

Jahresbericht 2024

Forschung. Innovation.
Zukunft.



Jahresbericht 2024

Forschung.
Innovation. Zukunft.

www.zema.de

Ze/MA

Liebe Leserinnen und Leser,

Sie finden im folgenden Jahresbericht einen Überblick über die vielfältigen Aktivitäten am ZeMA im Jahr 2024.

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. Stets haben wir dabei innovative Produktionssysteme im Blick.

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, auch im Jahr 2024 ein wichtiges Tätigkeitsfeld gewesen, 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 2024 begrüßen durften. Wir danken den Beschäftigten des ZeMA, unseren Partnerinnen und Partnern, Kundinnen und Kunden sowie den Gesellschafterinnen und Gesellschaftern für die sehr gute Zusammenarbeit im Jahr 2024. Wir wünschen allen Interessierten viel Spaß beim Lesen des vorliegenden Jahresberichts und freuen uns über Kontakte und Rückmeldungen.



Prof. Dr. Susan Pulham
Geschäftsführerin



Prof. Dr.-Ing. Paul Motzki
Geschäftsführer

Inhalt

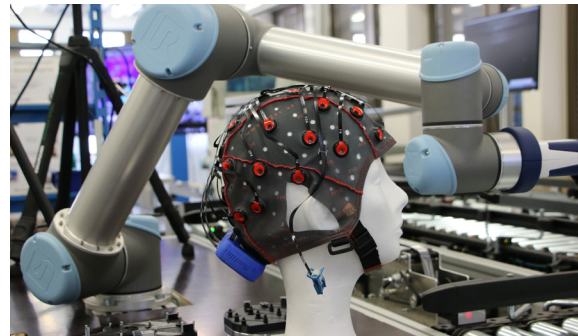
Biomechatronische Systeme	5
Immersive Mixed Reality - Multi-Immerse	9
Smart Sensors	12
VProSaar – Verteilte Produktion für die saar-ländische Automobilindustrie: Schraubprozess	16
Fertigungssysteme	21
iFa-SMat - innovative Fertigungsverfahren und -automatisierung für die Produktion von Smarten Materialsystemen	25
Industrial Security	28
Cyber Awareness Demonstrator – Security Awareness für KMU	31
Montagesysteme	35
ViSAAR – Virtuelle Arbeitsgestaltung & Technologien für Innovationen im Strukturwandel	41
Smarte Materialsysteme	48
SMArtCool – Effiziente Klimatechnik für die E-Mobilität	54
Daten zum Jahr	62
Saarländisches Gütesiegel „Familienfreundliches Unternehmen“ für das ZeMA: Gemeinsam Zukunft gestalten	63
Kontakt	67

Biomechatronische Systeme

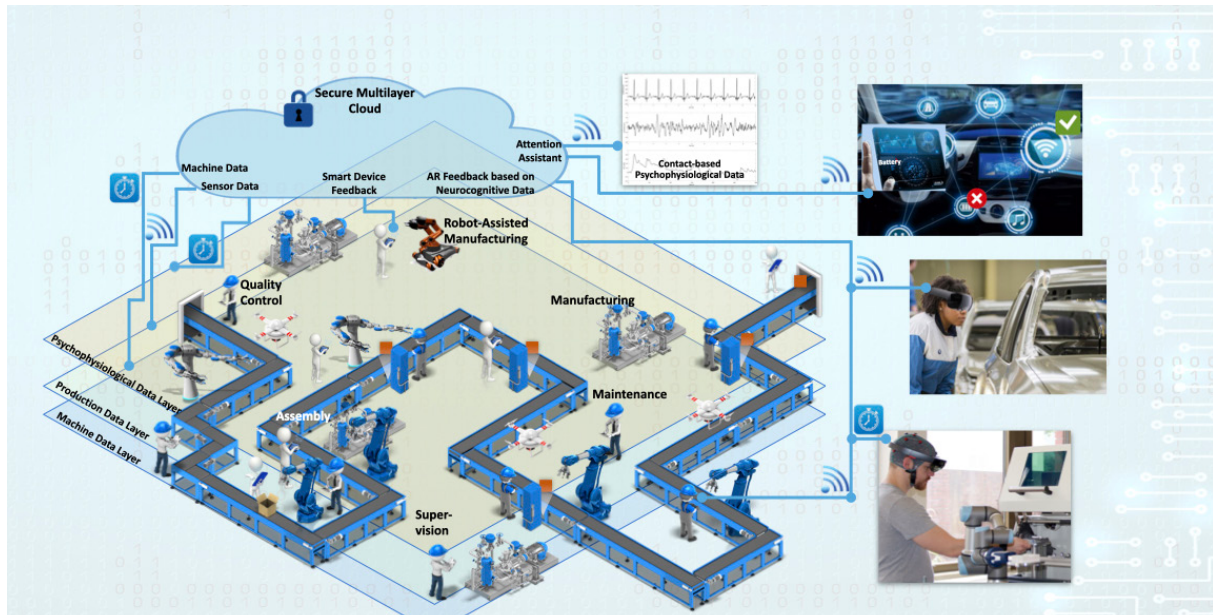
Forschungsbereich Biomechatronische Systeme



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

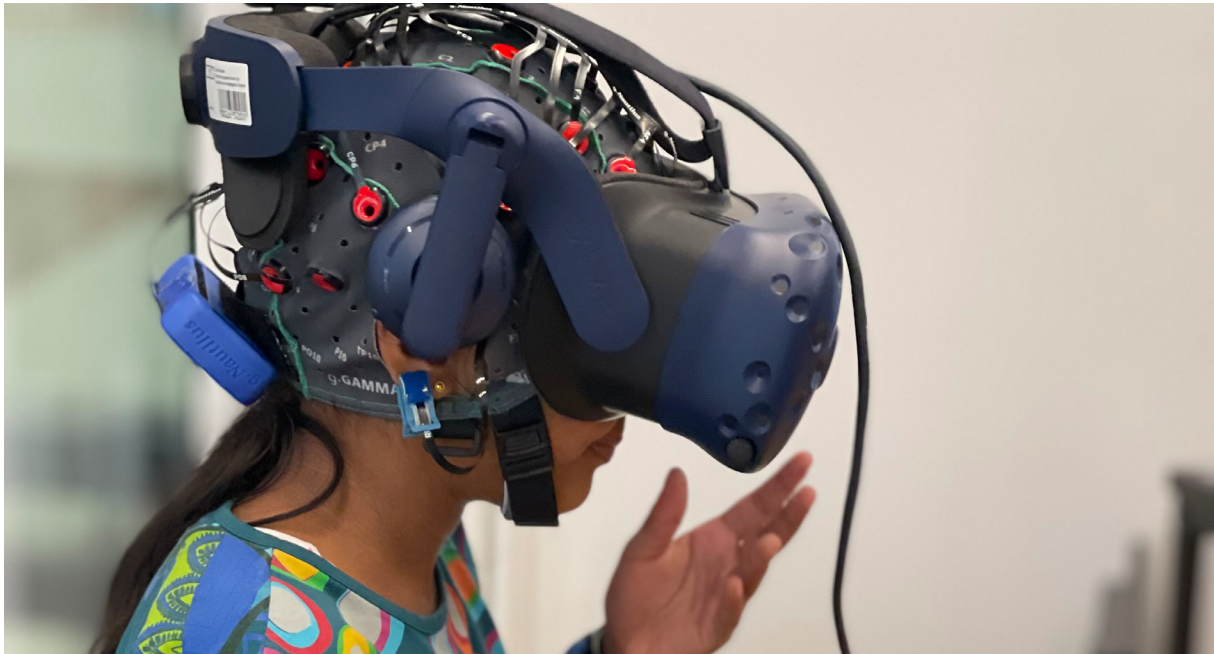
steht das Zentrum für die Verknüpfung und Umsetzung neurotechnologischer Forschung in Industrie und Gesellschaft. Das ZeMA und seine Kooperationspartner verfolgen im CDNS dabei das Ziel, Systeme zur neuroergonomischen, also „hirngerechten“ Interaktion zwischen Mensch und Maschine bzw. Mensch und empathischem 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).



Immersive Mixed Reality - Multi-Immerse

Immersive Mixed Reality umfasst Technologien, die das Eintauchen in eine virtuelle Umgebung und Interaktionen mit dieser Umgebung ermöglichen. Multimodale Technologien gehen über standardmäßige visuelle Systeme hinaus, indem diese durch akustische und haptische Immersion erweitert werden. Unter Zuhilfenahme und der Weiterentwicklung multimodaler Mixed Reality Technologien zielt das Projekt Multi-Immerse auf eine realistische Emulation menschlicher Nähe durch die multisensorische Optimierung immersiver, virtueller Besuche. Solche Besuche sollen die Therapie schwer erkrankter Kinder und Jugendlicher in den Kinderkliniken des Universitätsklinikums des Saarlandes unterstützen.

Schwer erkrankten Kindern, die aus therapeutischen Gründen keinen Kontakt zu Angehörigen haben dürfen,

soll die Möglichkeit geboten werden, ihre Eltern bzw. Bezugspersonen in virtuellen, realitätsnahen Welten treffen zu können. Realitätsnah umfasst in Multi-Immerse insbesondere ein emotionsgetreues Erlebnis. Durch immersive Technologien mit den Sinnesmodalitäten Sehen, Hören und Fühlen soll trotz Isolation eine gewisse Realitätsnähe hergestellt werden. Konkret bedeutet dies, dass im Ronald McDonald Haus an der Universitätsklinik Homburg ein Raum für Eltern eingerichtet wird, ausgestattet mit VR-Technologie, Body-Scanner, kamerabasierten Messmethoden etc. Im isolierten Klinik-Bereich entsteht der Kontaktraum für Kinder bzw. Jugendliche. Dort wird, unterstützt durch Smarte Materialien und Roboter der menschliche Kontakt emuliert. Personen in beiden Räumen treffen sich in einer virtuellen Realität, in der die menschliche Nähe über die beschriebenen Modali-

täten hergestellt wird.

Besondere Herausforderungen sind dabei die Erstellung eines cyberphysischen Gesamt-Abbilds, insbesondere die sichere und echtzeitfähige Kommunikation zwischen den einzelnen verteilten agierenden Personen und Räumen. Kooperationspartner des ZeMA kommen aus der medizinischen Fakultät der

UdS (SNNU - Systems Neuroscience & Neurotechnology Unit, Neonatologie, Kinder- und Jugendpsychiatrie), aus der Informatik der UdS (Human-Computer Interaction and Interactive Technologies Lab), der htw saar (Embedded Robotics Lab) und dem DFKI.

Laufzeit:

01.10.2022 - 31.03.2026



Kontakt:

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

- Chowdhury, T. A., Gratz-Kelly, S., Wagner, E., Motzki, P., & Lehser, M., Ensemble Learning Approach for Advanced Predictive Modelling of Biometric Data and Action States with Smart Sensing, IEEE Access, 2024.
- Tajbeed A. Chowdhury, Sebastian Gratz-Kelly, Giacomo Moretti, Eric Wagner, Paul Motzki, Martina Lehser, A novel fusion method for intense heat detection and localization solely based on surface temperature with multimode DEA feedback, SPIE Smart Structures + Nondestructive Evaluation, 2024.
- Tajbeed Chowdhury, Textile integrated sensor analysis for biometric data collection and processing - human digital twin in reality, Symposium Smart Textiles & KI, 2023.
- Tajbeed A. Chowdhury, Sebastian Gratz-Kelly, Eric Wagner, Paul Motzki, Martina Lehser, A Novel Approach for Optimizing Muscle Activation Level and Localization with Multi-Mode DEA Feedback Capability, Proceedings of ASME 2024 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, 2024.
- Tajbeed A. Chowdhury, Eric Wagner, Paul Motzki, Martina Lehser, Enhanced Transfer Learning Algorithm with Zero-Shot Components for Dermatological, Diagnosis Using the HAM10000 Dataset, SPIE Photonics West, approximate publication month- March 2025.
- Tajbeed A. Chowdhury, Eric Wagner, Paul Motzki, Martina Lehser, Prognosis and predictive modeling of hand movements in industrial tasks using, StretchSense glove and digital twin simulations-, SPIE SS+NDE, approximate publication month- May, 2025.
- Vladimir Naumov, Giovanni Soleti, Yannik Goergen, Michele A. Mandolino, Eric Wagner, Gianluca Rizzello, Paul Motzki, Kinematic Modeling and Self-Sensing of a Shape Memory Alloy Wire-Driven Continuum Robot, IEEE RoboSoft, 2025.

Smart Sensors

Forschungsbereich Smart Sensors



PSM – Physikalische Sensorik und Mechatronik

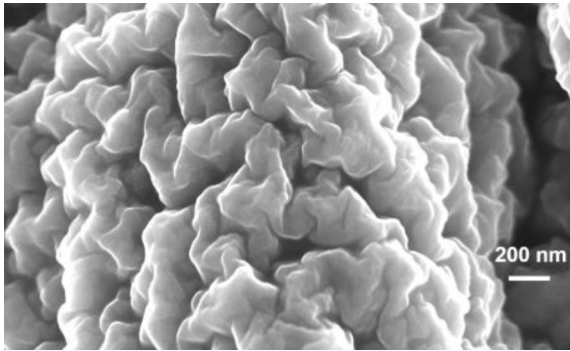
Die Gruppe erforscht neuartige nanoskalige Funktionsdünnschichten. Sie untersucht die physikalischen Eigenschaften der Dünnschichten sowie deren Anwendbarkeit im Bereich der Sensorik, der dielektrischen Elastomere und in der Medizintechnik. Die Expertise teilt sich dabei auf 4 Schwerpunkte auf: (1) Dünnschichterzeugung mittels Sputtertechnik, (2) deren Strukturierung mittels Ultra-Kurz-Puls-Laser sowie (3) deren Kontaktierung und (4) die Analytik, u.a. mittels Rasterelektronenmikroskop.



Data Engineering and Smart Sensors

Die Arbeitsgruppe Data Engineering and Smart Sensors beschäftigt sich mit der Analyse von Sensor- und Maschinensignalen mittels maschinellem Lernen (ML), speziell für das Condition Monitoring als auch die prozessbegleitende Qualitätskontrolle.

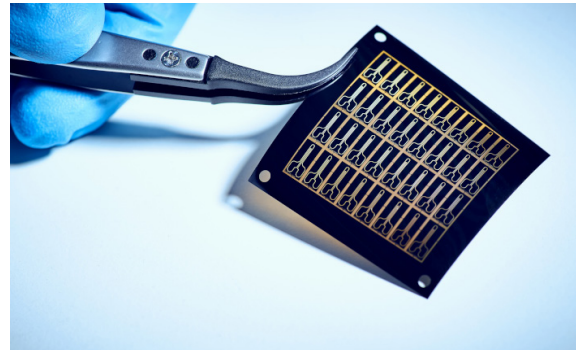
Dabei decken wir von der Daten- und Versuchsplanung über das Training bis zur Integration alle Schritte ab und sind der ideale Partner für industrielle ML-Anwendungen.



Dünnschichtelektroden für dehnbare und flexible Elektronik

In diversen Anwendungen werden Elektroden mit einer hohen mechanischen Flexibilität und Dehnbarkeit benötigt. Zu diesem Zweck entwickeln wir metallische hochdehnbare Dünnschichtelektroden. Auf ein vorgespanntes elastisches Grundmaterial (Substrat) wird mittels Sputtern eine etwa 10 nm dünne Metallschicht aufgebracht. Nach der Beschichtung wird das Substrat wieder entspannt. Es zieht sich auf seine ursprünglichen Maße zurück. Dadurch wird die Metallelektrode gestaucht und folglich aufgefaltet. Es entsteht eine gewellte Oberfläche (engl. Wrinkles). Treten später in der Anwendung mechanische Dehnungen auf, dienen diese Wrinkles als mechanischer Puffer und sie werden lediglich entfaltet. Die Funktionalität der dünnen Elektrode bleibt dabei erhalten. Eine gewünschte Elektrodengeometrie kann mithilfe eines Ultra-Kurz-Puls Lasers herausgearbeitet werden.

Diese dehnbaren leitfähigen Schichten finden ihren Einsatz z. B. als Elektrode für dielektrische Elastomere, eine relative neue Klasse von Sensoren und Aktoren. Weiterhin erforschen wir die Anwendung der dehnbareren Elektroden im Kontext der Medizin- und Biotechnologie sowie im Bereich der faserförmigen Sensorik und Aktorik.



Dünnschichtentwicklung für zukünftige Sensorgenerationen

Lassen sich bewährte Technologien für Druck- und Kraftsensoren und deren Funktionsschichten 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 verschiedene physikalische Größen wie Druck, Kraft, oder Temperatur. 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 sensornahe 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 Merkmale zurückführen.

Des Weiteren wird an Methoden gearbeitet, um die entwickelten ML-Algorithmen auf Ressourcenlimitierter 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 und neue Perspektiven für das Edge-Computing eröffnet.



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 oder Qualitätsmerkmale, sondern auch den typischen Betriebsmodus der jeweiligen Maschine. Wird der Betriebsmodus aber verändert, führt das zur Unzuverlässigkeit des ML-Modells. 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 klassischer ML-Methoden ohne neuronale Netze. Dieser Ansatz ermöglicht es uns, sowohl die wichtigsten Verschleißsymptome einer Maschine und Qualitätsmerkmale eines Prozesses aufzuzeigen als auch jede individuelle Vorhersage der ML-Modelle auf verständliche Effekte bzw. Zustände zurückzuführen.



VProSaar – Verteilte Produktion für die saarländische Automobilindustrie: Schraubprozess

Problemstellung:

Der fortschreitende Strukturwandel – getrieben durch Dekarbonisierung, Elektrifizierung und weitere Transformationsprozesse – stellt die Automobilindustrie vor tiefgreifende Herausforderungen. Um wettbewerbsfähig zu bleiben und insbesondere die Position kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) zu sichern, bedarf es sowohl der Weiterentwicklung bestehender als auch der Schaffung neuer, innovativer Produkte und Services. Dabei gilt es, sich flexibel auf technologische Herausforderungen wie häufige Prozess- und Produktinnovationen, Anforderungen an Ressourcen- und Energieeffizienz sowie optimierte Maschinenauslastung einzustellen. Gleichzeitig müssen sozioökonomische Veränderungen wie Nachfrageschwankungen, Globalisierung und demografischer Wandel bewältigt werden. Zentrale Erfolgsfak-

toren für die Zukunftsfähigkeit industrieller Produktionssysteme sind eine hohe Wandlungsfähigkeit sowie rekonfigurierbare Produktionsumgebungen und -anlagen. Ergänzend dazu rückt die Mitarbeiterzentrierung in den Fokus: Produktionsstatus und -fähigkeiten sollen nicht nur intern, sondern auch unternehmensübergreifend transparent kommunizierbar sein. Technologische Innovationen sowie die verstärkte Vernetzung innerhalb (vernetzte Produktion) und außerhalb (verteilte Produktion) der Unternehmen schaffen hierfür die notwendigen Voraussetzungen – insbesondere für KMU im globalen Wettbewerb.

Im Projekt VProSaar („Verteilte Produktion für die saarländische Automobilindustrie“) wird dieses Konzept exemplarisch umgesetzt. Ziel ist die Entwicklung von Grundlagen und Technologien für eine verteilte, vernetzte und menschen-

zentrierte Produktion. Ein Teilprojekt widmet sich dem Verschraubungsprozess – einem zentralen Element vieler Montageprozesse – und dem damit verbundenen Bit-Verschleiß. Bislang wurde die Qualität der Verschraubung erst nach Abschluss des Prozesses überprüft, was bei fehlerhaften Verschraubungen zu beschädigten Werkstücken und Produktionsausfällen führen konnte. Um dem entgegenzuwirken, wird nun angestrebt, Unregelmäßigkeiten bereits während des Verschraubungsvorgangs zu erkennen und Mitarbeitende in Echtzeit zu informieren. Die frühzeitige Identifikation von Verschleißsymptomen trägt wesentlich zur Fehlervermeidung, Ausschussreduktion und Effizienzsteigerung bei. Sie dient auch als anschauliches Beispiel für die Umsetzung adaptiver, digital vernetzter und mitarbeiterzentrierter Produktionslösungen im Sinne des Strukturwandels der Automobilindustrie.

Zielsetzung:

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Grundlagen und Technologien für eine verteilte, vernetzte und menschen-zentrierte Produktion zu erforschen, um eine höhere Wandlungsfähigkeit und Resilienz in der Wirtschaft sicherzustellen. Um die Übertragbarkeit der entwickelten Ansätze zu gewährleisten, werden zentrale Bausteine adressiert:

- Standardisierung von Schnittstellen, Datenaustauschformaten und Semantiken zur Vereinfachung des Datenaustauschs und zur Förderung eines gemeinsamen Datenverständnisses
- Kommunikation und Vernetzung von Produktionsressourcen zur automatisierten horizontalen und vertikalen Informationsübermittlung
- Betriebs- und Angriffssicherheit der

vernetzten Produktionsressourcen

- Wandlungsfähigkeit und Resilienz von Produktionssystemen, insbesondere unter Einbeziehung von Robotersystemen als zentrale Komponenten der Prozessautomatisierung
- Organisatorischer Umgang mit veränderten Produktionssystemstrukturen sowie der Wandel von Kompetenzprofilen der Mitarbeitenden
- Modellierung von Teil- und Gesamtsystemen, um Transparenz zu schaffen und Optimierungspotenziale zu identifizieren

Im Kontext dieser Zielsetzung wird in einem Teilbereich des Vorhabens der Verschleißprozess von Schrauber-Bits untersucht. Hierbei liegt der Fokus auf dem Einsatz interpretierbarer Machine-Learning-Modelle, um den Verschraubungszustand in Echtzeit zu überwachen und zu klassifizieren.

Vorgehen:

Ausgehend von einem gemeinsamen, forschungsbereichsübergreifenden Ansatz werden im Projekt verschiedene Teilentwicklungen vorangetrieben. Diese sind als Teilmodule eines Gesamtdemonstrators zu verstehen. Schwerpunkte liegen dabei in den Bereichen Produktentstehung und Fertigung, agile und adaptive Produktionsressourcen, adaptive Robotik, Montagesystemplanung und -optimierung, Produktionssystemorchestrierung, Multisensorsysteme & Datenfusion sowie Industrial Security. Die Arbeitsgruppe Multimodal Smart Sensors erarbeitet beispielhaft einen neuen Ansatz zur Verschleißerkennung im Sinn einer Zustandsbewertung für die vorausschauende Wartung. Ausgewählt wurde ein Schrauber, der im Montageprozess eingesetzt wird. Zur Erkennung des Verschleißzustandes des Bits wurde eine Testvorrichtung entwi-

ckelt bestehend aus verschiedenen Schraubgewinden, einem Beschleunigungs- und einem Kraftsensor. Dadurch können Kraft- und Vibrationsdaten des Schraubprozesses aufgezeichnet werden, zusätzlich können auch Daten aus dem Schrauber selbst genutzt werden. Um anhand dieser Daten den Verschleißzustand vorherzusagen, werden ML-Methoden eingesetzt, die sich aus Merkmalsextraktion, Merkmalsselektion sowie Klassifikations- bzw. Regressionsalgorithmen zusammensetzen. So können robuste und physikalisch interpretierbare Merkmale zur Bewertung identifiziert werden. Diese ermöglichen es Anwendern, kritische Prozessabweichungen frühzeitig zu erkennen und Parameter unabhängig zu optimieren. Dadurch wird ein wichtiger Beitrag zur Qualitätssicherung und zur Steigerung der Effizienz in komplexen, industriellen Produktionsumgebungen geleistet – im Einklang mit den Zielen einer wandlungsfähigen und menschenzentrierten Produktion.

Ergebnisse / Projektstand:

Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten des ZeMA werden durch die Festlegung von Standards im Bereich der vernetzten Produktion sowie durch den Aufbau eines repräsentativen Demonstratorszenarios gestärkt. Die technische Verifizierung der Forschungsergebnisse durch deren praktische Umsetzung innerhalb eines Demonstrators auf Industriestandard bildet dabei die Grundlage für den Nachweis der Anwendbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Branchen.

Dieser Demonstrator dient nicht nur als technisches Validierungsinstrument, sondern auch als zentrale Plattform für Lehre und Weiterbildung. Schulungen und Seminare zu Themen wie vernetzte Produktion, Aufbau digitaler Zwillinge,

Datensicherheit und -qualität sowie virtuelle Inbetriebnahme und energieeffizienter Betrieb von Anlagen können praxisnah vermittelt werden. In Kooperation mit Partnern wie dem automobilen Netzwerk Saarland lassen sich zudem innovative Weiterbildungsangebote und Transferformate entwickeln.

Die hier erarbeiteten Ergebnisse können direkt in laufenden und nachfolgenden Transferprojekten genutzt werden. So ermöglichen etwa Initiativen wie das Mittelstand-Digital Zentrum Saarbrücken oder das Regionale Zukunftszentrum für Künstliche Intelligenz (RZzKI) die zielgerichtete Weitergabe wissenschaftlicher Erkenntnisse an regionale Unternehmen, insbesondere an kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

Ein konkretes Anwendungsbeispiel stellt die Entwicklung eines Algorithmus zur Überwachung des Bitverschleißes im Verschraubungsprozess dar. Dieser wurde in einer Testumgebung erfolgreich entwickelt und umfassend getestet. Im nächsten Schritt wird der Algorithmus dahingehend erweitert, dass der Verschleißgrad quantifiziert und ein bevorstehender Ausfall frühzeitig vorhergesagt werden kann – noch bevor es zu kostenintensiven Stillständen oder Qualitätsproblemen kommt. Dies stärkt nicht nur die technische Leistungsfähigkeit des Gesamtdemonstrators, sondern unterstreicht auch dessen Potenzial für den industriellen Einsatz und Wissenstransfer. Die entwickelten ML-Methoden lassen sich zudem auf ähnliche Anwendungsfälle übertragen und sollen zukünftig auch direkt in dezentralen Systemen eingesetzt werden (Edge Computing).

Laufzeit:

01.10.2023 – 30.09.2026



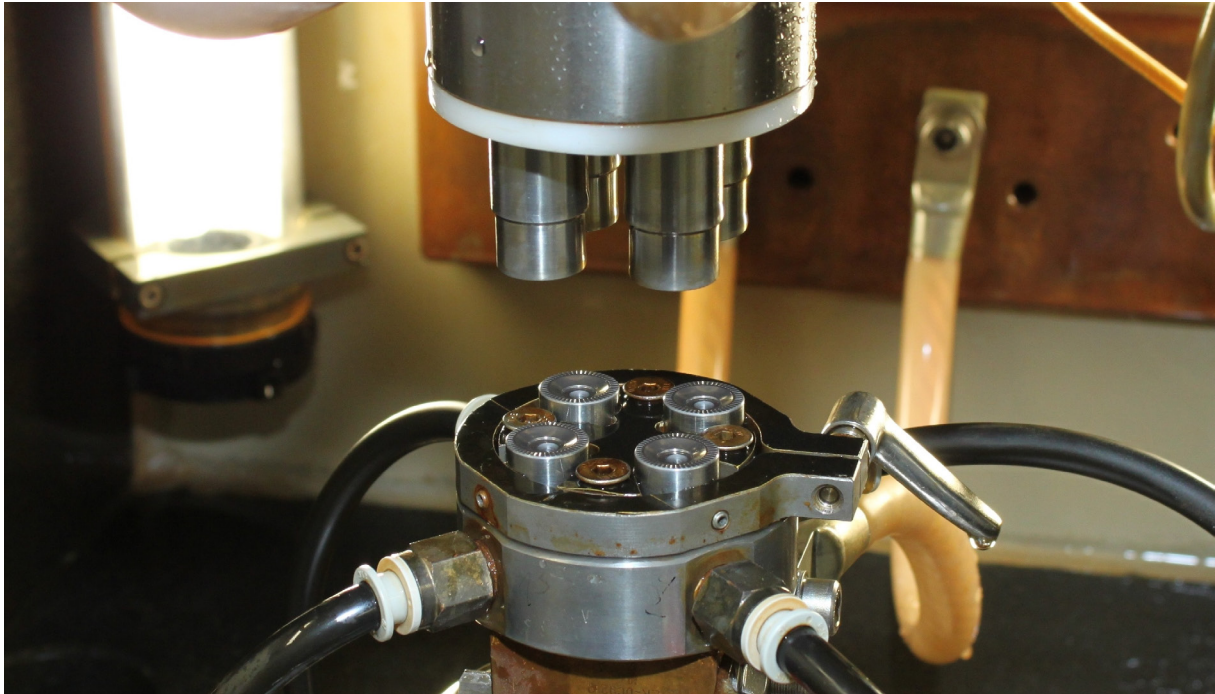
Kontakt:

Prof. Dr. Andreas Schütze
+49 (0) 681 302 – 4663
andreas.schuetze@zema.de

- Pültz, Sebastian; Bley, Torsten; Schütze, Andreas; Schneider, Tizian (2024): Erweiterung eines Wasserstoff-Hochdruckprüfstands zur Kalibrierung von Wasserstoffqualitäts-sensoren mit Gasgemischen unterschiedlicher Schadstoffkonzentration, 22. GMA/ITG Fachtagung Sensoren und Messsysteme 2024, 11. und 12. Juni 2024, Nürnberg, S. 204-208, doi: 10.5162/sensoren2024/B5.4.
- Pültz, Sebastian; Bley, Torsten; Schneider, Tizian; Schütze, Andreas (2024): Qualification of an IR test bench for Hydrogen quality at high pressure, I2MTC 2024 - Instrumentation and Measurement for a Sustainable Future, May 20-23, 2024, Glasgow, Scotland, doi: 10.1109/I2MTC60896.2024.10560872.
- Schauer, Julian; El Moutaouakil, Houssam; Goodarzi, Payman; Schnur, Christopher; Schütze, Andreas (2024): Interpretable Machine Learning Algorithm for Bit Damage Detection in a Screwing Process based on Accelerometers, 17. Dresdner Sensor-Symposium, 25. - 27. November 2024, Dresden.
- Schneider, Tizian (2024): On Automatic Machine Learning for Industrial Condition Monitoring, Dissertation, Universität des Saarlandes, Fakultät NT.
- Schnur, Christopher; Schmidt, Daniela; Becker, Daniel; Blum, Anne; Schütze, Andreas; Schneider, Tizian (2024): KI-Projekte erfolgreich umsetzen: Eine Checkliste für den Mittelstand, Zenodo, doi: 10.5281/zenodo.10069539.
- Schütze, Andreas; Schneider, Tizian (2024): Machine Learning for Industrial Condition Monitoring - how to?, Tutorial, I2MTC 2024 - Instrumentation and Measurement for a Sustainable Future, May 20-23, 2024, Glasgow, Scotland.

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.

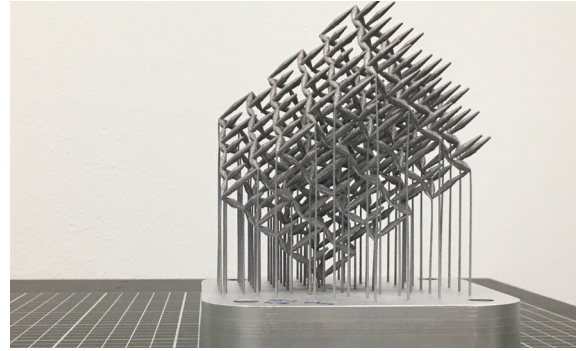
Er beschäftigt sich speziell mit:

- 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 Gefügestand 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.

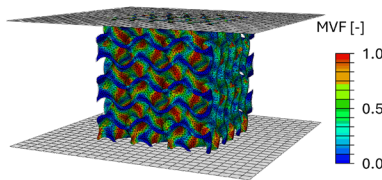


Abbildung 1: Simulation einer Gyroidstruktur unter kompressiver Belastung. Darstellung der in Martensit umgewandelten Bereiche.

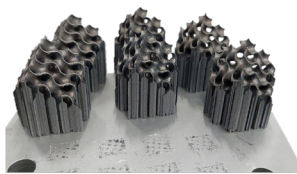


Abbildung 2: Additiv gefertigte Gyroidstrukturen aus AlSi10Mg.

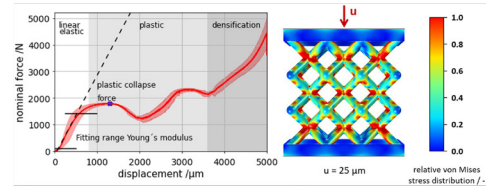


Abbildung 3: Kraft-Verschiebungsdiagramm der mit schallunterstützung gefertigten Gitterstrukturen (links) mit simulativer Visualisierung der primär deformierenden Bereichen (rechts). [Kollmannsperger et al.]

iFa-SMat - innovative Fertigungsverfahren und -automatisierung für die Produktion von Smarten Materialsystemen (Teilprojekt: Additive Fertigung innovativer Strukturen)

Die Ziele dieses Projektes - speziell im Bereich der Fertigungstechnologien - liegen in der Erweiterung der Forschungsexpertise in der additiven Fertigung innovativer Strukturen und der Verarbeitung intelligenter Materialien im pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzen.

Als innovative Strukturen wurden in diesem Kontext ausgewählte dreifach periodische Minimalflächen, kurz: TPMS-Strukturen, simulativ für eine Anwendung in der Elastokalorik evaluiert.

Diese Flächen werden durch unterschiedlich komplexe Kombinationen von trigonometrischen Funktionen im dreidimensionalen Raum erzeugt. Als Beispiel setzt sich die Gyroidstruktur aus folgendem Zusammenhang zusammen:

$$\sin(x) \cos(y) + \sin(y) \cos(z) + \sin(z) \cos(x) = c$$

Hier sind x, y und z die drei Raumrichtungen und c repräsentiert die Wandstärke der erzeugten Struktur. Die so erzeugten Strukturen versprechen durch ihre stetigen und glatten Oberflächen ohne Kerben und ihre mathematische Beschreibbarkeit, eine hohe Lebensdauer und eine gute Anpassungsfähigkeit an die geforderten Zielgrößen.

Insbesondere durch das, im Vergleich zu Standardgeometrien, sehr hohe Oberflächen/Volumenverhältnis in Kombination mit der Durchströmbarkeit zellulärer Werkstoffe, haben TPMS-Strukturen ein deutlich höheres Potential die gewonnene Wärme mit einem umgebenden Medium auszutauschen. Im simulativen Vergleich der energetischen Effizienz zeigten die untersuchten Strukturen bereits **eine gute Performance, welche**

durch geometrische Optimierungen noch deutlich verbessert werden kann.

Die additive Fertigung der ausgewählten TPMS-Strukturen Gyroid, Diamond, Schwarz und FischerKochS konnten am Legierungssystem AlSi10Mg erprobt werden. Dabei wurden Faktoren wie Baustrategie für dünnwandige Bauteile, Ausrichtung der Bauteile zur Minimierung der Downskinflächen und die Strategie zum Stützen der Bauteile während der Fertigung untersucht.

Zur Steigerung der Lebenserwartung, wurde die Reduktion von Volumendefekten und die Verbesserung der Oberflächengüte, welche durch die Erforschung von Schallunterstützung im additiven Fertigungsprozess am Lehrstuhl für Fertigungstechnik erzielt wurde, auf Gitterstrukturen übertragen. Volumendefekte liegen bei dünnwandigen Strukturen immer nah an der Oberfläche und sind zusätzlich zu Defekten auf der Oberfläche Keimstellen für Ermüdungs-

risse.

Die zyklischen Versuche an den gefertigten Gittern wurden mit akkustischen zerstörungsfreien Prüfverfahren überwacht, wobei herausgefunden wurde, dass die untersuchten Gitter vor dem Versagen Frequenzen der strukturabhängigen Eigenmoden emittieren. Dies eröffnet eine simple, verlässliche und kostengünstige Überwachungsmöglichkeit für zelluläre Strukturen in der industriellen Anwendung in einem elastokalorischen Klimagerät.

Die Fertigung und somit die Übertragung der gesammelten Kenntnisse auf innovative NiTi-Legierungen, konnte aufgrund großer Hürden bei der Materialbeschaffung noch nicht in die Praxis umgesetzt werden, wurden allerdings durch theoretische Arbeiten vorbereitet.

Laufzeit:

01.10.2022-30.09.2024

Kostenneutrale Verlängerung bis 31.12.2025



Kontakt:

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

- Hall, T., Zeiner, M., Frank, A., Bähre, D., “Generative manufacturing processes and process chains for the prototype production of tools in PECM (Rapid tooling, RT-PECM)”, 20th International Symposium on Electrochemical Machining Technology- INSECT 2024.
- Zeiner, M., Frank, A., Hall, T., Bähre, D., “Influence of an inner flushing concept on the recording of material characteristics in electrochemical machining of Nickel 201”, 20th International Symposium on Electrochemical Machining Technology- INSECT 2024.
- Frank, A., Hall, T., Zeiner, M., Bähre, D., “Study of Pulse Electrochemical Machining on Conventionally and Additively Manufactured Inconel 718 Workpieces”, 20th International Symposium on Electrochemical Machining Technology- INSECT 2024.
- Kollmannsperger, L.S.; Maurer, O.; Kose, R.; Zeuner, A.T.; Bähre, D.; Fischer, S.C.L., Acoustic emission of lattice structures under cycling loading relates process parameters with fatigue properties, Nature Communications Engineering, Volume 3, Article Number 56, DOI: 10.1038/s44172-024-00196-2, 2024.

Industrial Security

Forschungsbereich Industrial Security



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

Anlagen. Die Schwerpunkte liegen im Security Management und Security 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.



Cyber Awareness Demonstrator – Security Awareness für KMU

Problemstellung/Ausgangssituation:

Die Bedrohung durch Cyberkriminalität nimmt stetig zu und wird für Unternehmen zu einem wachsenden Risiko. Besonders die zunehmende Vernetzung erhöht die Gefahr von Angriffen mit erheblichen Schäden und Kosten. Der fortschreitende Digitalisierungsprozess verstärkt dieses Problem weiter. Laut VDE Trendreport bleibt IT-Sicherheit die zentrale Herausforderung im Kontext von Digitalisierung, IoT und Industrie 4.0 – und eine Schlüsselkompetenz für wirtschaftlichen Erfolg.

Während Großunternehmen bereits Maßnahmen ergreifen, sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU) oft unzureichend vorbereitet. Dabei sind KMU nicht nur wirtschaftlich bedeutsam, sondern auch ein Innovationsmotor Deutschlands. Laut WIK-Studie ist die Relevanz der IT-Sicherheit zwar bekannt, doch mangelt es weiterhin an Know-how, Personal und finanziellen Ressourcen.

Angeichts der zunehmenden Digitalisierung ist es essenziell, KMU gezielt in IT-Sicherheit zu unterstützen. Ein höheres Sicherheitsniveau sichert langfristig ihre Wettbewerbsfähigkeit. Notwendig sind ganzheitliche Konzepte, die Geschäftsprozesse einbeziehen, sowie ein praxisnaher Wissenstransfer, der KMU operativ unterstützt.

Zielsetzung:

Ziel war die Entwicklung eines mobilen Security Awareness Demonstrators, mit dem aktuelle Bedrohungen und Gefährdungen sowohl in der IT als auch in der OT (Operational Technology) simuliert und demonstriert werden können. Der Demonstrator stellt eine funktionierende Referenznetzwerkarchitektur mit entsprechenden Hardware-Komponenten dar, wie sie bei vielen KMU vorhanden sein könnte. Um den Produktionsbereich ebenfalls abdecken zu können, wird zum Teil auf bereits

am ZeMA existierende Demonstrortechnik, die die wesentlichen Produktionskomponenten enthält, zurückgegriffen. Anhand des Demonstrators können aktuell relevante Bedrohungen und Gefährdungen aufgezeigt werden. Dazu können Cyberangriffe simuliert werden, wie sie täglich in Unternehmen vorkommen. Mitarbeitenden von KMU wird somit live demonstriert („Live-Hacking“), wie Cyberangriffe ablaufen können, welche Schwachstellen sie ausnutzen und welche Schäden sie nach sich ziehen. Anhand des Demonstrators werden außerdem passende Gegenmaßnahmen gegen diese Angriffe aufgezeigt, um die Auswirkungen dieser Schutzmaßnahmen sichtbar zu machen. Dadurch sollen KMU stärker für das Thema IT-Security sensibilisiert werden

Vorgehen/Umsetzung:

Zunächst wurden die Anforderungen definiert und eine realitätsnahe Referenznetzwerkarchitektur erstellt, die typische Strukturen kleiner und mittlerer Unternehmen widerspiegelt. Hierfür wurden verschiedene Netzwerkarchitekturen recherchiert und relevante Komponenten für IT und OT-Anlagen analysiert. Anschließend wurden Bedrohungen für IT- und OT-Systeme untersucht, und den Komponenten der Netzwerkarchitektur zugeordnet. Acht der vom BSI 2022 veröffentlichten Top-10 Bedrohungen für Industrial Control Systems wurden als für den Demonstrator relevant identifiziert. Daraus wurden praxisnahe Angriffsszenarien entwickelt, die typische Schwachstellen und Angriffswege veranschaulichen. Für die Umsetzung wurde ein Konzept für den Demonstrator erarbeitet, das sowohl technische als auch sicherheitsrelevante Anforderungen berücksichtigt. Der Fokus lag auf einem mobilen, kompakten Design,

das einen möglichst einfachen Transport ermöglicht. Das Modell wurde in einer CAD-Software erstellt und besteht aus zwei einklappbaren Hälften. Die Vorderseite visualisiert die Netzwerkarchitektur mit beschrifteten Komponenten, deren Funktionen, potenziellen Bedrohungen und Angriffsszenarien genannt sind.

Nach der Fertigung des Demonstrators wurden die Netzwerkkomponenten montiert, verkabelt und im Gesamtsystem in Betrieb genommen. Die Frontplatte wurde mit der Visualisierung der Netzwerkarchitektur bedruckt, um die verschiedenen Netzwerk-Zonen und deren Verbindungen anschaulich darzustellen und um zusätzliche Informationen bereitzustellen. Abschließend wurden die entwickelten Angriffsszenarien finalisiert und am Demonstrator erprobt.

Ergebnis/Projektstand:

Im Projekt „Cyber Awareness Demonstrator“ wurde ein mobiler Demonstrator zur Steigerung der Security Awareness in IT- und OT-Systemen entwickelt und aufgebaut. Es wird eine beispielhafte KMU Netzwerkarchitektur bestehend aus mehreren Netzwerk-Segmenten dargestellt. Zentrale Komponente des Netzwerks ist das Security Gateway, das zusammen mit einem Managed Switch die verschiedenen VLANs bereitstellt. Für die einzelnen Komponenten des Netzwerks sind Informationen zu deren allgemeinen Funktion und relevante Bedrohungen gelistet.

Wie oben bereits erwähnt wurde, können an dem Demonstrator 8 der Top 10 Bedrohungen für Industrial Control Systems des BSI als Live-Hacking Szenarien erklärt und vorgeführt werden:

1. Einschleusen von Schadsoftware über Wechseldatenträger und mobile Systeme

- ▶ HotPlug Attacken mit Rubber-Ducky, O.MG Cable, SharkJack,
- 2. Infektion mit Schadsoftware über Internet und Intranet
 - ▶ Malware über Makros in Microsoft Word oder Excel
- 3. Menschliches Fehlverhalten und Sabotage
 - ▶ Schwache oder unsichere Netzwerkkonfiguration (WiFi)
- 4. Social Engineering und Phishing
 - ▶ Google Login Phishing Website
- 5. Denial-of-Service Angriffe
 - ▶ Ping-Flood auf PLC und HMI
- 6. Internet-verbundene Steuerungskomponenten
 - ▶ Unautorisierter Zugriff auf PLC und HMI
- 7. Einbruch über Fernwartungszugänge
 - ▶ schwache VPN Konfiguration / Zugangsdaten
- 8. Soft- und Hardwareschwachstellen in der Lieferkette
 - ▶ Backdoor in IP Kamera Firmware
 - ▶ Webapplikation mit Sicherheitslücken (OWASP Juice Shop)

Die erste Präsentation des Cyber Awareness Demonstrators fand wie geplant am 05. November auf der Messe IT.Connect X Cybersecurityday 2024 in der Congresshalle in Saarbrücken statt. Zahlreiche Messebesucher zeigten großes Interesse an unserem Demonstrator und wir konnten viele spannende Gespräche führen, in denen uns das Thema Security aus Sicht der

jeweiligen Unternehmensvertreter geschildert wurde. Das Feedback war durchweg positiv. Besonders bemerkenswert war die Anerkennung durch Security-Experten, die unsere Arbeit als wertvollen Beitrag zur Förderung von Security Awareness lobten. Sie hoben hervor, dass die Sensibilisierung für Cyber-Bedrohungen gerade für KMU von zentraler Bedeutung ist. Unser Live-Hacking war ein Highlight für viele Standbesucher und veranschaulichte eindrucksvoll die Vielschichtigkeit der Bedrohungen und die Notwendigkeit, sich aktiv mit Cyber-Security auseinanderzusetzen. Insgesamt war unser Messeauftritt ein großer Erfolg, sowohl hinsichtlich der direkten Resonanz als auch in Bezug auf die Vermittlung von Security Awareness.

Aktuell wird der Cyber Awareness Demonstrator in der Demonstratorlandschaft am ZeMA ausgestellt, sodass er bei Veranstaltungen vor Ort präsentiert werden kann. Insbesondere bei Schulungen, Workshops und Technologieführungen des Mittelstand-Digital Zentrums kann der Demonstrator integriert werden, um die Teilnehmer auf das Thema Security aufmerksam zu machen und sie für Cyber-Bedrohungen zu sensibilisieren.

Laufzeit:

01.01.2023 – 31.12.2024



Kontakt:

Christian Siegwart
+49 (0) 681 85787 - 540
christian.siegwart@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 anwendungsbezogenen Einsatz von sensiblen und kognitiven Robotern insbesondere für die Mensch-Roboter-Kooperation. Ziel ist die Anwendung in dynamischen Produktionsumgebungen.



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 Herausforderungen. Daher steht die Entwicklung von innovativen Prozessen und Betriebsmitteln zur Inbetriebnahme und Funktionsabsicherung hochautomatisierter und autonomer Fahrzeuge im Fokus. Auf Basis einer übergreifenden Produkt- und Prozessanalyse werden bestehende Produktionsprozesse optimiert und neue Lösungskonzepte entwickelt.

Ziel ist die Absicherung automatisierter Fahrfunktionen über den gesamten Produktlebenszyklus. Basierend auf einer korrekten Erfassung und Erkennung der Umgebung soll das Fahrzeug bereits in der Produktion in einen sicheren und fahrfähigen Zustand versetzt werden. Hierdurch soll die klassische Parallelstruktur des aktuellen End-of-Line Bereiches durch die Verlagerung einzelner Prozesse in die Fließmontagelinie eliminiert werden.



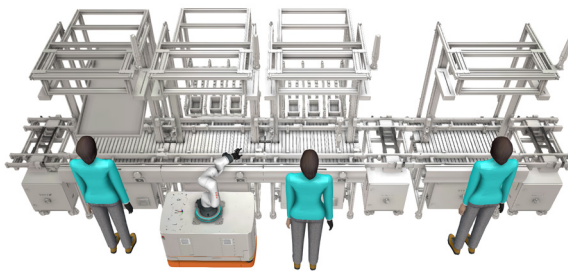
Produktionssysteme für Wasserstofftechnologien

Der Themenbereich fokussiert die Entwicklung von Prozessen und Technologien zur wirtschaftlichen Serienproduktion 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 Wasserstoffwirtschaft noch im markthochlauf befindet und damit häufige Produktänderungen und -weiterentwicklungen zu berücksichtigen sind.

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.

Langfristig soll ein Reallabor mit realen Produktionssystemen in einer produktionsnahen Testumgebung geschaffen werden. Auf Grundlage der Kompetenzentwicklung 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 Saarlands 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.

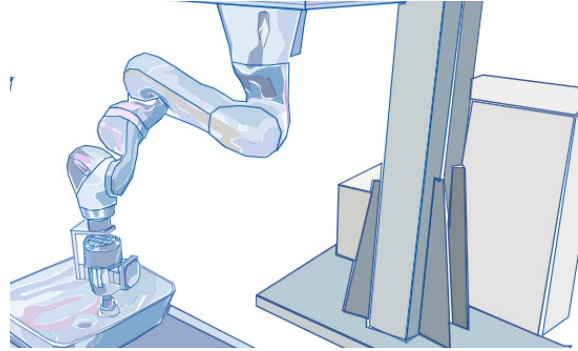


Montagegerechte Produktgestaltung als Automatisierungsgrundlage

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 setzt die roboterbasierte Prozessautomatisierung eine detaillierte Programmierung mit präzise vordefinierten Abläufen voraus. Roboter können nur die Aufgaben ausführen, für die sie explizit programmiert wurden. Fortschrittliche KI-Systeme versetzen Roboter zunehmend in die Lage, Entscheidungen situativ zu treffen, ohne dass ein menschliches Eingreifen erforderlich ist. Die Forschungsgruppe Industrierobotik und Mensch-Roboter-Kooperation untersucht die kognitiven Fähigkeiten von Robotern, um ihren Handlungsspielraum zu erweitern und ihre Flexibilität zu erhöhen. Ein zentraler Ansatz dabei ist der Einsatz von Foundation Models, die es Robotern ermöglichen, größere Autonomie zu erlangen und Zwischenziele selbstständig zu erreichen. Ergänzend dazu können Mitarbeiter ihre Absichten in natürlicher Sprache formulieren, die in roboterlesbare Anweisungen übersetzt werden. Weitere Entwicklungen konzentrieren sich darauf, die Intentionen der Mitarbeiter zu erfassen und Roboter entsprechend anzusteuern. Diese Fortschritte ermöglichen einen flexiblen und dynamischen Robotereinsatz in der Industrie und verbessern die Mensch-Roboter-Kooperation.



ViSAAR – Virtuelle Arbeitsgestaltung & Technologien für Innovationen im Strukturwandel

Problemstellung:

Das Projekt ViSAAR verbindet die Herausforderungen des regionalen Strukturwandels mit der Entwicklung zukunftsfähiger Arbeitsformen. Das Saarland steht vor einer tiefgreifenden Transformation, die an den historischen Wandel der Montan- und Stahlindustrie anknüpft. Nach dem Niedergang dieser Branchen wurde der Fahrzeugbau zur wichtigsten Industrie, die nun ebenfalls von Veränderungen betroffen ist. Der Wandel hin zur E-Mobilität, neue Mobilitätskonzepte und die klimafreundliche Umstellung der Stahlproduktion verändern Produkte, Prozesse und Qualifikationsanforderungen grundlegend. Zusätzlich erschweren der demografi-

sche Wandel und der Fachkräftemangel die Situation. Das Saarland hat eine alternde Bevölkerung und eine unterdurchschnittliche Erwerbsbeteiligung, während viele hochqualifizierte Fachkräfte in wirtschaftsstärkere Regionen abwandern. Besonders KMU sind hiervon betroffen: Sie haben Schwierigkeiten, Fachkräfte zu gewinnen und sind oft nicht in der Lage, Innovationsstrategien systematisch zu entwickeln. Trotz der Potenziale der Digitalisierung bleiben viele Möglichkeiten für neue Arbeitskonzepte und Produktionsprozesse ungenutzt. ViSAAR setzt genau hier an, um Unternehmen mit innovativen digitalen und organisatorischen Lösungen zu unterstützen.

Zielsetzung:

Das Projekt „ViSAAR“ verfolgt das Ziel, kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in strukturschwachen Regionen durch neue organisatorische und digitale Konzepte für ortsunabhängiges Arbeiten langfristig wettbewerbsfähig zu machen. Auch unabhängig von der Corona-Pandemie bleibt dies ein strategisch wichtiges Handlungsfeld für viele Betriebe und ihre Beschäftigten. Die digitale Steuerung von Prozessen und die Integration virtueller Arbeitsformen in klassische, ortsgebundene Tätigkeiten erfordert Veränderungen auf allen Ebenen, von der Führung bis zur Belegschaft. Dabei werden „humanzentrierte“ Ansätze bevorzugt, um den Strukturwandel in der Region positiv zu gestalten. Im Fokus stehen die Themen virtuelle Führung, Zusammenarbeit, Mobilität, Produktion und Coaching, insbesondere in produktionsnahen Unternehmen, die eine besondere Herausforderung in der Virtualisierung darstellen.

Vorgehen:

Im Projekt wurden in den Partnerunternehmen verschiedene Ansätze zur virtuellen Arbeitsgestaltung umgesetzt, gegliedert in fünf Bereiche: virtuelle Führung, Kollaboration, Mobilität, Produktion und Coaching. Ausgangspunkt war eine Bestandsaufnahme zu technischen und organisatorischen Potenzialen. Mit Unterstützung der Forschungspartner entwickelten und erprobten die Unternehmen praxisnahe Anwendungsfälle. Die Umsetzung wurde arbeitswissenschaftlich begleitet und durch einen regionalen Wissenstransfer ergänzt.

Ergebnis / Projektstand:

Das ZeMA hat während des Projekts

zwei Anwendungsfälle intensiver begleitet, die nachfolgend näher vorgestellt werden.

WOLL: Im Zuge des Umsetzungsprojekts mit der Firma Woll Maschinenbau GmbH wurden Fertigungsaufträge schrittweise digitalisiert und virtualisiert, um eine papierlose Produktion zu realisieren. Das Unternehmen, das in den vergangenen Jahrzehnten stark gewachsen ist, sah sich mit der Herausforderung konfrontiert, dass bestehende analoge Strukturen nicht mit der Expansion Schritt hielten. Dies führte zu Medienbrüchen, ineffizienten Abläufen und einem hohen administrativen Aufwand.

Ein zentrales Problem bestand in der weiterhin analogen Steuerung der Produktionsprozesse. Bislang wurden Fertigungsaufträge in Papierform von Station zu Station weitergegeben, was nicht nur zu hohen Druckkosten führte, sondern auch fehleranfällig war und Verzögerungen verursachte. Um diese Ineffizienzen zu beseitigen, begann das Unternehmen mit der Einführung eines ERP-Systems, das eine digitalisierte und zentralisierte Steuerung der Produktionsprozesse ermöglichen sollte.

Parallel dazu wurden Maschinen modernisiert, um die digitale Vernetzung in der Fertigung zu erleichtern. Durch die schrittweise Digitalisierung der Informationsströme konnten Laufwege reduziert, die Transparenz in der Fertigung erhöht und Medienbrüche weitgehend eliminiert werden. Ziel war es, eine durchgängige digitale Steuerung zu etablieren, die nicht nur die Effizienz der Produktion steigert, sondern auch die Datenqualität verbessert und eine bessere Nachverfolgbarkeit von Produktionsschritten gewährleistet.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen markierte einen wichtigen Schritt hin zu

einer zukunftsfähigen, papierlosen Fertigung, die sowohl Kosteneinsparungen als auch eine erhöhte Prozesssicherheit mit sich brachte.

ISL: Im Rahmen des Projekts wurde bei der ISL GROUP MANAGEMENT GmbH eine intelligente Produktionssteuerung implementiert, um Effizienzsteigerungen und Arbeitsentlastungen zu realisieren. Das Unternehmen, das als europaweiter Logistik- und Produktionsdienstleister tätig ist, entwickelte eine Software zur automatischen Zuordnung von Packaufträgen auf Packarbeitsplätze. Diese Maßnahme ersetzte die bisher manuelle, papierbasierte Verteilung durch Schichtleiter.

Durch das neue System konnten Packaufträge schneller und fehlerfrei bearbeitet werden. Dies führte zu einer gleichmäßigeren Auslastung der Packarbeitsplätze, wodurch Engpässe reduziert und die Effizienz des gesamten Prozesses gesteigert wurden. Zudem ermöglichte die Automatisierungssoftware eine bessere Planungsunterstützung für Schichtleiter, die nun über einen klaren Überblick über Aufträge und Terminverpflichtungen verfügten.

Ein zentraler Vorteil der digitalen Lösung bestand in der Reduzierung von Medienbrüchen zwischen verschiedenen Informationskanälen. Dies minimierte Fehlerquellen und vereinfachte die gesamte Abwicklung der Packprozesse. Darüber

hinaus wurden die Beschäftigten aktiv in den Optimierungsprozess eingebunden, um die Akzeptanz der neuen Technologie zu erhöhen und die Arbeitsabläufe an deren Bedürfnisse anzupassen. Dies führte nicht nur zu einer Verbesserung der Prozessqualität, sondern auch zu einer höheren Zufriedenheit der Mitarbeitenden.

Die Einführung moderner Technologien erhöhte zudem die Attraktivität des Unternehmens für qualifizierte Fachkräfte. Das Fallbeispiel zeigt, wie durch digitale Innovationen Effizienz und Mitarbeiterzufriedenheit gleichzeitig gesteigert werden konnten, während der gesamte Produktionsprozess flexibler und robuster gegenüber kurzfristigen Änderungen wurde.

Projektpartner:

Debusmann GmbH, Greencells GmbH, ISL Group Management GmbH, NetCom-Solutions GmbH, WALOR Stahlbau und Montage GmbH, Woll Maschinenbau GmbH, AWS-Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH, Institut für Sozialforschung und Sozialwirtschaft e.V., saarland.innovation&standort GmbH, Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH.

Laufzeit:

01.05.2021 – 31.07.2024



Kontakt:

Jannis Pfister
+49 (0) 681 85787 – 564
jannis.pfister@zema.de

- Adler, Fabian; Blum, Anne; Müller, Rainer (2024): Development of a simplified augmented reality-assisted programming for flexible robot systems. In: MHI Fachkolloquium 2024.
- Adler, Fabian; Gusenburger, Daniel; Blum, Anne; Müller, Rainer (2024): Conception of a Robotic Digital Shadow in Augmented Reality for Enhanced Human-Robot Interaction. In: Procedia CIRP 130, S. 407–412. DOI: 10.1016/j.procir.2024.10.107.
- Bashir, Attique; Moktafi, Raja; Giangreco, Marco; Müller, Rainer (2024): State Space Exploration with Large Language Models for Human-Robot Cooperation in Mechanical Assembly. In: 7th Iberian Robotics Conference, S. 1–6. DOI: 10.1109/ROBOT61475.2024.10796918.
- Dupont, Stephanie; Hellge, Viola; Elbert, Tobias Christopher; Eichenwald, Max; Müller, Rainer; Rheinstädter, Verena et al. (Hg.) (2024): Gestärkte Resilienz und Wandlungsfähigkeit für produzierende KMU durch agile, menschenzentrierte Systeme. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Sankt Augustin: GfA-Press.
- Eichenwald, Max; Karkowski, Martin; Müller, Rainer (2024): Generalizable AI Pipeline for the cost estimation of manufacturing system structures in special machine engineering. In: Procedia CIRP 126, S. 140–145. DOI: 10.1016/j.procir.2024.08.314.
- Eichenwald, Max; Molter, Jan; Kuhn, Dominik; Müller, Rainer (2024): Production system ontology for continuous Capability-based Engineering. In: Procedia CIRP 128, S. 387–392. DOI: 10.1016/j.procir.2024.03.018.
- Eichenwald, Max; Molter, Jan; Müller, Rainer (2024): Digital twin: Automatic generation of Asset Administration Shells (AAS). In: Procedia CIRP.
- Eichenwald, Max; Müller, Rainer (2024): Text-based analysis of production system documentation for cataloging historical projects using natural language processing. In: CIRP Procedia.
- Elbert, Tobias; Molter, Jan; Eichenwald, Max; Müller, Max (2024): Aiming for the Digital Twin - Process Modelling in Production. In: Procedia CIRP.
- Haas, Paul Hubert; Kelm, Benedikt; Margies, Lennard; Müller, Rainer (2024): Development of an Adaptive Human-centered Work Station for Fuel Cell Stack Assembly. In: 10th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems. 10th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems. Karlsruhe, 24.04.2024–26.04.2024.
- Kanso, Ali; Schneider, Marco; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): Manipulability analysis to improve the performance of a 7-DoF serial manipulator *. In: 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, S. 1183–1188. DOI: 10.1109/CoDIT62066.2024.10708416.

- Kelm, Benedikt; Haas, Paul Hubert; Margies, Lennard; Müller, Rainer (2024): Entwicklung eines Konzepts zur Nutzeradaptivität Kognitiver Assistenzsysteme am Beispiel der manuellen Montage von Brennstoffzellenstackkomponenten. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaften e.V. (Hg.): Arbeitswissenschaft in-the-loop Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Stuttgart, 06.03.2024-08.03.2024.
- Kuhn, Dominik; Karkowski, Martin; Pfister, Jannis; Eichenwald, Max; Müller, Rainer (2024): Software architecture for adaptable assembly systems. In: Procedia CIRP 127, S. 62–67. DOI: 10.1016/j.procir.2024.07.012.
- Kuhn, Dominik; Schmitt, Daniela; Pfister, Jannis; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): Aufbau eines menschenzentrierten Unterstützungstools zur optimierten Zuweisung von Aufträgen zu Arbeitsplätzen in der Kommissionierung mittels Linear Integer Programming. In: Tagungsband Mechatroniktagung 2024.
- Litzenburger, Philipp; Goetz, Stefan; Margies, Lennard; Bode, Christoph; Müller, Rainer (2024): Process-Oriented Tolerance and Variation Management: Review and Classification. In: Applied Sciences 14 (18), Artikel 8112, S. 1–17. DOI: 10.3390/app14188112.
- Margies, Lennard; Müller, Rainer (2024): Process for the Validation of the Commissioning of Automated and Autonomous Vehicles in the Assembly Line. In: ATZ Automatisiertes Fahren.
- Marx, Stefan; Gusenburger, Daniel; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): Low-Cost Stereo Vision: A Single-Camera Approach For Precise Robotic Perception. In: IEEE 20th International Conference on Automation Science and Engineering, S. 890–896. DOI: 10.1109/CASE59546.2024.10711598.
- Molter, Jan; Eichenwald, Max; Müller, Rainer (2024): The Digital Twin - a production-related review. In: Procedia CIRP 128, S. 418–423. DOI: 10.1016/j.procir.2024.03.021.
- Molter, Jan; Zimmer, Sarah; Margies, Lennard; Karkowski, Martin; Müller, Rainer (2024): Development of a characterization and modeling method for Digital Twins in an assembly use case. In: 17th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP ICME'24), Bd. 126. Ischia. 126. Aufl.: Procedia CIRP, S. 763–768.
- Müller, Rainer; Franke, Jörg; Henrich, Dominik; Kühlenkötter, Bernd; Raatz, Annika; Verl, Alexander (Hg.) (2024): Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration. Carl Hanser Verlag. 2., aktualisierte Auflage. München: Hanser.
- Rekik, Khansa; Silva, Grimaldo; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): Towards Global Awareness in Human-Robot-Collaborative Multi-cell Assembly System. In: IEEE

20th International Conference on Automation Science and Engineering, S. 5–10. DOI: 10.1109/CASE59546.2024.10711772.

Schneider, Marco; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): AI-based Quality Control for Sanding Ceramics. In: 4 th IFSA Winter Conference on Automation, Robotics & Communications for Industry 4.0 / 5.0, S. 208–213. Online verfügbar unter https://sensorsportal.com/ARCI/ARCI_2024_Proceedings.pdf.

Xu, Xiaomei; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): A robot-system for picking parts from unstructured bins – A practical Approach. In: Procedia CIRP 127, S. 98–103. DOI: 10.1016/j.procir.2024.07.018.

Xu, Xiaomei; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): An approach for precise CAD reconstruction based on TEASER++, iterative ICP methods for robotics applications. In: CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering.

Xu, Xiaomei; Schneider, Marco; Bashir, Attique; Müller, Rainer (2024): An Approach for Precise Robotic Sanding Applications of Uneven Surfaces Based on Improved Point Cloud Registration Methods *. In: IEEE 20th International Conference on Automation Science and Engineering, S. 854–861. DOI: 10.1109/CASE59546.2024.10711628.

Smarte Materialsysteme

Smarte Materialsysteme



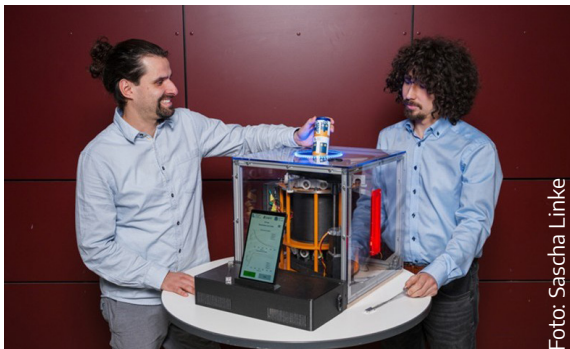
Shape Memory Alloys

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.



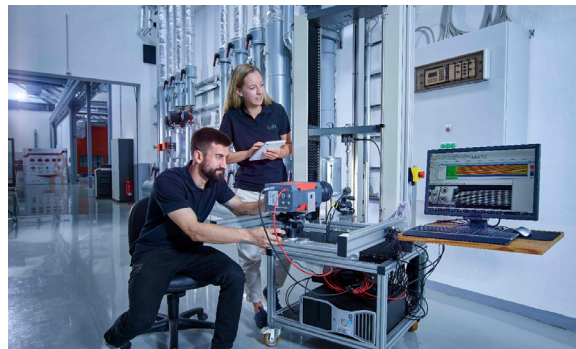
Elektroaktive Polymere

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.



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.



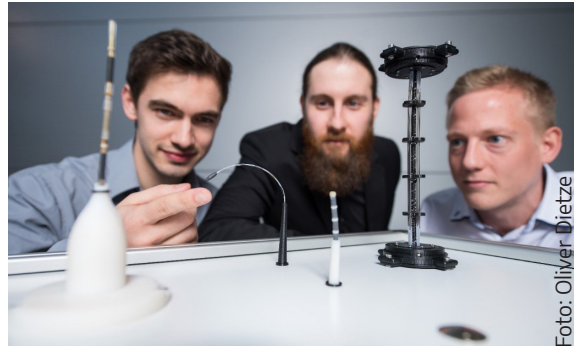
Smart Materials Modeling & Control

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 smarter Materialien. Die Schaltungsentwicklung spielt besonders bei der zur Verfügungstellung der für die Materialien benötigten (Hoch-) Spannungen und Ströme eine zentrale Rolle.



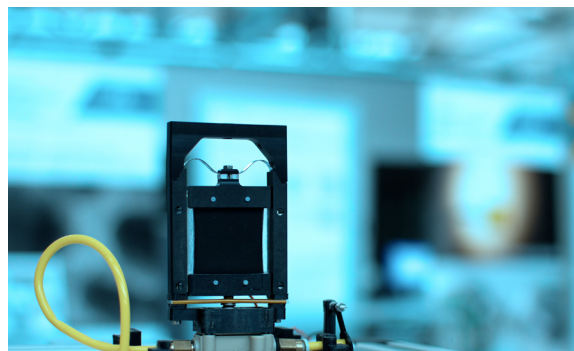
Biomedical Systems

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.



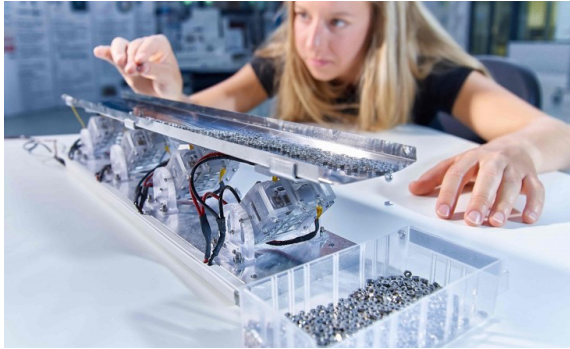
Smart Fluidics

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.

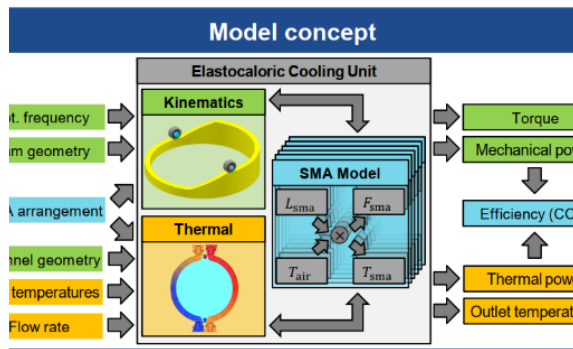


Foto: Oliver Dietze

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 Nicht-linearität 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.

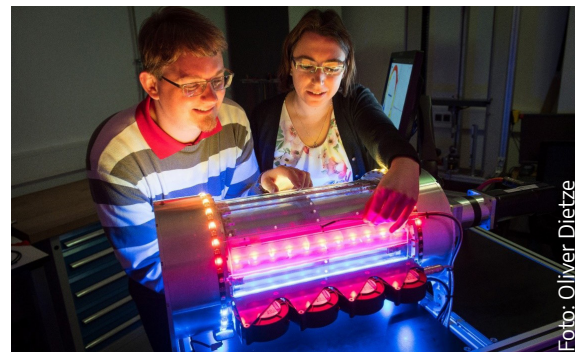
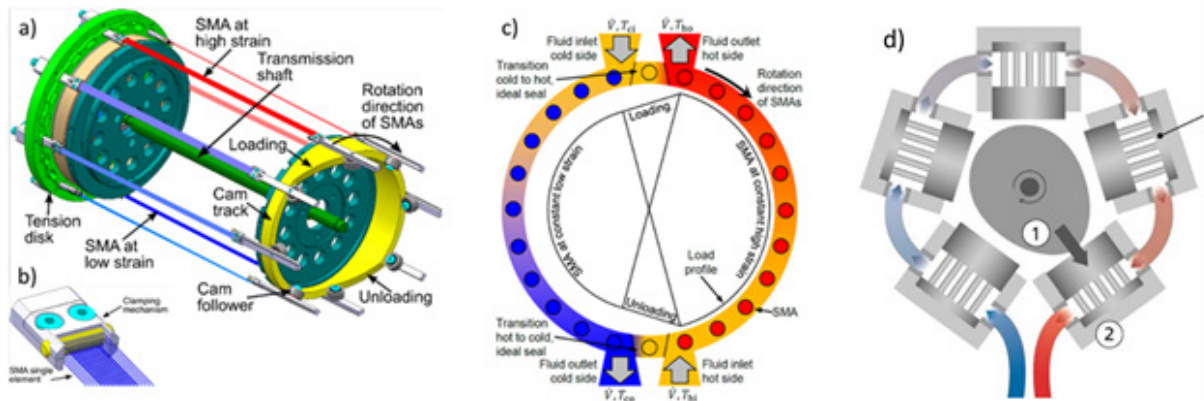


Foto: Oliver Dietze

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.



SMARtCool – Effiziente Klimatechnik für die E-Mobilität

Problemstellung:

Der globale Bedarf an Kühlung und Klimatisierung wächst enorm, bis 2050 wird weltweit mehr Energie fürs Kühlen als fürs Heizen verwendet werden. Im Bestreben, die Klimaziele zu erreichen, steigen die Anforderungen an die Effizienz dieser Systeme. Stand der Technik für Kühlgeräte ist die Dampfkomppressionskälte, wobei die meisten dieser Systeme maximal 50 % des thermodynamisch möglichen Wirkungsgrades erreichen. Darüber hinaus haben häufig verwendete teilfluorierte Kohlenwasserstoffe ein starkes Treibhauspotenzial, die zur globalen Erwärmung beitragen. Ihr Einsatz wird daher immer stärker reglementiert, doch auch die Ersatzstoffe, wie die natürlichen Kältemittel

(z. B. Ammoniak, Butan oder Kohlendioxid) haben verschiedene Nachteile: Häufig sind sie giftig, brennbar oder haben einen sehr hohen Arbeitsdruck. Somit gibt es aus vielen verschiedenen Anwendungsbereichen großes Interesse an der Entwicklung neuer Kühl- und Klimatechnologien, doch insbesondere in der E-Mobilität ist der Handlungsdruck besonders groß: Zum einen ist der Klimatisierungsaufwand in einem E-Fahrzeug erheblich höher als für bisherige Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, zudem müssen Fahrgastraum und Batterie sowohl gekühlt als auch erwärmt werden können. Darüber hinaus bedeutet bei batterieelektrischen Fahrzeugen jede Steigerung der Energieeffizienz der Klimatisierung automatisch

eine signifikante Erhöhung der Reichweite im realen Betrieb.

Eine alternative Lösung könnten elastokalorische Klimasysteme sein: Sie verwenden Materialien wie Nickel-Titan-Legierungen, welche unter einer externen Krafteinwirkung eine reversible Temperaturänderung erfahren. Durch zyklisches Be- und Entlasten und gleichzeitiger

Wärmeab- bzw. -zufuhr kann thermische Energie von einem kalten in ein heißes Reservoir übertragen werden und somit ein Kühlsystem bzw. eine Wärmepumpe realisiert werden. Im Vergleich zu konventionellen Dampfkomppressionsystemen sind elastokalorische Kühlsysteme potenziell effizienter.

Zielsetzung:

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen zum einen die verwendeten Formgedächtnislegierungen für den Einsatz in der Elastokalorik optimiert werden: das bedeutet, es muss zur Demonstration einer hohen Systemeffizienz ihre thermische Hysterese reduziert und gleichzeitig die Zyklenstabilität erhöht werden. Dies soll erreicht werden sowohl durch Anpassung der Legierungszusammensetzung als auch Entwicklung spezieller elastokalorischer Bauelemente. Zum anderen müssen auf der Systemseite Leistungsdichte und Langzeitstabilität maximiert werden. Hier verfolgt das Konsortium zwei verschiedene, vielversprechende und neuartige Systemansätze. Beide Konzepte sollen im Rahmen des Projektes entwickelt und evaluiert werden und bezüglich ihrer Auswirkung auf die Reichweitenerhöhung in E-Fahrzeugen bewertet werden.

Vorgehen:

Gemeinsam mit den Projektpartnern

Volkswagen AG, ingpuls GmbH und dem Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM entwickelt das ZeMA im Projektverlauf einen neuen Ansatz elastokalorischer Maschinen weiter. Durch Entwicklung dieses sogenannten Register-Ansatzes kann eine Bauraumoptimierung im Vergleich zu vorhergehenden, rotatorischen Systemen erzielt werden. Das verfolgte Konzept basiert auf einem ebenen, translatorischen Aufbau, welcher eine gute Raumausnutzung mit geringem Totvolumen mit sich bringt. Außerdem besitzt das Konzept eine gute Skalierbarkeit, wodurch auf optimiertem Bauraum eine größere Masse des elastokalorischen Materials verwendet werden kann. Die Erhöhung der Materialintegration im elastokalorischen System führt zu einer sukzessiven Erhöhung des möglichen Temperaturhubs sowie in Kombination mit dem optimierten Bauraum zu einer erhöhten Leistungsdichte. Auch die Form des elastokalorischen Materials hat Einfluss auf die Leistungsdichte des Systems, durch Einsatz von Band- statt Drahtmaterial und der damit einhergehenden größeren Oberfläche kann die Abgabe der Wärme an die Umgebung optimiert werden. Das elastokalorische System kann direkt mit dem Wärmeübertragungsmedium betrieben werden, wodurch üblicherweise benötigte Wärmetauscher als Systemkomponenten und Verlustquellen entfallen, was die Effizienz des Systems steigert.

Im parallel entwickelten Heatpipe-Ansatz des Fraunhofer IPM wird insbesondere die Steigerung der Leistungsdichte adressiert. Hierbei wird die thermische Energie der elastokalorischen Materialien mittels latentem Wärmeübertrag an Wärmequelle bzw. -senke durch Verdampfen und Kondensieren bewerk-

stellt. Dieser enorm effiziente Wärmeübertrag erlaubt sehr hohe Systemfrequenzen von bis zu 10 Hz. Damit lassen sich hohe Leistungsdichten von über 15 Watt pro Gramm eingesetzten elastokalorischen Materials erreichen. Gleichzeitig werden bei dem Konzept für den Wärmeübertrag keinerlei Pumpen benötigt. Dies reduziert die Systemkomplexität und maximiert die Systemeffizienz, da keine Antriebsenergie für

die Pumpen bzw. den Wärmeübertrag benötigt werden.

In engem Austausch mit dem Konsortialpartner ingpuls werden elastokalorisch optimierte Formgedächtnismaterialien als Kernkomponenten für die Realisierung alternativer Klimatisierungssysteme entwickelt und charakterisiert.

Laufzeit:

01.12.2024 – 30.11.2027

**Kontakt:**

Prof. Dr.-Ing. Paul Motzki
+49 (0) 681 85787 - 13
paul.motzki@zema.de

- A. Khurana, M. M. Joglekar, P. Motzki, and S. Seelecke, "Compliant frame geometry for DEMES-based gripper and flapping wing actuators: A comprehensive design study," *Int J Solids Struct*, vol. 302, p. 112969, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.IJ SOLSTR.2024.112969.
- D. Bevilacqua, G. Rizzello, S. Seelecke, T. Gorges, S. Nalbach, and P. Motzki, "Aerodynamics Experimental Results of a Bio-Inspired Flapping Wing With SMA Micro-Wire Muscles and Resonant Compliant Joints," in *Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, 2024, p. V001T06A010-V001T06A010.
- D. Bevilacqua, T. Gorges, S. Nalbach, S. Seelecke, G. Rizzello, and P. Motzki, "Performance analysis of agonist-antagonist SMA micro-wires and resonant compliant joint in bio-inspired bat-like flapping wings," in *Bioinspiration, Biomimetics, and Bioreplication XIV*, SPIE, 2024, pp. 33–42.
- D. Scholtes, S. Seelecke, and P. Motzki, "<scp>Electro-thermo-mechanical</scp> characterization of shape memory alloy wires for actuator and sensor applications—Part 1: The effects of training," *Engineering Reports*, vol. 6, no. 10, Oct. 2024, doi: 10.1002/eng2.12867.
- D. Scholtes, S. Seelecke, and P. Motzki, "Electro-thermo-mechanical characterization of shape memory alloy wires for actuator and sensor applications—Part 1: The effects of training," *Engineering Reports*, 2024, doi: 10.1002/eng2.12867.
- J. Kunze et al., "Development and experimental evaluation of a compact 3D bending module actuated by rolled dielectric elastomer actuators (RDEAs)," in *Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXVI*, SPIE, 2024, pp. 70–78.
- J. Kunze, G. Soleti, D. Bruch, G. Rizzello, and P. Motzki, "Design and Demonstration of a 3D Soft-Robotics Module Based on Rolled Dielectric Elastomer Actuators (RDEAs)," in *Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems*, American Society of Mechanical Engineers, 2024, p. V001T06A002-V001T06A002.
- J. Kunze, G. Soleti, D. Bruch, G. Rizzello, and P. Motzki, "Development of a 3D-Bendable soft Robotic Segment actuated by Rolled Dielectric Elastomer Actuators," in *ACTUATOR 2024; International Conference and Exhibition on New Actuator Systems and Applications*, VDE, 2024, pp. 266–268.
- J. Mayer, D. Scholtes, T. Gorges, G. Rizzello, and P. Motzki, "The Effects of Training on Electro-Thermo-Mechanical Actuation and Sensing Characteristics of NiTi Actuator Wires," in *ACTUATOR 2024; International Conference and Exhibition on New Actuator Systems and Applications*, VDE, 2024, pp. 112–115.
- J. Mersch, G. Gerlach, and P. Motzki, "Editorial," 2024. doi: 10.1515/teme-2024-0021.

- K. J. Koshiya, G. Rizzello, and P. Motzki, "Neural Network-Based Sensorless Control of a Shape Memory Alloy Actuator," in Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, American Society of Mechanical Engineers, 2024, p. V001T03A001-V001T03A001.
- K. Koshiya, V. Naumov, T. Gorges, G. Rizzello, and P. Motzki, "Self-sensing in spring-loaded SMA actuators using artificial neural networks," in ACTUATOR 2024; International Conference and Exhibition on New Actuator Systems and Applications, VDE, 2024, pp. 108–111.
- S. A. Sivakumar, Y. Goergen, T. Gorges, G. Rizzello, and P. Motzki, "Innovative Fin Ray gripper with integrated SMA actuator wires," in ACTUATOR 2024; International Conference and Exhibition on New Actuator Systems and Applications, VDE, 2024, pp. 72–75.
- S. Gratz-Kelly et al., "Multifunctional Sensor Array for User Interaction Based on Dielectric Elastomers with Sputtered Metal Electrodes," *Materials*, vol. 17, no. 23, Dec. 2024, doi: 10.3390/ma17235993.
- S. Gratz-Kelly, D. Philippi, B. Fasolt, S. Nalbach, and P. Motzki, "Gesture and force sensing based on dielectric elastomers for intelligent gloves in the digital production," *Technisches Messen*, vol. 91, no. 3–4, 2024, doi: 10.1515/teme-2024-0003.
- S. Seelecke, G. Rizzello, and P. Motzki, "Elektroaktive Polymere und Formgedächtnislegierungen: Smarte und Energieeffiziente Antriebssysteme für die Produktion," *atp magazin*, vol. 66, no. 3, pp. 52–59, 2024.
- S. Seelecke, G. Rizzello, and P. Motzki, "Elektroaktive Polymere und Formgedächtnislegierungen," *atp magazin*, vol. 66, no. 3, 2024, doi: 10.17560/atp.v66i3.2708.
- T. A. Chowdhury, S. Gratz-Kelly, E. Wagner, P. Motzki, and M. Lehser, "Ensemble Learning Approach for Advanced Predictive Modeling of Biometric Data and Action States With Smart Sensing," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 139998–140008, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3466528.
- T. P. Willian et al., "Effects of Solvents on the Material Properties of Screen-Printed Electrodes and a Polydimethylsiloxane Dielectric for Dielectric Elastomer Transducers," *Adv Eng Mater*, vol. 26, no. 10, p. 2301736, 2024.
- V. Venkatachalam, J. Mayer, D. Bruch, S. Nalbach, G. Rizzello, and P. Motzki, "Shape memory alloy and electrostatic brake hybrid actuator system for energy-efficient actuation strategies," in Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems XVIII, SPIE, 2024, pp. 371–380.
- V. Venkatachalam, T. Gorges, D. Bruch, S. Nalbach, G. Rizzello, and P. Motzki, "Energy-

Efficient Multi Smart Materials Based Actuator Demonstrator Combining Shape Memory Alloy Wires With Electrostatic Clutches,” in Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, American Society of Mechanical Engineers, 2024, p. V001T04A009-V001T04A009.

W. M. Huang, D. Scholtes, R.-K. Zäh, B. Faupel, S. Seelecke, and P. Motzki, “Dissimilar Resistance Welding of NiTi Microwires for High-Performance SMA Bundle Actuators,” *Actuators*, 2024, doi: 10.3390/act13100400.

Y. Goergen, G. Rizzello, and P. Motzki, “Systematic Methodology for an Optimized Design of Shape Memory Alloy-Driven Continuum Robots,” *Adv Eng Mater*, vol. 26, no. 2, p. 2301502, 2024.

Y. Goergen, G. Rizzello, and P. Motzki, “Systematic Methodology for an Optimized Design of Shape Memory Alloy-Driven Continuum Robots,” *Adv Eng Mater*, vol. 26, no. 2, 2024, doi: 10.1002/adem.202301502.

Vorträge

B. Zemlin et al., “EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers, 2024.

Baltes M, Bruch D, Croce S, Nalbach S, and Motzki P, “Dynamic design approach for resonance optimized self-sense based dielectric elastomer pumps,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers Stuttgart, Germany, 2024.

C. Perri, P. R. Massenio, D. Naso, P. Motzki, and G. Rizzello, “EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., May 2024, pp. 5083–5093.

D. Bruch, S. Nalbach, S. Seelecke, and P. Motzki, “Enhanced test bench for statistical assessment of electromechanical characteristics and failure mechanisms of DETs under controlled environments,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers Stuttgart, Germany, 2024.

G. Frediani and F. Carpi, “Tactile display of softness on fingertip,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers Stuttgart, Germany, Nature Research, Dec. 2024. doi: 10.1038/s41598-020-77591-0.

S. Addario, A. Priuli, J. Hubertus, G. Schultes, G. Rizzello, and S. Seelecke, “High stroke, fully polymeric dielectric elastomer actuator systems based on negative-stiffness

thermoplastic polymer biasing elements EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers Stuttgart, Germany, 2024.

- T. Weber, D. Bruch, S. Nalbach, S. Seelecke, and P. Motzki, “Novel 3D-imaging methods for electromechanical characterization of dielectric elastomers,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers Stuttgart, Germany, 2024. [Online]. Available: www.iMSL.de
- T. Willian, D. Bruch, S. Nalbach, P. Motzki, and S. Seelecke, “Investigation of electrical charging characteristics of dielectric elastomer actuators by thermal imaging,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers Stuttgart, Germany, 2024.
- Triki N, Bruch D, Nalbach S, Seelecke S, and Motzki P, “Novel configuration of a tubular IPMC actuator with high electromechanical performance,” in EuroEAP 2024 International Conference on Soft Transducers and Electromechanically Active Polymers Stuttgart, Germany, 2024.

Weitere Projekte aus den
Forschungsbereichen finden Sie
auf unserer Webseite

www.zema.de/projekte



Daten zum Jahr



Saarländisches Gütesiegel „Familienfreundliches Unternehmen“ für das ZeMA: Gemeinsam Zukunft gestalten

Familienfreundlichkeit ist mehr als ein Trend – sie ist ein entscheidender Erfolgsfaktor für Unternehmen in Zeiten des Fachkräftemangels. Mit dem saarländischen Gütesiegel „Familienfreundliches Unternehmen“ setzen Unternehmen ein sichtbares Zeichen für ihre familienorientierte Personalpolitik und profitieren von einer Vielzahl von Vorteilen.

Das ZeMA – Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH zählt nun offiziell dazu: Am 2. Dezember wurde dem Institut das saarländische Gütesiegel überreicht – eine Auszeichnung, die für eine nachhaltige und zukunftsweisende Personalpolitik steht.

ZeMA setzt auf familienfreundliche Lösungen:

Das ZeMA hat sich Ziele gesetzt, arbeitet an vielfältigen Maßnahmen und zeigt, wie sich Beruf und Familie erfolgreich vereinen lassen. Flexible Arbeitszeiten, spezielle Ferienbetreuungsangebote und Mitmach-Tage für Kinder schaffen ein Umfeld, das sowohl die Anforderungen der Arbeitswelt als auch die Bedürfnisse von Familien berücksichtigt.

Darüber hinaus bietet die Gleichstellungsbeauftragte des ZeMA regelmäßige Sprechstunden an, in denen Mitarbeitende zu Themen wie Elternzeit, Pflege und der Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben individuell beraten werden. Diese Unterstützung stärkt nicht nur das Vertrauen in die Unternehmenskultur, sondern schafft auch konkrete Entlastung im Alltag.

Mit diesen familienfreundlichen Strukturen positioniert sich das ZeMA als attraktiver Arbeitgeber und zieht motivierte und engagierte Fachkräfte an.

„Familienfreundlichkeit ist ein zentraler Bestandteil unserer Unternehmenskultur“, betont Andreas Noss, kaufmännischer Geschäftsführer am ZeMA. „Motivierte Mitarbeitende, die Freude an ihrer Arbeit haben, sind der Schlüssel zu

unserem Erfolg. Gleichzeitig begeistern wir die nächste Generation für unsere Branche – die Kinder von heute könnten die Ingenieur:innen und Führungskräfte von morgen sein.“

Mit der Überreichung des Gütesiegels am 2. Dezember unterstreicht das Saarland die Bedeutung familienfreundlicher Unternehmen wie dem ZeMA, die Vorbilder für eine moderne und nachhaltige Personalpolitik sind.



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

www.zema.de/news



Kontakt

Biomechatronische Systeme

Kontakt:

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

Kontakt:

Prof. Dr. Andreas Schütze
+49 (0) 681 302 - 4663
andreas.schuetze@zema.de

Smart Sensors

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 - 13
paul.motzki@zema.de



Interesse an...

praxisnaher Forschung und
Promotion?

Dann haben wir Interesse an dir!

Unsere Stellenanzeigen findest du auf
www.zema.de

Wir freuen uns auch auf
Initiativbewerbungen!

ZeMA

Herausgeber:

ZeMA – 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. Paul Motzki

Vorsitzender des Aufsichtsrats:

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

Handelsregister:

Saarbrücken HR B 17885

Redaktion und Gestaltung:

Verena Milde

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 2025

