Wittmann, Anja; Hornecker, Achim; Hertel, Julius; Müller, Andrea:** Avoiding Mistakes in Medical High-Tech Treatments and E-Commerce Applications – a Salutary UX-Research Innovation. In: HCI in Business, Government and Organizations - Information Systems and Analytics: Springer Nature Switzerland AG, S. 306–322

**Moser, Patrick; Rank, Fabian; Mackensen, Elke:** Hochminiaturisiertes nicht-invasives Messsystem zur Erfassung von Vitalparametern bei Kleinstlebewesen mit drahtloser RFID-/NFC-Ausleseschnittstelle. In: Tagungsband 20. GMA/ITG-Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2019. Wunstorf: AMA Service, S. 86–92. Online verfügbar unter [978-3-9819376-0-2](https://www.ama-service.de/978-3-9819376-0-2)

**Müller, Andrea; Feldberger, Alexander; Miclau, Christina; Koch, Philipp; Walter, Lena; Feige, Sarah et al.:** Hidden Champions: A Study on Recruiting Top-Level Staff in Rural Areas. In: Fiona Fui-Hoon Nah und Keng Siau (Hg.): HCI in Business, Government and Organizations. Information Systems and Analytics. Cham: Springer International Publishing, S. 393–407. Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/hidden-champions-a-study-on-recruiting-top-level-staff-in-rural-/16912208>

**Müller, Daniel; Trahasch, Stephan:** Architecture of a Big Data Platform for a Semiconductor Company. In: Sandjai Bhulai, Hesham H. Ali und Les Sztandera (Hg.): DATA ANALYTICS 2019. The Eighth International Conference on Data Analytics: IARIA XPS Press, S. 32–37. Online verfügbar unter [https://thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=data\\_analytics\\_2019\\_2\\_20\\_60018](https://thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=data_analytics_2019_2_20_60018)

**Müssig, Robin; Heinke, Matthias; Hörth, Johannes:** Modellierung und Simulation elektrischer und thermischer Felder bei Vorhofflimmern und Kryoablation der Pulmonalvenen. In: Clinical research in cardiology, Bd. 108. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, P623

**Müssig, Robin; Heinke, Matthias; Hörth, Johannes; Schilling, Lukas:** Electromagnetic and thermal simulation of cryoballoon catheter ablation with pulmonary vein isolation in atrial fibrillation. In: Europace, Bd. 21, S. 605

**Nsiah, Kofi Atta; Amjad, Zubair; Sikora, Axel:** Performance Evaluation of Ultra-Low Latency Wireless Communication in Industrial Automation. In: Proceedings of embedded world Conference 2019, Nuremberg, Germany, 26.-28.02.2019. Haar: WEKA FACHMEDIEN GmbH, S. 174–179. Online verfügbar unter <https://www.elektroniknet.de/international/proceedings-provides-nearly-1-000-pages-and-more-than-175-papers-164279.html>

**Nsiah, Kofi Atta; Amjad, Zubair; Sikora, Axel; Hilt, Benoît:** Performance Evaluation of Latency for NB-LTE Networks in Industrial Automation. In: 2019 IEEE 30th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC) 8-11 Sept. 2019 Istanbul, Turkey: IEEE, S. 1–7

**Nsiah, Kofi Atta; Amjad, Zubair; Sikora, Axel; Hilt, Benoît; Lauffenburger, Jean-Philippe:** Latency Reduction Techniques for NB-IoT Networks. In: 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 Sept. 2019, Metz: IEEE, S. 478–483

**Pflutschinger, Stephan; Erhardt, Ludwig:** On the Relation Between PAPR and System Performance in Multicarrier Modulation. In: 12th International ITG Conference on Systems, Communications and Coding (SCC) 2019 · February 11 – 14, 2019 in Rostock, Germany. Berlin Offenbach: VDE Verlag, Seite 83–88

**Ram, Raju; Müller, Sabine; Pfreundt, Franz-Josef; Gauger, Nicolas R.; Keuper, Janis:** Scalable Hyperparameter Optimization with Lazy Gaussian Processes. In: Proceedings of MLHPC 2019: 5th Workshop on Machine Learning in HPC Environments, S. 56–65. DOI: 10.1109/MLHPC49564.2019.00011

**Rasheed, Farhan; Hefenbrock, Michael; Bishnoi, Rajendra; Beigl, Michael; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Tahoori, Mehdi Baradaran:** Predictive Modeling and Design Automation of Inorganic Printed Electronics. In: Proceedings of the Design Automation and Test in Europe Conference and Exhibition, 25-29 March 2019, Florence, Italy, S. 30–35

**Reiter, Joachim; Müller, Andrea; Greschuchna, Larissa; Hartmann, Uwe; Schatz, Michael Daniel:** Next Level Service Performance - Intelligent Order Assistants in Automotive After Market. In: Fiona Fui-Hoon Nah und Keng Siau (Hg.): HCI in Business, Government and Organizations. Information Systems and Analytics. Cham: Springer International Publishing, S. 114–125

**Schaad, Andreas; Grohmann, Björn; Winzenried, Oliver:** CloudProtect - A Cloud-based Software Protection Service. In: Proceedings of the 24th ACM Symposium on Access Control Models and Technologies, SACMAT 2019, Toronto, ON, Canada, June 03-06, 2019, S. 219–221

**Schaad, Andreas; Reski, Tobias:** „Open Weakness and Vulnerability Modeler“ (OVVL) – An Updated Approach to Threat Modeling. In: Proceedings of the 16th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications, Prague, Czech Republic - Volume 2: SECURE, Bd. 2, S. 417–424

**Schaad, Andreas; Reski, Tobias; Winzenried, Oliver:** Integration of a Secure Physical Element as a Trusted Oracle in a Hyperledger Blockchain. In: Proceedings of the 16th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications, Prague, Czech Republic - Volume 2: SECURE, Bd. 2, S. 498–503

**Schiffer, Lutz; Bessler, Wolfgang G.; Grübl, Daniel:** Model-based analysis of Electrochemical Pressure Impedance Spectroscopy (EPIS) for PEM Fuel Cells. In: Proceedings EFCF 2019 - Low-Temperature Fuel Cells, Electrolysers & H<sub>2</sub> Processing. Luzern, S. 70–77

**Schleh, Manuela; Heinke, Matthias; Hörth, Johannes:** Abstract: Esophageal electrode model and simulation of directed transesophageal electrical pacing of the spinal cord. In: Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik, Bd. 64. Berlin, Boston: Walter de Gruyter, S. 54

**Stodt, Jan; Jastremskoj, Eugen; Reich, Christoph; Welte, Dominik; Sikora, Axel:** Formal Description of Use Cases for Industry 4.0 Maintenance Processes Using Blockchain Technology. In: 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 Sept. 2019, Metz: IEEE, S. 1136–1141

**Tajan, Louis; Westhoff, Dirk:** Retrospective Tracking of Suspects in GDPR Conform Mobile Access Networks Datasets. In: CECC 2019: Proceedings of the Third Central European Cybersecurity Conference, November 2019. New York: ACM, S. 1–6

**Vauderwange, Oliver; Curticapean, Dan; Javahiraly, Nicolas:** Concept and development of research-oriented education in the university context. In: Proceedings Volume 11143, Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019; Quebec City, Quebec, Canada, Bd. 11143: SPIE, 1114306-1-1114306-9. Online verfügbar unter <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11143/1114306/Concept-and-development-of-research-oriented-education-in-the-university/10.1117/12.2524008.full>

**Vauderwange, Oliver; Curticapean, Dan; Javahiraly, Nicolas:** Increased knowledge transfer through the integration of research projects into university teaching. In: Proceedings Volume 11143, Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019; Quebec City, Quebec, Canada, Bd. 11143: SPIE, 111433T-1-111433T-7. Online verfügbar unter <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11143/111433T/Increased-knowledge-transfer-through-the-integration-of-research-projects-into/10.1117/12.2523865.full>

**Voronov, Roman; Moschevikin, Alex; Sikora, Axel:** A Method for Optimum Placement of Access Points in Indoor Positioning Systems. In: 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 Sept. 2019, Metz: IEEE, S. 1130–1135

**Wagner, Felix; Lehmann, Christoph; Dorer, Klaus:** Object Detection for the Audi Autonomous Driving Cup. In: Andreas Christ und Franz Quint (Hg.): Artificial Intelligence. From Research To Application. The Upper-Rhine Artificial Intelligence Symposium (UR-AI 2019), Offenburg, March 13, 2019, S. 43–46

**Wehsener, Sandra; Müssig, Robin; Heinke, Matthias; Junk, Stefan; Hörth, Johannes; Schrock, Steffen:** Abstract: 3D print of heart rhythm model with cryoballoon catheter ablation of pulmonary vein. In: Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik, Bd. 64. Berlin, Boston: Walter de Gruyter, S. 114

**Wendt, Thomas; Gawron, Philipp; Hangst, Nikolai:** Conductive materials and 3D printing - an overview. In: LOPEC Conference Proceedings 2019, S. 1. Online verfügbar unter <https://www.lopec.com/de/kongress/informieren/conference-proceedings/>

**Yusoff, Nin Hayati Mohd; Zakaria, Nurul Azma; Sikora, Axel; Elayanithottathil, Jubin Sebastian:** 6LoWPAN Protocol in Fixed Environment: A Performance Assessment Analysis. In: 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) 18-21 Sept. 2019, Metz: IEEE, S. 1142–1147

**Zell, Christiane; Hochberg, Ulrich; Haas, Katharina:** Biologische Methanisierung mit Membranbegasung in Biogasanlagen. In: Michael Nelles (Hg.): Tagungsband:Biogas-Innovationskongress DBU Osnabrück, 21.05.2019-22.05.2019. Hildesheim: ProFair Consult+Project GmbH, S. 33–42. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-38090>

**Zöller, Ilka; König, Christina; Kunkel, Christopher; Chomse, Veit:** Spielerische Kompetenzentwicklung zur Vermittlung des Industrie 4.0 Gedanken an weiterbildungsferne Mitarbeiter. In: Dokumentation des 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses vom 27.02. bis 01.03.2019, Bd. 33. Dortmund: GfA Press, C.5.4. Online verfügbar unter [https://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de/publikationen\\_gfa-buchshop.htm#anker\\_33](https://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de/publikationen_gfa-buchshop.htm#anker_33)

## Promotionen 2019

Name, Titel, HSO-Betreuer, Betreuer – kooperierende Universität

### Intern, laufend:

**Amjad, Zubair:** Cooperation between V2V communication content and properties for an autonomous and safe driving, HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, *Université de Haute Alsace – Prof. Dr. Jean-Philippe Laufenburger*

**Angermeier, Julian:** Einfluss des Referenz-ITD auf das binaurale Hören, HSO Prof. Prof. Dr. rer. biol. hum. Stefan Zirn, *Technische Universität München – Prof. Dr.-Ing. Werner Hemmert*

**Bechler, Nikolaus:** A wireless ultra low power system for passive biotelemetry applications, HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg – Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Holm Altenbach*

**Bhattacharayya, Mayukh:** Wireless ultra low power sensor systems for passive and semi-passive applications, HSO Prof. Dr.-Ing. Dirk Jansen, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Bordini, Rogério Augusto:** UThe Role of Sound in Gamification. An Experimental Approach, HSO Prof. Dr. phil. Oliver Korn, *Helmut-Schmidt-Universität/Uni. d. Bundeswehr Hamburg – Prof. Dr. Philipp Yorck Herzberg*

**Brenner, Corinna:** Kardiale Verschluss-Systeme, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer, *Universität Rostock – Prof. Dr. Christoph Nienaber*

**Carelli, Serena:** Mechanistic Modelling of Electrochemical Ageing Reaction at the Anode of Li-ion Batteries, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, *Helmholtz Institut Ulm – Prof. Dr. Arnulf Latz*

**Degel, Philipp:** Stranggrößenbasierte Parameterschätzung und adaptive Regelung unsymmetrischer, hochausgenutzter E-Maschinen, HSO Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffler, *Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Prof. Dr.-Ing. Martin Doppelbauer*

**Elayanithottathil, Jubin Sebastian:** Seamless and unified test environment for spatially distributed wireless networks, HSO Dr.-Ing. Axel Sikora, *Technische Universität Clausthal – Prof. Dr. Andreas Rausch*

**Feng, Xiaowei:** Analog Design and Noise Modeling in printed electronics, HSO Prof. Dr. rer. nat. Jasmin Aghassi-Hagmann, *KIT Karlsruhe – Prof. Dr. Mehdi B. Tahoori*

**Fischer, Carl:** Einfluss der thermischen Belastungsgeschichte auf das Risswachstum, das Riss schließen und die Lebensdauer von Aluminium- und Nickelbasisgusslegierungen, HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, *Otto-von-Guericke Universität Magdeburg – Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Holm Altenbach*

**Gawron, Philipp:** Additiv hergestellte Energy Harvester, HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Gopisetty, Bala Venkata Satyanarayana:** Model reduction optimization for energy planning process of distributed energy resources, HSO Prof. Dr.-Ing. Peter Treffinger, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Haber, Tobias:** Ingenieurtechnische Lösungen zur Didaktik der Elektrotherapie des Herzens, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Hangst, Nikolai:** 3D-gedruckte Sensorik in Mensch-Roboter-Kollaborations-Greifsystemen, HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Hazubski, Simon:** Visuelle Steuerung von Handprothesen durch Tracking mittels Augmented-Reality-Brille, HSO Prof. Dr.-Ing. Harald Hoppe Prof. Dr. med. Adreas Otte, *Universität Leipzig – Prof. Dr. Martin Bogdan*

**Himmelsbach, Urban:** A novel approach of chieving SIL3 with wireless communication in safety-critical industrial applications, HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Huber, Andreas:** Netzankopplung von regenerativen Energiesystemen mittels neuartiger Filter- und Regelungskonzepte, HSO Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Huber, Philipp:** Herstellung eines hochwertigen Wertstoffes aus biogenen Reststoffen durch *Euglena gracilis*, HSO Prof. Dr. rer. nat. Christiane Zell, *Technische Universität München – Prof. Dr. Cordt Zollfrank*

**Israel, Kai:** Der Einsatz von Virtual-Reality in der Unternehmenskommunikation – Chancen und Risiken, HSO Prof. Dr. rer. pol. Christopher Zerres, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. DieterTschulin*

**Jung, Philip:** Corporate governance und finanzielle Berichterstattung auf Basis kaufmännischer Rechnungslegung an deutschen Hochschulen, HSO Prof. Dr. rer. pol. Anne Najderek, *Johannes Gutenberg Universität Mainz – Prof. Dr. Christopher Koch*

**Kupper, Christian:** Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien für die dezentrale Speicherung regenerativer Energien: experimentelle Untersuchung und modellbasierte Optimierung, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Holger Reinecke*

**Lai, Matthias:** Security of Electric Payment Systems, HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Le, Vy:** Erforschung von ganzheitlichen EnergyHarvesting-Konzepten unter Verwendung von druckbaren Energiewandlern und -speichern, HSO Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen, *KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. Uli Lemmer*

**Mandal, Avikarsha:** Security of Electric Payment Systems, HSO Prof. Dr. rer. nat. Erik Zenner, *Universität Mannheim – Prof. Dr. Frederik Armknecht*

**Marepalli, Sai Manoj:** Peer-to-Peer and Cloud Computing Architectures for Resilient Smart Grid Monitoring, HSO Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Christian Schindelbauer*

**Messner, Ulrich:** Entwicklung und Validierung neuer Optimalitätskriterien bei der bionischen Topologieoptimierung durchströmter Bauteile, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Kachel, Prof. Dr.-Ing. Jörg Ettrich, *Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler*

**Miclau, Christina:** Untersuchung der emotionalen Wahrnehmung und Wirkung der Marke einer öffentlichen Einrichtung - Am Beispiel der Hochschule Offenburg, HSO Prof. Dr.-Ing. Bernhatd Denne, *Pädagogische Universität Freiburg – Prof. Dr. Josef Nerb*

**Niro, Sascha:** Peer-to-Peer Konzepte für verteilte Datenbanken in Smart-Grid-Strukturen: Time series data, HSO Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Schindelbauer*

**Nugroho, Saptadi:** Fast Gossiping Algorithm using Time-to-Live Mechanism in Dynamic Network, HSO Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Schindelbauer*

**Quarti, Michael:** Modellbasierte Entwicklung dynamischer Methoden für die Zustandsdiagnostik von Lithium-Ionen-Batterien, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, *KIT Karlsruhe*

**Prinzbach, Jürgen:** Optimierung von Subspace-Clustering-Verfahren durch Parallelisierung und Deep Learning, HSO Prof. Dr. Tobias Lauer, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Jun.-Prof. Dr. Joschka Bödecker*

**Rogall, Olga:** Bestimmung von Materialeigenschaften piezoelektrischer Schichtstrukturen mit Laser-Ultraschall, HSO Prof. Dr. rer.nat.habil. Andreas Mayer, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Rösch, Tobias:** Untersuchungen zum Ausbau von Verteilnetzen bei einem steigenden Anteil von erneuerbaren Energien unter Nutzung von Geoinformationssystemen (GIS), HSO Prof. Dr.-Ing. Peter Treffinger, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Barbara Koch*

**Sawant, Parantapa:** Kleinskalige Kraft-Wärme-Kopplung als netzreaktives System zur energieeffizienten Biogas/Erdgas-Nutzung, HSO Prof. Dr.-Ing. Jens Pfaferott, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg - Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Schallwig, Cäcilia:** Partizipationsorientiertes Planungs- und Kommunikationsmanagement von Geothermieprojekten auf Basis der Richtlinie VDI 7000, HSO Prof. Dr. phil. Thomas Breyer-Mayländer, Prof. Dr. rer. nat. Detlev Doherr, *Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Prof. Dr. Philipp Blum*

**Schiffer, Lutz:** Modellgestützte Entwicklung und Bewertung der elektrochemischen Druckimpedanzspektroskopie (EPIS) als Mess- und Diagnosewerkzeug von Transportprozessen in PEM-Brennstoffzellen, HSO Prof. Dr. rer.nat. habil. Wolfgang Bessler, *KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

**Schilli, Simon:** Numerische Untersuchung zur Verfestigung in Ein- und Polykristallen bei zyklischer Belastung (Bauschinger Effekt), HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, *Otto-von-Guericke Universität Magdeburg – Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Holm Altenbach*

**Scholz, Alexander:** Hybride integrierte Elektronik: Modullösungen aus gedruckter Elektronik und Siliziumelektronik mit sensorischen Elementen und Energiewandlern und/oder Speichern, HSO Prof. Dr. rer. nat. Jasmin Aghassi-Hagmann, *KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. Uli Lemmer*

**Schrock, Steffen:** Entwicklung und Validierung einer Methode und Konstruktionsrichtlinien zur Nutzung additiv gefertigter Spritzgusswerkzeuge im Produktentwicklungsprozess zur effizienten und agilen Ableitung einer hohen Variantenzahl, HSO Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk, *KIT Karlsruhe – Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers*

**Stopfkuchen, Michael:** A modular an cutting-edge government support framework for SMEs' internationalisation, HSO Prof. Dr. Andreas Klasen, *Northumbria University, Newcastle Business School, GB – Prof. Dr. Rose Quan, Principal Lecturer*

**Strzeletz, Simon:** Peer-to-Peer Navigation Concepts for Computer-Assisted Medical Interventions, Medical Robotics and Augmented Reality Applications, HSO Prof. Dr.-Ing. Harald Hoppe, *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. med. Ulrich Hubbe*

**Tajan, Louis:** Privacy in Cloud Auditing, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Dirk Westhoff, *Universität Mannheim – Prof. Dr. Frederik Armknecht*

**Vauderwange, Oliver:** Characterization of Color Vision by Spectrometry and Nanotechnology: Application to Media Photonics, HSO Prof. Dr. Dan Curticapean, *Universität Straßburg – Nicolas Javahiry MC habil.*

**Walz, Andreas:** Testing Embedded Implementations of Cryptographic Protocols using Differential Testing, HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, *Universität Rockstock – Prof. Dr. Dirk Timmermann*

**Yagci, Mehmed Can:** Determination of aging indicators and state of health diagnostics of LFP/graphite lithium-ion batteries for stationary energy storage, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, *KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

**Zimmermann, Lukas:** Einsatz von gedruckten Elektronikkomponenten für Systeme des Internet der Dinge, HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, *KIT Karlsruhe – Prof. Dr. Michael Beigl, Prof. Dr. rer. nat. Uli Lemmer*

## Patente 2019

**Bessler, Wolfgang G.; Leible, Valentin:** Photovoltaik-Stromversorgungsvorrichtung, insbesondere vom öffentlichen Stromnetz unabhängige Photovoltaik-Stromversorgungsvorrichtung, und hierfür geeignete Ladeschaltungsanordnung (DE102018108104A1). Offenlegung: 10.10.2019

**Mayer, Markus; Ruile, Werner; Mayer, Andreas; Mayer, Elena:** SAW-Vorrichtung mit unterdrücktem Parasitär-signal (DE102017110233A1). Offenlegung: 15.11.2018. (Nachreichung zum letzten Jahresbericht)

**Mayer, Markus; Ruile, Werner; Mayer, Andreas; Mayer, Elena:** SAW Device with Suppressed Parasitic Signal (W0002018206264A1). Offenlegung: 15.11.2018. (Nachreichung zum letzten Jahresbericht)

## Institut für Angewandte Forschung [IAF]

---

Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert

Institutsleitung  
E-Mail: [thomas.seifert@hs-offenburg.de](mailto:thomas.seifert@hs-offenburg.de)

Prof. Dr.-Ing. Niklas Hartmann  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [niklas.hartmann@hs-offenburg.de](mailto:niklas.hartmann@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-272  
<https://iaf.hs-offenburg.de>

## Affective and Cognitive Institute [ACI]

---

Prof. Dr. phil. Oliver Korn

Institutsleitung  
E-Mail: [oliver.korn@hs-offenburg.de](mailto:oliver.korn@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4690  
<https://affective-lab.org/de>

## Institute for Trade and Innovation [IfTI]

---

Prof. Dr. Andreas Klasen

Institutsleitung  
E-Mail: [andreas.klasen@hs-offenburg.de](mailto:andreas.klasen@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. Philipp Eudelle  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [philipp.eudelle@hs-offenburg.de](mailto:philipp.eudelle@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 7803 9698-4433  
<https://ifti.hs-offenburg.de>

## Institute for Machine Learning and Analytics [IMLA]

---

Prof. Dr. rer. nat. Stephan Trahasch

Institutsleitung  
E-Mail: [stephan.trahasch@hs-offenburg.de](mailto:stephan.trahasch@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. rer. nat. Tobias Hagen  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [tobias.hagen@hs-offenburg.de](mailto:tobias.hagen@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4630  
<https://imla.hs-offenburg.de/>

## Institut für nachhaltige Silikatforschung Offenburg [NaSiO]

---

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg

Institutsleitung  
E-Mail: [spangenberg@hs-offenburg.de](mailto:spangenberg@hs-offenburg.de)

Prof. Dipl.-Ing. Dietmar Kohler  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [dietmar.kohler@hs-offenburg.de](mailto:dietmar.kohler@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-101

## Institut für Energiesystemtechnik [INES]

---

Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler

Institutsleitung  
E-Mail: [wolfgang.bessler@hs-offenburg.de](mailto:wolfgang.bessler@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. rer. nat. Michael Schmidt  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [schmidt@hs-offenburg.de](mailto:schmidt@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4779  
<https://www.ines.hs-offenburg.de>

## Institute for Unmanned Aerial Systems [IUAS]

---

Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder

Institutsleitung  
E-Mail: [w.schroeder@hs-offenburg.de](mailto:w.schroeder@hs-offenburg.de)

Prof. Dr.-Ing. Jörg Ettrich  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [joerg.ettrich@hs-offenburg.de](mailto:joerg.ettrich@hs-offenburg.de)

Telefon +49 781 205-271  
<https://iuas.hs-offenburg.de>

## Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik [ivESK]

---

Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora

Institutsleitung  
E-Mail: [axel.sikora@hs-offenburg.de](mailto:axel.sikora@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Dirk Westhoff  
Mitglied  
E-Mail: [dirk.westhoff@hs-offenburg.de](mailto:dirk.westhoff@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-416  
<https://ivesk.hs-offenburg.de>

## Peter Osypka Institute for Pacing and Ablation [POI]

---

Tobias Haber

Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [tobias.haber@hs-offenburg.de](mailto:tobias.haber@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4640  
E-Mail: [poi@hs-offenburg.de](mailto:poi@hs-offenburg.de)  
<https://poi.hs-offenburg.de>