

# FORSCHUNG

2019

## Thema Künstliche Intelligenz

*IM GESPRÄCH:*

Medizin der Zukunft

*BLICK INS LABOR:*

Regensburg Medical Image Computing

*CLEVER WOHNEN:*

Die Margaretenau hat Köpfchen







## Liebe Leserinnen und Leser,

„Künstliche Intelligenz“ begegnet uns heute bereits in vielen

Anwendungen des alltäglichen Lebens – sowohl im beruflichen als auch im privaten Umfeld. Sie ist wohl eine der spannendsten Schlüsseltechnologien der Zukunft. Sie birgt viele Chancen, aber auch Risiken und Herausforderungen. Wohl auch deswegen hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung zusammen mit der Initiative Wissenschaft im Dialog das Wissenschaftsjahr 2019 unter das Motto „Künstliche Intelligenz“ gestellt. Das vorliegende Magazin „Forschung“ 2019 der OTH Regensburg greift diese bundesweite Initiative auf und widmet diesem Thema einige Sonderseiten: wir stellen darin verschiedene KI-Forschungsprojekte der OTH Regensburg vor, geben einen Einblick in das Regensburg Medical Image Computing Labor von Prof. Dr. Christoph Palm und zeigen in einem Interview mit Prof. Dr. Karsten Weber Chancen und Risiken Künstlicher Intelligenz im Bereich der Medizindiagnostik auf.

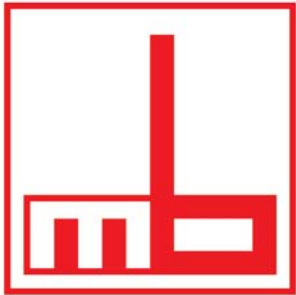
Auch all die anderen Beiträge in diesem Magazin greifen die gesellschaftlichen und technologischen Herausforderungen der Zukunft auf und zeigen, dass wir unsere fachliche Breite nutzen, um über die Fakultätsgrenzen hinweg durch eine stark interdisziplinär geprägte Arbeitsweise Problemstellungen ganzheitlich zu betrachten. Dabei haben unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Leitthemen der OTH Regensburg im Fokus – von der Digitalisierung über die Themenbereiche Energie und Mobilität, Information und Kommunikation, Lebenswissenschaften und Ethik, Produktion und Systeme, Gebäude und Infrastruktur bis hin zur Sensorik.

Ich bedanke mich bei allen Kolleginnen und Kollegen, die mit ihren herausragenden Forschungsaktivitäten zu diesen erfolgreichen Ergebnissen und damit zugleich zu einer hochaktuellen und hochqualitativen Ausbildung unserer Studierenden beitragen.

Ihr

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'W. Baier'.

Prof. Dr. Wolfgang Baier  
Präsident der OTH Regensburg



# MAX BÖGL

Fortschritt baut man aus Ideen.



DER BAUPARTNER IN DEUTSCHLAND

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

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir

**Bauingenieure** (m/w/d) – **Bachelor** (m/w/d)  
**Nachwuchs- oder Jungbauleiter** (m/w/d)  
**Praktikanten** (m/w/d) – **Werkstudenten** (m/w/d)



Zahlen Daten Fakten .....	8
Wissenschaftlicher Nachwuchs .....	10
<b>Thema Künstliche Intelligenz</b>	<b>12</b>
<hr/>	
Interview: Medizin der Zukunft? .....	14
Clever wohnen: Die Margaretenau hat Köpfchen .....	16
Aus der Forschung in die Praxis .....	17
Sicher in die Zukunft starten: Autonomes Fahren mit KI und dem Rasmussen-Modell .....	20
Vertrauen ist gut, Algorithmus ist besser: Wenn Künstliche Intelligenz und Echt-Welt-Daten aufeinandertreffen .....	22
Laboreinblick: Regensburg Medical Image Computing .....	24
<b>Forschungsberichte</b>	
<hr/>	
<b>Lebenswissenschaften und Ethik</b>	<b>27</b>
Befragung zur Weiterbildung in Regensburg – Nutzung von Blended- und e-Learning-Formaten .....	28
<b>Information und Kommunikation</b>	<b>31</b>
Backsourcing ehemals ausgelagerter IT-Services .....	32
<b>Produktion und Systeme</b>	<b>35</b>
Automatisierte Informationsbereitstellung für effizientes und sicheres Einrichten von Werkzeugmaschinen .....	36
Laserschweißen transparenter Kunststoffbauteile für die Medizintechnik .....	38
Analyse des Impact-Verhaltens gekrümmter Strukturbauteile von Luftfahrzeugen zur Entwicklung eines Strukturüberwachungssystems für faserverstärkte Kunststoffe – BIRD .....	40
Internationale Forschung zum Biege- und Deformationsverhalten von faserverstärkten Kunststoffrohren .....	42
Erarbeitung eines methodischen Vorgehens für die Topologieoptimierung additiv gefertigter Bauteile .....	44



# LANGPATENT

ANWALTSKANZLEI IP LAW FIRM

**Ihr Ansprechpartner:**  
 Dr.-Ing. Christian Lang  
 Hermann – Hesse – Str. 14  
 92637 Weiden  
 www.langpatent.com  
 0961/40 18 5 - 66/ -77 (Fax)

## Patente – Gebrauchsmuster – Marken – Designs

Ihr Partner in der Oberpfalz für globalen Schutz Ihres geistigen Eigentums

München - Weiden - Blatten b. Naters (Schweiz)

Das Bayerische Landesamt für Steuern mit über 1.600 Beschäftigten ist die Mittelbehörde der Bayerischen Steuerverwaltung zwischen dem Bayerischen Staatsministerium der Finanzen und für Heimat und den Finanzämtern. Ein Teilbereich des Bayerischen Landesamts für Steuern ist der Bereich **Information und Kommunikation** (IuK). Zu seinen wesentlichen Aufgaben zählen die Entwicklung der deutschlandweit eingesetzten Software der Steuerverwaltung sowie die ressortübergreifende technische Dienstleistung für zahlreiche Behörden und Institutionen in Bayern.



Bayerisches  
Landesamt  
für Steuern



Wir freuen uns über Ihre **Initiativbewerbung** an die E-Mail-Adresse [bewerbung.inf@lfst.bayern.de](mailto:bewerbung.inf@lfst.bayern.de)

Mit einem **abgeschlossenen Hochschulstudium** (Diplom (FH), Bachelor) der **Informatik, Wirtschafts- oder Verwaltungs-informatik** oder in vergleichbaren Studiengängen finden Sie an unseren **Dienststellen** in **München, Nürnberg** und **Zwiesel** abwechslungsreiche, zukunftsorientierte und verantwortungsvolle Aufgaben in den Abteilungen:

### IuK 1

Anwendungsentwicklung (z.B. ELSTER)



### IuK 2

zentrale Aufgaben (Personal, Haushalt, Testcenter, Verfahrensbetreuung und -management, Bürokommunikation)

### IuK 3

Rechenzentrum, Logistik, IT-Sicherheit, Netz-Management, Betriebstechnik

Das Bayerische Landesamt für Steuern bietet leistungsorientierte Bezahlung, Sicherheit, flexible Arbeitszeit, gute Aufstiegschancen, gutes Betriebsklima und kollegialen Zusammenhalt sowie gute Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten.

In allen Bereichen besteht die Möglichkeit, mit der Einstellung in das Beamtenverhältnis der 3. Qualifikationsebene übernommen zu werden. Weitere Informationen und aktuelle Stellenangebote finden Sie auf unserer Homepage <http://www.finanzamt.bayern.de/LfSt> unter der Rubrik „Job und Karriere“.

<b>Energie und Mobilität</b>	<b>47</b>
Kleinstwindenergieanlagen – Untersuchung der elektrischen Komponenten hinsichtlich einer optimalen Zusammenstellung zur Netzeinspeisung .....	48
Modellierung des deutschen Energiesystems mit Fokussierung auf den regulatorischen Rahmen .....	50
QUARREE100 – Entwicklung eines Eisen-Redox-Speichers .....	52
Power-to-Gas Pilotanlage geht in Betrieb .....	54
Kosten der Blindleistungsbereitstellung .....	56
<b>Digitalisierung</b>	<b>59</b>
Establishing Open Source Software in Safety Critical Domains .....	60
Quantencomputer, Flughäfen und industrielle Optimierung .....	62
<b>Sensorik</b>	<b>65</b>
Durch elektronstrahlinduzierte Deposition hergestellte Nanoemitter für Feldemissionsanwendungen .....	66
Impressum .....	68



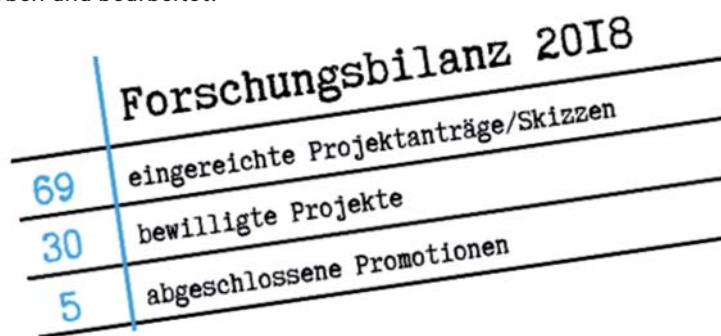
## Forschungsbilanz 2018

Die gestiegenen Forschungsaktivitäten und die zunehmende Komplexität in der Abwicklung von Forschungsprojekten sowie externe Randbedingungen – wie beispielsweise EU-Gesetze – machen ein kontinuierliches Bearbeiten und Optimieren der Forschungsadministrationsprozesse erforderlich. 2018 wurden an der OTH Regensburg zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte eingeworben und bearbeitet.

Insgesamt waren über 90 Professorinnen und Professoren regelmäßig zusätzlich zur Lehrtätigkeit in Forschungs- und Entwicklungsprojekten aktiv.

Das entspricht zirka einem Drittel aller an der OTH Regensburg beschäftigten Professorinnen und Professoren.

Neben der öffentlichen Forschungsförderung durch Bund, das Land und die EU, und der privaten Auftragsforschung werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch die Hochschule unterstützt. Dazu zählt insbesondere die Infrastruktur an der OTH Regensburg, die es ermöglicht, Forschungsvorhaben durchzuführen:

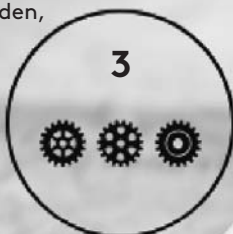


### Professorinnen und Professoren

aus acht Fakultäten mit Schwerpunkten zu Technik, Wirtschaft, Soziales, Gesundheit, Architektur und Gestaltung.

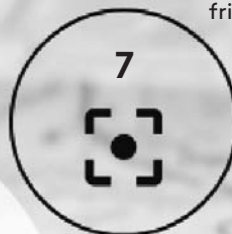
### Verbünde

OTH-Verbund mit Amberg-Weiden, INDIGO und TRIO



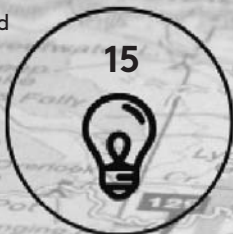
### Forschungsprofessuren

Zusätzliche Entlastung, die längerfristige Forschungsaktivitäten für Professorinnen und Professoren ermöglicht, um Forschung und Lehre auszubauen und zu intensivieren.



### Forschungseinrichtungen

Drei Regensburg Center im Bereich Medizintechnik/ Gesundheit und erneuerbarer Energien sowie zwölf Kompetenzzentren als fakultätsübergreifende Forschungseinheiten für forschungsstrategisch relevante Themen.



## Forschungsstrukturen 2018

Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Forschungsprojekten und Promotionen.



Labore für Forschung und Lehre.



1.500



Quadratmeter Forschungsverfügungsfläche für zeitlich befristete Projektarbeit(en) mit entsprechender Infrastruktur.



## Forschungsanbahnungsreisen 2018

Die Kooperationsförderung BayIntAn (Bayerisches Förderprogramm zur Anbahnung internationaler Forschungsoperationen) und BayChina leisten eine Anbahnungshilfe für internationale Forschungsoperationen. Ziel dieser Unterstützung ist es, den Wissenschafts- und Innovationsstandort Bayern durch eine weitere Internationalisierung der bayerischen Hochschulforschung zu fördern. Im Jahr 2018 konnten so Forschungsanbahnungsreisen nach Malaysia (Kuala Lumpur und Kampar), Spanien (Barcelona), die USA (Rochester) und Schottland (Glasgow) geleistet werden.



## Stärkung der EU-Forschung durch F€URO2022

Mit F€URO2022 – Foster EU-Research by Contributions of OTH Regensburg – wurde 2018 ein Strukturprojekt gefördert, das die OTH Regensburg für das europäische Horizon-Förderprogramm fit machen soll. Denn bereits seit einigen Jahren baut die OTH Regensburg ihre Aktivitäten zur Internationalisierung und Forschung systematisch aus und pflegt aktuell 203 internationale Hochschulpartnerschaften – davon 126 in der EU.

Die Antragstellung bei EU-Ausschreibungen ist jedoch stets zeitkritisch, die Koordination komplex und die Wahrscheinlichkeit einer Antragsablehnung liegt derzeit bei über 70 Prozent. Die Bundesregierung möchte daher die EU-Forschung insbesondere an Hochschulen für angewandte Wissenschaften stärken. Denn an diesen ist meist der direkte Praxisbezug und somit die Anwendbarkeit der Ergebnisse besonders gegeben. Mit F€URO2022 sollen hierfür die Weichen gestellt werden, indem die für europäische Projekte nötigen Partner miteinander in Verbindung gebracht werden. Dies sind Forschende internationaler (Partner-)Hochschulen und der OTH Regensburg, internationale Unternehmenspartner, EU-Fördergeber bzw. EU-Ausschreibungen.

Dazu werden bisherigen Partnerschaften analysiert und kategorisiert sowie Forschende und Partnerunternehmen über mögliche Kooperationen informiert. Das erleichtert ihre Einbindung in die Anbahnung und Umsetzung der Forschungsaktivitäten und erhöht die Antragsqualität.

Angestrebt wird somit die Entwicklung einer EU-Forschungsstrategie, die Herausarbeitung gesellschaftlich relevanter Themen (z. B. Safety/Security, Energie, Robotik und Biomedical Engineering) und die Definition von Partnerhochschulen und -unternehmen, Netzwerken und Prozessen. Dazu erhält die OTH Regensburg vom Bundesministerium für Bildung und Forschung bis zum Jahr 2022 246.823,00 Euro.

Die OTH Regensburg legt großen Wert auf die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Der Zugang zu Forschungsprojekten und die Vermittlung von Kompetenzen zur interdisziplinären Zusammenarbeit ist ein wichtiges Ziel. Eine Promotion bietet die Möglichkeit über das Studium hinaus wissenschaftlich tätig zu sein. Aktuell gibt es 88 laufende Promotionen an der OTH Regensburg (Stand 31.12.18). Dabei unterscheidet man:

## Kooperative Promotion

- Promovenden benötigen erstbetreuende Person, die an einer Universität tätig sein muss
- Professorinnen und Professoren der OTH Regensburg fungieren i.d.R. als Zweitgutachter

## Verbundpromotion

- Modell unter dem Dach des Bayerischen Wissenschaftsforums (BayWISS)
- Ist im Gegensatz zur kooperativen Promotion konsequent kollegbasiert, gezielt strukturiert und präzise planbar
- Professorinnen und Professoren der OTH Regensburg können als Erstgutachter fungieren

## Abgeschlossene Promotionen 2018

Promovend/in	Titel	Betreuer/in OTH Regensburg	Kooperierende Universität
Andreas Bärwald	Software Engineering Embedded Systems	Prof. Dr. Jürgen Mottok	Universität Regensburg
Julian Englberger	Stochastische Optimierung zur Hauptproduktionsprogrammplanung unter Unsicherheit	Prof. Dr. Frank Herrmann	Technische Universität Dresden
Michael Putzer	Development of subject-specific musculoskeletal models for studies of lumbar loading	Prof. Dr.-Ing. Sebastian Dendorfer Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich	Universität der Bundeswehr München
Thomas Rück	Development, characterization and miniaturization of a trace gas detection system for NO <sub>2</sub> in air based on photoacoustic spectroscopy	Prof. Dr. Rudolf Bierl	Universität Regensburg
Ulrike Plach	Beitrag zur Pflege von Dispositionsparametern eines Enterprise-Resource-Planning (ERP) Systems im laufenden Betrieb – Konzept eines simulationsbasierten Assistenzsystems zur Entscheidungsunterstützung	Prof. Dr. Willi Ertl † Prof. Dr. Christine Süß-Gebhard	Technische Universität Dresden

**Wissenschaftliches Schreiben:**

## Neue Impulse für die Software-Engineering-Ausbildung

Software Engineering ist eine Wissenschaft, die sämtliche Aspekte einer qualitätsgetriebenen Softwareentwicklung erforscht, strukturiert und Vorgehensweisen für die Praxis evaluiert. Hierzu gehören beispielsweise neben Analyse, Design, Implementierung sowie Testen auch Fragen der ethischen Verantwortung. Will man es erlernen, gilt es, Kompetenzen jenseits des Programmierens zu stärken. Das Regensburger Teilprojekt in EVELIN, angesiedelt im Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS<sup>3</sup>), an der Fakultät Elektro- und Informationstechnik der OTH Regensburg, gestaltet seit zwei Jahren Formate zur Erforschung und Stärkung der Schreibkompetenz.

Software Engineering (SE) spielt aufgrund der Dominanz neuer IT-Technologien eine besondere Rolle. Denn Software wird immer komplexer und ist allgegenwärtig. Heute durchdringen Computer und damit Software sämtliche Lebensbereiche moderner Gesellschaften. Deshalb müssen junge Menschen besser auf die Nutzung der Potenziale dieser Technologien, deren Risiken und auf die Anforderungen der Wissensgesellschaft vorbereitet werden. Und weil SE alle Bereiche des Software-Lebenszyklus abdeckt, muss hier gezielt ausgebildet werden. Denn die Entwicklung komplexer Softwaresysteme erfordert neben fachlichen Kompetenzen ein hohes Maß an interdisziplinären und überfachlichen Kompetenzen. Prof. Dr. Jürgen Mottok unterrichtet an der OTH Regensburg Software Engineering mit dem Schwerpunkt „Sichere Systeme“ im Rahmen seiner Forschungsprofessur des Zentrums Digitalisierung Bayern (ZD.B). Dort gründete sich 2018 der Arbeitskreis „Software Engineering“. Das erste Ergebnis: ein Positionspapier, das die Lehre betont. Die Wissenschaftler fordern, dass das Bildungssystem auf hohem Niveau Software-Ingenieure ausbilden soll. An der OTH Regensburg ist dies im Blickfeld. Neue Impulse liefert unter anderem das Verbundprojekt EVELIN zur Verbesserung des Lernens im Software Engineering.

Ein Aktionsbereich von EVELIN fokussiert beispielsweise überfachliche Kompetenzen, etwa das Schreiben. Ein Grund liegt in den Anforderungen an Software Engineers im Bereich der Kommunikation. Die Klage ist bekannt: Werdenden Ingenieurinnen und Ingenieuren fehlt es an „Academic Literacy“ (Schreib-/Lese-Kompetenzen), die im Berufsleben Kommunikation und Tagesgeschäft prägen. Befragt man Studierende der OTH Regensburg des sechsten Semesters nach ihren Schreiberfahrungen, erfährt man: Abgesehen von Praktikumsberichten werden kaum Texte produziert.



Foto: © www.canva.com

Das Projekt EVELIN am Standort Regensburg hat daher eine didaktische Reihe initiiert, mit der seit 2017 Formate von Schreibkursen erprobt werden. Diese lassen sich in drei Kategorien einordnen: übergreifende Schreibwerkstatt, vorlesungsbezogene Kurse sowie Einsatz alternativer Prüfungsformate.

In diesem Sommersemester begleitet ein Schreibtutorial, mit dem Fokus auf wissenschaftliches Schreiben, die Studierenden. Sie schreiben begleitet ein Paper, das als Teil der Prüfungsleistung gilt.

Die Ergebnisse lassen folgende Ableitungen zu: a. Maßnahmen zur Stärkung von Schreibkompetenz im Software Engineering sind dann sinnvoll, wenn sie an die Unterrichtsinhalte angelehnt sind; b. In den bisherigen Curricula wird dem Schreiben wenig Raum beigemessen, so dass Basiskompetenzen in nur einem Semester nicht aufgebaut werden können; c. Ohne Anreize ebbt das Interesse an der Beschäftigung mit dem Schreiben in der Regel ab. Dennoch bestätigt gerade die Selbstreflexion der Studierenden, dass die Arbeit an der Sprache zum besseren Verständnis der Sachverhalte und zum Abbau von Hemmschwellen gegenüber eigenen schriftlichen Äußerungen führt. Software-Projekte gelingen nur auf der Basis eines professionellen Software Engineerings vielseitig kompetenter Mitarbeiter, und der Bedarf an einschlägig erfahrenen Beschäftigten steigt kontinuierlich. Die experimentellen Formate in EVELIN tragen dem Rechnung und belegen, dass eine Verbesserung des Lernens im Software Engineering durch die Stärkung außerfachlicher Kompetenzen gelingt.





Thema  
Künstliche Intelligenz

**Künstliche Intelligenz** spielt eine entscheidende Rolle in der zukünftigen Gestaltung unserer Gesellschaft. Deutschland soll laut Bundesregierung bis 2025 einer der weltweit führenden Standorte für Künstliche Intelligenz werden. Auch die OTH Regensburg forscht in den verschiedenen Anwendungsbereichen der Künstlichen Intelligenz. Maschinelles Lernen für die medizinische Bildverarbeitung zählt z. B. ebenso dazu wie Transfer Learning und die Erforschung künstlicher neuronaler Netze mittels Deep Learning. Doch ebenso Technikfolgeabschätzungen, daraus zu gewinnende ethische Gestaltungsempfehlungen und die Orientierung an einem immer größer werdenden praktischen Bedarf, werden u. a. in den Forschungsprojekten der OTH Regensburg berücksichtigt.



Künstliche Intelligenz

Neuronale Netze (Deep Learning)

Kognitive Systeme/ Maschinen

Maschinelles Lernen



## Die wichtigsten Begriffe kurz erklärt

Teilgebiet der Informatik, das Maschinen mit intelligentem Verhalten ausstattet. Zwei Arten: Starke KI zielt darauf ab, menschliches Verhalten (Bewusstsein und Emotionen) zu simulieren, schwache KI darauf anwendungsbezogene Probleme zu lösen (Beispiel Schachcomputer). Im Englischen als „Artificial Intelligence“ bezeichnet, kürzt man den Begriff mit „AI“ ab.

Basis für maschinelle Lernverfahren nach dem Vorbild der Nervenzellenvernetzung im Gehirn. „Deep Learning“ bezeichnet dabei neuronale Netze mit stark erhöhter Ebenenanzahl, um so in neue Problemklassen vorzustoßen.

Technische Systeme, die digitale Information aus Sensordaten und Netzen ziehen und auf Basis von sich stets weiterentwickelnden Algorithmen Ergebnisse und Aktionen ableiten.

Verfahren, in denen ein Algorithmus oder eine Maschine durch Wiederholen einer Aufgabe lernt, diese – in Hinsicht auf bestimmte Kriterien – immer besser auszuführen.

**Medizin der Zukunft?**

# Künstliche Intelligenz und ihre medizindiagnostischen Chancen & Herausforderungen

Künstliche Intelligenz (KI) als die Universaltechnologie des 21. Jahrhunderts – darin sind sich Forschung, Wirtschaft und Politik einig. Doch es werden auch vermehrt Stimmen laut, die auf die damit einhergehenden Fragen und die damit verbundene Verantwortung aufmerksam machen:

“THE NEW SPRING IN AI (Artificial Intelligence, Anm. d. Red.) IS THE MOST SIGNIFICANT DEVELOPMENT IN COMPUTING IN MY LIFETIME. EVERY MONTH, THERE ARE STUNNING NEW APPLICATIONS AND TRANSFORMATIVE NEW TECHNIQUES. BUT SUCH POWERFUL TOOLS ALSO BRING WITH THEM NEW QUESTIONS AND RESPONSIBILITIES.”

- so zum Beispiel Sergey Brin, einer der Google-Gründer. Der Einsatz neuer Technologien eröffnet nicht nur Chancen, sondern stellt uns alle stets auch vor Herausforderungen. Für eine dauerhafte Verwendung der KI sind deshalb nicht nur technologische Lösungen gefragt, sondern ebenso der gesellschaftliche Dialog.

Prof. Dr. Karsten Weber, vom Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung an der OTH Regensburg, erforscht derzeit die KI in der diagnostischen Medizin in seinem vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst geförderten Forschungsprojekt „Stakeholderperspektiven auf KI-unterstützte medizinische Entscheidungsfindung und Entwicklung ethischer Leitlinien für den Einsatz von KI-Systemen in der Medizin“.

**Herr Professor Weber, wie darf man sich die Ausgangssituation und die daraus abzuleitenden Schritte bzw. Ziele Ihres Projekts vorstellen?**

Die Ausgangssituation ist durch interdisziplinäre Zusammenarbeit geprägt, denn in meinem Projekt arbeiten wir eng mit einem technisch orientierten Projekt zusammen, das von Prof. Christoph Palm von der OTH Regensburg geleitet wird. Er und seine Mitarbeitenden entwickeln KI-Systeme zur Diagnose von Speiseröhrenkrebs und arbeiten dabei selbst wieder eng mit Medizinerinnen und Medizinern der Universität Augsburg zusammen. So können wir die medizinische, informatische und ethische Perspektive kombinieren. Ich halte das für einen Glücksfall, denn wir können die ethischen Herausforderungen nicht ohne grundlegende Kenntnis der fachspezifischen Aspekte der KI untersuchen. Am Ende soll auf der einen Seite ein KI-System entstehen, dessen Gestaltung ethische Überlegungen berücksichtigt, und auf der anderen Seite sollen ethische Leitlinien für den Einsatz solcher Systeme formuliert werden, die in der Praxis tatsächlich auch umgesetzt werden können, weil die Praxis von Beginn an berücksichtigt wurde.

**Wo sehen Sie die Chancen und Potenziale der Künstlichen Intelligenz im medizinischen/diagnostischen Bereich?**

Man muss bedenken, dass die Forschung an KI-Systemen seit mehr als 60 Jahren andauert. Die theoretischen Grundlagen neuronaler Netze für KI-Systeme wurden in den 1950er und 1960er-Jahren gelegt, doch konnten diese nicht umgesetzt werden, weil die verfügbaren Computer zu langsam und teuer waren. Heute können Sie sich einen leistungsfähigen Rechner unter den Schreibtisch stellen und damit sehr umfangreiche neuronale Netze gestalten. Allein das trägt schon erheblich zum Potenzial der KI in der Medizin bei. Da sich außerdem zeigt, dass diagnostische Prozesse der Medizin viel mit Mustererkennung zu tun haben, die von neuronalen Netzen sehr gut übernommen werden können, scheint es, also ob hier ein Aufgabengebiet, eben die medizinische Diagnostik, gerade auf ein neues und potenziell sehr leistungsfähiges Werkzeug getroffen ist. Noch sind KI-Systeme nicht so gut wie erfahrene Ärztinnen und Ärzte. Aber die Forschung hat im Grunde erst begonnen, so dass damit zu rechnen ist, dass in wenigen Jahren KI-Systeme zumindest in ausgewählten Bereichen ähnliche gute Diagnosen wie Menschen stellen werden.

**...und wie sieht es mit den Herausforderungen und Gefahren aus?**

Es gibt meines Erachtens vier zentrale Herausforderungen. Erstens ist eine Antwort auf die Frage zu finden, wer die Verantwortung trägt, wenn KI-Systeme regelmäßig in der medizinischen Diagnose eingesetzt werden, Behandlungsentscheidungen mitbestimmen und Ärztinnen und Ärzten sich zunehmend auf die KI-Systeme verlassen. Was, wenn Fehlentscheidungen getroffen werden? Stehen dann das KI-System oder das herstellende Unternehmen oder die Programmierinnen und Programmierer mit in der Verantwortung? Man kann das sowohl aus einer moralischen als auch aus einer (haftungs)rechtlichen Perspektive fragen – gute Antworten gibt es dafür bisher noch nicht. Zweitens benötigen KI-Systeme große Mengen an Trainingsdaten, um im Einsatz leistungsfähig zu sein. Im medizinischen Bereich haben solche Daten notwendigerweise immer einen Personenbezug. Es wird also notwendig sein, hier über datenschutzrechtliche Fragen sehr genau nachzudenken – am besten auf internationaler Ebene, damit es keine unterschiedlichen Standards gibt. Drittens wäre es wichtig darauf zu achten, dass die Trainingsdaten so ausgewählt werden, dass keine Diskriminierung stattfindet. Viertens müssen KI-Systeme so gestaltet werden, dass deren Ausgaben im Prinzip nachvollziehbar und überprüfbar sind. Vermutlich ist die Liste dieser Herausforderungen nicht im Ansatz



vollständig; wir wissen im Moment nicht genug über KI, um bereits jetzt alle Gefahren klar erkennen zu können.

**Unter welchen Voraussetzungen können KI-Systeme in der medizinischen Diagnostik verantwortungsbewusst eingesetzt werden?**

Eine entscheidende Voraussetzung scheint mir die Einsicht zu sein, dass nur deshalb, weil auf einem diagnostischen Werkzeug „KI“ draufsteht, damit keine Wunder vollbracht werden können und auch keine Unfehlbarkeit erreicht werden kann. KI wird von Menschen entwickelt und bisher ist es Menschen nicht gelungen, fehlerfreie und nie versagende Technik zu bauen; daran wird sich auch in Zukunft nichts ändern. Darüber hinaus müssen die bereits genannten vier Herausforderungen gemeistert werden; und es muss all den ethischen, rechtlichen und sozialen Herausforderungen begegnet werden, auf die wir in der Zukunft mit Sicherheit noch stoßen werden. Technik im Allgemeinen und KI im Speziellen ist nicht irgendwann fertig und alle Probleme sind gelöst – Technikentwicklung ist ein Prozess mit offenem Ende.

**Wie wird ein KI-System für die medizinische Diagnostik „trainiert“ und welche datenschutzrechtlichen Fragen muss man sich dabei stellen?**

Es existieren unterschiedliche Lernverfahren. Alle basieren aber letztlich darauf, dass den KI-Systemen möglichst viele Daten präsentiert werden, die zu dem jeweiligen Einsatzfeld gehören. Im Fall der Speiseröhrendiagnostik sind das endoskopisch gewonnene Bilder der Speiseröhre. Beim Training werden dem System solche Daten präsentiert und die menschliche Diagnose dazu gefügt. Das System „sieht“ sich also die Bilder an und bekommt die Information: Da ist Krebs, da ist kein Krebs. Aus diesen Informationen extrahiert das KI-System dann Merkmale, was Krebs ausmacht. Man muss allerdings betonen: Diese Beschreibung bedient sich menschlicher Ausdrücke des Lernens, die bei KI-Systemen nur metaphorisch genutzt werden können. Eine korrekte technische Beschreibung würde auf sehr viel Mathematik zurückgreifen müssen. Aus datenschutzrechtlicher Sicht muss sichergestellt sein, dass die Trainingsdaten anonymisiert werden, damit kein Missbrauch stattfinden kann – das unterscheidet sich nicht vom Umgang mit anderen Daten. Ebenso wichtig ist aber, dass in den Daten keine Verzerrungen enthalten sind. Man kann dieses Problem an einem anderen Beispiel verdeutlichen, das gerade kontrovers diskutiert wird: Manche KI-Systeme, die die Kamerabilder beim autonomen Fahren auswerten sollen, wurden vor allem mit Bildern hellhäutiger Menschen trainiert; deshalb erkennen sie Menschen dunkler Hautfarbe sehr schlecht – im medizinischen Kontext könnte so ein einseitiges Training bspw. zu systematischen Fehldiagnosen führen.

**Wer ist im Zweifel für eine Fehldiagnose o. Ä. verantwortlich: Entwickelnde, Herstellende oder Nutzende?** Wenn ich auf diese Frage eine Antwort wüsste, wäre ich ein guter Kandidat für sehr viele Preise, Auszeichnungen

und Orden. Wie die Verteilung der Verantwortung am Ende aussehen wird, kann ich nicht sagen. Solche Fragen können Ethikerinnen und Ethiker nicht allein entscheiden, hier bedarf es eines sozialen und politischen Aushandlungsprozesses. Aus ethischer Perspektive scheint mir eine Grundvoraussetzung für die Übernahme von Verantwortung, dass stets nachvollziehbar bleibt, wie KI-Systeme bspw. medizinische Diagnosen stellen. Nur dann könnte man feststellen, wer einen Fehler begangen hat, und die Frage beantworten, ob dieser Fehler schuldhaft begangen wurde. Es wäre von allen Beteiligten, ob nun Entwickelnde, Herstellende, Nutzende oder andere Stakeholder, verantwortungslos, wenn KI-Systeme eingesetzt werden, deren Funktionsweise für alle eine „Black Box“ darstellt. KI muss erklärbar bleiben.

**Ein kurzer Blick in die Zukunft: Wie stellen Sie sich eine „Symbiose“ von Mensch und KI in der zukünftigen Medizin vor?**

Noch sind gute Diagnostikerinnen und Diagnostiker deutlich besser als KI-Systeme. Sollten KI-Systeme irgendwann bessere und verlässlichere Diagnosen stellen können, müsste ganz neu nachgedacht werden, denn unter solchen Umständen wäre es moralisch durchaus befragenswert, ob es noch zu verantworten wäre, sich auf die schlechtere Diagnose eines Menschen zu verlassen. Das wäre aber auch der Zeitpunkt, zu dem Gesellschaften ganz neu über Technikeinsatz nachdenken müssten. Dieser Zeitpunkt ist sicherlich noch ein gutes Stück entfernt, aber es wäre klug, jetzt schon mit dem Nachdenken zu beginnen und sich darauf vorzubereiten.

**Herzlichen Dank für das Gespräch!**



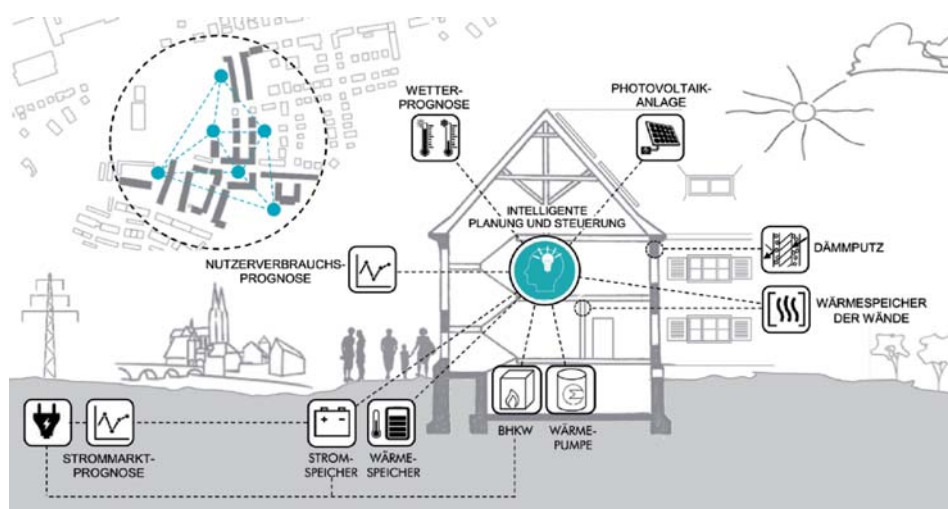
**Prof. Dr. Karsten Weber**  
OTH Regensburg | Fakultät Angewandte Sozial- und Gesundheitswissenschaften | Lehrauftrag: Anthropologische und ethische Grundlagen



Clever wohnen:

## Die Regensburger Margaretenau hat Köpfchen

Schon vor 100 Jahren haben die Erbauer der Margaretenau Neuland betreten, damals buchstäblich auf Sumpfgebiet im Westen Regensburgs, um gemeinsam eine Gartenvorstadt zu errichten. Heute denken die „Auerer“ an das kommende Jahrhundert und die damit verbundenen gesellschaftlichen und technologischen Herausforderungen. Sie sind Partner der OTH Regensburg im Forschungs- und Entwicklungsprojekt MAGGIE.



Projektübersicht: Der Kopf in der Mitte symbolisiert die zentrale künstliche Intelligenz für die Optimierung und Anlagensteuerung, mit dem Ziel der intelligenten Sektorenkopplung und Netzdienlichkeit

**„Intelligente Quartierslösungen tragen zu Netzstabilität, Klimaschutz und zur sozialen Energiewende bei.“**

Der Name MAGGIE steht sozusagen für die innovative, intelligente und gut vernetzte Enkelin von Margarete. Sie wird in einem Quartier leben, das zu ihr passt, da es Lösungen bereithält, die zur Stabilisierung des Stromnetzes und zur Umsetzung einer sozialen Energiewende beitragen und letztlich die Abmilderung des Klimawandels begünstigen.

Eine wichtige Rolle spielt dabei das zu entwickelnde Planungs-, Optimierungs- und Steuerungstool. Das darin enthaltene Optimierungsverfahren basiert zum Teil auf sogenannten evolutionären Algorithmen, das heißt, dass deren Funktionsweise an die Evolution natürlichen Lebens angelehnt ist. Das Tool, also die Maschine, soll damit Wissen aus Erfahrung generieren, Muster erkennen und im Optimalfall auch mit unbekanntem Daten zu recht kommen (Maschinelles Lernen).

Auf der Planungsebene findet so die Auslegung von Netzen und Anlagentechnik statt und auch eine Übertragung auf andere Quartiere wird möglich. Die Optimierung erfolgt nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten. Für die dynamisch-perspektivische Steuerung des Energieversorgungssystems liefert ein Monitoring-Werkzeug die Systemdaten für eine immer

wieder aktualisierte Betriebsoptimierung in Echtzeit. So kann mit diesem System zum Beispiel auch am Strom- und Regelleistungsmarkt agiert und für den Betreiber ein neues Erlösmodell erschlossen werden.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die vorhersagebasierte Versorgungstechnologie. Aus Datenzeitreihen für Strommarkt, Verbraucherverhalten (Lastgänge) und Wetter werden dabei mittels neuronaler Netze Prognosen generiert. Neuronale Netze werden in zahlreichen modernen Technologien der künstlichen Intelligenz angewendet, hauptsächlich im zweidimensionalen Bereich der Bilderkennung. In MAGGIE sollen sie für die Datenreihenvorhersage verwendet werden.

Letztendlich bedeuten all diese smarten Neuerungen geringere Energiekosten für die Bewohner und geringere Treibhausgasemissionen für die Umwelt. Eine Entlastung des Stromnetzes wird möglich, weil das Tool Flexibilitätspotentiale hebt und sogar der Betrieb im Schwarm, z. B. mit weiteren Quartieren oder Wohneinheiten, wird möglich.

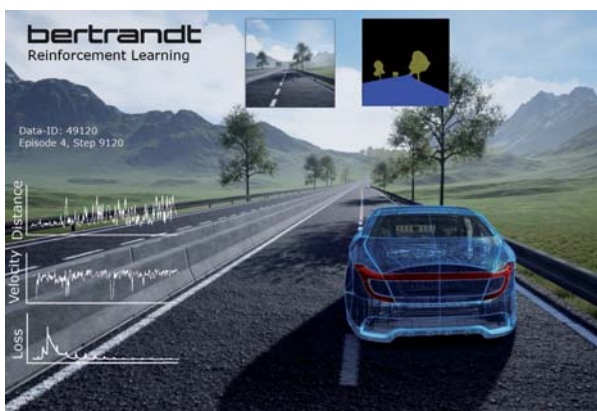
Das Projekt MAGGIE wird im Förderprogramm Solares Bauen durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Michael Riederer, Klaus Nagl und  
Oliver Steffens (Projektleiter) ■

## Aus der Forschung in die Praxis

### Autonomes Fahren mit Maschinenlernen in 3-D-Simulationen

Im Februar 2019 haben BMW und Daimler ihre Zusammenarbeit in der Entwicklung selbstfahrender Autos angekündigt, um den Vorsprung von Waymo und Tesla wettzumachen. Weitere Partnerschaften mit großen Technologie-Unternehmen sind unvermeidlich<sup>1</sup>.



Bildquelle: Bertrandt

Um für derartige Kooperationen gerüstet zu sein, arbeitet Bertrandt seit 2018 mit der Fakultät für Informatik und Mathematik der OTH-Regensburg zusammen. Dabei wird erforscht, welchen Beitrag Maschinenlernen auf die Herausforderungen des autonomen Fahrens haben wird. Ein herausragender Gesichtspunkt des Bertrandt-Lösungsansatzes ist die möglichst realitätsnahe Nachbildung des autonomen Fahrens in einer 3-D-Simulation, wie im Bild zu sehen. Das dort abgebildete Auto wird mittels tiefem „Reinforcement Lernen“ trainiert, einer der aktuell vielversprechendsten Methoden. Die Trainingsdaten kommen dabei von einer virtuellen Kamera innerhalb der Simulation. Zur Beschleunigung des Trainingsvorganges werden die Kamerabilder außerdem in eine vereinfachte Darstellung segmentiert.

Jan Dünneberger, Markus Wildgruber (Fa. Bertrandt) ■

1) <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/daimler-und-bmw-wollen-gemeinsam-roboterautos-entwickeln-a-1255581.html>

### Was du willst wird ausgeführt: Smartphone steuert Roboterschwarm

Das Schwarmrobotik-Projekt ist eine Kooperation der OSB AG mit Studierenden des Fachbereichs Informatik (Prof. Dr. Jan Dünneberger). Der Entwicklungsansatz, der OSB AG und ihrer Werkstudenten, ist der ungewöhnliche Versuch real in der Natur vorkommende Schwarmintelligenzen mit modernster und kostengünstiger Technologie (ARM Cortex System On a Chip, Bluetooth 5.0 MESH) nachzubilden. Kleine Roboter als Individuen im Schwarm entfalten erst im Zusammenschluss ihr volles Potential in Bewegung, Orientierung, koordinierten Tätigkeiten und Lösungsfindung. Dies geschieht dank eines ausgeklügelten Schwarmrobotik Operation Systems (OS) ganz analog zu natürlichen Ameisen- oder Bienenstaaten. Die genannte Technologie der Schwarmintelligenz ermöglicht neue und bisher unbekannte Spielmöglichkeiten.



Bildquelle: SILVERLIT

Eine gesondert entwickelte Smartphone-App bewerkstelligt, was bei einem natürlichen Schwarm nicht möglich ist, das Einbringen bestimmter Rahmenbedingungen in den Schwarm, die Prägung auf einen Benutzer, Mannschaftsbildung bei Spielen und On Air Updates des Schwarm OS. Die Schwarm Robotik KI ist ein vielschichtiges Lernspielzeug für Kinder ab sieben Jahren, das aber auch für Jugendliche und Erwachsene interessant sein mag.

Julius Roth und Timo Stadler ■

## Deep Learning zur computerunterstützten Früherkennung von Speiseröhrenkrebs aus endoskopischen Bildern

Chronischer Reflux (Rückfluss von Magensäure in die Speiseröhre) kann zu einer krankhaften Veränderung der Speiseröhrenschleimhaut führen („Barrett“). Sie gilt als Vorstufe für Speiseröhrenkrebs und macht regelmäßige endoskopische Kontrollen erforderlich. Dabei ist es schwierig, den Übergang von Barrett zu einer frühen Form des Speiseröhrenkrebses zuverlässig zu erkennen. Erst eine Gewebeprobe lässt eine sichere Diagnose zu.

Im Labor Regensburg Medical Image Computing (ReMIC) der OTH Regensburg wird an einem System zur Diagnoseunterstützung gearbeitet. Dabei werden künstliche Neuronale Netze mit vielen Schichten (Deep Learning) verwendet, die charakteristische Bildeigenschaften eigenständig lernen und so die Wahrscheinlichkeit für eine Läsion in neuen Bilddaten ermitteln können. Voraussetzung dafür sind viele Bilder, in denen Expertinnen und Experten die verdächtige Region (Barrett oder Speiseröhrenkrebs) manuell eingezeichnet haben.

Das Deep Learning System wurde an 74 Bildern getestet und erzielte eine Genauigkeit von 86% gegenüber 77% bei Ärztinnen und Ärzten ohne spezielle Expertise in der Barrettdiagnostik. Damit erscheint die Rolle des Computers als Zweitgutachter in der Diagnostik dieses Spezialgebietes erreichbar.

**Kooperationspartner: Universitätsklinikum Augsburg, São Paulo State University**

Projektleiter: Prof. Dr. Christoph Palm (Deep Learning) und Karsten Weber (Ethische Begleitforschung)

*Christoph Palm* ■

## Lernen statt Programmieren



*Durchlichtbild: Drosselklappe in verschiedenen Posen*

In der industriellen Fertigung müssen Roboter oft Werkstücke greifen, deren Lage und Orientierung etwa auf einem Förderband nicht genau bekannt ist. Dazu nimmt eine Kamera ein Bild auf, aus dem mit Standard-Verfahren der Bildverarbeitung die Lageinformation errechnet wird. Hierzu müssen qualifizierte Spezialisten geeignete Verfahren auswählen, ggf. erweitern, als Software implementieren, und in der Anlaufphase verschiedene Parameter optimieren. Im Projekt „Lernen von Posen“ wird untersucht, ob und wie genau die Bestimmung der Pose, also der sechs Freiheitsgrade für Position und Orientierung, auch von convolutional neural networks (CNNs) geleistet werden kann. Fallspezifische Programmierung und Experten-Knowhow sind hier nicht mehr erforderlich, stattdessen lernen die CNNs über Standardalgorithmen anhand von Trainingsdaten, auf denen das Werkstück in unterschiedlichen bekannten Posen abgebildet ist. Reicht die Genauigkeit noch nicht, können die CNNs anhand weiterer Beispiele nachtrainiert werden.

**Kooperationspartner: Baumann Automation GmbH, Amberg; GD Engineering&Automation, Friedberg**

Projektleiter: Prof. Dr. Martin Weiß

*Martin Weiß* ■

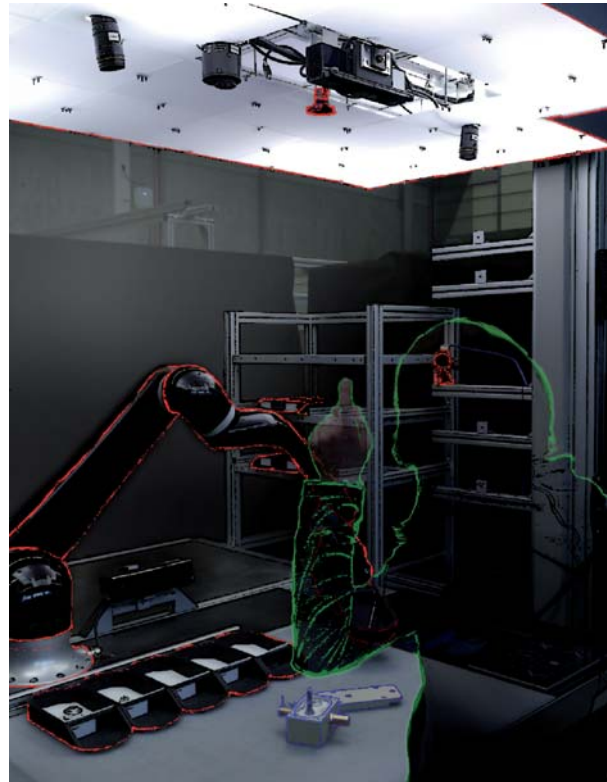
Das Projekt „Lernen von Posen“ wird vom Freistaat Bayern gefördert.

## Aktivitätserkennung für industrielle Mensch-Maschine-Interaktion

Nonverbale Kommunikation beeinflusst die Interaktion zwischen Menschen sowie zwischen Mensch und Maschine entscheidend. Dabei bildet die Erkennung menschlicher Aktivitäten wie Gesten oder Arbeitshandlungen die Grundlage für eine situationsabhängige Steuerung der Maschine. Die Regensburg Robotics Research Unit befasst sich daher mit der Erkennung menschlicher Aktivitäten im industriellen Kontext.

Eine Methode zur Aktivitätserkennung ist beispielsweise die Klassifikation menschlicher Posen mittels Long Short-Term Memory Networks. Da derzeit für neue Anwendungsfälle das gewählte Netzwerk zuerst durch einen umfangreichen, individuell erstellten Datensatz trainiert werden muss, ist eine industrielle Anwendung kaum möglich. Aus diesem Grund forscht die Regensburg Robotics Research Unit an Methoden zur Übertragung von Aktivitätserkennungen auf neue Anwendungsfälle. Hierfür wurde ein Training durch Daten vorhandener Anwendungen realisiert und das trainierte Netz mittels Transfer Learning auf neue Anwendungen übertragen – ohne einen spezifischen Datensatz zu generieren. Die entwickelte Aktivitätserkennung wird derzeit mittels eines typischen industriellen Szenarios validiert.

Sandra Rochholz ■



*Aktivitätserkennung in einem Montageprozess, Regensburg Robotics Research Unit*

Sicher in die Zukunft starten:

## Autonomes Fahren mit KI und dem Rasmussen-Modell

**Wie wird der Verkehr der Zukunft sicher? Wenn Fahrzeuge immer autonomer und komplexer werden, benötigt man Systeme, die den Anforderungen der funktionalen Sicherheit gerecht werden. Das Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS<sup>3</sup>) hat mit seinem Kooperationspartner Continental eine Struktur ausgearbeitet, um dieser Komplexität mit dem sogenannten Machine Learning zu begegnen. Die Wissenschaftler schlagen eine Adaption des Rasmussen-Modells vor, das zwischen der Fähigkeitsanwendung, der regel- und der wissensbasierten Handlung unterscheidet. Das erweitert bisherige Vorstellungen von sicherem Systemverhalten.**

In der Erforschung der funktionalen Sicherheit im Automotive-Sektor spielt der Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) eine immer stärkere Rolle. Der Straßenverkehr der Zukunft mit vollständig autonom agierenden Fahrzeugen ist ohne dynamisch lernende Softwaresysteme kaum vorstellbar. In der Gegenwart sieht es allerdings mit Blick auf die hohen Sicherheitsanforderungen bestehender Normen ganz anders aus: KI ist noch nicht einsatztauglich. Prof. Dr. Jürgen Mottok vom LaS<sup>3</sup> der OTH Regensburg forschte daher zusammen mit Alexander Rudolph (Department Safety, Safety-in-Use & Cybersecurity bei Continental Teves) und Stefan Voget (Artificial Intelligence and Robotics Laboratory, AIR Lab, Continental Automotive) an einem Modellierungsansatz, um KI-Algorithmen betriebssicher konzipieren zu können. Ziel der Arbeit war es, die Grundlage zu schaffen, mit der KI-Methoden auf der Basis funktionaler Sicherheit gemäß ISO26262 zukünftig in sicherheitskritischen Umgebungen, etwa im autonomen Fahren, eingesetzt werden können. Derzeitiger Stand: Die Norm IEC61508 zur funktionalen Sicherheit, herausgegeben von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC), lehnte bisher Heuristiken wie die KI explizit ab.

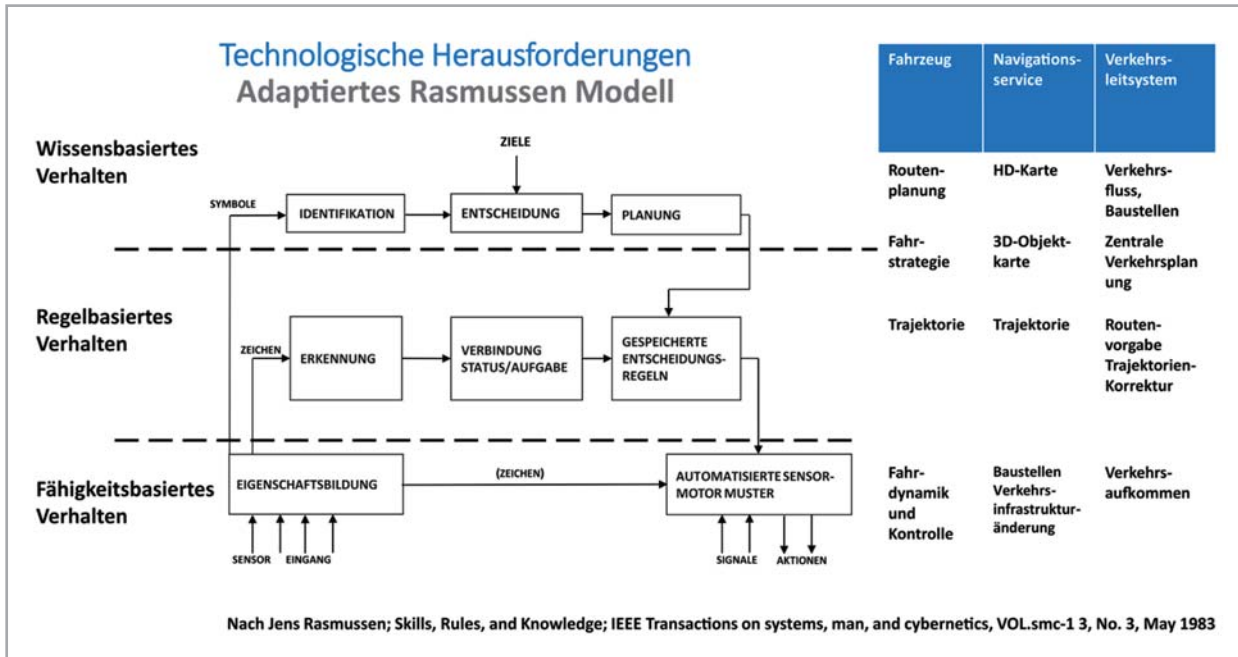
In der Zukunft werden Automobile jedoch trainiert, um ihre „Kenntnisse“ auf den Straßen anwenden zu können. Basis dafür ist das Machine Learning, das neuronale Netze zum Einsatz bringt. Diese Technologie adaptiert Prozesse menschlicher Informationsverarbeitung. Wobei der Begriff der „Intelligenz“ nicht den Bedeutungsumfang besitzt, den er für uns Menschen hat. Intelligente Maschinen unterscheiden sich von traditionellen darin, dass sie spezielle Probleme selbstständig lösen können. Damit besitzt diese Technologie eine Reihe von Eigenschaften, die in der automobilen Zukunft von großer Bedeutung sein werden. Sie sind effektiv, weil sie hoch performant parallelisiert und verteilt mit großer Fehlertoleranz arbeiten. Da sie selbstständig „lernen“, unterliegen Entwickler nicht den Schranken, eine vollständige und umfassend beschriebene Verhaltensstruktur zu programmieren. KI-Systeme lernen neue Features, die mit bereits bestehenden Funktionen in Zusammenhang stehen. Unschärfen lassen sich in der Regel mit den Verfahren des klassischen System Engineering nicht gut ab-

bilden. Auch das realisiert KI. Außerdem lassen sich Funktionen bereits inhärent verteilt repräsentieren. Dies ist die Grundlage für paralleles Computing.

All diese Eigenschaften müssen bestehende Sicherheitsnormen erfüllen. Die Dynamik der KI überschreitet hingegen grundlegende Prinzipien deterministischer Systemreaktionen. Diese jedoch werden von den Industrienormen eingefordert. „Der Straßenverkehr der Zukunft erfordert ein Umdenken, denn er wird zu komplex werden, wenn autonome Systeme ihn bestimmen. Das bedeutet, dass man nicht nur einzelne Situationen betrachtet, sondern ganze Szenarien“, beschreibt Jürgen Mottok.

Betrachtet man die Anforderungen an funktionale Sicherheit und IT-Sicherheit in sicherheitskritischen Umgebungen wie der des autonomen Fahrens, ist der Einsatz von den Heuristiken der Künstlichen Intelligenz (KI) derzeit in einer aus dem normativen Umfeld abgesicherten Weise nicht möglich. Das bedeutet, dass Sicherheitsmaßstäbe, die in der gegenwärtigen Fahrzeugsteuerung und -regelung gelten, von KI-Systemen nicht gewährleistet werden können. Aus diesem Grund müssen neue Ansätze entwickelt werden, um KI-Algorithmen grundsätzlich in einem solchen Kontext sowohl überwachen als auch zertifizieren zu können. Diese Problemstellung bearbeiteten Jürgen Mottok, Alexander Rudolph und Stefan Voget. Die Autoren nutzen das Rasmussen-Modell, das fähigkeitsbasierte, regelbasierte und wissensbasierte Verhaltensebenen voneinander unterscheidet. Der Däne Jens Rasmussen (1926–2018) war Experte am Nationalen Laboratorium für Erneuerbare Energie, Risø, bei Roskilde, und forschte in den Bereichen Systemsicherheit und Humanfaktoren. Sein Modell aus dem Jahr 1983 bezieht sich auf die menschliche Handlungsregulation und ihre kognitiven Prozesse im Verhältnis Mensch-Maschine. Für ihn sind „Menschen nicht einfach deterministische Input-Output-Systeme, sondern zielorientierte Wesen, die aktiv Ziele auswählen“ (Rasmussen 1983, S. 257). Ein einfaches Szenario mag es illustrieren: Hat ein Fahrradreifen (Signal) wenig Luft, pumpt man ihn auf (Fähigkeit, eine Luftpumpe zu bedienen). Wenn das Rad zu träge reagiert, pumpt man den Reifen auf (Anwendung einer Regel). Bei maximalem Kraftaufwand fährt man





Das adaptierte Rasmussen-Modell

langsam, obwohl der Reifen aufgepumpt war, also kann das Ventil defekt oder der Schlauch ein Loch aufweisen. Der Reifen muss untersucht werden. Die Entscheidung steht an, ob das Ziel ohne zu flicken oder ohne Ventilwechsel erreicht werden kann oder nicht (wissensbasiertes Verhalten).

Das Beispiel zeigt, wie Menschen Wissen abrufen, Regeln anwenden und ihre Fähigkeiten einsetzen. Das lässt sich auf Machine-Learning-Systeme übertragen, wie Jürgen Mottok, Alexander Rudolph und Stefan Voget anhand von Fahrzeugstabilisierung und -kontrolle herausgefunden haben. Auf den Verhaltensebenen werden dann unterschiedliche Maßnahmen der funktionalen Sicherheit etabliert. „Klassische Normen der funktionalen Sicherheit beschränken sich auf die fähigkeitsbasierte Ebene. In Zukunft müssen wir allerdings in ganzen Szenarien denken, und wenn wir das tun, hilft das Rasmussen-Modell dabei, die Anforderungen aus einer szenischen Sicht zu abstrahieren, um sie dann in Systemen implementieren zu können“, erklärt Jürgen Mottok. Die KI solle dazu in der Lage sein, die gesamte Umgebung zu erkennen, also nicht nur auf einen einzelnen Messwert reagieren. Diese Szene soll das System klassifizieren und daraus wahrscheinliche Verhaltensweisen generieren, bewerten und zu guter Letzt entscheiden.

Als KI-System definieren sie das System, eine Lernprozedur, den Lerninhalt und ein Lernziel. Auf dieser Basis bieten die Autoren ein strukturelles Framework an, in dem Aspekte der Betriebssicherheit von KI argumentiert werden können. Die Forschungen erweitern bisherige Safety-Implementierungen um zwei höhere Ebenen und unterbreiten eine Auswahl von Vorschlägen technischer Maßnahmen, die weit über den fähigkeitsbasierten Bereich hinausweisen. Als Beispiele lassen sich Mechanis-

men zur Unvollständigkeitsanalyse der Lerndaten des Systems oder Regelableitungen auf der Ebene des wissensbasierten Verhaltens nennen. Auf der regelbasierten Ebene können dies der Einsatz der Extremwerttheorie oder Plausibilitätschecks sein. Zuvor betrachteten die Forscher unterschiedliche Lernweisen von KI und fokussierten dabei zunächst auf eine Einstiegsform: das Off-Operation-Lernen. Lernen und Betrieb der Maschine werden mit Blick auf den Lebenszyklus des Projekts voneinander getrennt. „Gelernt“ wird auf externen Hochleistungssystemen oder in Rechenzentren.

Um nun eine deutliche Übersicht der Safety-Problematik mit Blick auf das Off-Operation-Lernen von KI zu bekommen, setzten die Autoren die Goal Structure Notation (GSN) auf das Off-Board-Lernen von deterministischen neuronalen Netzwerken an. Mit dieser grafischen Problem-darstellung lassen sich die individuellen Elemente eines jeglichen Safety-Aspekts abbilden und die Zusammenhänge zwischen ihnen identifizieren. Die Untersuchungen von Jürgen Mottok, Alexander Rudolph und Stefan Voget sind daher ein Ansatz zu einer konsistenten Analyse der funktionalen Sicherheit. Der dazugehörige Konferenzbeitrag ist im April 2018 bei der ERST<sup>3</sup> mit einem Best Presentation Award ausgezeichnet worden.

Derzeit arbeitet das LaS<sup>3</sup>, aufbauend auf den geschilderten Grundlagen, an einem angepassten empirischen Absicherungsverfahren mit einem zweiten neuronalen Netzwerk, das die Rolle eines Observers innehat. Das bedeutet, dass eine KI die andere wie ein Co-Pilot den Piloten überwacht. Hierzu wird im Mai 2019 eine IEEE-Veröffentlichung erfolgen. (Siehe auch „Vertrauen ist gut, Algorithmus ist besser“, S. 22)

Vertrauen ist gut, Algorithmus ist besser:

## Wenn Künstliche Intelligenz und Echt-Welt-Daten aufeinandertreffen

**Der digitale Wandel unserer Gesellschaft hat zur Folge, dass Maschinen nicht mehr einer starren Programmierung folgen, sondern zunehmend autonom agieren. Für Geräte ergibt sich die Notwendigkeit, sich in einer unbekanntem und sich verändernden Umgebung zurechtzufinden. Automatisiertes Fahren in der Automobilindustrie, Assistenzsysteme für Krebsdiagnose in der Medizintechnik oder der Übergang von eingefahrenen Prozessen zu bedarfsangepasster Fertigung in der Chemieindustrie sind nur einige Beispiele für automatisierte Robotiksysteme.**

Lernende Algorithmen erzielen gegenwärtig beeindruckende Ergebnisse in sicherheitskritischen Anwendungen, etwa Assistenzsysteme zur Erkennung von Fußgängern in Fahrzeugen. Aus diesem Grund besteht ein großer Bedarf an Methoden zur Verbesserung der Interpretierbarkeit und der funktionalen Sicherheit dieser Algorithmen.

Um in unbekanntem Terrain arbeiten zu können, wird vor allem auf probabilistische Algorithmen oder datenbasierte Algorithmen zurückgegriffen. Für die Navigation in autonomen Fahrzeugen ist beispielsweise das Kalman-Filter – ein mathematisches Verfahren – wieder populär geworden. Die bekannteste Anwendung ist wohl das Apollo-Programm der NASA in den sechziger Jahren, das Neil Armstrong und Buzz Aldrin als erste Menschen auf den Mond brachte.

Des Weiteren wurden in letzter Zeit datenbasierte Algorithmen wiederentdeckt und verbessert. Durch deren erstaunliche Ergebnisse in der Sprach- und Bilderkennung im Bereich Deep Learning erfahren neuronale Netze derzeit eine Renaissance. Ein Anwendungsbeispiel ist Fußgängererkennung in autonomen Fahrzeugen. Dieses Beispiel zeigt den Trend, dass autonome Systeme künftig in zunehmendem Maße den menschlichen Alltag gestalten und in Teilbereichen sogar die Kontrolle vollständig vom Menschen übernehmen [3].

Der vermehrte Einsatz von autonomen Systemen birgt jedoch auch Risiken. Wenn Maschinen verstärkt mit Menschen in Interaktion treten, kann es häufiger zu Schäden kommen (psychisch/körperlich/monetär...). Aus diesem Grund ist ein erhöhtes Maß an funktionaler Sicherheit notwendig. Dem steht jedoch die Natur schlechter Interpretierbarkeit von neuronalen Netzen entgegen.

Man will dennoch auf deren Eigenschaft, Quereinflüsse anhand von Daten zu lernen, nicht verzichten. Solange die Daten statistisch repräsentativ sind, um die Welt, in der ein Algorithmus agiert, in ausreichendem Maße zu beschreiben, können so komplexe Zusammenhänge beschrieben werden, die mit modellbasierten Ansätzen nur schwer bis überhaupt nicht möglich wären.

Ein erster Ansatz für die Entwicklung besserer Methoden hierfür besteht darin, die Schätzungen von sogenannten Klassifizierern zu qualifizieren. Das Vertrauen in das Ergebnis eines Klassifizierers in Form eines neuronalen Netzes wird erhöht, indem das Verwerfen von Daten, die nicht vertrauenswürdig sind, dem Risiko einer Fehlklassifizierung vorgezogen wird. Für diesen Zweck wurde ein Modell entworfen, das Daten erkennt, die sich in ihrer Struktur erheblich von jenen Trainingsdaten unterscheiden. Dafür werden die Aktivierungen aller Layer (inklusive Input- und Output-Layer) von neuronalen Netzen überwacht und Daten verworfen, die ein erhöhtes Risiko der Genauigkeitsverringern der Klassifizierung bergen. Das Vorgehen kann zu Prüfzwecken verwendet werden, ob der Klassifizierer die auf ihm präsentierten Daten gut generalisiert. Gegebenenfalls fehlende Information kann mit weiteren Daten in einen weiteren Trainingsdurchgang einfließen.

Eine der häufigsten Ursachen für Schlussfolgerungsfehler neuronaler Netze als Klassifizierer liegt in der Gestalt ihrer Trainingsdaten. Diese maßgebliche Mängel in den Trainingsdaten sind z. B.:

- Korrelation zwischen Klassen: Korrelation in Form von Ähnlichkeit erschwert die Unterscheidung von Klassen
- Bias in den Daten: Ein gemessener Datensatz beschreibt möglicherweise nicht genau genug alle möglichen Zustände seiner Welt
- Rauschen in den Daten, d. h. schlechte Qualität von Daten
- Das Fehlen von Daten



Häufig werden Klassifizierer ausschließlich in einer einzigen Wiederholungsschleife mit einem Datensatz trainiert. Anschließend werden sie eingesetzt, ohne dass ihre funktionale Reaktion auf Echt-Welt-Daten in Frage gestellt wird. Man vertraut dem Algorithmus sozusagen blind.

Aus diesem Grund wurde ein Algorithmus entwickelt, der erkennt, wenn sich die Daten wesentlich von jenen des Trainingsdatensatzes unterscheiden. Ist dies der Fall, ist davon auszugehen, dass einer der oben aufgezählten Mängel in den Daten vorliegt. Wenn dies wiederum der Fall ist, ist mit einem Anstieg der Falschklassifizierungen zu rechnen. Um das Vertrauen in die Ergebnisse eines Klassifizierers zu erhöhen, wurde deshalb ein Algorithmus entwickelt, der erkennt, ob das Modell noch fähig ist, die Daten seiner Umwelt zu generalisieren (siehe Abbildung).

### „Best Practice“ für ein Höchstmaß an funktionaler Sicherheit

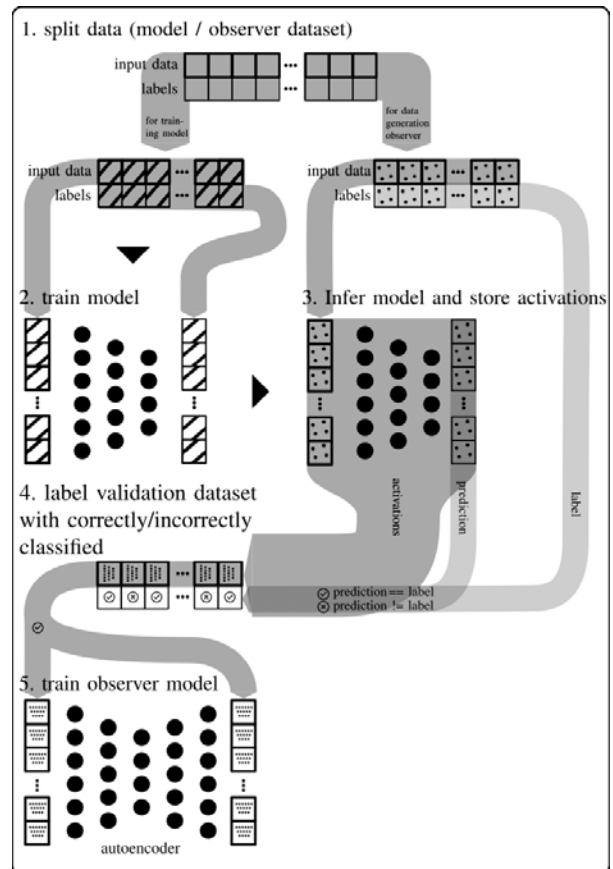
Das Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS<sup>3</sup>) und das Sensorik-ApplikationsZentrums (SappZ) der OTH Regensburg haben hierfür eine Art „Best-Practice“-Vorgehen vorgeschlagen [1], um ein Höchstmaß an funktionaler Sicherheit in Algorithmen der künstlichen Intelligenz garantieren zu können. Als erster Ansatz im Zuge dieser Arbeit wurde in Zusammenarbeit von LaS<sup>3</sup> und SappZ eine Möglichkeit geschaffen, um die Black Box neuronaler Netze ein Stück weit zu öffnen. Der Algorithmus erkennt, wenn sich Daten, mit denen der Algorithmus zur Laufzeit konfrontiert wird, wesentlich von jenen unterscheidet, mit denen trainiert wurde [2]. Diese Technologie kann dafür verwendet werden, in Online-Learning-Systemen zu ermitteln, ob sich die Daten bereits ausreichend unterscheiden, sodass es sich lohnt, einen neuen Lernschritt durchzuführen. Auch kann er dafür verwendet werden, um fehlerhaftes Verhalten zur Laufzeit aufzudecken. Die Wahrscheinlichkeit, Fehler durch einen Test zu erkennen, bezeichnet man in der funktionalen Sicherheit als Diagnosedeckungsgrad.

Mehr zum Thema funktionale Sicherheit von KI-Systemen, Handlungsempfehlungen für autonome (KI-basierte) Systeme und sowohl Chancen als auch Risiken autonomer Systeme erfahren Sie im Positionspapier „Autonomous Systems“ [3], an dem der Regensburger ZD.B.-Professor Dr. Jürgen Mottok mitgewirkt hat.

Jürgen Mottok, LaS<sup>3</sup>

Rudolf Bierl, SappZ

Andreas Gschossmann, LaS<sup>3</sup> und SappZ ■



1. Die Daten in Trainingsdaten für den eigentlichen Klassifizierer und das sogenannte Observer-Netzwerk geteilt; 2. Der Klassifizierer wird trainiert; 3. Alle Aktivierungen werden gespeichert; 4. Die Daten werden in „korrekt klassifiziert“ und „falsch klassifiziert“ unterteilt; 5. Das Observer-Netzwerk wird in Form eines Autoencoders trainiert, um korrekt klassifizierte Daten von inkorrekt klassifizierten Daten unterscheiden zu können. [2]

#### Literatur:

- [1] A consistent safety case argumentation for artificial intelligence in safety related automotive systems, Alexander Rudolph, Stefan Voget, Jürgen Mottok, Embedded Real-Time Software and Systems (ERTS<sup>3</sup>), 2018
- [2] A Measure of Confidence of Artificial Neural Network Classifiers, Andreas Gschossmann, Simon Jobst, Jürgen Mottok, Rudolf Bierl, akzeptiert, wird im 4ten IEEE Workshop FORMUS<sup>3</sup>IC im Rahmen der 32th International Conference on Architecture of Computing Systems (ARCS) veröffentlicht
- [3] Positionspapier Autonomous Systems, Katja Auerhammer (TH Nürnberg – ZD.B), Anja Bodenschatz (TU München – ZD.B), Konrad Doll (HAW Aschaffenburg – ZD.B), Viktor Kress (HAW Aschaffenburg – ZD.B), Jürgen Mottok (OTH Regensburg – ZD.B), Matthias Uhl (TU München – ZD.B), [https://zentrum-digitalisierung.bayern/wp-content/uploads/ZDB\\_Sammelband\\_Inhalt\\_WEB\\_2.pdf](https://zentrum-digitalisierung.bayern/wp-content/uploads/ZDB_Sammelband_Inhalt_WEB_2.pdf) (28.03.2019)

Laboreinblick:

## Regensburg Medical Image Computing (ReMIC) – Von Künstlicher Intelligenz bis Mixed Reality

Die Medizinische Bildverarbeitung bildet einen wichtigen Baustein der Medizinischen Informatik. An der OTH Regensburg vertritt das Labor Regensburg Medical Image Computing (ReMIC) der Fakultät Informatik und Mathematik dieses Gebiet in Lehre und Forschung. Es ist Mitglied in den Forschungseinrichtungen Regensburg Center of Biomedical Engineering (RCBE) und Regensburg Center of Health Sciences and Technology (RCHST). In Kooperation mit Klinikerinnen und Klinikern bilden im ReMIC z. B. computerunterstützte Diagnostik und medizinisches Training thematische Schwerpunkte.

### Medizinische Bildverarbeitung

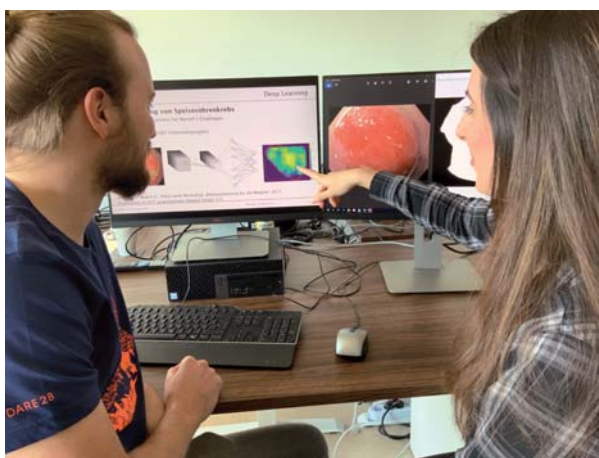
Das Sprichwort „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“ trifft im besonderen Maße auf den medizinischen Kontext zu. Bilder – egal ob 2D-Aufnahmen aus Fotografie und Endoskopie oder 3D-Bilddaten aus der Magnetresonanztomographie bzw. der Computertomographie – sind häufig Bestandteil des medizin-diagnostischen Prozesses. Die Aufgabe der Ärztinnen und Ärzte ist es, diese Bilddaten zu analysieren und z. B. krankhafte Veränderungen wie Frakturen, Zysten oder Tumore zu finden. Die Analyse der Bilder ist jedoch letztlich immer subjektiv und abhängig von z.B. der Erfahrung der Ärztin oder des Arztes.

Die Medizinische Bildverarbeitung verfolgt das Ziel, die Ärztin bzw. den Arzt bei der Analyse der Bilddaten zu unterstützen und eine objektive Vermessung des Gewebes zu gewährleisten.

### Deep Learning

Die „klassische“ Bildverarbeitung hat in den letzten fünf Jahren einen starken Wandel hin zur Anwendung von Künstlichen Neuronalen Netzen erlebt. Der wesentliche Unterschied dabei ist, dass Bildmerkmale nicht mehr im Dialog zwischen Partnerinnen und Partnern aus Medizin und Informatik entwickelt, sondern vom Rechner selbst gelernt werden. Damit ist die Medizinische Bildverarbeitung zu weiten Teilen eine Disziplin der Künstlichen Intelligenz geworden. Das ReMIC fokussiert sich seit einigen Jahren auf die Methodenentwicklung und Anwendung von Deep Learning Verfahren. Deep Learning ist ein Teilgebiet des Maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz und setzt Neuronale Netze mit sehr vielen Schichten ein.

Allerdings ist es für diesen Lernprozess erforderlich, das gewünschte Segmentierungsergebnis für eine große Zahl von Bildern vorab zu kennen. Eine wichtige Aufgabe der



Deep Learning für endoskopische Bilder der Speiseröhre



Für das HaptiVisT System wird ein Versuchsaufbau entwickelt, um den notwendigen Druck bei der Bohrung am Beispiel von Hühnerknochen zu messen.

klinischen Partnerinnen und Partner ist es deshalb, solche von Hand markierten Bilddaten zur Verfügung zu stellen. Nach dem Training des Neuronalen Netzes ist es dann möglich, neue Bilder automatisch zu segmentieren oder zu klassifizieren.

## Deep Learning im ReMIC

Deep Learning Methoden sind sehr rechenintensiv und arbeiten mit sehr großen Datenmengen. Deshalb verlagern die entsprechenden Softwarebibliotheken viele Rechenschritte vom Prozessor (Central Processing Unit, CPU) auf die Grafikkarte (Graphical Processing Unit, GPU), wo sie hochparallel abgearbeitet werden können. Eine entsprechend gute Hardwareausstattung ist erforderlich. Das ReMIC verfügt über diese Ausstattung: ein GPU Cluster mit acht performanten GPUs, das durch zwei Workstations mit jeweils zwei GPUs ergänzt wird. Speziell für die Lehre wird das Cluster bald um weitere acht GPUs aufgestockt. Das ReMIC bietet ein Wahlpflichtmodul „Basics of Deep Learning for Image Analysis“ und ein Mastermodul „Bildanalyse und Machine Learning“ an. Darüber hinaus wird sich künftig ein Pflichtmodul des Studiengangs Medizinische Informatik mit Deep Learning für die Medizinische Bildverarbeitung beschäftigen.

Derzeit sind im ReMIC sind zwei Doktoranden mit Projekten im Bereich Deep Learning beschäftigt, deren Arbeit durch Bachelor- und Masterarbeiten ergänzt wird. Beide Projekte arbeiten mit endoskopischen Bilddaten.

## Mixed Reality im ReMIC

Neben dem Fokus auf Deep Learning wird im ReMIC seit einigen Jahren, auch im Rahmen einer Doktorarbeit, ein Trainingssystem für minimalinvasive Handoperationen entwickelt. Mit Hilfe eines deutschlandweiten Konsortiums mit Partnern aus Industrie, Kliniken und Wissenschaft wird im HaptiVisT Projekt eine möglichst realistische Simulation einer solchen Operation geschaffen. Damit wird es künftig möglich, dass angehende Ärztinnen und Ärzte an diesem Trainingsgerät die Operationstechnik mit dem Bohrer üben, bevor sie einen Menschen operieren. Das HaptiVisT System nutzt Komponenten aus haptischem Feedback, 3D-Visualisierung und 3D-Druck, die zusammenwirken und so eine Mischung aus echter Welt (3D-gedruckte Hand) und virtueller Welt (3D-Visualisierung) bilden, die sogenannte Mixed Reality.

ANZEIGE

BEI UNS KANNST DU DEINE  
IDEEN VERWIRKLICHEN





Hausgeräte



Haustechnik



Umwelttechnik



Wir bieten Praktika & Abschlussarbeiten in der Mechanik-, Elektronik- und Sensorik-Entwicklung sowie im betriebswirtschaftlichen Bereich.

Bei uns findest Du

- Eine familiäre und internationale Atmosphäre
- Die Möglichkeit, eigene Ideen umzusetzen
- Interessante Zukunftsperspektiven



emz-Hanauer GmbH & Co. KGaA  
Siemensstraße 1  
D-92507 Nabburg  
[www.emz-hanauer.de/de/karriere](http://www.emz-hanauer.de/de/karriere)

emz – THE SMILING COMPANY



# Lebens- wissenschaften und Ethik

**Lebenswissenschaften und Ethik umfassen die Forschung an gesellschaftlich relevanten technischen und sozialwissenschaftlichen Themen. Mit Partnern aus Kliniken, Gesellschaft, Industrie und Unternehmen werden Prozesse und Produktideen entwickelt, die den zukünftigen Herausforderungen unserer Gesellschaft Rechnung tragen. Dabei spielt die Vernetzung unserer medizintechnischen und medizininformatischen Expertise mit unseren Kompetenzen im Gesundheitsbereich eine entscheidende Rolle. Ebenso sind Sozialforschung und Technologiefolgenabschätzung, Akzeptanzforschung, Ethik, Personalarbeit sowie Nachhaltigkeit weitere zentrale Aspekte des Forschungs-Leitthemas.**

# Befragung zur Weiterbildung in Regensburg – Nutzung von Blended- und e-Learning-Formaten

Im Rahmen einer Bedarfserhebungsstudie für die Volkshochschule der Stadt Regensburg wurde unter anderem die Bereitschaft zur Nutzung digitaler Lerninhalte und Kursformen untersucht. An der Online-Umfrage zu Beginn des Jahres 2018 nahmen 1219 Personen teil. Es zeigte sich eine hohe Bereitschaft Blended- oder e-Learning-Formate zu nutzen. Dabei finden sich signifikante Effekte hinsichtlich Alter, Geschlecht und Bildungsstand. Insbesondere Erfahrungen mit digitalen Lernformen wirken sich positiv auf die Nutzung digitaler Kursformate aus. Als größtes Weiterbildungshemmnis gelten zeitliche Gründe.

## Einleitung

Im Rahmen ihres 100-jährigen Jubiläums strebt die Volkshochschule (VHS) der Stadt Regensburg eine Neukonzeption an. Im Zuge dessen beauftragte sie mit finanzieller Unterstützung des Fördervereins „Wissen und mehr“ das Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST) der OTH Regensburg mit einer Bedarfserhebungsstudie. Diese wurde als Onlinebefragung im Zeitraum vom 15.01. bis zum 09.02.2018 umgesetzt. Ein Abschlussbericht wurde erstellt (Haug/Schmidbauer/Koch 2018<sup>1</sup>) und mehreren Gremien der VHS Regensburg präsentiert. Einen Teilbereich der Bedarfserhebung stellte die Nutzung digitaler Medien und der Kursformate „Blended-Learning“ (Vermischung von Einheiten vor Ort und online) und „e-Learning“ (alle Einheiten finden online statt) dar, auf die in diesem Bericht auszugsweise eingegangen wird.

## Erhebung und Stichprobenbeschreibung

Die Befragung richtete sich an alle aktuellen Kundinnen und Kunden (36.515 Teilnehmende und 2.053 Nutzende BIC<sup>2</sup>) sowie ehemalige und potenzielle Nutzerinnen und Nutzer. Um die breite Zielgruppe der VHS Regensburg zu erreichen, wurde die Befragung umfangreich beworben. Dazu zählten sowohl klassische Werbemittel wie Plakate und Handzettel, als auch Rundmails an Kundinnen, Kunden sowie Multiplikatorinnen und Multiplikatoren. Dadurch wurde eine Stichprobengröße von 1.219 Personen erreicht. Der Onlinefragebogen wurde mehrheitlich von Frauen ausgefüllt. Knapp drei Viertel aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren zwischen 26 und 55 Jahre alt, bei einem mittleren Alter von vierzig Jahren. Das Niveau der schulischen Bildung war überdurchschnittlich hoch, wohingegen Personen mit Migrationshintergrund unter-

repräsentiert waren. Obwohl dies eine Verzerrung im Vergleich zur definierten Grundgesamtheit der erwachsenen Bevölkerung der Stadt Regensburg<sup>3</sup> darstellt, so wurde damit doch die übliche Zielgruppe der Volkshochschulen getroffen.

## Weiterbildungsgründe und -hemmnisse

Von besonderem Interesse für die VHS sind die Weiterbildungsgründe (potentieller) Kundinnen und Kunden. Diese sind die Fortentwicklung und Erweiterung von Wissen, Fähigkeiten und Kompetenzen als auch die Steigerung von Gesundheit und Wohlbefinden. Als größte Weiterbildungshemmnisse gelten demgegenüber mit Abstand zeitliche Gründe und nach der Arbeit zu müde und gestresst zu sein. In Anbetracht dieses Umstands rückt die Nutzung von sogenannten „erweiterten Lernwelten“ in den Fokus<sup>4</sup>.

## Mediennutzung

Das am häufigsten genutzte Medium zur Informationsgewinnung ist das Buch, gefolgt von Laptop und Handy/Smartphone. Wie erwartet zeigt sich hierbei ein signifikanter Alterseffekt: Über 40-Jährige nutzen vermehrt Zeitungen, Fachzeitschriften und Computer, jüngere Befragte hingegen tragbare Medien (Laptop, Smartphone). Das Buch wird von beiden Altersgruppen zu gleichen Teilen genutzt.

## Digitale Lerninhalte und Kursformate

Jüngere, männliche Befragungsteilnehmer geben signifikant häufiger an, bereits Erfahrungen mit der Nutzung digitaler Lerninhalte zu haben (siehe Abb. 1). Insgesamt könnten sich immerhin mehr als die Hälfte aller Befragten den Besuch eines Blended-Learning-Kurses, und ein Drittel eines e-Learning-Kurses vorstellen. Jüngere Personen würden die beiden Veranstaltungsarten – wie erwartet – signifikant häufiger wählen. Weiterhin tendieren Männer eher zu Onlineangeboten als Frauen. Ebenso zeigt sich: je höher der schulische Bildungsabschluss, desto eher werden auch Kurse mit wenig bzw. keiner Präsenz in Betracht gezogen. Dieser Effekt bleibt jedoch limitiert, da ein Hochschulstudium kein Prädiktor für die vermehrte Nutzung von Blended- bzw. e-Learning-Kursen ist.

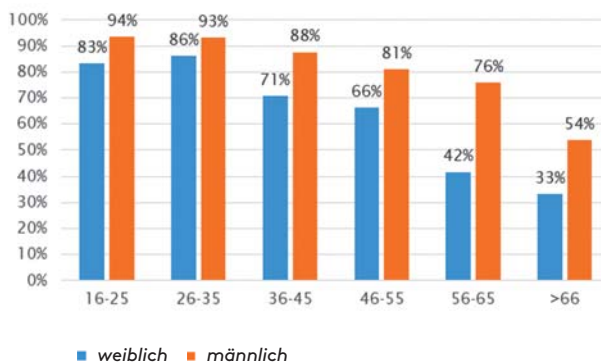


Abbildung 1: Nutzung digitaler Lerninhalte nach Alter und Geschlecht (N=1210)

Die Auswertung zeigt auch, dass die Hürde zu einem e-Learning-Kurs höher ist, als zu einem Blended-Learning-Kurs. Von denjenigen Befragten, die sich die Nutzung eines Blended-Learning-Kurses vorstellen können, wären 92,2 % bereit einen entsprechenden Kurs zu besuchen. Bei E-Learning-Angeboten sind dies nur 78,1 %.

### Projektleiterin

Prof. Dr. Sonja Haug

Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)

sonja.haug@oth-regensburg.de

### Projektmitarbeiter/in:

Simon Schmidbauer, M.A.; Anna Koch, B.A.

### Geldgeber

Förderverein Wissen und Mehr

### Kooperationspartner

Volkshochschule Regensburg/Stadt Regensburg

### Projektlaufzeit

7 Monate

### Homepage

www.oth-regensburg.de/IST

## Fazit

In der Gesamtschau zeigt sich ein großes Potenzial hinsichtlich Blended-Learning- und E-Learning-Kursen. Der vom Deutschen Volkshochschul-Verband geforderte Ausbau des Kursangebots um Erweiterte Lernwelten ist daher nicht nur für die VHS Regensburg als positive Zielsetzung anzusehen.

Sonja Haug, Prof. Dr., OTH Regensburg ■  
Simon Schmidbauer, M.A., OTH Regensburg ■  
Anna Koch, B.A., OTH Regensburg ■

Institut für Sozialforschung  
und Technikfolgenabschätzung (IST)

## LITERATUR

- Haug, Sonja; Schmidbauer, Simon; Koch, Anna, 2018: Weiterbildung in Regensburg. Bedarfserhebungsstudie für die Volkshochschule der Stadt Regensburg Regensburg: OTH Regensburg/ Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (nicht veröffentlichter Forschungsbericht).
- Stadt Regensburg (2017): Jahresbericht 2016 – Amt für Weiterbildung. Volkshochschule und Stadtbücherei. Online verfügbar unter: [https://www.vhs-regensburg.de/fileadmin/user\\_upload/Sonstiges/Jahresbericht2015\\_webversion.pdf](https://www.vhs-regensburg.de/fileadmin/user_upload/Sonstiges/Jahresbericht2015_webversion.pdf).
- Stadt Regensburg (Hrsg.) (2017): Statistisches Jahrbuch. Ausgabe 2017. Hausdruckerei: Stadt Regensburg. Online verfügbar unter: <http://www.statistik.regensburg.de/publikationen/jahrbuch.php/>, S. 78.
- Will, Stefan (2016): Masterplan für den Einstieg in Erweiterte Lernwelten. In: Deutscher Volkshochschulverband (Hrsg.): Jahresbericht 2015/2016. S.10-11.





# Information und Kommunikation

**Im Fokus von Information und Kommunikation steht die gesamte Bandbreite der Kommunikation von Mensch zu Mensch ebenso wie die Mensch-Maschine-Interaktion oder auch diejenige innerhalb rein technischer Systeme. Dabei ist eine ganzheitliche Betrachtung der Ressourcen und Prozesse notwendig, um IT-Sicherheitsstrukturen auf- und auszubauen. Neben Themen der Sicherheit in Systemen und Netzen stehen verschiedenste Konzepte und Anwendungen zur Datenverarbeitung beispielsweise für Logistik oder Robotik im Zentrum unserer Forschungsaktivitäten.**

## Backsourcing ehemals ausgelagerter IT-Services

IT-Backsourcing bezeichnet das Zurückholen ausgelagerter IT-Services zum Mutterunternehmen. „Backsourcing“, oft auch als „Insourcing“ bezeichnet, ist in der Praxis immer häufiger beobachtbar, weil Unternehmen für die Digitale Transformation IT-Kompetenzen wieder zunehmend „in house“ aufbauen. Im Rahmen der bisherigen Forschung wurde die akademische und praktische Literatur zu diesem Thema analysiert, sowie in einer ersten Interviewstudie die Sichtweise von Praktikern erforscht. Ziel der weiteren Forschung ist es, die Treiber hinter Backsourcing-Entscheidungen durch eine quantitative empirische Studie mit Entscheidungsträgern besser zu verstehen.

Der Begriff IT-Backsourcing beschreibt den Prozess des Zurückholens von ausgelagerten IT-Services zum Mutterunternehmen. Entscheidend dabei ist, dass das Eigentum an allen benötigten Ressourcen und damit auch die Verantwortung über die Erfüllung der betroffenen IT-Services zurück zum Mutterunternehmen übergeht. Dabei spielt der Ort der Leistungserfüllung eine nachgelagerte Rolle – ein räumliches Zurückholen ist nicht immer notwendig, denn die Services können auch in unterschiedlichen Ländern bzw. Regionen erbracht werden.

IT-Backsourcing kann in der betrieblichen Praxis zunehmend beobachtet werden, weil Unternehmen im Zuge der Digitalen Transformation wieder mehr IT-Kompetenzen im eigenen Hause aufbauen möchten. In der Forschung dagegen wurde dieses Themengebiet bisher noch nicht intensiv erforscht. Entsprechend zielt dieses Forschungsvorhaben darauf ab, an die bisherige Forschung im Bereich Offshoring und Outsourcing anzuknüpfen und die Praxis des IT-Backsourcings näher zu erforschen.

Im Rahmen einer anfänglichen Auswertung der existierenden akademischen Literatur zum Bereich IT-Backsourcing wurden drei zentrale Themen identifiziert, die am häufigsten diskutiert wurden. Dies sind (1) Motivatoren, eine Backsourcing-Entscheidung in Betracht zu ziehen, (2) beeinflussende Faktoren auf die Entscheidung und (3) Erfolgsfaktoren für einen reibungslosen Backsourcing-Prozess.

Von diesen drei Themen wurden die Backsourcing-Motivatoren mit Abstand am meisten diskutiert, mit dem Ziel, Gründe für eine Backsourcing-Entscheidung abzuleiten. Hierbei gibt es wiederum vier Kategorien, in die sich die Gründe einteilen lassen: (1) Erwartungslücken, z. B. mangelnde Qualität, zu hohe Kosten oder ein Kontrollverlust, (2) interne organisatorische Veränderungen, z. B. Veränderungen im Management oder eine neue Rolle für die IT-Organisation, (3) externe organisatorische Veränderungen, z. B. Veränderungen in der Lieferanten-Organisation oder technologische Veränderungen, sowie (4) Ende der Vertragslaufzeit.

	Experten Interviews	Akademische Literatur	Praktische Literatur
(Back-) (1) Sourcing-umfang	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unterscheidung zwischen Services, die besser geeignet sind für               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Outsourcing: z.B. Wartung, Datacenter etc.</li> <li>▪ Insourcing/Backsourcing: z.B. Architektur, Service Integration, etc.</li> </ul> </li> <li>▪ Bewusstere Sourcing Entscheidungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Meistens "In- oder Out-Betrachtung"</li> <li>▪ Begrenzte Berücksichtigung des Umfang bzw. Differenzierung zwischen verschiedenen Services</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eingeschränkte Diskussion in Backsourcing-fokussierter Literatur, jedoch Gegenstand allgemeinerer Literatur zu IT Outsourcing</li> </ul>
Gründe... (2) für Backsourcing	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kosteneinsparungen</li> <li>▪ Verbesserung der Qualität</li> <li>▪ Verbesserung der Zusammenarbeit</li> <li>▪ Persönliche Präferenzen</li> <li>▪ Einhaltung regulatorischer Anforderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hohe Übereinstimmung bei den Erwartungslücken</li> <li>▪ Keine/sehr beschränkte Diskussion der persönlichen Präferenzen und der regulatorischen Anforderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hohe Übereinstimmung bei den wichtigsten Gründen; v.a. Kosten, Qualität und Kontrolle</li> <li>▪ Persönliche Präferenzen in der Literatur weniger zitiert</li> </ul>
(3) gegen Backsourcing	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fehlende Mitarbeiter (intern/extern)</li> <li>▪ Mangel an relevanten IT-Kenntnissen</li> <li>▪ Hohe Wechselkosten</li> <li>▪ Fehlende Unterstützung vom Vendor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gute Übereinstimmung mit identifizierten Backsourcing-Barriers, z.B. fehlendes Wissen und Ressourcen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keine/sehr begrenzte Diskussion in der praktischen Literatur</li> </ul>

Abbildung 1: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Interviews und den Literaturanalysen

Bei den beeinflussenden Faktoren wurden die Begriffe Backsourcing „Enablers“ und „Barriers“ eingeführt, um Faktoren zu beschreiben, die Unternehmen dazu bewegen, sich für oder gegen IT-Backsourcing zu entscheiden. Während die vorgestellten Motivatoren den Entscheidungsprozess für ein mögliches IT-Backsourcing auslösen, beschleunigen „Enabler“, z. B. das Vorhandensein von internen IT Fähigkeiten, bzw. verhindern „Barrier“, z. B. hohe Wechselkosten oder mangelnde Ressourcen, eine solche Entscheidung.

Ein anschließender Vergleich der akademischen Literatur mit praktischer Literatur, z. B. in Fachzeitschriften oder Tageszeitungen, zu demselben Themengebiet hat einerseits die wesentlichen Gründe für eine Backsourcing Entscheidung bestätigt. Andererseits hat es auch zu der interessanten Feststellung geführt, dass in der praktischen Literatur meist der Terminus „Insourcing“ verwendet wurde, der aus akademischer Sicht aber inhaltlich nicht mit „Backsourcing“ übereinstimmt. In der praktischen Literatur wird also meist nicht zwischen dem Backsourcing als Prozess des Zurückholens und dem Insourcing als dem dann erreichten finalen Zustand nach einem Backsourcing unterschieden.

Aufbauend auf den beiden Literaturanalysen wurden Experteninterviews mit insgesamt 16 IT-Experten geführt, zum Beispiel mit IT-Sourcing Managern oder auf IT-Sourcing spezialisierten Unternehmensberatern. Zielsetzung der Interviews war es, die Ergebnisse der Literaturanalysen zu validieren und zu ergänzen, sowie darüber hinaus noch zusätzliche Aspekte in Verbindung mit IT-Backsourcing aufzudecken, die in der weiteren Forschung adressiert werden könnten.

Hier konnten die wichtigsten Gründe für und gegen Backsourcing jeweils zum Großteil bestätigt werden. Bei den Gründen für ein IT-Backsourcing wurden darüber

#### Projektleiter

Prof. Dr. Markus Westner  
markus.westner@oth-regensburg.de

#### Kooperationspartner

TU Dresden

hinaus noch zwei neue, in der existieren Literatur nicht diskutierten Gründe genannt: Zum einen die persönlichen Präferenzen der Entscheidungsträger, und zum anderen die Notwendigkeit, strikter werdende regulatorische Vorgaben einzuhalten.

In Ergänzung dazu wurde das Thema IT-Backsourcing noch in Verbindung mit aktuellen Trends im Kontext Digitale Transformation diskutiert, wie beispielsweise der immer agiler werdenden Softwareentwicklung, dem Trend zum selektiven Sourcing bei spezialisierten, kleineren Vendoren sowie die vermehrte Standardisierung und Auslagerung von Diensten in die Cloud. Ziel hierbei war es wiederum, mögliche Auswirkungen auf den Bereich des IT-Backsourcings aufzudecken sowie Anknüpfungspunkte für die weitere Forschung zu finden.

Die weitere Forschung in diesem Bereich zielt darauf ab, die Beweggründe hinter IT-Backsourcing Entscheidungen besser zu verstehen. Ein besonderer Fokus hierbei liegt auf den Auswirkungen von persönlichen Präferenzen der Entscheidungsträger. Hierfür werden im Rahmen einer Onlineumfrage mit Entscheidungsträgern und IT-Experten umfangreiche Primärdaten erhoben und diese im Anschluss analysiert.

Markus Westner, OTH Regensburg ■

Benedikt von Bary, OTH Regensburg ■

#### LITERATUR

- von Bary, B., Westner, M. (2018). Information Systems Backsourcing. A Literature Review. *Journal of Information Technology Management*, XXIX (1), p. 62-78.
- von Bary, B. (2018). How to Bring IT Home: Developing a Common Terminology to Compare Cases of IS Backsourcing. *AMCIS 2018 Proceedings*. New Orleans, USA.
- von Bary, B., Westner, M., Strahringer S. (2018). Do researchers investigate what practitioners deem relevant? Gaps between research and practice in the field of information systems back-sourcing. *Conference on Business Informatics 2018 Proceedings*. Vienna, Austria.
- von Bary, B., Westner, M., Strahringer S. (2018). Adding Experts' Perceptions to Complement Existing Research on Information Systems Backsourcing. *International Journal of Information Systems and Project Management*, Vol. 6, No. 4, p. 17-35.

ANZEIGEN

# OPUS<sup>®</sup>

## CAM Software

*Clever bits working for you!*



**OPUS Entwicklungs- und  
Vertriebs GmbH**

Wilhelm-Raabe-Str. 4  
73230 Kirchheim unter Teck  
Tel.: + 49 (0)7021/49410  
e-mail: info@opus-cam.de

CAD/CAM, Werkzeugverwaltung, NC Simulation, DNC/MDE, Kalkulation

[www.opus-cam.de](http://www.opus-cam.de)



**INDUSTRIE 4.0**  
Innovative Servotechnik  
für autonome Transportsysteme

 **Heidrive**  
Motion & Systems

# Produktion und Systeme

Die Forschung im Bereich Produktion und Systeme behandelt die methodische Gestaltung, simulationsgestützte Verbesserung und effiziente Realisierung komplexer Produktionssysteme durch quantitative Methoden, Informationssysteme, Automatisierung, Regelungstechnik und (teil-)automatisierte Anlagen. Neue Werkstoffe und Fragen der Material- und Verfahrenstechnik sind dabei Herausforderungen beim Design und der Herstellung neuer energie- und ressourceneffizienter Produkte.

## Automatisierte Informationsbereitstellung für effizientes und sicheres Einrichten von Werkzeugmaschinen

Das Einrichten einer Werkzeugmaschine zur Fertigung eines Bauteils nimmt einen bedeutenden Anteil dessen Fertigungszeit und -kosten in Anspruch. Kleine Abweichungen zum geplanten Zustand können zu kostenintensiven Kollisionen führen. Dieser Problempunkte hat sich das Labor Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (LFW) im kürzlich abgeschlossenen Projekt AutoRüst angenommen. Es wurde ein System entwickelt, das durch automatisierte Datenbereitstellung zur Steigerung von Effizienz und Sicherheit in Rüstprozessen beitragen soll.

Vor dem realen Fertigungsprozess wird dieser in einem Computer Aided Manufacturing (CAM-System) digital geplant. Hierbei wird neben den Maschinenbewegungen auch die geometrische Aufspannsituation inklusive Spannmittel dreidimensional modelliert. Damit die reale Fertigung nach Plan verläuft, muss die geplante Auf-

spannsituation während des Rüstens möglichst exakt in die Realität umgesetzt werden. Genau das soll durch AutoRüst sichergestellt und die dafür benötigte Zeit zudem reduziert werden. Als Herzstück fungiert dabei eine Datenbank, in welcher alle Daten zentral verwaltet werden. Beim Planungsprozess werden z. B. alle benötigten Einzelteile aus der Datenbank bezogen. Aus der geplanten Aufspannsituation werden anschließend automatisiert Rüstinformationen abgeleitet, welche wieder in die Datenbank geschrieben werden. Aus den verbauten Einzelteilen wird eine Stückliste generiert und anhand geometrischer Prüfungen eine Montagereihenfolge ermittelt. Zusammen mit dem 3D-Modell werden diese Informationen in ein interaktiv bedienbares 3D-PDF eingebettet. Am Rüstplatz kann dieses z. B. auf einem Touch Monitor dargestellt und bedient werden. Ergänzend dazu zeigt ein Laserprojektionssystem am Rüstplatz die genauen Spannmittelpositionen in der zuvor ermittelten Montagereihenfolge an. Einzelteile können mit einer Genauigkeit von weniger als einem Millimeter positioniert werden. Die hierfür benötigten Konturzüge ermittelt ein Algorithmus aus der geplanten Aufspannung.

### ANZEIGE



**GERRESHEIMER**  
Medical Systems

**Der Kickstart für Ihre Karriere**  
*Hier spielt Ihre Zukunft*

Sichern Sie sich Ihren Stammpfad im Kader des international führenden Anbieters von kundenspezifischen Produkten zur Verabreichung von Medikamenten sowie Medizin- und Diagnostikprodukten.

Wir suchen Praktikanten, Werkstudenten sowie Absolventen der Studiengänge Maschinenbau, Medizintechnik und Wirtschafts-Ingenieurwesen.

Wir bieten Ihnen eine tarifliche Vergütung, flexible Arbeitszeitmodelle und vielfältige Sozial- und Sonderleistungen.

Entdecken Sie mit uns die faszinierende Welt außergewöhnlicher Technologien und internationaler Geschäftsbeziehungen.

Bewerben Sie sich jetzt für unsere drei Standorte in der Oberpfalz unter [www.gerresheimer.com/karriere](http://www.gerresheimer.com/karriere).

 SSV JAHN REGENSBURG  
KLASSIK PARTNER



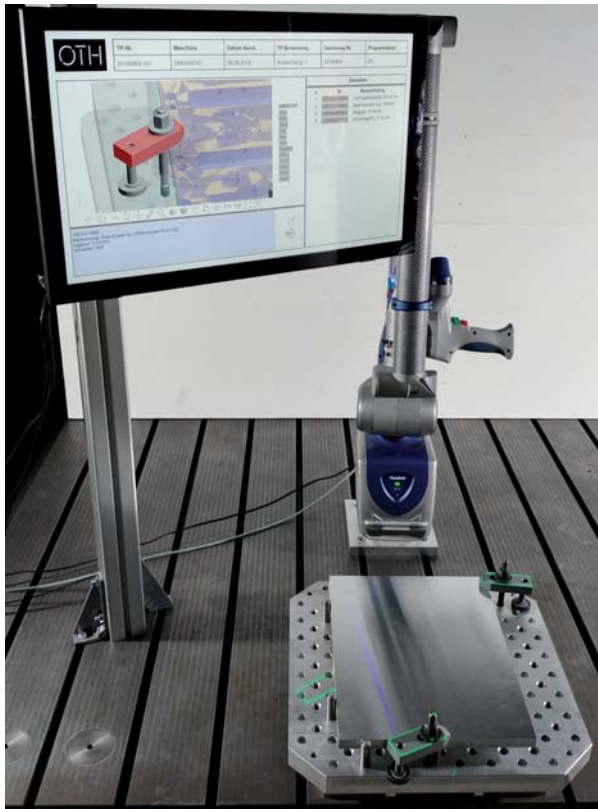


Abbildung 1: Demonstrator-Rüstplatz an der OTH Regensburg mit den entwickelten Systemen. Das interaktive Rüstdokument zeigt auf einem Touch-Monitor den aktuellen Montageschritt an. Das Laserprojektionsystem projiziert dabei die Montagepositionen. Der stationäre 3D-Scanner kann anschließend zur Überprüfung verwendet werden.

**Projektleiter**

Prof. Dr.-Ing. Andreas Ellermeier  
 Labor Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (LFW)  
 andreas.ellermeier@oth-regensburg.de

**Projektmitarbeiter**

Daniel Vögele, M.Sc.  
 daniel1.voegel@oth-regensburg.de

**Geldgeber**

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst  
 (StMWK)

**Kooperationspartner**

OPUS Entwicklungs und Vertriebs GmbH

**Projektlaufzeit**

36 Monate

**Fördersumme**

241.680,00 Euro

Durch einen 3D-Scanner kann abschließend kontrolliert werden, ob der reale Aufbau dem geplanten Zustand entspricht. Abweichungen werden sofort farbig visualisiert. Alle Rüstinformationen können digital kommuniziert werden, was einen papierlosen Rüstprozess ermöglicht. Das Gesamtsystem wurde in Form eines Demonstrators im LFW aufgebaut und erprobt (siehe Abbildung 1).

Andreas Ellermeier, OTH Regensburg ■

Daniel Vögele, OTH Regensburg ■

ANZEIGE



ZUKUNFT LASERTECHNIK: [www.ARGES.de/career](http://www.ARGES.de/career)



## Laserschweißen transparenter Kunststoffbauteile für die Medizintechnik

Medizintechnische Bauteile werden häufig aus transparenten Kunststoffen hergestellt. Allerdings stellt das Laserschweißen dieser Bauteile noch immer eine Herausforderung dar, da die notwendige Konzentration der Strahlungsabsorption in der Fügeebene ohne absorbierende Zusätze im Kunststoff nur bedingt erreicht werden kann. Eine neu entwickelte Systemtechnik erlaubt jedoch das reproduzierbare Fügen transparenter Polymere wie COC, PET und PS, denn eine zielführende Strahlformung verhindert die unerwünschte oberflächennahe Erwärmung, welche zu visuellen und haptischen Defekten führen würde.

### Ein medizinisches Labor auf Größe einer Scheckkarte

So genannte Lab-on-a-Chip-Bauteile fassen bestimmte Funktionalitäten eines Labors auf Größe einer Scheckkarte zusammen. Aufgrund integrierter mikrofluidischer Systeme sind bereits geringste Mengen einer Flüssigkeit für eine medizinische Analyse ausreichend. Somit können klinische Tests im medizinischen Notfall direkt an der Unfallstelle durchgeführt werden. Der kommerzielle Erfolg solcher Einwegartikel ist neben den enthaltenen Funktionen vor allem von den Fertigungskosten abhängig. Im Vergleich zu Glas weisen spritzgeessene Polymerbauteile hier einen großen Kostenvorteil auf. Da die Bauteile meist aus zwei Hälften bestehen, müssen beide Komponenten mediendicht gefügt werden. Um die integrierten Kanäle und Bauteile nicht zu beschädigen und eine Auswertung mittels optischer Verfahren zu ermöglichen, sollte der Fügeprozess berührungslos und ohne Zusatzstoffe erfolgen. Hierfür bietet sich das Laser-Durchstrahlschweißen an.<sup>1</sup>

### Herausforderungen beim Laser-Durchstrahlschweißen

In der klassischen, bereits seit vielen Jahren in der Industrie etablierten Prozessvariante werden ein transparenter und ein absorbierend eingefärbter Partner gefügt (siehe Abb. 1, links). Das in der Medizintechnik erwünschte Laserschweißen zweier transparenter Kunststoffe stellt immer noch eine Herausforderung dar. Zum einen wird die beim Laserschweißen üblicherweise eingesetzte Strahlung im Wellenlängenbereich von 800 bis 1100 nm vom Kunststoff nahezu vollständig transmittiert (siehe Abb. 1, rechts). Zum anderen sind Laser mit hoher Strahlqualität erforderlich, um präzise Schweißnähte mit einer Breite von wenigen Zehntelmillimetern zu erzeugen. Um diese Herausforderung zu bewältigen werden im Projekt 3D-LasPyrint-Scanner Thulium-Faserlaser mit einer Wellenlänge von ca. 2000 nm und einer brillanten Strahlqualität von  $M^2 \approx 1$  eingesetzt. Da Kunststoffe Strahlung dieser

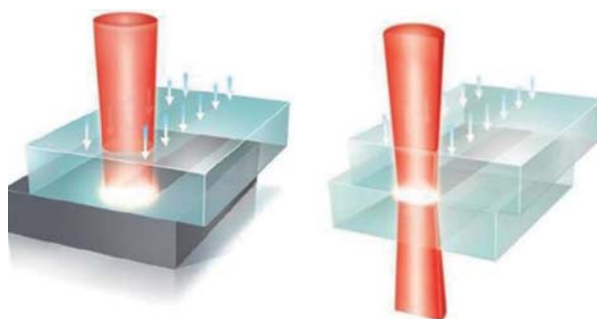


Abbildung 1: Konventionelles Transparent-Absorbierend-Schweißen (links) und das neuartige Transparent-Transparent-Schweißen (rechts). Bildquelle: LPKF WeldingEquipment

Wellenlänge von Natur aus absorbieren, sind keine absorptionssteigernden Zusatzstoffe erforderlich.

Um haptischen und visuellen Defekten vorzubeugen, ist ein Aufschmelzen der Oberfläche zu verhindern. Hierfür muss die Strahlungsabsorption in der Fügezone konzentriert werden. Bei Verwendung eines nahezu kollimierten Strahls wird der Großteil der Strahlung an der Bauteiloberfläche absorbiert, was zu Aufwürfen und Verzug führt (siehe Abb. 2, links). Mittels Fokussierung ist es allerdings möglich, das Absorptionsmaximum in der Fügezone zu positionieren und somit eine gezielte Schmelzbildung zu erreichen (siehe Abb. 2, rechts).

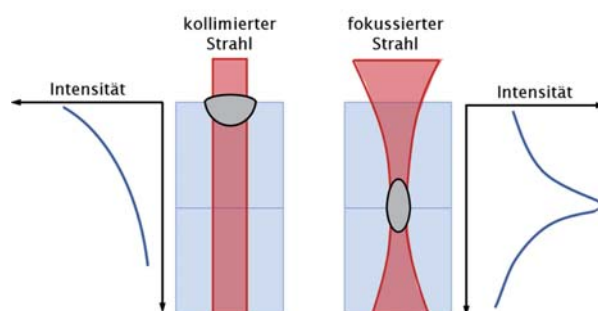


Abbildung 2: Schmelzaufwurf aufgrund oberflächlichem Intensitätsmaximum beim Schweißen mit kollimiertem Strahl (links), erfolgreiche Intensitäts- und Schmelzekonzentration infolge der Fokussierung (rechts)<sup>2</sup>.

## Simulationsmodelle zur Systemtechnik- und Prozessentwicklung

Eine Herausforderung stellten die zu Projektbeginn unbekanntem Opti- und Prozessparameter dar, da die Anforderungen an den Prozess von den üblicherweise gestellten Ansprüchen abweichen. Somit konnte die bei der bisherigen Systemtechnikentwicklung gewonnene Erfahrung nicht direkt transferiert werden. Um diese Herausforderung zu bewältigen wurde der Schweißprozess in einer Computersimulation abgebildet.<sup>3</sup> Anhand dieses Modells wurden zielführende Design- und Prozessparameter für das Transparent-Transparent-Schweißen abgeleitet und ein Versuchsstand realisiert. Die neu entwickelte Systemtechnik ermöglicht das reproduzierbare Fügen transparenter Polymere ohne zusätzliche Absorber. Bei einer Vielzahl von Materialien wie COC, PET und PS ist das Schweißen von 0,6 bis über 4 mm dicken Lagen ohne eine visuelle oder haptische Beeinträchtigung der Oberfläche möglich.

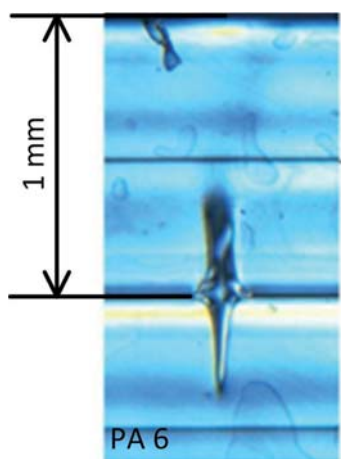


Abb. 3: Dünnschnitt einer Schweißprobe (Material: PA 6) im Polarisations-Durchlichtmikroskop

Hierbei können präzise Schweißnähte mit Breiten zwischen 0,05 und 0,5 mm mit Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 500 mm/s hergestellt werden. Selbst auf die sonst übliche Oberflächenkühlung mittels Glasplatte oder Luftstrom kann verzichtet werden. Abbildung 3 zeigt eine Schweißnaht im Dünnschnitt.

## Zusammenfassung und Ausblick

Beim Schweißen transparenter Kunststoffe ist ein Aufschmelzen der Oberfläche zu verhindern, wofür die Strahlungsabsorption in der Fügezone konzentriert werden muss. Im Projekt 3D-LasPyrint-Scanner wurde eine Prozesstechnik entwickelt, die durch Verwendung einer

### Projekt 3D-LASPYRINT-Scanner

#### Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Stefan Hierl  
Fakultät Maschinenbau  
rupert.schreiner@oth-regensburg.de  
stefan.hierl@oth-regensburg.de

#### Projektmitarbeiter

Frederik Maiwald (M.Sc.)  
frederik2.maiwald@oth-regensburg.de

#### Geldgeber

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (StMWi)

#### Kooperationspartner

Bayerisches Laserzentrum gGmbH  
Gerresheimer Regensburg GmbH  
LPKF WeldingQuipment GmbH  
Micro-Epsilon-Messtechnik GmbH & Co. KG

#### Projektlaufzeit: 36 Monate

#### Fördersumme

232.800,00 Euro (OTH Regensburg)  
759.000,00 Euro (Gesamt)

**Homepage:** [www.oth-regensburg.de/fakultaeten/maschinenbau/labore/lmp-lab.html](http://www.oth-regensburg.de/fakultaeten/maschinenbau/labore/lmp-lab.html)

Fokussierung das Fügen transparenter Kunststoffbauteile ohne absorptionsfördernde Additive ermöglicht. Die im Labor Laser-Materialbearbeitung vorhandenen Kompetenzen im Bereich Prozessmodellierung und Systemtechnikentwicklung wurden erfolgreich zur Erforschung dieses neuartigen Schweißprozesses eingesetzt.

Mitte 2019 wird das Labor Laser-Materialbearbeitung in den Technologiecampus Parsberg-Lupburg umziehen und die Kompetenzen im Bereich Prozessmodellierung, Prozessüberwachung, Systemtechnikentwicklung und additive Fertigung weiter ausbauen. Das Engagement in verschiedenen industrienahen Forschungsprojekten ermöglicht den direkten Transfer von Forschungsergebnissen aus der Wissenschaft in die Wirtschaft.

Frederik Maiwald, OTH Regensburg ■  
Stefan Hierl, OTH Regensburg ■

## LITERATUR

- 1) Polster, Steffen: Laserdurchstrahlsschweißen transparenter Polymerbauteile. Bamberg: Meisenbach, 2009 (Fertigungstechnik – Erlangen), Band 206.
- 2) Mamuschkin, Viktor; Olowinsky, Alexander; van der Straeten, Kira; Engelmann, Christoph: Laser transmission welding of absorber-free thermoplastics using dynamic beam superposition. In: Dorsch, Friedhelm (Hrsg.): High-Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics, and Applications IV: SPIE, 2015 (SPIE Proceedings), 93560Y.
- 3) Schmailzl, Anton; Geißler, Bastian; Maiwald, Frederik; Laumer, Tobias; Schmidt, Michael; Hierl, Stefan: Transformation of Weld Seam Geometry in Laser Transmission Welding by Using an Additional Integrated Thulium Fiber Laser, Bd. 2017. In: Lasers in Manufacturing Conference 2017.

# Analyse des Impact-Verhaltens gekrümmter Strukturbauteile von Luftfahrzeugen zur Entwicklung eines Strukturüberwachungssystems für faserverstärkte Kunststoffe – BIRD

Die in Flugvorausrichtung weisenden Bauteile von Luftfahrzeugen sind oftmals durch Einschläge aufgrund von Vogelschlag, Hagel oder aufgewirbelten Kleinteilen gefährdet. Diese Einschläge, sogenannte Impacts, weisen bei faserverstärkten Kunststoffen ein stark krümmungs- und materialabhängiges Verhalten und Schadensausmaß auf. Impact-Schädigungen führen oftmals zu hohen Reparaturkosten, welche durch eine genauere Kenntnis des Schadens verringert werden können. Zur Klassifizierung dieser Schädigungen steht dabei vor allem das auftretende Frequenzsignal des Impacts im Fokus der Untersuchungen.

## Einleitung

In Zeiten eines zügigen Entwicklungsfortschritts spielen sozioökonomische Themen wie erneuerbare Energien, Ressourcenschonung und Mobilitätswandel eine tragende Rolle. Ein aufgrund dieser zukunftssträchtigen Themen stark im Wandel befindlicher Zweig ist das Transportwesen und im speziellen die Automobil- und Luftfahrtindustrie. Zur Gewichtsoptimierung und der damit verbundenen Energieeffizienz werden hier faserverstärkte Kunststoffe eingesetzt, welche aufgrund ihrer hohen Festigkeiten und Steifigkeiten, bezogen auf ihre Dichte, ein großes Leichtbaupotential bieten. Im Bereich der Luftfahrt sind viele gekrümmte Strukturbauteile, welche in Flugvorausrichtung zeigen, aus diesem Verbundwerkstoff. Eben diese Bauteile sind durch Schlagbelastungen, sogenannte Impacts, gefährdet. Diese können sowohl durch Vogel- oder Hagelschlag als auch durch aufgewirbelte Kleinteile bei Start- und Landemanövern entstehen und teils beträchtliche, von außen nicht erkennbare, Schädigungen des Werkstoffs verursachen.

Im Rahmen eines kooperativen Forschungsprojekts zwischen dem Labor Faserverbundtechnik (LFT) der OTH Regensburg und dem innovativen Würzburger Sensorhersteller iNDTact GmbH werden eben diese Impacts auf gekrümmte Faserverbundstrukturen im Labormaßstab simuliert und hinsichtlich ihrer akustischen Emission (AE) klassifiziert, um ein Strukturüberwachungssystem zu entwickeln.

## Vorgehensweise

Um Impacts auf gekrümmte Faserverbundstrukturen hinsichtlich ihrer akustischen Emission beim Aufprall charakterisieren zu können, ist eine detaillierte Kenntnis über das Versagensverhalten des Werkstoffes notwendig. Aufgrund der vorliegenden Anisotropie des Faserverbundwerkstoffes – den richtungsabhängigen Material-

eigenschaften wie Steifigkeiten und Festigkeiten – und dem Aufbau aus mehreren Einzellagen zu einem Laminat, verhält sich der Faserverbundwerkstoff sehr komplex. Dies zeigt sich in hohem Maße im progressiven Versagensverhalten. Bei Versagen werden drei primäre Versagensmechanismen unterschieden: der Bruch der Verstärkungsfasern (Fiber Breakage), das Brechen der lastverteilenden Kunststoffmatrix (Matrix Cracking) und das Ablösen von Einzelschichten untereinander (Delamination) (Literaturhinweis: siehe [2], [3], [4]). Bei einer Schädigung des Bauteils treten diese Versagensmechanismen stets gekoppelt auf. Für eine Charakterisierung des Schädigungsvorgangs aufgrund dessen akustischer Emission müssen daher in einem ersten Schritt die AE der einzelnen Versagensmechanismen untersucht und erfasst werden. Unter Verwendung der Universalprüfmaschine Zwick&Roell ZN250 wurden Prüfkörper und Testverfahren in Anlehnung an bestehende Versuche zur Kennwertermittlung zur gezielten Generierung der primären Versagensformen entwickelt und durchgeführt. Dabei wurden die Sensoren der zur Messung der emittierten akustischen Signale während des Schädigungsvorgangs auf den Prüfkörpern appliziert. Unter Verwendung von Auswertalgorithmen zur Clusterbildung der erhal-

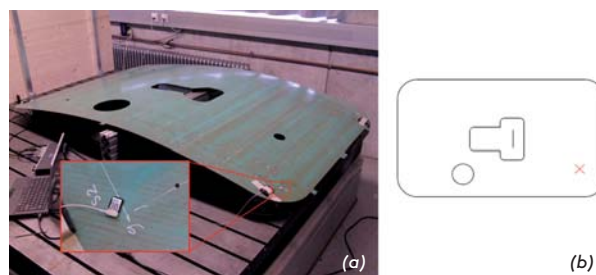


Abbildung 1: Exemplarische Messdaten zur Clusterbildung verschiedener Versagensmechanismen von faserverstärkten Kunststoffprüfkörpern [1].

tenen AE-Daten konnten die Versagensmechanismen aus dem Frequenzspektrum getrennt werden. In Abbildung 1 ist exemplarisch ein Clustering der AE-Daten dargestellt. Die orangefarbenen Messpunkte lassen sich dem Matrix Cracking zuordnen, die gelb gefärbten Messpunkte stellen AE-Signale der Delamination und die blau gefärbten Messpunkte den Fiber Breakage dar (siehe: [1]).

Neben der genauen Kenntnis der charakteristischen AE-Signale der Versagensmechanismen faserverstärkter Kunststoffe ist auch die Lokalisierung von Impacts an größeren Strukturbauteilen Gegenstand des Forschungsprojekts. Dabei werden mehrere Sensoren auf einem Prüfbauteil angebracht um eine selbstlernende Software zur Ortsbestimmung zu trainieren. In Abbildung 2(a) ist ein, von einem renommierten Flugzeughersteller zur Ver-

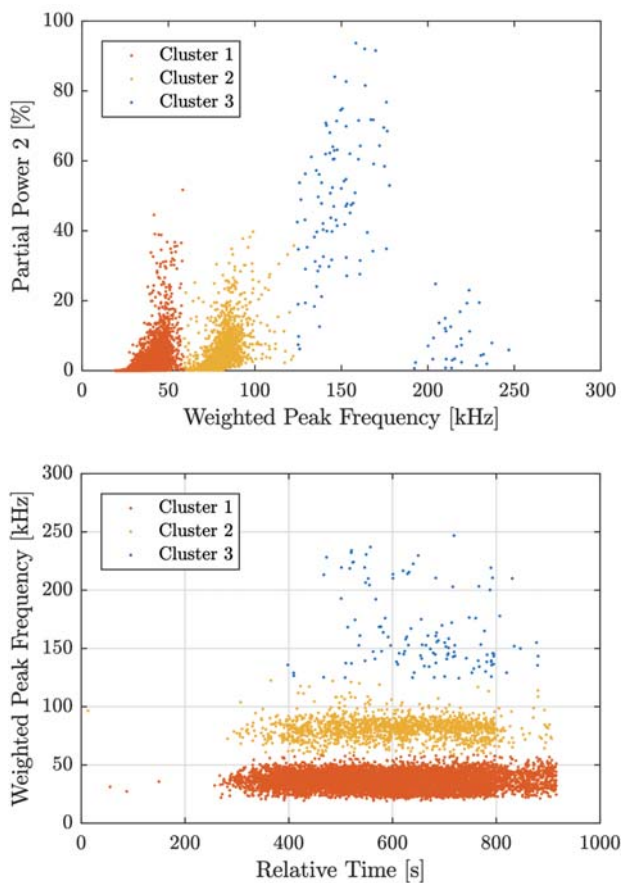


Abbildung 2: Messaufbau mit Luftfahrtbauteil zur Untersuchung von Lokalisierungsmethoden.

#### Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich, Labor Faserverbundtechnik  
ingo.ehrlich@oth-regensburg.de

#### Projektmitarbeiter

Matthias Schlamp, M.Eng.  
matthias.schlamp@oth-regensburg.de

#### Geldgeber

Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)  
des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)

#### Kooperationspartner

Firma iNDTact GmbH, 97070 Würzburg

#### Projektlaufzeit

36 Monate

#### Fördersumme

190.000,00 Euro OTH Regensburg

#### Homepage

[www.oth-regensburg.de/lft](http://www.oth-regensburg.de/lft)  
[www.indtact.de](http://www.indtact.de)

fügung gestelltes, gekrümmtes Bauteil aus kohlenstoff-faserverstärktem Kunststoff mit applizierten Sensoren und Messtechnik dargestellt. Die entwickelte Software der Firma iNDTact zeigt in einer ersten Grafik nun den Ort einer Anregung (rotes Kreuz), in der Laborumgebung als Schlag mit einem kleinen Metallhammer simuliert, dargestellt in Abbildung 2(b). Je öfter ein Bauteil hinsichtlich dessen geometrischer und werkstoffspezifischer Eigenschaften trainiert wird, desto genauer kann eine Lokalisierung von Impacts erfolgen.

## Ergebnis

Um nun Impact-Ereignisse im realen Flugbetrieb zu lokalisieren und gleichzeitig den zugefügten Schaden vollumfänglich charakterisieren zu können, bedarf es, aufgrund der Komplexität der Schädigungsmechanismen und den dadurch emittierten Frequenzen, weiterführender Untersuchungen. Der Grundstein für eine Systementwicklung ist bereits in Form eines Demonstratorsystems gelegt.

Matthias Schlamp, M.Eng., OTH Regensburg ■

Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich, OTH Regensburg ■

## LITERATUR

- [1] Bohmann, T.; Schlamp, M.; Ehrlich, I.: Acoustic emission of material damages in glass fibre-reinforced plastics. Composites Part B, Volume 155, pp. 444-451, 2018
- [2] Ehrlich, I.: Impactverhalten schwach gekrümmter Strukturen aus faserverstärktem Kunststoffen. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, 2004
- [3] Ehrlich, I.; Dinnebie, H.; Jost, C.: Comparison of impact delaminations in CFRP using different test methods. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 73, Issue 2, pp. 128-138, 2015
- [4] Richardson, M.O.W.; Wisheart, M.J.: Review of low-velocity impact properties of composite materials. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 27, Issue 12, pp. 1123-1131, 1996



# Internationale Forschung zum Biege- und Deformationsverhalten von faserverstärkten Kunststoffrohren

Rohre aus faserverstärktem Kunststoff werden unter anderem in der Elektroindustrie und dem Rohrleitungsbau eingesetzt. Die Gründe dafür sind vielfältig. Speziell Glasfasern bieten neben dem Leichtbaupotential auch sehr gute Isolationseigenschaften. Dabei sind diese Rohre häufig einer Biegebelastung ausgesetzt, dessen Auswirkungen auf die Struktur sich wegen der komplexen Materialbeschaffenheit mit gängigen Berechnungsmodellen nicht vollständig beschreiben lassen. Deshalb wird im Rahmen des deutsch-französischen Forschungsprojekts 4-Point-Bending Tests das Biege- und Deformationsverhalten von faserverstärkten Kunststoffrohren unter Biegebelastung umfassend untersucht.

## Einleitung

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) werden aufgrund ihres Leichtbaupotentials zunehmend in der Automobil-, Luft- und Raumfahrttechnik, der Elektroindustrie und dem Rohrleitungsbau eingesetzt. Die hohen Festigkeiten und Steifigkeiten, bezogen auf die Dichte, machen diesen Werkstoff interessant für Branchen, in denen eine Gewichtsminimierung – bei gleichzeitiger Erfüllung der mechanischen Anforderungen als Konstruktionsziele – gefordert werden. In vielen Industriezweigen werden FVK-Rohre verwendet und aufgrund äußerer Einflüsse, z. B. durch Montagemaßnahmen, Anbindungselemente oder Umweltbedingungen, einer Biegebelastung ausgesetzt. Im Rahmen des internationalen Forschungsprojekts „4-Point-Bending Tests“ zwischen dem Labor Faserverbundtechnik (LFT) der OTH Regensburg und der Grande École SIGMA Clermont in Clermont-Ferrand (Frankreich) wird dieser Lastfall an FVK-Rohren untersucht. Das gemeinsame Vorgehen umfasst die Entwicklung analytischer und numerischer Modelle sowie die Durchführung von Experimenten.

## Problembeschreibung

Das Biegeverhalten von faserverstärkten Kunststoffrohren lässt sich durch die bekannten Biegetheorien für klassische, isotrope Werkstoffe wie Stahl nur ungenau beschreiben. Begründet ist dies darin, dass ein Faserverbundwerkstoff aus den unterschiedlichen Einzelkomponenten Kunststoffmatrix und Fasern besteht. Letztere weisen eine definierte Ausrichtung im Kunststoff aus, wodurch eine Faserverbundeinzelschicht ein richtungsabhängiges Materialverhalten besitzt. Darüber hinaus entsteht durch die unterschiedliche Orientierung der Einzellagen im Mehrschichtverbund, dem sogenannten Laminat, eine höhere Komplexität in der Charakterisierung von globalen Materialeigenschaften. Für die zu untersuchenden Rohrstrukturen ist die dreidimensionale Materialbeschreibung bereits durch Siegl und Ehrlich [7] mathematisch zusammengefasst worden. Bisherige ana-

lytische Modelle zur Beschreibung des Biegeverhaltens von FVK-Rohren gehen von dem Sonderfall einer konstanten Biegemomentenbelastung aus [2], [3], [4], [5], [6], [8]. Zudem wird in diesen Modellen der Verformungseffekt einer Ovalisierung des Rohrquerschnitts und der damit verbundene Brazier-Effekt [1], der die Reduzierung der Biegesteifigkeit für einen dünnwandigen isotropen Zylinder beschreibt, nicht berücksichtigt.

## Projektziel

Ziel ist es, ein analytisches Modell zu entwickeln, welches die Berechnung einer Ovalisierung und der resultierenden Biegesteifigkeitsreduzierung von faserverstärkten Kunststoffrohren ermöglicht. Damit das zu entwickelnde Modell validiert werden kann, ist es notwendig einen Versuchsaufbau zu gestalten, der die geforderten Lastbedingungen eines konstanten Biegemoments erfüllt sowie die Möglichkeiten bietet, die beschriebenen Effekte messtechnisch zu erfassen.

## Projekttablauf

Im Forschungsprojekt werden an beiden Forschungsstandorten Experimente an eigens konstruierten Versuchsständen durchgeführt. In den 4-Punkt-Biegever-

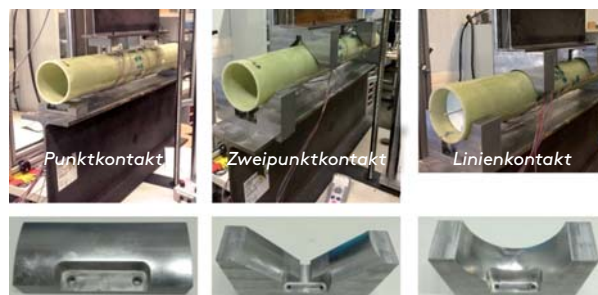


Abbildung 1: 4-Punkt-Biegeversuch am SIGMA Clermont mit untersuchten Kräfteinleitungsgeometrien.



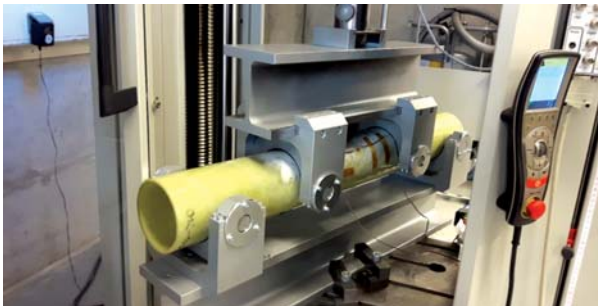


Abb. 2: 4-Punkt-Biegeversuchsstand im Labor Faserverbundtechnik.



Vorbereitung des Prüfrohrs mit Grundierung und stochastischem Muster zur Erfassung der Dehnungen. Anbringung von Referenzpunkten zur Initialisierung der Ausgangsposition (90° auf Rohroberseite) und Messung der Verschiebungen.

Erfassung der Verschiebungen und Dehnungen mittels optischen 3D-Verformungs- und Bewegungsmesssystem GOM Aramis 6M Essential Line.

Auswertung der Verschiebungen und Dehnungen mittels GOM Correlate. Die Auswertung basiert auf der digitalen Bildkorrelation der beiden Sensoren.

Abbildung 3: GOM-Messungen mit Vorbereitung des Prüfkörpers, Orientierung in Prüfkammer sowie Auswertung in Software GOM Correlate.

suchen liegt das FVK-Rohr außen auf zwei Auflagern auf und die Krafteinleitung ist dazwischen über eine Traverse mit zwei Elementen gestaltet (s. Abb.1 und Abb.2). Durch die vier Auflager entsteht zwischen den Krafteinleitungspunkten ein querkraftfreier Bereich mit konstantem Biegemoment.

Am SIGMA Clermont ist zunächst der Einfluss der Krafteinleitungsgeometrie und der Versteifungsscheiben untersucht worden. Die Verzerrungen werden mittels Dehnungsmessstreifen (DMS) entlang der Rohrlängs- sowie Rohrumfangsrichtung an insgesamt drei baugleichen Faserverbundrohren gemessen (s. Abb.1).

Der Versuchstand im LFT unterscheidet sich dahingehend, dass die Krafteinleitungspunkte beweglich gelagert sind, sodass immer eine zur Rohrlängsachse orthogonale Krafteinleitung gewährleistet ist. Der Versuchstand ist längs gedreht in der Universalprüfmaschine Zwick/Roell ZN250 installiert (s. Abb.2).

Diese Anordnung ist zur Erfassung der Verzerrungen auf der Rohraußenseite mittels dem optischen 3D-Verzer-

#### Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich, Labor Faserverbundtechnik  
ingo.ehrlich@oth-regensburg.de

#### Projektmitarbeiter

Marco Siegl, M.Sc., marco.siegl@oth-regensburg.de

**Geldgeber:** Intrinsisch ohne Geldgeber

#### Mobilitätsbeihilfen

Bayerisch-Französisches Hochschulzentrum (BayFrance)

#### Kooperationspartner

SIGMA Clermont, Clermont-Ferrand, Frankreich

**Projektlaufzeit:** 46 Monate

#### Fördersumme

3.275,00 Euro (Mobilitätsbeihilfen BayFrance)

#### Homepage

[www.oth-regensburg.de/lft](http://www.oth-regensburg.de/lft)

[www.sigma-clermont.fr](http://www.sigma-clermont.fr)

rungsmesssystem GOM Aramis 6M Essential Line notwendig (s. Abb.3). Diese Messmethode nutzt die digitale Bildkorrelation (DIC), wodurch eine flächige Auswertung der Verzerrungen und Verschiebungen realisiert werden kann. Hierzu ist vorab ein stochastisches Muster auf den messrelevanten Bereich des Prüfrohrs aufzutragen (s. Abb.3).

## Zwischenergebnisse

Versteifungsscheiben haben für punktuelle und lineare Kontakte einen größeren Einfluss auf die Messergebnisse, da ohne Scheibe ein Eindringen des Rohres in den Krafteinleitungsbereichen einen Einfluss auf die Dehnungen in den Messstellen zur Folge hat.

Eine Ovalisierung kann durch alleinige lokale Dehnungsmessung mittels DMS nicht charakterisiert werden und muss flächig erfolgen. Die Ovalisierung wird im 4-Punkt-Biegeversuch an der OTH Regensburg im weiteren Projektverlauf mittels optischer Messtechnik ermittelt.

Marco Siegl, M.Sc., OTH Regensburg ■

Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich, OTH Regensburg ■

## LITERATUR

- [1] Brazier, L.G.: On the flexure of thin cylindrical shell and other "thin" section. Proc. R. Soc., Math. Phys. Eng. Sci. 116, 104-114 (1927)
- [2] Chouchaoui, C. S.; Ochoa, O. O.: Similitude study for a laminated cylindrical tube under tensile, bending, internal and external pressure. Part I: governing equations. Composite Structures, 44, Elsevier Science Limited, Kidlington/Oxford, 221-229 (1999)
- [3] Derisi, B.; Hoa, S.; Hojjati, M.: Similitude study on bending stiffness and behavior of composite tubes. Journal of Composite Materials, 46, 2695-2710 (2012)
- [4] Geuchy Ahmad, M. I.; Hoa, S. V.: Flexural stiffness of thick walled composite tubes. Composite Structures, 149, 125-133 (2016)
- [5] Jolicoeur, C.; Cardou, A.: Analytical Solution for Bending of Coaxial Orthotropic Cylinders. Journal of Engineering Mechanics, 120, 2556-2574 (1994)
- [6] Lekhnitskii, S. G.: Theory of elasticity of an anisotropic body. Holden-Day, San-Francisco (1963)
- [7] Siegl, M.; Ehrlich, I.: Transformation of the Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Plastic Tubes from the Cartesian Coordinate System into the Cylindrical Coordinate System for the Application of Bending Models. Athens Journal of Technology & Engineering, Vol. 4 (1), Athens Institute for Education & Research (ATINER), 47-62 (2017)
- [8] Shadmehri, F.; Derisi, B.; Hoa, S. V.: On bending stiffness of composite tubes. Composite Structures, 93, Elsevier Science Limited, Kidlington/Oxford, 2173-2179 (2011)

# Erarbeitung eines methodischen Vorgehens für die Topologieoptimierung additiv gefertigter Bauteile

Additiven Fertigungstechnologien wird hohes Zukunftspotential zugeschrieben. Damit diese Herstellungsverfahren konkurrenzfähig zu konventionellen Fertigungsverfahren werden, ist deren Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Dies kann unter anderem durch die Reduzierung der Bauteilmasse und des Nachbearbeitungsaufwands erreicht werden. Die Ermittlung einer gewichtsminierten und lastoptimierten Gestalt kann mit Hilfe numerischer Topologieoptimierung erfolgen. Im Folgenden wird eine systematische Herangehensweise zur Bauteiloptimierung additiv hergestellter Komponenten beschrieben.

## Methodische Bauteiloptimierung

Die entwickelte Vorgehensweise ist in Abb. 1 dargestellt. Zu Beginn wird eine numerische Topologieoptimierung (TO) durchgeführt. Die Resultate numerischer Topologieoptimierungen ähneln häufig komplexen, bionischen Strukturen mit zerklüfteten Oberflächen. Diese werden anschließend in gleichmäßige und glatte Non-Uniform Rational B-Spline-Strukturen (NURBS) umgewandelt. NURBS sind Geometrielemente, mit denen beliebige Formen erzeugt werden können.

Bereits 2013 zeigte sich bei einem von General Electric öffentlich ausgeschriebenen Konstruktionswettbewerb, dass Schalendesigns bessere/vorteilhaftere mechanische Eigenschaften als bionische Strukturen erzielen können [2]. Deshalb liegt es nahe, TO-Resultate in Schalenstrukturen zu überführen, um Bauteile hinsichtlich Gewicht und Herstellungsaufwand weiter zu optimieren. Dazu wird ein Flächenmodell aus den TO-Resultaten abgeleitet. Anschließend werden mit einer zweiten Optimierung die nötigen Wanddicken ermittelt. Bei beiden vorgestellten Vorgehensweisen folgt nach der Konstruktion eine FEM-Strukturanalyse, bei der das Design iterativ evaluiert und im Detail optimiert wird.

## Optimierung eines Kragträgers

Die Herangehensweise wurde an einem Kragträger getestet (Abb. 2a). Dieser ist über vier Anschraubpunkte (Interfaces 1 bis 4) mit einer starren Wand verbunden. Über eine Querkraft in z-Richtung, welche an Interface 5 angreift, wird die Struktur belastet. Als Herstellungsmethode wird Selektives Laserschmelzen (SLM) gewählt. Das Resultat der TO ist in Abb. 2b dargestellt. Mittels NURBS-Geometrielementen wird eine der Topologieoptimierung ähnliche Struktur entwickelt (Abb. 2c). Das Ergebnis ist eine komplexe Rahmenstruktur. Da das Material näherungsweise flächig in den seitlichen Bereichen verteilt ist, kann eine hohlschalensähnliche Struktur bereits erahnt werden. Deshalb wird ein Flächenmodell abgeleitet und eine Wandstärkenoptimierung durchgeführt. Dabei darf die Wandstärke eine Dicke von 0,7 mm

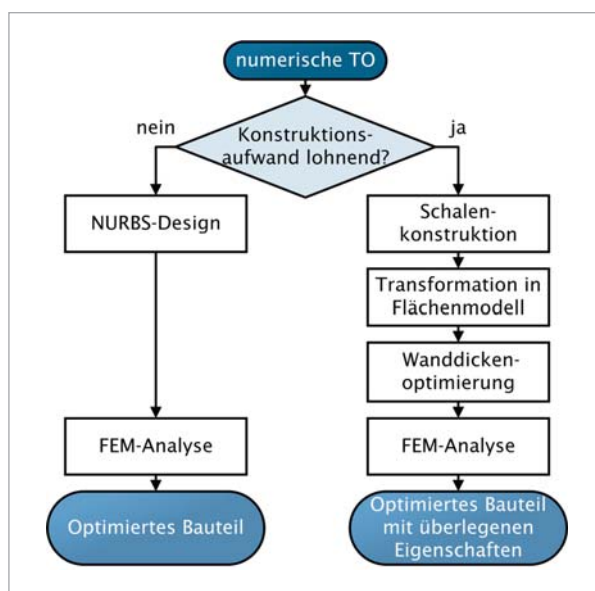


Abbildung 1: Methodische Vorgehensweise zur Bauteiloptimierung additiv hergestellter Bauteile

nicht unterschreiten. Dieser Wert ist höher als die in der Literatur gegebenen Minimalwandstärken für SLM und gewährleistet damit die Herstellbarkeit [1]. Zudem wird vermieden, dass sich zu geringe Wanddicken negativ auf die Bauteileigenfrequenzen auswirken, Beuleffekte verstärkt werden oder sich der Einfluss von Oberflächendefekten erhöht. Da die optimierten Wanddicken nahe den Minimaldicken sind, verwendet die Schalenkonstruktion eine konstante Wandstärke von 0,7 mm. Durch Radien werden Verstärkungen zwischen den einzelnen Schalenelementen erzeugt (Abb. 2c).

Bei Gegenüberstellung beider Konstruktionen mittels mechanischer Analyse fällt auf, dass die Schalenstruktur bei gleicher Masse um 15 % weniger verformt wird und 50 % geringere Vergleichsspannungen auftreten. Da sich Schalenelemente in vielen Orientierungen selbst tragen, benötigt die Schalenkonstruktion zudem 75 % weniger Stützvolumen, denn Oberflächen mit einem flacheren Winkel als 45° zur Bauebene müssen bei SLM unterstützt werden [3]. Da Stützstrukturen den Materialaufwand bei

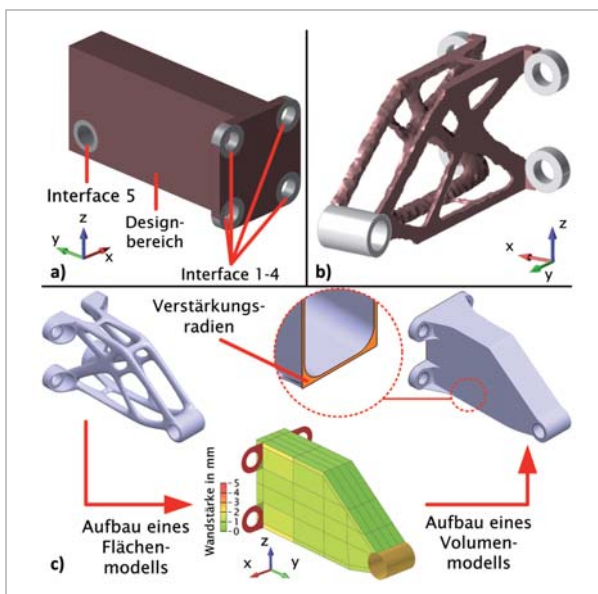


Abbildung 2: a) TO-Modell Kragträger, b) Resultat der TO, c) Vorgehensweise bei der Überführung des NURBS-Design in eine Schalenkonstruktion

der Fertigung, die Bauzeit und darüber hinaus den Nachbearbeitungsaufwand erhöhen, ist die Wirtschaftlichkeit der Schalenkonstruktion höher.

## Optimierung eines Radträgers

In einem weiteren Beispiel wurde ein Radträger des Formula Student Rennwagen des Dynamics e. V. basierend auf dem vorgestellten Schema optimiert. Mit Hilfe eines kinematischen Modells des Fahrwerks wird zunächst der zur Verfügung stehende Designbereich ermittelt (Abb. 3a). Die anschließende Optimierung berücksichtigt zwei Lastfälle. Das Ergebnis der TO ist in Abb. 3b dargestellt. Wie im vorangegangenen Beispiel wird die Struktur in eine NURBS-Konstruktion transformiert (Abb. 3c). Auch hier wurde untersucht, ob durch eine Schalenkonstruktion das Bauteil hinsichtlich Masse noch weiter optimiert werden kann. Dabei wird die Spurstangenanbindung für eine bessere Herstellbarkeit überarbeitet. Des Weiteren werden die flächigen Bleche mit Verstärkungsrippen verstärkt.

Werden beide Konstruktionen analysiert und verglichen, wird eine 20 % geringere Masse des Schalendesigns ermittelt. Zudem ist die Schalenkonstruktion in beiden Lastfällen steifer. Bei liegender Fertigung ist zudem 30 % weniger Stützvolumen notwendig.

**Projektleiter**  
 Prof. Dr.- Ing. Stefan Hierl, Fakultät Maschinenbau  
 Labor für Lasermaterialbearbeitung  
 stefan.hierl@oth-regensburg.de

**Projektmitarbeiter**  
 Sven Hüntelmann, M.Sc.  
 sven1.huentelmann@oth-regensburg.de

**Homepage**  
[www.oth-regensburg.de/fakultaeten/maschinenbau/labore/lmp-lab.html](http://www.oth-regensburg.de/fakultaeten/maschinenbau/labore/lmp-lab.html)

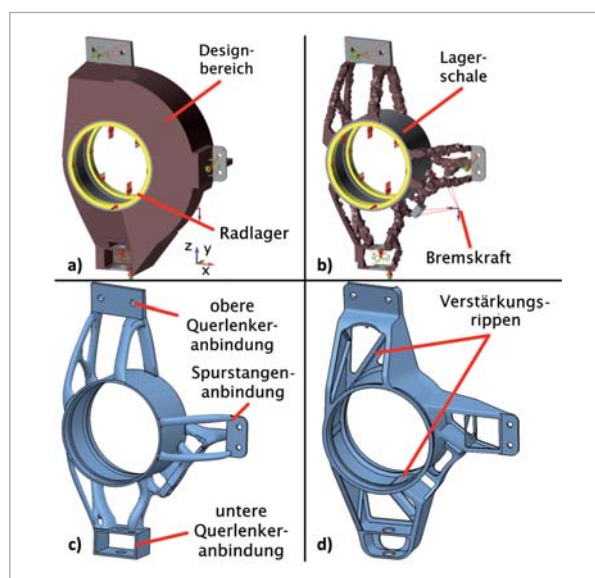


Abbildung 3: a) TO-Modell Radträger, b) Resultat der TO, c) entwickeltes NURBS-Design, d) entwickelte Schalenkonstruktion

## Fazit

In den hier dargestellten Beispielen wird die entwickelte Vorgehensweise zur Bauteiloptimierung erfolgreich angewendet. In beiden Fällen erzielen, durch einen zweistufigen Optimierungsprozess entstandene, Schalendesigns bessere mechanische und wirtschaftliche Eigenschaften als bionische, TO-ähnlichen Strukturen. Sollte der Aufwand es zulassen, ist es daher empfehlenswert, Resultate von TO in Schalenkonstruktionen umzuwandeln.

Sven Hüntelmann, OTH Regensburg ■  
 Stefan Hierl, OTH Regensburg ■

## LITERATUR

- [1] Adam, Guido A. O.; Zimmer, Detmar (2015): On design for additive manufacturing: evaluating geometrical limitations, Rapid Prototyping Journal 21 (6), S. 662–670.
- [2] GrabCAD, GE jet engine bracket challenge, [www.grabcad.com/challenges/ge-jet-engine-bracket-challenge](http://www.grabcad.com/challenges/ge-jet-engine-bracket-challenge), Aufruf: 18. Januar 2019.

- [3] VDI-Richtlinie 3405 Additive Fertigungsverfahren – Blatt 3 – Konstruktionsempfehlungen für die Bauteilfertigung mit Laser-Sintern und Laser-Strahlschmelzen; Dezember 2015.

ANZEIGE



## **e** *Wir machen -mobil Bayern ...*

Damit auch Bayerns Regionen Fahrt aufnehmen können, braucht es eine flächen-deckende Ladeinfrastruktur. Für Unternehmen, Privatpersonen und Kommunen sind wir der fachkundige Partner: von der Lade-säule über die Wartung bis zur Abrechnung. Wir beraten Sie gerne!

[www.bayernwerk.de/elektromobilitaet](http://www.bayernwerk.de/elektromobilitaet)

**bayernwerk**

# Energie und Mobilität

**Energie und Mobilität sind für unsere Gesellschaft sowie Wirtschaft von höchster Bedeutung. Zudem stellen sie uns stets vor neue Herausforderungen: von erneuerbaren Energien bis zum intelligenten Energiemanagement und von intelligenter Fahrerassistenz bis zu neuartigen sicheren Mobilitätskonzepten. Ein ressourcenschonender und effizienter Umgang ist hierfür unerlässlich. Unsere Forschungsansätze zielen darauf ab, Energie effizienter zu nutzen und zu speichern sowie Mobilitätsstrukturen sicherer zu gestalten.**



# Kleinstwindenergieanlagen – Untersuchung der elektrischen Komponenten hinsichtlich einer optimalen Zusammenstellung zur Netzeinspeisung

Die Stromerzeugung aus Windenergie hat sich aus anfänglich kleinen Anlagen hin zu Multimegawattanlagen entwickelt. Nun haben die OTH Regensburg und die OTH Amberg-Weiden im Rahmen des Kooperationsprojektes „Kleinstwindenergieanlagen“ Windenergieanlagen mit Leistungen bis 5 kW erforscht. Die Ziele dieses Projektes liegen darin, die Komponenten zu untersuchen und deren Konfiguration hinsichtlich Stromertrag und Kosten zu verbessern. Dabei ist die optimale Zusammenstellung der Komponenten in der elektrischen Energiewandlungskette Kernthema der OTH Regensburg und soll die Energie- und Kosteneffizienz der Anlagen steigern.

## Was ist eine Kleinstwindenergieanlage?

Unter einer Kleinstwindenergieanlage (KWEA) wird im Prinzip eine moderne Windenergieanlage, die zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet wird, verstanden. Dabei sind die Hauptkomponenten: der Rotor, der Triebstrang mit mechanischen Übertragungselementen und der Generator sowie Leitungen für die Einspeisung. Hinzu kommt bei Anlagen mit horizontaler Rotordrehachse das Windrichtungsnachführsystem. Die Verwendung eines Umrichtersystems mit Schalt- und Schutz-einrichtungen ist nicht immer erforderlich, wird aber aus Gründen der Effizienz häufig eingesetzt. Das Anwendungsfeld im kleinen Leistungsbereich solcher KWEA (max. 5 kW) reicht vom batteriegestützten Inselsystem bis zur Einspeisung in ein öffentliches Energieverteilnetz.

## Kurzvorstellung des Forschungsprojektes

Die Aufgabe des Projektes „Kleinstwindenergieanlagen“ ist, die Komponenten von KWEAs zu untersuchen und deren Konfiguration hinsichtlich des Stromertrags und ihrer Kosten zu verbessern. Dadurch wird die standortgebundene Windenergie besser ausgenutzt und Anlagen, die in Gebieten mit nicht optimalen Windverhältnissen stehen, erzielen eine höhere Wirtschaftlichkeit. Durch die Zusammenarbeit der OTH Regensburg mit der OTH Amberg-Weiden sollen diese Ziele verwirklicht werden. Neben der theoretischen Forschung besteht die Möglichkeit an der OTH Amberg-Weiden KWEAs unter realen Bedingungen auf einem eigens dafür entwickelten Prüfstand zu testen. Mit Hilfe dieses Prüfstandes (Abb. 1) wurden bereits KWEAs, wie die in Abb. 1 b dargestellte KWEA eines englischen Herstellers, im Rahmen von Abschlussarbeiten erfolgreich vermessen.

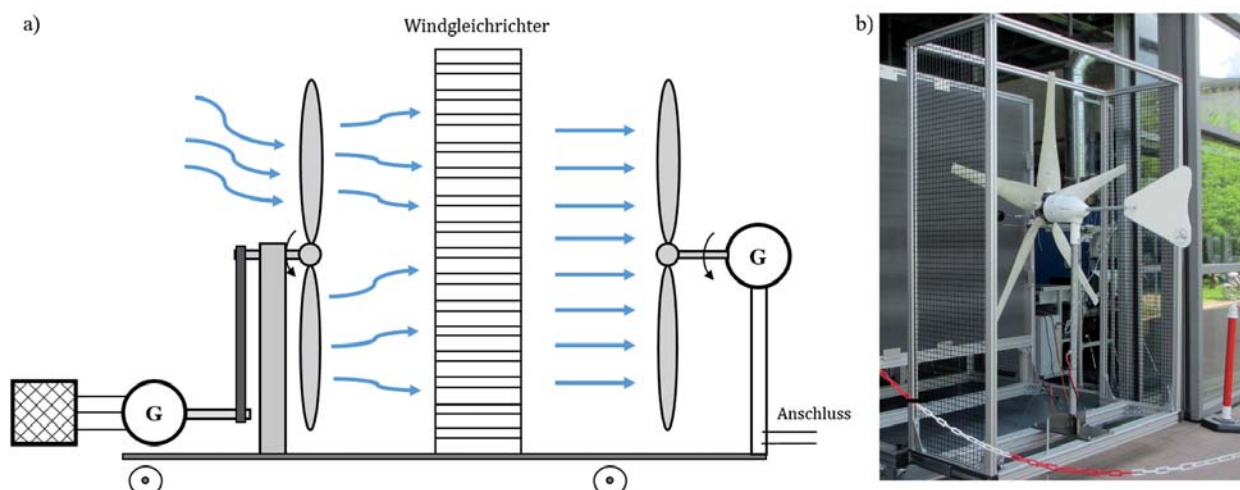


Abbildung 1: a) Aufbau und Funktion des Prüfstandes, die blaue Linien entsprechen dem erzeugten Windverlauf; b) Foto des Prüfstandes mit einer Kleinstwindenergieanlage.



## Teilprojekt: Untersuchung der elektrischen Komponenten hinsichtlich einer optimalen Zusammenstellung zur Netzeinspeisung

An der OTH Regensburg liegt der Fokus auf einer optimalen Konfiguration aus Generator und Stromrichter mit auf dem Markt erhältlichen Komponenten. Die nötigen Daten für Generator, Wechselrichter mit Gleichrichter bzw. Umrichter werden aus den Datenblättern der Herstellerseiten oder auf Anfrage erfasst. Auf Basis dieser Daten und der Aussagen der Hersteller wird eine Übersicht der möglichen Kombinationen aufgezeigt. Für die Bewertung dieser Kombinationen wird ein Ertragsmodell (Abb. 2) erstellt, um die Jahreserträge zu berechnen. Dabei wird die Windverteilung an verschiedenen Standorten und die, je nach Kombination, unterschiedliche Anlagenleistung berücksichtigt. Bei der Berechnung der Anlagenleistung über den Anlagenwirkungsgrad wird der Schwerpunkt auf den elektrischen Wirkungsgrad gelegt und die Komponente des Rotors nur oberflächlich einbezogen. Zur Bestimmung des Anlagenwirkungsgrades werden zwei Ansätze betrachtet: der Ansatz der maximalen Wirkungsgrade und der Ansatz der Wirkungsgradverläufe. Der Ansatz der maximalen Wirkungsgrade besteht dabei aus der Verrechnung der maximalen elektrischen Wirkungsgrade von Generator und Stromrichter mit dem Verlauf des Leistungsbeiwertes  $c_{PR}$  des Rotors. Deutlich aufwendiger ist der Ansatz der Wirkungsgradverläufe. Hier werden die Verläufe sowohl des Leistungsbeiwertes  $c_{PR}$ , als auch der elektrischen Komponenten in Beziehung gesetzt. Durch Vergleich der beiden Ansätze kann festgestellt werden, dass der Ansatz der Wirkungsgradverläufe die Anlagenleistung im Teillastverhalten einer KWEA besser abbildet. Bei der Berechnung der Erträge wird gerade bei niedriger Windgeschwindigkeit eine genauere Abschätzung möglich.

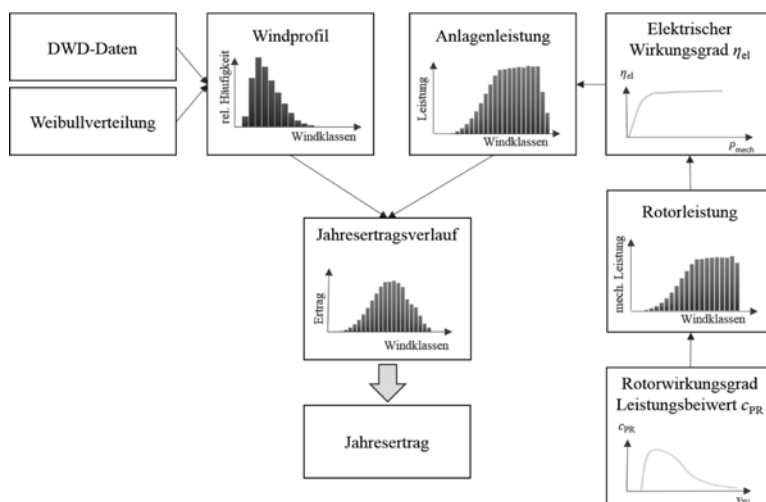


Abbildung 2: Übersichtsplan für das Ertragsmodell einer Windenergieanlage mit den benötigten Parametern.

### Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl  
Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES)  
oliver.brueckl@oth-regensburg.de

### Projektmitarbeiter

Matthias Wildfeuer, M.Sc.

### Geldgeber

Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO)

### Kooperationspartner

OTH Amberg-Weiden

Projektdauerzeit: 24 Monate

Fördersumme: 39.620,00 Euro

Homepage: [www.fenes.net](http://www.fenes.net)

Weiter lässt sich festhalten, dass mit steigender Nennleistung einer KWEA der Jahresertrag bezogen auf die Anschaffungskosten steigt und bei Auslegungen des elektrischen Systems einer KWEA in den Größenordnungen von 4 kW bis 5 kW eine bessere Wirtschaftlichkeit erreicht wird.

## Ausblick im Projekt

Das Teilprojekt zeigt eine theoretische Aussage über die Jahreserträge verschiedener elektrischer Komponenten und deren Effizienz auf. An dieser Stelle ist es nötig, das Modell weiter zu optimieren, indem die Wirkungsgrade und Daten der Hersteller durch Versuchsreihen der einzelnen elektrischen Komponenten am Prüfstand in Amberg bestätigt werden. Dadurch ist eine realitätsnähere Abschätzung der Jahreserträge möglich. Durch eine genauere Betrachtung des Leistungsbeiwertes der Rotorauslegung oder durch die Verwendung von mehreren Rotorprofilen mit unterschiedlichen Leistungsbeiwerten wird die Abschätzung der Jahreserträge weiter optimiert. Ebenso lässt sich die Kostenstruktur durch Berücksichtigung der mechanischen Komponenten und der Betriebskosten erweitern. Die OTH Regensburg und die OTH Amberg-Weiden forschen auch zukünftig weiter an den Problemstellungen im Bereich der Kleinstwindenergieanlagen.

Matthias Wildfeuer, OTH Regensburg ■

Oliver Brückl, OTH Regensburg ■

## Modellierung des deutschen Energiesystems mit Fokussierung auf den regulatorischen Rahmen

Im Rahmen einer vom Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) beauftragten Studie wird das deutsche Energierecht auf Hemmnisse beim Einsatz von erneuerbaren Gasen untersucht. Darauf basierend werden regulatorische Vorschläge abgeleitet, um die Marktchancen zu verbessern, die Verteilung anzureizen und die Sektorenkopplung zu fördern. FENES hat sich an dem Vorhaben mit der Entwicklung eines sektorenübergreifenden und nach volkswirtschaftlichen Kosten optimierten Simulationsmodells beteiligt. Darin werden, unter Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele, regulatorischer Rahmen sowie Vorschläge abgebildet und Auswirkungen auf alle Energiesektoren analysiert.

Das Pariser Klimaschutzabkommen von 2015 sieht eine Begrenzung der anthropogenen Erderwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter vor, mit dem Ziel die Folgekosten und geopolitischen Auswirkungen durch den Klimawandel zu begrenzen. Durch die damit verbundene Notwendigkeit einer schnellen und tiefgreifenden Transformation des Energiesystems steht Deutschland vor einer großen Herausforderung. Erneuerbare Gase können einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Sektoren Wärme, Strom, Mobilität und der nichtenergetischen Verwendung leisten. Im Zuge des Kohleausstiegs kommt grünen Gasen ebenfalls eine entscheidende Rolle zu.

In der vom DVGW beauftragten Studie „SMARAGD“ wurden 27 konkrete rechtlich-regulatorische Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Gase erarbeitet und aus betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Sicht hinsichtlich der Auswirkungen analysiert. FENES beschäftigte sich hierbei mit der gesamtwirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Analyse mittels eines kostenoptimierten Modells, das 97 Technologiepfade zwischen den Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und nichtenergetischem Verbrauch umfasst und etwa 88.000 Datensätze simuliert. Entscheidend für das Modell, welches sämtliche Nutzungssektoren abbildet, sind die definierten Randbedingungen, welche u. a. die Treibhausgasreduktion,

die durchgängige Deckung der Energienachfrage sowie die Einhaltung von nutzbaren Potenzialen und maximalen Zubauraten umfassen.

Die Optimierung des deutschen Energiesystems im Simulationsmodell erfolgt in drei Schritten. Zunächst wird in der linearen und jahresscharfen Grobsimulation der sektorale Energiebedarf unter Einhaltung der technischen Randbedingungen inklusive rechtlichem Rahmen bilanziell gedeckt. Dabei erfolgt eine Optimierung

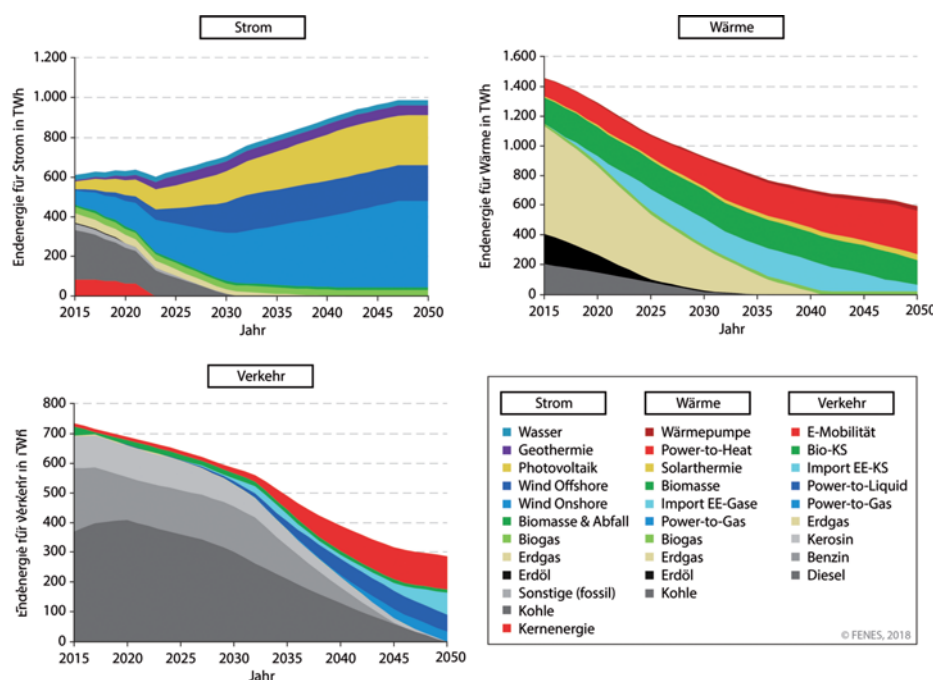


Abbildung 1: Endenergiebedarf und -deckung im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor bis zum Jahr 2050 in allen Szenarien (bei Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele)

hinsichtlich volkswirtschaftlicher Kosten. Über Integration der rechtlich-regulatorischen Maßnahmen können deren Auswirkungen vor allem in Bezug auf erneuerbare Gase identifiziert werden. Die Ergebnisse werden an eine Feinsimulation übergeben, welche für jedes Jahr stundenscharf den deutschen Strombedarf inklusive neu zugebauter Verbraucher (z. B. Wärmepumpen und Elektromobilität) deckt. Die Bedarfsdeckung erfolgt über die Simulation des Kraftwerkseinsatzes mit den jeweiligen Leistungen. Durch die Fluktuation der erneuerbaren Energien, wird ein hoher Grad an Systemflexibilität benötigt. Diese wird zu großen Teilen von flexiblen Verbrauchern bereitgestellt. Sind diese Flexibilitätsmaßnahmen nicht ausreichend, kommen Energiespeicher oder Importe bzw. Exporte unter Berücksichtigung der verfügbaren Übertragungsleistung zur Anwendung. Sowohl der Einsatz von Kurz- und Langzeitspeichern, als auch von Kraftwerken erfolgt optimiert auf Basis verschiedener Parameter, wie z. B. Kosten oder installierter Leistung. Ziel dieser gemischt-ganzzahligen linearen Optimierung ist die Minimierung des durchschnittlichen Jahresstrompreises und die Abbildung der Merit-Order des Stromhandels.

Aus den Untersuchungen (s. Abbildung 1) konnte festgestellt werden, dass zur Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele sämtliche erneuerbaren Energien mit der maximal vorgegebenen Zubaurate bis an die Grenzen der vorgegebenen Potenziale ausgebaut wurden. Ab dem Jahr 2042 basiert die komplette Stromerzeugung auf erneuerbaren Energien. Größten Anteil an der künftigen Stromerzeugung haben Wind (v. a. an Land) und Photovoltaik. Von den fossilen Energieträgern verbleibt Erdgas am Längsten im Strommix, was sich durch den geringen Emissionsfaktor begründen lässt. Das Modell zeigt einen steigenden Strombedarf für die Sektorenkopplung mit Wärmepumpen, Elektromobilität sowie Power-to-X (PtX).

Eine weitere wesentliche Erkenntnis leitet sich aus dem begrenzten techno-ökonomischen Potenzial von erneuerbaren Energien ab: Soll eine vollständige Dekarbonisierung aller Sektoren erfolgen, ist ein nicht unwesentlicher Teil des Energiebedarfs durch Importe von erneuerbaren Gasen oder Kraftstoffen aus Power-to-X zu decken. Entsprechend wichtig ist die Entwicklung dieser Technologien für Deutschland und den Export. Eine weitere Auswirkung des limitierten Potenzials erneuerbarer Energien ist die Bevorzugung effizienter Technologien. Dies

#### Projektleiter

Prof. Dr. Michael Sterner  
Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES)  
Fakultät Elektro- und Informationstechnik  
michael.sterner@oth-regensburg.de

#### Projektmitarbeiter

Franz Bauer, M.Eng., franz.bauer@oth-regensburg.de  
Fabian Eckert, M.Sc., fabian.eckert@oth-regensburg.de  
Andreas Hofrichter, M.Sc.  
andreas.hofrichter@oth-regensburg.de

#### Geldgeber

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW), Bonn

#### Kooperationspartner

Becker Büttner Held PartGmbH, Berlin  
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Leipzig  
DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut  
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)  
Gas- und Wärme-Institut Essen e. V., Essen

#### Projektlaufzeit: 6 Monate

Fördersumme: 72.000 Euro (Anteil OTH Regensburg)  
230.500 Euro (Gesamtvolumen)

Homepage: [www.fenes.net](http://www.fenes.net)

führt dazu, dass PtX sich in Bereichen etabliert, in denen wenige oder nur aufwendig realisierbare Alternativen verfügbar sind, wie im Güter-, Flug- oder Schiffsverkehr. Ein Kernergebnis ist also, dass nur eine Kombination aus Effizienz, „all-electric“ und erneuerbaren Gasen mit Power-to-X im Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2050 kostenoptimal die Pariser Klimaschutzziele erreicht.

Von den modellseitig integrierten rechtlich-regulatorischen Maßnahmen zeigen vor allem die komplette Befreiung von Power-to-X von sämtlichen Umlagen, Abgaben und Steuern sowie die Einführung einer Quote die wesentlichsten Auswirkungen. Einzelne isolierte Maßnahmen zeigen hingegen nur geringe Effekte. Als wichtigste Maßnahme kann allerdings die Umsetzung der Pariser Klimaschutzziele angesehen werden, welche eine tiefgreifende und schnelle Transformation aller Energiesysteme erfordert.

*Michael Sterner, OTH Regensburg* ■  
*Andreas Hofrichter, OTH Regensburg* ■  
*Fabian Eckert, OTH Regensburg* ■  
*Franz Bauer, OTH Regensburg* ■

#### LITERATUR

Ahnis, Wehling, Köppel, Sterner, Lucke, et al.: Technisch-ökonomische Modellierung eines Sektorengekoppelten Gesamtenergiesystems aus Gas und Strom unter Fortschreibung des regulatorischen Rahmens; DVGW, Bonn, 2018

## QUARREE100 – Entwicklung eines Eisen-Redox-Speichers

Die Energiewende braucht zu ihrem Gelingen neue Impulse und Lösungen. Die OTH Regensburg entwickelt ein System, das fluktuierende erneuerbare Energien in Form von Wasserstoff zwischenspeichern kann. Ein Elektrolyseur verwendet hierbei den Strom um Wasser zu Sauerstoff und Wasserstoff zu spalten. Der Wasserstoff wird in einem neuartigen Energiespeicher, basierend auf Eisenoxid-Pellets, bei hohen Temperaturen zwischengespeichert. Für die Rückverstromung wird der Wasserstoff in einen angepassten Verbrennungsmotor geführt. Das System wird zunächst für den Einsatz im Bestandsquartier ausgelegt.

Die OTH Regensburg arbeitet unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud, Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner und Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl fakultätsübergreifend mit drei Laboren an dem Eisen-Redox-System. Mitarbeiter des Labors für Sorptionsprozesse, der Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher und des Labors für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung sind an der Simulation, der Weiterentwicklung und dem Aufbau dieses Systems beteiligt. Das dem Speicher zugrundeliegende Prinzip der thermochemischen Eisenoxid-Reduktion mit Wasserstoff ist bereits seit mehreren Jahrzehnten in der Industrie bekannt.

Ziel der Forschungsarbeit ist die Entwicklung eines Systems zur Zwischenspeicherung von Strom aus erneuerbaren Energien mit hoher Energiedichte. Das heißt das System kann auf ein geringes Gewicht oder ein geringes Volumen große Mengen an Energie speichern.

Der regenerativ erzeugte Strom wird zunächst zur Spaltung von Wasser  $H_2O$  zu Wasserstoff  $H_2$  und Sauerstoff  $O_2$  mittels Elektrolyse verwendet. Wasserstoff ist zwar ein stark flüchtiges Gas, hat aber eine hohe massenspezifische Energiedichte und viele Einsatzmöglichkeiten. So

kann Wasserstoff neben der energetischen Verwertung auch in der Mobilität verwendet werden und bildet einen wichtigen Grundbaustein in der Industrie. In der Wissenschaft liegt der Fokus bei der Wasserstoffspeicherung bisher auf kryogenen Systemen (Speicherung bei extrem niedrigen Temperaturen) und Druckspeichern.

Alle der drei heute verfügbaren Elektrolysetechnologien (Alkalisch, Sauer bzw. PEM und Hochtemperatur) haben die Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff gemein und können potentiell in das Eisen-Redox-System integriert werden. Eine Sonderstellung hat hierbei die Hochtemperaturelektrolyse, da diese aufgrund der benötigten hohen Temperaturen zwar große Synergien mit dem Reaktor aufweist, aber aktuell noch am wenigsten erforscht ist. Der hergestellte Sauerstoff wird für die spätere Verwendung im Verbrennungsmotor zwischengespeichert.

Um Energie speichern zu können wird der Wasserstoff dem Eisen-Redox-Reaktor und damit dem Kern des Systems zugeführt. Dieser Reaktor ist mit Eisen- bzw. Eisenoxid-Pellets gefüllt und bildet den thermochemischen Energiespeicher im System. Beim Einspeichern reagiert der Wasserstoff bei Temperaturen von über  $700\text{ °C}$  mit dem Eisenoxid  $Fe_3O_4$  und reduziert dieses zu reinem Eisen  $Fe$ . Dabei wird Wasserdampf frei, welcher dem Elektrolyseur zugeführt werden kann. Zum Ausspeichern wird dem reversiblen Speicherprozess überhitzter Wasserdampf zur Oxidation der Eisen-Pellets zugeführt. Dadurch reagieren die Pellets, unter Freisetzung von Wasserstoff, wieder zu dem anfänglichen Eisenoxid zurück.

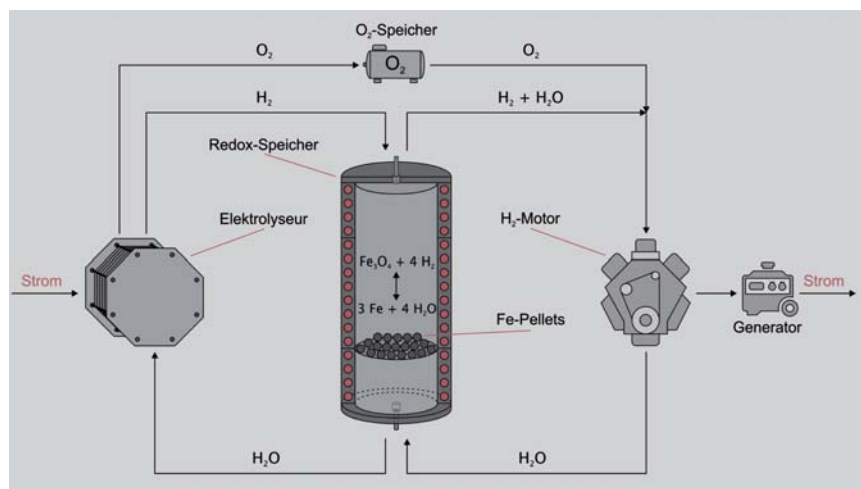


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips des Eisen-Redox-Speichers, eigene Darstellung nach Roß und Heine

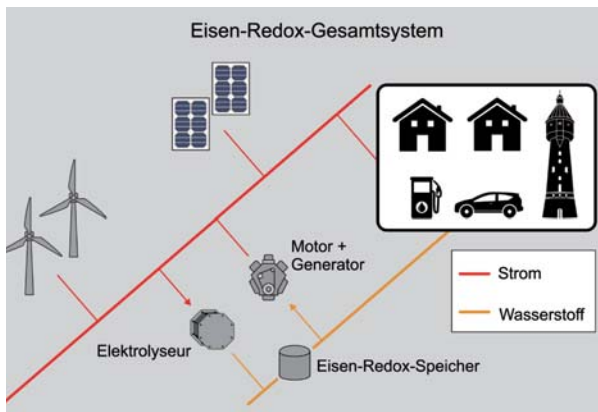


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Einbindung des Speichersystems in ein bestehendes Strom- und Gasnetz

Das so entstehende Gemisch aus Wasserdampf und Wasserstoff wird dem Verbrennungsmotor zugeführt und dort unter Zugabe des vorher gespeicherten Sauerstoffes verbrannt. Hierfür wird ein herkömmlicher Verbrennungsmotor speziell auf den Betrieb mit Wasserstoff-/Sauerstoff-/Wasserdampfgemischen angepasst. Der Motor treibt wiederum einen Generator an, der letztendlich wieder Strom erzeugt. Das Gesamtsystem ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

Das System wird zunächst als stationärer Speicher für den Einsatz in einem Bestandsquartier ausgelegt. Überschüssiger, regenerativer Strom soll über einen Elektrolyseur zu Wasserstoff gewandelt und im Reaktor zwischengespeichert werden. Herrscht im Quartier ein Mangel an erneuerbarem Strom, kann der Wasserstoff aus dem Reaktor über den angepassten Motor wieder zu Strom gewandelt werden. Wird im Quartier direkt Wasserstoff z. B. für eine potentielle Tankstelle benötigt, kann dieser ebenfalls aus dem Speicher kommen. Die Einbindung des Systems in ein Quartier sowie Strom- und Gasnetz ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Anfallende Abwärme, die nicht intern im System verwendet werden kann, kann potentiell in verschiedene Industrie- prozesse integriert werden.

Die Arbeiten zum Eisen-Redox-Speicher finden im Rahmen des Forschungsprojektes „Resiliente, integrierte und systemdienliche Energieversorgungssysteme im städtischen Bestandsquartier unter vollständiger Integration erneuerbarer Energien (QUARREE100) – Reallabor Rüs-dorfer Kamp“ statt. An dem Projekt arbeiten neben der OTH Regensburg 20 weitere Partner aus Industrie und Forschung an aktuellen Fragen zur Energiewende wie zum Beispiel der Integration erneuerbarer Energien in Bestandsquartiere. Bei passenden Ergebnissen soll ein Demonstrator des Systems bis spätestens 2022 im Rahmen dieses vom Bundesministerium für Bildung und

#### Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner, Forschungsstelle für Energie-netze und Energiespeicher (FENES), Fakultät für Elektro- und Informationstechnik, michael.sterner@oth-regensburg.de

#### Projektmitarbeiter

Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud  
belal.dawoud@oth-regensburg.de  
Fabian Eckert, M.Sc., fabian.eckert@oth-regensburg.de  
Bernd Gamisch, M.Sc., bernd1.gamisch@oth-regensburg.de  
Michael Heberl, M.Sc., michael.heberl@oth-regensburg.de  
Daniel Rank, M.Eng., daniel.rank@oth-regensburg.de  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl  
hans-peter.rabl@oth-regensburg.de  
Ottfried Schmidt, M.Sc.  
ottfried.schmidt@oth-regensburg.de  
Leon Schumm, B.Eng., leon1.schumm@oth-regensburg.de  
Felix Senftl, M.Sc., felix.senftl@oth-regensburg.de

#### Geldgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

#### Kooperationspartner

20 Partner aus Industrie und Forschung

Projektdauerzeit: 60 Monate

Fördersumme: 1.436.000,00 Euro (Anteil OTH Regensburg);  
24.291.000,00 Euro (Gesamtvolumen)

Homepage: [www.fenes.net/forschung/energiespeicher/laufende-projekte/quarree-100](http://www.fenes.net/forschung/energiespeicher/laufende-projekte/quarree-100)  
[www.quarree100.de](http://www.quarree100.de)

durch gemeinsame Förderung von



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Forschung (BMBF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Leuchtturmprojektes im Reallabor in Heide aufgestellt, in die dortige Infrastruktur eingebunden und erprobt werden.

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner, OTH Regensburg ■  
Prof. Dr.-Ing. Belal Dawoud, OTH Regensburg ■  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl, OTH Regensburg ■  
Bernd Gamisch, OTH Regensburg ■  
Ottfried Schmidt, OTH Regensburg ■  
Michael Heberl, OTH Regensburg ■

#### LITERATUR

Roß, Tilo, Heine, Antje: Der Verbrennungsmotor – ein Antrieb mit Vergangenheit und Zukunft, S. 246-248. Springer Vieweg, Wiesbaden (2018)



## Power-to-Gas Pilotanlage geht in Betrieb

Erneuerbare Energien ersetzen im Zuge der Energiewende und des Kohleausstiegs zunehmend fossile Energieträger. Nicht nur im Strom- sondern auch im Wärme- und Verkehrssektor und für die Bereitstellung von Grundstoffen für die Chemieindustrie wird elektrische Energie in andere Energieformen gewandelt, um sie besser speichern oder in vorhandenen Infrastrukturen und Technologien nutzen zu können. Im OTH-geführten ORBIT-Projekt wird einer der für diese Wandlung notwendigen technologischen Ansätze weiterentwickelt und optimiert.



Abbildung 1: Im ORBIT-Projekt wird ein interdisziplinärer Ansatz zur Weiterentwicklung der Methanisierungs-Technologie mit Biologen, Verfahrens- und Energietechnikern sowie die Vorbereitung zur Standardisierung und Markteinführung der Technologie verfolgt (linke Seite). Die Pilotanlage (rechte Seite mittig) wurde im März 2019 in Regensburg aufgestellt und wird dort ein Jahr lang Methan produzieren. (Foto: Michael Heberl, OTH Regensburg)



ORBIT steht für „Optimierung eines Rieselbett-Bioreaktors für die dynamische mikrobielle Biosynthese von Methan mit Archaeen in Power-to-Gas-Anlagen“ und ist ein von der Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES) an der OTH Regensburg koordiniertes Verbundvorhaben zur Weiterentwicklung neuer technologischer Ansätze zur Erzeugung von Methan als regenerativem Erdgassubstitut aus den Ausgangsstoffen Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid.

Im Projekt mit derzeit acht Partnern aus Wissenschaft und Industrie wird ein Methanisierungsprozess hinsichtlich energie- und verfahrenstechnischer sowie biologischer Kriterien neu entwickelt, simuliert, optimiert und zur Standardisierung vorbereitet.

Nach etwa der Hälfte der Projektlaufzeit wird Anfang 2019 der einjährige Versuchsbetrieb der vollautomatisierten Anlage an der OTH Regensburg auf der Fläche der Photovoltaikanlage beginnen. Nach erfolgreichen Versuchen in Regensburg ist zum Projektende im Jahr 2020 die Einspeisung des erzeugten Erdgassubstituts ins Erdgasnetz an einer Gas-Druckregel- und Messanlage im Feldtest in Nordrhein-Westfalen geplant, bei dem geprüft wird, ob sich die entwickelte Lösung in der Anwendung behaupten kann.

*Martin Thema, OTH Regensburg* ■  
*Michael Sterner, OTH Regensburg* ■

**Leiter Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES)**

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner

**Projektleiter**

Martin Thema, M.Sc.

Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher  
 martin.thema@oth-regensburg.de

**Projektmitarbeiter OTH Regensburg**

Anja Kaul, M.Sc.

**Geldgeber**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
 FKZ: 03ET6125A

**Kooperationspartner**

Universität Regensburg  
 Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg  
 Electrochaea GmbH, MicroEnergy GmbH  
 MicroPyros GmbH  
 Westnetz GmbH  
 DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut  
 des Karlsruher Instituts für Technologie

**Projektlaufzeit:** 36 Monate

**Fördersumme:** 294.000,00 Euro (Anteil OTH Regensburg),  
 1.143.825,00 Euro (Gesamtvolumen)

**Homepage**

[www.fenes.net/forschung/energiespeicher/laufende-projekte/orbit](http://www.fenes.net/forschung/energiespeicher/laufende-projekte/orbit)

## Kosten der Blindleistungsbereitstellung

Die Spannungshaltung ist eine der wichtigsten Anforderungen an einen stabilen Netzbetrieb. Blindleistung ist eine der wichtigsten Maßnahmen zur Spannungshaltung, vor allem in den höheren Spannungsebenen. Bislang haben vor allem konventionelle Kraftwerke den größten Teil an Blindleistung geliefert. Ende 2016 veröffentlichte die OTH Regensburg für das Bundeswirtschaftsministerium eine Studie zur künftigen Beschaffung von Blindleistung, um einerseits die Netzsicherheit aufrechtzuerhalten, aber andererseits die Kosten dafür gering zu halten (sog. deutsche Blindleistungsstudie). Seither ist eine lebhafte Diskussion im Gange. Nun hat die OTH Regensburg für die Deutsche Energieagentur (dena) eine sehr umfangreiche Untersuchung der Kostenbestandteile der wichtigsten Optionen zur Blindleistungsbereitstellung durchgeführt und anhand eines realen Mittelspannungsnetzes die Spannungshaltung mittels Blindleistung analysiert. Das Ergebnis hat auch die Netzbetreiber überrascht.

In der Studie für die dena [1] werden die technisch-physikalischen Aspekte aufgezeigt, die bei der Auslegung von Erzeugungsanlagen (EZA) auf eine Blindleistungsbereitstellung zu beachten sind. Für die betroffenen Komponenten werden die damit einhergehenden Kosten quantifiziert. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Bandbreite. Allgemeingültig lässt sich feststellen, dass die Auslegung zur Blindleistungserbringung auf einen Verschiebungsfaktor von 0,90 grundsätzlich zu höheren spezifischen Bereitstellungskosten als ein Verschiebungsfaktor von 0,95 führt. Neben EZA wird die Kostenstruktur von konventionellen Kompensationsanlagen beleuchtet. Diese haben in höheren Spannungsebenen, vor allem in

der Hochspannungs(HS)- und Höchstspannungs(HöS)-Ebene, niedrigere spezifische Investitionen als in der Mittelspannungs(MS)- und Niederspannungs(NS)-Ebene. Tabelle 1 zeigt die Minder- und Mehrkosten für die Blindleistungsbereitstellung ausgewählter beispielhafter EZA.

Die technische und wirtschaftliche Bewertung der Blindleistung erfordert eine Differenzierung hinsichtlich des Anwendungsfalles. Wenn Blindleistung zur Spannungshaltung in einem Untersuchungsnetz betrachtet wird, müssen auch andere technologische Alternativen zur Blindleistung für die Spannungshaltung (z. B. dynamische Sollwertregelung der Regeltransformatoren, Ein-

Generatortyp		Minder- bzw. Mehrkosten in EUR/kVAr bei Auslegung auf	
		$\cos\varphi = 1,00$ statt $\cos\varphi = 0,95$	$\cos\varphi = 0,90$ statt $\cos\varphi = 0,95$
6,15-MW-Windpark mit kurzer Anschlussleitung	als Vollumrichter	9	20
	als DFIG	26	43
10-MW-Windpark mit 8-km-Anschlussleitung	Als Vollumrichter	11	27
	Als DFIG	30	50
7-kW-PV-Dachanlage		19	43
2,85-MW-PV-Freiflächenanlage mit 2-km-Anschlussleitung		15	35
6,15-MW-Freiflächenanlage mit 2-km-Anschlussleitung		16	36
1.000-MW-Steinkohlekraftwerk*)		< 5	< 10

\*) wurde früher typischerweise auf ungefähr  $\cos\varphi = 0,8$  ausgelegt. Dabei würden heute Kosten von ca. 20 bis 30 EUR/kVAr resultieren.

Tabelle 1: Berechnungsbeispiele zum Mehraufwand für die Blindleistungsbereitstellung aus EZA

speisespitzenkappung, ...) in die Analysen miteinbezogen werden. Wenn Blindleistung zum Ausgleich des Blindleistungshaushaltes herangezogen werden soll, ist zu bedenken, dass es nicht nur zahlreiche Optionen der Blindleistungsbereitstellung gibt, sondern auch indirekte Maßnahmen (z. B. Wahl des Spannungshaltungskonzepts im eigenen Netz, Anpassung des Spannungsniveaus, ...) zu berücksichtigen sind.

In der Studie werden nur einzelne Lösungsbausteine anhand eines ausgewählten MS-Netzes betrachtet. Alleine diese Beispiele verdeutlichen bereits die enorme Kostenbandbreite bei der blindleistungsbedingten Auslegung und Blindleistungsbereitstellung. Wie die Ergebnisse zeigen, könnte in dem betrachteten Beispielnetz mit Blick auf die Spannungshaltung sogar vollständig auf eine Blindleistungsbereitstellung verzichtet werden, obwohl 56 MW an installierter EZA-Leistung angeschlossen ist. Ermöglicht wird dies durch einen teilvermaschten Netzbetrieb und eine dynamische Sollwertregelung des HS/MS-Transformators.

Wenn die Spannungshaltung nur durch die Spannungsblindleistungsregelung der EZA erfolgen soll, müssten diese bei einer flächendeckend gleichen Blindleistungsvorhaltung auf einen  $\cos\varphi = 0,90$  ausgelegt werden, um das Netz in den zulässigen Spannungsgrenzen halten zu können. Von der damit verbundenen verteilten Blindleistungsvorhaltung in Höhe von gut 27 MVar würden in Spitze nur 4,8 MVar an untererregter Blindleistung abgerufen werden.

Würde das Netz unvermascht bzw. in offenen MS-Ringen betrieben werden, könnte die Spannungshaltung durch EZA selbst bei einer Blindleistungsvorhaltung im Rahmen von  $\cos\varphi = 0,90$  nicht mehr gewährleistet werden. Sogar in Verbindung mit der dynamischen Sollwertregelung des HS/MS-Transformators, die in der Ausgangstopologie gänzlich ohne Blindleistungseinsatz die Spannung im zulässigen Bereich halten kann, wäre kein ordnungsgemäßer Betrieb mit Hilfe der flächendeckenden Bereit-

#### Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl  
Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES)  
oliver.brueckl@oth-regensburg.de

#### Projektmitarbeiter/in

Christian Adelt  
Johannes Eller  
Matthias Haslbeck,  
Ulrike Mayer  
Thomas Sippenauer  
Bettina Vogl

Homepage: [www.fenes.de](http://www.fenes.de)

stellung von Blindleistung durch EZA möglich. Andere Maßnahmen zur Spannungshaltung müssten ergriffen werden.

Die Auswirkungen auf die Kosten sind dementsprechend. Das untersuchte Netz könnte alleine mit der dynamischen Sollwertregelung mit einem Investitionsaufwand für unter 10.000 Euro betrieben werden. Die derzeitigen Anforderungen an die flächendeckende Bereitstellung von Blindleistung verursachen dagegen einen Investitionskostenaufwand in Höhe von 230.000 Euro. Bei einer Aufweitung der Anforderungen von heute  $\cos\varphi = 0,95$  auf 0,90 würde dieser auf 375.000 Euro ansteigen.

Als allgemeine Schlussfolgerung kann gesehen werden, dass die Beurteilung der Blindleistungsbereitstellung inkl. ihrer Notwendigkeit eine komplexe Aufgabenstellung darstellt, weil nicht nur zahlreiche Optionen sowie direkte und indirekte Alternativen existieren, sondern auch die bestehenden Wechselwirkungen und Auswirkungen über die verschiedenen Spannungsebenen hinweg erkannt und bewertet werden müssen.

*Oliver Brückl, OTH Regensburg* ■

*Ulrike Mayer, OTH Regensburg* ■

*Johannes Eller, OTH Regensburg* ■

*Thomas Sippenauer, OTH Regensburg* ■

*Christian Adelt, OTH Regensburg* ■

*Matthias Haslbeck, OTH Regensburg* ■

*Bettina Vogl, OTH Regensburg* ■

#### LITERATUR

- [1] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Entwicklung einer Verfahrensweise zur quantitativen Bewertung verschiedener Blindleistungsbereitstellungsoptionen. Dezember 2017. Internet: [https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads\\_Dateien/esd/9235\\_Entwicklung\\_einer\\_Verfahrensweise\\_zur\\_quantitativen\\_Bewertung\\_verschiedener.pdf](https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9235_Entwicklung_einer_Verfahrensweise_zur_quantitativen_Bewertung_verschiedener.pdf)

ANZEIGE



**Fraunhofer**  
IIS

SCHON IM ERSTEN JOB  
EIGENVERANTWORTLICH FORSCHEN  
GEHT NICHT.

**DOCH.**

Durch praxis- und projektbezogene Arbeit  
hast Du auch schon im Studium bei uns beste  
Chancen, Dich weiter zu entwickeln.

[www.iis.fraunhofer.de](http://www.iis.fraunhofer.de)

# Digitalisierung

**Digitalisierung ergänzt als weitere Querschnittstechnologie programmübergreifend alle unsere Forschungs-Leitthemen. Mit ihrem besonderen Innovationspotenzial treibt sie unaufhaltsam Prozesse voran, die in Unternehmen sowie im gesellschaftlichen wie privaten Bereich Veränderungen hervorrufen und Strukturen revolutionieren. Big Data, Machine Learning, Cybersicherheit und Automatisierung sind Kernbereiche unserer Forschungsansätze für digitale Lösungen, um Prozesse, Menschen, Produkte und Maschinen miteinander zu vernetzen.**

## Establishing Open Source Software in Safety Critical Domains

Open Source Software (OSS) components are included in virtually every modern software products. Companies rely on OSS because of economical considerations: It is highly unprofitable to develop, for instance custom operating systems. For many application domains, available components ranging from the Linux kernel via embedded databases to communication frameworks or machine learning libraries work fine – but what if OSS needs to be deployed in safety-critical environments like medical devices or in the automotive domain, where malfunction can lead to serious injuries?

Software for this class of systems must meet high quality standards and conform to specific development processes that try to enforce high product quality. Because of the distributed nature of OSS projects, the development processes behind the scenes do usually not comply with these requirements, even if the outcoming software result would satisfy the quality expectations. In our work, we try to find ways to prove industry-grade quality of OSS components and their processes by analysing and combining publicly available developer communication (that reflects the development process) and the code (that reflects the outcome of the process). Our publicly available tool can assist formal certification efforts of OSS components.

Open Source Software (OSS) components have become integral parts of many software systems. Linux, one of the largest existing OSS projects, is a highly flexible and configurable operating systems that is used in systems from desktop to server, in tiny embedded devices and the worlds largest supercomputers. Using OSS in safety-critical systems is still mostly uncharted territory.

Economic factors like cost and time pressure, but also the need to provide increasing feature sets (for instance cloud connectivity for industrial control or artificial intelligence image analysis in self-driving cars) leads industry to employing OSS components in their appliances. In domains with safety requirements, non-functional quality aspects are crucial and require software to conform to international standards, such as ISO 26262, IEC 61508 or IEC 62304. These, in turn, require certified development processes that enforce high standards for traceability and auditability of all development activities, including code writing, reviewing, deployment, and maintenance. The rationale for using strict process compliance is the hope that this “enforces” resulting products of high quality.

This leads to a dilemma if software that is of sufficient quality, but has been developed with different process approaches needs to be used in safety critical environments. Formally satisfying safety requirements is traditionally only possible with software developed from scratch, but it is hard to implement the many desired features of complex products if development starts from the ground up. OSS is able to satisfy the feature requirements, but does usually not meet developmental certifi-

cation criteria because of the highly distributed nature of its development.

In our endeavour of quantifying and evaluating the quality of OSS development processes, we utilise the public availability of development artefacts. Code is organised in repositories – archives that track the origin of every single change of the code – and mailing lists (MLs), where developers discuss and review their code. Those are the ingredients for a solid evidence-based analysis of OSS development processes.

Code, eventually, is the key artefact that establishes software quality. To assess non-formal OSS development processes, mapping code on mailing lists to repositories is therefore crucial to connect processual characteristics with quality indicators. Emails are the artefacts of the development process. Together with the code outcome of the process, this forms a solid base for further analysis. Unfortunately, there is no direct connection between the code on mailing lists and the final state in the repository. We developed a method accompanied by compre-

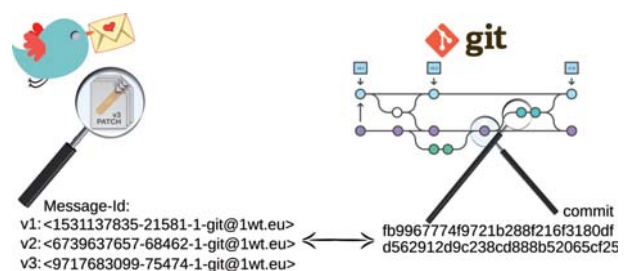


Figure 1: Linking code and emails provides the connection between process and code



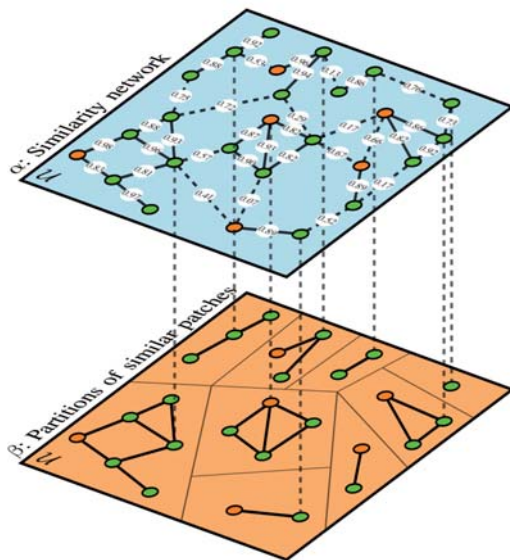


Figure 2:  $\alpha$ :  $sim$  determines the similarity (edge weights) of patches. Dashed edges remain below the threshold  $t_a = 0.80$ .  $\beta$ : Connected components above the threshold form equivalence classes of similar patches. Green and orange vertices exemplarily denote patches on ML and commits respectively.

hensive automated tool support that allows us to map mails on mailing lists to changes in repositories (cf. Figure 1). This allows for answering quality-related questions, such as “Is code well reviewed?”, “Does the project scale?” or “Does the process meet certain requirements?”. Of course, all of our tools are published as Open Source, and thus available to the public.

Establishing the aforementioned mapping is a non-trivial task, as code may change significantly over time. We devised a method that quantifies the similarity of two code changes as given by incomplete fragments („patches“) as they appear in discussions on mailing lists. Later, we combine similar fragments to larger clusters that collect multiple versions of similar code. To achieve this, we utilise fundamentals of graph theory (cf. Fig. 2).

The vertices of the graph  $G=(V, E)$  denote patches, while the edges connect similar patches. To find those edges, we intelligently pairwise compare patches (vertices) with the classifier  $sim$ , and connect similar ones with an edge. Every disconnected component of the graph forms an equivalence class  $[x]_S$  that contains similar code fragments:

$$sim_{f,th,dlr,w}: \mathcal{U} \times \mathcal{U} \rightarrow [0, 1]$$

$$E = \{ \{a, b\} \subseteq U \mid sim_{f,th,dlr,w}(a, b) > t_a \}$$

$$[x]_S = \{ y \in V \mid x \rightsquigarrow_G y \}$$

## LITERATUR

- Ralf Ramsauer, Daniel Lohman, Wolfgang Mauerer. The List is the Process: Reliable Pre-Integration Tracking of Commits on Mailing Lists. To appear in Proceedings of the 41st ACM/IEEE International Conference on Software Engineering, ICSE’19. 2019
- Petr Picha, Premek Brada, Ralf Ramsauer, Wolfgang Mauerer. Towards Architect’s Activity Detection through a Common Model for Project Pattern Analysis. In 2017 IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW) (pp. 175-178). IEEE.
- Ralf Ramsauer, Daniel Lohmann, and Wolfgang Mauerer. Observing Custom Software Modifications: A Quantitative Approach of Tracking the Evolution of Patch Stacks. In: Proceedings of the 12th International Symposium on Open Collaboration. OpenSym’16. 2016.

### Projektleiter

Prof. Dr. Wolfgang Mauerer, Labor für Digitalisierung

Projektmitarbeiter: Ralf Ramsauer, M.Sc.

### Geldgeber

Siemens AG, Corporate Technology; EU-Projekt iDev40 (56 Millionen Euro; OTH Regensburg: 500.000,00 Euro)

### Kooperationspartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Daniel Lohmann, Leibniz Universität Hannover

Homepage: [www.idev40.eu](http://www.idev40.eu)

The accuracy of our method relies on a set of thresholds that control the sensitivity of comparisons, which raises two challenges: determining the optimum thresholds, and establishing the accuracy of our algorithm in the best case. Both can be answered with the help of machine learning methodology: we manually created a ground-truth for a time window of one month that determines „true“ fragment classes as judged by human intelligence, and compare this mapping to the results of our automatic method while varying thresholds to find the optimal set that delivers the best possible machine approximation to the results obtained with human labour. The evaluation verified that our approach performs better than existing work: For the Linux kernel, we achieve a 22 % improvement over the state of the art (as measured by the Fowlkes-Mallows index, which is discussed in detail in the resulting paper).

Our work will be presented at the International Conference on Software Engineering in Montréal, the most highly regarded conference in the field, which underlines the academic relevance of our work. We are, however, also happy to observe that the results are of practical relevance, which is rare for fundamental research: we cooperate with various international industrial partners and the Linux Foundation (an umbrella organisation that channels OSS development and coordination requirements of more than 1000 international corporations) to apply our results on real-world safety certification challenges.

Wolfgang Mauerer, OTH Regensburg ■

Ralf Ramsauer, OTH Regensburg ■

Daniel Lohmann, Leibniz Universität Hannover ■

## Quantencomputer, Flughäfen und industrielle Optimierung

Die Optimierung von Kosten – Finanzen, Wegstrecken, Materialverbrauch und andere zentrale Einflussfaktoren – ist eine der wichtigsten Aufgaben des industriellen Rechnens, die sich leider meist als extrem schwer zu lösen erweist. Quantencomputer, die Rechnungen unter Nutzung der Gesetze der Quantenmechanik auf völlig neue Art ausführen und – je nach Interpretation – die Rechenleistung multipler Universen kombinieren, wurden in den letzten beiden Jahrzehnten in der Grundlagenforschung untersucht. Mittlerweile stehen erste nutzbare Maschinen zur Verfügung. Das vorgestellte Projekt untersucht die Optimierung des Airport Gate Assignment-Problems auf (real existierenden) adiabatischen Quantenannealern und bahnt damit den Weg für erste reale industrielle Anwendungen dieser neuartigen Maschinen: Wegdistanzen für Passagiere sollen durch geeignete Platzierung von Flugzeugen an Gates minimiert werden, um Umsteigezeiten möglichst gering zu halten und Flughäfen effizienter zu machen – ein wichtiger Schritt für zukünftige Mobilität, da das Flugverkehrsvolumen steigt, der Neubau von Flughäfen sich aber oft als komplex erweist. Bereits mit begrenzter Information kann ein Quantencomputer sehr gute Lösungen ermitteln. Das zugrundeliegende Optimierungsproblem wird in generalisierter Form auch Anwendungen in zahlreichen anderen Industriedomänen finden können.

Das *General Assignment Problem* (GAP) ist die mathematische Formulierung der Problemstellung, eine bestimmte Anzahl von Aufgaben an eine bestimmte Anzahl von Arbeitern zu verteilen, so dass jede Aufgabe genau einem Arbeiter zugewiesen wird, die zugewiesenen Aufgaben für einen Arbeiter im Rahmen seiner Kapazitäten liegen, und die Kosten der gewählten Zuteilung minimal werden. Eine etwas vereinfachte Form, das *Quadratic Assignment Problem*, wird in der Literatur seit 1957 untersucht, und ist auf viele industrielle Fragestellungen anwendbar – unter anderem auch auf das bereits in der Einleitung erwähnte *Gate Assignment-Problem*. Un-

glücklicherweise ist die Fragestellung in der Klasse der berühmten NP-vollständigen Probleme angesiedelt, die nach aktuellem wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht mit praktikablem Ressourcenaufwand zu lösen sind. Approximative Lösungen, die mit verschiedenen Verfahren erzielt werden, sind die einzige Möglichkeit, um zumindest ansatzweise gute Lösungen zu ermitteln.

Eine besonders ungünstige Eigenschaft der Klasse aller NP-vollständigen Probleme ist, dass weder Verbesserungen der Lösungsstrategie (Algorithmus) noch Fortschritte in der Hardware (höhere Taktraten, mehr

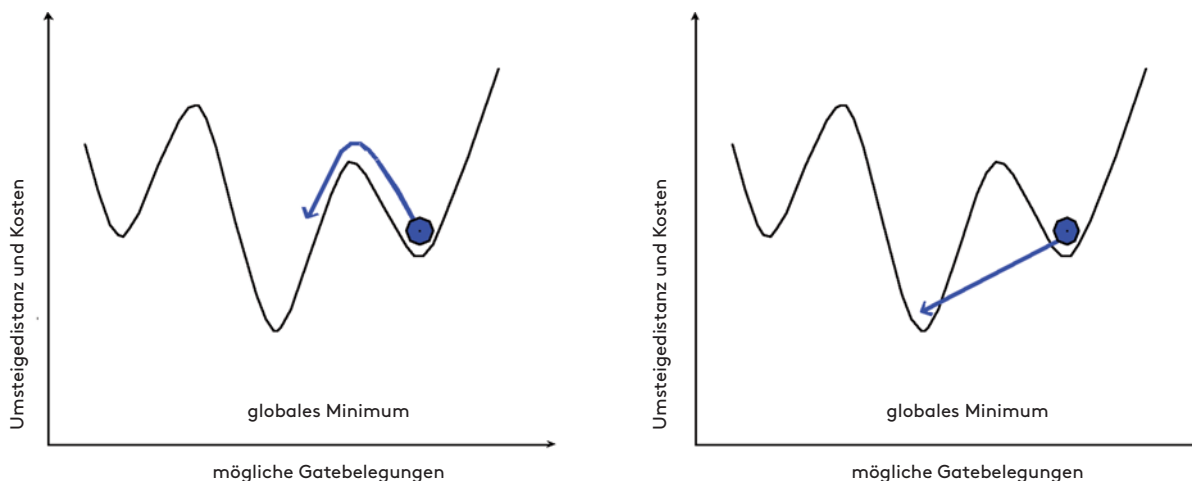


Abbildung 1: Quantenmechanisches Tunneln unterstützt die effiziente Suche nach optimalen Lösungen von Minimierungsproblemen.

Speicher, ...) ihren Aufwand substantiell reduzieren können. Große Hoffnung liegt daher auf Konzepten, die den grundlegenden *Rechenprozess* neu denken – Quantencomputer sind ein möglicher Kandidat.

In Gegensatz zu klassischen Rechnern, die mit Sprachen wie C/C++, Java oder C# programmiert werden, Problemlösung auf hochabstrahierter Ebene ermöglichen und Programmierern eine umfangreiche Sammlung an wiederverwendbaren Primitiven für Standardoperationen ermöglichen, werden Quantencomputer mit völlig unterschiedlichen Mechanismen angesteuert, die eher an die Anfangszeit des maschinellen Rechnens in den 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts als an modernes Softwareengineering erinnern. Während moderne Rechner mit Bits und Bytes arbeiten, deren Werte beliebig geschrieben, verknüpft und ausgelesen werden können, arbeiten Quantenannealer – der in unserer Arbeit verwendete Maschinentyp – mit Quantenbits, die die wenig intuitive Eigenschaft besitzen, *gleichzeitig* den Wert 0 und den Wert 1 besitzen zu können. Diese kontraintuitive Eigenschaft weckt in Physik und Informatik die Hoffnung auf radikal neue Rechenmethoden.

Ein Annealer verwendet kein explizites Programm, in dem Anweisungen Schritt für Schritt abgearbeitet werden, sondern fokussiert sich auf die *Beschreibung* des Problems mit Hilfe einer bestimmten mathematischen Formulierung, der sogenannten Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO): Das Problem wird mit Hilfe einer Funktion binärer Variablen beschrieben, die maximal in zweifach kombinierter Form auftauchen können; die Funktion wird zudem so konstruiert, dass die Variablenbelegung, die den kleinstmöglichen Funktionswert liefert, zugleich die optimale minimale Lösung für das Problem kodiert. Ein „Programm“ (QUBO) für das GAP-Problem hat in dieser Formulierung beispielsweise die Form:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m (p_{i,j} d_{k,l} + a_{i,k}) x_{i,k} x_{j,l}$$

Die Suche nach dem kleinsten Wert der Funktion verwendet (sehr illustrativ gesprochen) eine zweite Eigenschaft der Quantenmechanik, den Tunneleffekt: Stellt man sich die Lösung wie in Abbildung 1 gezeigt als Ball vor, der in einer hügeligen Landschaft in das tiefste Tal (Optimallösung) rollen soll, ohne ein vorzeitiges Ende auf einer Hochalm (lokales Minimum) zu finden, kann im klassischen Fall viel „Schwung“ notwendig sein, um einen lokalen Berg überwinden zu können, um von einem lokalen Neben-Minimum in ein globales Minimum zu gelangen. Auf einem Quantenannealer kann der Ball unter dem Berg hinweg „tunneln“, und erreicht den gesuchten Zustand dadurch schneller und mit weniger Aufwand.

#### Projektleiter

Prof. Dr. Wolfgang Mauerer  
Labor für Digitalisierung

#### Projektmitarbeiterin

Irmengard Sax, B.Sc.

#### Kooperationspartnerin

Prof. Dr. Claudia Linhoff-Popien  
Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)

Um das Gate Assignment-Problem lösen zu können, muss es in diese Struktur „eingepasst“ werden – hier gibt es, wie bei jeder Programmieraufgabe, Freiraum für Kreativität. Die Arbeit hat zwei unterschiedliche Varianten aufgestellt und deren Vor- und Nachteile untersucht. Geschwindigkeitsvorteile für Quantencomputer ergeben sich (noch) nicht, was auf den ersten Blick enttäuschen wirken mag, für Fachexperten aber wenig überraschend ist: Bei Hardware, die gerade erst den Laborkinderschuhen entwachsen ist, ist es wichtiger, ein Verständnis für deren Funktionsweise, Stärken und Schwächen zu entwickeln, als bestehende Techniken in der Leistung zu schlagen. Neben der komplexen Übertragung der Problemstellung in die Sprache der Quantenannealer (die in Deutschland aktuell nur von wenigen Personen beherrscht wird), wurden zwei verblüffende Ergebnisse festgestellt:

- Redundante Kodierung bei der Programmierung führt nicht nur zu einfacheren Programmen, sondern auch zu besseren Lösungen.
- Die QUBO-Programme können durch ein in der Arbeit entwickeltes einfaches Verfahren radikal verkleinert werden (die Programmlänge sinkt um bis zu 80%), ohne wesentliche Abschlüsse bei der Lösungsqualität in Kauf nehmen zu müssen. Vor allem bei stark ressourcenbeschränkter, real verfügbarer Hardware sind kompakte Programme essentiell, um industriell relevante Probleme bewältigen zu können.

Das Grundlagenthema wird im Labor für Digitalisierung im Rahmen eines auf drei Jahre angelegten privatwirtschaftlich finanzierten Kooperationsprojekts mit einem international tätigen Großkonzern weiterbearbeitet. Die in der Arbeit entwickelten Techniken sollen dabei systematisch auf weitere industrielle Probleme ausgeweitet werden.

Irmengard Sax, OTH Regensburg ■

Prof. Dr. Wolfgang Mauerer, OTH Regensburg ■

Thomas Gabor, LMU ■

Dr. Sebastian Feld, LMU ■

Prof. Dr. Claudia Linhoff-Popien, LMU ■



# Sensorik

**Sensorik ist für nahezu alle Branchen eine wichtige Schlüsseltechnologie, deren Bedeutung permanent wächst. Als Querschnittstechnologie durchdringt Sensorik alle unsere Leitthemen. In der Energiewirtschaft und der Gebäudeautomatisierung kommt sie ebenso zum Einsatz wie in der Produktionstechnik oder der Medizintechnik. Die Entwicklung von (miniaturisierten) Sensorsystemen liefert neuartige Anwendungskonzepte, die in fast allen Bereichen unseres Alltags zunehmend an Bedeutung gewinnen, da sie unabhängig von menschlichen Eingriffen Steuerungs- und Regelungsfunktionen übernehmen können.**



## Durch elektronenstrahlinduzierte Deposition hergestellte Nanoemitter für Feldemissionsanwendungen

Die elektronenstrahlinduzierte Deposition ermöglicht eine exakte und reproduzierbare Positionierung von Nanostrukturen auf einer Chipoberfläche. Auf vier Si-Säulen wurden Nanoemitter jeweils mittig durch elektronenstrahlinduzierte Deposition von  $\text{MeCpPtMe}_3$  abgeschieden. In einer Vakuumkammer bei Drücken von ca.  $10^{-9}$  mbar wurden integrale Feldemissionsmessungen in Diodenkonfiguration mit einem  $50\mu\text{m}$  Abstandshalter durchgeführt. Die UI-Messung der Probe zeigt einen Emissionsstrom von bis zu  $2\mu\text{A}$  bei einer Spannung von  $600\text{V}$  ( $12\text{MV}/\text{m}$ ) und eine Einsatzspannung für einen Strom von  $1\text{nA}$  bei ca.  $300\text{V}$ .

Das fokussierte elektronenstrahlinduzierte Abscheidungsverfahren (FEBID) ermöglicht die Realisierung von Nanostrukturen aus verschiedenen Präkursoren [1]. Die dabei verwendeten Präkursoren sind organische Moleküle, die Metallatome enthalten. Diese werden im Fokus eines Elektronenstrahls dissoziiert und erzeugen schließlich ein nanogranuläres Material (Abb. 1), wie z. B. Koops-GranMat® [2]. Für unsere Experimente verwendeten wir Trimethyl-(Methylcyclopentadienyl)-Platin(IV) ( $\text{MeCpPtMe}_3$ ). In den letzten zehn Jahren wurde dieser Präkursor zur Abscheidung von Platinverbindungen umfassend untersucht [3 4]. Die Möglichkeit der Herstellung einer leitfähigen Struktur in den Abmessungen von einigen Nanometern, die genau auf einem Substrat positioniert werden kann, macht es zu einem interessanten Kandidaten für Feldemissionsanwendungen (FE).

Zur Verstärkung der Feldüberhöhung einer geätzten leitfähigen Struktur, wurden solche Nanoemitter durch FEBID auf Si-Säulen abgeschieden. Dies ermöglichte uns zudem einen Vergleich mit Proben ähnlicher Geometrie [5]. Als Substrat wurde ein  $100\text{mm}$  n-Typ (As dotiert) Si-Wafer mit (100) Ausrichtung und einem spezifischen Widerstand von  $< 0,005\Omega\text{cm}$  verwendet. Die Position der Säulen mit einem Durchmesser von  $3\mu\text{m}$  und einer rechteckigen Anordnung mit einem Abstand von  $50\mu\text{m}$  zueinander werden durch Photolithographie im Lack (AZ9260) definiert. Anisotropes reaktives Ionenätzen (RIE) mit  $\text{CHF}_3$  und  $\text{O}_2$  in einer Oxford Plasmalab 80Plus Trockenätzenanlage überträgt diese Anordnung auf die  $\text{SiO}_2$ -Schicht. Eine Kombination von RIE und induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) mit wechselnden Ätz- ( $\text{SF}_6$ ) und Passivierungsschritten ( $\text{CHF}_3$ ) ermöglicht die Realisierung von Säulen (Abb. 2a). Über Gasflüsse, Kammerdruck, Hochfrequenz- (RF) und ICP-Leistung können Anisotropie, Rauheit und der Flankenwinkel eingestellt werden. Das restliche Oxid wird durch eine nasschemische Ätzung mit gepufferter HF (BOE) entfernt. Danach werden die Nanoemitter mit FEBID exakt auf der Mitte von vier Säulen einer Anordnung mit sechzehn Säulen (Abb. 2d) in einem modifizierten Rasterelektronenmikroskop (JEOL 840F) mit einer Depositionsrate von

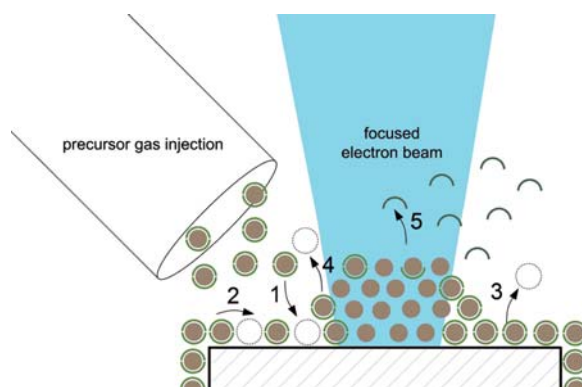


Abbildung 1: Schematische Darstellung der FEBID. Der metallorganische Präkursor (Kreis: Pt, Kreisbogen: organische Liganden) wird von einem Gasinjektionssystem zur Verfügung gestellt und adsorbiert (1) auf der Oberfläche. Ferner finden Oberflächendiffusion (2), thermisch induzierte (3) und elektronenstimulierte Desorption (4) statt. Im Fokus des Elektronenstrahls liegen Präkursormoleküle (teilweise) dissoziiert mit adsorbierten organischen Liganden vor (5).

$1\mu\text{m}/\text{min}$  bei einem Abscheidestrom von etwa  $20\text{pA}$  abgeschieden.

Zur Untersuchung der FE-Eigenschaften wurden integrale Messungen in Diodenkonfiguration in einer Vakuumkammer ( $< 10^{-9}$  mbar) durchgeführt [6]. Das feinmaschige metallisierte Nitridgitter und die Nanostrukturen wurden durch einen  $50\mu\text{m}$  dünnen Glimmer mit einer zentrischen Öffnung getrennt. Die Gitteröffnung und -konstante betrug  $5\mu\text{m}$  und die Si-Trägerstruktur hatte eine Gitterkonstante von  $300\mu\text{m}$ .

Die Messungen wurden an zwei verschiedenen Proben durchgeführt. Auf der Probe A (Abb. 2c) wurden die Emittoren direkt auf die Si-Oberfläche und bei Probe B (Abb. 2d) auf Säulen, mit einer Höhe von  $10\mu\text{m}$  und einem Durchmesser von  $2\mu\text{m}$ , platziert. Der Graph (Abb. 3 oben) zeigt das Verhalten dieser beiden Proben mit Nanoemittern im Vergleich zu einer zuvor untersuchten „black Si“ (bSi)-Probe, bei der sich auf der Säule eine Vielzahl geätzter Si-Nanoemitter befinden (Abb. 2b) [5]. Für einen FE-Strom von  $1\text{nA}$  wurde ein Einsatzfeldstärke  $E_{on}$  von etwa  $18\text{MV}/\text{m}$  (A) bzw.  $6,0\text{MV}/\text{m}$  (B) beobachtet. Ein Feldüberhöhungsfaktor  $\beta$  von 300 (A) bzw. 900 (B) wurde aus dem FN-Plot bestimmt, wobei eine Austrittsarbeit von  $5,7\text{eV}$  angenommen wurde. Im Vergleich wurden bei bSi ein  $E_{on}$  von  $6,5\text{MV}/\text{m}$  und ein  $\beta$  von 800 erreicht ( $4,8\text{eV}$ )

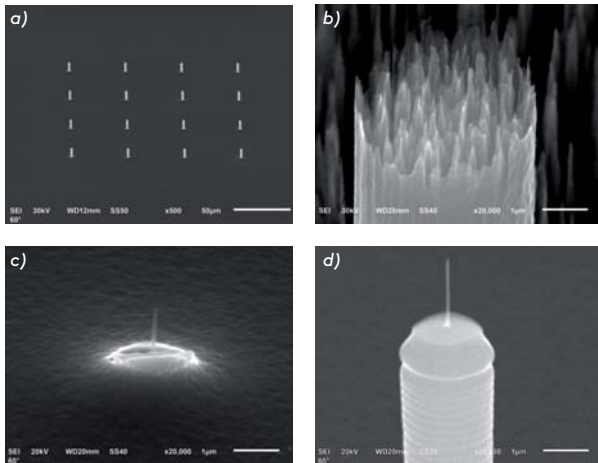


Abbildung 2: REM-Aufnahmen (60°) einer typischen Säulenordnung vor der FEBID (a), der zuvor untersuchten bSi-Probe aus [5] (b). REM-Aufnahmen von Probe A (c) und Probe B (d) nach der Deposition der Nanoemitter aus dem Präkursor (MeCpPtMe<sub>3</sub>).

[5]. Die Stabilität des Emissionsstroms wurde für beide Proben (A, B) für einen Zeitraum von zehn Minuten gemessen (Abb. 3 unten). Die Stromschwankungen wurden dabei für das 90%-Band errechnet (obere und untere 5% werden vernachlässigt). Für A und B wurden Stromschwankungen  $I_{Fluc}$  von  $\pm 11\%$  berechnet. Es wurde ein FE-Strom  $I_{mean}$  von  $1,6\mu A$  (30MV/m) für A und  $2,0\mu A$  (12MV/m) für B gemessen. Das bSi zeigt im Sättigungsregime ein höheres  $I_{mean}$  von  $8,0\mu A$  (20MV/m) und ein  $I_{Fluc}$  von  $\pm 8\%$  [5].

Der Emissionsstrom  $I_c$  kann in der Form [7] beschrieben werden:

$$I_c = a_{fn} \cdot V_c^2 \exp\left(-\frac{b_{fn}}{V_c}\right) \quad a_{fn} = A \cdot \frac{S}{\Phi} \cdot \exp\left(\frac{B \cdot 1.44 \cdot 10^{-7}}{\Phi^{0.5}}\right) \cdot \gamma^2 \quad \text{with } A = 1.54 \cdot 10^{-6}$$

$$b_{fn} = \frac{B \cdot \Phi^{1.5}}{\gamma} \quad \text{with } B = \sqrt{46.65 \cdot 10^{14}}$$

wobei die angelegte Spannung  $V_c$ , die Austrittsarbeit  $\Phi$ , die Parameter A und B angegeben sind.

Der Emissionsfläche  $S$ , die Spannungsumrechnungsfaktor  $\gamma$ , die Konstanten  $a_{fn}$  und  $b_{fn}$  können aus der Regressionslinie im FN-Plot berechnet werden. Die Ergebnisse der beiden Proben und zum Vergleich die bSi-Probe sind in Tab. 1 zusammengefasst. Die Säule unter den Nanoemittern (B) führt zu einem dreimal höheren  $\beta$ , aufgrund des höheren Aspektverhältnisses. Das  $E_{on}$  und  $\beta$  für bSi und B ist fast identisch. Das  $S$  der vier Nano-

**Projektleiter**

Prof. Dr. Rupert Schreiner  
rupert.schreiner@oth-regensburg.de

**Projektmitarbeiter**

Christoph Langer, Robert Ławrowski

**Kooperationspartner**

NanoElektroTechnik GmbH, Freising

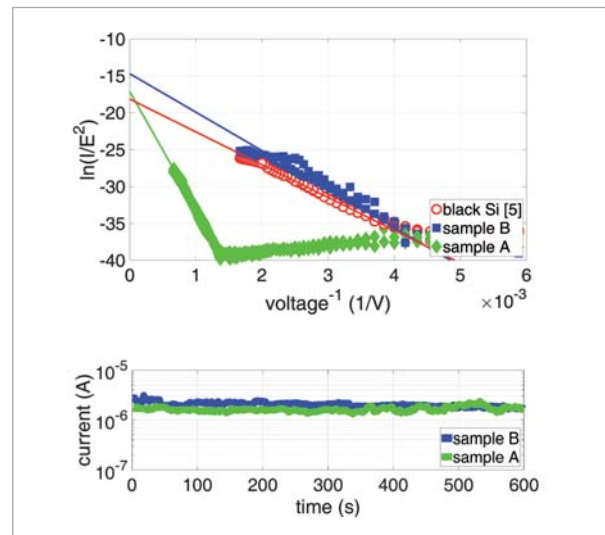


Abbildung 3: FN-Diagramm (oben) der integralen FE-Messungen (Kathodenabstand: 50µm) der Probe A (grün) und der Probe B (blau) im Vergleich zur bSi-Probe (rot). Einschub: Entsprechende semilogarithmischer I-U-Plot. Gemessene Fluktuationen des integralen Emissionsstromes (unten) der Probe A (grün) und Probe B (blau) im Zeitraum von zehn Minuten.

mitter von A und B befindet sich im gleichen Bereich, aber eine Größenordnung größer im Vergleich zu bSi (1nm<sup>2</sup>). Folglich bietet das bSi schärfere Strukturen, die den gesamten Strom im Vergleich zu A und B tragen. Die Nanoemitter weisen jedoch ein vergleichbares FE-Verhalten auf und können darüber hinaus gezielt auf einem Substrat positioniert werden.

Robert Ławrowski, OTH Regensburg ■

Christoph Langer, OTH Regensburg ■

Rupert Schreiner, OTH Regensburg ■

Josef Sellmair, NanoElektroTechnik GmbH ■

LITERATUR

[1] M. Huth et al., "Focused electron beam induced deposition: A perspective," Beilstein J. Nanotechnol., vol. 3, pp. 597–619, Aug. 2012.

[2] H. W. P. Koops and I. W. Rangelow, "Contact and line resistivity in nanogranular compound materials fabricated with focused electron beam induced processing," in 2017 30th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC), 2017, pp. 100–101.

[3] S. Engmann, M. Stano, Š. Matejčík, and O. Ingólfsson, "Gas phase low energy electron induced decomposition of the focused electron beam induced deposition (FEBID) precursor trimethyl (methylcyclopentadienyl) platinum(IV) (MeCpPtMe<sub>3</sub>)," Phys. Chem. Chem. Phys., vol. 14, no. 42, pp. 14611–14618, 2012.

[4] S. Mehendale, J. J. L. Mulders, and P. H. F. Trompenaars, "A new sequential EBID process for the creation of pure Pt structures from MeCpPtMe<sub>3</sub>," Nanotechnology, vol. 24, no. 14, p. 145303, 2013.

[5] C. Langer et al., "Field emission properties of p-type black silicon on pillar structures," J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 34, no. 2, p. 02G107, Mar. 2016.

[6] R. Schreiner et al., "Semiconductor field emission electron sources using a modular system concept for application in sensors and x-raysources," in Proc. of the 28th IVNC, 2015, pp. 178–179.

[7] I. Brodie and P. R. Schwoebel, "Vacuum microelectronic devices [and prolog]," in Proc. IEEE, vol. 82, no. 7, pp. 1006–1034, Jul. 1994.

#### **Herausgeber**

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg  
Prof. Dr. Wolfgang Baier, Präsident  
Prüfeninger Straße 58 | 93049 Regensburg  
Tel. 0941 943-02  
[www.oth-regensburg.de](http://www.oth-regensburg.de)

#### **Redaktionsleitung**

Marie-Luise Appelhans, M.A.

#### **Konzept und Gestaltung**

APOSTROPH Agentur für Presse- u. Öffentlichkeitsarbeit  
Hans-Peter Gruber, Ruth Ibañez  
Landshuter Straße 37 | 93053 Regensburg  
Tel. 0941 56 38 11

#### **Anzeigenverwaltung**

VMK Verlag für Marketing &  
Kommunikation GmbH & Co. KG  
Norbert Bruder  
Faberstraße 17 | 67590 Monsheim  
Tel. 06243 909-0  
[www.vmk-druckerei.de](http://www.vmk-druckerei.de)

#### **Druck**

VMK Druckerei GmbH  
Faberstraße 17 | 67590 Monsheim  
Tel. 06243 909-110  
[www.vmk-druckerei.de](http://www.vmk-druckerei.de)

#### **Titelbild**

SILVERLIT Toys Manufactory Ltd. Hong Kong

#### **Text | Bildnachweis**

S. 8-9: [www.canva.com](http://www.canva.com)  
Bild „Wissenschaftliches Schreiben“,  
S. 11: [www.canva.com](http://www.canva.com)  
Bilder „Thema Künstliche Intelligenz“,  
S. 12-13: [www.canva.com](http://www.canva.com)  
S. 15: OTH Regensburg/Florian Hammerich  
S. 17: Bild „Was du willst, wird ausgeführt –  
Smartphone steuert Roboterschwarm“,  
SILVERLIT Toy Manufactory Ltd. Hong Kong  
Die Verantwortung für Inhalt und Bildmaterial  
der Beiträge liegt bei den jeweiligen Autorinnen  
und Autoren.

**Stand:** Juni 2019

**Auflage:** 3.000 Exemplare

**ISBN-Nr.:** 978-3-9818209-6-6 Print-Ausgabe

**ISBN-Nr.:** 978-3-9818209-7-3 Online/PDF-Ausgabe

#### **Danksagung**

Die OTH Regensburg dankt allen Autorinnen und Autoren  
für die zahlreichen Beiträge und die wertschätzende  
Zusammenarbeit.





LET  
YOUR  
IDEAS  
SHAPE  
THE  
FUTURE

## YOUR CAREER PATH TOWARDS A BETTER TOMORROW.

*We create solutions and innovations that define the mobility of tomorrow.  
A tomorrow that knows no fatal accidents; where travelling has become emission-free,  
traffic flows inter-connected and our cars drive completely autonomous.  
A better tomorrow that is affordable so every one of us can take part in it.  
Do you want to shape this future? Then we are looking for you.*

**Find out more: [continental-careers.com](https://www.continental-careers.com)**