

# Jahresbericht 2023

Forschung. Innovation.  
Zukunft.



Jahresbericht 2023

Forschung.  
Innovation. Zukunft.

---

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

Ze/MA

Liebe Leserinnen und Leser,

Sie finden im folgenden Jahresbericht einen Überblick über die vielfältigen Aktivitäten am ZeMA im Jahr 2023.

Als Standort für innovative Produktionstechnologien entwickeln und erforschen wir Systeme, Verfahren und Methoden, mit denen Produkte und Produktion von Morgen effektiv, effizient und nachhaltig zum Nutzen von Menschen und im Einklang mit der Umwelt gestaltet werden können. Dabei erstrecken sich die Tätigkeiten unserer sechs Forschungsbereiche auf den kompletten Innovationszyklus von Grundlagenforschung bis hin zur Markteinführung.

Viele Einflüsse durch globale Krisen und wirtschaftliche Unsicherheiten haben sich auch auf das ZeMA ausgewirkt. Dennoch konnten wir viele zukunftsweisende Projekte erfolgreich starten und bearbeiten. Für uns als Geschäftsführung ist der Strategieprozess, den wir im Jahr 2023 angestoßen haben, ein wichtiges Tätigkeitsfeld, um das ZeMA auf die Zukunft vorzubereiten und wichtige Beiträge zu den anstehenden Transformationsprozessen zu liefern.

Dass uns das heute schon gelingt, zeigt sich auch im Wachstum des ZeMA. Wir freuen uns darüber, dass wir viele neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Jahr 2023 begrüßen durften. Wir danken den Beschäftigten des ZeMA, unseren Partnern, Kunden und Gesellschaftern für die sehr gute Zusammenarbeit. Wir wünschen allen Interessierten viel Spaß beim Lesen des vorliegenden Jahresberichts und freuen uns über Kontakte und Rückmeldungen.



**Prof. Dr.-Ing.  
Dirk Bähre**  
wissenschaftlicher  
Geschäftsführer



**Prof. Dr. Susan  
Pulham**  
wissenschaftliche  
Geschäftsführerin



**Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Andreas Noss**  
kaufmännischer  
Geschäftsführer

## Inhalt

<b>Biomechatronische Systeme</b>	5
Digitaler OP – Digital Scrubs	9
<b>Data Engineering &amp; Smarte Sensorik</b>	11
Renold Wear App	15
<b>Fertigungssysteme</b>	17
DEPART!Saar – Entwicklung einer Organisationsstruktur (PO)	21
<b>Industrial Security</b>	23
GrundschutzPLUS Aktivator	26
<b>Montagesysteme</b>	29
VProSAAR – Verteilte Produktion für die saarländische Automotivindustrie: Nachhaltig, Vernetzt, Resilient	35
<b>Smarte Materialsysteme</b>	38
iSMAT - innovative Produktion von und mit smarten Materialsystemen	44
<b>Daten zum Jahr</b>	48
Erstzertifizierung DIN EN ISO 9001:2015	49
<b>Kontakt</b>	52
<b>Veröffentlichungen</b>	55

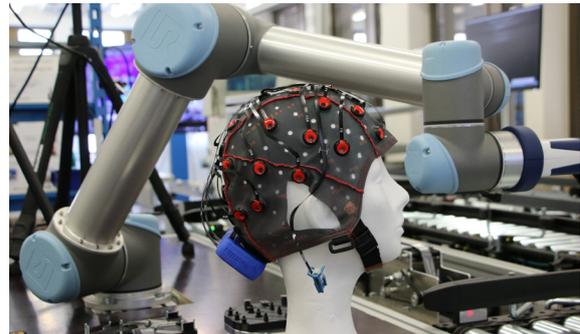
# Biomechatronische Systeme

---

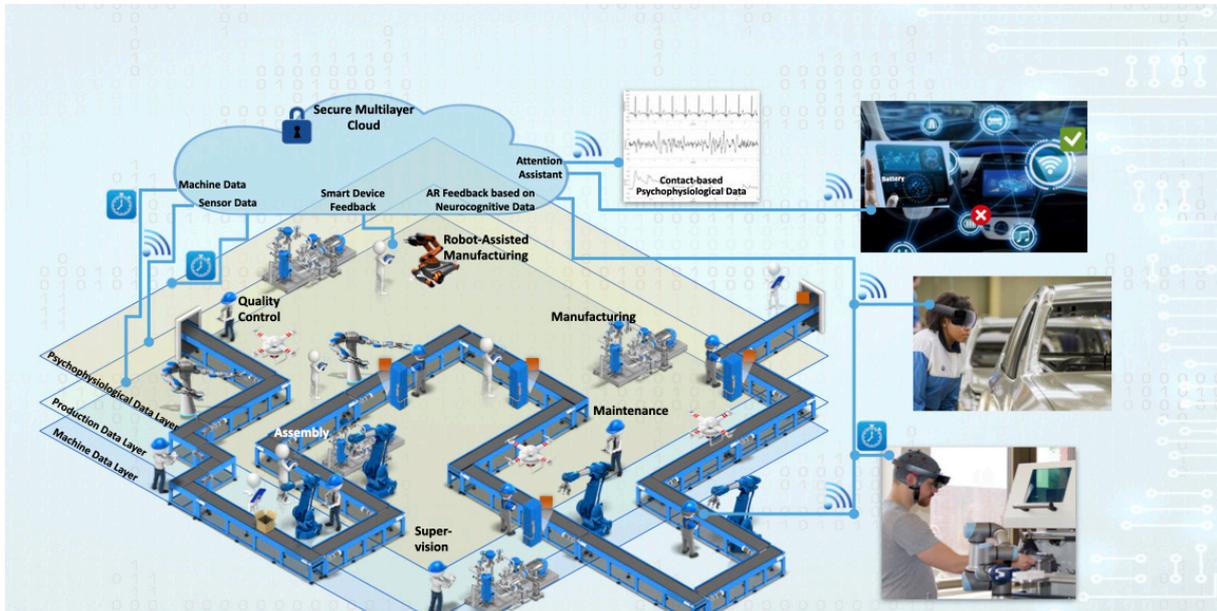
## Forschungsbereich Biomechatronische Systeme



Einen interdisziplinären Schwerpunkt am ZeMA bildet der Bereich „Biomechatronische Systeme“, der die Schnittstellen zwischen Biomedizin, Informatik, Mechatronischen Systemen, Intelligenten Materialien und Bereichen wie der Mensch-Maschine/Roboter-Interaktion und sensorischer Immersion abbildet.



## Zentrum für digitale Neurotechnologien



Das Zentrum für digitale Neurotechnologien – CDNS Center for Digital Neurotechnologies Saar – bündelt die Neurotechnologie-Kompetenzen im Saarland und stellt damit eine Querschnitt-Technologie für Biomedizin, Mensch-Maschine-Interaktion und sensorische Immersion dar.

Schwerpunkte sind die Neuroergonomische digitale Fabrik, Digitalisierung im OP-Saal und Immersive Mixed Reality. Das CDNS wurde als interinstitutionelles Zentrum der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar), der Universität des Saarlandes (UdS) und des Zentrums für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) gegründet. Inzwischen bietet es ein übergreifendes und kollaboratives Umfeld für Wissenschaftler:innen und Technologen aus verschiedenen Disziplinen aus der ganzen Welt.

Zusammen mit seinen Firmenmitgliedern steht das Zentrum für die Verknüpfung

und Umsetzung neurotechnologischer Forschung in Industrie und Gesellschaft. Das ZeMA und seine Kooperationspartner verfolgen im CDNS dabei das Ziel, Systeme zur neuroergonomischen, also „hirngerechten“ Interaktion zwischen Mensch und Maschine bzw. Mensch und empathischem Roboter im Industrie-4.0-Umfeld zu entwickeln. Dabei nimmt die Kopplung zwischen Neuro- und Physio-Ergonomie gerade in der hochdigitalisierten Produktion eine hohe Stellung ein. Die Gewinnung von Daten aus Maschinen und Prozessen zusammen mit den psychophysiologischen Daten des Menschen ermöglicht die Optimierung von Arbeitsplatzkonzepten nicht nur in der Produktion, sondern auch im klinischen Arbeitsumfeld.

Kooperationspartner des ZeMA kommen aus der medizinischen Fakultät der UdS (Chirurgie, Neonatologie, Orthopädie, Kinder- und Jugendpsychiatrie), aus der Informatik der UdS (Human-Computer

Interaction and Interactive Technologies Lab), der htw saar und medizinischen Fakultät der UdS (SNNU – Systems Neuroscience & Neurotechnology Unit).

Assoziierte internationale Forschungspartner kommen aus der University of California San Diego (Department of Neurosciences), der University of

Missouri (Cognitive and Clinical Neuroscience Laboratory), der Purdue University (Speech Perception & Cognitive Effort Lab), der University of Miami (Department of Biomedical Engineering), der University of Hawaii (Brain and Behavior Lab).



## Digitaler OP – Digital Scrubs

Interpersonelles und multimodales Aufmerksamkeitsassistenzsystem zur kontextsensitiven, neuroergonomischen Mensch-Maschine-Interaktion in vernetzten Operationssälen.

Vernetzte OP-Säle, in denen Künstliche Intelligenz zum Einsatz kommt, werden in Zukunft immer mehr Informationen zur Verfügung stellen können.

Damit OP-Teams diese Flut von Informationen aber gewinnbringend nutzen können, müssen sie stets auf eine begrenzte Ressource zurückgreifen, das ist ihre Aufmerksamkeit.

Das Konsortium des Projekts DIGITAL SCRUBS erforscht, entwickelt und evaluiert daher erstmals ein Aufmerksamkeitsassistenzsystem zur neuroergonomischen Mensch-Technik-Interaktion in vernetzten OP-Sälen.

Eine KI-gestützte Aufmerksamkeitsas-

sistenz mit generischer Schnittstelle zur OP-Technik soll die kognitive Last sowie Ermüdung von OP-Teams reduzieren. So soll sie die Qualität medizinischer Eingriffe nachweisbar verbessern.

Die interpersonelle KI-Assistenz stellt Informationen insbesondere durch ein Augmented Reality (AR)-System für die Sinne Sehen, Hören und Fühlen dar. Diese Informationen sind angepasst an die auszuführende Tätigkeit und Aufnahmefähigkeit des OP-Teams. Hierbei kommunizieren die Forschenden transparent mit der Zielgruppe des Systems und binden sie frühzeitig in die Entwicklung mit ein.

Die Aufgaben des ZeMA konzentrieren sich dabei auf die Erstellung einer Mikroservice-basierten Repräsentation des Digitalen OP-Saals. Dazu wird ein modularer Aufbau des Systems für einen flexiblen, an unterschiedliche OP-Szena-

rien anpassbaren Einsatz entwickelt. Zum Einsatz kommen Microservice-Architekturen und mehrschichtige Kommunikations-Technologien zur Vernetzung von Geräten und Assistenzsystemen. Dabei spielt der Bereich Mensch-Maschine-/Mensch-Roboter-Interaktion im OP eine

wichtige Rolle, sowie die Integration von IoT-Geräten und Sensorik im Demonstratoraufbau zum sicheren und echtzeitfähigen Umgang mit heterogenen Daten im dezentralisierten vernetzten OP.



## Kontakt:

Prof. Dr. Martina Lehser, Dr. Eric Wagner  
+49 (0) 681 85787 – 102  
[martina.lehser@zema.de](mailto:martina.lehser@zema.de)

# Data Engineering & Smarte Sensorik

---

## Forschungsbereich Data Engineering & Smarte Sensorik



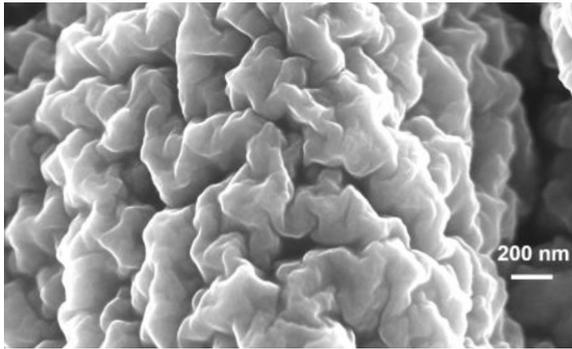
### Sensorik und Dünnschichttechnologie

Die Gruppe befasst sich mit neuartigen nanoskaligen Funktionsdünnschichten für verschiedene Anwendungen. Sie erforscht die physikalischen Eigenschaften der Dünnschichten sowie deren Anwendbarkeit sowohl im Bereich der Sensorik als auch im Bereich der dielektrischen Elastomere.



### Data Engineering and Smart Sensors

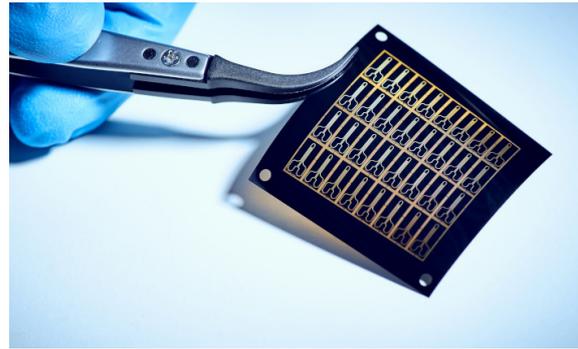
Der Forschungsbereich beschäftigt sich mit der Analyse von Sensor- und Maschinensignalen mittels maschinellen Lernens (ML). Dabei decken wir von Datenplanung über -training bis hin zur Integration alles ab und sind der ideale Partner für industrielles ML.



## Dünnschichtelektroden für dielektrische Elastomeranwendungen

Dielektrische Elastomere (DE) bestehen aus einer dielektrischen Membran, welche auf der Ober- und der Unterseite mit einer leitfähigen Elektrode beschichtet ist. DEs können sowohl als Aktor als auch als Sensor eingesetzt werden.

DEs und folglich auch deren Elektroden müssen große Verformungen von bis zu 100% aushalten. Wir entwickeln zu diesem Zweck in unserer Gruppe metallische hochdehnbare Dünnschichtelektroden für DE-Anwendungen. Auf eine vorgespannte dielektrische Membran wird mittels Sputtern eine etwa 10 nm dünne Metallschicht aufgebracht. Nach der Beschichtung wird die Membran wieder entspannt. Sie zieht sich auf ihre ursprünglichen Maße zurück. Dadurch wird die Metallelektrode gestaucht und folglich aufgefaltet. Es entsteht eine gewellte Oberfläche (engl. Wrinkle) welche später in der Anwendung als mechanischer Puffer dient. Wenn der DE aktuiert wird, bleiben die metallischen Elektroden auch bei großer Dehnung leitfähig, da sie nur entfaltet werden. Eine gewünschte Elektrodengeometrie wird mithilfe eines Ultra-Kurz-Puls Lasers im Anschluss an die Beschichtung und die Entspannung der Membran herausgearbeitet.



## Dünnschichtentwicklung für zukünftige Sensorgenerationen:

Lassen sich bewährte Technologien für Druck- und Kraftsensoren noch verbessern oder lässt sich der Aufbau solcher Sensoren vereinfachen? Sind solche Systeme wasserstoffresistent? Können völlig neue Anwendungen ermöglicht werden? Wir arbeiten stetig daran! Hochempfindliche Funktionsschichten für Sensoren, höhere Anwendungstemperaturen oder neue Fertigungsverfahren werden erforscht und entwickelt. Im Fokus steht die anwendungsorientierte Sensorik für die mechanischen Größen Druck, Dehnung, Kraft, Gewicht und Drehmoment. Originäre Ideen, eigenständige und praxisnahe Forschung und Technologietransfer für Produkt- und Systeminnovationen bilden unsere Motivation. Als Forschungsgruppe arbeiten wir sowohl an grundlegenden Fragestellungen als auch in Projekten mit regionalen und internationalen Unternehmen.

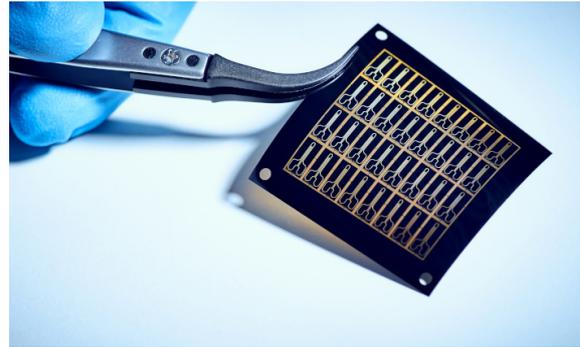


## Datenplanung und Sensornaher Integration von ML Methoden

Insgesamt bietet die Gruppe eine vollumfängliche Beratung zum Einsatz von maschinellem Lernen im industriellen Umfeld. Wir können zur richtigen Sensorik bei der Versuchsplanung und der Aufzeichnung von Trainingsdaten beraten.

Wir können automatisiert eine ganze Reihe von Algorithmen auf den aufgezeichneten Daten testen. Diese Algorithmen beinhalten sowohl Klassifikation und Regression als auch Anomalie-Detektion. Die dabei entstehenden Lernmodelle lassen sich physikalisch interpretieren und auf die gelernten Verschleißsymptome zurückführen.

Des Weiteren werden an Methoden gearbeitet, um die entwickelten ML-Algorithmen auf Ressourcen limitierter Hardware/ Smarten Sensoren effizient zu implementieren. Dies erfordert eine effiziente und ressourcenschonende Implementierung der Algorithmen bezüglich Energie, Laufzeit und Speicherbedarf, was den Kreis von Data Engineering hin zur Smarten Sensorik schließt.



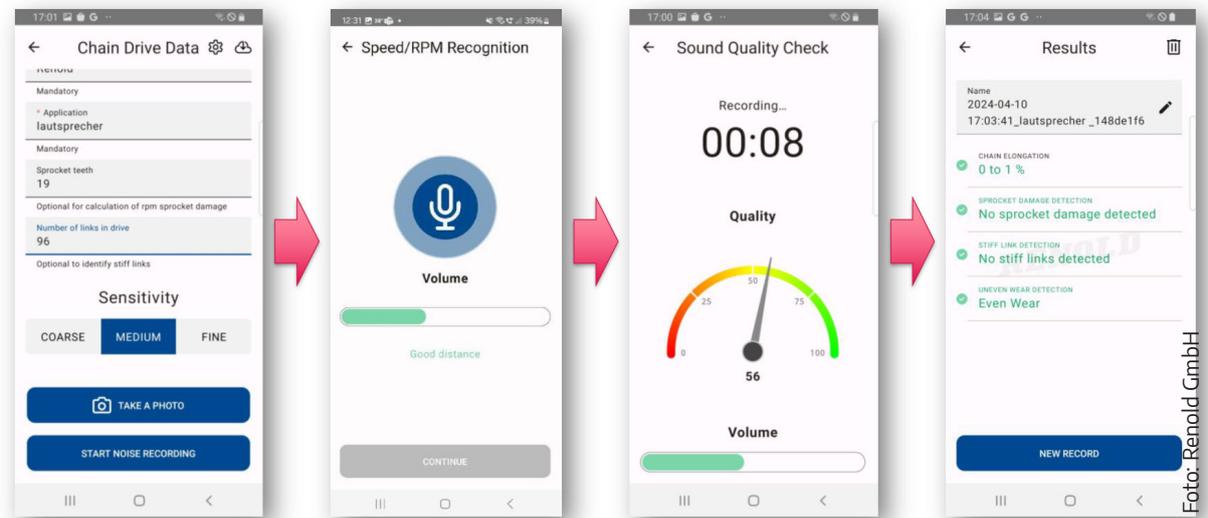
## Robustes und interpretierbares ML im industriellen Umfeld

Der Bereich Data Engineering and Smart Sensors beschäftigt sich mit dem Einsatz maschineller Lernmethoden (ML) zur vorausschauenden Wartung von Anlagen und Maschinen.

In realen Anwendungen lernen die ML-Methoden allerdings nicht nur die zu erkennenden Verschleißsymptome, sondern auch den typischen Betriebsmodus der jeweiligen Maschine. Wird der Betriebsmodus aber verändert, führt das zur Unzuverlässigkeit der Verschleißerkennung. Genau hier setzen wir an und forschen an Robustheit und Übertragbarkeit von ML.

Ein weiterer Nachteil von ML ist die fehlende Interpretierbarkeit von Vorhersagen. Das Problem besteht darin, dass die meisten Vorhersagen von ML-Algorithmen sehr genau sind, diese sind allerdings für Menschen oft nicht nachvollziehbar.

Um dieses Problem zu lösen, nutzen wir eine Kombination aus klassischem ML ohne neuronale Netze. Dieser Ansatz ermöglicht es uns, sowohl die wichtigsten Verschleißsymptome einer Maschine aufzuzeigen als auch jede individuelle Vorhersage der verbliebenen Lebensdauer auf verständliche Effekte in der Maschine zurückzuführen.



## Renold Wear App

### Problemstellung:

Antriebsketten sind wichtiger Bestandteil vieler Produktionsanlagen. Verschlissene Ketten können dabei zu Problemen bis hin zum Ausfall der Anlagen führen. Die Messung des Verschleißes erfordert es bisher die Anlage anzuhalten und mit einem Spezialwerkzeug (Kettenlehre) den Verschleiß manuell zu messen.

### Zielsetzung:

Ziel des Industrieprojekts ist es, den Verschleiß der Ketten im vollen Betrieb zu messen. Dabei sollen keine Spezialwerkzeuge sondern lediglich ein Smartphone zum Einsatz kommen. Eine entsprechende App soll mittels maschinellen Lernens befähigt werden, anhand des Laufgeräuschs der Kette den Verschleiß zu bestimmen. Das ZeMA entwickelt dazu den benötigten Algorithmus. Dieser bestimmt aus dem per Handy-Mikrofon aufgenommenen Kettengeräuschs den Verschleiß und stellt diese

der App per Software-Schnittstelle zur Verfügung.

### Vorgehen:

Eine Datenbank von Geräuschen von Antriebsketten wird mittels maschinellen Lernens analysiert. Daraus werden typische Verschleißmerkmale in den Geräuschen identifiziert, aus denen ein Algorithmus auf den Verschleiß schließen kann. Ein Teil der Daten dient im Anschluss zur Validierung.

### Ergebnisse / Projektstand:

Der Algorithmus wurde entwickelt und ausführlich getestet. Er wird Anfang 2024 so implementiert, dass er auf einem Smartphone eingesetzt werden kann. Dann wird er der Firma, die die eigentliche App programmiert übergeben, damit er dort eingearbeitet werden kann. Die Datenauswertung wurde zum Patent angemeldet.

**Laufzeit:**

01.01.2023 – 31.03.2024

**Kontakt:**

Prof. Dr. Andreas Schütze  
+49 (0) 681 302 – 4663  
[schuetze@zema.de](mailto:schuetze@zema.de)

# Fertigungssysteme

---

## Forschungsbereich Fertigungssysteme



Der gezielte Einsatz von Fertigungsverfahren ist wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Umsetzung technischer Innovationen. Die Erforschung und Weiterentwicklung von Fertigungsverfahren mit Fokus auf präzisen Geometrien, funktionalen Oberflächen und spezifischen Werkstoffeigenschaften ist zentraler Bestandteil zukunftsorientierter Entwicklungen in allen Technikbereichen.

Der Forschungsbereich Fertigungstechnologie arbeitet an der Entwicklung von Feinbearbeitungsverfahren und Verfahren der additiven Fertigung, sowie an Methoden und Anwendungen der Prozessplanung und Prozessgestaltung.

Er beschäftigt sich speziell mit:

- Experimenteller Analyse von Werkzeugen, Werkstücken, Prozessmedien und Materialien
- In-Prozess-Messungen an Maschinen und Anlagen
- Erstellung und Anwendung von Prozessmodellen für Fertigungsverfahren
- Berechnungen zur Auslegung von Fertigungsprozessen und Systemelementen
- Entwicklung und Anwendung von Methoden der Technologieplanung

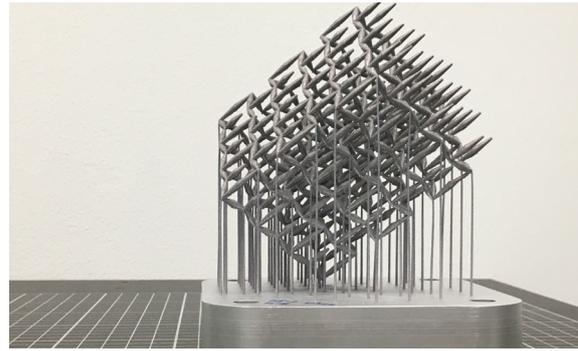


## Abtragende Präzisionsbearbeitungsverfahren

Gepulstes elektrochemisches Abtragen: Im Bereich Fertigungsverfahren und -automatisierung liegt ein besonderer Schwerpunkt der Forschungs- und Industrietätigkeiten auf den abtragenden Fertigungsverfahren. Speziell ist hier ein relativ neues und innovatives Fertigungsverfahren für metallische Bauteile, das gepulste Elektrochemische Abtragen (englisch: Pulse Electrochemical Machining – PECM), hervorzuheben, welches u.a. bereits in der Automobil- und Flugzeugindustrie sowie auch in der Medizintechnik Einzug gehalten hat und intensiv am ZeMA weiterentwickelt wird.

Das PECM-Verfahren ermöglicht eine berührungslose Oberflächenbearbeitung und die Einbringung von Raumformen als auch Mikrostrukturen in Werkstücken, wobei die Bearbeitung aller Metalle unabhängig von ihrem Gefügezustand ohne Bearbeitungsspannungen sowie ohne einen verfahrensbedingten Werkstoffverschleiß möglich ist.

Die PECM-Technik findet daher immer mehr Anwendungen bei der Metallbearbeitung, z. B. bei der Herstellung komplizierter Raumformen oder bei der Bearbeitung schwer zerspanbarer Werkstücke oder bei Werkstücken, die bei der Bearbeitung keiner thermischen Belastung ausgesetzt bzw. nur gering mechanisch beansprucht werden dürfen.



## Additive Fertigung

Bei additiven Fertigungsverfahren werden Bauteile schichtweise aus formlosem Material (z.B. Pulver, Draht) aufgebaut. So wird bspw. beim selektiven Laserschmelzen (Laser Powder Bed Fusion (L-PBF)) metallisches Pulver schichtweise auf eine Bauplattform aufgebracht und mit einem Laser lokal aufgeschmolzen. Durch das Aufschmelzen werden benachbarte Pulverpartikel miteinander verbunden. Außerdem findet eine Anbindung an die darunter liegende Schicht statt. Diese Schritte werden so lange wiederholt, bis ein komplettes dreidimensionales Bauteil entstanden ist. Die Gruppe additive Fertigung legt ihren Schwerpunkt auf den Fertigungsprozess und nachgelagerte Prozessschritte des Selective Laser Melting von Metallen. Mithilfe der Gestaltungsfreiheit (z.B. Gitterstrukturen oder integrierte Kühlkanäle), die diese Fertigungsklasse bietet, können vielfältige Produkte mit zum Teil einzigartigen oder gar maßgeschneiderten Eigenschaften entwickelt werden. Mit anderen Lehrstühlen und Instituten an der Universität des Saarlandes besteht in dem Gebiet außerdem eine intensive Zusammenarbeit.



## Fertigungsprozessentwicklung

Der direkte Zugriff auf drei etablierte abtragende Fertigungsverfahren (gepulstes elektrochemisches Abtragen, photonische Technologien, funkenerosives Abtragen) ermöglicht uns, ein umfangreiches Portfolio im Rahmen der Fertigungsprozessentwicklung darzustellen.

Die Verfügbarkeit und der direkte Zugriff auf die Anlagentechnik der drei etabliertesten, abtragenden Fertigungsverfahren (Gepulstes Elektrochemisches Abtragen, Photonische Technologien (Remote-Laserschweißen), Funkenerosives Abtragen) ermöglicht uns, in Kooperation mit unseren Projektpartnern und Lehrstühlen, sowohl an der Universität des Saarlandes als auch der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, ein umfangreiches Portfolio im Rahmen der Fertigungsprozessentwicklung darzustellen.



## DEPART!Saar – Entwicklung einer Organisationsstruktur (PO)

Ziel der DEPART!Saar Initiative ist der Transfer von wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen des UdS-Forschungsschwerpunktes der Elastokalorik in die regionale Industrie, um den notwendigen Strukturwandel in der Region anzuregen. Das zeitlich vorgezogene Anschubprojekt „Entwicklung einer Organisationsstruktur“ wurde gestartet, um eine voll leistungs- und handlungsfähige Organisationsstruktur aufzubauen zur Koordination der Aktivitäten der acht kommenden Projekte im Werkstattbereich des Gesamtvorhabens.

Zum Jahresende 2023 konnten in den vier Projektschwerpunkten seit Projektstart bereits die folgenden Meilensteine erreicht werden:

### Aufbauorganisation

- Einrichtung des DEPART!Saar-Büros als zentrale Anlaufstelle am ZeMA
- Aufbau von Kommunikationsstruk-

turen und organisatorischer Infrastruktur

- Bündnisentwicklung
- Organisation eigener Veranstaltungen: Workshop mit Initiativpartnern und das 1. Strategietreffen DEPART!Saar
- Teilnahme an der Konferenz ELASTOCALORICS 2023
- Sichtbarkeit
- Entwicklung eines Corporate Designs
- Entwicklung und Start der Projektwebseite ([www.departsaar.de](http://www.departsaar.de))
- Erstellung eines Social-Media Konzepts
- Koordination
- Einrichtung der Projektkoordination und eines Monitoringsystems
- Entwicklung eines Indikatorensystems und Sammlung erster Daten

Kooperationspartner: UdS – Universität des Saarlandes

Projektförderung: BMBF – Bundesminis-

terium für Bildung und Forschung

**Laufzeit:**

03.2023 – 02.2024



**Kontakt:**

Alexander Frank  
+49 (0) 681 302 – 4636  
[alexander.frank@zema.de](mailto:alexander.frank@zema.de)

# Industrial Security

---

## Forschungsbereich Industrial Security



Die Digitalisierung im Bereich von Produktions- und Industrieanlagen erfordert zukünftig auf die Produktionswelt zugeschnittene Security-Lösungen zum Schutz der Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit der Anlagen.

Die Schwerpunkte in diesem Forschungsbereich liegen im Security Management und in Security Lösungen für die digitale Produktion



## Security Management

Ziel ist die Entwicklung von ganzheitlichen Konzepten zum möglichst einfachen Aufbau eines Informationssicherheitsprozesses im Unternehmen. Grundlage liefern bestehende anerkannte Standards und Normen im Kontext (Industrial) Security, wie z.B. BSI IT-Grundschutz, IEC 62443 und ISO 27001. Ein Fokus liegt auf der Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen zur Erhöhung des IT-Sicherheitsniveaus der KMU.



## Security für die digitale Produktion

Die Schwerpunkte in diesem Bereich liegen in der Entwicklung von Lösungen zum Schutz von Produktionsanlagen. Dies betrifft sowohl Bestandanlagen (Stand der Technik oder älter) als auch zukünftige Industrie 4.0 Umgebungen. Der Fokus liegt auf automatisierten Analyseverfahren zur Bewertung der Anlagen aus Security Sicht.



## GrundschutzPLUS Aktivator

### **Problemstellung/Ausgangssituation:**

Studien zeigen, dass KMU im Vergleich zu größeren Unternehmen bei der Umsetzung organisatorischer, technischer und personeller IT-Sicherheitsmaßnahmen deutlich zurückliegen. Dies kann jedoch nicht mit einer geringen Zahl an Angriffen gerechtfertigt werden, rund 70% aller KMU waren in den letzten zwei Jahren von Datendiebstahl, Industriespionage oder Sabotage betroffen. Neue Geschäftsmodelle und ein hoher Automatisierungsgrad auf Seiten der Angreifer machen auch kleine Unternehmen als Ziel interessant. Eine nicht ausreichend geschützte IT führt zu Schäden durch Datendiebstahl oder den Ausfall wichtiger IT-Systeme. Aus Sicht der KMU sind die größten Hemmnisse für mehr IT-Sicherheit fehlende Personalressourcen und Expertise sowie hoher Zeit- und Kostenaufwand. Existierende Standards, Normen und Arbeitshilfen sind oft zu komplex.

### **Zielsetzung:**

Das Projekt hat zum Ziel, das IT-Sicherheitsniveau produzierender KMU zu erhöhen und Hürden in Bezug auf die Umsetzung von IT-Sicherheitsmaßnahmen abzubauen. Dazu wird eine interaktive Plattform geschaffen, die KMU in die Lage versetzt, kompetente IT-sicherheitsrelevante Entscheidungen selbst zu treffen und das Verständnis für Sicherheitsfragestellungen stärkt. KMUserhalten speziell auf ihr Unternehmen zugeschnittene IT-Sicherheitskonzepte und Hilfestellung bei der Umsetzung.

### **Vorgehen/Umsetzung:**

Grundlage ist die Erfassung der spezifischen IT-Sicherheitsanforderungen des KMU. Hierzu wird eine interaktive, dialogbasierte und in der Sprache der KMU formulierte Erhebung der Anforderungen realisiert. Die Plattform führt durch einen dynamischen Dialog bis alle relevanten Informationen erfasst sind und überführt diese in ein vereinfachtes Modell des

Unternehmens. Auf Basis existierender Standards wird ein IT-Sicherheitsmodell entwickelt und hierzu passende Resilienz- und Schutzmaßnahmen identifiziert. Auf dieser Grundlage entwickelt die GrundschutzPLUS Plattform ein auf das Unternehmen zugeschnittenes IT-Sicherheitskonzept. Die Umsetzung wird durch Beispielrealisierungen, Schritt für Schritt Anleitungen und Templates unterstützt. Die Realisierung erfolgt durch das Fraunhofer Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS und das ZeMA. Kernaufgabe des ZeMA ist die Entwicklung des IT-Sicherheitsmodells und die Identifikation von Resilienz- und Schutzmaßnahmen. Das Fraunhofer IAIS fokussiert auf die Erhebungssystematik und die technische Implementierung der Plattform. Die Mittelstand-Digital Zentren an den Institutsstandorten sowie die Transferstelle IT-Sicherheit agieren als Vernetzer zu den KMU.

## **Ergebnis/Projektstand:**

Die entwickelte GrundschutzPLUS Plattform bietet (produzierenden) KMU die Möglichkeit, ihr IT-Sicherheitsniveau deutlich zu steigern. Der Nutzer wird durch den IT-Grundschutz, die IEC 62443-Normen und die DIN SPEC 27076 geführt, wodurch Hürden zur Umsetzung der

Schutzanforderungen abgebaut und die Unternehmen befähigt werden, selbstständig kompetente IT-sicherheitsrelevante Entscheidungen zu treffen. Anstatt externe Experten zu beauftragen, wird das Verständnis für IT-Sicherheit innerhalb des Unternehmens verbessert und die Unternehmen werden sicherer bei der Planung und Umsetzung digitalisierter Prozesse und Geschäftsmodelle. Gleichzeitig werden die Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit der (produzierenden) Unternehmen gestärkt.

Die GrundschutzPLUS Plattform bietet eine Grundlage für weitere branchenspezifische IT-Sicherheitslösungen. Damit kann das IT-Sicherheitsniveau deutscher KMU allgemein gesteigert werden.

Das Projekt wurde während seiner Laufzeit auf diversen Veranstaltungen und Konferenzen präsentiert und war zweimal in namhaften Magazinen in Form eines Artikels enthalten.

Das Projekt wurde im August 2023 erfolgreich abgeschlossen. Am 01.01.2024 startete das Folgeprojekt GrundschutzPLUS, das zum Ziel hat, die erstellte Plattform in Kooperation mit der K4 DIGITAL GmbH weiterzuentwickeln.

## **Laufzeit:**

01.05.2020 – 31.08.2023



## Kontakt:

Christian Siegart  
+49 (0) 681 85787 - 540  
[christian.siegart@zema.de](mailto:christian.siegart@zema.de)

# Montagesysteme

---

## Forschungsbereich Montagesysteme



### Montagesystemplanung und Digitalisierung

Die Gruppe „Montagesystemplanung und Digitalisierung“ beschäftigt sich mit der Planung und Umsetzung von effizienten und vernetzten Montageprozessen und -systemen im Kontext von Industrie 4.0 und dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz



### Digitale Fabrik und Automatisierungssysteme

Die Gruppe „Digitale Fabrik und Automatisierungssysteme“ entwickelt und erforscht praxisnahe Lösungen für die Inbetriebnahme und den Betrieb von wandlungsfähigen (teil-) automatisierten Montagesystemen. Der Einsatz digitaler Werkzeuge steht dabei im Fokus.



### Automobilmontage und Produktion alternativer Antriebstechnologien

Die Gruppe „Automobilmontage und Produktion alternativer Antriebstechnologien“ hat ihren Schwerpunkt in der Entwicklung neuartiger Produktionstechnologien und -prozesse für die automobilen Endmontage als auch für autonom fahrende Fahrzeuge und Wasserstofftechnologien.



### Industrierobotik und Mensch-Roboter-Kooperation

Die Gruppe „Industrierobotik und Mensch-Roboter-Kooperation“ erforscht den Einsatz von sensiblen Robotern in der Mensch-Roboter-Kollaboration und entwickelt intelligente Systemlösungen für den Einsatz von sensiblen und industriellen Robotern in der Produktion.



## **Inbetriebnahme und Funktionsabsicherung automatisierter Fahrzeuge in der Produktionslinie**

Bedingt durch die Entwicklung des Autonomen Fahrens verändert sich das Automobil vom klassischen Fahrzeug hin zum voll vernetzten cyberphysischen Multisensorsystem. Weiterhin halten neue Antriebstechnologien Einzug. Diese Entwicklungen erfordern neue Produktions- und Inbetriebnahmeprozesse zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der automatisierten Systeme. Der Themenbereich adressiert diese Herausforderung. Daher steht die Entwicklung von innovativen Prozessen und Betriebsmittel zur Inbetriebnahme und Funktionsabsicherung automatisierter und autonomer Fahrzeuge im Fokus. Auf Basis einer übergreifenden Produkt- und Prozessanalyse werden bestehende Produktionsprozesse optimiert und neue Konzepte entwickelt. Hierbei werden Methoden und Technologien entwickelt, um autonome Fahrfunktionen über den Produktlebenszyklus absichern zu können. Basierend auf einer korrekten Erfassung und Erkennung der Umgebung soll das Fahrzeug bereits in der Produktion in einen sicheren und fahrfähigen Zustand versetzt werden. Schwerpunkt ist die Eliminierung der klassischen Parallelstruktur des aktuellen End-of-Line Bereiches durch die Verlagerung einzelner Prozesse in die Fließmontagelinie.

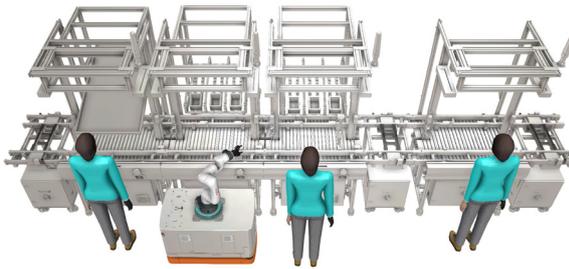


## **Produktionssysteme für Wasserstofftechnologien**

Der Themenbereich fokussiert den Aufbau von Kompetenzen zur Entwicklung von Prozessen und Technologien zur wirtschaftlichen Produktion von Wassertechnologien. Das adressierte Spektrum umfasst dabei die gesamte Wasserstoffwertschöpfungskette von der Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse, über den Transport, die Speicherung und die Wasserstoffaufbereitung bis zur Rückverstromung mittels Brennstoffzelle.

Die entwickelten Produktionssysteme sollen dabei skalierbar und wandlungsfähig sein, da sich die Wasserstofftechnologien noch im markthochlauf befinden und damit häufigen Produktänderungen und -weiterentwicklungen unterliegen. Zusätzlich wird die Realisierung von skalierbaren Ausbaustufen wie einer manuellen, teilautomatisierten und vollautomatischen Montage fokussiert. Weiterhin ist der Ausbau des aufgebauten Netzwerkes, als auch der Wissenstransfer, auch überregional, ein Ziel.

Langfristiges Ziel ist der Aufbau eines Reallabors mit realen Produktionssystemen in einer produktionsnahen Testumgebung. Auf Grundlage der Kompetenzentwicklung und des geschaffenen Wissens sollen so kritische Fragestellungen praxisnah adressiert werden.



## Ganzheitlicher Digitaler Zwilling in der Produktion

Um den aktuellen Herausforderungen von Kunden, Politik und Umwelt gerecht zu werden, müssen sich Entwicklungs- und Produktionsprozesse anpassen und stetig flexibler und wandlungsfähiger werden. Ein vielversprechender Ansatz hierzu ist die Virtualisierung der Produkte, Prozesse und Betriebsmittel in Form von digitalen Abbildern. Diese ermöglichen eine parallele simulative Analyse, und Optimierung der Produktionssysteme mit deren Prozessen. Diese Abbilder werden als Digitale Zwillinge (engl. „Digital Twin“) bezeichnet und sind virtuelle Modelle eines Produktes/einer Produktionsanlage. Digitale Zwillinge können in drei Gruppen gegliedert werden:

- Product Twin: Digitales Abbild eines physischen Produkts
- Production Twin: Digitales Abbild eines physischen Produktionssystems
- Performance Twin: Digitales Abbild zur Datennutzung für die Optimierung von Produkt und Produktionssystem.

Derzeit wird am ZeMA an einem Digitalen Zwilling geforscht, der geeignet ist die Zusammenhänge zwischen Produkt, Prozess und Betriebsmittel abzubilden. Dazu werden insbesondere Aspekte, der einfachen Modellierung und Kompatibilität mit bestehenden Ansätzen wie z.B. der Verwaltungsschalen berücksichtigt.



## Mess- und Datenplanung zur Digitalisierung von Prozessen

Eine hochwertige Datenbasis ist entscheidend und unerlässlich für die Digitalisierung sowie den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktion. Die Mess- und Datenplanung spielt daher eine zentrale Rolle. Sie bestimmt, welche Daten erfasst werden sollen und welchem Zweck sie dienen, um den Aufwand der Datenaufbereitung zu minimieren und eine optimale Datenbasis zu schaffen.

Ein in Zusammenarbeit mit der Universität des Saarlandes entwickelter Leitfaden unterstützt bei der Datenplanung und -auswertung. Dies gewährleistet eine hohe Datenqualität und ermöglicht eine transparente und digitalisierte Montage. Die kombinierten Produkt- und Prozessdaten mit Expertenwissen führen zu einem effektiven Wissensmanagement und sind die Grundlage für menschenzentrierte Assistenzsysteme, die die kognitive Belastung der Mitarbeitenden verringern.

Montageassistenzsysteme zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung nutzen Sensoren zur Prozessprüfung und integrieren KI. Dadurch wird die Qualität gesteigert und Montagefehler reduziert. Besonders in Bereichen mit hohen Flexibilitätsanforderungen sind diese Systeme von großem Nutzen.

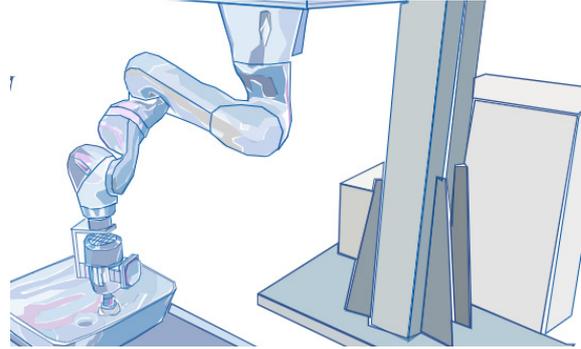


## Montagegerechte Produktgestaltung als Automatisierungsgrundlage

Die Forschungsgruppe entwickelt effiziente und vernetzte Montagesysteme, wobei das prozessorientierte Toleranzmanagement (TM) ein Schwerpunktthema dabei ist. Durch den gezielten Einsatz von Methoden werden Komplexität beherrscht und technologische Verbesserungen in der Montage erreicht. Produkt, Prozess und Betriebsmittel werden ganzheitlich analysiert, um Montageprozesse zu entwickeln oder bestehende zu optimieren.

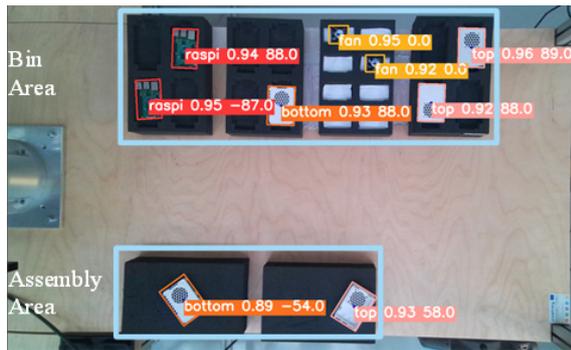
Das TM spielt eine zentrale Rolle bei der Analyse von Toleranzen und der Identifikation kritischer Fügeprozesse. Dies ermöglicht die Reduzierung von Variantenvielfalt und eine gezielte Prozessoptimierung. Die Erkenntnisse fließen in die Planung innovativer Montagesysteme ein, die von manuellen bis hin zu vollautomatisierten Prozessen reichen.

Die Methoden des TM sind praxisnah und werden in realen Anwendungsfällen getestet, um ihre Anwendbarkeit zu gewährleisten. Zudem wird TM mit dem Qualitätsmanagement (QM) verknüpft, um theoretische Ansätze und praktische Methoden zu kombinieren. Diese Ansätze können auch als Grundlage für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz genutzt werden, was eine umfassende Optimierung der Montagesysteme ermöglicht.



## Sensitive Robotik

Industrieroboter übernehmen traditionell grobe und repetitive Aufgaben, wie das Aufnehmen und Absetzen robuster Bauteile. Heute sind jedoch Roboter auf dem Markt erhältlich, die bereits mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet sind. Insbesondere integrierte Kraft-Momenten-Sensoren (F-T-Sensoren) ermöglichen es, aufgebrachte Kräfte und Momente im Prozess zu berücksichtigen und sensitive Aufgaben wie die Handhabung zerbrechlicher Bauteile zu bewältigen. Die Robotik-Gruppe befasst sich daher mit der Entwicklung und Erforschung sensibler Applikationen für das industrielle Umfeld. Beispielsweise können Roboter Bahnen auf Freiformoberflächen abfahren, ohne einen Crash zu verursachen oder das Bauteil zu beschädigen. Solche Applikationen eignen sich beispielsweise für Schleifaufgaben auf keramischen Bauteilen. Eine weitere Aufgabe sind Fügeprozesse mit sehr geringen Toleranzen, bei denen bspw. Zylinder in dafür vorgesehene Bohrungen eingeführt werden. Dabei wird der Widerstand bei Verkantung sensitiv erfasst und der Roboter regelt F-T-sensitiv gegen. Durch diese Forschungsarbeit wird der Einsatzbereich industrieller Roboter weiter erweitert.



## Kognitive Robotik

Bisher erfordert die roboterbasierte Umsetzung von Prozessen eine präzise Aufgabenbeschreibung in Form von Programmierung. Kleinste Anweisungen müssen sorgfältig durchdacht und Eventualitäten in der Planung berücksichtigt werden. Roboter können lediglich die Aufgaben ausführen, für die sie exakt programmiert wurden. Durch den Fortschritt im Bereich der Künstlichen Intelligenz können Roboter jedoch immer mehr Entscheidungen situativ treffen, ohne dass ein Eingreifen des Mitarbeiters erforderlich ist. Die Gruppe Industrierobotik und Mensch-Roboter-Kooperation befasst sich mit den kognitiven Fähigkeiten der Roboter, um deren Handlungsspielraum zu erweitern und ihre Flexibilität zu erhöhen. Dabei sollen Roboter durch Sprachanweisungen die Intention des Mitarbeiters erkennen und die Zwischenschritte mittels KI ableiten. Zudem können Roboter mittels großer KI-Modelle aus bestimmten Beobachtungen Schlussfolgerungen ziehen, was ihren Einsatz erleichtert und ihre Flexibilität weiter steigert.



## VProSAAR – Verteilte Produktion für die saarländische Automobilindustrie: Nachhaltig, Vernetzt, Resilient

### Problemstellung:

Der voranschreitende Strukturwandel (bedingt durch die Dekarbonisierung, Elektrifizierung, etc.) im Automobilsektor wird unweigerlich zur Adaption bestehender aber auch zur Entwicklung gänzlich neuer innovativer Produkte und Services führen müssen. Zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit und Festigung der Position von Produktionsstätten (hier v.a. KMU), ist es notwendig, sich den technologischen Herausforderungen (häufige Prozess- und Produktinnovationen, Ressourcen- und Energieeffizienz, optimierte Maschinenauslastung, etc.) sowie sozio-ökonomischen Herausforderungen (Nachfrageschwankungen, Globalisierung, demographischer Wandel)

anzupassen. Um auch kurzfristig auf sich ändernde Randbedingungen reagieren zu können, sind gesteigerte Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit (Wandlungsfähigkeit) von Produktionsumgebungen und -anlagen unabdingbar. Zusätzlich ist es entscheidend die Mitarbeiterzentrierung zu fördern und den Produktionsstatus sowie Produktionsfähigkeiten intern und unternehmensübergreifend kommunizieren zu können. Durch technologische Innovationen und eine stärkere Fokussierung auf innerbetriebliche (Vernetzte Produktion) und außerbetriebliche (Verteilte Produktion) Informationsaustausche, können sich kleine und mittlere Unternehmen im globalen und konzerninternen Wettbewerb behaupten.

## Zielsetzung:

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es die Grundlagen und Technologien für eine verteilte, vernetzte und menschenzentrierte Produktion zu erforschen, um eine höhere Wandlungsfähigkeit in der Wirtschaft sicherzustellen. Zur Gewährleistung der Übertragbarkeit werden daher folgende Grundbausteine adressiert:

- Standardisierung von Schnittstellen, Datenaustauschformaten und Semantiken zum vereinfachten Datenaustausch und Datenverständnis
- Kommunikation und Vernetzung von Produktionsressourcen zur automatischen horizontalen und vertikalen Informationsübermittlung
- Betriebs- und Angriffssicherheit der kommunizierenden Produktionsressourcen
- Wandlungsfähigkeit und Resilienz von Produktionsressourcen (mit der Betrachtung von Robotersystemen als häufige Komponente in der Prozessautomatisierung)
- Umgang und Organisation von veränderten Produktionssystemstrukturen und Kompetenzprofilen der Mitarbeitenden
- Modellierung von Teil- und Gesamtsystemen zur Sicherstellung von Transparenz und zur Identifikation von Optimierungspotentialen

## Vorgehen:

Diese Grundbausteine sollen innerhalb des Forschungsprojektes in ein gemeinsames digitales Abbild realer Produktionssysteme gegossen werden. Die initiale Konzeption und Abgrenzung fundamentaler Systembausteine dient der Auswahl und Definition von Standards sowie Konzepten zum kontrollierten Zugriff auf alle Infor-

mationen eines Assets der Produktion (Produkt-, Prozess- und Betriebsmitteldaten) - vergleichbar mit einer Verwaltungsschale. Ausgehend von diesem gemeinsamen, forschungsbereichsübergreifenden Aspekt erfolgen Teilergebnisentwicklungen in nachfolgenden Schwerpunkten, die als Teilmodul des Gesamtdemonstrators zu verstehen sind. Dabei werden die Themen Produktentstehung/Fertigung, agile adaptive Produktionsressourcen, Adaptive Robotik, Montagesystemplanung & -optimierung, Produktionssystemorchestrierung, Multisensorsystem & Datenfusion sowie Industrial Security weiter erforscht.

## Ergebnis / Projektstand:

Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten des ZeMA werden durch die Festlegung von Standards im Bereich der vernetzten Produktion und des Aufbaus eines repräsentativen Demonstratorszenarios weiter gesteigert. Die technische Verifizierung der Forschungsergebnisse durch die praktische Umsetzung der Ergebnisse innerhalb eines Demonstrators auf Industriestandard stellt sowohl die Grundlage für den Nachweis der Erfolgsaussichten als auch für die Übertragbarkeit auf andere Branchen dar.

Weiter kann der Demonstrator für die Lehre und für Weiterbildungsmaßnahmen verstärkt eingesetzt werden. Es bieten sich beispielsweise Schulungen und Seminare im Bereich der vernetzten Produktion, Aufbau Digitaler Zwillinge, Datensicherheit und -qualität sowie weiterführende Forschungsvorhaben zu Themen der virtuellen Anlageninbetriebnahme sowie des energieeffizienten Betriebs von Anlagen an. Zudem können in Kooperation beispielsweise mit dem automatisierten Netzwerk Saarland

Angebote erarbeitet werden. Letztlich können die hier erarbeiteten Ergebnisse direkt im Kontext von Transferprojekten nutzbar gemacht werden. Im Rahmen derzeitiger Projekte und deren Nachfolgerprojekten (bspw. dem Mittelstand-Digital Zentrum Saarbrücken, RZzKI - Regionale Zukunftszentrum für KI und digitale Transformation) können wissenschaftlich erarbeitete Erkenntnisse direkt mit regionalen Unternehmen, im speziellen KMU geteilt werden.

**Laufzeit:**

01.10.2022– 30.09.2026

**Projektpartner:**

Das Projekt ist als ein ZeMA-internes Gemeinschaftsprojekt aufgelegt und zeichnet sich durch die enge Zusammenarbeit der Forschungsbereiche:

- Smarte Materialien und Energiesysteme
- Data Engineering & Sensorik
- Montagesysteme
- Fertigungssysteme
- Industrial Security
- Biomechatronische Systeme aus.

**Kontakt:**

Max Eichenwald  
+49 (0) 681 85787 – 555  
[max.eichenwald@zema.de](mailto:max.eichenwald@zema.de)

# Smarte Materialsysteme

---

## Smarte Materialsysteme



### Shape Memory Alloys

Im Bereich der Formgedächtnislegierungen (engl. shape memory alloy) spezialisiert sich die Arbeitsgruppe auf Forschungsaktivitäten ausgehend von Grundlagenuntersuchungen zur Materialcharakterisierung von Formgedächtnislegierungen bis hin zur Entwicklung von innovativen und effizienten Aktor-Sensor-Systemen.



### Elektroaktive Polymere

Die Arbeitsgruppe Electroactive Polymers (EAP) beschäftigt sich mit der Entwicklung von Aktor- und Sensorsystemen auf Basis dielektrischer Elastomere sowie ionischer Polymere in den Bereichen Grundlagenforschung sowie anwendungsnahe Forschung und Entwicklung industrieller Systeme.

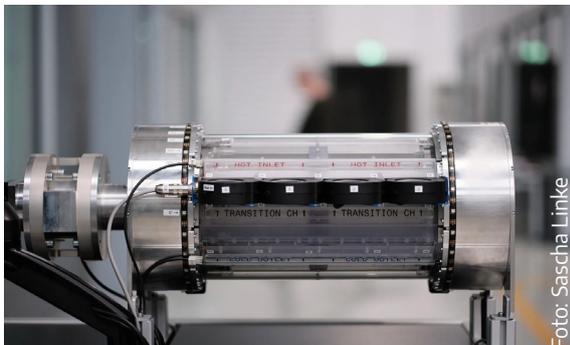


Foto: Sascha Linke

### Elastocalorics

Elastokalorisches Kühlen und Heizen ist eine disruptive Technologie, die auf dem mechanischen Be- und Entlasten von superelastischen Nickel-Titan-Legierungen (NiTi) beruht, welche dabei große Wärmemengen freisetzen können. Dieses tun sie um ein Vielfaches effizienter als gegenwärtig übliche Kältekompressionsverfahren.



### Smart Materials Modeling & Control

Intelligente Materialien wie beispielsweise Formgedächtnislegierungen oder dielektrische Elastomere weisen typischerweise ein stark nicht-lineares Materialverhalten auf. Die Arbeitsgruppe entwickelt analytische und numerische Modelle, welche bei der Auslegung von Prototypen unterstützen.



## Smart Material Electronics

Ziel dieser Arbeitsgruppe ist die integrierte Ansteuerung von Systemen auf Basis smarterer Materialien. Die Schaltungsentwicklung spielt besonders bei der zur Verfügungstellung der für die Materialien benötigten (Hoch-) Spannungen und Ströme eine zentrale Rolle.



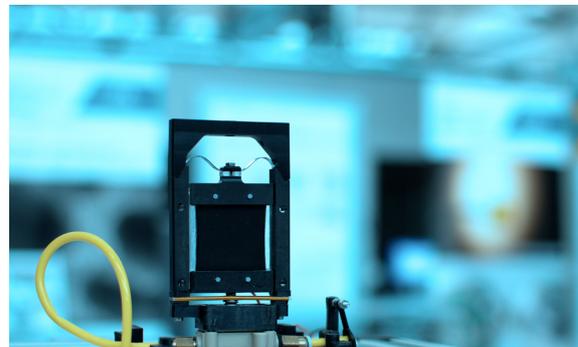
## Biomedical Systems

In der Biomedizin wird an smarten minimalinvasiven Chirurgiewerkzeugen und neuartigen Implantatlösungen geforscht. So werden beispielsweise durch Mikroaktoren aus Formgedächtnislegierungen neuartige, steuerbare Führungsdrähte zur optimierten, patientenfreundlichen Katheterverlegung erforscht.



## Applied Simulations

Die Arbeitsgruppe konzentriert sich auf die Entwicklung von Simulationswerkzeugen für innovative Aktoren, Sensoren und Klimatisierungssysteme. Im Fokus stehen elektrische und elektro-mechanische Feldsimulationen sowie gekoppelte multiphysikalische Analysen thermo-mechanischer und fluidischer Systeme.



## Smart Fluidics

Aufgrund ihrer für das Anwendungsfeld der Fluidik attraktiven Eigenschaften wie Energieeffizienz, kompakte und leichtgewichtige Bauformen sowie hochfrequenter und geräuschfreier Betrieb werden smarte Materialien häufig in Ventil-, Pumpen- und Fluidsensorik-Systemen (Druck, Volumenstrom) eingesetzt.



## Smart Textiles

Die Integration von Aktoren und Sensoren auf Basis dünner Nickel-Titan Drähte oder silikonbasierter Polymerfolien in Textilien ermöglicht die Funktionalisierung von Kleidung und Ausrüstung. Die integrierte Sensorik ermöglicht die präzise Erfassung von Bewegung und Vitalparametern.



## Intelligente Aktor-Sensor-Systeme auf Basis elektroaktiver Polymere

Der Bereich Smarte Materialsysteme am ZeMA bearbeitet vorrangig industrie- und anwendungsrelevante Forschungsthemen, bei denen die Entwicklung mechatronischer Aktor-Sensor-Systeme im Vordergrund steht. Eine Materialkategorie zur Umsetzung dieser Forschungsthemen sind elektroaktive Polymere (EAP). Diese schließen beispielsweise dielektrische Elastomere (DE), ionische Polymere und dielektrische Fluide ein. Die Werkstoffe besitzen neben aktorischen auch gleichzeitig sensorische Eigenschaften und ermöglichen den Aufbau kompakter, leichter und energieeffizienter Lösungen für Antriebssysteme, die konventionell oft auf pneumatischen, hydraulischen oder elektromagnetischen Elementen beruhen.

Forschungsthemen beinhalten die experimentelle Charakterisierung des Materialverhaltens, die Entwicklung von Technologiedemonstratoren, miniaturisier- und integrierbare Hochspannungselektronikkonzepte, die Herstellung von dielektrischen Elastomeren mit industrietauglichen, skalierbaren Prozessen, sowie die Positionsbestimmung von EAP-Aktoren durch „Self-Sensing“ zum Aufbau kompakter, sensorloser Aktorsysteme.

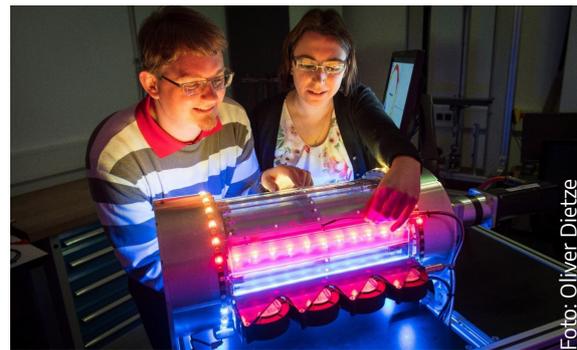
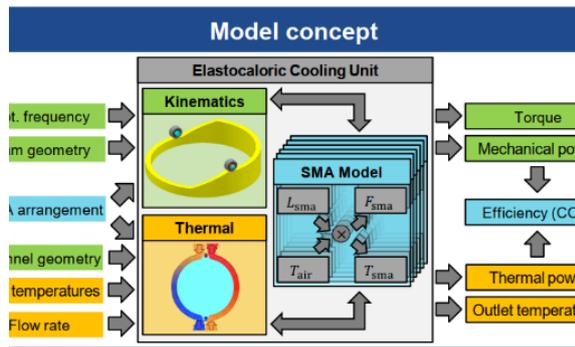


Foto: Oliver Dietze

## Intelligente Aktor-Sensor-Systeme auf Basis von Formgedächtnislegierungen

Der Bereich Smarte Materialsysteme am ZeMA beschäftigt sich vorrangig mit industrie- und anwendungsrelevanten Forschungsthemen, bei denen die Entwicklung mechatronischer Aktor-Sensor-Systeme mit sogenannten intelligenten Materialien im Vordergrund steht. Eine Materialkategorie zur Umsetzung dieser Forschungsthemen sind Formgedächtnislegierungen (FGL), von denen hauptsächlich thermische Formgedächtnislegierungen im Fokus der Forschung stehen.

Forschungsthemen beinhalten die experimentelle Charakterisierung des thermo-elektro-mechanischen Materialverhaltens, die Entwicklung von Technologiedemonstratoren und funktionalen Prototypen sowie Optimierung von FGL-Aktorsystemen, sowie die Entwicklung fortgeschrittener Ansteuerkonzepte für FGL-Aktoren. Anwendungsfelder sind beispielsweise die Kontinuumsrobotik, schnelle und energieeffiziente Greiftechnologien, die Ventiltrik, Mikro-Kamerasysteme oder die Endoskopie zum Einsatz in Industrie und Medizintechnik.



## Modellierung und Regelung von smarten Materialsystemen

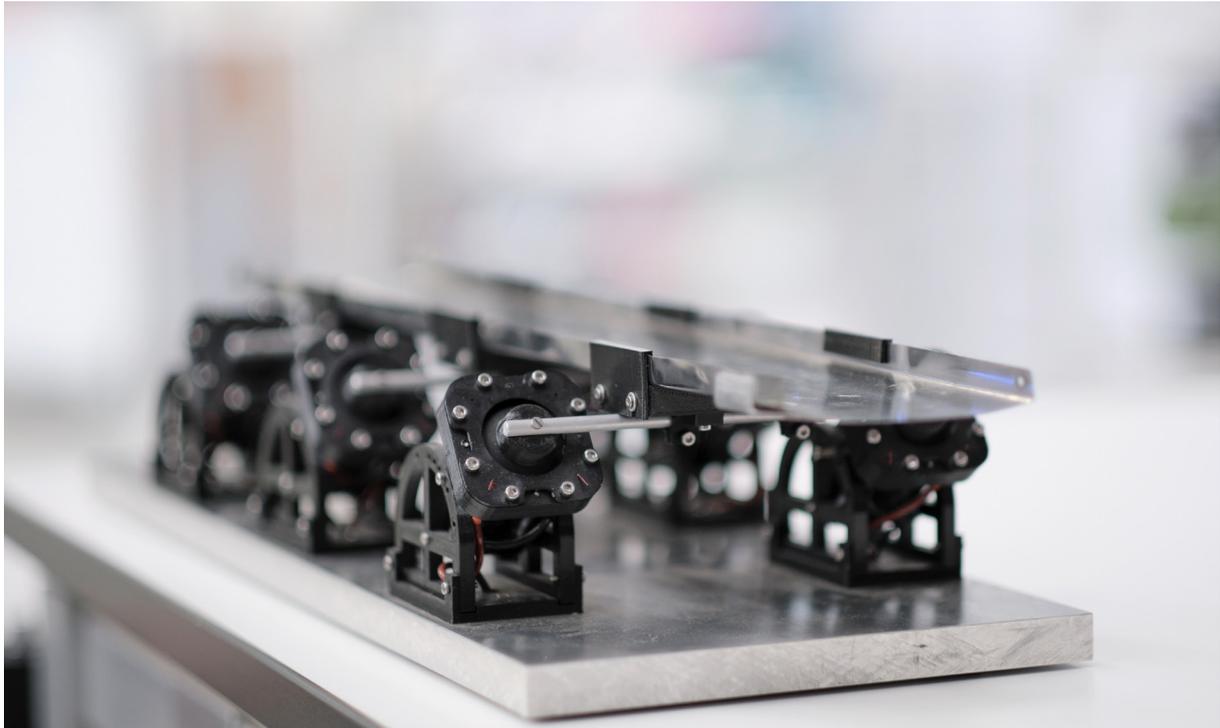
Intelligente Materialien wie beispielsweise Formgedächtnislegierungen oder dielektrische Elastomere weisen typischerweise ein stark nicht-lineares Materialverhalten auf, oftmals mit großer Hysterese verbunden. Das Verständnis dieses Materialverhaltens und seine mathematische und physikalische Beschreibung bildet die Grundlage für effizientes Aktor- und Sensordesign. Der Forschungsbereich entwickelt analytische und FE-basierte Modelle, welche bei der Auslegung von Prototypen unterstützen.

Aufgrund der Nichtlinearität stellt auch die Ansteuerung und eventuelle Regelung der Materialien eine weitere Herausforderung dar. Neue Regelstrategien und -konzepte erlauben den optimierten Betrieb der intelligenten Aktoren in der Anwendung.

Forschungsschwerpunkte sind die konzentrierte- und Finite-Elemente-Modellierung, multiphysikalisch gekoppelte Simulationen sowie die experimentelle Charakterisierung, die Entwicklung von KI-Methoden zur Optimierung des Systementwurfs und GUI-Design-Schnittstellen auf Anwenderebene, die Entwicklung von Algorithmen zur Bewegungs-/Kraftregelung und Hysterese-Kompensationsmethoden, sowie die Entwicklung von Regelstrategien für smarte Aktoren in Anwendungen.

## Elastokalorik

Elastokalorisches Kühlen und Heizen ist eine disruptive neue Technologie, die auf dem mechanischen Be- und Entlasten von superelastischen Nickel-Titan-Legierungen (NiTi) beruht, welche dabei extrem große Wärmemengen freisetzen und absorbieren können. Dies tun sie um ein Vielfaches effizienter als gegenwärtig übliche Kältekompressionsverfahren, und darüber hinaus wird durch die Verwendung von Metallen die Freisetzung schädlicher Klimagase in die Atmosphäre vollständig vermieden. Das US-Energieministerium und die EU-Kommission deklarierten die Elastokalorik bereits als zukunftsreichste Alternative zu herkömmlichen Verfahren. Im Sommer 2023 fand die erste Elastokalorik Konferenz – die Elastocalorics2023 – initiiert von Prof. Dr.-Ing. Stefan Seelecke und Prof. Dr.-Ing. Paul Motzki am ZeMA statt, an der international führende Expertinnen und Experten aus der Forschung und der Industrie teilnahmen. Im Rahmen der Konferenz wurde darüber hinaus der Grundstein zur Gründung der „International Elastocalorics Society“ gelegt, welche unter anderem zum Ziel hat, die Elastokalorik-Community zu vernetzen und die Konferenz in Zukunft ausrichten wird.



## iSMAT - innovative Produktion von und mit smarten Materialsystemen

### **Problemstellung:**

Metalle und Polymere, die ihre Form ändern können und dabei gleichzeitig als ihr eigener Sensor fungieren, sind die modernen Antriebssysteme von morgen. Aufgrund ihrer multifunktionalen Eigenschaften werden sie auch als smarte oder intelligente Materialien bezeichnet. Die Forschung und Entwicklung in diesem Fachgebiet konzentrieren sich seit einigen Jahren darauf, Antriebssysteme wie Motoren, Pneumatik oder Hydraulik in vielen Bereichen unserer Arbeitswelt und unseres täglichen Lebens durch hochkompakte und energieeffizientere Systeme zu ersetzen. Beispielanwendungen hierfür umfassen druckluftfreie Industrie-4.0-Montagesysteme oder innovative Robotik-Lösungen, die mit intelligenten und soften Polymersystemen eine ungefährliche Mensch-Roboter-Koopera-

tion ermöglichen. Innovative Greifsysteme werden neue energieeffiziente Handling-Konzepte verwirklichen und somit vor allem die Effizienz und Nachhaltigkeit im Bereich der Produktion stärken. Nicht zuletzt wird auch der Bereich der Biomedizin durch intelligente und hochintegrierte Kontinuumsrobotik profitieren und mit dieser innovativen Technologie neue Möglichkeiten und Methoden der Patientenbehandlung verwirklichen. Ein weiteres branchenübergreifendes Potenzial liegt im Bereich moderner Klimatisierungstechnik. Auf Basis spezieller Nickel-Titan-Legierungen kann Kälte und Wärme um ein Vielfaches effizienter erzeugt werden, als dies etablierte Verfahren wie die Kältekompression heutzutage tun. Die „Elastokalorik“ zeigt dabei ein bisher nicht dagewesenes Potential zur Bewältigung der

globalen Energie- und Klimaprobleme auf, da sie neben deutlich höheren Wirkungsgraden vollständig ohne klimaschädliche Gase auskommt.

So faszinierend die Eigenschaften intelligenter Materialien auch sind, der technologische Erfolg und der Durchbruch zu gesellschaftlich relevanten Anwendungen basiert auf deren wirtschaftlich attraktiver und nachhaltiger Produktion. Dies beginnt mit speziellen Fertigungstechnologien für diese Materialien, gefolgt von effizienten Montage- und Automatisierungsprozessen für Komponenten bis hin zu integrierten Systemlösungen, welche durch intelligente Algorithmen zur Ansteuerung und Selbstüberwachung maximalen Mehrwert gegenüber heutigen Aktor-Sensor-Lösungen darstellen.

## **Zielsetzung:**

Das übergeordnete Forschungsziel in den kommenden Jahren ist die ganzheitliche Steigerung des Technologie-Reifegrades relevanter Produktionstechnologien über den gesamten Produktentstehungsprozess auf dem Weg hin zu zukünftiger Massenproduktion von intelligenten Antriebs- und Klimasystemen basierend auf smarten Materialien. Dabei sollen in drei parallelen Projektvorhaben die Bereiche Fertigungstechnik, Montagetechnik sowie Aktorik und Sensorik gleichermaßen adressiert werden und durch bereichsübergreifende Kommunikation und Zusammenarbeit stets der vollständige Produktentstehungszyklus im Vordergrund stehen.

Das Gesamtvorhaben wird die international führende Position des Saarlandes im Forschungsbereich intelligenter Materialien („smart materials“) weiter stärken und darüber hinaus eine essenzielle Grundlage für die zukünftige Produktion von Systemen basierend auf diesen Materialien schaffen. Dies geht Hand in Hand mit den ersten Ausgründungsvorhaben aus

den Forschungsgruppen der intelligenten Materialsysteme, welche sich zum Ziel gesetzt haben, die Forschungsergebnisse der vergangenen Jahre in kommerzielle Produkte zu überführen und diese auch am Standort Saarland selbst zu produzieren.

## **Vorgehen:**

Jedes einzelne der drei Teilprojekte verfolgt zwei konkrete Forschungsschwerpunkte in seinem Forschungsbereich der Produktionstechnologie und wird von Arbeitsgruppen-Kooperationen von Lehrstühlen und Professuren der Hochschule für Technik und Wirtschaft (htw), der Universität des Saarlandes (UdS) am Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gemeinnützige GmbH (ZeMA) bearbeitet. Mit dem ZeMA als ideale Plattform für die Kooperation der beiden Saarbrücker Hochschulen wird die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen UdS und htw anhand des Forschungsbereiches der Smarten Materialsysteme ausgeweitet und intensiviert. Dabei kommen bei den formulierten Forschungsansätzen Smarter Materialsysteme die speziellen Expertisen der einzelnen Lehrstühle und Arbeitsgruppen zur Geltung. Das Projekt legt den Grundstein für eine mögliche Kommerzialisierung und Produktion neuer Produkte im Bereich Smarter Materialien. Die gewonnenen Erkenntnisse müssen im Anschluss und zum Teil auch schon während der Projektlaufzeit mit Hilfe von bilateralen oder geförderten Kooperationsprojekten mit industriellen Partnern – im Idealfall aus der Region – in die Industrie übertragen werden.

## **Ergebnis/Projektstand:**

Im Bereich Fertigungstechnik wurden Laserschweißverfahren zur Herstellung von Aktor-Bündeln aus Formgedächtnislegierungen untersucht. Nachdem Experimente mit unterschiedlichen Schweißverfahren und -parametern durchgeführt

worden sind, konnte die Machbarkeit der Herstellung von Aktor-Bündeln gezeigt sowie Lösungsmöglichkeiten zur Optimierung der Schweißverbindung identifiziert werden. In einem zweiten Teilprojekt wurde der Herstellungsprozess von Nickel-Titan-Elementen per Rapid Prototyping untersucht. Es wurden geeignete Geometrien für elastokalorische Anwendungen identifiziert, Prozessparameter des pulverbettbasiertes Laserstrahlschmelzens von Nickel-Titan angepasst, sowie relevante Kenngrößen der Werkstoffperformance in Einsatz bestimmt.

Im Bereich Montagetechnik wurden die Montage eines smarten Greifers auf Basis von Formgedächtnislegierungen sowie eines gerollten dielektrischen Elastomeraktors (DEA) optimiert. Im Ersten Teilprojekt stand vor allem die Reduktion der Bauteile des smarten Greifers im Fokus. Ebenso wurde mit der Planung eines möglichst modularen Montagesystems begonnen, das ein Zufuhrsystem für Bauteile und Betriebsmittel mit einem unterstützenden Assistenzsystem kombiniert. Im zweiten Teilprojekt wurde ein teilautomatisierter Prozess für die systematische Montage des gerollten DEA entwickelt. Vorrichtungen für das Stapeln der einzelnen Schichten, das Rollen, Schneiden, Crimpen und Kleben

der DEA ermöglichen eine wiederholgenaue Fertigung, deren Qualität mithilfe einer MYSQL Datenbank überwacht werden kann. Ebenso integriert wurde ein definierter Prüfprozess, um die gefertigten Aktoren weiter zu verbessern.

Im Bereich Sensorik und Aktorik wurde ein Assistenztool für die Montage entwickelt, das mithilfe metallbasierter dielektrischer Elastomere haptisches und akustisches Feedback ausgeben, sowie Eingaben entgegennehmen kann. Ein weiteres Teilprojekt beschäftigte sich mit der sensorlosen Regelung eines FGL-Aktors. Dabei wurde die sensorlose Überwachung mittels neuronaler Netze umgesetzt und experimentell validiert. In einem dritten Teilprojekt lag der Fokus auf der Kombination der Kräfte von Formgedächtnislegierungen mit einer elektrostatischen Kupplung, um energieeffiziente hybride Aktorsysteme zu entwickeln. Mithilfe des experimentellen Aufbaus konnten deutliche Energieeinsparungen im Vergleich zu einem herkömmlichen FGL-Aktor gezeigt werden.

#### **Laufzeit:**

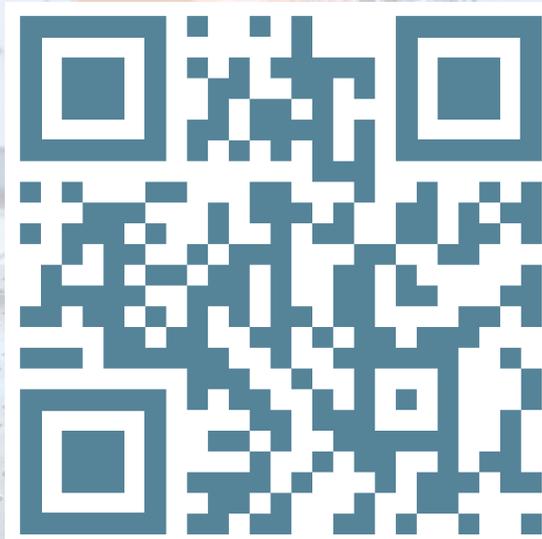
01.10.2022 – 30.09.2024



#### **Kontakt:**

Dr.-Ing. Sophie Nalbach  
+49 (0) 681 85787 – 910  
sophie.nalbach@zema.de

Weitere Projekte aus den  
Forschungsbereichen finden Sie  
auf unserer Webseite  
[www.zema.de/projekte](http://www.zema.de/projekte)



# Daten zum Jahr

---



## Erstzertifizierung DIN EN ISO 9001:2015

Im Jahr 2023 haben wir als Unternehmen einen bedeutenden Meilenstein erreicht: die Erstzertifizierung nach DIN EN ISO 9001:2015. Diese weltweit anerkannte Norm bestätigt, dass wir die Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem nicht nur erfüllen, sondern uns auch kontinuierlich verbessern. Der Weg zur Zertifizierung erforderte eine gründliche Überprüfung unserer internen Abläufe, Managementpraktiken und Kundenserviceleistungen. Dabei haben wir gezeigt, dass wir die höchsten Qualitätsstandards einhalten und uns ständig weiterentwickeln, um unserer Kundschaft das Beste zu bieten.

Der Weg zur ISO 9001-Zertifizierung war ein echtes Gemeinschaftsprojekt. Unsere Teams arbeiteten mit großem Einsatz daran, die erforderlichen Prozesse zu dokumentieren und zu implementieren.

Ziel war es, unsere Abläufe nicht nur normgerecht, sondern auch effizient und kundenorientiert zu gestalten. Besonders wichtig war uns, alle Mitarbeitenden in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess einzubinden. Durch Schulungen und Workshops schufen wir ein tiefes Verständnis für die Anforderungen und Vorteile der ISO 9001-Norm und legten damit das Fundament für nachhaltige Qualitätsverbesserungen. Unser Qualitätsmanager Tobias Ehl spielte hierbei eine entscheidende Rolle, indem er mit seinem Fachwissen und Engagement maßgeblich zum Erfolg beitrug.

Die erfolgreiche Erstzertifizierung bestätigt unser tiefes Engagement für Qualität und Kundenzufriedenheit. Sie gibt unserer Kundschaft die Gewissheit, dass wir kontinuierlich hochwertige Produkte und Dienstleistungen

liefern können. Darüber hinaus hilft uns die ISO 9001-Zertifizierung, unsere internen Prozesse weiter zu optimieren, Risiken effektiver zu managen und neue Geschäftsmöglichkeiten zu erschließen. Diese Anerkennung stärkt nicht nur das Vertrauen unserer Kundschaft, sondern ist auch ein wichtiger Schritt in unserer kontinuierlichen Weiterentwicklung.

Wir sind stolz auf diesen Erfolg und möchten allen Beteiligten für ihren unermüdlichen Einsatz und ihre Hingabe danken. Mit diesem Meilenstein sind wir bestens gerüstet, um den wachsenden

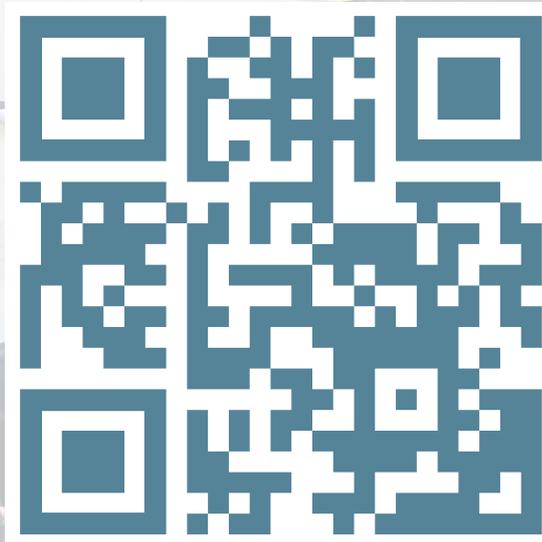
Anforderungen des Marktes gerecht zu werden und unsere Position als verlässliche Institution für unsere Kundschaft weiter zu festigen. Wir freuen uns darauf, diesen Weg gemeinsam mit unseren Mitarbeitenden und unserer Kundschaft erfolgreich weiterzugehen.

Eines unserer weiteren Ziele ist es, das bestehende Managementsystem zu einem integrierten System weiterzuentwickeln, das die Bereiche Qualität, Umwelt, Arbeitsschutz und Energie umfasst.



**Weitere News aus dem Jahr und Events finden Sie auf unserer Webseite**

**[www.zema.de/news](http://www.zema.de/news)**



# Kontakt

---

## Biomechatronische Systeme

### Kontakt:

Prof. Dr. Martina Lehser  
+49 (0) 681 85787 - 102  
martina.lehser@zema.de

### Kontakt:

Tizian Schneider  
+49 (0) 681 85787 - 48  
tizian.schneider@beispiel.de

## Data Engineering & Smarte Sensorik

## Fertigungssysteme

### Kontakt:

Thomas Hall  
+49 (0) 681 302 - 4688  
thomas.hall@zema.de

## Industrial Security

### Kontakt:

Christian Siegwart  
+49 (0) 681 85787 - 540  
christian.siegwart@zema.de

### Kontakt:

Christoph Speicher  
+49 (0) 681 85787 - 535  
christoph.speicher@zema.de

## Montagesysteme

## Smarte Materialsysteme

### Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Paul Motzki  
+49 (0) 681 85787 - 545  
paul.motzki@zema.de

# Veröffentlichungen

---

## Veröffentlichungen

- A. Meyer, C. J. Schmidt, and P. Motzki, "Hybrid Soft-Rigid Joint With Inherent Sensing and Actuation Capabilities Based on Rolled Dielectric Elastomers," in ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-111235.
- A. Meyer, C. Schmidt, S. Seelecke, and P. Motzki, "Hybrid soft-rigid joint with inherent sensing and actuation capabilities based on rolled dielectric elastomers," EuroEAP 2023 Eleventh International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers, Bristol, UK, Jun. 2023
- Afifi, Nehal Atef; Schneider, Marco; Kanso, Ali; Müller, Rainer (2023): High Precision Peg-in-Hole Assembly Approach Based on Sensitive Robotics and Deep Recurrent Q-Learning. In: Thorsten Schüppstuhl, Kirsten Tracht und Jürgen Fleischer (Hg.): Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2022. 1st ed. 2023. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer, S. 3-13.
- B. Fasolt, F. B. Albuquerque, J. Hubertus, G. Schultes, H. Shea, and S. Seelecke, "Electrode Impact on the Electrical Breakdown of Dielectric Elastomer Thin Films," Polymers (Basel), vol. 15, no. 20, p. 4071, Oct. 2023, doi: 10.3390/polym15204071.
- B. Fasolt, T. Willian, T. Weber, P. Motzki, and S. Seelecke, "Novel repairing process to increase the yield of DE actuators," EuroEAP 2023 Eleventh International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers, Bristol, UK, Jun. 2023.
- Bähre, D.; Hall, T.; Zeiner, M. (Editors), International Symposium on Electrochemical Machining Technology - INSECT 2023 Proceedings, ISBN 978-3-00-077159-0, Saarbrücken (Germany), November 13 to 14, 2023.
- C. Perri, T. Würtz, B. Holz, D. Bruch, D. Naso, and P. Motzki, "Self-sensing approach based on pure DC current measurement for dielectric elastomer actuators," EuroEAP 2023 Eleventh International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers, Bristol, UK, Jun. 2023.
- C. Pirritano et al., "Fully Integrated Rotary Motor Based on Antagonistic Shape Memory Alloy Wire Bundles," in ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-111255.
- C. Schnur, Prädiktive Wartung in der Industrie – Stolpersteine Datenqualität und Modellbildung, IN.STAND - Die Messe für Instandhaltung, Vortrag, Stuttgart, 8.11.2023, 2023.
- C. Schnur, T. Dorst, K.S. Deshmukh, S. Zimmer, P. Litzenburger, T. Schneider, L. Margies,

- R. Müller, A. Schütze, PIA - A Concept for a Personal Information Assistant for Data Analysis and Machine Learning of Time-Continuous Data in Industrial Applications, *ing.grid* 1(2), doi: 10.48694/inggrid.3827, 2023.
- C. Schnur, T. Dorst, K.S. Deshmukh, S. Zimmer, P. Litzenburger, T. Schneider, L. Margies, R. Müller, A. Schütze, PIA-A Concept for a Personal Information Assistant for Data Analysis and Machine Learning in industrial application, *ing.grid preprints*, 2023.
- C. Schnur, Y. Robin, P. Goodarzi, T. Dorst, A. Schütze, T. Schneide, Development of a bearing test-bed for acquiring data for robust and transferable machine learning, *IEEE I2MTC 2023, International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, May 22 - 25, 2023, Kuala Lumpur, Malaysia, 2023.
- Christian Fuchs, Steffen Klein, Payman Goodarzi, Andreas Schütze, Tizian Schneider, Analyse zum Einfluss von Labeling-Fehlern im Kontext von Luftschall- und Vibrationsdatensätzen für maschinelles Lernen, *DAGA 2023 - 49. Jahrestagung für Akustik, Tagungsband*, S. 80-83, Sitzung „Akustische Messtechnik und Sensorik 1“, Hamburg, 06.-09. März 2023, 2023.
- Christopher Schnur, Steffen Klein, Anne Blum, Checklist – Measurement and data planning for machine learning in assembly, Checklist (engl. Version) published at Zenodo, doi: 10.5281/zenodo.7556875, 2023.
- Christopher Schnur; Steffen Klein; Anne Blum (2023): Checklist – Measurement and data planning for machine learning in assembly.
- D. Bruch, I. Naumov, T. Willian, and P. Motzki, “Demonstrator for Linear Dielectric Elastomer Actuator Systems Coupled to Compliant Joint Linkage Transmission Mechanisms,” in *ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-111273.
- D. Bruch, I. Naumov, T. Willian, P. Motzki, and S. Seelecke, “Low profile dielectric elastomer actuator system with unibody compliant joint transmission,” in *Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXV*, J. D. Madden, I. A. Anderson, and H. R. Shea, Eds., SPIE, Apr. 2023, p. 11. doi: 10.1117/12.2658448.
- D. Bruch, S. Becker, S. Nalbach, and P. Motzki, “Dumbbell lifting Dielectric Elastomer Actuator Demonstrator,” *EuroEAP 2023 Eleventh International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers*, Bristol, UK, Jun. 2023.
- D. Scholtes, M. Schmidt, P. Linnebach, S. Seelecke, and P. Motzki, “A Multifunctional Characterization Test Bench for Shape Memory Alloy Micro-Wires—Design, Implementation and Validation,” *Materials*, vol. 16, no. 13, p. 4820, Jul. 2023, doi: 10.3390/ma16134820.

- D. Scholtes, S. S. Seelecke, and P. Motzki, "Design of a lightweight SMA driven parallel gripper for collaborative robots," in *Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems XVII*, S. Tol, M. A. Nouh, S. Shahab, J. Yang, and G. Huang, Eds., SPIE, Apr. 2023, p. 34. doi: 10.1117/12.2658402.
- E. Holle, F. Knödl, M. Mayer, T. Schneider, D. Spiehl, A. Blaeser, E. Dörsam, A. Schütze, Control of ink-water balance in offset lithography by machine learning, Proc. 49th Conference of iarigai, September 18-20, 2023, Wuppertal, Germany, doi: 10.14622/Advances\_49\_2023\_16.
- Eichenwald, M.; Burk, B.; Blum, A.; Müller, R. (2023): Prozessdaten im Rahmen einer Null-Fehler-Strategie vernetzen – Übergreifende Konnektivität von Maschinen als Basis zur Wertsteigerung. In: Florian Schupp und Heiko Wöhner (Hg.): Digitalisierung im Einkauf. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 203–217.
- F. Louia, N. Michaelis, A. Schütze, S. Seelecke, and P. Motzki, "A unified approach to thermo-mechano-caloric-characterization of elastocaloric materials," *Journal of Physics: Energy*, vol. 5, no. 4, p. 045014, Oct. 2023, doi: 10.1088/2515-7655/acfb39.
- F. Welsch et al., "Active Implant System Based on SMA Actuators for Improved Bone Fracture Healing," in *ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-110858.
- F. Welsch, S.-M. Kirsch, F. Louia, S. Seelecke, and P. Motzki, "Investigation of the Thermal Heat Exchange Between NiTi-Wire Bundles and Airflow for Different Wire Arrangements," in *ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-111395.
- Fang, S.; Frank, A.; Schäfer, M.; Bähre, D., "Implementation of a Picosecond Laser for Micromachining the Cathode of Pulse Electrochemical Machining and a Case Study", *Journal of Micro and Nano-Manufacturing*, Volume 10, Issue 4, DOI: 10.1115/1.4063178, 2023.
- Foth, Niklas; Kuhn, Dominik; Karkowski, Martin; Müller, Rainer (2023): Graph-Based and Object-Oriented Description Model for Changeable Assembly Systems. In: Proceedings of the Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production Conference and the World Mass Customization & Personalization Conference: Springer, Cham, S. 528–535. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-34821-1\\_57](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-34821-1_57).
- Frank, A., Hall, T., Adam, B., Busch, R.; Bähre, D, "Pulse Electrochemical Machining of amorphous and crystalline states of the Bulk Metallic Glass AMZ4", *Proceedings of the 19th International Symposium on Electrochemical Machining Technology-INSECT 2023*.

- Ghasemiansafaei, M.; Schaefer, F.; Hall, T.; Baehre, D., "Analysis of Mechanisms Affecting the Tool in Pulsed Electrochemical Machining", *Journal of The Electrochemical Society*, Volume 170, Number 6, 2023, DOI: 10.1149/1945-7111/acd87a.
- Haas, Paul Hubert; Margies, Lennard; Müller, Rainer (2023): Konzeption eines adaptionsfähigen menschenzentrierten Montagesystems auf der Basis markerloser sensorischer Mitarbeitererfassung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V. (Hg.): Nachhaltig Arbeiten und Lernen – Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse. 69. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Garbsen, 01.03.2023-03.03.2023.
- Hübner, Michael; Adler, Fabian; Kelm, Benedikt; Blum, Anne; Müller, Rainer (2023): Konzeptionierung eines Methodenbaukastens zur Automatisierungsempfehlung auf Grundlage einer potentialbasierten Montageprozessbewertung. In: VDI (Hg.): Transformation by automation. Automation 2023 : 24. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik : 27. und 28. Juni 2023, Baden-Baden. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH (VDI-Berichte, 2419), S. 1047-1060. Online verfügbar unter <https://www.vdi-nachrichten.com/shop/automation-2023/>.
- J. Hubertus, S. Croce, J. Neu, S. Seelecke, G. Rizzello, and G. Schultes, "Laser Structuring of Thin Metal Films of Compliant Electrodes on Dielectric Elastomers," *Adv Funct Mater*, vol. 33, no. 16, Apr. 2023, doi: 10.1002/adfm.202214176.
- J. Hubertus, S. Croce, J. Neu, S. Seelecke, G. Rizzello, G. Schultes: Laser Structuring of Thin Metal Films of Compliant Electrodes on Dielectric Elastomers, *Adv. Func. Mat.* 2023, 2214176.
- J. Neu et al., "Distributed Electro-Mechanical Coupling Effects in a Dielectric Elastomer Membrane Array," *Exp Mech*, vol. 63, no. 1, pp. 79-95, Jan. 2023, doi: 10.1007/s11340-022-00892-0.
- K. J. Koshiya, G. Rizzello, and P. Motzki, "An Embedded System for Data-Based Self-Sensing in Shape Memory Alloy Wire Actuators," in *ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-110385.
- K. J. Koshiya, G. Rizzello, and P. Motzki, "Data-Based Self-Sensing in Shape Memory Alloy Wire Actuators," *AI MSE 2023 1st Conference on Artificial Intelligence in Materials Science and Engineering*, Saarbrücken, Germany, Nov. 2023.
- K. J. Koshiya, G. Rizzello, and P. Motzki, "Neuronal network-based SMA modeling approach for Self-sensing," *Werner Siemens-Stiftung Scientific Workshop: Simulation and AI for Smart Implants*, Saarbücken, Germany, Oct. 2023.
- K. Koshiya, S. Gratz-Kelly, P. Motzki, and G. Rizzello, "An embedded self-sensing motion control system for a strip-shaped dielectric elastomer actuators," in *Electroactive*

- Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXV, J. D. Madden, I. A. Anderson, and H. R. Shea, Eds., SPIE, Apr. 2023, p. 27. doi: 10.1117/12.2657131.
- Kuhn, Dominik; Adelsbach, Jan; Karkowski, Martin; Müller, Rainer (2023): Generalized Model for the Optimization of a LIFO Topology Storage Using a Metaheuristic Algorithm. In: MHI Colloquium: Springer, Cham, S. 15–25. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10071-0\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10071-0_2).
- Litzenburger, Philipp; Zimmer, Sarah; Margies, Lennard; Müller, Rainer (2023): Datengetriebene Absicherung der Montage durch Ansätze des prozessorientierten Toleranz- und Abweichungsmanagement. In: Sandro Wartzack (Hg.): Tagungsband der 5. Summer School Toleranzmanagement 2023. Erlangen: FAU University Press, S. 53–59.
- M. Baltes, J. Kunze, J. Prechtel, S. Seelecke, and G. Rizzello, “Corrigendum: A bi-stable soft robotic bendable module driven by silicone dielectric elastomer actuators: design, characterization, and parameter study (2022 Smart Mater. Struct. 31 114002),” *Smart Mater Struct*, vol. 32, no. 4, p. 049501, Apr. 2023, doi: 10.1088/1361-665X/acbdd4.
- Molter, Jan (2023): Development of a characterization and modeling method for Digital Twins in an assembly use case. 17th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. University of Naples Federico II, Italy, 12.07.2023.
- P. Göddel, R. Britz, and P. Motzki, “Adaptive Aerodynamic Structure Based on Antagonistic Shape Memory Alloy Wire Actuators,” in ASME SMASIS 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures, and Intelligent Systems, Austin, TX, Sep. 2023.
- P. Goodarzi, A. Schütze, T. Schneider Comparing AutoML and Deep Learning Methods for Condition Monitoring using Realistic Validation Scenarios, arXiv:2308.14632, doi: 10.48550/arXiv.2308.14632, 2023.
- P. Goodarzi, S. Klein, A. Schütze, T. Schneider, Comparing Different Feature Extraction Methods in Condition Monitoring Applications, IEEE I2MTC 2023, International Instrumentation and Measurement Technology Conference, May 22 - 25, 2023, Kuala Lumpur, Malaysia, 2023.
- P. Motzki and G. Rizzello, “Smart Shape Memory Alloy Actuator Systems and Applications,” in Shape Memory Alloys - New Advances, IntechOpen, 2023. doi: 10.5772/intechopen.1002632.
- P. Motzki, “Aktuelle Technologieentwicklungen am ZeMA: Formgedächtnislegierungen = Zukunftstechnologie!?” – Invited Talk and Panel Discussion: Neue Technologien und Megatrends, TraSaar Netzwerk für Transformation, Saarbrücken, Germany, Aug. 2023.
- P. Motzki, “Development of Optimized Concepts for Elastocaloric Cooling Applications”

- Invited Talk: Elastocalorics2023 Conference, Saarbrücken, Germany, Jun. 2023.
- P. Motzki, “Elastokalorik: Technologieeinführung” – Introductory Talk: Zukunftsimpulse 2023+ Conference Topic Group Caloric Materials, Dresden, Germany, Jun. 2023.
- P. Motzki, “Elektrische Antriebe von morgen – künstliche Muskeln aus Metall und Polymeren” – Keynote: Power of Electronics Conference – Praxisforum Elektrische Antriebstechnik 2023, Würzburg, Germany, Oct. 2023.
- P. Motzki, “Flexible Sensorik durch Elektroaktive Polymere – Anwendungsfelder und kommerzielle Produkte” – Impulse Lecture: Fraunhofer-Leistungszentrum »Funktionsintegration« und VDI Bezirksverein Berlin-Brandenburg, »Intelligente Materialien & integrierte Sensorsysteme«, Potsdam, Germany, Nov. 2023.
- P. Motzki, “Formgedächtnislegierungen = Antriebstechnik der Zukunft? Potenzial für den Industriestandort Saarland” – Invited Talk: Schaeffler Campus Innovation Day 2023, Campus Homburg, Germany, Mar. 2023.
- P. Motzki, “SMA thermal systems – Novel approach from academia to commercialization” – Keynote: 2023 SMST Entrepreneurial Workshop, Fort Worth, TX, Mar. 2023.
- P. Motzki, “The Smart Factory - Efficient and Sustainable Production via Shape Memory Alloy Systems” – Invited Talk and Panel Discussion: BoKoMat\_8 Conference, Bochum, Germany, Sep. 2023.
- P. Motzki, “Elastokalorik: Kühlen und Heizen von Morgen? - Nachhaltigkeit durch Technologieinnovation made in Saarland” – Invited Lecture: VDI Bezirksverein Saare.V., AK Wertschöpfungssysteme, Saarbrücken, Germany, Apr. 2023.
- R. Barakat, Y. Goergen, R. Britz, M. Mandolino, G. Rizzello, and P. Motzki, “Comparative Review of Two Different Design Approaches for SMA Based Continuum Robots,” in ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-111253..
- S. Gratz-Kelly et al., “An Integrated Audio-Tactile Interface Based on Dielectric Elastomer Actuators for User Interaction,” in ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-111228.
- S. Gratz-Kelly, “Integration of smart materials in smart textiles,” SmartX Innovation Hub Community webinar, online, Dec. 2023.
- S. Gratz-Kelly, “Integration von smarten Materialien in Textilien - Perspektiven für intelligente Datenauswertung und Ansteuerung,” Smarttex Symposium Smart Textiles & KI, Weimar, Germany, Dec. 2023.

- S. Gratz-Kelly, D. Philippi, A. Meyer, D. Bruch, S. Nalbach, and P. Motzki, "Technology demonstrator of dielectric elastomer sensors with different design variants and sensing quantities," EuroEAP 2023 Eleventh International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers, Bristol, UK, Jun. 2023.
- S. Gratz-Kelly, T. Krüger, S. S. Seelecke, G. Rizzello, and G. Moretti, "A self-sensing approach for multi-mode dielectric elastomer actuator-loudspeaker devices," in *Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXV*, J. D. Madden, I. A. Anderson, and H. R. Shea, Eds., SPIE, Apr. 2023, p. 8. doi: 10.1117/12.2657884.
- S. Nalbach, „Smarte Materialien: Antriebe für die druckluftfreie Produktion – Hocheffizientes Kühlen und Heizen durch Elastokalorik“ – Invited Talk: 10. Energiekongress, Saarbrücken, Germany, Sept. 2023.
- S. Seelecke, D. Bruch, M. Jank, J. Kobes, and P. Motzki, "Technology Demonstrator of Dielectric Elastomer Actuator Systems with Different Shapes and Preload Configurations," EuroEAP 2023 Eleventh International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers, Bristol, UK, Jun. 2023.
- S. Seelecke, J. Neu, S. Croce, J. Hubertus, G. Schultes, and G. Rizzello, "Dielectric Elastomer Cooperative Microactuator Systems—DECMAS," *Actuators*, vol. 12, no. 4, p. 141, Mar. 2023, doi: 10.3390/act12040141.
- S.-M. Kirsch, F. Welsch, L. Ehl, F. Louia, S. Seelecke, and P. Motzki, "Systematic Thermo-Mechanical Validation of Numerous Tensile-Loaded NiTi Wire Bundles Used for Elastocaloric Heating and Cooling," in *ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-110889.
- S.-M. Kirsch, F. Welsch, S. Seelecke, and P. Motzki, "SMA Micro-Wire Bundle With High Cyclic Actuation Frequency," in *ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, Sep. 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-110997.
- Schneider, Marco; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2023): Einsatz eines sensitiven Roboters zur kraftgeregelten Bearbeitung von Freiform-Oberflächen in der Keramikindustrie. In: Burkhard Corves und Mathias Hüsing (Hg.): 15. Kolloquium Getriebe-technik. 13.-15. September 2023. 1. Auflage. Aachen: Verlag Mainz.
- Schnur, Christopher; Dorst, Tanja; Deshmukh, Kapil; Zimmer, Sarah; Litzemberger, Philipp; Schneider, Tizian et al. (2023): PIA - A Concept for a Personal Information Assistant for Data Analysis and Machine Learning of Time-Continuous Data in Industrial Applications. *Ing.grid Volume 1 Issue 2* 2023. In: *Ing.grid 1 (2)*. DOI: 10.48694/inggrid.3827.
- Schupp, Florian; Wöhner, Heiko (Hg.) (2023): *Digitalisierung im Einkauf*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Schüppstuhl, Thorsten; Tracht, Kirsten; Fleischer, Jürgen (Hg.) (2023): *Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2022*. 1st ed. 2023. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer.
- Schwebke, S. und Schultes, G. Antiferromagnetic chromium thin films as piezoresistive sensor materials, *J. App. Phy.* 132(18), p. 185303.
- T. A. Chowdhury, "Textile integrated sensor analysis for biometric data collection and processing - human digital twin in reality," *Smarttex Symposium Smart Textiles & KI*, Weimar, Germany, Dec. 2023.
- T. Gorges, P. Molitor, R. Britz, Y. Goergen, and P. Motzki, "Technology Demonstrator Platform for Fast-Switching Decoupled Antagonistic SMA Actuators," in *Proceedings of ASME 2023 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, SMASIS 2023*, 2023. doi: 10.1115/SMASIS2023-111249.
- T.P. Willian, B. Fasolt, P. Motzki, G. Rizzello, and S. Seelecke, "Effects of Electrode Materials and Compositions on the Resistance Behavior of Dielectric Elastomer Transducers," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 2, p. 310, Jan. 2023, doi: 10.3390/polym15020310.
- T. Schneider, T. Dorst, C. Schnur, P. Goodarzi, A. Schütze, Einfluss von Datenqualität, Domain Shift und Messunsicherheit auf die Vorhersagequalität smarter Sensorsysteme (Influence of data quality, domain shift, and measurement uncertainty on the prediction quality of smart sensor systems), *tm – Technisches Messen*, 2023, 90(S1), 33-36, doi: 10.1515/teme-2023-0087, 2023.
- Tajbeed Chowdhury, *Textile integrated sensor analysis for biometric data collection and processing - human digital twin in reality*, *Symposium Smart Textiles & KI*, 2023.
- Tanja Dorst, Maximilian Gruber, Anupam P. Vedurmudi, Daniel Hutzschenreuter, Sascha Eichstädt, Andreas Schütze, A case study on providing FAIR and metrologically traceable data sets, *Acta IMEKO Vol. 12, No. 1 (2023)*, doi: 10.21014/actaimeko.v12i1.1401, 2023. Tanja Dorst, *Measurement uncertainty in machine learning - uncertainty propagation and influence on performance*, Dissertation, Universität des Saarlandes, Fakultät NT, 2023, 2023.
- Tanja Dorst, Tizian Schneider, Sascha Eichstädt, and Andreas Schütze, Influence of measurement uncertainty on machine learning results demonstrated for a smart gas sensor, *J. Sens. Sens. Syst.*, 12, 45–60, 2023, doi: 10.5194/jsss-12-45-2023, 2023.
- Tizian Schneider, Condition monitoring and process control with magnetic sensors and machine learning, 16. XMR-Symposium „Magnetoresistive Sensors and Magnetic Systems“, Wetzlar, March 8-9, 2023, 2023.
- Tizian Schneider, Impulsvortrag Trainingsdaten für industrielles Machine-Learning, Digitale Fachkonferenz „Forschung für Edge Computing 2023“, 24. Januar 2023, 2023.

- Tizian Schneider, KI für KMU, AMA Mitgliederversammlung 2023, eingeladener Vortrag, Nürnberg, 10.05.2023, 2023.
- Y. Robin, J. Amann, P. Goodarzi, T. Schneider, A. Schütze, C. Bur, Comparison of Explainable Machine Learning Algorithms for Optimization of Virtual Gas Sensor Arrays, IEEE I2MTC 2023, International Instrumentation and Measurement Technology Conference, May 22 - 25, 2023, Kuala Lumpur, Malaysia, 2023.
- Y. Robin, J. Amann, T. Schneider, A. Schütze, C. Bur, Comparison of Transfer Learning and Established Calibration Transfer Methods for Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors, Atmosphere 2023, 14(7), 1123, doi: 10.3390/atmos14071123, 2023.
- Zeiner, M.; Hall, T.; Frank, A., Bähre, D., "Influence of the flushing type on the recording of material characteristics in electrochemical machining", Proceedings of the 19th International Symposium on Electrochemical Machining Technology- INSECT 2023.
- Zimmer, Sarah (2023): Development of a workflow for the aggregation and usage of data in Digital Twins of adaptable assembly systems. MHI Fachkolloquium 2023. MHI. Online, 22.08.2023.

# Interesse an...

praxisnaher Forschung und  
Promotion?

Dann haben wir Interesse an dir!

Unsere Stellenanzeigen findest du auf  
[www.zema.de](http://www.zema.de)

Wir freuen uns auch auf  
Initiativbewerbungen!

Ze/MA

**Herausgeber:**

Zentrum für Mechatronik- und Automatisierungstechnik gGmbH  
Eschberger Weg 46  
66121 Saarbrücken  
+49 (0) 681 85787 – 0  
www.zema.de  
info@zema.de

**Geschäftsführer:**

Prof. Dr. Susan Pulham  
Prof. Dr.-Ing. Dirk Bähre  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andreas Noss

**Vorsitzender des Aufsichtsrats:**

Jürgen Barke (Minister für Wirtschaft, Innovation, Digitales und Energie)

**Handelsregister:**

Saarbrücken HR B 17885

**Redaktion und Gestaltung:**

Verena Milde  
Sophie Laguérie

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

© ZeMA gGmbH 2024

ZeMA