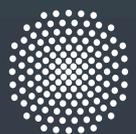


DEUTSCHLANDS
exzellenz-INSTITUTE



Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen





Softwarelösungen für industrielle Anwendungen Agil. Innovativ. Zuverlässig.

Softwareentwicklung

- Individuelle Entwicklung
- Edge-/Cloud Computing

Steuerungstechnik

- SPS-Programmierung
- Virtuelle Inbetriebnahme
- OPC UA-Lösungen

Machine Learning

- Künstliche Intelligenz
- Industrial Internet of Things (IIoT)

**Entdecken Sie Ihr Potential zur Optimierung:
Digitalisierung gemeinsam gestalten.**



IT Engineering Software Innovations GmbH

www.ite-si.de
E-Mail: info@ite-si.de

Jusistraße 4
72124 Pliezhausen

VORWORT

Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart ist führend auf den Gebieten der Fertigungsautomatisierung und Produktions-IT. Am ISW wird innovative grundlagenorientierte Forschung betrieben und in vielfältigen Kooperationen gemeinsam mit der Industrie gewinnbringend in die Praxis überführt.

Die Kernkompetenzen des ISW im Bereich der industriellen Steuerungs-, Regelungs- und Antriebstechnik sowie der Produktions-IT auf dem Shopfloor und der Produktionssteuerung werden kontinuierlich durch neue innovative Methoden aus der Mathematik, Softwaretechnik sowie Verarbeitung großer Datenmengen und Künstlicher Intelligenz erweitert. Zur Mission der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gehören Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu neuartigen Steuerungs- und Regelungskonzepten, deren Umsetzungen vom miniaturisierten embedded computing bis hin zu cloudbasierten Lösungen reichen. Innovationen bezüglich Fähigkeiten und Funktionen zukünftiger Produktionsmittel stecken zunehmend in deren Software. Auch hier arbeitet das ISW führend an Möglichkeiten zum Software-Defined Manufacturing, um flexible und früh im Entstehungsprozess evaluierbare Betriebsmittel zu ermöglichen. Die Forschungsarbeiten in der industriellen Vernetzung durch konvergente Netze decken dabei koexistierende Protokolle der harten echtzeit-behafteten Prozessebene bis hin zur Maschinenvernetzung in die Edge und die Cloud ab. Ebenso liegt der Fokus auf den Engineering Methoden und neuen produktionsnahen IT-Ansätzen im Produktentstehungsprozess. Speziell durch Forschung im Bereich der Simulation und dem Prozess-Enginee-



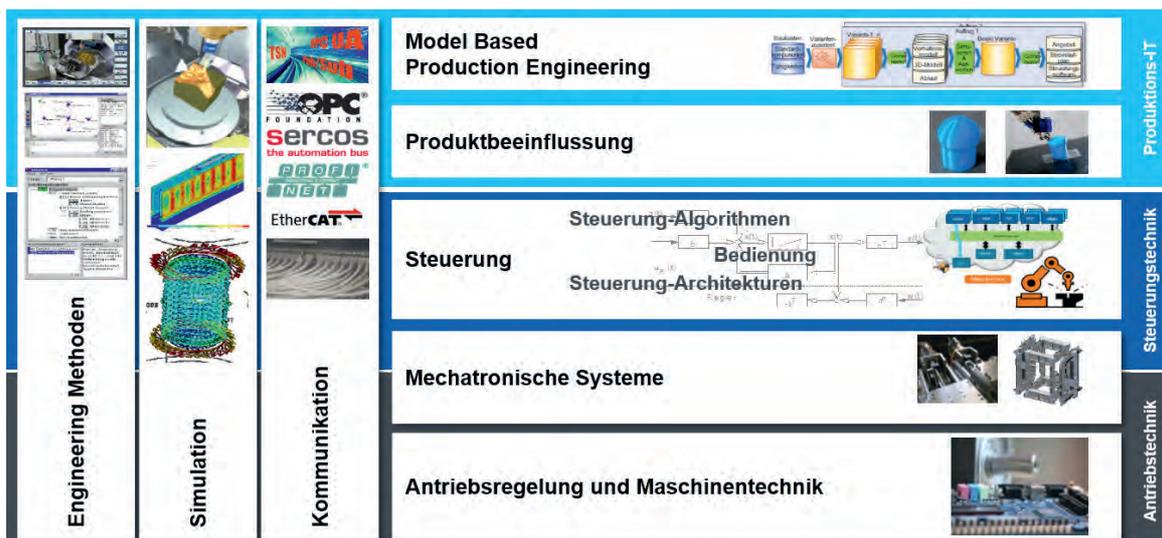
Alexander Verl,
Institutleiter ISW



Oliver Riedel,
Institutleiter ISW

ring wird die steigende Komplexität in der Produktentwicklung und den Produktionsprozessen beherrschbar gemacht und das automatische Generieren von Software ermöglicht. Diese Broschüre gibt einen Überblick über die aktuellen Forschungsaktivitäten, die Angebote für die Industrie und das Lehrangebot, aber auch über das umfangreiche Netzwerk in Wissenschaft und Industrie des Instituts: Wir steuern Zukunft! Zahlreiche internationale Kontakte, eine anhaltend rege Publikationsaktivität, exzellente Industrienähe, eine gefragte und nachhaltige Lehrtätigkeit sowie das Management der Studiengänge Mechatronik B.Sc. und M.Sc. verleihen dem ISW besondere Bedeutung und Stärke.

Wir freuen uns auf zukünftige Herausforderungen und intensiven Kontakt mit Ihnen!



Kernkompetenzen des ISW

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	1
Institutsstruktur	7
Gruppe 1: Software- und Engineeringmethoden	8
Gruppe 2: Industrielle Steuerungstechnik	8
Gruppe 3: Echtzeitkommunikation und Steuerungshardware	9
Gruppe 4: Antriebssysteme und -regelung	10
Gruppe 5: Mechatronische Systeme und Prozesse	10
Gruppe 6: Virtuelle Methoden in der Produktionstechnik	11
Partnerinstitute	13
Forschung	14
Forschungsprojekte	14
Dienstleistungen für die Industrie	105

KOCO MOTION

K&E MOTION

Schrittmotoren und Linearaktuatoren

Steuerungen (teilweise integriert)

AC-Kleinmotoren und Getriebe

DC-Motoren (mechanisch und elektronisch kommutiert)

www.kocomotion.de

... Intelligence in motion

Lehre	110
Lernen am Modell	110
Vorlesungen, Übungen, Praktika und Kurse	112
Abgeschlossene studentische Arbeiten	114
Abgehaltene Prüfungen	123
Exkursionen für Studierende	124
Auszeichnungen	125
Sonstige studentische Veranstaltungen	126
ISW Academy	128
Abgeschlossene Dissertationen	129
Hochschulkontakte	133
Öffentlichkeitsarbeit	137
Mitgliedschaften	137
Mitarbeit an Selbstverwaltungsaufgaben der Universität	138
Ehrenamtliche Mitarbeit in Institutionen, Ausschüssen und Verbänden	139
Aktive Teilnahme an Messen und Ausstellungen	140



Efficient Engineering ist, wenn ein PLAN zu EPLAN wird.

Unternehmen, die den digitalen Wandel im Engineering erfolgreich gestalten wollen, brauchen mehr als einen Plan.

Wie Sie mit EPLAN als starkem globalen Partner alle Potenziale voll ausschöpfen: eplan.de



PROZESSBERATUNG

ENGINEERING-SOFTWARE

IMPLEMENTIERUNG

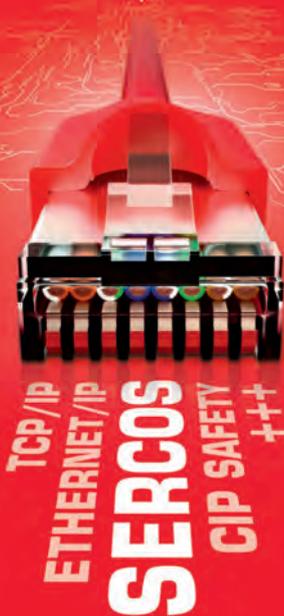
GLOBAL SUPPORT

FRIEDHELM LOH GROUP

Maschinenausstattung	144
Veröffentlichungen und Vorträge	146
Verein der Freunde und Ehemaligen Mitarbeitern des ISW e.V.	151
Weitere ISW-Events	152
Stellenausschreibung	154
Kontakt	155

sercos
the automation bus

**ONE
BUS
FITS
ALL**



**Sercos =
Real-Time
+ IoT.**

That's
the
Sercos®
world.

www.sercos.org



Kompetenzzentrum
Digitalisierung

HEITEC 4.0

Ihr Partner in der Digitalisierung

Wir unterstützen bei der Digitalisierung von Engineering-, Produktions- und Geschäftsprozessen im industriellen Umfeld. Mit unserem HEITEC 4.0 Lösungsportfolio zeigen wir, wie mit Industrie 4.0 schrittweise und nutzenorientiert die Verfügbarkeit und Produktivität von Maschinen und Anlagen im gesamten Lebenszyklus gesteigert werden kann.

HEITEC 4.0 – Effizienz im Engineering Durchgängige Nutzung digitaler Methoden und Werkzeuge im Engineering



Effizienzsteigerung durch funktionales Engineering

Der Weg zu „Configure to Order“ und die Nutzung von CPQ-Systemen



Prozessoptimierung am digitalen Zwilling

Steigerung der Produktivität und Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit



Projektabstimmung durch moderne Methoden

Verkürzung der Projektzeiten,
Reduzierung der Projektrisiken, Erhöhung der Qualität

HEITEC AG • Güterbahnhofstraße 5 • 91052 Erlangen

Tel.: 09131 877-0 • Fax: 09131 877-199

E-Mail: info@heitec.de

www.heitec.de/heitec40

Einführung in OPC UA

Grundlagen zu OPC UA,
unterstützt durch Demonstrationen
und praktische Übungen



In diesem Seminar führen Experten des ISW in grundlegende Konzepte von OPC UA ein und bieten zudem die Möglichkeit durch Demonstrationen und praktische Übungen in Kontakt mit der Kommunikationsarchitektur zu kommen.

Weitere Informationen unter:

www.isw.uni-stuttgart.de/institut/highlights/schulungen/

INSTITUTSSTRUKTUR



Stand: November 2020

Das ISW besteht aus den beiden Professuren Steuerungstechnik und Mechatronik für Produktionssysteme von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl und Produktionstechnische Informationstechnologien von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel. Gemeinsam bilden die beiden Institutsleiter die Doppelspitze des ISW. Stellvertretender Institutsleiter ist der geschäftsführende Oberingenieur Herr Dr.-Ing. Armin Lechler.

Die Forschungsgebiete der beiden Professoren am ISW erstrecken sich über unterschiedliche Bereiche, die in sechs Gruppen gegliedert sind. Die Ausrichtungen wurden im vergangenen Jahr geschärft und aufgrund des Wachstums wurde eine weitere Gruppe zu virtuellen Methoden geschaffen. Im Einzelnen handelt es sich um die folgenden Forschungsschwerpunkte:

- **Software- und Engineeringmethoden**
- **Industrielle Steuerungstechnik**
- **Echtzeitkommunikation und Steuerungshardware**
- **Antriebssysteme und -regelung**
- **Mechatronische Systeme und Prozesse**
- **Virtuelle Methoden in der Produktionstechnik**

Die einzelnen Gruppen führen grundlagenorientierte und anwendungsnahe Forschung sowie Auftragsforschung für die Industrie zu den einzelnen Schwerpunkten durch und bauen

diese durch innovative Ideen stetig weiter aus. Als voller Erfolg bei der Unterstützung von Lehrveranstaltungen hat sich das studentische Applikationslabor zur Aus- und Weiterbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren in Richtung IT erwiesen. Die zentralen Dienste des Instituts unterstützen den Erfolg durch Übernahme von administrativen Aufgaben bei der Studierendenbetreuung, Organisation der Lehre, dem Rechnungswesen und dem Sekretariat sowie der Assistenz der Institutsleitung. Das technische Büro koordiniert u.a. Veranstaltungen und Öffentlichkeitsarbeiten und stellt für wissenschaftliche Arbeiten Services für Fotografie und Grafik zur Verfügung. Die Werkstätten für mechanische Bearbeitung, Elektrik und Elektronik setzen sich am Institut für eine schnelle und zuverlässige Umsetzung von Versuchständen, Prototypen, Praktikumsaufbauten und Funktionsmustern ein.

GRUPPE 1: SOFTWARE- UND ENGINEERINGMETHODEN

GRUPPE 2: INDUSTRIELLE STEUERUNGSTECHNIK



Forschungsschwerpunkte:

Softwaremethoden

- Innovative Entwicklungs- und Projektierungsmethode: simulationsgestützt, funktional, baukastenbasiert, u. a. für Fertigungseinrichtungen
- Funktionale Betrachtung von IT-Anforderungen
- Cloudbasierte Systemarchitekturen für die Automatisierungstechnik
- Fähigkeitsbasiertes Scheduling von Aufträgen

Engineeringmethoden

- Modellbasierte Prozess- und Bahnplanung
- Aufgaben- und Ablaufplanung hybrider Fertigungsprozesse (additiv und subtraktiv)
- Deploymentstrategien von Software für Produktionstechnik

Systemanalyse und -optimierung

- Datengetriebene Identifikation von System(fehl)verhalten
- Informations- und Systemmodellierung: Prozessplanungs-, Daten-, Semantik- und Kommunikationsmodelle

Kontakt:

Carsten Ellwein, M.Sc.
carsten.ellwein@isw.uni-stuttgart.de

Forschungsschwerpunkte:

Steuerungstechnik

- NC-Kernfunktionalität (Bahnplanung)
- Herstellerspezifische und übergreifende Steuerungsschnittstellen
- Dezentrale Systeme und verteilte Interpolation

Kommunikationstechnik

- Netzwerkkommunikation in Produktionsnetzwerken
- LTE- und TSN-basierte Kommunikation
- OPC UA Schnittstellen und Spezifizierung von branchenweiten Informationsmodellen
- Normung, Spezifizierung, Feldbuszertifizierung

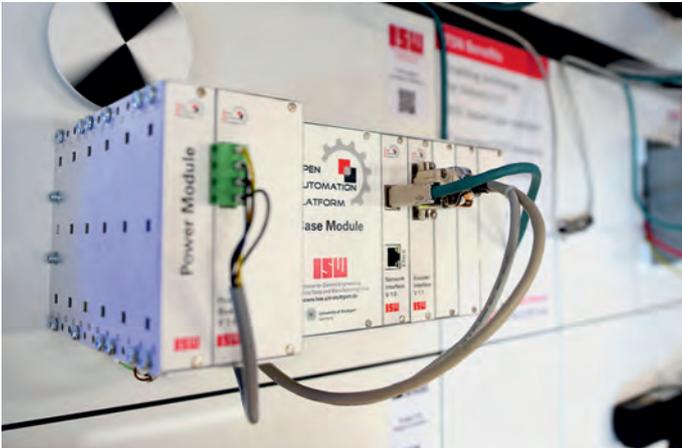
Technologietransfer

- Erweiterung der klassischen Steuerungstechnik mit Hilfe von maschinellen Lernansätzen
- Konzepte für die Steuerungstechnik der Zukunft, plattform- und servicebasierte Steuerungsarchitekturen, Verwendung von Blockchaintechnologie, Konzeptionierung eines Betriebssystems für die industrielle Produktion, u.a.

Kontakt:

Tobias Bux, M.Sc.
tobias.bux@isw.uni-stuttgart.de

GRUPPE 3: ECHTZEIT-KOMMUNIKATION UND STEUERUNGSHARDWARE



Forschungsschwerpunkte:

Echtzeitkommunikation

- Time Sensitive Networking (TSN)
- Feldbusse
- Konvergente Netze
- Drahtloskommunikation
- Open-Source-Stacks
- Hardwareimplementierungen
- Interoperabilität und Testing

Steuerungshardware & Architekturkonzepte

- CPU- und Embedded-Plattformen
- Offene Steuer- und Regelplattformen
- Anwendung von FPGA-Technik
- Sensordatenerfassung und -aufbereitung
- Regelkonzepte für Servoantriebe und Sonderanwendungen
- Leistungselektronik und Umrichtertechnik

Kontakt:

Dipl.-Ing. Florian Frick
florian.frick@isw.uni-stuttgart.de

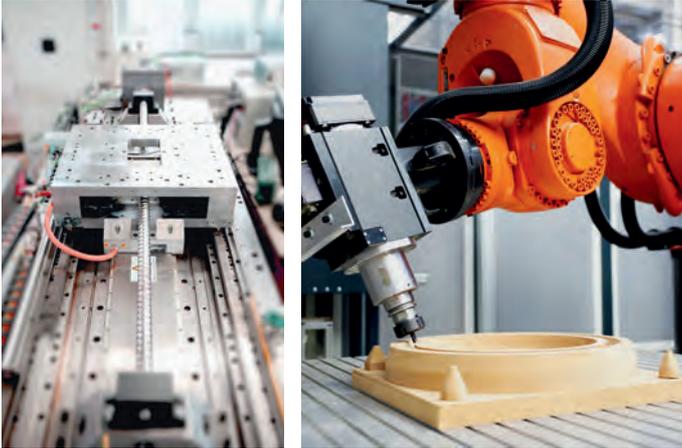
CLOUDPLUG

Das industrielle IoT Gateway.



- ✓ **Kostengünstige, sichere Konnektivität** zwischen Maschinen und Anlagen im Feld und der Cloud
- ✓ Die Möglichkeit Anwendungen im Feld bereitzustellen und **in nahezu Echtzeit zu betreiben**
- ✓ Bereitstellung von Infrastruktur und Workflows zur **datengetriebenen Prozess-/Anlagenoptimierung**
- ✓ **Security by design** – Hardware basierte Verschlüsselung und Authentifizierung Ihrer Daten.
- ✓ **Google Edge TPU Hardware** zur echtzeitnahen Ausführung von ML Anwendungen im Feld
- ✓ Unterstützung einer **Vielzahl von Automatisierungsprotokollen /-schnittstellen**: OPC-UA, ModBus TCP/RTU, EtherCat, Siemens S7, analog/digital IOs, uvm.

GRUPPE 4: ANTRIEBSSYSTEME UND -REGELUNG



Forschungsschwerpunkte:

Antriebsregelung

- Systemdynamik geregelter Antriebssysteme
- Alternative und erweiterte Regelungsstrukturen
- Kompensationsverfahren

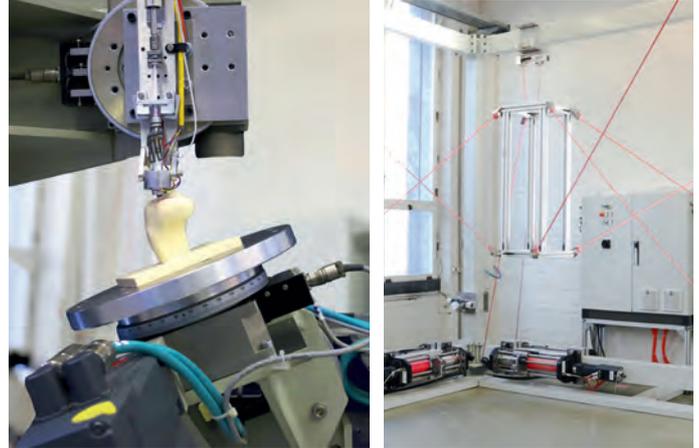
Maschinentechnik

- (Alternative) Vorschubantriebssysteme
- Optimierung von Antriebssystemkomponenten

Industrierobotik

- Modellbasierte Regelungsverfahren
- Zerspanende Bearbeitung

GRUPPE 5: MECHATRONISCHE SYSTEME UND PROZESSE



Forschungsschwerpunkte:

Dynamik mechatronischer Systeme

- Optimierung und Neuentwicklung mechatronischer Systeme sowie moderner Softwareapplikationen
- Modellierung, Simulation und Systemidentifikation
- Methoden zur Datenerfassung und -auswertung für die Optimierung von ein- und mehrstufigen Produktionssystemen

Additive Fertigung

- Freiformdrucken vom CAD-Teil bis zum Produkt
- Entwicklung hochfrequenter Regelungs- und Steuerungstechnik
- Modellierung und Simulation additiver Prozesse
- Spezialanwendung: von der Medizintechnik bis hin zum Bauwesen

Seilrobotik

- Modellierung und Regelung der Elastodynamik
- Rekonfiguration veränderlicher Roboterkinematiken
- Erweiterung des Einsatzgebietes durch Erforschung neuer Roboterkinematiken
- Spezialanwendung: z.B. additive Fertigung

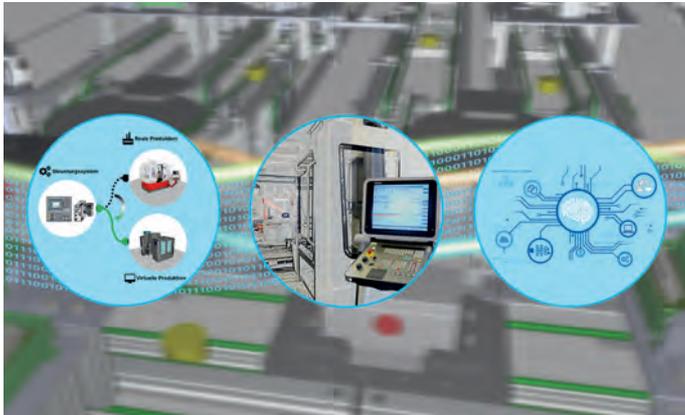
Kontakt:

Michael Neubauer, M.Sc.
michael.neubauer@isw.uni-stuttgart.de

Kontakt:

Florian Eger, M.Sc.
florian.eger@isw.uni-stuttgart.de

GRUPPE 6: VIRTUELLE METHODEN IN DER PRODUKTIONSTECHNIK



Forschungsschwerpunkte:

Digitaler Zwilling – auf dem Weg zum vollständig digitalen Lebenszyklus der Produktion

- Umfassende Simulationsmodelle mittels multiskalärer Materialflussmodelle
- Generierung von Digitalen Zwillingen für die Montageauslegung und -optimierung
- Entwicklungsplattform für die unternehmensübergreifende Nutzung von Digitalen Zwillingen

Virtuelle Inbetriebnahme – Methode der Digitalen Fabrik aus Modellen, Werkzeugen und Methoden

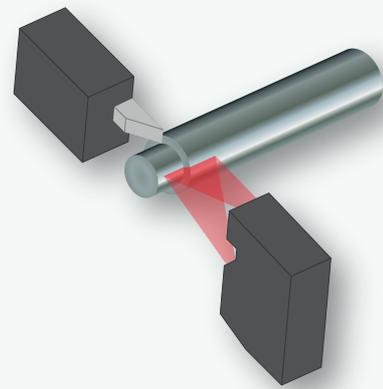
- Durchgängige X-in-the-Loop Simulationsmodelle für die Absicherung des Engineerings
- Hybride Inbetriebnahme mit realen und virtuellen Komponenten
- Erweiterte virtuelle Inbetriebnahme mittels Testautomatisierung

Künstliche Intelligenz – Gekoppelt mit dem Digitalen Zwilling für das Engineering der Zukunft

- Virtuelle Produktionsabbilder als „Gym“ für Reinforcement Learning
- Kognitive Steuerungstechnik im Engineering und im Betrieb

Kontakt:

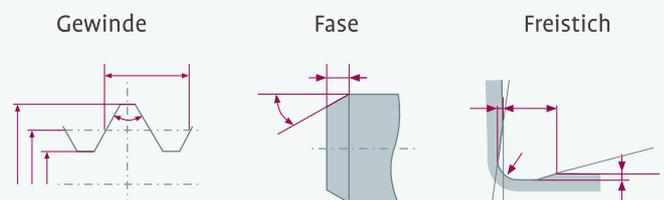
Dipl.-Ing. Karl Kübler
karl.kuebler@isw.uni-stuttgart.de



3+ LaserTurn

Inline-Qualitätssicherung beim Drehen

In der zerspanenden Fertigung werden hohe Anforderungen an die Qualität von gedrehten Werkstücken gestellt. Genaueste Bauteiltoleranzen bei definierten Bauteilrauheiten und hohen Zeitspannvolumina sind angestrebte Ziele. In Zusammenarbeit mit dem IWF der TU Berlin wird deshalb ein Verfahren zur Inline-Prozessüberwachung und -regelung entwickelt.



Dabei kommt ein Lasertriangulationssensor zum Einsatz. Aus den gewonnenen Profildaten werden Adaptionvorschriften für die prozessabhängigen Stellgrößen hergeleitet. Dadurch wird eine gleichbleibende Bauteilqualität und die Nutzung des Werkzeugs bis zur endgültigen Verschleißgrenze erreicht. Die Reduzierung der Rüstzeiten und eine effizientere Ausnutzung der Prozesskapazitäten sind wesentliche Vorteile.

www.3plusplus.com



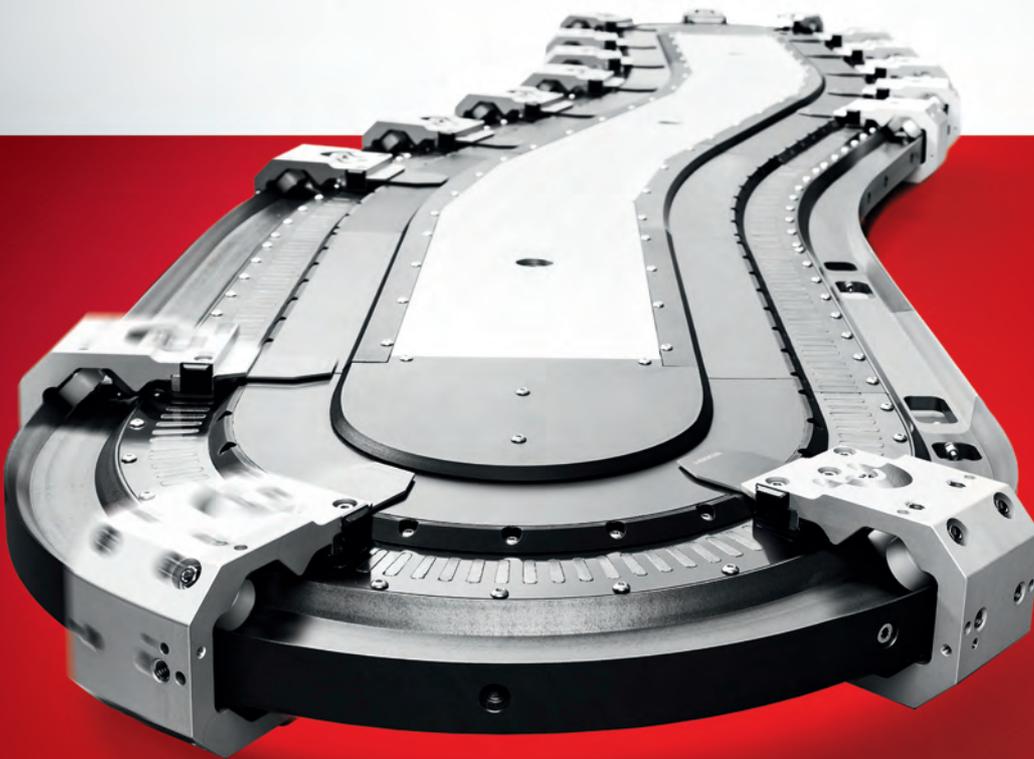
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Schneller und einfacher zur besseren Maschine: mit XTS



Der XTS-Vorsprung

- umlaufende Bewegung
- flexibles Baukastensystem
- individuell bewegliche Mover



Der Anwendervorteil

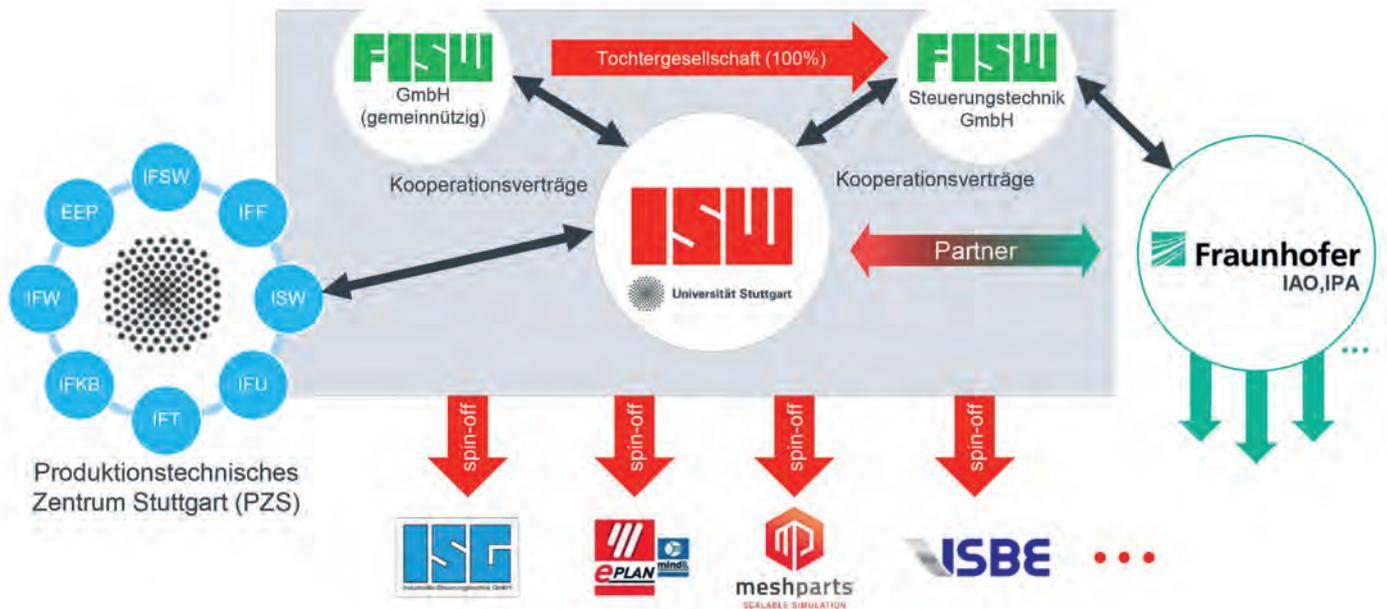
- minimierter Footprint
- softwarebasierte Formatwechsel
- verbesserte Verfügbarkeit
- erhöhter Ausstoß
- verkürzte Time-to-Market

www.beckhoff.de/xts

Weltweit müssen Produkthersteller zunehmend individualisierte Produkte anbieten – mit Maschinen, die zugleich den Footprint reduzieren und die Produktivität verbessern. Dies ermöglicht das eXtended Transport System XTS in Kombination mit der PC- und EtherCAT-basierten Steuerungstechnik. Seine hohe Konstruktionsfreiheit erlaubt neue Maschinenkonzepte für Transport, Handling und Montage. In der Hygienic-Version aus Edelstahl ist das XTS ideal für den Einsatz in der Pharma- und Lebensmittelbranche.

- freie Einbaulage
- kompakte Bauform
- frei wählbare Geometrie
- wenige mechanische Teile und Systemkomponenten

Partnerinstitute



Das ISW finanziert seine Forschungsarbeiten über unterschiedliche Forschungsträger wie z.B. DFG, BMBF und bearbeitet industrieorientierte Entwicklungen in enger Kooperation mit der FISW GmbH und der FISW Steuerungstechnik GmbH. Die notwendigen Mittel für die wissenschaftlichen Mitarbeiter und die Angestellten in den Bereichen Technik und Verwaltung werden durch Haushaltsmittel der Universität, öffentlich geförderte Grundlagenforschung, industrielle Gemeinschaftsforschung und direkte Aufträge aus der Industrie gedeckt.

Das ISW verfügt über ein umfangreiches internationales Netzwerk in der Wissenschaft und Industrie. Auch in vielen nationalen und internationalen Gremien ist das ISW ein anerkannter und aktiver Partner.

Im näheren lokalen Umfeld besteht eine enge technische Zusammenarbeit mit den prozessorientierten Instituten des Produktionstechnischen Zentrums Stuttgart (PZS) und auf der Anwendungsseite mit Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft am Standort Stuttgart. Insbesondere durch die Personalunion von Prof. Riedel als Institutsleiter des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation ergeben sich sehr gute Synergien bei der Bearbeitung komplexer Projekte im Umfeld der Koppelung von Produktentstehung und Produktionsprozessen.

Aufgrund der industrienahen Forschung mit Praxisrelevanz wurden über die Jahre hinweg unterschiedliche Firmen entsprechend der Forschungsfelder des ISW erfolgreich ausgegründet. Zu den Spin-offs besteht nach wie vor ein enger Kontakt. Über die Zusammenarbeit mit den beiden FISW GmbHs werden sehr kompetente und passende Lösungen für die Industrie erarbeitet und erfolgreich umgesetzt.

FORSCHUNGSPROJEKTE

INTEGRATIVE COMPUTATIONAL DESIGN AND CONSTRUCTION FOR ARCHITECTURE (IntCDC)

IntCDC
CLUSTER OF EXCELLENCE

EIN EXZELLENZCLUSTER GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)

DFG

Das Exzellenzcluster IntCDC ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt in Stuttgart mit dem Fokus der wirtschaftsnahen Grundlagenforschung im Bereich der Architektur und Bauherstellung. Seit 2019 läuft die erste siebenjährige Förderperiode des Exzellenzclusters als eines der bedeutendsten und umfangreichsten Förderprojekte der DFG.



Der Bausektor konsumiert bereits heute mehr als 40% der globalen Ressourcen und Energie, doch der Raumbedarf nimmt weiter dramatisch zu: In den nächsten 35 Jahren sind neue städtische Bauten für 2,6 Mrd. Menschen zu schaffen (ca. 400.000 Wohnungen in deutschen Städten). Digitale Technologien bieten neue Lösungsansätze zur Produktivitätssteigerung im Bauwesen. Ziel des Exzellenzclusters ist es, das volle Potential digitaler Technologien zu nutzen, um das Planen und Bauen in einem integrativen und interdisziplinären Ansatz neu zu denken (Vision in **ABB.1**). Durch einen systematischen, ganzheitlichen und integrativen computerbasierten Ansatz sollen die methodischen Grundlagen für eine umfassende Modernisierung des Bauschaffens gelegt werden. Eine zentrale Zielsetzung ist die Entwicklung einer übergeordneten Methodologie des „Co-Design“ von Methoden, Prozessen und Systemen, basierend auf interdisziplinärer Forschung zwischen den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Ingenieurgeodäsie, Produktions- und Systemtechnik, Informatik und Robotik sowie Geistes- und Sozialwissenschaften (siehe **ABB.2**). Das ISW ist Forschungspartner in 4 von 19 Teilprojekten (TP), die im Folgenden präsentiert werden.

ABB.1: Das Bauen der Zukunft - Vision, © IntCDC, University of Stuttgart

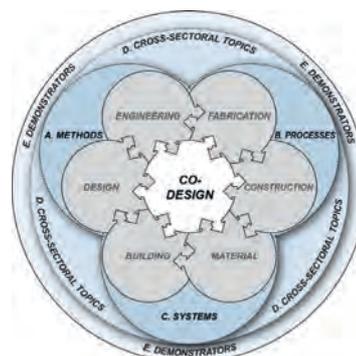


ABB.2: Co-Design Philosophie, © IntCDC, University of Stuttgart

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl
alexander.verl@isw.uni-stuttgart.de

ENTWICKLUNG EINER MODULAREN FERTIGUNGSPLATTFORM FÜR DIE HERSTELLUNG VON HOLZBAUTEILEN (IntCDC TP4)



GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In diesem Forschungsprojekt wird eine neuartige, off- und on-site, cyber-physikalische Fertigungsplattform für den Holzbau entwickelt und erprobt.

Ziel dieses Teilprojektes ist die Entwicklung einer neuartigen, off- und on-site, cyber-physikalischen Fertigungsplattform für den Holzbau entsprechend der Co-Design-Philosophie. Mit dieser Plattform soll ermöglicht werden, dass das zu niedrige Automatisierungsniveau im nichtstandardisierten Holzbau angehoben wird. Dazu wird eine modulare, rekonfigurierbare, transportable und erweiterbare Fertigungsplattform, die durch Human-Machine-Interfaces unterstützt wird, entwickelt. Durch eine datenbasierte Verknüpfung der Fertigungsplattform mit der parametrischen Gebäudesystementwicklung werden kontinuierliche Prozessinteraktionen von Gebäudeplanung und Bauteilherstellung ermöglicht. Hierzu werden automatisierte Fertigungslayouts in Abhängigkeit von zu fertigenden Bauteilbeschreibungen generiert.

Der Ansatz für die Erreichung der Ziele von **TP4** ist eine starke Fokussierung auf Modularisierung und Standardisierung der Fertigungsplattform. Dies gilt für die mechanischen, elektrischen und informationstechnischen Schnittstellen sowie Standards der einzelnen Module der Fertigungsplattform. Um die Modularisierung der bisher im Holzbau üblichen, monolithischen Fertigungsstraßen zu ermöglichen, soll die neuartige Fertigungsplattform auf Basis von Industrierobotern als Manipulatoren aufgebaut werden.

Die einzelnen Module der Anlage sollen auf der Grundlage von Standard ISO-Containern aufgebaut werden. Die Grundelemente der Anlage bestehen aus Bearbeitungsmodulen mit Industrierobotern sowie aus Handhabungsmodulen für die Werkstücke.

Das ISW beschäftigt sich innerhalb dieses Teilprojekts vor allem mit den steuerungstechnischen Herausforderungen hinsichtlich Rekonfiguration, Inbetriebnahme und Betrieb einer solchen Fertigungsanlage für den Holzbau.

Innerhalb der Projektlaufzeit von mindestens 3 Jahren wird ein Gebäude als Demonstrator gebaut, das mit Hilfe der zu entwickelten Fertigungsplattform hergestellt wird.

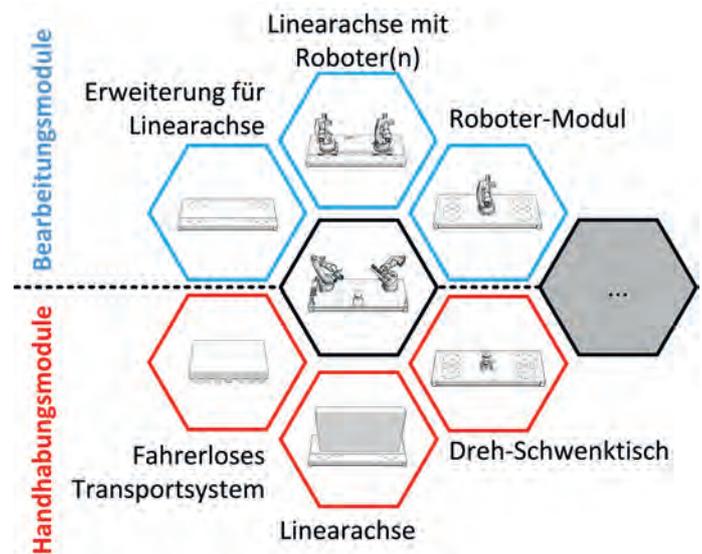


ABB.1: Plattformmodule

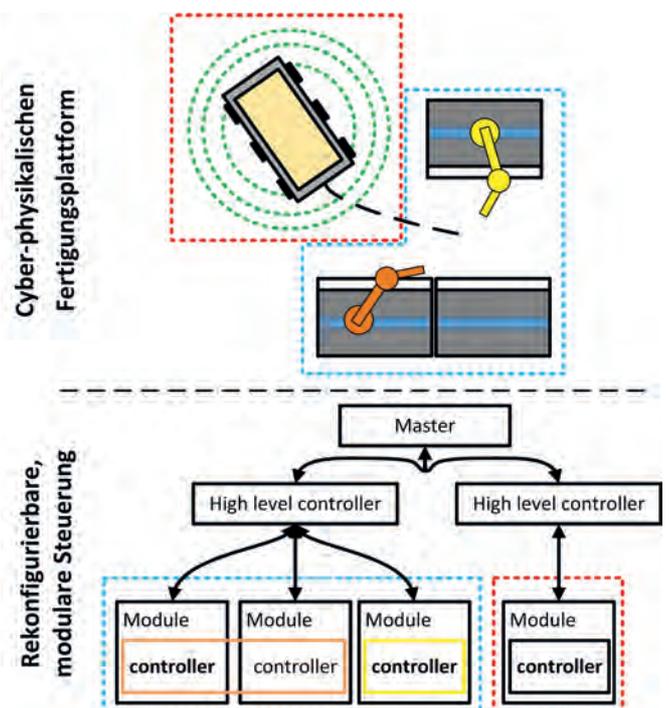


ABB.2: Rekonfigurierbare Steuerung

Kontakt:

Benjamin Kaiser, M.Sc.
benjamin.kaiser@isw.uni-stuttgart.de

Frederik Wulle, M.Sc.
frederik.wulle@isw.uni-stuttgart.de

INTEGRATIVES DATENMANAGEMENT VERNETZTER, CYBER-PHYSIKALISCHER SYSTEME FÜR DIE COMPUTERGESTÜTZTE KONSTRUKTION, SIMULATION UND FERTIGUNG IM BAUWESEN (IntCDC TP9 und TP15)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)

In diesen Teilprojekten wird eine zentrale Datenmanagement-Plattform zur Realisierung des Co-Designs entwickelt, die neben der CAD-CAM-Prozesskette auch Daten zur Beschreibung von Maschinenfähigkeiten berücksichtigt.

Eine wesentliche Herausforderung des angestrebten Co-Design-Ansatzes ist die zentrale Datenverwaltung. Im derzeitigen sequenziell verlaufenden Bauprozess existiert kein durchgängiges Datenmodell, wodurch die Informationsdichte abnimmt. In späteren Umsetzungsphasen sind deshalb nicht mehr alle Informationen aus den früheren Planungsphasen verfügbar. Eine Rückverfolgung dieser Informationen ist mit hohem Aufwand verbunden.

Das **Teilprojekt 9** zielt darauf ab, diesem Problem entgegenzuwirken indem eine zentrale Datenmanagement-Plattform entwickelt wird. Diese Plattform wird über die gesamte Prozesskette hinweg gemeinsam genutzt und unterstützt die Interoperabilität zwischen allen Phasen. Dabei werden relevante Datenformate aus den Bereichen des computergestützten Konstruierens (CAD) sowie des computergestützten Fertigungs (CAM) analysiert. Die in der zentralen Datenmanagement-Plattform zusammengeführten Daten sollen als Grundlage dienen, um beispielsweise die Abweichung eines überwachten Zustands vom erwarteten Zustand automatisiert zu analysieren und gegebenenfalls Handlungsanweisungen zu kommandieren. Das ISW erforscht dabei, wie Daten, die aus den Planungsphasen des Bauwesens vorhanden sind, für die Domäne der Fertigung zugänglich gemacht werden können. Zusätzlich sind für die Realisierung des Co-Designs weitere Funktionalitäten zu entwickeln. Dazu zählt die automatisierte Zuordnung von Arbeitsaufträgen zu den jeweiligen Produktionsmitteln. Das übergeordnete Ziel des **Teilprojekts 15** ist es, Datenmanagement- und KI-Techniken zu entwickeln und in den Produktionsprozess von Bauelementen zu integrieren. Das ISW beschäftigt sich in diesem Teilprojekt mit der Beschreibung der verfügbaren Maschinen beziehungsweise deren Fähigkeiten.

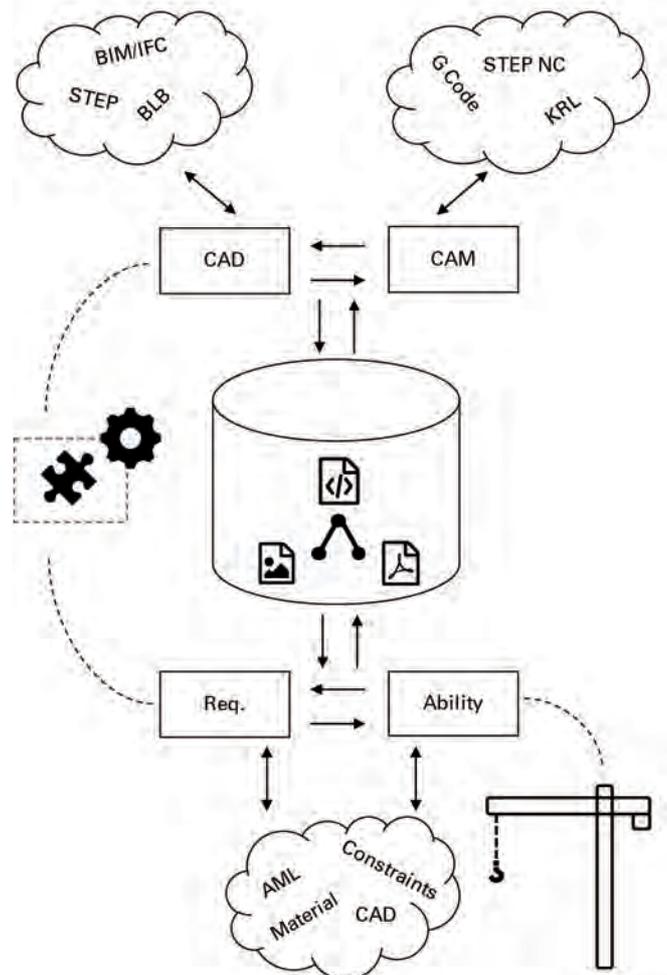


ABB.1: Gesamtkonzept des Datenmanagements

Kontakt:

Carsten Ellwein, M.Sc.
carsten.ellwein@isw.uni-stuttgart.de

ENTWICKLUNG EINER MODULAREN FERTIGUNGSPLATTFORM FÜR DIE HERSTELLUNG VON FASERVERBUNDBAUTEILEN (IntCDC TP14)

IntCDC
CLUSTER OF EXCELLENCE

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)

DFG

In diesem Teilprojekt wird eine neuartige off-site Fertigungsplattform entwickelt, die die Fertigung von Faserverbundbauteilen für großflächige Gebäude ermöglicht.

Im IntCDC Forschungsnetzwerk 2 „IntCDC für weitspannende Gebäude“ wird ein Verfahren erforscht, welches ermöglichen soll, große und belastbare Tragwerke aus faserverstärkten Kunststoffen herzustellen. Dazu sollen, abseits der Baustelle, kleinere individuelle Module aus Faserverbundwerkstoffen gefertigt werden, die dann vor Ort zu einem großen Bauwerk verbunden werden.

Der Fokus des **Teilprojekt 14** liegt hierbei auf der Entwicklung einer Fertigungsplattform für die im Forschungsnetzwerk entworfenen Module. Das Forschungsprojekt ist daher als eine Kooperation von Fasertechnikern (Institut für Flugzeugbau), Architekten (Institut für Computational Design and Construction) und den Automatisierungstechnikern vom ISW ausgelegt.

In **TP14** werden neue Fertigungszellendesigns erforscht, die mehrere kooperierende Roboter nutzen, um größtmögliche Gestaltungsfreiheit zu bieten. So kann eine Übergabe des im TP neuentwickelten Faserlegekopfes durch das gewickelte Bauteil, den Aufbau vollkommen neuer Strukturen ermöglichen.

Wesentliche Aufgabe des ISW in diesem Teilprojekt ist die Berechnung und Simulation von Robotertrajektorien aus den vorgegebenen Wicklungen des Bauteils. Nur durch eine umfangreiche Vorausberechnung kann sichergestellt werden, dass die komplexen Bauteile überhaupt gefertigt werden können und System und Bauteil keinen Schaden nehmen.

Die mit flüssigem Kunststoff imprägnierten Fasern sind während der Fertigung jedoch noch sehr flexibel und können sich relativ zueinander bewegen und verrutschen. Das Fertigungssystem wird daher durch umfangreiche Messsensorik erweitert und neue Regelungsverfahren werden erforscht, um die korrekte Positionierung der Fasern sicherzustellen.

Im Geiste des im IntCDC vorangetriebenen „Co-Design“ werden dabei wesentliche Erkenntnisse und Aufzeichnungen über den Fertigungsprozess mit den vorgehenden und nachfolgenden Projekten geteilt, um den Gesamtprozess zu optimieren.

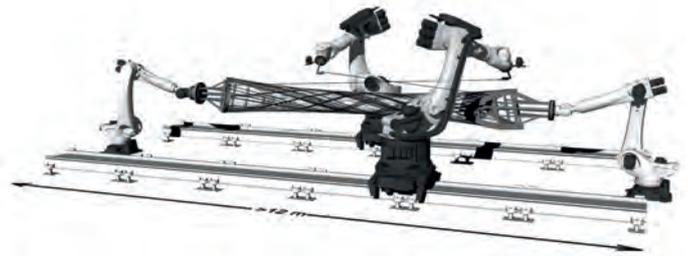


ABB.1: Möglicher Aufbau eines Fertigungssystems mit 26 Achsen;
© IntCDC, University of Stuttgart

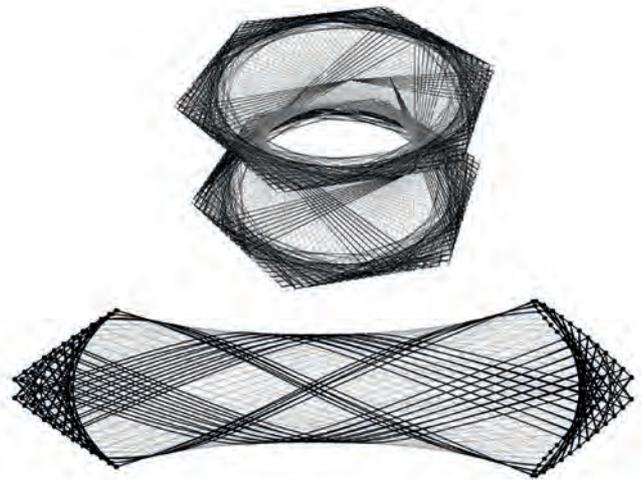


ABB.2: : Mögliche Bauteilformen; © ICD/ITKE

Kontakt:

Martin Wolf, M.Sc.
martin.wolf@isw.uni-stuttgart.de

DATEN-INTEGRIERTE SIMULATIONSWISSENSCHAFT (SimTech)
WISSENSTRANSFER ZWISCHEN FORSCHUNG UND INDUSTRIE ZUR INDUSTRIELLEN ANWENDUNG VON LERNEN UND ECHTZEIT-SIMULATION (DataCon)
EIN EXZELLENZCLUSTER GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)


In diesem Forschungsprojekt wird der Transfer von Erkenntnissen und Forschungsergebnissen des neuen Exzellenzclusters 2075 „Daten-integrierte Simulationswissenschaften (SimTech)“ der Universität Stuttgart in die Industrie adressiert. Um die im Exzellenzcluster neu entwickelten Methoden im Kontext der Industrie nutzen zu können, muss der Wissenstransfer aus der Forschung in die industrielle Anwendung organisiert werden. Hierum kümmert sich das Industrial Consortium SimTech e. V. (IC SimTech) im Rahmen dieses Projektes durch regelmäßige Tagungen, Symposien, Seminarreihen und Workshops. Um Transparenz zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen und industriellen Anwendungen zu schaffen, wird darüber hinaus ein Demonstrator aufgebaut, welcher zeigt, wie neue Methoden zur Integration von Daten in die virtuelle Welt der Simulation zur Steuerung und Regelung realer Prozesse im Kontext der Produktion eingesetzt werden können.

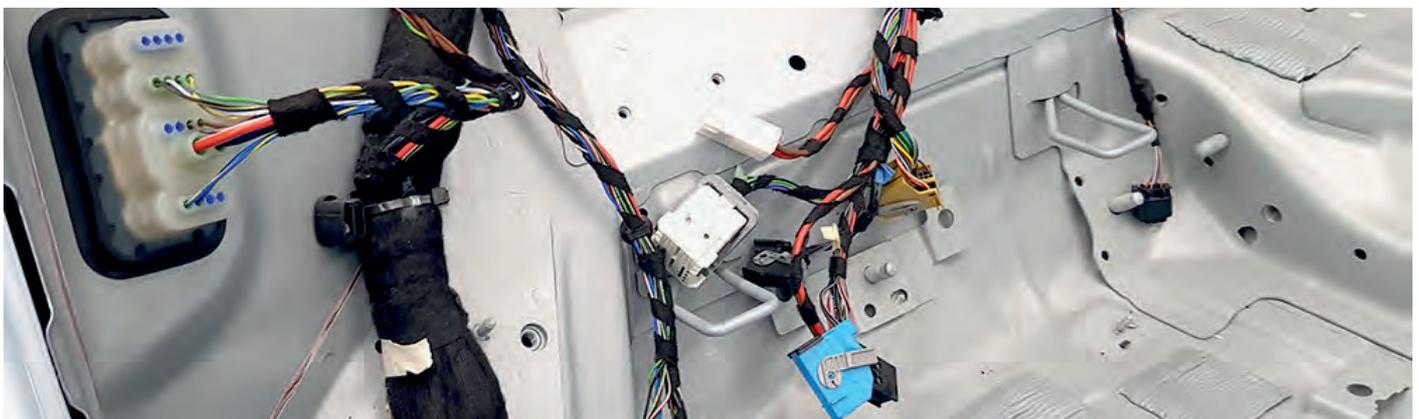


ABB.1: Teilmontierter Leitungssatz in einer Rohkarosse

Forschungsziel des neuen SimTech Exzellenzclusters „Daten-integrierte Simulationswissenschaften“ ist die systematische Integration von verfügbaren Informationen aus gesammelten Daten in den Kreislauf der Systemmodellierung, -simulation und -analyse. Für technische Anwendungen im Bereich der Produktionsautomatisierung ist dieser Ansatz vor allem für Produktionsprozesse sinnvoll, bei denen die Maschinensteuerung sich auf Prozessänderungen während der Produktion einstellen muss.

Diese Anforderung nimmt unter der zunehmenden Individualisierung von Produkten und dem steigenden Trend zu dynamisch ändernden Produktionsumgebungen kontinuierlich zu. Auch der zunehmende Bedarf zur Automatisierung von komplexen Arbeitsschritten, beispielsweise die Handhabung von Gütern mit komplexer Geometrie oder variierenden Formen erfordert zunehmend Automatisierungslösungen die flexibel agieren können.

Ein industrieller Anwendungsfall für einen solchen Produktionsprozess ist die automatisierte Montage von Leitungssätzen im Automobilbau. Leitungssätze sind, aufgrund der von den Automobilherstellern angebotenen individuellen Konfigurationsmöglichkeit, durch den Endkunden einer enormen Variantenvielfalt unterworfen. Jeder Montagevorgang eines Leitungssatzes im Fahrzeug stellt damit einen individuellen Ablauf mit vollständig neuen Prozessparametern dar. **ABB.1** zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus einer Fahrzeugrohkarosse mit einem teilmontierten Leitungssatz.

Da Leitungssätze zudem ein biegeschlaffes Materialverhalten aufweisen, ändert sich ihre Form kontinuierlich während des Montageprozesses und damit auch die relative Lage wichtiger Referenzpunkte wie Stecker oder Befestigungsclips. Für einen automatisierten Montageablauf, beispielsweise durch ein Robotersystem, können somit keine fest definierten Sollpositionen für Griff- und Montagestellen vorgegeben werden. Vielmehr muss die Pose des Leitungssatzes während des Prozesses anhand von Sensordaten, beispielsweise durch ein Kamerasystem, erfasst und geeignete Griffpositionen und Trajektorien für die Montage während der Laufzeit abgeleitet werden. Die eindimensionale Geometrie und große Länge von Leitungssätzen, die auch zu Verflechtungen von Kabelsträngen während der Manipulation des Leitungssatzes führen können, sowie die beständige Änderung von Bezugspunkten, erschweren hierbei die Objekterkennung und die gezielte Manipulation. Derzeit stellt die Leitungssatzmontage damit einen der schwierigsten Prozesse für die Automatisierung in der Produktion von Fahrzeugen dar.

Der im Projekt aufzubauende Demonstrator soll zeigen wie ein Daten-integrierter Simulationsansatz zur Lösung von solchen zentralen regelungstechnischen Herausforderungen eingesetzt werden kann. **ABB.2** zeigt eine schematische Darstellung des geplanten Demonstrators. Der Ansatz sieht vor, eine Echtzeit-Simulation des realen Systems, die parallel zum Produktionsprozess abläuft, in die Steuerung zu integrieren. Die Simulation repräsentiert hierbei ein internes Abbild des, für den Prozess relevanten Systemzustands, auf den die Steuerungslogik während des Prozesses zurückgreifen kann. Der Zustand der Simulation wird über aufgezeichnete Sensordaten mit dem realen Prozess synchronisiert. Gleichzeitig werden die aufgezeichneten Sensordaten genutzt, um das Modell, das der Simulation zugrunde liegt, kontinuierlich zu verbessern. Durch einen Vergleich von Modellprädiktion und Messwerten können so prozessrelevante Modellparameter, wie die Steifigkeit des Leitungssatzes, während der Manipulation vom System erlernt werden.

Damit bietet der Demonstrator eine Plattform zum Austausch neu entwickelter Methoden im Bereich Daten-integrierter Modellierung, Simulation und Analyse zwischen den Partnernetzwerken (PN) des SimTech Exzellenzclusters und Industriepartnern des IC SimTech. Synergien im Bereich der Umsetzung des Demonstrators werden hierbei insbesondere in den Partnernetzwerken „Data-integrated model control systems design with guarantees (PN4)“, „On-the-fly model modification, error control, and simulation adaptivity (PN5)“, „Machine le-

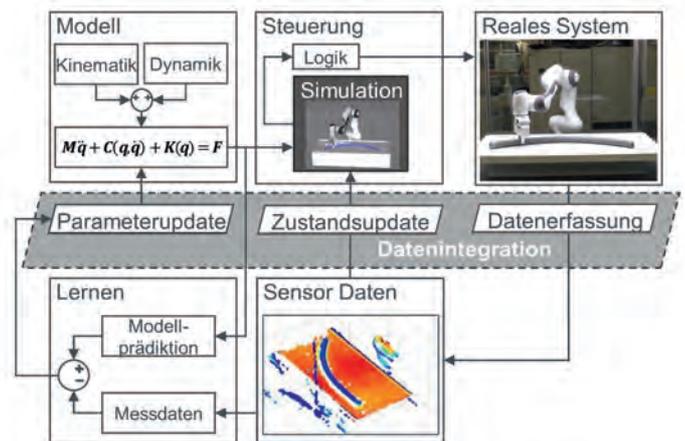


ABB.2: Datenintegrierte Steuerung zur Manipulation biegeschlaffer Objekte

arning for simulation (PN6)“ und „Adaptive simulation and interaction (PN7)“ erwartet.

Mit dem erzielten Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie wird angestrebt, zukünftig vollständig autonom agierende Produktionssysteme realisieren zu können, die in der Lage sind auch komplexe Problemstellungen auf Basis gesammelter Daten eigenständig zu lösen.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Markus Wnuk
markus.wnuk@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



GRADUATE SCHOOL OF EXCELLENCE ADVANCED MANUFACTURING ENGINEERING (GSaME)



EIN GRADUIERTENKOLLEG GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG) von 2007 bis 2019



GEFÖRDERT DURCH DAS MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST BADEN-WÜRTTEMBERG



Das ISW beteiligt sich an den Forschungsarbeiten der verschiedenen Cluster der Graduate School of Excellence Advanced Manufacturing Engineering (GSaME) der Universität Stuttgart. Prof. Riedel und Prof. Verl ergänzen hervorragend das Forschungsprogramm als Wissenschaftliche Mitglieder der GsaME in den Forschungsgebieten: Technologien für die Produktion und Automatisierung, Produktionstechnische Informationstechnologien und Mechatronik, Steuerungstechnik sowie Antriebs- und Maschinentechnik.



ABB.1: GSaME Jahrestagung 2018, © GSaME, Fotograf: Clemens Hess

Zukünftige Spitzenkräfte müssen neben ausgeprägter Fachkompetenz und fachübergreifendem Wissen auch über Fähigkeiten zur systematischen Weiterentwicklung und Anwendung von Problemlösungs-, Entscheidungs- und Handlungskompetenzen verfügen. Sie müssen offen gegenüber neuen Ideen oder Lösungen sein. Die „Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME)“ bildet im Rahmen eines spezifisch entwickelten kooperativen, sowie interdisziplinären Promotionsprogramms High Potentials aus, die über ein solches Profil verfügen. Das Ziel der Graduiertenschule besteht darin, optimale Voraussetzungen für Promotionen zum Dr.-Ing. und zum Dr. rer. pol. zu schaffen und wissenschaftlich qualifizierten Nachwuchs durch ein „Duales Promotionsprogramm (DPP)“ zu fördern.

Neben der originären wissenschaftlichen Arbeit soll eine ergänzende methodische, inhaltlich-fachliche und außerfachliche Qualifizierung ermöglicht werden und durch verbindliche, transparente sowie angemessene Betreuungsstrukturen das Erreichen der Forschungs- und Qualifizierungsziele innerhalb einer Promotionsdauer von vier Jahren gefördert werden. Im Jahr 2007 mit durchaus experimentellem Charakter gestartet, ist die GSaME heute ein Erfolgsmodell. Dies zeigen unter anderem die Kooperationen mit mehr als zwanzig namhaften Firmen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik oder des Automobilsektors sowie weiteren Forschungspartnern. Mitte Juni 2012 wurde die weitere Förderung der GSaME im

Rahmen der Exzellenzinitiative von Bund und Ländern bis 2019 gewonnen und wird darüber hinaus nun durch Industriepromotionen fortgeführt.

Über 80 Forschungsthemen werden an der GSaME über Projekte umgesetzt. 79 Promotionen, finanziert von der DFG oder einem der Kooperationspartner, wurden erfolgreich abgeschlossen. Dabei werden strategische Kooperationen mit mehr als 25 Partnern etabliert, aus welchen innovative Demonstratoren, drei geförderte Nachwuchsgruppen sowie internationale Partnerschaften mit China gepflegt werden. Hierdurch sammeln die Absolventen/-innen wichtige Erfahrungen für einen erfolgreichen Berufsweg und sind den anspruchsvollen Aufgaben der Wirtschaft gewachsen.

Produktionssysteme, die schnell und wirtschaftlich auf sich verändernde Anforderungen reagieren können, basieren auf intelligenten/wissensverarbeitenden, flexiblen und rekonfigurierbaren Produktionseinrichtungen.

Momentan promovieren sieben Doktoranden der GSaME mit Prof. Riedel oder Prof. Verl als Erst- oder Zweitbetreuer. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick ausgewählter Arbeiten gegeben.

Im Bereich der Echtzeit-Produktionssteuerung für die variantenreiche Serienproduktion wird die Fragestellung bearbeitet, auf welche Weise eine Erhöhung der Reaktionsfähigkeit auf kurzfristige Störungen in der Produktion erreicht werden kann. Die zunehmende Produktvielfalt und die Verkürzung der Produktlebenszyklen erfordern eine schnelle, kostengünstige Rekonfiguration bestehender Produktionssysteme. Eine geeignete Lösung ist ein digitales Modell der bestehenden Fertigungszelle: Der Digitale Zwilling. Voraussetzung für die Anwendung des Digitalen Zwillings des Produktionssystems ist allerdings, dass ein aktuelles (virtuelles) Anlagenmodell der mechatronischen Bestandteile der realen Anlage während der verschiedenen Phasen ihres Lebenszyklus existiert. Hier werden die Methoden zur Synchronisation von digitalen Modellen und realen Fertigungszellen erstellt. Im Kontext des Digitalen Zwillings wird ebenfalls an Methoden der automatisierten Auslegungsplanung der Montagelinien geforscht. Durch Einsatz des Digitalen Zwillings wird ein System für ein automatisiertes Engineering vollautomatisierter Montagelinien zur Optimierung der Montageplanung unter Systembedingungen entwickelt. Im Speziellen ist bei Montagelinien der Einsatz von erweiterten Ansätzen der virtuellen Produktionsplanung vielversprechend, welche eine virtuelle Umgebung mit abgestimmten Automatismen anreichert. Dies führt zu schnelleren sowie wirtschaftlicheren Planungen, Auslegungen und Inbetriebnahmen, um den Engineeringaufwand zu bestehenden Lösungen drastisch zu reduzieren.

Als weitere Forschungsrichtung spielt das Verfahren zum Training von Roboter manipulationsfähigkeiten zur Automatisierung von Montageaufgaben eine wichtige Rolle, insbesondere für die Bereitstellung eines Robotersystems, welches die flexible Montage von Produkten in kleiner Losgröße ermöglicht. Hierbei liegt der Fokus auf der autonomen Roboter manipulation, sodass auf eine aufwändige Programmierung des Robotersystems verzichtet werden kann. Um dies zu ermög-

lichen wird eine durchgängige Architektur entwickelt, welche sowohl das simulationsgestützte Training, als auch das Ausrollen von universellen Roboter manipulationsfähigkeiten auf beliebige Knickarmroboter erlaubt.

Besondere Aufmerksamkeit erfährt zudem die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung der Produktion, welche den Einsatz von datengetriebenen Analysen zur Optimierung automatisierungstechnischer Industrieprozesse ermöglicht. Durch die Interpretation der Analyseergebnisse unterschiedlicher Datenquellen können Entscheidungen im Sinne einer Handlungsempfehlung vorbereitet oder automatisch vom zugrundeliegenden IT-System getroffen werden. Hierzu ist es notwendig, die Wissenswelt der Datenanalyse mit der Modellwelt von Komponenten und Systemen sowie mit dem Expertenwissen von Werkern und Ingenieuren über ein lernendes System zu vereinen. Es ist zudem erforderlich, den Erfahrungsgewinn aus bereits getroffenen Entscheidungen in zukünftigen Systemzuständen zu berücksichtigen, damit sich das System weiter selbstoptimiert.

Eine weitere wichtige Forschungsrichtung sind Innovationen der Arbeitsplatzgestaltung in der modernen Produktion. Die heute gebräuchliche Mensch-Computer-Schnittstelle, geprägt von einem oder zwei Bildschirmen, Tastatur und Maus, wird den Anforderungen an den Engineering-Arbeitsplatz der Zukunft immer weniger gerecht. Die Engineering-Prozesse werden über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes mit Hilfe von digitalen Werkzeugen gestützt. Die Gesamtheit dieser Anwendung kann als Computer Aided Everything/ CAx-Landschaft bezeichnet werden. Bei Projected On-Body Computing werden Bedienoberflächen der Anwendungen nicht extern mithilfe von Touchscreens oder klassischen Eingabemethoden wie Maus und Tastatur verwendet, sondern direkt auf dem menschlichen Körper des Nutzers. Die zu klärende wissenschaftliche Fragestellung ist, wie die Komponenten eines Projected On-Body Interfaces in Desktop-Arbeitsumgebungen für CAx-Anwendungen gestaltet werden müssen, damit die Effizienz der Nutzung erhöht werden kann. Im Kontext der Arbeitsplatzgestaltung ist auch die Integration der Exoskelette in die heutige Industrie ein sich entwickelnder Prozess. Nach dem Stand der Technik fehlt derzeit eine Methode der Arbeitsplatzplanung, die die Exoskelett-Technologie einschließt. Um die besten Parameter für die Integration der Exoskelette zu bestimmen, wird eine Methode untersucht und validiert, die sich auf die Verbesserung der ergonomischen Bedingungen der Mitarbeiter konzentriert.

Genauer findet sich in den Einzelprojektbeschreibungen der Doktoranden bei der GSaME.

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel
oliver.riedel@isw.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl
alexander.verl@isw.uni-stuttgart.de

ENTWICKLUNG EINER ENTWURFSBASIERTEN SPRACHE ZUR MONTAGEPROZESSBESCHREIBUNG FÜR AUTOMATISIERTE AUSLEGUNGSPLANUNG VON MONTAGELINIEN

GEFÖRDERT VON DER GRADUATE SCHOOL OF EXCELLENCE
ADVANCED MANUFACTURING ENGINEERING (GAME)



Montagelinien sind seit vielen Jahren eine der wichtigsten Komponenten des Produktionsprozesses. Die Massenproduktion führt zur Produktion in großen Losgrößen und wird in der Regel durch Vollautomatisierung erreicht. Mit dem heutigen Trend der kundenindividuellen Massenproduktion müssen jedoch vollautomatisierte Produktionen von großen Losgrößen auf mittlere und kleine Losgrößen umgestellt werden, um die Flexibilität zu erhöhen. Die Auswertung der Montagelinienkonfiguration erfolgt jedoch manuell, um eine mögliche Lösung zu finden. Der Mangel von softwaregestützten Entscheidungshilfen für eine optimale wirtschaftliche Systemkonfiguration führt somit zu hohen Planungs- und Auslegungskosten. Bei der Automatisierung des Prozesses stellt die Identifizierung von Konfigurationsvarianten der Abgleichprozesse von Betriebsmittel an die Montageprozesse die größte Herausforderung dar.

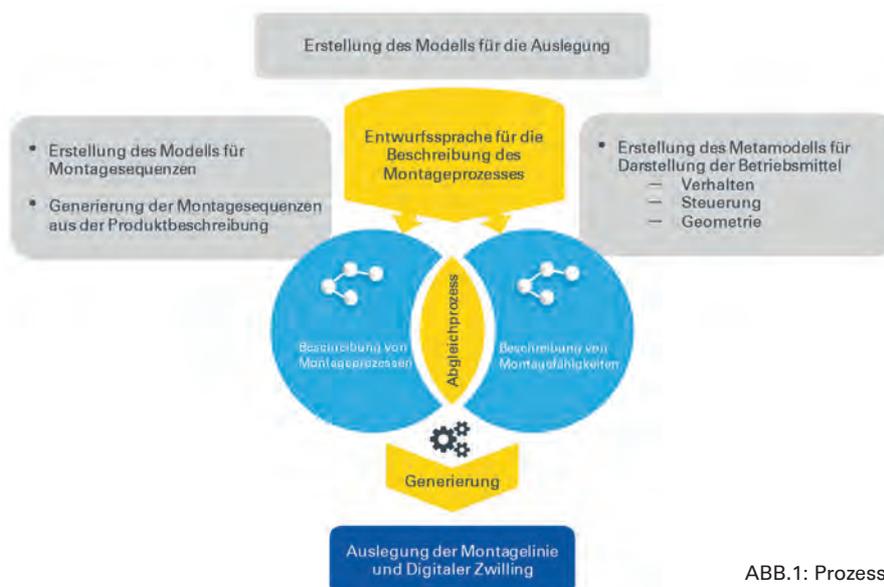


ABB.1: Prozess der Auslegungsgenerierung

Die simulationsgestützte Inbetriebnahme von Automatisierungslösungen erhält mit der Methode der Virtuellen Inbetriebnahme Einzug in das Engineering des Maschinen- und Anlagenbaus. In der späten Engineering-Phase kann durch den Einsatz der Software-in-the-Loop- (SiL) und Hardware-in-the-Loop-Simulationen (HiL) der Automatisierungslösung die Steuerungstechnik bereits vorab ohne reale An-

lagentechnik in Betrieb genommen werden. Viele Tätigkeiten der Inbetriebnahme, wie das Durchführen von Tests, können in Verbindung mit der Simulation automatisiert werden. Die Auslegung in der frühen Engineering-Phase ist jedoch ein iterativer Prozess mit geringem Automatisierungsgrad. Eine darüber hinaus von Beginn an durchgängige simulationsbasierte Planung und Auslegung ist aufgrund des geringeren

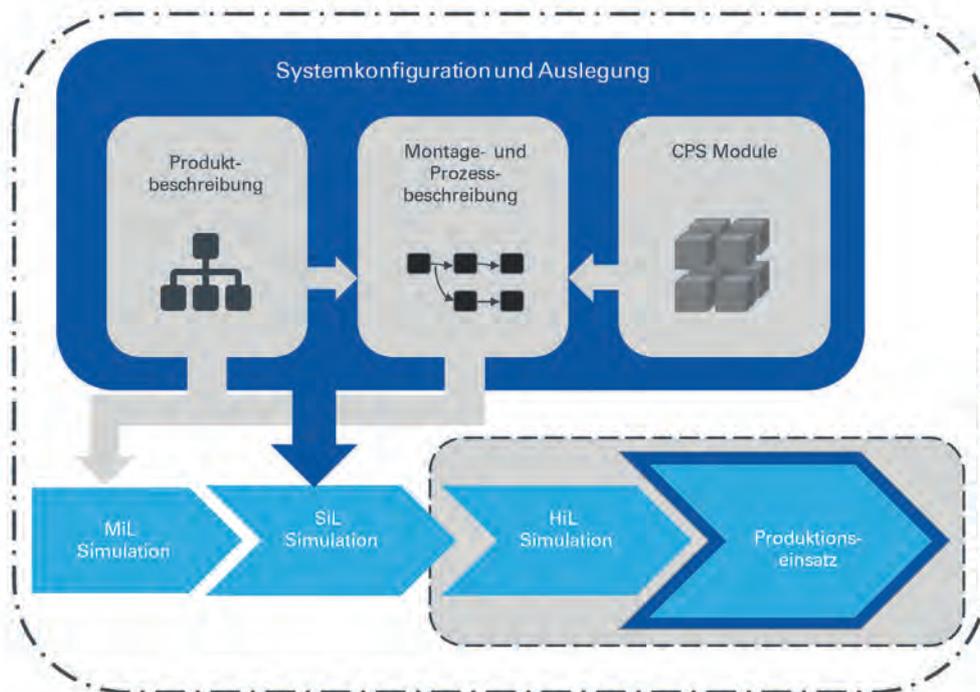


ABB.2: Vollautomatisierte Montagelinienarchitektur

Engineering-Aufwands vielversprechend, derzeit aber aufgrund fehlender Lösungskonzepte nicht möglich. Voruntersuchungen am ISW haben ergeben, dass sich aus dem Digitalen Zwilling und der Engineering-Datenbasis Montageschritte vollautomatisch ableiten lassen. Hier setzt die Themenstellung dieser Forschungsarbeit an.

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Entwurfssprache für die Beschreibung des Montageprozesses, die eine automatische Informationskopplung zwischen Produkt und Betriebsmittel ermöglicht. Auf dieser Sprache aufbauend, wird die Entwicklung eines automatisierten Systems zur Auslegungserstellung von Montagelinien angestrebt, welche durch den Einsatz von Digitalen Zwillingen mit Modellen, Methoden und Werkzeugen aus der Digitalen Fabrik mit Ansätzen aus dem Model-based Systems Engineering (MBSE) kombiniert wird. Für die formale Beschreibung des Montageprozesses sowie der zu generierenden Montagelinienauslegung soll zunächst über den Ansatz des MBSE ein Metamodell für die Fähigkeitsbeschreibung von Betriebsmitteln spezifiziert werden. Zusätzlich wird ein Ontologie-Modell für die Montagesequenzbeschreibung definiert, um einen gewünschten Soll-Prozess als Produkt zu beschreiben. Eng gekoppelte Modelle zur Beschreibung von Betriebsmittel-Fähigkeiten und des Montageprozesses erlauben einen automatischen Abgleichprozess, um mögliche Betriebsmittel für die Montage eines bestimmten Produkts zu identifizieren (siehe **ABB.1**).

Darauf aufbauend wird ein Werkzeug für die Entscheidungshilfe entwickelt, welches semantische Graph-Datenbanken in Kombination mit dem definierten Ontologie-Modell nutzt, um potentielle Montageauslegungen mit bestehenden Betriebsmitteln zu planen. Geplante Auslegungen werden abschlie-

ßend über Software-in-the-loop Simulationen validiert und auf ihre Key Performance Indicators (KPI) bewertet. Das in **ABB.2** dargestellte Architekturkonzept wird innerhalb der Arbeit experimentell validiert.

Um den Aufwand für die Erstellung einer automatisierten Montagelinie deutlich zu senken, werden die folgenden Ergebnisse aus dieser Arbeit erwartet:

- Methodik zur automatisierten Erstellung der Auslegung und ein Software-Werkzeug zur Auslegungsplanung, das diese Methodik implementiert
- Verkürzung der Designphase von Montagelinien über die automatisierte Auslegungsgenerierung
- Verbesserte Integrität des Montagelinien-Designs durch die Wiederverwendung wohldefinierter Modellbeschreibungen von Betriebsmitteln
- Durchgängige Modellbeschreibung von Montagelinien
- Entwurfsbasierte Sprache zur Montageprozessbeschreibung und Datenbank von Montageprozessen und Montagefähigkeiten zur Wiederverwendung
- MiL- und SiL-Simulationsumgebung für die Entwicklung und die vollständige Offline-Inbetriebnahme von neuen Montagetechnologien
- Möglichkeit, das resultierende Software-Werkzeug im Manufacturing Execution System (MES) für eine Automatisierung der Montageplanung zu integrieren.

Kontakt:

Daniella Brovkina, M.Sc.
 daniella.brovkina@isw.uni-stuttgart.de

SIMULATIONSGESTÜTZTES TRAINING UND DEPLOYMENT VON ROBOTERMANIPULATIONSFÄHIGKEITEN ZUR AUTOMATISIERUNG VON MONTAGEAUFGABEN

GEFÖRDERT VON DER GRADUATE SCHOOL OF EXCELLENCE
ADVANCED MANUFACTURING ENGINEERING (GSAME)



Die industrielle Produktion ist ein wesentlicher Treiber für die Wertschöpfung und Beschäftigung und unterliegt einem stetigen Wandel. Neben den statischen Kenngrößen, die sich aus Qualität und Bedarf ergeben, wandelt sich der Kundenwunsch zunehmend zu individualisierten Produkten. Hieraus resultiert eine große Zahl von Produktvarianten. Diese Variantenvielfalt erfordert für die industrielle Produktion, vor allem jedoch für die Endmontage von Produkten, eine hohe Komplexität. Solch eine Komplexität kann mit klassischer Vollautomatisierung nicht unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten beherrscht werden und es existiert ein hoher Anteil an manuellen Tätigkeiten.

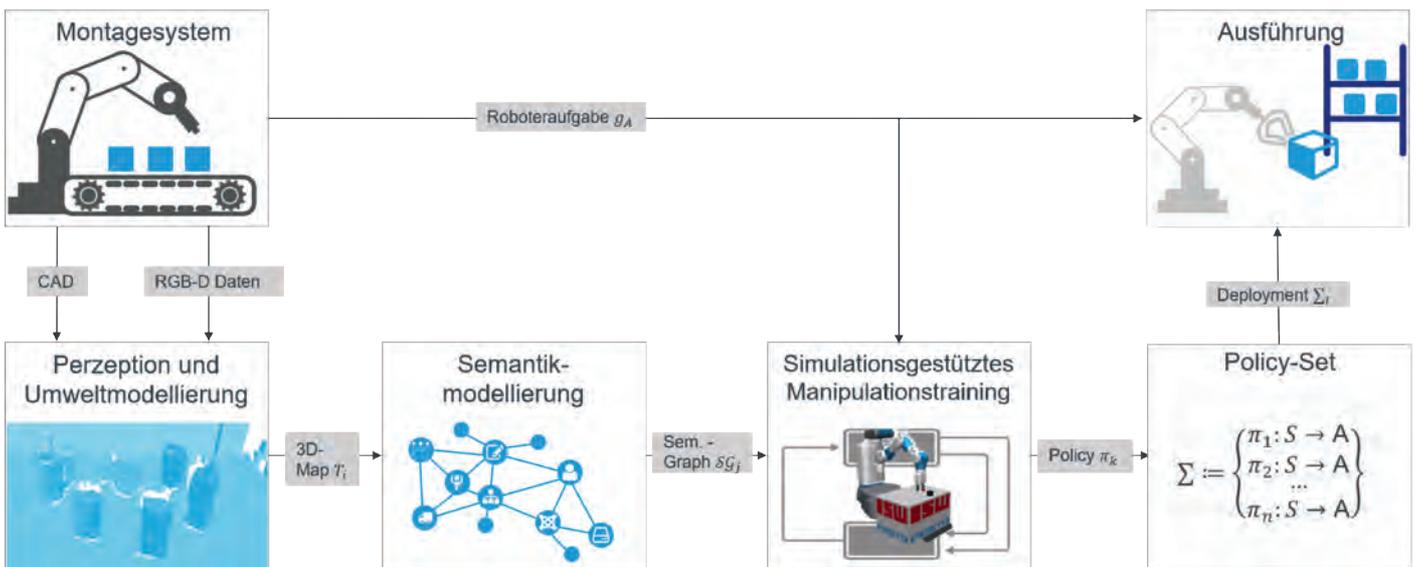


ABB.1: Gesamtarchitektur

Das Ziel des Forschungsprojekts ist die Bereitstellung eines Robotersystems, welches die flexible Montage von Produkten in kleiner Stückzahl und Losgröße ermöglicht. Hierbei liegt der Fokus auf der autonomen Roboteranwendung, sodass auf eine aufwändige Programmierung des Robotersystems verzichtet werden kann. Um eine flexible Automatisierung von Produkten zu ermöglichen, wird eine durchgängige Architektur entwickelt, welche sowohl das simulationsgestützte Training als auch das Ausrollen (Deployment) von universellen Roboteranwendungsfähigkeiten auf beliebige Knickarmroboter erlaubt. Die **ABB.1** zeigt die Gesamtarchitektur des Systems.

Um dem Robotersystem die Fähigkeit einer semantischen Umweltperzeption zu ermöglichen, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts eine probabilistische Computer-Vision (CV) Pipeline entwickelt. Die CV-Pipeline verarbeitet multimodale Sensordaten (CAD und visuelle Daten) und verdichtet die Informationen auf einem kompakten semantischen Graphen. Hierzu werden State-of-the-Art Ansätze zur Segmentierung, Greif- und Schraubpunktdetektion eingesetzt. Um die geforderte Flexibilität gewährleisten zu können, arbeitet die CV-Pipeline Objekt-agnostisch, d.h. die Funktionalität ist für

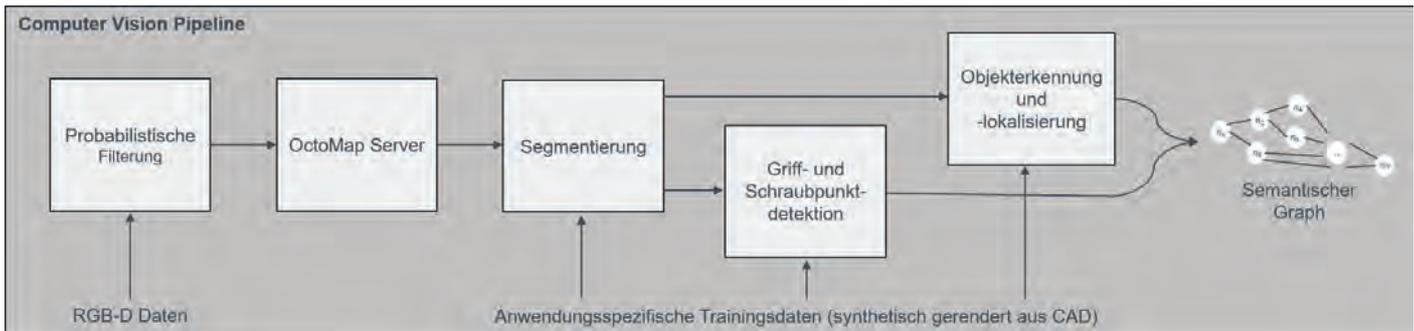


ABB.2: Computer-Vision Pipeline

beliebige Objekte und Objektklassen gegeben. Dies wird durch den Einsatz von Convolutional Neural Networks (CCN), welche Ähnlichkeitstemplates- und Metriken verwenden, ermöglicht. **ABB.2** zeigt den Aufbau der CV-Pipeline.

Zum Erlernen von universellen Manipulationsstrategien wird ein simulationsgestütztes Manipulationstraining durchgeführt. Dazu wird das Manipulationsproblem allgemein als Markov-Decision-Process (MDP) formuliert. Zur Lösung des MDPs werden hybride Algorithmen entwickelt, die die Generalisierungsleistung von Reinforcement-Learning Algorithmen mit der Berechnungseffizienz von Planungsalgorithmen kombinieren. Ein besonderes Augenmerk gilt hierbei der Generalisierungsleistung erlernter Manipulationsstrategien, sodass eine robuste Ausführung der Manipulation sowohl bei einer unvorhergesehenen Umweltänderung (Indeterminismus), als auch unter der Verwendung von unterschiedlichen Robotersystemen gewährleistet ist. Um die Übertragbarkeit erlernter

Manipulationsstrategien zu ermöglichen, wird ein Ansatz zur Standardisierung des Observations- und Aktionsraums des MDPs vorgeschlagen. Erlernte Roboter manipulationsstrategien werden zur Ausführung auf ein Robotersystem deployed. Abschließend soll das entwickelte Verfahren anhand verschiedener praxisrelevanter Montageaufgaben an verschiedenen Realsystemen experimentell validiert werden.

Kontakt:

Ralf Gulde, M.Sc.
ralf.gulde@isw.uni-stuttgart.de



Foto: Ludmilla Parsyak, ISW Uni Stuttgart



Steuerungstechnik GmbH
www.fisw.de

ÜBER DIE GRENZEN DES MÖGLICHEN

Mit unserem Leistungsangebot zur „Steuerungs- und Antriebstechnik“ unterstützen wir Sie bei der Verfolgung der wesentlichen Produktionsziele im Bereich Automatisierungstechnik. Zur Bewältigung Ihrer Herausforderungen bieten wir Ihnen folgende Leistungen:

- Consulting
- Konzeption
- Prototypen
- Produktentwicklung
- Optimierung
- Schulungskonzepte

In den Bereichen:

- Automatisierungssysteme und Sondermaschinen
- Steuerungs- und Regelungstechnik
- (Echtzeit-) Kommunikation
- Antriebs- und Maschinentechnik
- (Echtzeit-) Simulation
- Software- und Engineeringsysteme
- Informations- und Datenmodelle

Wir freuen uns darauf, zukünftige Herausforderungen zusammen mit Ihnen zu meistern. Nehmen Sie Kontakt mit uns auf!

Dr.-Ing. Armin Lechler

FISW Steuerungstechnik GmbH
Rosenbergstr. 28
70174 Stuttgart

armin.lechler@fisw.de

SOFT TISSUE ROBOTICS – INTERAKTION VON ROBOTERN MIT WEICHEN MATERIALIEN

**EIN GRADUIERTENKOLLEG, GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN
FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)**



Das Forschungsprojekt ist Teil des GRK 2198/1 Verbundprojektes Soft Tissue Robotics zur Untersuchung von simulationsgestützten Methoden zur Entwicklung und Auslegung von Steuerungs- und Automatisierungslösungen für die Handhabung von flexiblen Objekten.



ABB.1: Soft Tissue Robotics

Hintergrund

Bei der Handhabung deformierbarer Materialien mit Robotern zeigen sich viele derzeit ungelöste Herausforderungen. Aus dem stark nichtlinearen, nachgiebigen Verhalten der Materialien ergeben sich Prozessunsicherheiten. Griffpositionen, Griffstrategien und Bewegungsabläufe, die eine beschädigungsfreie, kontrollierte und positionsgenaue Handhabung ermöglichen, sind daher schwierig zu identifizieren und zu planen.

Diesem Themenkomplex wird sich im Rahmen eines internationalen und interdisziplinären Graduiertenkollegs gemeinsam mit der University of Auckland angenommen, welches in folgenden Teilbereiche aufgliedert ist:

- A Modellieren und Entwickeln neuer Simulationstechniken
- B Automatisierung, Regelung, Steuerung und Optimierung
- C Biologische und technische Konzepte passender Roboterkinematiken

Das ISW bringt seine Kernkompetenzen im Rahmen der Themenbereichen B und C in das Forschungsprojekt ein. Dies beinhaltet die Entwicklung einer Cloud-basierten Steuerungsarchitektur, die modellbasierte Manipulationsplanung und -regelung sowie die automatische Entwicklung von Handhabungsstrategien mithilfe maschinellen Lernens.

Anwendungsgebiete der Forschungsergebnisse sind unter

anderem in den Bereichen der Lebensmittelverarbeitung, der Chirurgie oder der industriellen Produktion, beispielsweise bei der Montage von Kabelbäumen in der Automobilindustrie oder Gewebe verarbeitenden Prozessen zu erwarten.

Am ISW sollen innerhalb des Forschungsprojektes zunächst Handhabungslösungen für Kabel erarbeitet werden. Industrielle Montageoperationen welche Kabel beinhalten (Schaltschrankbau, Verkabelung in Kraftfahrzeugen), werden aktuell zumeist händisch ausgeführt.

Problemstellung

Industrieroboter zeichnen sich im heutigen Produktionsumfeld insbesondere dadurch aus, gleichförmige und gleichgerichtete Arbeitsabläufe präzise und zuverlässig auszuführen. Dabei überbieten sie den Menschen hinsichtlich Genauigkeit und Ausdauer. Allerdings mangelt es Ihnen an der Fähigkeit Prozessunsicherheiten auszugleichen und flexibel auf unvorhergesehene Änderungen im Arbeitsablauf zu reagieren.

Bei Handhabungsaufgaben mit deformierbaren Objekten treten derartige Prozessunsicherheiten jedoch massiv in den Vordergrund. Die Deformation während der Handhabung führt zu ebensolchen Prozessunsicherheiten, die es zu kompensieren gilt. Die akkurate Beschreibung des Objektverhalten führt über partielle Differenzialgleichungen über die Materialkoordinaten und die Zeit auf eine unendliche Anzahl an Freiheitsgraden, für die schon die korrekte Bestimmung von Randbedingungen zu Kontakt und Kollisionen zu einem herausfordernden Problem wird. Schon kleine Abweichungen in den Materialparametern oder in der Ausführung der Aufgabe führen nach kurzer Zeit zu Abweichungen in verschiedenen Durchläufen, die erkannt und korrigiert werden müssen. Auch die Planung und Durchführung der Manipulationsaufgaben benötigt Prozesswissen, wie beispielsweise über das Deformationsverhalten, um die Prozessunsicherheiten zu kompensieren. Dies wird am ISW über die explizite Modellierung und über maschinelle Lernverfahren erreicht.

Teilprojekt Modellbasierte Manipulationsplanung und -regelung

In diesem Teilprojekt werden Möglichkeiten zur Manipulation und Regelung von deformierbaren linearen Objekten untersucht. Linear bezieht sich hierbei darauf, dass die zu untersuchenden Objekte in einer Raumrichtung verhältnismäßig deutlich größer sind als in die anderen zwei Raumrichtungen. In der Literatur hat sich für diese Objekte der Fachbegriff „Deformierbare Lineare Objekte (DLO)“ eingebürgert.

Eine Schwierigkeit in der Manipulation von deformierbaren Objekten besteht darin, dass der Zustand des Objekts nicht allein durch die Position des Endeffektors vorbestimmt ist, wie es bei starren Objekten der Fall ist. Dies liegt an der unendlich großen Anzahl an Freiheitsgraden eines deformierbaren Objekts, wohingegen starre Objekte 6 Freiheitsgrade besitzen.

Wenn der Umgang mit Kabeln betrachtet wird, ist eine genaue Modellierung der Materialeigenschaften aufgrund des komplexen Zusammenspiels von Reibung zwischen den Litzen, unterschiedlichen Materialien, Verdrehung der Litzen usw. oft schwierig und zeitaufwendig. Um dennoch Informationen über den Zustand des Objektes zu erlangen, kann das Materialverhalten über eine Mehrkörpersimulation angenähert werden.

Das Objekt wird dabei durch eine Verkettung starrer Einzelglieder modelliert, welche über ein Feder-Dämpfer-System miteinander gekoppelt sind. Da das Modell nur eine Annäherung ist, wird die Übereinstimmung des Objektzustands in der Simulation mit der Realität mit der Zeit abweichen. Um die entstehende Abweichung zu reduzieren, kann die Simulation durch ein Feedback über den Zustand des realen Objekts regelmäßig angeglichen werden.

Mithilfe der Mehrkörpersimulation soll es möglich sein, eine nichtlineare Regelung eines deformierbaren Objekts zu erstellen. Dabei kann sowohl eine Solltrajektorie aufgrund von Randbedingungen wie Kollisionen offline angepasst werden, als auch über das Feedback des Zustands des Objekts eine Closed-Loop-Regelung online ermöglicht werden. Beispielhaft wird in **ABB.2** das Prinzip beschrieben, wie eine Solltrajektorie für deformierbare Objekte mithilfe einer Mehrkörpersimulation und eines Feedbacks über eine Kamera korrigiert und geregelt werden kann.

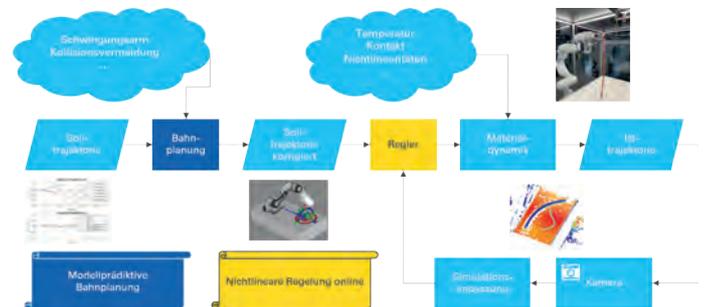


ABB.2: Übersicht über einen modellbasierten Regelungsansatz zur Bahnplanung und Regelung deformierbarer Objekte

Die Herausforderung liegt dabei in der Identifizierung des Materialverhaltens, der Online-Anpassung der Simulation mithilfe des Feedbacks einer 3D-Kamera, als auch in den nichtlinearen Reglern. Erkenntnisse aus diesem Projekt sollen dabei helfen, die automatisierte Handhabung deformierbarer Objekte zu ermöglichen und Möglichkeiten zur modellprädiktiven Bahnplanung und nichtlinearen Regelung auf deren Eignung zu validieren.

Teilprojekt cloudbasierte Steuerungsarchitektur

Robotersteuerungen (RC) sind durch die traditionelle Verwendung von Robotern durch Teach-In und Offline-Programmierung auf statische, sich wiederholende Programme und für vergleichsweise geringe Rechenleistung optimiert. Dies spiegelt sich in den herstellereigenen Programmiersprachen wider, die zu wesentlichen Teilen aus statischen Bewegungsprimitiva (Punkt-zu-Punkt, Linien, Kreissegmente, ...) bestehen. Die Berücksichtigung des Materialverhaltens weicher Objekte für die Handhabung mit Industrierobotern führt zu Anforderungen an die Robotersteuerung, die sich mit der Robotersteuerung nicht direkt realisieren lassen. So erfordert die modellbasierte Regelung die Simulation des Objekts und Berechnungen damit zur Laufzeit. Die Modellierung von Kontakten mit der Umgebung wird für die meisten Handhabungsaufgaben benötigt, erfordert aber noch deutlich mehr Simulationszeit und ist – aufgrund der zuvor unbekanntem Anzahl an Kontakten und Kontaktorten – nicht echtzeitfähig umsetzbar.

Im Teilprojekt cloudbasierte Steuerungsarchitektur wird daher an einer Erweiterung der Robotersteuerung für die Handhabung deformierbarer Objekte geforscht, die die Integration von Prozesssimulationen ermöglicht, eine übergeordnete Regelkaskade der Materialregelung durch Feedback aus dem Prozess schafft und den Spagat aus den Echtzeitanforderungen der Robotersteuerung und Objektregelung sowie der nicht echtzeitfähigen Batch-Simulation und weiteren rechenaufwändigen Komponenten ermöglicht. Wie in **ABB.3** dargestellt, wird dazu der echtzeitfähige Teil des Systems in einen lokalen Rechenknoten ausgelagert, der die Robotersteuerung ansteuert. Weitere rechenaufwändige, nicht echtzeitkritische Komponenten, wie die Optimierung der Bahnplanung oder die Identifikation von Materialparametern anhand der Simulation und aufgezeichneten Signalen aus Manipulationsvorgängen, werden dynamisch angebunden, sodass sie sich auch auf einer entfernten Plattform aufsetzen lassen. Die Heraus-

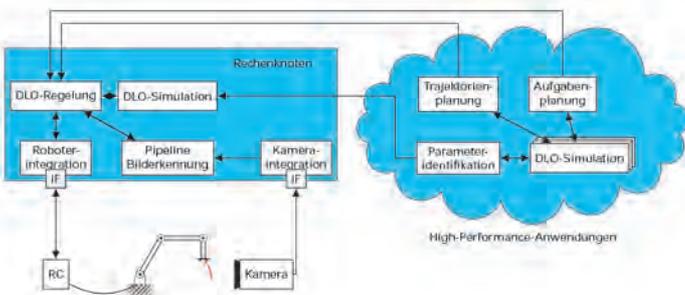


ABB.3: Schematische Übersicht der beteiligten Komponenten der Steuerungsarchitektur zum Handling weicher Materialien mit Industrierobotern

forderungen liegen dabei besonders in der Kommunikation, der Vereinheitlichung von Schnittstellen, der dynamischen Verbindung zwischen Komponenten sowie dem Sicherstellen

der Echtzeitanforderungen unter dem Einfluss nichtdeterministischer Größen.

Teilprojekt Maschinelles Lernen

Um Handhabungsaufgaben zu lösen müssen grundsätzlich regelnde Manipulationsstrategien angestrebt werden. Ein üblicher Ansatz ist, die Manipulationsvorgänge anhand von internen Modellen durchzuführen.

Präzise Modelle der flexiblen Objekte sind jedoch nicht immer verfügbar, besonders wenn es darum geht, eine hohe Genauigkeit bei ausreichend schneller Berechnung online während der Manipulation sicherzustellen.

Darüber hinaus liefert ein Regler zur Manipulation des Kabels keine Soll-Trajektorie bzw. kein Soll-Verhalten des zu manipulierenden flexiblen Objektes ab. Auch für Menschen durch seine sensomotorischen und kognitiven Fähigkeiten relativ einfach anmutende Aufgaben, wie ein Kabel zu greifen, sicher durch den Arbeitsraum zu befördern und in einem definierten Bereich sauber abzulegen, ist mit einem Roboter sehr komplex zu implementieren. Die Übertragung des menschlichen Erfahrungsschatzes und deren Fähigkeiten auf Robotersysteme sind mithilfe der Roboterprogrammiermethoden und -Schnittstellen nicht möglich.

Der hier verfolgte Ansatz soll es dem Roboter ermöglichen, ähnlich wie ein Mensch, auf Basis von eigenen Erfahrungen durch Trial-and-Error, Fähigkeiten im Umgang mit flexiblen Objekten selbstständig zu erlernen. Dafür müssen neue Methoden gefunden werden, bzw. bereits bekannte Methoden müssen über neu zu schaffende Schnittstellen auf Robotersysteme übertragen werden.

Ein wichtiger Enabler für selbstlernende Robotersysteme ist hierbei der Digitale Zwilling, welcher eine optimale Trainingsumgebung für das System darstellt. Die fehlerbehafteten Schritte und Erfahrungen können am besten innerhalb einer simulierten Umgebung (Environment) ausgeführt werden. Als Umgebung wird eine Software-in-the-Loop Simulation zur Steuerungsentwicklung mit einem in einer Physik-Engine

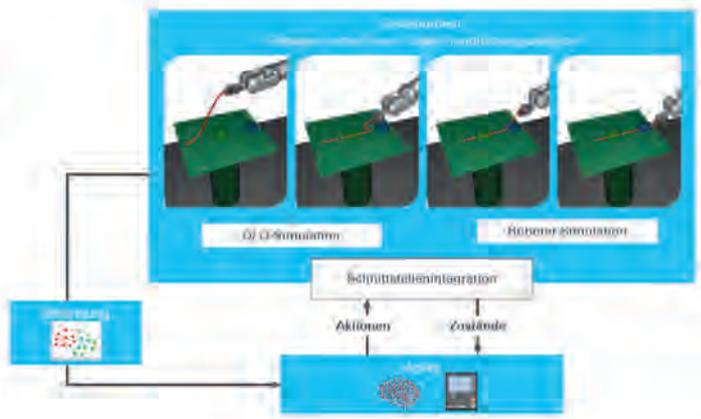


ABB.4: Reinforcement Learning Ansatz zum Lernen von Handhabungsstrategien (Hier: Ablegen eines Kabels in einer bestimmten Pose)

laufenden Mehrkörper-Kabelmodell gekoppelt.

Der im Projekt verfolgte Lösungsansatz basiert auf der strukturellen Ähnlichkeit zwischen der Hardware- oder Software-in-the-Loop-Simulation und Reinforcement Learning. Der Lösungsansatz mithilfe von Reinforcement Learning ist in **ABB.4** dargestellt.

Reinforcement Learning benötigt eine hohe Anzahl von Versuchen, bringt aber den Vorteil, dass genauere rechenintensivere Modelle verwendet werden können und die Lösung relativ robust gegenüber variierender Einflussparameter (Unregelmäßigkeiten oder Produktionsungenauigkeiten des flexiblen Objekts) ist.

Weiterer Vorteil des Ansatzes ist, dass die Bewertungsfunktionen (Kosten/Belohnung) nicht inkrementell für jeden Bahnpunkt bestimmt werden müssen, sondern über komplette Episoden definiert werden können. Dadurch kann speziell die Performance global, für übergeordnete Handhabungsoperationen auf den jeweiligen Anwendungsfall ausgerichtet, optimiert werden.

Im Anschluss an die Simulation sollen die gefundenen Handhabungsstrategien an einer realen Umgebung validiert und weiter optimiert werden. Ziel ist ein Lernframework, das hochperformante Manipulationen mit möglichst wenigen Versuchen und Fehlern am realen System ermöglicht.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Projektes ist, das Reinforcement Learning direkt auf einer industriellen Steuerungsstruktur einzusetzen, sodass die gewonnenen Erkenntnisse auf industrielle Anwendungsgebiete übertragbar werden können. Durch den Einsatz von Software-in-the-Loop Simulationen als Lernumgebung wird zudem ermöglicht, umfangreiche Tests durchzuführen bevor die trainierte Steuerung an das reale System übertragen wird.

Kontakt:

Christoph Hinze, M.Sc.
christoph.hinze@isw.uni-stuttgart.de

Florian Jaensch, M.Sc.
florian.jaensch@isw.uni-stuttgart.de

Manuel Zürn, M.Sc.
manuel.zuern@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Markus Wnuk
markus.wnuk@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:

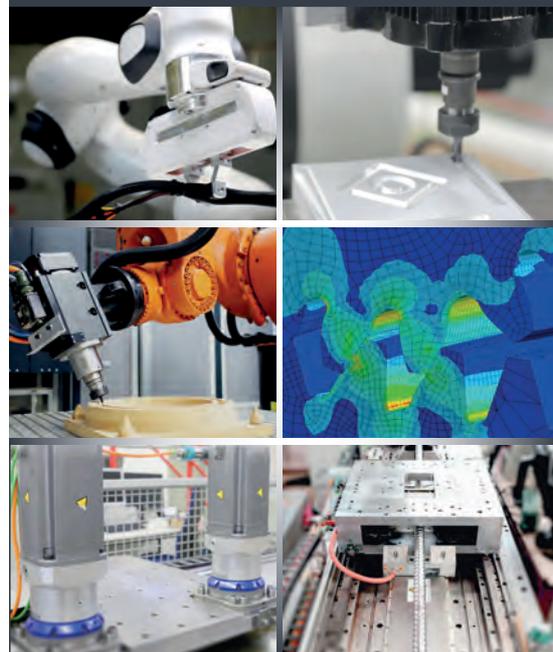


Lageregelseminar

Erstmals wieder seit 2015 organisiert das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) das Lageregelseminar. Auf der zweitägigen Veranstaltung geben unsere Referenten aus Industrie und Forschung einen spannenden Überblick zu aktuellen Forschungsergebnissen und Entwicklungen aus dem Bereich der Industrierobotik sowie der Antriebs- und Maschinenteknik. Hierfür werden anwendungsnahe und praxisbezogene experimentelle Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Weitere Informationen zur Veranstaltung finden Sie unter:

www.lageregelseminar-stuttgart.de



ORGANISATION



VERANSTALTER



FERTIGUNGSVERFAHREN FÜR BETONBAUTEILE MITTELS VOLL-REZYKLIERBAREN SCHALUNGSSYSTEMEN

EIN TEILPROJEKT DES SCHWERPUNKTPROGRAMMS 2187: ADAPTIVE MODULBAUWEISEN MIT FLIESSFERTIGUNGSMETHODEN - PRÄZISIONSSCHNELLBAU DER ZUKUNFT, GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Das Schwerpunktprogramm (SPP2187) in dem Methoden zum schnelleren, präziseren und ressourcenschonenderen Bauen mit Betonbauteilen entwickelt werden startete Anfang 2020 mit einer Gesamtlauzeit von 6 Jahren. Die Kernidee ist, die aus der Produktionstechnik bekannte Fließfertigung mit den Entwurfs- und Herstellungskonzepten des Konstruktiven Ingenieurbaus zu vereinen. Daran arbeitet das ISW in einem Kooperationsprojekt mit dem Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) zusammen mit rund 50 Forschern aus ganz Deutschland.



ABB.1: Leichtbau mit Betonsegmenten - der Rosensteinpavillon als Vision zukünftiger effizienter Bauweise
© Daria Kovaleva, ILEK, Universität Stuttgart

Aufgrund des Bevölkerungswachstums bei gleichzeitig zunehmender Verknappung der natürlichen Ressourcen, steht die Bauindustrie vor der Aufgabe, mit weniger Material mehr zu bauen. Das DFG-Schwerpunktprogramm 2187 setzt somit an einem Punkt großer gesellschaftlicher Relevanz an: Durch eine Beschleunigung der Produktionsprozesse kann mehr in weniger Zeit gebaut werden. Die geforderte hohe Präzision erlaubt zusätzlich den Entwurf und die Umsetzung von Bauteilen, die ihre Aufgaben mit einem Minimum an eingesetztem Material erfüllen. Das erklärte Ziel im geplanten SPP 2187 „Adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsmethoden“ ist das interaktive, industrialisierte Bauen auf der Basis von Modulstrukturen. Die Modulstrukturen sollen dabei Eigenschaften für das Gesamtsystem wie Adaptierbarkeit, Wandelbarkeit und sensorische Intelligenz durch die Fertigung inner-

halb eines neuen Fließfertigungsverfahrens gewährleisten. In der industriellen Fertigungstechnik wird die Additive Fertigung als Schlüsseltechnologie zum Erreichen dieser Ziele angesehen. Relevant für die Fertigung von Modulen mit diesem Fertigungsansatz ist die Festlegung von Modulgrenzen und die sich daraus ergebenden Schnittstellen. Diese bestimmen die Qualität der Module wesentlich, die sich in erzielbarer Montagegenauigkeit, Integrierbarkeit von Verstärkungsmaterialien, Qualität der Bauteilinformation, freie Formbarkeit etc. messen lassen. Das ISW und ILEK bilden mit diesen neuen Forschungsansätzen der Fertigungstechnik für modulare Strukturen das Binde-

glied zwischen Betonbau und der Neugestaltung eines Informationsflusses innerhalb der Fließfertigung. Die Grundlage bildet das neuentwickelte Hydroplotting-Verfahren, das ermöglicht, räumliche, voll-rezyklierbarer Schalungen herzustellen, indem selektiv Wasser in ein Gemisch aus Sand und organischen Bindemittel entlang einer vorgegebenen Bahn eingespritzt wird. Durch weitere, sich daran anschließende Prozesse, werden stabile Schalungen hergestellt, die durch Zugabe von Wasser wieder aufgelöst werden können. Durch eine Kopplung dieses Verfahrens zur Herstellung von Schalungen mit einem additiven Prozess wird es möglich, individuelle, strukturadaptierbare und faserverstärkte, hochfeste, modulare Bauteile herzustellen. In dem Projekt werden Anlagen und Drucksysteme zur Betonfertigung entwickelt und hergestellt sowie prozessorientierte Bahnplanungs- und Regelungstechnologien realisiert. Abschließend werden die Resultate durch Demonstratoren in Form von Pavillon, öffentlich wirksam präsentiert.

Kontakt:

Maximilian Nistler, M.Sc.
maximilian.nistler@isw.uni-stuttgart.de



HIGH-PERFORMANCE-AUTOMATISIERUNG!

WIR STELLEN SIE EIN!

Für Absolventen/-innen der Mechatronik, Kybernetik und angrenzender Disziplinen wie Informatik, Maschinenbau und Elektrotechnik bietet das ISW ein ausgezeichnetes Umfeld.

Aktuelle Stellenangebote finden Sie unter:
www.isw.uni-stuttgart.de/institut/karriere

Kontakt:

Dr.-Ing. Armin Lechler
armin.lechler@isw.uni-stuttgart.de



Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen

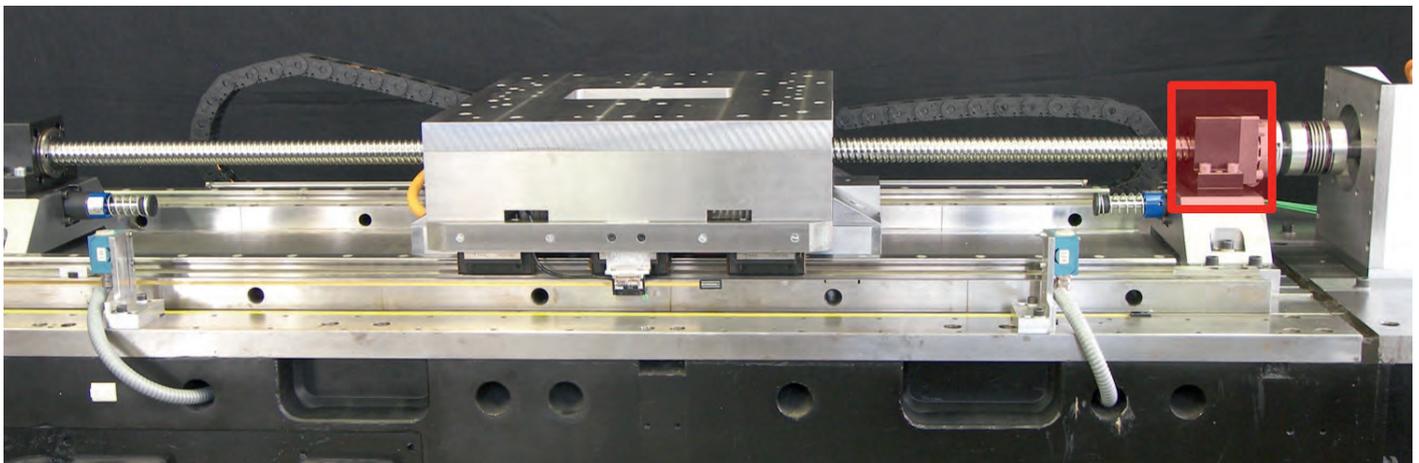


TOPOLOGISCH OPTIMIERTE BAUTEILE FÜR GENERATIVE FERTIGUNGSVERFAHREN (TopGen2)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Topologisch optimierte Bauteile bieten maximale Steifigkeit bei minimalem Materialeinsatz. Hybride Fertigungsverfahren ermöglichen – gegenüber konventionellen Verfahren – die Herstellung solcher Bauteile mit kontinuierlich verlaufenden Materialdichten.



Heutzutage treffen stetig steigende Genauigkeitsanforderungen im Bereich von Werkzeugmaschinen auf die Forderung nach Energie- und Ressourceneffizienz. Für die Komponenten von Antriebssystemen und Werkzeugmaschinen ergibt sich daraus die Forderung nach einer belastungsgerechten Materialverteilung. Die FE-basierte Topologieoptimierung liefert Konstrukteuren ein mächtiges Werkzeug zur bestmöglichen Verteilung von Material bezogen auf einen definierten Anwendungsfall. Als Anwendungsbeispiel in diesem Forschungsprojekt dient der Lagerbock (Festlagerung) einer KGT-Vorschubachse, siehe **ABB.1**. Basis für die Optimierung bildet eine FE-Analyse des zur Verfügung stehenden Designraums, bei möglichst realitätsnaher Abbildung der Lagerungen und äußeren Belastungen. Eine oder mehrere gewichtete Zielfunktionen lassen sich für die iterative Optimierung definieren – sowohl statische (z.B. minimale Masse, maximale Steifigkeit) als auch dynamische Ziele (z.B. Maximierung einer Eigenfrequenz) sind möglich.

Als Ergebnis liefert die Topologieoptimierung eine Bauteilstruktur mit variablen, kontinuierlich verlaufenden Materialdichten. Solche Strukturen sind mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht herstellbar, da hier lediglich Bereiche mit Vollmaterial bzw. Bereiche ohne Material gefertigt werden können. Durch die Bestrafung ($P > 1$) der Elementdichten im Optimierungsprozess konvergiert die berechnete Bauteilstruktur zu einem 0-1-Design, welches dadurch gekennzeichnet ist,

ABB.1: KGT-Prüfstand am ISW mit dem zu optimierenden Lagerbock

dass lediglich Bereiche mit Vollmaterial bzw. ohne Material vorhanden sind. Auf diese Weise wird die Herstellbarkeit des Bauteils sichergestellt, allerdings entfernt sich dessen Struktur vom globalen Optimum (**ABB.2**).

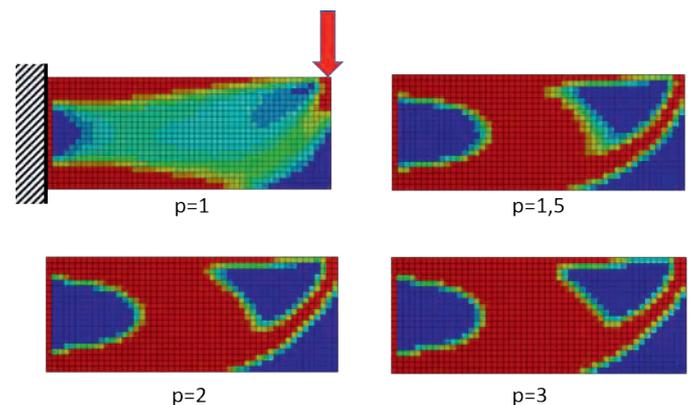


ABB.2: Bestrafung von Zwischendichten durch den Penaltyfaktor p

Additive Fertigungsverfahren wie das Laserauftragschweißen oder hybride Fertigungsverfahren wie das Layer Laminated Manufacturing (LLM) – auch Sheet Lamination oder Lamina-

ted Object Manufacturing genannt – ermöglichen es, nahezu optimale Bauteilstrukturen zu fertigen. Die kontinuierliche Dichteverteilung wird dabei durch innere Hohlräume approximiert, siehe **ABB.3**. Beim LLM-Verfahren werden die strukturierten Metallschichten durch Laserschneiden hergestellt und unter großem Druck miteinander verklebt.

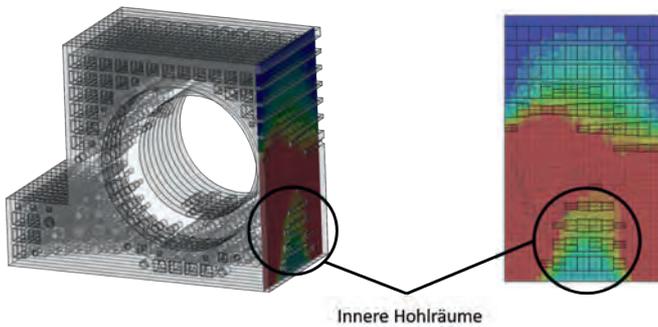


ABB.3: Innere Hohlräume durch den schichtweisen Aufbau strukturierter Bleche

Durch am ISW entwickelte Python-Strukturierungsalgorithmen (**ABB.6**) werden die zu optimierenden Bauteile automatisch gesliced und die einzelnen Schichten jeweils mit individuell angepassten Kavitäten versehen. Je geringer die erforderliche Dichte aus der Optimierung, desto größer die modellierte Kavität, siehe **ABB.4**.

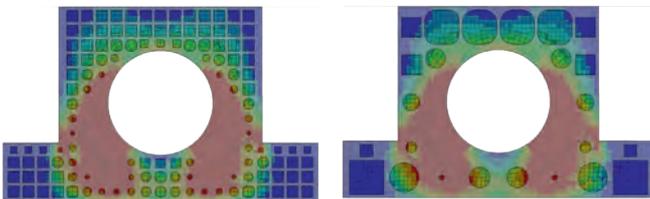


ABB.4: Generierte Hohlräume entsprechend den visualisierten Dichten der Topologieoptimierung

Die Schichtaufbauichtung, die Größe der betrachteten Makrozellen, die Dicke der verwendeten Schichten und viele weitere Fertigungsparameter stehen dem Benutzer als Einstellmöglichkeit zur Verfügung.

Im Rahmen simulativer Parameterstudien (**ABB.5**) wurden die bestmöglichen Fertigungsparameter für den beispielhaft betrachteten Lagerbock ermittelt. Dieser befindet sich derzeit im Aufbau und wird am KGT-Prüfstand eingebaut, um seine statischen und dynamischen Eigenschaften zu untersuchen. Als Referenz dienen hierzu ein konventionell optimierter Lagerbock sowie ein durch Laserauftragschweißen hergestellter Lagerbock.

Inwiefern sich die Dämpfungseigenschaften von Bauteilen durch gezielten Einsatz der Klebeschichten optimieren lassen, soll in einem weiterführenden Forschungsprojekt untersucht werden.

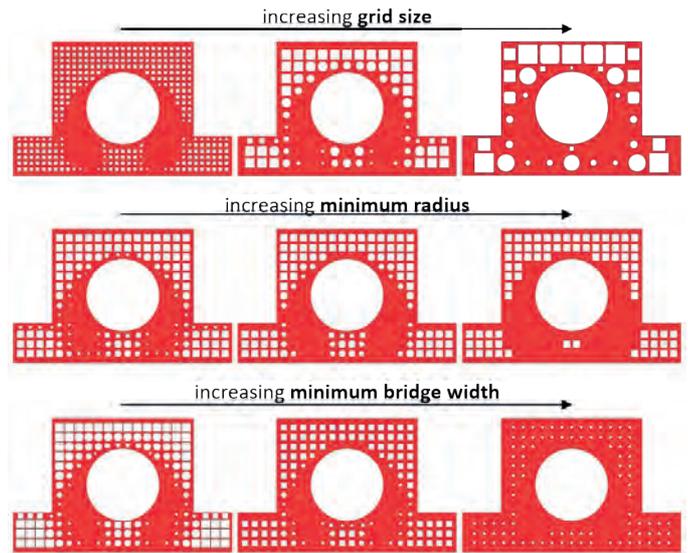


ABB.5: Variation der Fertigungsparameter

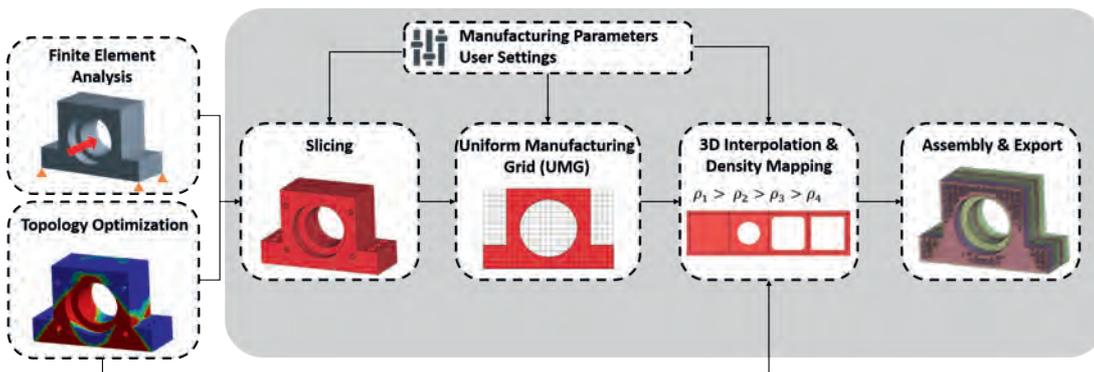


ABB.6: Schematischer Workflow der am ISW entwickelten Python-Algorithmik

Kontakt:

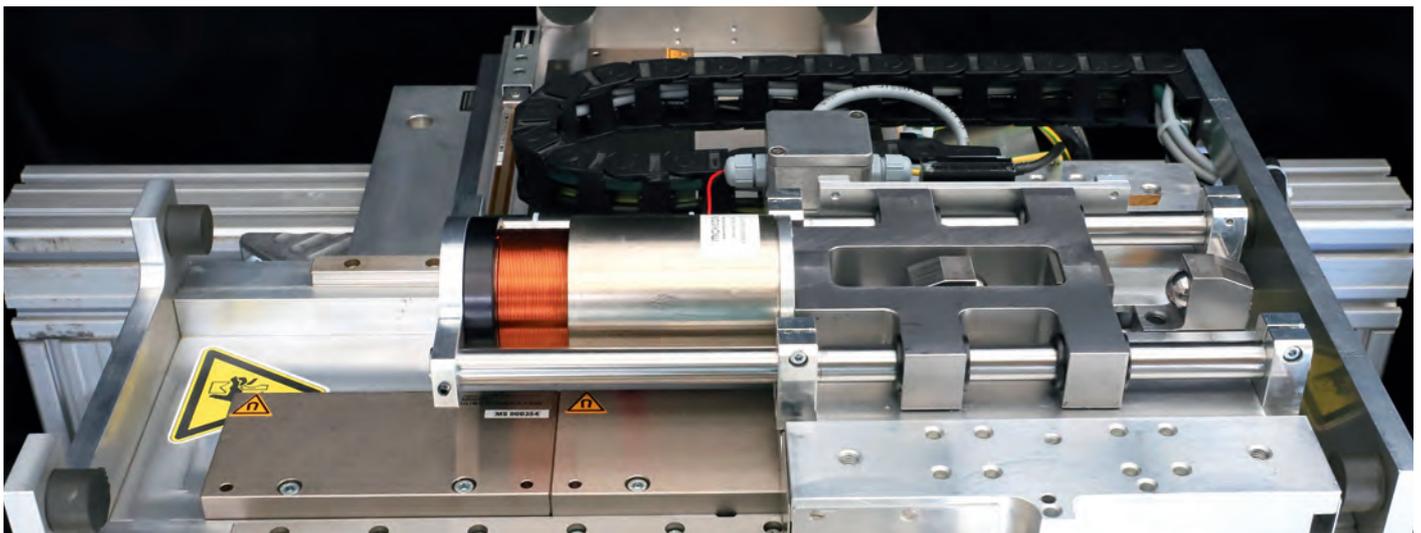
Nico Helfesrieder, M.Sc.
nico.helfesrieder@isw.uni-stuttgart.de

VERBESSERTE BAHNFÜHRUNG VON VORSCHUBACHSEN DURCH TRÄGHEITSBASIERTEN IMPULSAKTOR AM MASCHINENTISCH (IMPULS)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Das ISW erforscht ein Verfahren, welches sprungartige Geschwindigkeitsänderungen bei Vorschubantrieben ermöglicht. Hierzu wird die, aus der klassischen Mechanik bekannte Impulsübertragung beim Stoß ausgenutzt – zwei Körper ändern ihren Geschwindigkeitszustand dabei nahezu sprungartig und vorhersehbar. Mittels eines zusätzlichen Aktors können un stetig ausgelegte Bahnprofile, beispielsweise Konturrecken, mit konstanter Bahngeschwindigkeit und ohne Geometriefehler durchfahren werden. Dabei reduziert sich die Anregung der Maschinenstruktur, was für Fertigung und Handhabung Vorteile bringt.



Vorschubantriebe ermöglichen eine definierte Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück innerhalb von Produktionsanlagen. Die verfügbare Antriebskraft begrenzt jedoch das Beschleunigungsvermögen. Folglich sind nur kontinuierliche Änderungen der Geschwindigkeit möglich. Zur Fertigung von Werkstücken mit einer nichtstetigen Kontur ist dabei ein Kompromiss zwischen einer konstanten Bahngeschwindigkeit und einer hohen Konturgenauigkeit notwendig. Außerdem wirken hohe Beschleunigungen in den Antrieben gleichzeitig als unerwünschte Anregung auf die Maschinenstruktur zurück.

Ein heute übliches Verfahren zur synchronisierten Bewegung mehrerer Achsen stellt das Überschleifen von Unstetigkeiten, beispielsweise Ecken einer Kontur, dar. Eine Verletzung der Kontur wird in Kauf genommen, um eine möglichst konstante Bahngeschwindigkeit zu halten. Eine Alternative ist der Genauhalt – hier bleibt die Geometrie exakt erhalten, da erst wieder beschleunigt wird, wenn die Antriebe komplett zum

ABB.1: Versuchsaufbau

Stillstand gekommen sind. Der Einbruch der Bahngeschwindigkeit wirkt sich jedoch negativ auf die Prozessqualität aus. Zielsetzung eines derzeit am ISW untersuchten Verfahrens ist es, un stetigen Bahnprofilen besser zu folgen. Für die hierzu notwendigen sprungförmigen Geschwindigkeitsänderungen wird das physikalische Prinzip der Impulsübertragung beim mechanischen Stoß genutzt. Hierfür wird ein Zusatzaktor am Vorschubantrieb angebracht. **ABB.2** stellt das Konzept schematisch dar: Eine separat angetriebene Zusatzmasse, welche relativ zum Maschinentisch montiert ist, überträgt ihre Bewegungsenergie mittels Stößen auf ein oder mehrere Vorschubachsen. Daraus resultieren, äquivalent zu einem sehr hohen Beschleunigungsvermögen, maximale Bahntreue und konstante Bahngeschwindigkeit. Wesentliche Herausforderungen bilden die Auslegung des Impulsaktors sowie die steuerungstechnische Kopplung von Grundantrieb und Aktor.

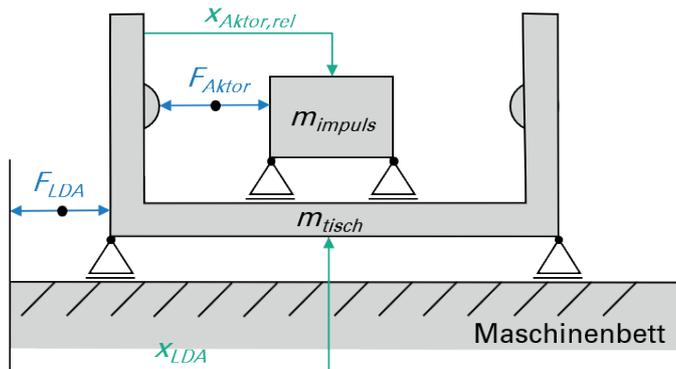


ABB.2: Schematischer Aufbau eines Vorschubantriebs mit Impulsaktor

Für die praktische Evaluation des Konzepts wurde am ISW ein Vorschubantrieb mit Lineardirektantrieb, wie in **ABB.3** dargestellt, erweitert. Der Impulsaktor wird hier am Tisch möglichst nahe dem Schwerpunkt angebracht. Wesentliche Komponenten sind der Antrieb durch eine Tauchspule sowie beidseitige gehärtete Kontaktflächen zur Stoßübertragung. Ein vorberechnetes Profil für die Bewegung der Impulsmasse stellt sicher, dass zu definierten Zeitpunkten ein Stoß auf den Tisch, mit zu den Massenverhältnissen passender Geschwindigkeit, erfolgt. Hiermit ist auch eine mehrfache Geschwindigkeitsänderung der Achse möglich. Die resultierende Geschwindigkeit am Tisch ergibt sich aus dem Impulserhaltungssatz.

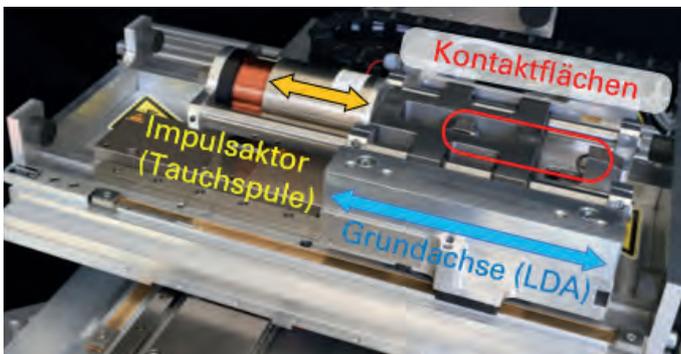


ABB.3: Versuchsaufbau zur experimentellen Untersuchung des Konzepts

Anhand eines sprungförmigen Geschwindigkeitsprofils, dargestellt in **ABB.4** (oben), lassen sich die Auswirkungen auf die Bewegungsgrößen beurteilen. Ohne Aktivierung des Aktors werden die maximalen Beschleunigungen durch den Grundantrieb limitiert und es stellt sich unvermeidlich ein Schleppfehler ein. Mit Impulsaktor fällt der Schleppfehler um eine Größenordnung kleiner aus. Gleichzeitig steigt die effektive Beschleunigung der Achsen um ein Vielfaches. Einen weiteren Vorteil stellt die reduzierte Anregung der Maschinenstruktur dar. Ohne Impulsaktor müssen die Beschleunigungskräfte vom Gestell aufgenommen werden, welches

dadurch entsprechend der Eigenfrequenzen in Schwingung gerät. Mit aktiviertem Impulsaktor wird für die kurzzeitige Beschleunigung die Bewegungsenergie der Impulsmasse genutzt. Da der Grundantrieb entsprechend entlastet wird, treten deutlich kleinere Reaktionskräfte auf und die Anregung der Struktur wird reduziert.

Ziel der aktuellen Untersuchungen ist die Optimierung der Ansteuerung für Grundantrieb und Aktor. Des Weiteren ist die Umsetzung des Impulskonzepts in der zweiten Achse des Versuchsstands in Planung um die tatsächliche Eckenfahrt zu realisieren und weitere Fragestellungen wie die Synchronisierung mehrerer Vorschubachsen mit Impulsaktor zu klären.

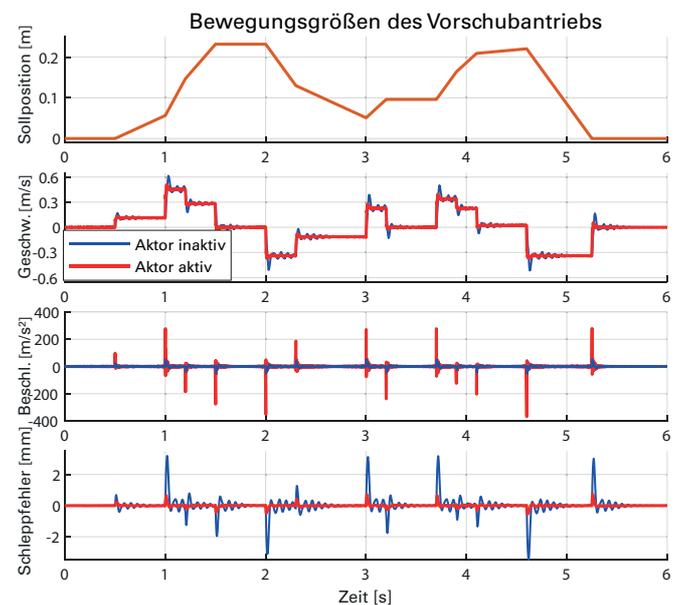


ABB.4: Resultierendes Bewegungsprofil des Vorschubantriebs mit und ohne Impulsaktor

Video zum Projekt:

<https://tinyurl.com/sk6ovju>



Kontakt:

Alexander Schulte, M.Sc.

alexander.schulte@isw.uni-stuttgart.de

ERWEITERUNG DER STEUERUNGSFUNKTIONALITÄT DURCH DIE INTEGRATION VON CONTAINER-TECHNOLOGIEN (ESIC)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In diesem Forschungsprojekt wird die Entwicklung eines Konzepts zur Erweiterung der Funktionalität speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS) um Mehrwertdienste, unter Realisierung der erforderlichen Isolations- und Kommunikationsmechanismen, angestrebt. Dabei werden Methoden zur Virtualisierung sowie zum deterministischen Zugriff auf die Daten proprietärer Steuerungen unterschiedlicher Hersteller integriert.

Damit Unternehmen Produktionsprozesse in dezentralen Produktionsumgebungen im Sinne der Industrie 4.0 dynamisch automatisieren und optimieren können, werden die starren Strukturen der Automatisierungssysteme zunehmend aufgelöst und dabei statische IT-Infrastrukturen durch dynamisch skalierbare und betriebskostengünstigere Lösungen ersetzt. Cloud-Computing als neues Computing-Paradigma, das bereits in Office-IT und in Systemen der oberen Ebenen der Automatisierungspyramide Anwendung findet, bietet Lösungen für dynamische und flexible Infrastrukturen und Computing-Ressourcen, die nach Bedarf als Dienste abgerufen werden können. Steuerungshersteller haben daher ihre Produktportfolios erweitert und bieten Cloud-Lösungen und deren Anbindungen für ihre SPSen an (MindSphere, Bosch IoT Cloud, Wago Cloud, uvm.).

Durch diesen Trend erweitern sich auch die Anwendungsszenarien der SPS. Nicht jede Zusatzfunktionalität kann, aufgrund der hohen Latenzen bei der Datenübertragung, in die Cloud ausgelagert werden. Daher beschränken sich bisherige Lösungen auf Anwendungen mit unidirektionalem Datenfluss von der Steuerung zur Cloud. Der Einsatz von Technologien aus dem Bereich des Cloud-Computings bietet allerdings auch in der prozessnäheren Steuerungstechnik Potentiale. So lassen sich erhöhte Updateraten und eine Erweiterung des Steuerungssystems um integrierte Cloud-Dienste (auch Mehrwertdienste genannt), z.B. auch von Drittanbietern, realisieren. Eine SPS stellt dabei kein geschlossenes System mehr dar, sondern bietet Schnittstellen nach außen an. Auch die Kommunikationspartner werden nicht mehr statisch während der Projektierungsphase festgelegt, sondern können sich während des Lebenszyklus des Steuerungssystems ändern. Vor dem Hintergrund der Erweiterung der SPS-Funktionalität um Mehrwertdienste müssen softwaretechnische Methoden zur Virtualisierung, zum automatisierten Deployment, zur Kommunikation zwischen den Diensten und zum gesicherten Zugriff auf die Daten der SPS in das verteilte Steuerungssystem integriert werden. Ein Anwendungsbeispiel (vgl. **ABB.1**), welches eine bidirektionale Kommunikation voraussetzt, ist der Einsatz von Reinforcement-Learning für Handhabungsauf-

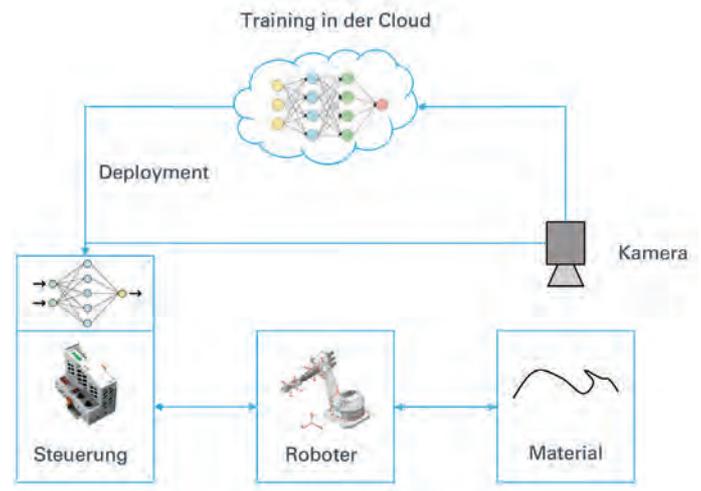


ABB.1: Anwendungsbeispiel

gaben. Exemplarisch wird hier das Greifen von weichen Materialien dargestellt. Mit Hilfe von Modellen von Material und Roboterarm wird die Strategie zum Greifen des Materials in der Cloud trainiert und kann anschließend als trainiertes Modell in die Steuerung integriert werden. Dieses Modell stellt einen integrierten Cloud-Dienst in der Steuerung dar. Da sich z.B. die Form und der Angriffspunkt des Materials ändern können, müssen die verschiedenen trainierten Modelle auf der Steuerung aktualisiert oder ersetzt werden. Je nach Art des Algorithmus kann für das Training eine hohe Datenmenge sowie viel Rechenleistung notwendig sein. Daher erfolgt das Training in der Cloud. Eine direkte Ausführung des trainierten Modells in der Cloud verursacht allerdings zusätzliche, nichtdeterministische Latenzen durch die Kommunikationsstrecke zwischen Maschinensteuerung und Cloud. Daher ist die Ausführung des Netzes in der Cloud nicht tragbar. Für Anwendungen mit harten Echtzeitanforderungen und niedrigen Zykluszeiten ist daher eine direkte Ausführung innerhalb des prozessnahen, eventuell verteilten Steuerungssystems

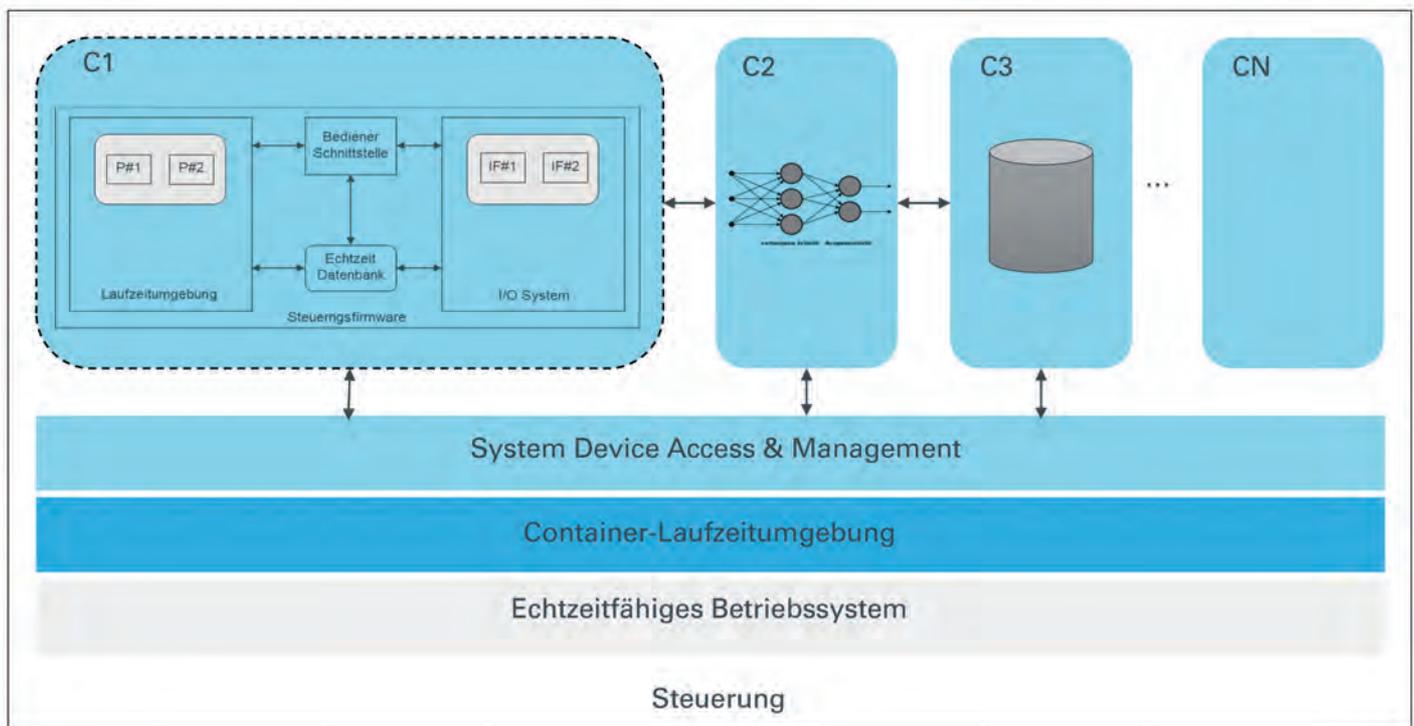


ABB.2: Zielsetzung

erforderlich. Bei klassischen Steuerungen kann das trainierte Modell, unter anderem mittels Programmierschnittstellen, in das Steuerungsprogramm integriert werden. Eine Änderung erfordert dann allerdings ein erneutes Kompilieren und Aufspielen des Steuerungsprogrammes, was mit einem Maschinenstillstand einhergeht. Außerdem kann eine Änderung am Modell Auswirkungen auf das Laufzeitverhalten des gesamten Steuerungsprogramms haben. Die langen Entwicklungszyklen bisheriger Steuerungsprogramme (Jahre), stehen im Kontrast zu den kurzen Entwicklungszyklen von Cloud-Diensten (Tage). Zur Integration von Cloud-Diensten, in diesem Fall des trainierten Modells, müssen softwaretechnische Methoden zur Virtualisierung, zur Prozessisolation, damit integrierte Dienste das Steuerungsprogramm selbst nicht negativ beeinflussen, zur automatisierten Bereitstellung von Software (Continuous Integration und Continuous Delivery), zur echtzeitfähigen Ausführung von Mehrwertdiensten und zur deterministischen Kommunikation zwischen Diensten sowie zum Zugriff auf die Daten der Steuerung integriert werden.

Eine Methode zur Umsetzung von Prozessisolation und automatisiertem Deployment ist die Virtualisierung. Mit der Hypervisorbasierten Virtualisierung lässt sich ein isolierter Benutzer Raum für Mehrwertdienste und Steuerungsaufgaben einrichten. Jedoch führt die Einführung eines Hypervisors zu einem höheren Verarbeitungsoverhead und einem Verlust des Zeitdeterminismus zu den E/A-Modulen, wodurch keine harte Echtzeit erreicht werden kann. Daher findet diese Lösung keinen Einzug in die industrielle Steuerungstechnik. Eine, zu Lasten einer geringeren Isolation, Overheadärmere Methode zur Virtualisierung sind Software-Container.

Ziel des Forschungsprojekts ist, die Machbarkeit einer containerbasierten Steuerungsarchitektur mit Mehrwertdiensten und deren Grenzen hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit zu untersuchen. Dazu wird, wie in **ABB.2** dargestellt, auf Steuerungsebene eine Containerlaufzeitumgebung eingezeichnet. Somit soll gewährleistet werden, dass die Mehrwertdienste im Echtzeittakt auf der Steuerung ausgeführt werden. Des Weiteren sollen diese Dienste mittels eines echtzeitfähigen Kommunikationsmechanismus untereinander Daten austauschen und über eine einheitliche Schnittstelle auf die anfallenden Daten der Steuerung zugreifen können. Konkret sollen Methoden zur Integration und Ausführung containerisierter Anwendungen unter Berücksichtigung aller steuerungsspezifischen Anforderungen, wie harter Echtzeit und Zuverlässigkeit, entwickelt werden.

Kontakt:

Timur Tasci, M.Sc.

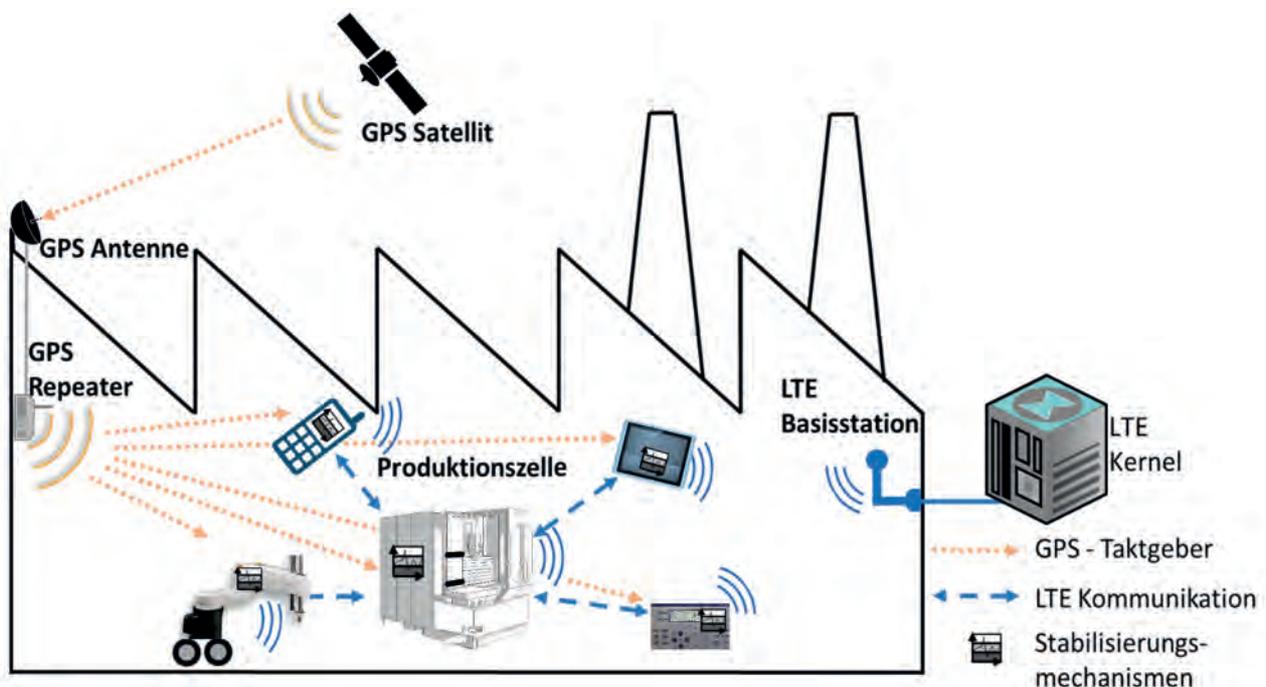
timur.tasci@isw.uni-stuttgart.de

VERNETZUNG VON MOBILEN CPS UND STATIONÄREN PRODUKTIONSMASCHINEN DURCH ECHTZEITFÄHIGE DRAHTLOSKOMMUNIKATION (EDK)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In der intelligenten Fabrik der Zukunft sollen unterschiedliche Informationen zwischen stationären und mobilen Cyber-Physischen Systemen (CPS) ausgetauscht werden – zunehmend drahtlos. Im Rahmen des DFG-Projekts EDK wird erforscht, wie die Kommunikation zwischen CPS unter Berücksichtigung industrieller Kommunikationsanforderungen ermöglicht werden kann. Durch eine Kombination von LTE und GPS wird eine echtzeitfähige Drahtloskommunikation geschaffen. Die erwarteten Ergebnisse werden größtenteils auch auf zukünftige Funkstandards, wie beispielsweise 5G, anwendbar sein.



In Zukunft wird die industrielle Produktion durch eine starke Produktindividualisierung und eine hoch flexible Produktion gekennzeichnet sein. Dies geht aus einer Studie des Arbeitskreises Industrie 4.0 hervor. Realisiert werden soll dies durch intelligente Fabriken, die stationäre und mobile Cyber-Physische Systeme (CPS) in die Produktion einbinden. Das Zusammenspiel verschiedener CPS in Produktionszellen erfordert deren horizontale und vertikale Vernetzung. Für mobile CPS ist dazu ein drahtloses Kommunikationssystem notwendig, welches die Anforderungen der industriellen Kommunikation berücksichtigt.

ABB.1: Konzept zur Vernetzung von mobilen CPS mit LTE

Die zukünftigen CPS sollen eigenständig Informationen untereinander austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig und selbstständig steuern. Für CPS als Bestandteile von Produktionszellen gelten die Kommunikationsanforderungen der bisherigen Zellebene: Neben einer deterministischen Echtzeitkommunikation mit einer hohen Verfügbarkeit zählen dazu die Zuverlässigkeit der Datenübertragung mit einer Bitfehler-rate unter 10^{-5} und eine garantierte Antwortzeit. Besonders

bei kooperierenden CPS, beispielsweise bei Roboterarmen, ist die Synchronität aller beteiligten Kommunikationsteilnehmer von entscheidender Bedeutung. Die erforderliche Reaktionszeit kann je nach Applikation und Prozess zwischen 1 ms und 100 ms liegen. Bisher gibt es keine Funkstandardlösungen, die den zeitkritischen Echtzeitanwendungen von CPS vollständig genügen.

Innerhalb des von der DFG geförderten Projekts wird LTE-Advanced um Mechanismen zur Gewährleistung der Synchronität und der Zuverlässigkeit erweitert. Das dadurch entstehende Kommunikationssystem kann damit die genannten Anforderungen der Zellebene erfüllen.

In der ersten Förderperiode des Projektes wurde am ISW die grundlegende Infrastruktur für experimentelle Untersuchungen der LTE-Kommunikation geschaffen. Dies beinhaltet den Aufbau eines drahtlosen Forschungsnetzwerks mit Funkzelle und LTE-Entwicklungsmodulen, sowie die Untersuchung der Schnittstellen der LTE-Komponenten zur Anbindung an Anwendungssysteme. Weiterhin wird ein geeignetes Kommunikationsschema zur Kompensation der Schwankungen der Übertragungslatenz genutzt. Ebenfalls besitzt der experimentelle Aufbau einen dafür entwickelten Zeitsynchronisierungsmechanismus auf Basis von GPS. In experimentellen Untersuchungen konnte eine Synchronisierungsgenauigkeit von 100 μ s mit diesen prototypischen Aufbauten nachgewiesen werden. Da der verwendete Mobilfunkstandard (LTE) seine Übertragungsbandbreite der Signalqualität anpasst, kommt ein für den Anwendungsfall geeigneter Stabilisierungsmechanismus zum Einsatz. Dieser ist zur Nutzung mit industrieller Kommunikation eigens entworfen worden und lehnt sich an das Streaming-Verfahren DASH an. Die entworfenen Verfahren sind zusammen in einem Prototyp implementiert, der für experimentelle Untersuchungen zur Verfügung steht. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass eine echtzeitfähige Drahtloskommunikationslösung für CPS in Produktionseinrichtungen auf Basis von LTE machbar ist.

In der aktuellen Förderperiode wird erforscht inwieweit sich die bisher erlangten experimentellen Erkenntnisse auf eine reale industrielle Steuerungskommunikation übertragen lassen. Dazu werden die Mechanismen und Systeme mit realer Maschinenkommunikation bzw. der Kommunikation von Fahrerlosen-Transportsystemen (FTS) anhand eines Einsatzszenarios getestet und untersucht. Darüber hinaus werden Analysen und Erprobungen zur Reduzierung der Systemlatenz durchgeführt, da diese im bisherigen Aufbau noch zu hoch für einige steuerungstechnische Anwendungen liegt. Zu untersuchende Faktoren sind hierbei die Ausführung und Reduktion der internen Signal-/Datenpfade und Schnittstellen sowie eine direktere Anbindung der zentralen Maschinensteuerung an das Kernnetz des Funksystems. Da es sich bei Funk um ein sogenanntes geteiltes Übertragungsmedium handelt, spielen auch die Anzahl der Kommunikationsteilnehmer sowie der Umgang damit eine wesentliche Rolle. Es wird ein geeignetes Kommunikationsschema für eine bidirektionale Kommunikation mit mehreren Teilnehmern entwickelt, welches die geringen Ressourcen der Funkübertragung effizient nutzt. Um hier

unterschiedlichste Szenarien und eine Vielzahl von Teilnehmern untersuchen zu können, erfolgt dies simulationsgestützt. Hierzu wird der bestehende Versuchsaufbau inklusive der notwendigen Erweiterung innerhalb eines Simulationsframeworks modelliert.

Um eine echtzeitfähige Drahtloskommunikation für CPS in Produktionseinrichtungen zu schaffen, wird im Rahmen des Projektes eine Erweiterung von LTE-Advanced durch GPS und Streaming-Mechanismen untersucht. Dieses drahtlose Kommunikationssystem, welches in der ersten Projektperiode bis zur Funktionsfähigkeit der Layer 1 bis etwa 3 des ISO/OSI Referenzmodells aufgebaut wurde, soll in der aktuellen Förderperiode um die oberen Schichten inklusive einer produktionstechnischen Anwendungsschicht erweitert werden. Durch diese Forschungsarbeit wird eine Infrastruktur zur Realisierung von Industrie 4.0 geschaffen, die eine vertikale und horizontale Vernetzung von Fertigungssystemen ermöglicht und zusätzlich minimale Kosten für die Verkabelung verursacht sowie zusätzlich neue Geschäftsmodelle beim Einsatz von mobilen Fertigungsgeräten eröffnet. Grundsätzlich wird erwartet, dass die Projektergebnisse auf zukünftige Funkssysteme wie beispielsweise 5G anwendbar sind und in Kombination damit einen Mehrwert bieten.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Philipp Neher
philipp.neher@isw.uni-stuttgart.de

EFFIZIENZSTEIGERUNG VON SERVOANTRIEBEN IN WERKZEUGMASCHINEN MITTELS ADAPTIVER PULSWEITENMODULATION

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In Werkzeugmaschinen werden an Vorschubantriebe, abhängig vom Prozessschritt, unterschiedliche Anforderungen gestellt. In diesem Forschungsprojekt wird ein neuartiges Verfahren entwickelt, mit welchem die Frequenz der Pulsweitenmodulation und somit die Dynamik der Antriebe adaptiv zur Laufzeit an die aktuellen Genauigkeitsanforderungen des Prozesses angepasst und dabei Schaltverluste minimiert werden.

An Vorschubantriebe heutiger Werkzeugmaschinen werden hohe Anforderungen bezüglich Ihrer Dynamik gestellt. Um die geforderte Produktqualität und geringe Bahnabweichungen auch unter Einfluss von Störkräften einzuhalten, müssen die Antriebe ein gutes dynamisches Verhalten aufweisen. Hierzu tragen schnelle PWM-Frequenzen im Antriebsumrichter bei, welche die Totzeiten im System gering halten und somit die Bandbreite maximieren. Basierend auf den Eigenschaften der Maschinen und den Anforderungen der Prozesse werden die Regelparameter und PWM-Frequenzen üblicherweise fix eingestellt. Untersuchungen zeigen jedoch, dass die maximale Dynamik für viele Fertigungsschritte nicht notwendig ist, da keine hohen Genauigkeiten gefordert sind. Hierzu zählen z.B. die Schruppbearbeitung, aber auch die Fahrt zum Werkzeugwechsler oder ein Stillstand der Achse. Hohe PWM-Frequenzen, welche für eine hohe Dynamik des Antriebs notwendig sind, verursachen jedoch signifikante Schaltverluste in den Leistungshalbleitern. Dies vermindert die Energieeffizienz, führt zu Mehraufwand für die entsprechende Wärmeabfuhr und reduziert die Lebensdauer. An diesem Punkt setzt der Algorithmus der *adaptiven PWM*, wie in **ABB.1** dargestellt, an. Um die Energieeffizienz in Werkzeugmaschinen weiter zu steigern, wird in den Prozessschritten, in denen geringere Anforderungen an Genauigkeit und Dynamik gestellt werden, die PWM-Frequenz zur Laufzeit reduziert. Daraus resultieren eine Reduzierung der Schaltfrequenz der Leistungshalbleiter und folglich geringere Schaltverluste. Da sich das Systemverhalten und somit die Übertragungsfunktion bei Anpassung der PWM-Frequenz ändert, werden die Parameter der Regelkaskaden automatisiert angepasst.

Das Verfahren wurde auf der am Institut entwickelten *Open Automation Plattform* prototypisch umgesetzt. Erste Messungen (siehe **ABB.2**) zeigen, dass großes Energieeinsparpotenzial besteht wenn die Schaltfrequenz, unter Berücksichtigung der Prozessanforderungen, minimal gewählt wird.

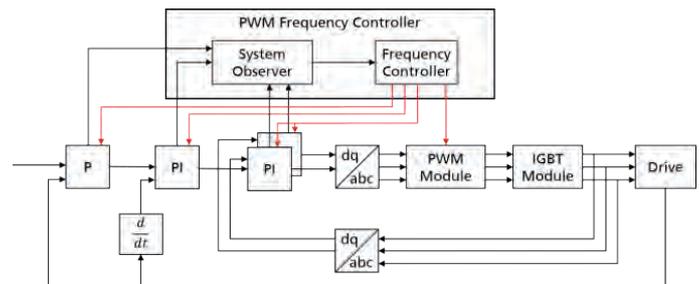


ABB.1: Systemaufbau eines Vorschubantriebs mit Reglerkaskade und Leistungselektronik und übergeordneter Schaltfrequenzregelung

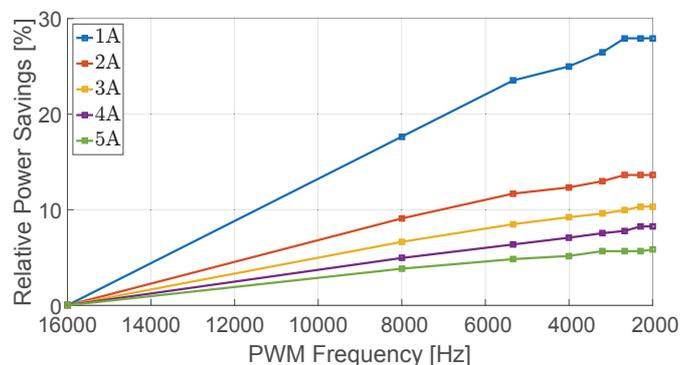


ABB.2: Relative Energieeinsparung bei unterschiedlichen Belastungen in Abhängigkeit der Schaltfrequenz

Kontakt:

Dipl.-Ing. Florian Frick
 florian.frick@isw.uni-stuttgart.de

SERIELL BAUEN

Mit der ALHO MODULBAUWEISE

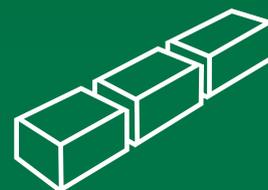


ALHO Modulbau

AM PULS DER ZEIT: DAS SERIELLE, MODULARE BAUEN

Modulbau – dieser Begriff ist zur Zeit in aller Munde. Modulgebäude von ALHO werden seit über 50 Jahren in modernen Fertigungshallen witterungsunabhängig seriell als montagefertige, 3dimensionale Raummodule produziert und auf der Baustelle sauber und leise zusammengefügt. So entstehen individuell geplante, hochwertige Gebäude wie Schulen, Kindergärten, Büro- und Verwaltungsgebäude, Gesundheitsimmobilien und auch Wohngebäude.

Fixe Kosten. Fixe Termine. Fix fertig.
www.alho.com



ALHO
MODULARE GEBÄUDE

MODELLBASIERTE NUMERISCHE STEUERUNG ZUR AUTOMATISIERUNG VON GIESSPROZESSEN (MNC)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In diesem Forschungsprojekt wird die Integration von Prozessgleichungen in eine Numerische Steuerung am Beispiel des Schwerkraftgießens betrachtet. Auf Basis des Prozesswissens können Stellgröße und Regelung prozessbezogen, statt üblicherweise achsenbezogen, realisiert werden. Es resultiert eine einfache Programmierung und die Möglichkeit der effizienten und genauen Automatisierung.

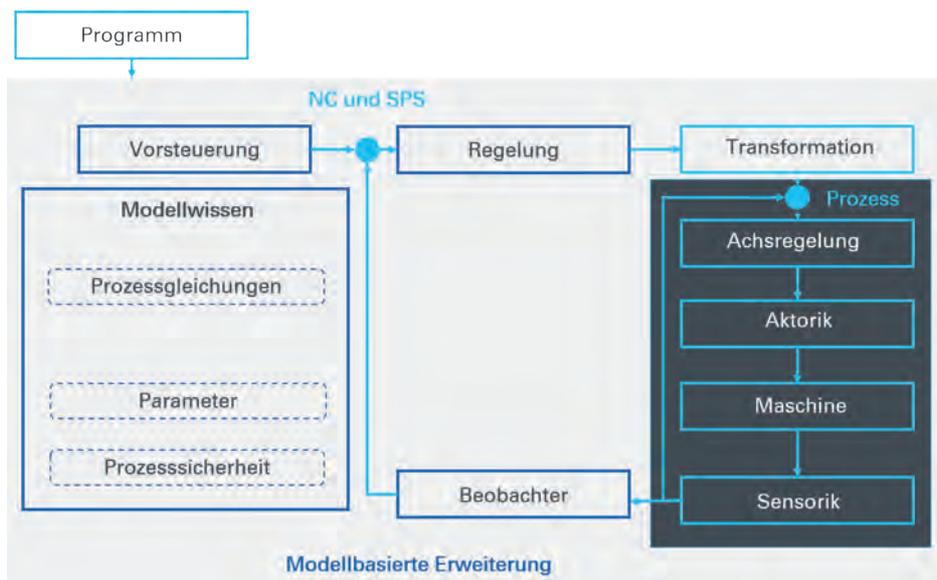


ABB.1: Modellbasierte numerische Steuerung

Numerische Steuerungen (NC) sind darauf ausgelegt, in einer vorgegebenen Taktrate Sollwerte an definierte Achsen zu schicken. Klassischerweise werden NC zur Steuerung des Fräsprozesses eingesetzt, um die Achsen eines Fräasers zu bewegen. Dafür bekommt die Steuerung Punkte vorgegeben, welche anschließend unter Beachtung von Dynamikbegrenzungen und gewünschter Geschwindigkeit durch das Werkzeug möglichst genau verbunden werden. Der Zusammenhang zwischen Werkzeug- und Achsposition wird über eine fest definierte Transformation ausgedrückt. Die Idee der Transformation wird im Projekt MNC übertragen.

Beim Schwerkraftgießen wird flüssiges Metall aus einer Gießpfanne in eine Form gegossen. Wesentliche Prozessgröße ist nicht mehr die Werkzeugposition, sondern die Flussrate aus dem Behälter. Eine Vorgabe des Drehwinkels der Pfanne zur Programmierung der Flussrate ist zwar möglich, jedoch weder intuitiv, noch ermöglicht dies eine gewünschte Regelung der Flussrate. Deshalb werden Prozessgleichungen, die den Zu-

sammenhang zwischen Flussrate und Drehwinkel beschreiben, in die NC integriert und verwendet (vergl. **ABB.1**).

Wesentliche Aufgabe des Projektes ist daher, diese Integration zu realisieren. Dabei wird darauf geachtet, dass eine einfache Bedienung, die intuitive Programmierung und vor allem eine sichere und vollständige Automatisierung ermöglicht wird. Letzteres beinhaltet numerische Stabilität, Robustheit der Regelung und Prozessüberwachungen und die Integration von Ausfallstrategien sowie Sicherheitsfunktionen. Zusätzlich wird eine Strategie zur Verwaltung und Anpassung der Prozessparameter entwickelt. Ziel des Projektes ist ein Demonstrator mit modellbasierter Steuerung, der diese Eigenschaften erfüllt.

Kontakt:

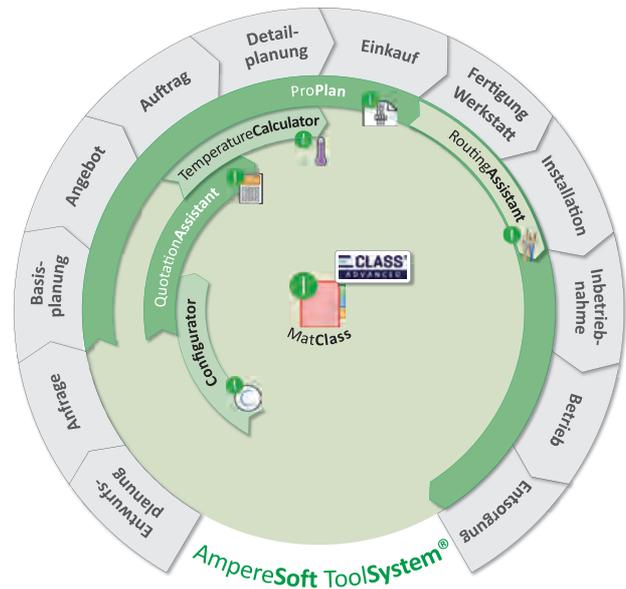
Anja Elser, M.Sc.

anja.elser@isw.uni-stuttgart.de

Einfacher durch den Engineering-Prozess

AmpereSoft
simply faster engineering

- 1 **CAE-Elektrodokumentation**
normgerecht strukturiert nach DIN EN 81346
- 1 **Datenmanagement ECLASS Advanced**
standardisiert • klassifiziert • herstellerunabhängig
- 1 **Angebotskalkulation**
effizient • flexibel
- 1 **Temperaturberechnung**
zuverlässig nach DIN EN 61439-1
- 1 **Datenaustausch**
offen anpassbar – für eine reibungslose Integration
- 1 **Fertigungsunterstützung**
für einen smarten Schaltschrankbau



**KOSTENLOSE
VERSION FÜR
STUDENTEN**

Engineering Software | Anwender Support | Seminare & Inhouse-Schulungen
Systemeinführung | Schnittstellenanpassungen | Datenaufbereitung
Langjährige Erfahrung und fachliches Spezialwissen

www.ampersoft.net

Das wachsamste Ohr für spannende Bearbeitungen



In der Zerspanung wirken auf die Schneide häufig hochdynamische Kräfte, die Sie nur mit Dynamometern von Kistler im Blick haben. Unsere piezoelektrischen Sensoren messen die Zerspankräfte während der Bearbeitung zuverlässig und präzise – und gewähren Ihnen damit tiefe Einblicke in Ihren Zerspanungsprozess. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen Ihnen dabei, die Qualität und Wirtschaftlichkeit Ihrer Werkzeuge und Zerspanprozesse nachhaltig zu optimieren.

www.kistler.com

KISTLER
measure. analyze. innovate.

UNTERSUCHUNG UND ENTWICKLUNG VON KLOTHOIDENSPLINES ZUR INTERPOLATION VON STÜTZPUNKTEN IN NUMERISCHEN STEUERUNGEN (Cornuspline 2)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In diesem Forschungsprojekt geht es um die Untersuchung und Entwicklung von Klothoidensplines als zweidimensionales Interpolationsverfahren. Hierbei werden die geometrischen Eigenschaften von Klothoiden genutzt, um mit einem linearen und steuerbaren Krümmungsprofil sowie exakt berechenbarer Bogenlänge, Trajektorien mit optimiertem Dynamikprofil zu generieren. Im Projekt werden interpolierende und approximierende Verfahren für den Einsatz in numerische Steuerungen entwickelt. Daraus resultiert die Anforderung einer effizienten Berechenbarkeit zur Einhaltung der Echtzeitbedingung.

Beim Einsatz von Werkzeugmaschinen wird zur Bewegungsplanung eine geometrische Sollbahn sowie eine Vorschubgeschwindigkeit benötigt. Diese Bahnen lassen sich mathematisch teilweise nur sehr aufwendig beschreiben. Deshalb wird in diesen Fällen üblicherweise die Vorgabe durch Stützpunkte verwendet.

Aktuell werden für die Interpolation dieser Stützpunkte Polynom-, Bézier- sowie B-Splines und deren Variationen verwendet. Diese Interpolationsverfahren haben die Nichtlinearität und Nichtsteuerbarkeit des Krümmungsprofils zum Nachteil. Des Weiteren kann die Bogenlänge der Segmente nur approximativ bestimmt werden. Diese Eigenschaften erschweren die Planung einer Geschwindigkeitstrajektorie, welche möglichst nahe an den Dynamikbegrenzungen der Maschine orientiert ist, die Begrenzungen aber auch bei Approximationsfehlern nicht überschreitet. Darüber hinaus besteht bei interpolierenden Splines die Gefahr der Oszillation.

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, eine Splinedefinition auf der Basis von Klothoiden zu entwickeln, um deren positive Eigenschaften für die Trajektorienplanung anhand von Stützpunkten zu nutzen.

Die Klothoide oder auch Cornuspirale genannt, ist eine ebene, in Parameterdarstellung beschriebene Spiralkurve. Mathematisch werden Klothoiden durch die Fresnel-Integrale definiert, welche aus einem Kosinus- und einem Sinus-Anteil bestehen. Dabei ist t der sogenannte Klothoidenparameter, der den Windungswinkel θ (Klothoidenwinkel) über den Zusammenhang $t = \sqrt{2\theta/\pi}$ beschreibt. Zusammen mit dem Faktor a zur Skalierung ist eine Klothoide, wie nachfolgend dargestellt, eindeutig definiert.

$$P_1 = P_0 + \frac{a}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\theta \begin{pmatrix} \cos(t) \\ \sqrt{t} \\ \sin(t) \\ \sqrt{t} \end{pmatrix} dt, \forall \theta \in \mathbb{R}^+$$

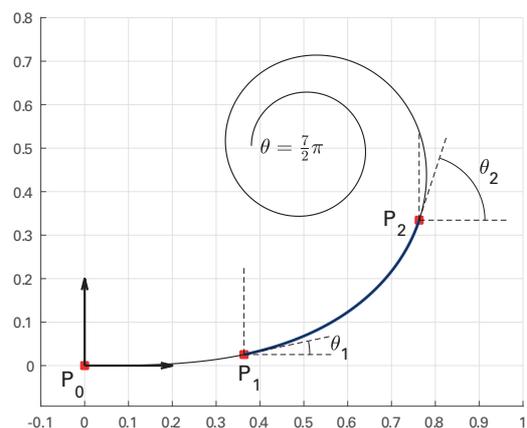


ABB.1: Klothoidensegment (blau) einer Einheitsklothoide

Der Skalierungsfaktor a lässt sich auch durch den Klothoidenwinkel θ und Krümmungsradius r am Endpunkt beschreiben, $a = r\sqrt{2\pi}\theta$. In **ABB.1** wird ein Segment einer Einheitsklothoide im 1. Quadranten dargestellt. Dies entsteht durch die Zuweisung des Kosinus-Anteils der Fresnel-Integrale zur X-Achse und des Sinus-Anteils zur Y-Achse. Diese zunächst etwas komplex anmutende Formulierung erweist sich bezüglich der geometrischen Ableitungen als vorteilhaft. So kann die Bogenlänge s eines Segments durch den Anfangs- und Endklothoidenparameter (t_1 und t_2) sowie den Skalierungsfaktor a bestimmt werden.

$$s(t_1, t_2) = a(t_2 - t_1)$$

Eine weitere positive Eigenschaft ist das lineare Krümmungsprofil $\kappa(t)$. Die Steigung wird dabei ausschließlich durch den Skalierungsfaktor a beeinflusst.

$$\kappa(t) = \frac{\pi}{\alpha} t$$

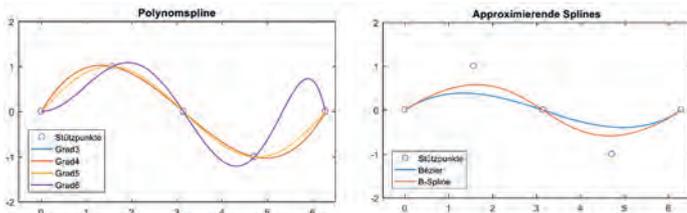


ABB.2: Konturvergleich zwischen interpolierendem Polynomspline und approximierenden Splines

Inhalt des Forschungsprojektes ist die Untersuchung und Entwicklung von Klothoidensplines zur zweidimensionalen Interpolation von Stützpunkten. Grundsätzlich sollen dabei interpolierende und approximierende Spline-Verfahren entstehen, welche zur Interpolation in numerischen Steuerungen eingesetzt werden können. In **ABB.2** ist eine polynombasierte Stützpunktinterpolation mit den beiden Verfahren veranschaulicht. Hierbei verläuft der interpolierende Polynomspline genau durch die vorgegebenen Stützpunkte. Im Gegensatz dazu bilden beim approximierenden Spline die Stützpunkte das sogenannte Kontrollpolygon, welches das geometrische Verhalten des Splines beeinflusst. Mathematisch werden approximierende Splines durch eine sogenannte gewichtete Basisfunktion beschrieben, die für die Bildung des Splines mit den Stützpunkten multipliziert wird.

Der interpolierende Klothoidenspline soll auf dem, in der ersten Förderperiode erfolgreich entwickelten Überschleifverfahren beruhen. Der bestehende Algorithmus soll derart erweitert werden, dass mehrere Bahnübergänge „versplinet“ werden können. Hierzu soll die geometrische Lage der vorgegebenen Stützpunkte bzw. die Kontur analysiert werden. Ziel ist es, die Toleranz einzuhalten und ein geeignetes Dynamikprofil zu erreichen.

Der Ansatz des approximierenden Klothoidensplines soll auf der Anwendung einer Basisfunktion entstehen. Aufgrund der vorliegenden Vor- und Nachteile von Bézier- und B-Splines soll die Basisfunktion beider Splines betrachtet werden und anhand von Klothoiden angenähert werden. Die derart entstehende Klothoiden-Basisfunktion wird anschließend mit den Stützpunkten multipliziert.

Analog zur ersten Förderperiode sollen in diesem Vorhaben eine Ausführung der entwickelten Algorithmen in einer Echtzeitumgebung und eine Portierung in einen NC-Kern erfolgen. Damit sollen die Vorteile von Klothoiden für die Interpolation gegenüber aktuellen Verfahren aufgezeigt werden.

Kontakt:

Timo König, M.Sc.
timo.koenig@isw.uni-stuttgart.de



INNOVATIONEN AUS DER WELT DER STEUERUNGSTECHNIK

Im Rahmen unserer Veranstaltungsreihe „Stuttgarter Innovationstage – Steuerungstechnik aus der Cloud“ sollen die heutigen Möglichkeiten und Lösungen einem Reality-Check unterzogen werden. Alles bereits kalter Kaffee oder besteht noch Forschungsbedarf? Der Einsatz künstlicher Intelligenz und maschinelles Lernen sind in aller Munde. Doch zu welchem Grad haben diese Technologien schon konkret in der industriellen Produktion Fuß gefasst?

Weitere Informationen zur nächsten Veranstaltung finden Sie unter:

www.stuttgarter-innovationstage.de

ORGANISATION



VERANSTALTER



KOMPENSATION DES UMKEHRSPIELS IN ZAHNSTANGE-RITZEL-ANTRIEBEN DURCH DIE ERFASSUNG DER BESCHLEUNIGUNG DES MASCHINENTISCHES (KUMS II)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Am ISW werden regelungstechnische, aktorische und konstruktive Maßnahmen erforscht, um das dynamische Verhalten von Zahnstange-Ritzel-Antrieben (ZRA) ganzheitlich zu verbessern. Im Gegensatz zu klassischen Kugelgewindtrieben weisen ZRA Systeme eine begrenzte Positioniergenauigkeit aufgrund des Umkehrspiels zwischen Zahnstange und Ritzel auf. Hinzu kommen nicht-lineare Reibungseffekte sowie der wiederkehrende elastische Zahneingriff, wodurch die Systemstabilität zusätzlich beeinträchtigt wird. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden beschleunigungsbasierte regelungstechnische Kompensationskonzepte entwickelt, um das Genauigkeitsverhalten von ZRA Systemen zu steigern.



ABB.1: ZRA Versuchsstand am ISW

Zahnstange-Ritzel-Antriebe (ZRA) werden in Werkzeugmaschinen neben Kugelgewindtrieben (KGT) und Lineardirektantrieben (LDA) als Vorschubsysteme eingesetzt. Die rotatorische Bewegung des elektrischen Antriebsmotors wird durch das Abwälzen des Ritzels auf der Zahnstange in eine lineare Vorschubbewegung umgewandelt, wobei zumeist ein zusätzliches Vorsatzgetriebe zwischen dem Motor und dem Ritzel zwischengeschaltet wird, um hohe Drehmomente zu erzeugen. **ABB.1** zeigt den am ISW vorhandenen ZRA-Prüfstand, der zur experimentellen Validierung der entwickelten Kompensationsstrategien genutzt wird.

ZRA Linearsysteme werden häufig mit indirekter Lagerege-

lung betrieben. In diesem Fall wird die Tischposition auf Basis des Motorwinkels ermittelt und dem Lageregelkreis zurückgeführt. Dadurch entfällt die Integration eines zusätzlichen Direktmesssystems am Maschinentisch, wodurch der Einsatz derartiger Systeme insbesondere bei langen Vorschubbewegungen - im Vergleich zum etablierten KGT - zu großen Kostenvorteilen führt. In der Industrie werden ZRA daher bevorzugt bei Maschinen mit großen Verfahrwegen eingesetzt. Neben den praktisch beliebig lang gestaltbaren Verfahrwegen, besitzen ZRA Systeme eine Reihe weiterer Vorteile:

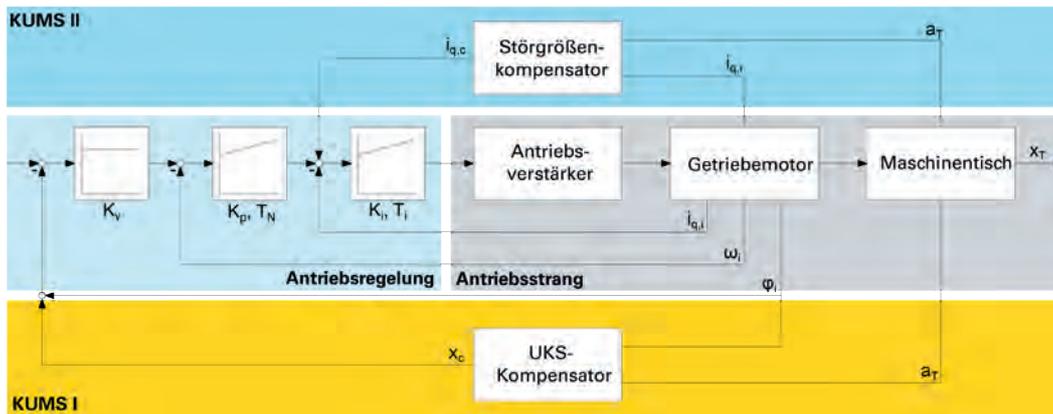


ABB.2: Blockschaltbild der Antriebsregelung mit zusätzlichen Kompensationsblöcken

- Positionsunabhängige Vorschubsteifigkeit
- Unempfindlichkeit gegenüber Veränderung der bewegten Masse
- Kostengünstige Umsetzbarkeit

Demgegenüber steht jedoch die begrenzte Positioniergenauigkeit aufgrund des Zahnflankenspiels sowie der nichtlinearen Reibung, womit gleichermaßen eine reduzierte Vorschubdynamik einhergeht.

In der abgeschlossenen ersten Förderperiode des Projekts wurde das Problem des Umkehrspiels betrachtet. Hierzu wurden zweierlei dynamische Umkehrspiel-Kompensationsverfahren auf Basis eines zusätzlich am Maschinentisch angebrachten MEMS-Beschleunigungssensor entwickelt. Die Grundidee beider Verfahren basiert auf einer beschleunigungsbasierten Umkehrspiel-Detektion in Verbindung mit einer Aufschaltung der Umkehrspanne im Ist-Signal des Lageregelkreises (ABB.2).

Mit beiden Ansätzen konnten vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich einer verbesserten Positioniergenauigkeit erzielt werden.

Für eine weitere Verbesserung der Vorschubdynamik soll in der zweiten Förderperiode ein zusätzlicher Störgrößenkompensator entworfen werden, um den Einfluss von nichtlinearen Reibungskräften sowie extern aufgebrachter Lastkräfte zu verringern. Hierbei kann auf den bereits vorhandenen Beschleunigungssensor zurückgegriffen werden, auf Basis dessen ein Kompensationssignal berechnet wird, welches in den Stromregelkreis miteingesteuert wird (ABB.2). Bei der Entwicklung der Verfahren werden neben der einfachen Parametrierbarkeit auch praktische Gesichtspunkte wie die Umsetzbarkeit auf industriellen Steuerungsplattformen oder die Sicherstellung eines robusten Betriebs berücksichtigt.

Im Rahmen der bisherigen Untersuchungen konnte bereits ein vielversprechender Ansatz entwickelt werden, bei welchem das gefilterte Differenzbeschleunigungssignal zwischen Motor und Maschinentisch als synthetisierter Querstrom in den hochdynamischen Stromregelkreis aufgeschaltet wird. Die Motorbeschleunigung wird bei diesem Verfahren mit Hilfe der vorhandenen Motordaten und Trägheitsmomenten auf Basis des drehmomentbildenden Stroms modellbasiert er-

mittelt. Die Wirkungsweise des Verfahrens kann anhand einer simulierten sägezahnförmigen Störkraft, welche wechselseitig in die Maschinenstruktur eingeleitet wird, nachvollzogen werden (ABB.3). Mit aktivierten Störkraftkompensatoren können die dynamischen Abweichungen bei einem auf konstante Position eingeregelt ZRA sowohl bezüglich der Motor- als auch der Tischposition verringert werden. Obwohl das Verfahren vorrangig für die zumeist motorseitig geregelten ZRA Systeme entwickelt wurde, zeigt sich das Potential auch bei einer direkten Lageregelung, bei welcher die Tischposition direkt erfasst und in den Regelkreis zurückgeführt wird. Im nächsten Schritt soll die Leistungsfähigkeit des Verfahrens an einem realen ZRA Versuchsstand experimentell validiert werden und die Wirkungsweise im Zusammenspiel mit dem entwickelten Umkehrspielkompensator untersucht werden.

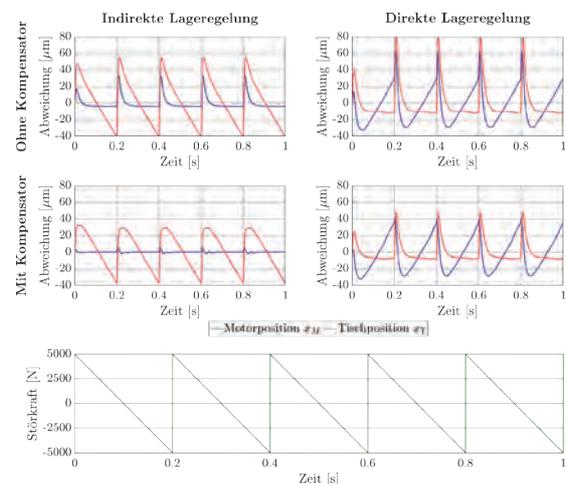


ABB.3: Wirkungsweise des entwickelten Störkraftkompensators mit direkter und indirekter Lageregelung bei sägezahnförmiger Lastkraft

Kontakt:

Felix Brenner, M.Sc.
felix.brenner@isw.uni-stuttgart.de

ANTRIEBSBASIERTE SCHWINGUNGSDÄMPFUNG AN INDUSTRIEROBOTERN FÜR DIE SPANENDE BEARBEITUNG (SDaR)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Der mechanische Aufbau von Industrierobotern und die dadurch bedingte geringe Steifigkeit führen bei der spanenden Bearbeitung zur Schwingungsanregung, die signifikanten Einfluss auf die erzielbare Bearbeitungsqualität hat. In diesem Forschungsprojekt wird ein Verfahren zur antriebsbasierten Schwingungsdämpfung erforscht, mit dem die dynamische Bahngenauigkeit von Industrierobotern gesteigert werden kann. Da die mechanischen Eigenfrequenzen im Vergleich zur Bandbreite der Antriebe gering sind, kann der Einsatz zusätzlicher Aktorik vermieden werden. Die Detektion der Schwingungen erfolgt mittels zusätzlicher Positionserfassung auf der Abtriebsseite der Gelenke. Durch das Verfahren wird sowohl ein verbessertes dynamisches Verhalten als auch ein erhöhtes Zeitspanvolumen erzielt.

Im Bereich leicht zerspanbarer Materialien und großvolumiger Bauteile stellt der Einsatz von Industrierobotern (IR) zunehmend eine kostengünstige Alternative zu konventionellen Werkzeugmaschinen (WZM) dar. Dies liegt maßgeblich an den geringeren Investitionskosten, der hohen Anzahl an Freiheitsgraden, dem geringen Platzbedarf und dem großen Arbeitsraum. Dieser Entwicklung stehen jedoch die zwei nachfolgenden Faktoren entgegen:

- Die begrenzte Absolutgenauigkeit von Industrierobotern und die damit einhergehende, erreichbare Genauigkeit am Werkstück und
- die Schwingungsanfälligkeit, welche sich negativ auf die Bearbeitungsqualität als auch auf das erreichbare Zeitspanvolumen auswirkt.

Diese zwei Faktoren lassen sich hauptsächlich auf die 10 bis 100-mal geringere kartesische Steifigkeit von IR im Vergleich zu WZM zurückführen. Wobei diese wiederum auf die in den Robotergelenken verbauten Antriebsstränge, die zumeist aus einem Präzisionsgetriebe und einer permanenten Synchronmaschine bestehen, zurückgeführt werden kann.

Durchgeführte Vorarbeiten haben gezeigt, dass bereits geringe Schnitttiefen bei der Fräsbearbeitung zur Selbsterregung der Struktur ausreichen. Die benötigten hohen Übersetzungsverhältnisse der Getriebe führen zu geringen Rückwirkungen auf die Antriebsseite. Zusätzlich sind die Winkelmesssysteme für die Regelung der Achsen üblicherweise motorseitig angebracht. In Kombination mit der Nachgiebigkeit der Getriebe führt dies jedoch zu einer Positionsabweichung unter Last, die nicht detektiert werden kann. Zur Steigerung der Genauigkeit werden IR zunehmend mit zusätzlichen abtriebsseitigen Winkelgebern ausgestattet. Diese verfügbare Zusatzsensorik wird zur Detektion der Schwingungen genutzt.

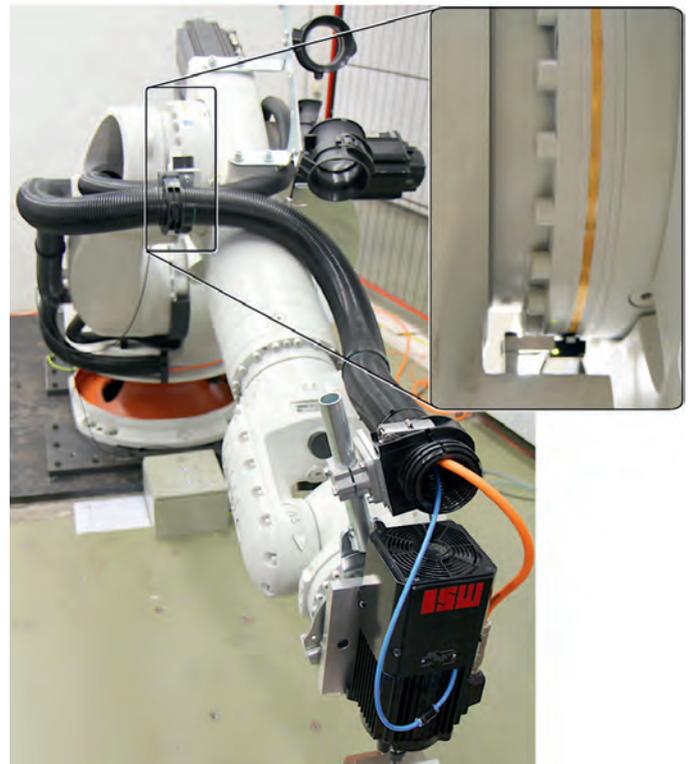


ABB.1: Fräsroboter mit abtriebsseitiger Sensorik an den ersten drei Gelenken für die experimentelle Evaluation

Da die mechanischen Eigenfrequenzen gegenüber der Bandbreite der Antriebe gering sind, kann auf den Einsatz zusätzlicher Aktorik verzichtet und die Antriebe zur Bedämpfung der Schwingungen verwendet werden. Eine schnelle Regelung

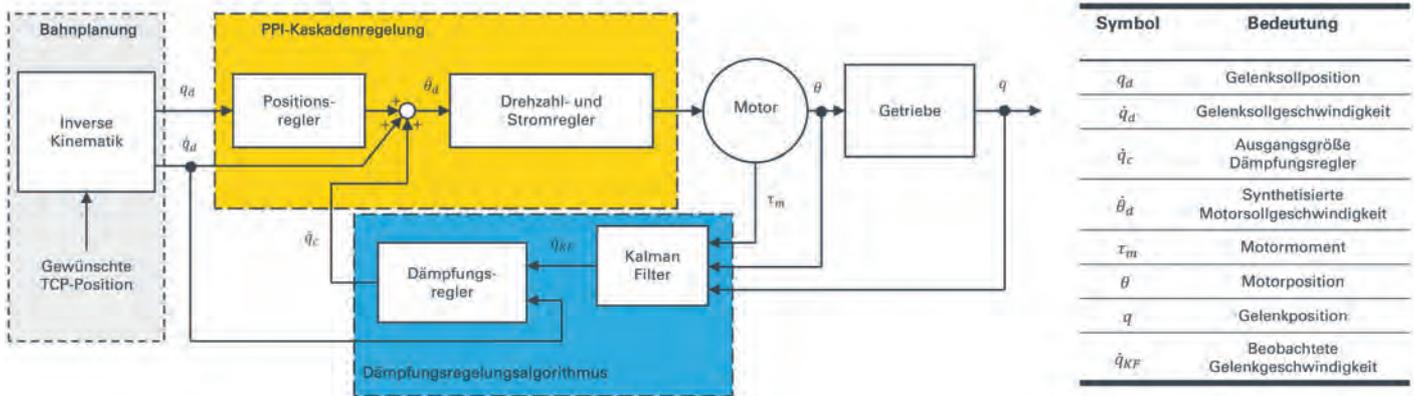


ABB.2: Blockdiagramm der PPI-Kaskadenregelung inklusive Dämpfungsregelungsalgorithmus

der Antriebsmaschine resultiert allerdings in einer Anregung der Gelenkelastizität. Soll diese Anregung vermieden werden, so muss die Regelung entsprechend langsam eingestellt oder die auftretenden Schwingungen bedämpft werden. Die Verringerung der Bandbreite ist jedoch nicht gewünscht, da dies mit einem Verlust an Dynamik einhergeht.

Der entwickelte Regler zur antriebsbasierten Schwingungsdämpfung erweitert die PPI-Kaskadenregelung, die aufgrund Ihres übersichtlichen Aufbaus, der einfachen Einstellbarkeit und der Robustheit eine hohe industrielle Akzeptanz hat. Durch den Dämpfungsregelungsalgorithmus wird eine signifikante Dämpfung von niederfrequenten Störungen und Vibrationen im Bereich der Antriebsbandbreite erzielt. Als Folge dessen kann die Lageregelbandbreite erhöht werden.

Die Untersuchungen für den Nachweis der Verfahren beschränken sich wegen des stark poseabhängigen dynamischen Verhaltens von Industrierobotern zunächst auf einen kleinen Arbeitsraum. Für den experimentellen Funktionsnachweis des Verfahrens wird eine Bewegung des ersten Gelenks gezeigt. In der **ABB.3** ist die Gelenkgeschwindigkeit und der Schleppfehler der ersten Achse für einen aktiven (blau) und einen inaktiven (rot) Dämpfungsregler dargestellt. In den Bereichen hoher Geschwindigkeitsänderung weist die Gelenkgeschwindigkeit mit aktiviertem Dämpfungsregler eine geringere Schwingung auf. Hierbei wird das maximale Überschwingen der Gelenkgeschwindigkeit ungefähr halbiert. Zusätzlich ist ersichtlich, dass bei konstanter Gelenkgeschwindigkeit der durch die Gelenktorsion auftretende Schleppfehler eliminiert wird.

Anhand von Fräsversuchen konnte gezeigt werden, dass durch die antriebsbasierte Schwingungsdämpfung eine Verschiebung der kritischen Schnitttiefe, die zur Selbsterregung der Struktur führt, um ca. 25 % erzielt werden kann.

Weitergehende Untersuchungen befassen sich damit, ob die in einem kleinen Arbeitsraum erzielten Verbesserungen auf den gesamten Arbeitsraum übertragen werden können. Dafür soll das bisher lokal gültige Verfahren zur antriebsbasierten Schwingungsdämpfung mit der Methode des Gain-Schedulings so modifiziert werden, dass die globale Gültigkeit sichergestellt wird. Nur durch die Ausnutzung des gesamten Ar-

beitsraums kann das Potential von IR für die Bearbeitung leicht zerspanbarer Materialien und großvolumiger Bauteile vollständig ausgeschöpft werden.

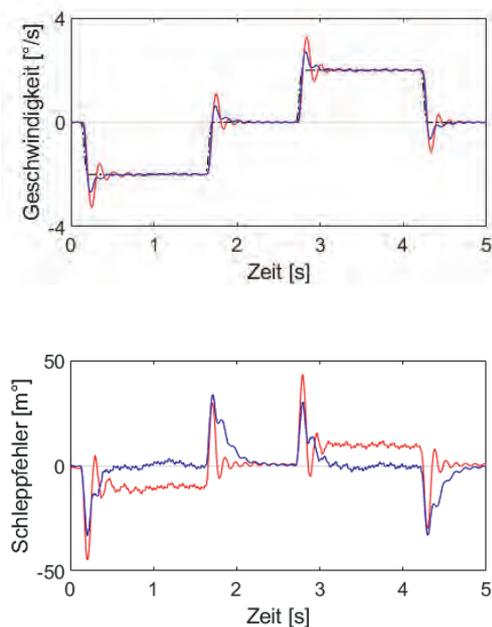


ABB.3: Vergleich der Gelenkgeschwindigkeit und des Schleppfehlers der neuartigen Methode (blau) mit der konventionellen PPI-Regelung (rot) für eine Bewegung des ersten Gelenks

Kontakt:
 Patrick Mesmer, M.Sc.
 patrick.mesmer@isw.uni-stuttgart.de

KOMBINIERTE OPTIMIERUNG UND VIRTUELLE INBETRIEBNAHME VON MATERIALFLUSSINTENSIVEN PRODUKTIONSSYSTEMEN MIT MULTISKALEN-Netzwerk-ModelleN (OptiPlant)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Eine virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) soll die zeitaufwendige und fehleranfällige reale Inbetriebnahme von Produktionssystemen mit hohem Materialdurchsatz verbessern. Allerdings ist eine Hardware-in-the-Loop-Simulation für die VIBN unter Einbindung eines hochauflösenden Materialflussmodells aufgrund der hohen Echtzeitanforderungen an die Modelle bisher nicht möglich. Durch die Kopplung eines physikbasierten Materialflussmodells und eines Flussmodells soll eine zeitdeterministische Materialflusssimulation ermöglicht werden. Diese soll nicht nur zur VIBN eingesetzt werden, sondern es soll auch eine automatische Durchsatzoptimierung zur Verbesserung des Layouts möglich sein.

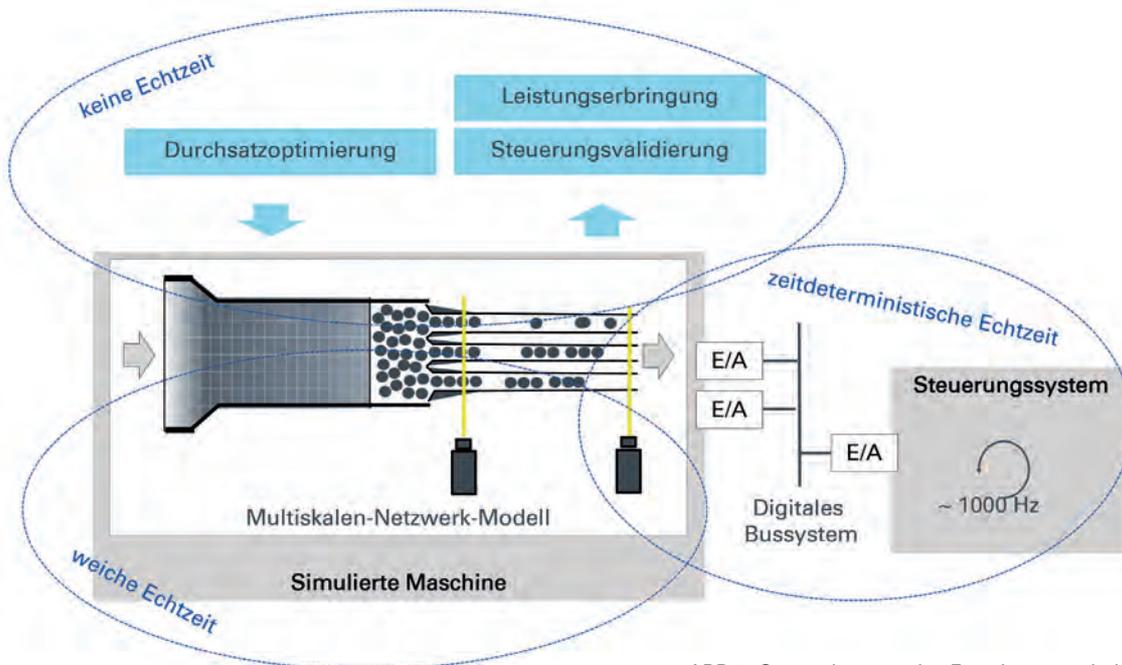


ABB.1: Gesamtkonzept des Forschungsvorhabens „OptiPlant“

Die individuelle Auslegung und Inbetriebnahme von Maschinen in einem materialflussintensiven Produktionssystem ist fehleranfällig und erfordert in vielen Fällen eine kosten- und zeitintensive Nachbesserung im Steuerungscode. Bei der Neuentwicklung von Anlagen können Verzögerungen und bei der Eingliederung neuer Maschinen in bestehende Produktionssysteme kostenintensive Stillstände der vollständigen Anlage entstehen. Zusätzlich führt die zunehmende Forderung nach umfangreicheren und schnell wechselnden Produktpaletten

zu einer höheren Komplexität des Steuerungssystems. Im Bereich des Sondermaschinenbaus kann der Einsatz simulationsbasierter Methoden den Engineering-Prozess beschleunigen, Kosten senken und die Fehleranfälligkeit stark verringern. Heutzutage erfolgt dies jedoch weder im Kontext der gesamten Anlage noch in Verbindung mit dem realen Steuerungssystem. Ziel ist es, eine zeitdeterministische Hardware-in-the-Loop-Simulation (HILS) auch für die Bewegung und Interaktion einzelner Stückgüter zu ermöglichen (vgl.

ABB.1), so wie es beispielsweise im Bereich der Getränke-technik mit ihren speziellen Anforderungen benötigt wird. Im Forschungsvorhaben soll das Konzept eines Multiskalen-Netzwerk-Modells, bestehend aus Fluss- und physikbasiertem Modell, erweitert werden, so dass eine Simulation auch für materialflussintensive Anwendungen in Echtzeit möglich ist. Außerdem soll, basierend auf dem Flussmodell, eine mathematische Durchsatzoptimierung entwickelt werden, die in Kombination mit einer Leistungserbringung im Rahmen der Virtuellen Inbetriebnahme (VIBN) am realen Steuerungssystem das Materialflusslayout verbessert. Es sollen ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen im Bereich der VIBN von Materialflusssystemen mit Hilfe von Modellierungs- und Optimierungsansätzen aus der Mathematik erforscht werden.

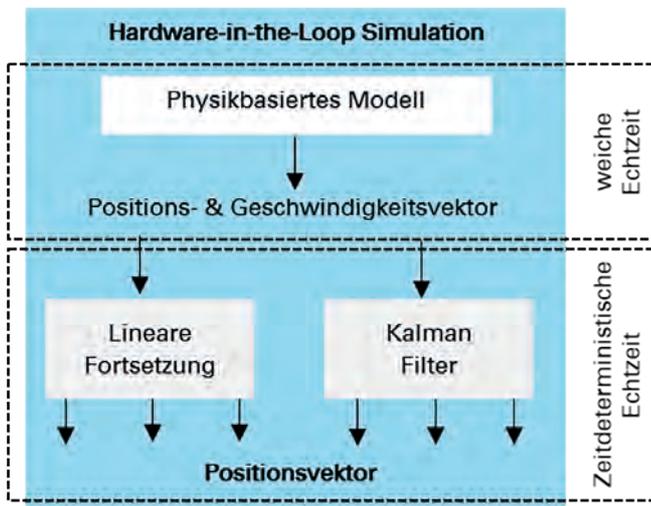


ABB.2: Kalman Filter zur Prädiktion von Koppelsignalen

Echtzeit-Materialflusssimulation

Um den Steuerungstakt in der HILS einzuhalten, werden zeitdeterministische und recheneffiziente Algorithmen benötigt. Die Dynamik von Materialflüssen mit einer großen Anzahl bewegter Objekte ist dabei ein elementares Thema, da deren Interaktion und Kollision zeitaufwendige Berechnungen notwendig machen. Die Kopplung eines physikbasierten Materialflussmodells mit einem Flussmodell auf unterschiedlichen Modell-Skalen in einem Multiskalen-Netzwerk-Modell ist vielversprechend für die Simulation des Materialflusses im Rahmen einer HILS. Es sollen Submodelle mit unterschiedlichen Simulationstakten verbunden werden, wobei die Ergebnisse der langsameren Submodelle beispielweise durch einen Kalman Filter prädiziert werden (vgl. **ABB.2**). Überdies soll das Flussmodell, das auf einer Erhaltungsgleichung basiert und dessen Rechenzeit unabhängig von der Anzahl der Stückgüter ist, mithilfe von Parallelisierungen beschleunigt werden.

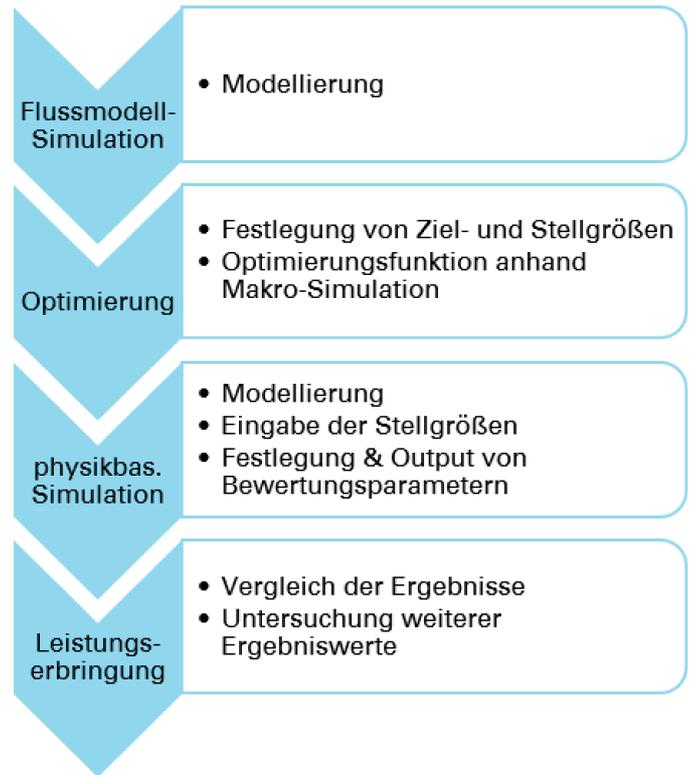


ABB.3: Durchsatzoptimierung des Materialflusslayouts

Virtuelle Durchsatzoptimierung

Das Flussmodell soll außerdem genutzt werden, um das Materialflusslayout mathematisch zu optimieren, was das physikbasierte Modell aufgrund seiner Komplexität nicht erlaubt. Bisher werden dafür meist nur ereignisdiskrete Materialflusssimulationen eingesetzt, die das Anlagenlayout auf einer höheren Ebene betrachten. Nach der Optimierung anhand des Flussmodells können die Stellgrößen mit einer physikbasierten Materialflusssimulation überprüft und die Steuerung validiert werden (vgl. **ABB.3**). Auf diese Weise werden auch dreidimensionale Effekte berücksichtigt.

Kontakt:

Annika Kienzlen, M.Sc.
annika.kienzlen@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



SEILROBOTIK

Die wohl bekannteste Anwendung eines parallelen Seilroboters ist die SpiderCam® (spidercam.tv), welche aus einem Kamerasystem besteht, das mit vier Seilen über die Flächen von Stadien, Konzerten oder anderen Großveranstaltungen bewegt wird. Neben den Anwendungsbereichen in der Unterhaltungsindustrie können Seilrobotersysteme auch als industrielle Handhabungssysteme zum Einsatz kommen, beispielsweise um Objekte hochdynamisch transportieren zu können. Am ISW wurden mehrere Versuchsstände für die experimentelle Untersuchung von Seilrobotern aufgebaut. Diese bestehen aus Seilen als kraftübertragende Elemente, Winden zum Auf- und Abwickeln der Seile, dem Rahmengestell zur Befestigung der Winden, einer industriellen Steuerung zur echtzeitfähigen Ansteuerung der Seilwinden und der beweglichen Plattform als Montagevorrichtung eines Endeffektors. Durch die redundante Verspannung der Plattform mit den Seilen ergeben sich für Seilroboter folgende Vorteile: Zu Industrierobotern vergleichbar hohe Steifigkeiten, große und flexible Arbeitsräume sowie hohe erreichbare Geschwindigkeiten und Beschleunigungen.

ENTWICKLUNG EINES VERFAHRENS ZUR IN-BETRIEB-REKONFIGURATION VON PARALLELEN SEILROBOTERN ALS HANDHABUNGSSYSTEME (SeilroStrKonfig)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In diesem Forschungsprojekt soll eine Möglichkeit zur In-Betrieb-Rekonfiguration eines parallelen Seilroboters umgesetzt werden. Der Begriff der Rekonfiguration bezeichnet das Anpassen des bestehenden Roboters an eine veränderte Anforderung und vergrößert somit die Flexibilität des Seilroboters enorm.

Seilroboter bestehen aus einer Arbeitsplattform, die über Antriebsseile mit den Seilwinden verbunden ist. Über die Verstellung der Seillängen kann die Position und Geschwindigkeit der Arbeitsplattform gesteuert werden. Durch die modulare und parallele Ausführung der Antriebsstränge besitzen Seilroboter die herausragende Möglichkeit zur Rekonfiguration. Eine implementierte Rekonfigurierbarkeit kann somit genutzt werden um die Flexibilität in Bezug auf den Einsatzbereich zu steigern. Für die praktische Umsetzung stehen bei einem Seilroboter grundsätzlich zwei Mechanismen zur Verfügung. Zum einen kann die Roboterstruktur durch ein Hinzufügen bzw. Entfernen von Antriebsseilen grundlegend beein-

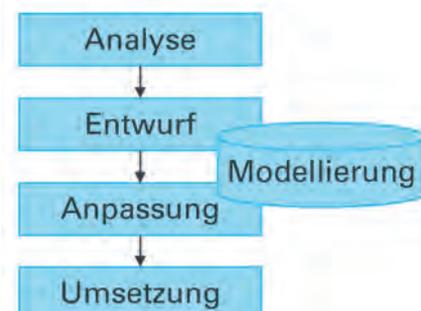


ABB.1: Schematische Darstellung des Rekonfigurationsvorgehens

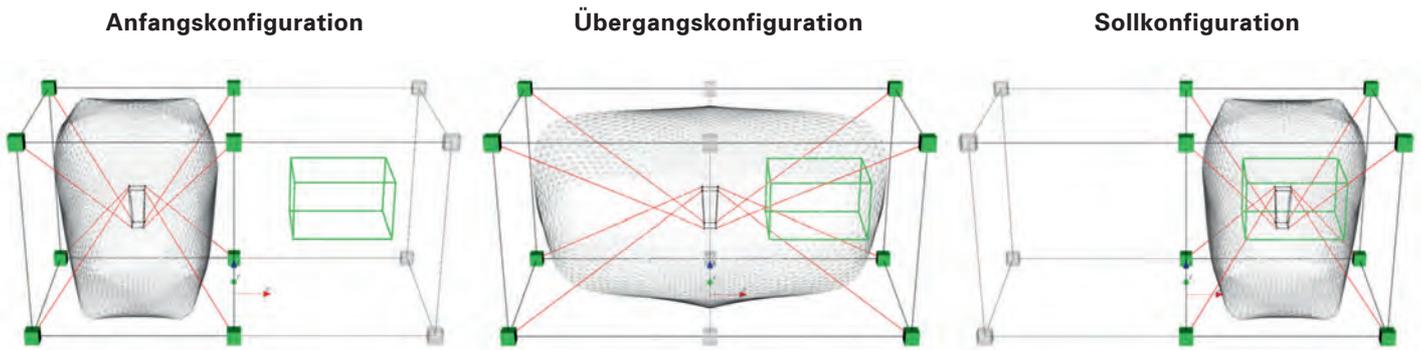


ABB. 2: Exemplarische Rekonfigurationen des Arbeitsraums

flusst werden. Zum anderen können die geometrischen Parameter verändert werden, indem die Umlenkrollen oder die Ankerpunkte der Seile verschoben werden. Ein gesamter Rekonfigurationsvorgang lässt sich in verschiedene Phasen aufteilen, die in **ABB.1** schematisch dargestellt sind.

Die fünf abgebildeten Teilmodule sind in der folgenden Auflistung näher beschrieben:

- **Modellierung:** Durch die bestehenden Gegebenheiten am Seilroboter können nicht alle Parameter frei gewählt werden. Um die Einschränkungen in der Planung berücksichtigen zu können, werden diese modelliert und in einem Datenmodell gespeichert.
- **Analyse:** Die leistungsbeschreibenden Eigenschaften, wie beispielsweise der Arbeitsraum des bestehenden Roboters, werden ausgewertet. Die praktische Anforderung wird in einer vergleichbaren Form ausgedrückt um einen direkten Vergleich zwischen dem Soll- und dem Istzustand durchführen zu können.
- **Entwurf:** Die Diskrepanz zwischen den aktuellen und den geforderten Eigenschaften wird über die Definition einer Gütefunktion quantifiziert. Über die Verwendung von numerischen Lösungsverfahren und den Randbedingungen

aus dem Datenmodell wird eine neue Robotergeometrie berechnet, die die Gütefunktion minimiert.

- **Anpassung:** Im Anschluss an die Bestimmung der neuen Robotergeometrie erfolgt die softwareseitige Rekonfiguration der Steuerung.
- **Umsetzung:** Im letzten Funktionsblock erfolgt der praktische Umbau des Seilroboters mit einer anschließenden erneuten Inbetriebsetzung.

In **ABB.2** ist ein simulativer Entwurfsvorgang abgebildet, der als Ausgangspunkt eine aktuelle Seilroboterkonfiguration mit einem zugehörigen Arbeitsraum darstellt. Der geforderte Arbeitsraum ist vereinfacht über einen grünen Quader abgebildet. Mittels einer Übergangskonfiguration kann somit ein Seilroboter realisiert werden, der den geforderten Bereich überspannt.

Kontakt:

Felix Trautwein, M.Sc.
felix.trautwein@isw.uni-stuttgart.de

ERWEITERUNG DER KINEMATISCHEN MODELLIERUNG FÜR PARALLELE SEILROBOTER MIT ENDLOSER ROTATIONSACHSE (EndlessZ)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Seilroboter sind Sonderbauformen paralleler Roboter und Mechanismen. Bei konventionellen parallelen Robotern kommen starre Gelenke als Antriebselemente zum Einsatz, welche bei Seilrobotern durch Seile ersetzt werden. Am ISW werden Seilrobotersysteme intensiv erforscht. Durch die Verwendung von Seilen als antreibende Elemente können kinematische Spezialfälle realisiert werden, welche neue Anwendungsmöglichkeiten für die Seilrobotik, insbesondere für erweiterte Handlingaufgaben, eröffnen. Einer dieser Spezialfälle sind Seilroboter mit endloser Rotationsachse, welche am ISW erforscht werden.

Bei konventionellen Seilrobotern ist die Rotationsfähigkeit der Plattform auf maximal $\pm 45^\circ$ um die jeweiligen Raumachsen beschränkt und hängt zusätzlich von der angefahrenen Position im Arbeitsraum ab. Diese Eigenschaften beschränken die Anwendungsgebiete für konventionelle Seilroboter. Um die Rotationsfähigkeit zu erhöhen, können Seilroboter durch zusätzliche Aktorik ergänzt werden, jedoch muss die erweiterte Rotationsfähigkeit mit zusätzlichem Gewicht und einer Medienzuführung auf Kosten des Arbeitsraums erkauft werden. Zudem verringert sich die Nutzlast sowie die maximal erreichbare Dynamik des Seilroboters.

Um diese Nachteile zu vermeiden, wurde im Forschungsprojekt „Endless-Z“ ein neuartiges Konzept untersucht, welches die zusätzliche Aktorik durch den Einsatz von weiteren Seilen vermeidet. Ein möglicher Entwurf ist, die Roboterplattform durch eine Kurbelwellengeometrie zu ersetzen. Hierbei müssen die zusätzlichen Freiheitsgrade durch die hinzugefügten Rotationsgelenke in der kinematischen Beschreibung berücksichtigt werden. Die allgemeinen Modelle und Algorithmen zur Auslegung von Seilrobotern wurden im Rahmen des Projekts erweitert und können für die praktische Umsetzung dieser speziellen Kinematiken verwendet werden. Für die Validierung der erweiterten Modelle wurde ein Versuchsstand aufgebaut. Dieser umfasst zwölf Seilwinden mit integrierten Kraftsensoren sowie vollständiger industrieller Antriebs- und Steuerungstechnik. Der Versuchsstand bietet somit die Voraussetzung, die theoretischen Ergebnisse präzise zu untersuchen.



ABB.1: Versuchsstand für Seilroboter mit endloser Rotationsmöglichkeit

Kontakt:

Thomas Reichenbach, M.Sc.
thomas.reichenbach@isw.uni-stuttgart.de

INNOVATIONSCAMPUS „MOBILITÄT DER ZUKUNFT“ – KOAXIALES LASERDRAHTAUFTRAGSSCHWEISSEN (ICM)



**GEFÖRDERT VOM MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG
UND KUNST BADEN-WÜRTTEMBERG**



Im Kooperationsprojekt des Karlsruher KITs und der Universität Stuttgart erforschen Wissenschaftler aus den Disziplinen des Maschinenbaus, Elektrotechnik, Chemie und dem Flugzeugbau Lösungen für die nachhaltige Mobilität von Übermorgen. Das Ziel ist, durch Grundlagenforschung in den Bereichen Mobilität und Produktion neue Technologien mit disruptivem Charakter zu entwickeln. Ausgehend von den Strategiefeldern „Advanced Manufacturing“ und „Emissionsfreie Mobilität“ fokussiert das ISW im erstgenannten Feld die endkonturoptimierte Produktion und Eigenschaftsoptimierung additiv gefertigter Bauteile.

Additive Verfahren bieten die Möglichkeit einer endkonturnahen Herstellung von Bauteilen mit lokal angepassten mechanischen Eigenschaften, die durch nachgelagerte Prozessschritte optimiert werden können. Dies führt zu einer doppelten Ressourcenschonung, einerseits durch eine Minimierung des Rohstoffeinsatzes für die Bauteilherstellung und andererseits durch die belastungsgerechte Bauteilfunktion. In diesem Teilprojekt wird das Ziel verfolgt, die komplette Bearbeitung eines additiv gefertigten, funktionsintegrierten Bauteils zu optimieren um endkonturoptimierte Bauteile wirtschaftlich und ressourceneffizient fertigen zu können. Hierbei arbeitet das ISW zusammen mit den Partnerinstituten IfW, IMWF und IFSW am innovativen koaxialen Laserdrahtauftragsschweißen (siehe **ABB.1**).

Diese neue Technologie hat im Gegensatz zu anderen additiven Laserverfahren den Vorteil, dass das metallische Halbzeug in Drahtform zugeführt wird. Dadurch ist der Prozess deutlich günstiger und leichter zu handhaben als pulverbasierte Verfahren. Im Gegensatz zu anderen drahtbasierten Prozessen wird hier der Metalldraht koaxial zum Laserstrahl in das Schmelzbad gefördert, was entscheidende Vorteile hinsichtlich Richtungsunabhängigkeit und Kollisionsvermeidung mit sich bringt. Dieses recht junge und komplexe Verfahren weist bisher jedoch nicht die notwendige Prozessstabilität und gleichbleibende Qualität auf. Beispielsweise führt das Starten und Stoppen des Druckprozesses, Temperatur- und Oberflächenschwankungen, sowie geometrieabhängiges Zerfließen des Schmelzbades, zu einem schwer vorhersehbaren Prozessverhalten. Schwerpunkt des ISW ist es, die Zuverlässigkeit, Kontrollierbarkeit und Qualität dieses Prozesses soweit zu verbessern, dass er für die Herstellung von Funktionsbauteilen automatisiert eingesetzt werden kann. Dazu werden verschiedene prozessorientierte Bahnplanungs-, Steuerungs- und Regelungsmechanismen entwickelt. Integrative Ansätze sind beispielsweise eine lernende Laserleistungsvorsteuerung und

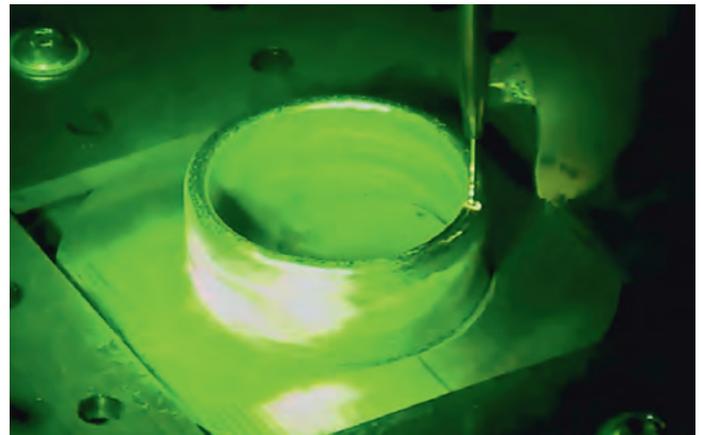


ABB.1: Laserauftragsschweißen mit Aluminiumdraht. Fertigung des Zylinder-Testbauteils; © IFSW, Universität Stuttgart

Prozesssteueralgorithmen auf Grundlage von Echtzeitdaten (Höhenverlauf und Temperatur) zur kleineren Parameteranpassungen auf der CNC. Darüber hinaus wird ein für den Prozess optimiertes Bahnplanungsprogramm entwickelt und so in den Prozess integriert, dass auf unvorhergesehenes Verhalten schnell reagiert und größere geometrische und strukturelle Fehler damit kompensiert werden können.

Kontakt:

Martin Wolf, M.Sc
martin.wolf@isw.uni-stuttgart.de

Frederik Wulle, M.Sc
frederik.wulle@isw.uni-stuttgart.de

LEISTUNGSZENTRUM MASS PERSONALIZATION



GEFÖRDERT VOM MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST BADEN-WÜRTTEMBERG



Das Leistungszentrum für Mass Personalization ist eine gemeinsame Initiative der Universität Stuttgart und der Fraunhofer-Institute am Standort Stuttgart. In diesem Verbund werden in interdisziplinärer Forschung branchenübergreifende Methoden, Verfahren, Prozesse, Produktsysteme und Geschäftsmodelle zur Herstellung personalisierter Produkte entwickelt.

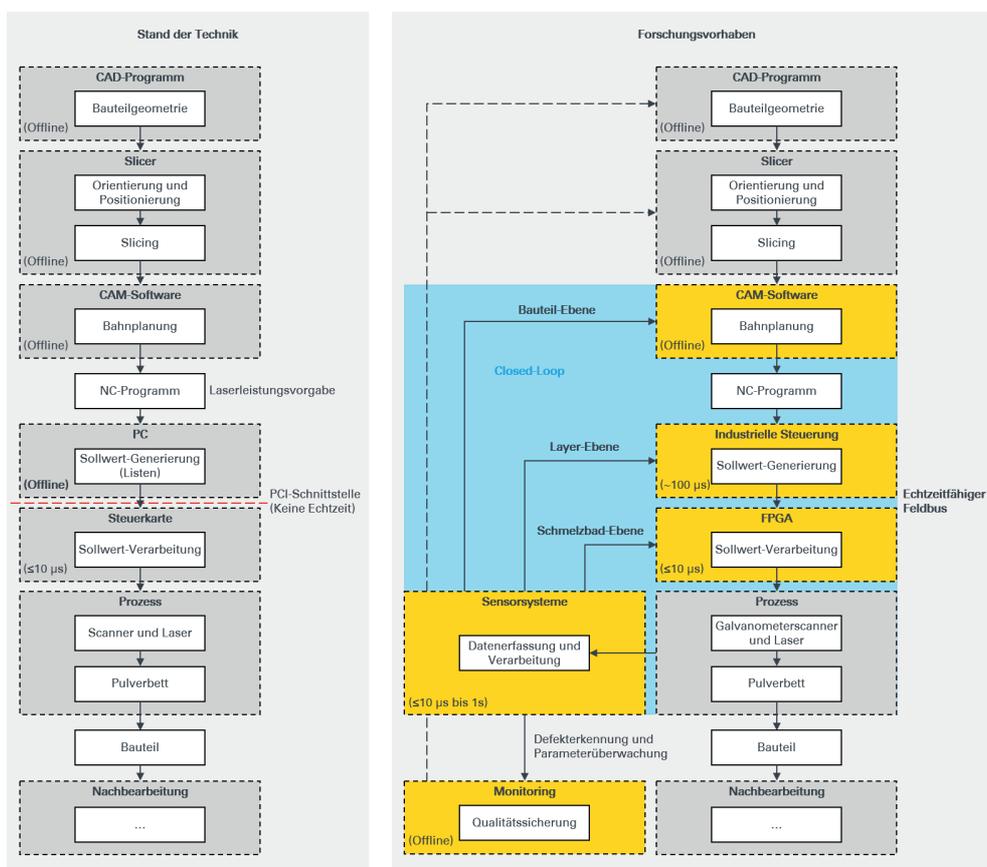
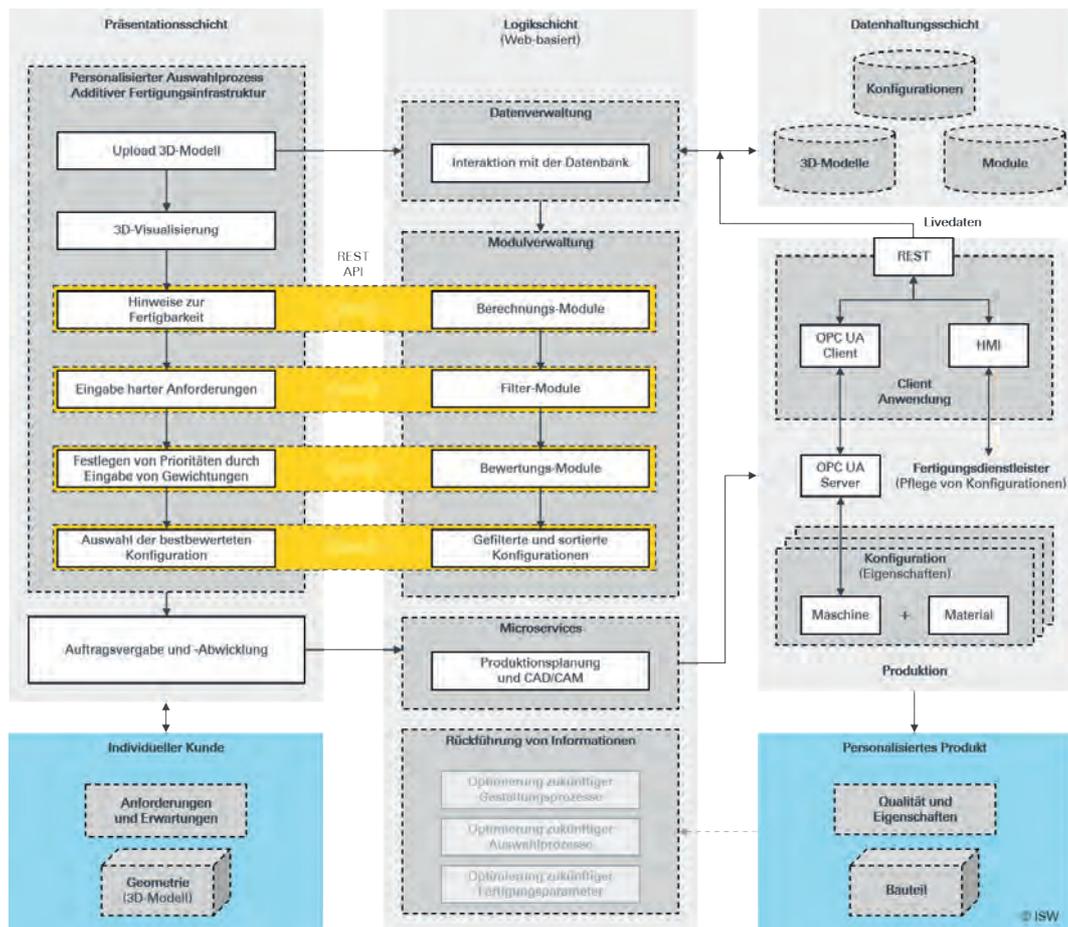


ABB.1: Steuerungsarchitektur für Galvanometer-basierte Laseranwendungen auf Basis einer industriellen Steuerung

Eine personalisierte Produktentstehung ist maßgeblich durch die Herausforderung einer wirtschaftlichen Herstellung von Produkten geringer Losgrößen geprägt. Die Herstellung solcher individuellen Produkte erfordert eine hochqualitative und flexible Fertigung. Um dies zu ermöglichen, bietet sich insbesondere der Einsatz Additiver Fertigungsverfahren an, da beispielsweise der zeit- und kostenintensive Werkzeug- und Formenbau gänzlich entfällt. Die Auswahl eines geeigneten Additiven Fertigungsverfahrens gestaltet sich jedoch aufgrund der Vielzahl auf dem Markt verfügbaren Technologien,

Maschinen und Materialien äußerst komplex und bedarf Expertenwissen und Erfahrung. Darüber hinaus sind die Prozesstechniken der Additiven Fertigung derzeit aus wirtschaftlicher Sicht, im Vergleich zu konventionellen Herstellungsverfahren, noch vergleichsweise unattraktiv, da die erforderliche Qualität und Aufbaugeschwindigkeit für industriell relevante Einsatzgebiete oftmals nicht ausreichen. Ein industriell bedeutendes Additives Fertigungsverfahren ist das Selektive Lasersintern. Das Selektive Lasersintern verlangt eine hochfrequente Steuerung der verwendeten dynamischen



Galvanometer-Scanner sowie eine performende Regelung der Fertigungsparameter, um eine hohe Produktqualität zu gewährleisten.

Die Aufgaben des ISW umfassen die konzeptionelle Entwicklung einer einheitlichen Prozesskette, die Entwicklung von cyberphysischen Systemen für die angepasste Fertigungstechnik und die Erweiterung der Prozessgrenzen der Additiven Fertigung im Rahmen des Selektiven Lasersinterns.

Zur Erweiterung der Prozessgrenzen des Selektiven Lasersinterns wurde eine Steuerungsarchitektur entworfen, welche die bisherige Limitierung zur echtzeitfähigen Anpassung von Fertigungsparametern aufhebt (vgl. **ABB.1**). Dazu wird ein FPGA eingesetzt, welcher Sollwerte die in einer industriellen CNC generiert werden, via EtherCAT entgegennimmt, verarbeitet und an die Prozesskomponenten schickt. Darüber hinaus wird in Kooperation mit dem Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) der Einsatz adaptiver Strahlformung untersucht. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) wird außerdem eine webbasierte Softwareplattform entwickelt, die die nutzerorientierte Auswahl Additiver Fertigungsinfrastrukturen ermöglicht (**ABB.2**). Während des Auswahlprozesses werden Livedaten der verfügbaren Maschinen berücksichtigt. Dadurch wird eine fundierte Aussage über bestehende Potenziale zur Herstellung personalisierter Produkte ermöglicht.

ABB.2: Schematische Darstellung der web-basierten Plattform zur Auswahl Additiver Fertigungsinfrastruktur und Digitalisierung der Prozesskette zur Fertigung personalisierter Produkte mittels Additiver Fertigung

Projektpartner:



Kontakt:

Colin Reiff, M.Sc.
colin.reiff@isw.uni-stuttgart.de

Frederik Wulle, M.Sc.
frederik.wulle@isw.uni-stuttgart.de

ENTWICKLUNG EINES SmartCNC-SYSTEMS ZUR INTEGRATION DES CAM-SYSTEMS IN DIE CNC-STEUERUNG (Smart-CNC)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



Aktuell gehen entlang der CAD/CAM-Planungskette fertigungsrelevante Informationen verloren oder sind zum jeweiligen Prozessschritt noch nicht verfügbar. Im Forschungsprojekt SmartCNC wird durch die Integration des CAM-Systems in die Werkzeugmaschinensteuerung eine durchgängige Verfügbarkeit von Informationen seitens des Werkstückdesigns und der verwendeten Werkzeugmaschine ermöglicht. Diese werden anschließend zur maschinenindividuellen Optimierung der Fertigungsplanung durch SmartCNC-Module verwendet.

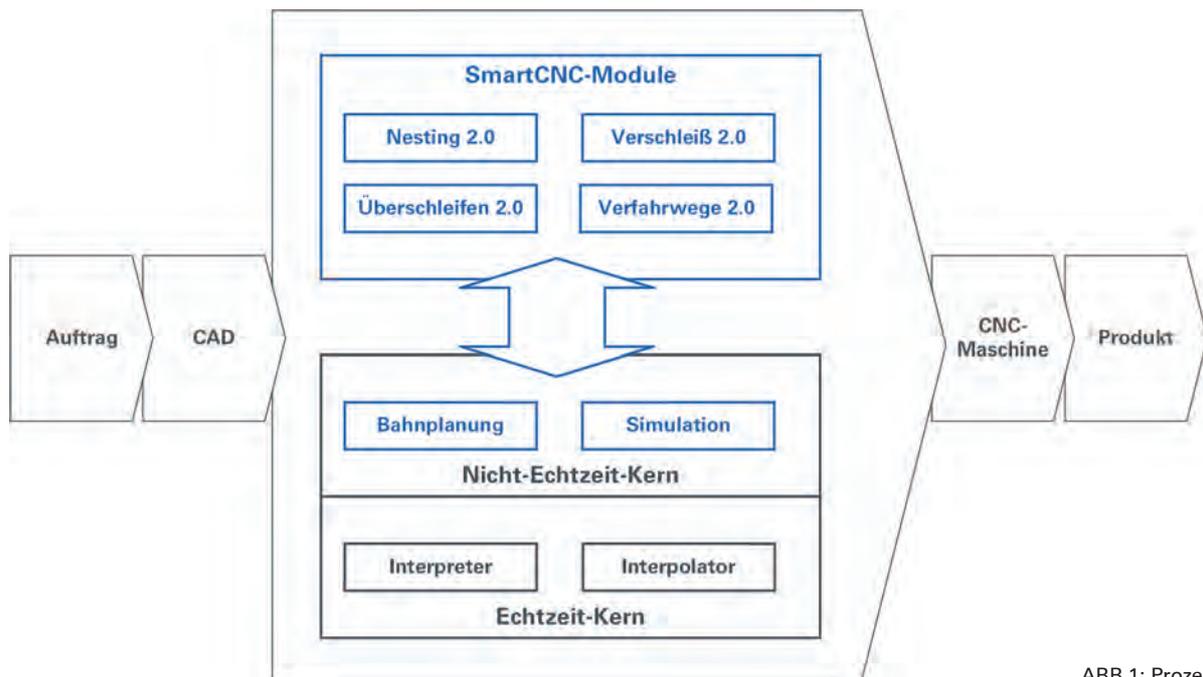


ABB.1: Prozessübersicht

CNC-Maschinen sind der Standard in nahezu allen Industriebereichen (Maschinen- und Anlagenbau, Werkzeugbau, Medizintechnik etc.) und fast allen Technologien (Fräsbearbeitung, Laser- und Wasserstrahl schneiden, 3D-Druck etc.). Dabei ist der Informationsfluss in der Prozesskette von der Idee zum fertigen Werkstück oft eingeschränkt und in den meisten Fällen einseitig. Die Konstruktion erfolgt in einer CAD-Anwendung, die Arbeitsplanung und Übersetzung in maschinenlesbaren G-Code in einem CAM-System und die Bearbeitung in einer CNC-Maschine.

Genau an diesen Schnittstellen gehen Informationen zur Optimierung des Bearbeitungsprozesses verloren. So haben die CAM-Systeme zumeist nur eingeschränkte Informationen

über die spezifischen Parameter der später tatsächlich verwendeten Werkzeugmaschine und können die NC-Programme nur nach allgemeinen Kriterien optimieren. Auf der anderen Seite hat die Werkzeugmaschine keine Kenntnis über die bei der Konstruktion festgelegten Maßtoleranzen, Oberflächen-güte oder die für den Bearbeitungsschritt aktuelle Werkstückgeometrie. Somit ist es für beide Systeme unmöglich eine effiziente und maschinenindividuelle Planung der Arbeitsschritte durchzuführen.

Ziel des Forschungsprojektes ist, zusammen mit dem Projektpartner IBH Automation, eine intelligente Maschinensteuerung zu entwickeln. Damit wird ermöglicht, die gesamte Prozesskette vom CAD-Modell zum fertigen Bauteil abzubilden

und somit den Informationsverlust zu vermeiden. Die bisherigen Steuerungsfunktionalitäten sollen durch SmartCNC-Module erweitert werden, welche neben einer effizienten Bahnplanung auch den Verschleiß der Werkzeugmaschine geringhalten. In diesem Projekt sind zunächst vier SmartCNC-Module geplant:

- Mit dem „Nesting 2.0“ Modul soll bei der Verteilung von Formen auf dem Rohmaterial (bspw. beim Laserschneiden) neben dem Materialverbrauch auch die Achsdynamik der Werkzeugmaschine berücksichtigt werden um die Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen zu verringern und einen kontinuierlicheren Bearbeitungsfluss zu gewährleisten.
- Durch ein „Überschleifen 2.0“ Modul werden Werkstückkonturen mit Klothoiden-Überschleifverfahren verrundet. Hier wird auf die Ergebnisse des DFG Forschungsprojektes „Cornuspline“ aufgebaut. Gegenüber den bisher üblichen Polynom-Verfahren bieten diese ein lineares Krümmungsprofil und damit eine steuerbare Ruck- und Beschleunigungstrajektorie. Somit ist es möglich den gesamten Dynamikbereich der Werkzeugmaschine voll auszunutzen ohne eine Achsgrenzverletzung zu riskieren. Im Projekt werden zunächst sämtliche symmetrische und asymmetrische Übergangsvarianten aus den Grundelementen Gerade und Kreissegment in der Ebene betrachtet, jeweils mit den Verfahren Eckabstands-, Eckabweichungs- und Zwischenpunktüberschleifen. Im Anschluss soll das Modul auch ein räumliches Überschleifen ermöglichen.

- Um den Verschleiß der Maschinenführungen und -antriebsspindeln gleichmäßig zu verteilen, soll ein „Verschleiß 2.0“ Modul die Positionierung der Werkstücke festlegen. Grundidee dieses Moduls ist es, einen einseitigen Verschleiß einer Werkzeugmaschine zu verhindern, falls sie mit großem Bearbeitungsraum kleinere Werkstücke bearbeitet und somit die Antriebssysteme ausschließlich in einem kleinen Bereich belastet werden. Wenn die Werkstückposition im Laufe der Produktion immer wieder variiert wird, kann die Maschinenstandzeit durch gleichmäßige Belastung der Führ- und Antriebssysteme erheblich verlängert und damit Instandhaltungs- und Ausfallzeiten reduziert werden.
- Das „Verfahrwege 2.0“ Modul bietet die Möglichkeit, eine Punkt zu Punkt Interpolation asynchron durchzuführen. Aktuell werden die Achsen einer CNC-Maschine auch im Eilgang synchronisiert. Da bei bestimmten Maschinenkonfigurationen unterschiedliche Achsantriebe verwendet werden, kann bei linearer Interpolation nicht immer das volle Potential der Antriebe ausgeschöpft werden.

Kontakt:

Timo König, M.Sc.

timo.koenig@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



HIGH-PERFORMANCE-AUTOMATISIERUNG!

Hardware-in-the-Loop

Testautomatisierung

**WIR SUCHEN
DICH!**



Für interne Forschungsarbeiten und Kooperationsprojekte mit Industriepartnern suchen wir

wissenschaftliche Hilfskräfte (m/w)

Kontakt:

Dr.-Ing. Armin Lechler
armin.lechler@isw.uni-stuttgart.de



Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen

<https://www.isw.uni-stuttgart.de/institut/karriere/student/>

ENTWICKLUNG EINER ADAPTIVEN BAHNPLANUNG ZUR BERÜCKSICHTIGUNG UND UMFABRUNG VON STATISCHEN UND ERSTMALS DYNAMISCHEN OBJEKTEN/HINDERNISSEN (SmartFTF)

GEFÖRDERT VOM BUNDEMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



Um die Produktivität und Effizienz von fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) bei gleichbleibender Sicherheit für Mensch und Umwelt zu erhöhen, sollen die FTF den von ihnen erkannten Hindernissen ausweichen. Dazu werden die FTF des Projektpartners Arculus durch ein Kamerasystem mit Bilderkennung und entsprechenden Algorithmen erweitert. Dabei soll besonders auf die Berücksichtigung dynamischer Hindernisse, sowie auf die Realisierung einer möglichst ruckarmen Bewegung für die FTF eingegangen werden.

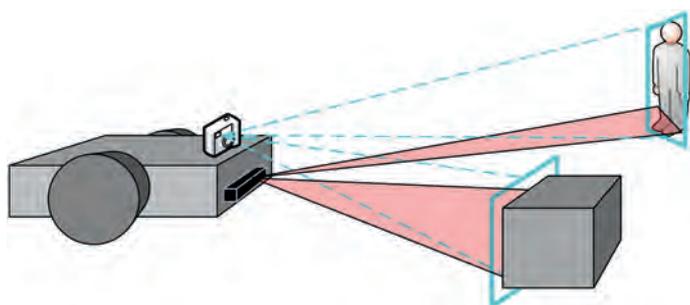


ABB.1: Erkennen von Objekten mittels Kamera und Laserscanner

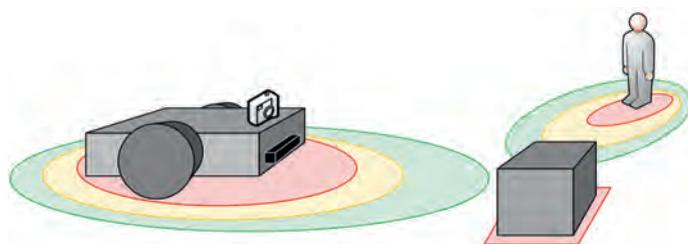


ABB.2: Sicherheitszonen von bewegten und unbewegten Objekten

Fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) sind Förderzeuge, die auf dem Boden operieren und berührungslos durch ein Leitsystem gesteuert werden. Sie übernehmen Transportaufgaben in vielfältigen Einsatzbereichen, z.B. in der Fertigung oder in Lagersystemen.

Aus Sicherheitsgründen scannen FTF jederzeit ihre Umgebung und führen einen Nothalt durch, wenn sich ein Hindernis in ihrem Sicherheitsbereich befindet.

Ein solcher Nothalt ist zeitlich und energetisch nicht optimal, zusätzlich werden Motoren und Bremsen belastet und nutzen sich schneller ab.

Um einen Nothalt der FTF zu vermeiden, sollen Hindernisse umfahren werden. Dabei sollen auch dynamische Hindernisse beachtet werden.

Die Trajektorie der zum Umfahren geplanten Bahn sollte möglichst glatt sein, um hohe Belastungen der Bremsen und Antriebe zu vermeiden.

Die an den FTF des Projektpartners Arculus befindlichen Laserscanner werden durch ein Kamerasystem erweitert.

Dieses Kamerasystem erlaubt ein detaillierteres Erkennen und Klassifizieren von Hindernissen und ein Ermitteln von deren Bewegungsvektoren.

Die Klassifizierung ist Voraussetzung, um auf verschiedene Objekte unterschiedlich zu reagieren. Eine Ermittlung der Bewegungsvektoren ist unerlässlich, um bewegte Hindernisse in der Bahnplanung zu berücksichtigen.

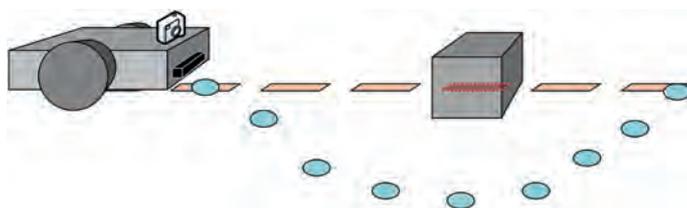


ABB.3: Umplanen der vorgegebenen Bahn (orange), die aufgrund des Hindernisses nicht befahren werden kann

Um das Ausweichen selbst zu realisieren, werden geeignete bestehende Bahnplanungsmethoden evaluiert. Diese Methoden werden um eine Möglichkeit der Bahnglättung erweitert. Dazu wird zwischen Ist- und Sollzustand des FTF unter Berücksichtigung von Grenzwerten feininterpoliert.

Auch eine Berücksichtigung bewegter Objekte in der Bahnplanung wird in den Algorithmus integriert. Über eine Klassifizierung der Objekte kann zusätzlich ausgewertet werden, wie wahrscheinlich sich ein Objekt bewegt. Menschen und andere FTF beispielsweise treten häufiger als bewegte Hindernisse auf als Kisten oder Regale.

Um die bewegten Objekte zu berücksichtigen wird, wie in **ABB.2** dargestellt, ihr Sicherheitsschatten in Richtung des Bewegungsvektors vergrößert. Der Bahnplanungsalgorithmus darf den Sicherheitsschatten nicht für mögliche Pfade betrachten.

Um die genannten Funktionen zu testen, werden sie zunächst in der Simulation evaluiert und danach auf realen Fahrzeugen getestet. Dazu wird ein möglichst akkurates Simulationsmodell der FTF und ihrer Umgebung erstellt.

Kontakt:

Tonja Heinemann, M.Sc.
tonja.heinemann@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:

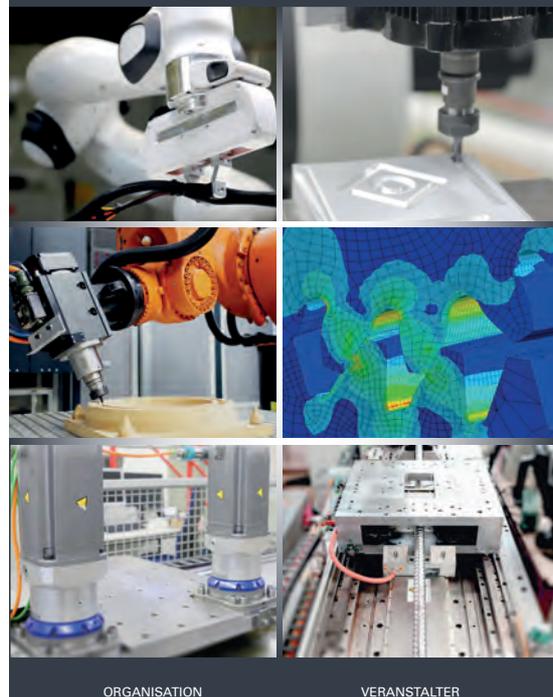


Lageregelseminar

Erstmals wieder seit 2015 organisiert das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) das Lageregelseminar. Auf der zweitägigen Veranstaltung geben unsere Referenten aus Industrie und Forschung einen spannenden Überblick zu aktuellen Forschungsergebnissen und Entwicklungen aus dem Bereich der Industrierobotik sowie der Antriebs- und Maschinenteknik. Hierfür werden anwendungsnahe und praxisbezogene experimentelle Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Weitere Informationen zur Veranstaltung finden Sie unter:

www.lageregelseminar-stuttgart.de



ORGANISATION



VERANSTALTER



KAMERABASIERTE BAHNPLANUNG FÜR INDUSTRIEROBOTER (KaBa)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



Obwohl die für Industrieroboter notwendigen Investitionskosten in den letzten Jahren stetig gesunken sind, finden sich nur wenige Industrieroboter in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU). Dies gilt insbesondere im Bereich der Kleinserienfertigung mit kleinen Stückzahlen und großer Variantenvielfalt. Der Grund hierfür ist, dass die Vorbereitung einer Roboter Aufgabe mit sehr großem Aufwand verbunden ist. Dieser zusätzliche Aufwand bei der Vorbereitung von Roboter Aufgaben führt zu erhöhten Kosten, die letztendlich den wirtschaftlichen Einsatz von Industrierobotern in KMU verhindern. IM Forschungsprojekt KaBa sollen die bestehenden Probleme durch eine automatische, sensorbasierte Programmierung der Roboter gelöst werden.

Bei der Roboter-Programmierung wird jede Bewegung, Drehung und Auf- oder Abwärtsbewegung eines Roboters genau in einem vorgegebenen Raum programmiert. Dem Programm liegt ein fixer Nullpunkt zugrunde. Aus diesem Grund muss jedes neue Bauteil exakt gleich im Raum ausgerichtet werden, damit das Programm auch für dieses Teil stimmt. Um eine genaue Positionierung der zu bearbeitenden Teile sicher zu stellen, sind zusätzlicher Aufwand und weitere Kosten für Spann- und Vorrichtungssystem notwendig. Bei Teilen, die über mehrere Varianten verfügen, muss für jede dieser Varianten ein extra Programm erstellt werden. Das kann für einen Kleinserienfertiger bedeuten, dass er für eine einzige Aufgabe in seiner Fertigung (z.B. Lackieren von Fahrradrahmen) viele unterschiedliche Programme schreiben muss. Dies lässt sich prinzipiell auf alle Anwendungen von Robotern für Kleinserien in den unterschiedlichsten Branchen übertragen.

Hierbei ist der Aufwand für die Programmierung der Teile und ihrer Varianten einerseits, sowie des Sicherstellens der exakten Ausrichtung der einzelnen Teile andererseits, besonders bei der Bearbeitung kleiner Stückzahlen bisher unverhältnismäßig groß und ein Einsatz daher nicht wirtschaftlich.

Zielsetzung/Ergebnisse

Im Projekt KaBa werden Softwarelösungen entwickelt, die es erlauben, in der Fertigung eingesetzte Industrieroboter so vereinfacht zu programmieren, dass der notwendige personelle Einsatz sowie der zeitliche Aufwand für die Vorbereitung der Roboter Aufgabe erheblich reduziert werden können. Das wiederum ist die Voraussetzung für die wirtschaftliche automatisierte Fertigung in Kleinserien.

Hierfür werden Lösungen erarbeitet, die die automatisierte Bahngenerierung, der für den Industrieroboter vorgesehe-

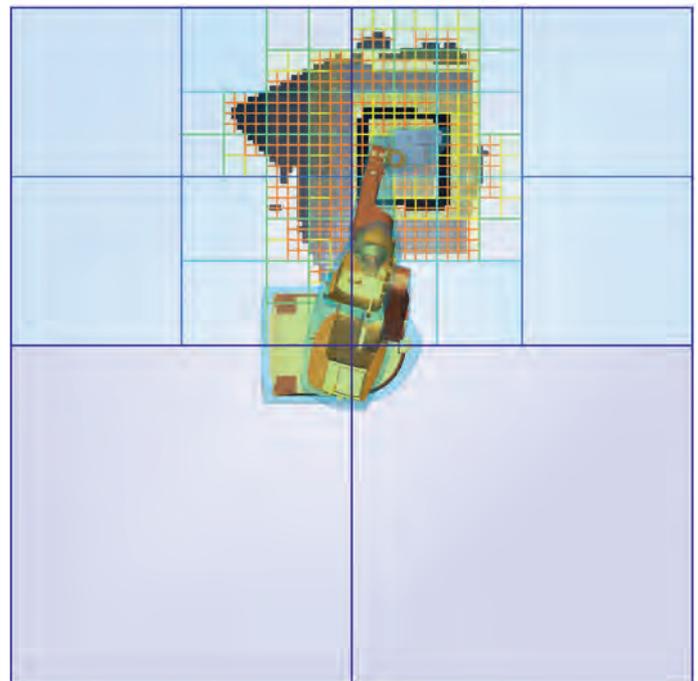


ABB.1: Adaptive Schrittweitensteuerung

nen Aufgabe, im industriellen Umfeld erlauben. Dazu wird der Roboter mit einem Kamerasystem ausgestattet. Das Kamerasystem zeichnet eine Punktwolke des Werkstücks sowie der Roboterumgebung auf. Aus den erfassten Punkten wird ein 3D-Umweltmodell generiert. Um eine schnelle Berechnung kollisionsfreier Bahnen zu ermöglichen, werden Reduktionsmechanismen entwickelt. Diese sollen die Komplexität des Lösungsraums reduzieren. Ein Beispiel hierfür

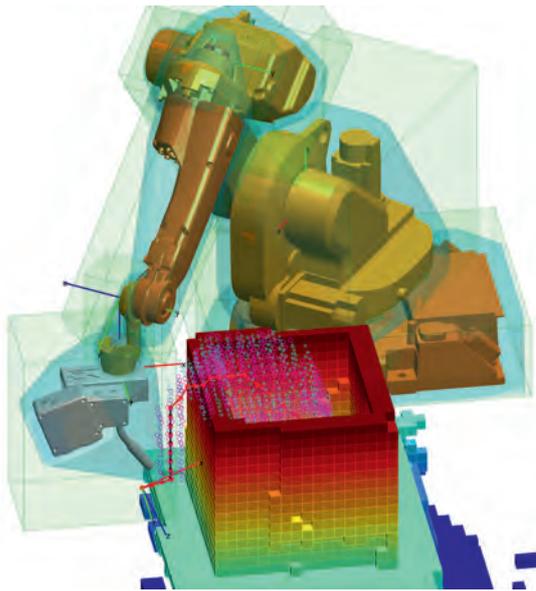


ABB.2: Suche nach kollisionsfreiem Pfad mit entsprechender Schrittweite

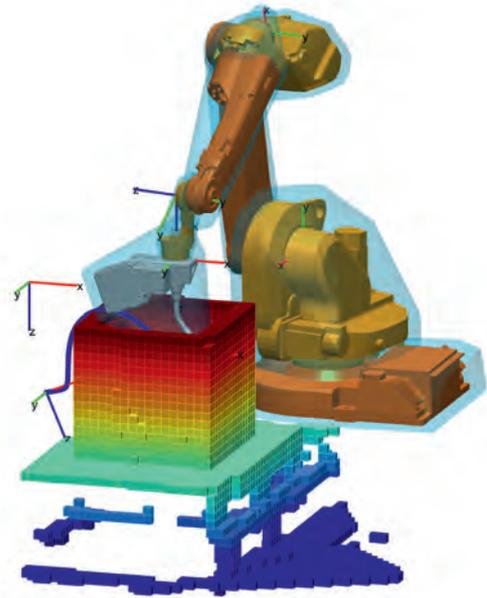


ABB.3: Bahnplaner liefert kollisionsfreie Bahn

ist die adaptive Schrittweitensteuerung, die auf der Belegung des Raumes an jedem Punkt basiert.

Varianzen in den Modellen werden automatisch erkannt und die Robotersteuerung entsprechend angepasst (Der Roboter erkennt z.B. eine Bearbeitungsstelle aufgrund einer bestimmten Anordnung von Bohrungen zueinander, dabei ist die Größe des Bauteils unerheblich. Ein weiteres Beispiel ist das automatische Erkennen von Deformationen aufgrund vorangegangener Bearbeitungen).

Das zu bearbeitende Bauteil muss nicht passgenau eingespannt werden, da das Modell mit dem Kamerasystem erfasst wird. Das Modell wird mit einer CAD-Vorlage verglichen und die Bearbeitungsstellen aufgrund der Maßangaben im CAD angepasst. Die entstehenden Störfaktoren in der, vom optischen Sensor generierten, Punktwolke werden reduziert. Es werden effiziente Algorithmen entwickelt, um eine schnelle Auswertung zu gewährleisten. Die Bearbeitungsbahn des Roboters wird anhand des 3D-Umweltmodells, kollisionsfrei geplant.

Projektpartner:



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

Projektträger:



Kontakt:

Benjamin Kaiser, M.Sc.
benjamin.kaiser@isw.uni-stuttgart.de

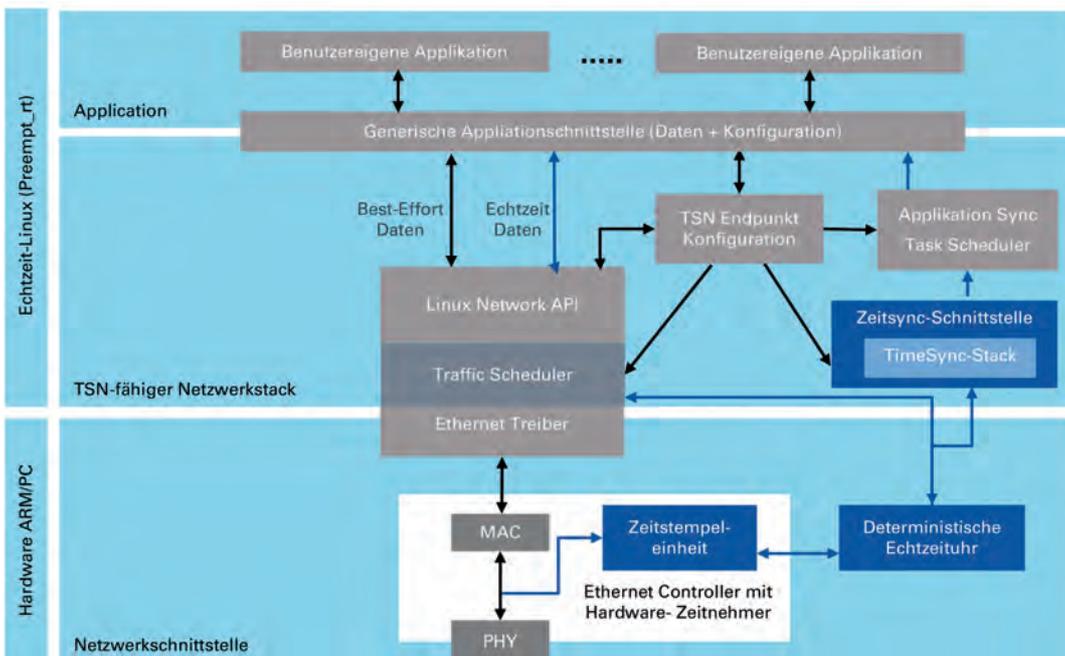
MODULARES OPEN-SOURCE FRAMEWORK FÜR ECHTZEITFÄHIGE ENDGERÄTE IN TSN-BASIERTEN NETZEN (AccessTSN)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



Essentiell für die Realisierung vieler Industrie 4.0 Visionen ist ein durchgehender Datenzugriff durch alle Hierarchieebenen der Produktion hinweg. Dazu sind konvergente Netze, welche IT- und OT-Systeme verbinden und Echtzeitkommunikation sowie Best-Effort-Traffic gleichzeitig transportieren, notwendig. Als entscheidende Enabling-Technologie wird branchenübergreifend die momentane Erweiterung von Standard-Ethernet um deterministische Fähigkeiten im Kontext des Time Sensitive Networkings (TSN) gesehen. Im Rahmen des Projekts AccessTSN werden verschiedene Beiträge zur Bereitstellung einer offenen Lösung für TSN-Endgeräte auf Basis von Echtzeit-Linux geleistet.



Projektpartner:



ABB.1: Architektur eines Single-Port-Endpunkts

Kommunikation über alle Ebenen der Produktionspyramide hinweg ist Voraussetzung für viele innovative Ansätze bei der Digitalisierung der Produktion (Industrie 4.0). Dies ist aufgrund der Vielzahl zueinander inkompatibler Feldbusse und dem mangelnden Determinismus von klassischen IT-Netzen bisher nur schwer realisierbar. Momentan wird das in der IT bewährte Ethernet im Rahmen von IEEE 802.1 um deterministische Eigenschaften ergänzt (Time Sensitive Networking – TSN) und als Schlüsseltechnologie für konvergente Netze gesehen.

Ein Netzwerk besteht aus Infrastrukturkomponenten, beispielsweise Switches oder Netzwerkmanagement, und Endpunkten, welche das Netzwerk nutzen um Daten anzubieten, auszutauschen oder zu konsumieren. Während Infrastrukturkomponenten die Domäne vergleichsweise weniger etablierter Hersteller sind, werden allgemeine und spezialisierte Endpunkte von einer Vielzahl von Herstellern jeder Größe entwickelt und produziert. Endpunkte werden somit hinsichtlich Variantenvielfalt und Anzahl die Netzwerke dominieren.

Da es sich bei Ethernet und damit bei TSN um eine hersteller-unabhängige Basistechnologie zur Kommunikation handelt, die bei allen Endpunkten gleich ist, birgt eine hersteller-spezifische Implementierung von TSN nur wenig Potential zur Diversifizierung zu Mitbewerbern, welche vielmehr auf Ebene der Anwendung stattfinden wird. TSN-Grundfunktionalitäten sollten daher auf Plattformen und Betriebssystemen zukünftig als gegeben und offen verfügbar sein.

In diesem Punkt setzen die Projektpartner im Projekt AccessTSN an: Ziel ist es, eine offene, anwendungsübergreifende Lösung zu schaffen um zukünftig applikationsspezifische TSN-Endgeräte mit vergleichsweise wenig Aufwand realisieren zu können. Somit können sich Hersteller auf die tatsächliche Applikation konzentrieren.

Um die Vorteile von TSN nutzen zu können, werden auf Endgeräten verschiedene Funktionen benötigt:

- **Zeitsynchronisation:** Ein gemeinsames Verständnis von Zeit im gesamten Netz
- **Scheduling des Datenverkehrs:** TSN bietet unter anderem ein zeitschlitzbasiertes Verfahren
- **Konfiguration:** Alle Teilnehmer müssen sich auf gewisse Parameter und Schedules einigen
- **Synchronisation mit der Applikation:** Die lokale Applikation wird mit dem Netz synchronisiert

Endgeräte unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl ihrer Ports. Single-Port Endpunkte verfügen nur über eine einzelne Netzwerkschnittstelle, welche am TSN-Netzwerk teilnimmt. Aus Netzwerksicht sind diese einfacher, da sie nur den für sie bestimmten Datenverkehr erhalten und weniger Parameter konfiguriert werden müssen.

Unter Switched Endpunkten werden Geräte verstanden, die mit mehreren Netzwerkschnittstellen am Netzwerk teilnehmen und sich damit in einer Daisy-Chain-Verkabelung betreiben lassen, welche im industriellen Umfeld üblich ist. Für den Datenverkehr, der für sie selbst bestimmt ist, agieren Sie wie ein Single-Port-Endpunkt, anderen Datenverkehr leiten sie entsprechend weiter, verhalten sich hier also wie ein Switch. Diese Geräte sind aus Netzwerksicht aufwendiger, da mehr Parameter zu konfigurieren sind und sie weitere Softwareschnittstellen für die Konfiguration benötigen. AccessTSN deckt beide Endpunktarten ab.

In der Open-Source-Community sind bereits verschiedene Softwarekomponenten frei verfügbar, um die Entwicklung von TSN-Endpunkten zu vereinfachen. Sowohl für PC-basierte, als auch für eingebettete Plattformen kann das Echtzeit-Linux-Projekt „PREEMPT_RT“ genutzt werden. Darüber hinaus besteht bereits eine Vielzahl an Implementierungen von relevanten Protokollen, wie beispielsweise zur Zeitsynchronisation mittels Linux PTP.

Die eingesetzte Linuxbasis unterstützt eine Vielzahl von Hardware; Im Projekt selbst werden eine PC- und eine ARM-Plattform aktiv getestet. Durch die modular gehaltene Architektur ist es problemlos möglich, weitere Plattformen zu unterstützen. Anwenderprogramme können über eine generisch

gehaltene Applikationsschnittstelle leicht für die Nutzung von TSN angepasst und entwickelt werden. Ein weiterer Fokus des Projektes ist die Entwicklung von Softwarekomponenten zur TSN-konformen Konfiguration des Datenverkehrs des Endpunktes und der Netzwerkfunktionalitäten in Switched Endpunkten. Zurzeit entsteht eine Umsetzung eines Switched Endpunktes auf einer ARM/FPGA-Plattform aus der Zusammenarbeit der Projektpartner.

Das Projekt AccessTSN arbeitet daran, die vorhandenen OpenSource Softwarekomponenten für TSN zu erweitern, zusätzlich benötigte Komponenten zu entwickeln und die vorhandenen sowie neuen Komponenten passend zu verknüpfen um ein TSN-Referenzsystem bereitzustellen um damit Unternehmen die Entwicklung eigener TSN-Endpunkte zu erleichtern.

Um sicherzustellen, dass die Anforderungen verschiedener Akteure berücksichtigt werden, befindet sich das Projekt in regem Austausch mit Hardwareherstellern, Netzwerkausrüstern, Endgeräteherstellern und anderen Open-Source-Initiativen. Dies erfolgt beispielsweise im Rahmen von Testbeds, jedoch sind Interessierte stets eingeladen, sich in das Projekt einzubringen. Fazit des im Mai 2019 durchgeführten Open-Source-Day war, dass die vorgestellte Architektur und Vorgehen von sämtlichen Teilnehmern begrüßt und unterstützt wird.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Florian Frick
florian.frick@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Philipp Neher
philipp.neher@isw.uni-stuttgart.de

ENTWICKLUNG EINER NEUARTIGEN, INTEGRIERTEN INDUSTRIE 4.0 AUSWERTUNG FÜR PRODUKTIONSANLAGEN (PISA)

**GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT
UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES
„ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“**



In diesem Forschungsprojekt wird ein Hardware Modul entwickelt, welches mit geringem Implementierungsaufwand universell an neue sowie alte Produktionsanlagen angeschlossen werden kann. Das Modul sammelt dabei alle relevanten Sensordaten und ermöglicht somit eine automatische Analyse im Sinne des Industrie 4.0 Paradigmas. Ergebnis ist eine Smart Service Plattform, welche durch einen modularen Aufbau von unterschiedlichen Services erweitert werden kann. Das Alleinstellungsmerkmal und die Innovation des Projekts ist jedoch die automatisierte Aufbereitung und Analyse der Informationen entlang der Informationskette.

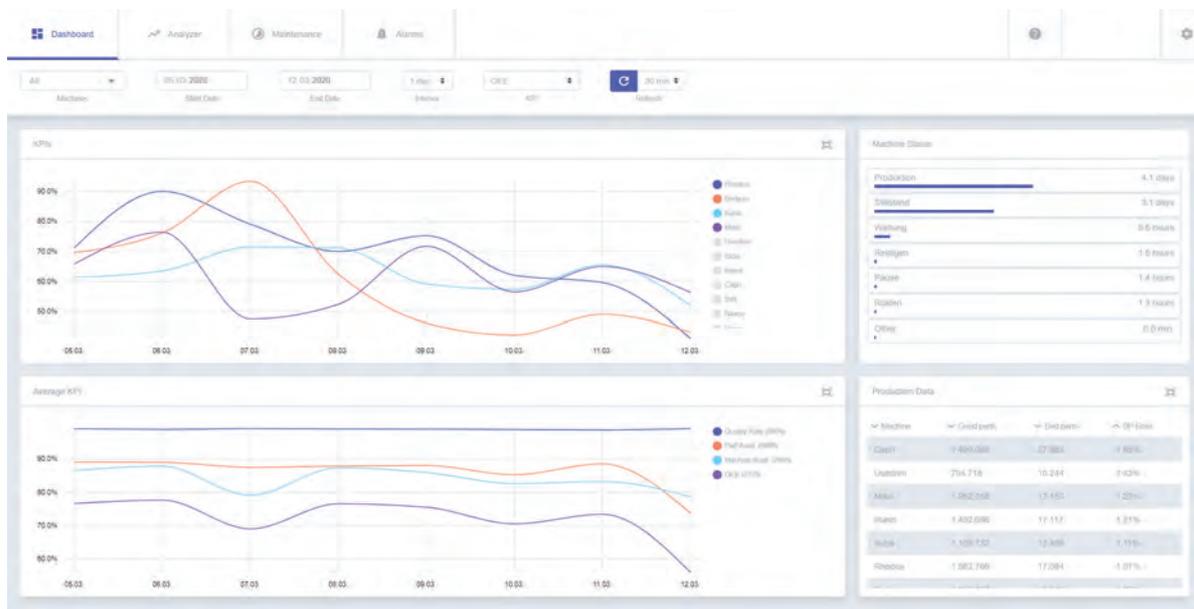


ABB.1: LEAD - Die webbasierte Analyse-Plattform für Produktionsprozesse; © Contexo GmbH

Industrie 4.0 bezeichnet die digitale und intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie. Maschinen, Anlagen, Logistik, Produkte und Menschen kommunizieren dabei im Idealfall direkt miteinander. Ermöglicht wird dies durch eine übergreifende Kommunikation einzelner Systeme direkt miteinander: Das Internet der Dinge (Internet of Things). Eine konkrete Umsetzung des Industrie 4.0 Gedankens ist Smart (Predictive) Maintenance. So wurden bisher in der Praxis Wartungen in regelmäßigen

Abständen oder direkt nach festgestellten Störungen durchgeführt. Mittels Smart Maintenance werden von der Maschine bereitgestellte Sensorwerte genutzt, um auf Basis von historischen Daten eine Aussage darüber zu treffen, wann eine Wartung benötigt bzw. wann die Maschine ausfallen wird. Weitere „Mehrwertdienste“ oder Smart Services welche aktuell durch die Auswertung von Sensoren an Maschinen ermöglicht werden sind z.B. eine Analyse und Optimierung der Auslastung oder eine digital simulierte Vorab-Fertigung.

Bisherige Ansätze sind in der Regel Eigenentwicklungen großer Maschinenbaukonzerne, welche sich ausschließlich auf die Ebene der einzelnen bzw. eigenen Maschinen konzentrieren. Die Funktionsumfänge (Einbindung der Sensoren, Grenzwerte, Fehlerfälle etc.) werden bereits während der Herstellung der Maschine definiert, sind für spezifische Anwendungsfälle ausgelegt und stellen somit keine generische Branchenlösung dar. Eine Industrie 4.0 bzw. automatische Auswertung von Sensoren auf dem Level einer Produktionsanlage, welche universelle Anwendbarkeit für jegliche Maschinen in der industriellen Produktion mehrteiliger Güter aufweist, existiert bisher nicht.

Mit der Firma Contexto, einem Technologieführer für hochkomplexe sowie kundenindividuelle Produktionsanlagen für Massenprodukte, soll eine Plattform (siehe **ABB.1**) entwickelt werden, die eine sogenannte Production Integrated Smart Analytics (PISA) ermöglicht. Für den branchenunabhängigen generischen Einsatz, impliziert dies eine automatisierte Aufbereitung der Daten, durch ein Klassifizieren von Sensorinformationen und anschließendem Mapping. Dafür müssen aber zunächst die Daten verfügbar gemacht werden. Die PISA-Hardware beinhaltet unter anderem einen Datenbankserver, sorgt für einen sicheren Umgang der Daten und schränkt die Möglichkeiten zur Anbindung externer Systeme durch eine offene API nicht ein. Um die Daten daraufhin für die Analysen vorzubereiten, müssen Abstraten durch bspw. Regressionsalgorithmen angepasst und ein sinnvoller Speicherzyklus identifiziert werden.

Für die anschließende Optimierung der Anlage muss Transparenz geschaffen und Anomalien aufgedeckt werden. Um eine automatisierte Erkennung der Abhängigkeiten zu ermöglichen, wird auf klassische Kreuzkorrelationen bzw. multivariate Korrelationen zurückgegriffen. Dadurch können einerseits relevante Einflussparameter identifiziert, aber auch prozessirrelevante Parameter für weitere Analysen eliminiert werden. Die Analysen können sowohl explizit für Stationen oder Maschinen, aber auch für maschinenübergreifende, sogenannte interstationäre Zusammenhänge verwendet werden. Die Firma Contexto liefert mit ihren herkömmlichen Produktionsanlagen die Grundlage für ein vielversprechendes Projektvorhaben. Ca. 2000 Sensoren beinhaltet eine dieser Anlagen inklusive 400 Sensoren, welche ausschließlich zur Überwachung der Produktqualität dienen.

Kontakt:

Florian Eger, M.Sc.
florian.eger@isw.uni-stuttgart.de

Stefan Oechsle, M.Sc.
stefan.oechsle@isw.uni-stuttgart.de



STUTTGARTER INNOVATIONSTAGE

INNOVATIONEN AUS DER WELT DER STEUERUNGSTECHNIK

Im Rahmen unserer Veranstaltungsreihe „Stuttgarter Innovationstage – Steuerungstechnik aus der Cloud“ sollen die heutigen Möglichkeiten und Lösungen einem Reality-Check unterzogen werden. Alles bereits kalter Kaffee oder besteht noch Forschungsbedarf? Der Einsatz künstlicher Intelligenz und maschinelles Lernen sind in aller Munde. Doch zu welchem Grad haben diese Technologien schon konkret in der industriellen Produktion Fuß gefasst?

Weitere Informationen zur nächsten Veranstaltung finden Sie unter:

www.stuttgarter-innovationstage.de

ORGANISATION



VERANSTALTER



ENTWICKLUNG EINES NEUARTIGEN HiL-4.0-CHANGE MANAGERS (Online-Change)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



Entwicklung von neuartigen Funktionen zur Wiederherstellung interner Steuerungszustände, sowie Entwicklung einer neuartigen Hardware-in-the-Loop-4.0-Simulation zur erstmaligen Nutzung eines 3D-Simulationsmodells über den gesamten Entwicklungsprozess einer Anlage.

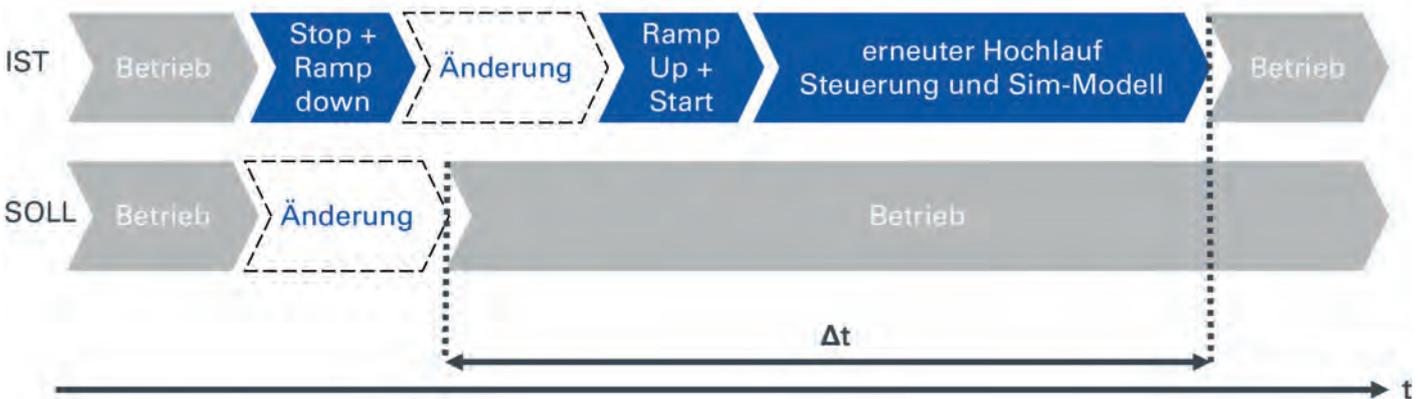


ABB.1: oben: Ist-Zustand in einer Echtzeit-Simulation; unten: Soll-Zustand im Forschungsvorhaben

Problemstellung / Aufgabe

Bedingt durch den steigenden Einsatz von Digitalen Zwillingen für das entwicklungsbegleitende Absichern von Artefakten, sowie für die virtuelle Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen, ist eine nahtlose Erweiterung des Digitalen Zwillings im Lebenszyklus erforderlich. In frühen Phasen der Entwicklung finden verhältnismäßig viele Änderungen am Digitalen Zwilling statt, da sich dieser noch im Aufbau befindet. In den späten Phasen der Entwicklung sind es weniger Änderungen allerdings erhöht der Betrieb als Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulation den Aufwand der Änderungen. Bei Änderungen im HiL Betrieb ist zusätzlich ein erneuter Hochlauf der Steuerung notwendig, sowie das Simulieren bis zum vorherigen Stand der Simulation vor der Änderung. **ABB.1** zeigt die entstehende Problematik über die Zeit, sowie den gewünschten Soll-Zustand.

Ziele

Änderungen am Simulationsmodell müssen zur Laufzeit ermöglicht werden, ohne dass die Simulation, oder im HiL Betrieb zusätzlich die Steuerung neugestartet werden müssen. Die Änderungen müssen fehler- und verlustfrei in die Echtzeitumgebung der Simulation übertragen werden können und in möglichst kurzer Zeitdauer in der aktiven Simu-

lation genutzt werden können, idealerweise innerhalb eines Simulationstaktes. Mittels einer Snapshot-Funktionalität sollen Zustände eines Simulationsmodells im Simulationsbetrieb gespeichert und wieder geladen werden können.

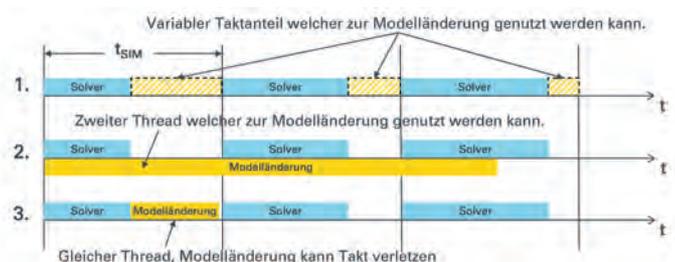


ABB.2: Möglichkeiten zur Eintaktung der Modelländerungen im Echtzeitsolver

Weitere Fragestellung im Echtzeit-Kontext

Zu untersuchen ist, mittels welches der in **ABB.2** vorgestellten Vorgehen (1., 2. oder 3.) die Modelländerungen zur Lauf-

zeit ermöglicht werden können, ohne den Echtzeitbetrieb der Simulation zu stören. Angedacht sind experimentelle Untersuchungen mit unterschiedlichen Simulationsmodellgrößen und unterschiedlichen Änderungsszenarien.

Weiterhin muss ein HiL-4.0-Change Manager entwickelt werden, welcher ausgehend von einer getätigten Änderung aus der GUI eine Änderung im Modell der Nicht-Echtzeit (Modellierung) in die Echtzeit überträgt (Berechnung) und die neue Ausführungsreihenfolge aktiviert, siehe **ABB.3**.

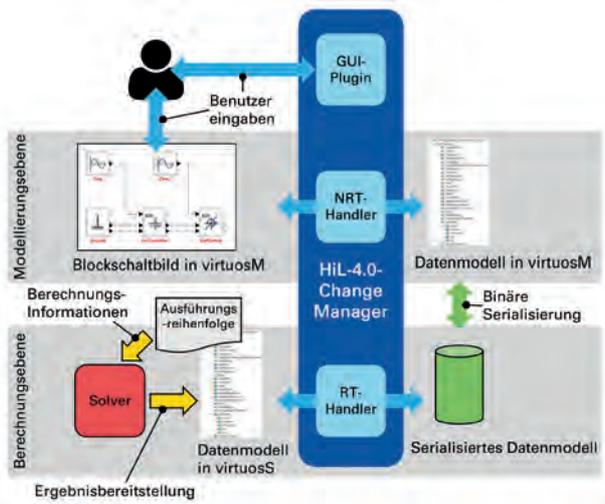


ABB.3: Gesamtarchitektur der spezifizierten Lösung im Forschungsvorhaben (N/RT- Non-/Realtime)

Lösung / Ergebnis

Zusätzlich wurde die Nutzbarkeit der Online-Change Funktionalität für den Modellierer betrachtet. Die Modellierungsoberfläche wurde so erweitert, dass Änderungen welche noch nicht per Online-Change übertragen wurden, als solche sichtbar und erkenntlich sind. Im Simulationsmodell tieferliegende Änderungen werden bis in die aktuell auf der Modellierungsebene sichtbare Eben propagiert. Der Online-Change muss per Knopfdruck ausgeführt werden, so wird verhindert, dass unfertige Änderungsmaßnahmen bereits im Solver umgesetzt werden. Im Rahmen der Nutzbarkeit wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, die spezielle Bausteintypen und deren Einsatz im Modell überprüft haben, z.B. ist das korrekte Verhalten von kinematischen Ketten und Reglerstrukturen durch unvorsichtige Änderungen im laufenden Betrieb nicht immer gewährleistet. Das Konzept sieht je nach Änderungsanfrage zunächst eine interne Prüfung vor, welche gegebenenfalls eine Fehlermeldung oder Warnung in der Modellierungsoberfläche erzeugt.

Hauptbestandteil der Lösung ist ein neues Datenmodell der Simulation. Das Datenmodell wird als reflexives Datenmodell bezeichnet. Die entscheidende Verbesserung gelingt durch ein sich selbstbeschreibendes Datenmodell mit Referenzen. Das Datenmodell kann dynamisch verändert und erweitert werden. Jede Verknüpfung eines Blocks im Modell kann nachverfolgt und entsprechend angepasst werden, wenn eine Änderung beauftragt wird. Zudem erhält das

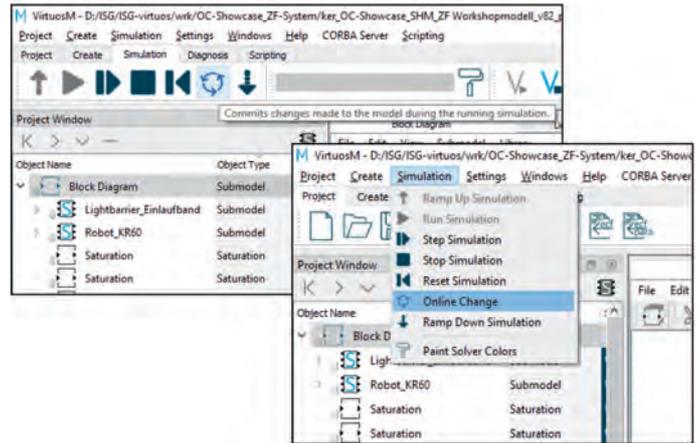


ABB.4: Screenshots der Benutzeroberfläche mit realisierter Online-Change Funktionalität

Modell in der Modellierungsoberfläche die gleiche Struktur wie das Modell im Solver, so ist die Datenverarbeitung schneller, effizienter und weniger fehleranfällig. **ABB.4** zeigt die Nutzbarkeit der neuen Funktionalität Online-Change in der Modellierungsoberfläche.

Abschließend wurden Änderungsszenarien durchgeführt und Messwerte erfasst, um den Aufwand einer Modelländerung im Solver zu erfassen. Ebenfalls wird mit den Messungen gezeigt, wie viel effizienter nun Änderungen in der Simulation durchgeführt werden können, siehe **Tabelle 1**: Durch die Funktionalität Online-Change können bereits bei kleinen Änderungen im Modell von nur zwei Werten (x- und z-Wert einer Lichtschranke) 46 % der Zeitdauer einer Änderung gespart werden.

Tabelle 1: Messwerte der einzelnen Laufzeiten bei einer Modelländerung mit und ohne Online-Change

Online-Change	Ohne	Mit
Stop	12 ms	-
Runterfahren	30 ms	-
Änderung vornehmen	20 s	20 s
Hochfahren / Online-Change	3 s	Taktzyklus: 1 ms
Start	15 ms	-
Exakte Situation simulieren	14 s	-
SUMME	37 s 57 ms	20 s 1 ms

Projektpartner:



Kontakt:

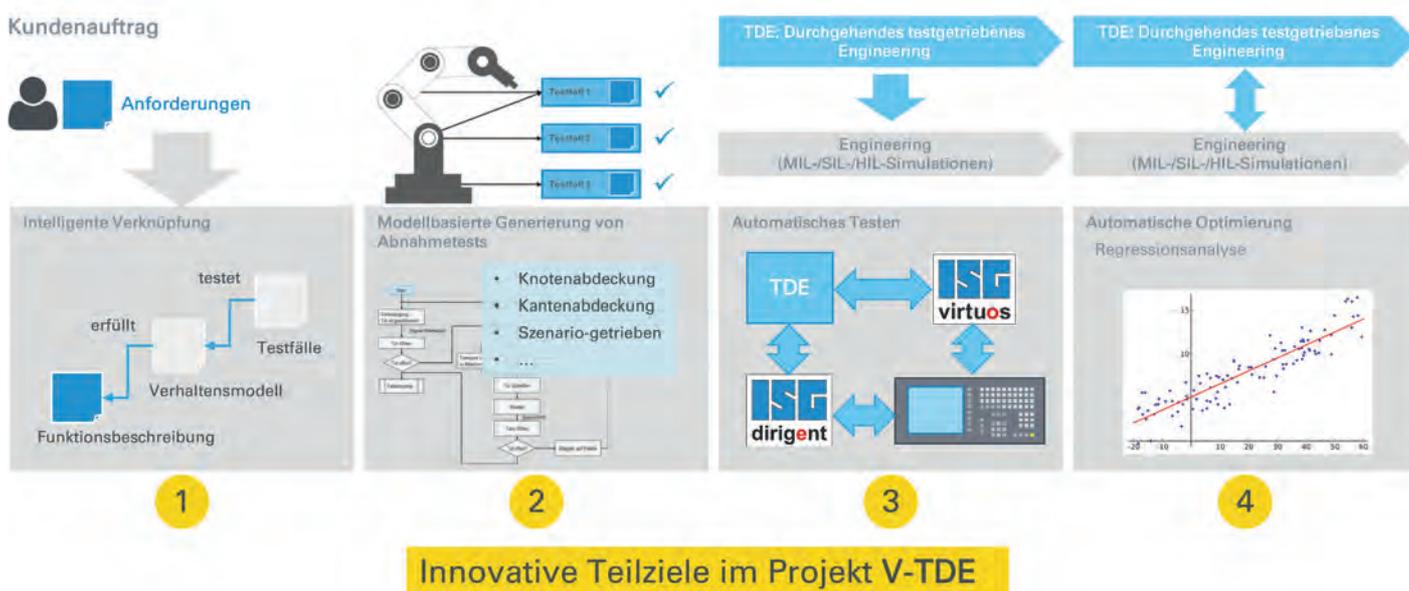
Dipl.-Ing. Karl Kübler
karl.kuebler@isw.uni-stuttgart.de

VIRTUAL TEST-DRIVEN ENGINEERING (V-TDE)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines neuartigen, testgetriebenen, virtuellen Engineering-Prozesses: V-TDE (virtual test-driven engineering). Die grundlegende Idee ist aus der „testgetriebenen Programmierung“, einer Methode der agilen Softwareentwicklung, bereits bekannt. Der nun vollständig digitalisierte Engineering-Prozess soll es ermöglichen, eine ähnliche Vorgehensweise im Engineering von Maschinen und Anlagen zu nutzen.



Innovative Teilziele im Projekt V-TDE

ABB.1: Übersicht zu den einzelnen Handlungsfeldern im Forschungsprojekt

Ausgangslage

Im Rahmen eines bereits abgeschlossenen ZIM-Projektes wurde durch die beiden Projektpartner ISG und ISW ein neuartiges Verfahren zur Testautomatisierung von Steuerungssoftware entwickelt. Die automatisierten Tests können bisher jedoch nur während der Phase der Steuerungsvalidierung (Virtuelle Inbetriebnahme) genutzt werden. Im Rahmen der Produktentwicklung hat sich beim Partner ISG gezeigt, dass frühzeitiges und automatisches Testen bereits im Rahmen des Entwicklungsprozesses sowohl sinnvoll ist als auch von den Kunden gewünscht wird. Dies würde ermöglichen, Engineering-Ergebnisse projektbegleitend zu verifizieren und somit den Entwicklungsprozess zu verkürzen. Weiterhin zeigt der vermehrte Einsatz von Simulationsmodellen für die virtuelle Inbetriebnahme Schwächen bei der Qualitätssicherung und Wiederverwendung der Simulationsmodelle auf.

Vorgehensweise

Der zentrale Lösungsweg des hier beschriebenen Forschungsprojektes besteht in der Entwicklung von vier innovativen Teilzielen. Diese sind in **ABB.1** schematisch dargestellt. Nach Eingang des Kundenauftrages sollen Anforderungen an die Maschine oder Anlage automatisch in Testfälle übersetzt werden, sogenannte Abnahmetests. Ein konkretes Beispiel ist der Test auf „Ausbringung von 2.000 Produkte/Tag“. Anschließend werden im Rahmen des grundlegenden Systems Engineering die wichtigsten Komponenten (z.B. Roboter, Umformstation, Qualitätskontrolle) definiert. Bereits heute enthalten Simulationsmodelle ein detailliertes Verhaltensmodell und eine 3D-Visualisierung von Maschinenstationen, bspw. eines Roboters. Ergänzt wird dies in Zukunft um geeignete Testfälle für diese Komponenten, sogenannte Modultests (unit tests). Weitere Anforderungen und somit Testfälle ergeben sich automatisch aus dem weiteren Sys-

tems Engineering Prozess, u. a. bezüglich Mechanik und Elektronik. Somit sind bereits zu Beginn des virtuellen Engineerings die wichtigsten Anforderungen und somit Testfälle definiert.

Im Rahmen des ZIM-Projektes CoSBE entwickeln die Projektpartner ISG und ISW aktuell ein mitwachsendes und skalierbares Simulationsmodell, welches eine durchgängige Nutzung von Model-in-the-Loop, Software-in-the-Loop und Hardware-in-the-Loop ermöglicht. Dieses durchgängige virtuelle Engineering Verfahren wird im Projekt V-TDE um das testgetriebene Engineering ergänzt. Änderungen im Simulationsmodell werden nun automatisch mit den vorab definierten Testfällen getestet, sodass hier ein direktes Feedback ermöglicht wird. Dies erlaubt den Entwicklern, Fehler frühzeitig zu erkennen. Die Entwicklung des Simulationsmodells erfolgt somit testgetrieben (test-driven) und ermöglicht es, ein bisher nicht gekanntes Qualitätsniveau für die Simulation und deren Aussagekraft zu erreichen. Dieser Aspekt ist vor allem wichtig, wenn Simulationsmodelle zwischen Entwicklungspartnern ausgetauscht werden.

Darüber hinaus wird auch eine automatische Optimierung der Simulationsmodelle auf Basis der Testfälle entwickelt. So wird beim Testen der Steuerungssoftware bereits heute ein Vorgang mit leicht variierten Parametern wiederholt, um etwaige Fehler zu finden. In diesem Projekt wird ein ähnliches Vorgehen angestrebt, jedoch mit dem Ziel ein Optimum zu finden. Dies ermöglicht erstmals eine automatische Optimierung des Simulationsmodells hinsichtlich der anzustrebenden Anforderungen.

Während der Anpassung des Simulationsmodells im Rahmen des Engineerings sollen die Testfälle automatisch generiert werden. Ein Beispiel ist das Hinzufügen einer weiteren Maschinenstation. Diese bringt automatisch ihre eigenen Testfälle mit, darüber hinaus werden jedoch auch automatisch individuelle Übergabe-Testfälle, das heißt die Interaktion mit vor- und nachgeschalteten Stationen, generiert. Die finale Verifizierung des Simulationsmodells, bevor diese bei der virtuellen Inbetriebnahme eingesetzt wird, ist somit eine reine Formsache, da jede Änderung projektbegleitend bereits anhand der Testfälle verifiziert wurde.

Erwartete Ergebnisse

Dieses Forschungsprojekt steht zu Redaktionsschluss in den Startlöchern und hat eine Laufzeit bis 30. September 2021.

Das zu erwartende Ergebnis aus dem Forschungsprojekt ist ein deutlich verbessertes virtuelles Engineering von Maschinen und Anlagen. Dabei soll sowohl die Qualität der Simulationsmodelle, als auch die frühere, testgetriebene Absicherung im Vordergrund stehen. Die erwarteten Ergebnisse im Einzelnen sind:

1. Erstmals testgetriebenes Engineering und somit schnelle Rückmeldung, ob getätigte Änderungen sinnvoll waren.
2. Fehler während der Entwicklung sind durch eine kleinschrittige Vorgehensweise immer überschaubar und die Entwicklung kann auf den letzten funktionierenden Stand zurückgesetzt werden.

3. Kontinuierliche Verifizierung erhöht die Qualität der Simulationsmodelle sowie die Produktivität der Entwickler.

4. Reduktion von Fehlern durch kontinuierlichen Abgleich mit Anforderungen.

5. Reduktion der Entwicklungskosten durch frühzeitiges Entdecken von Fehlern.

6. Verkürzte Entwicklungszeit durch automatische Optimierungen.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Karl Kübler

karl.kuebler@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



CONTINUOUS SIMULATION BASED ENGINEERING PLATFORM (CoSBE)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



Um die Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen unter Beihilfe der vorgelagerten virtuellen Inbetriebnahme effizient zu nutzen, müssen sämtliche X-in-the-Loop-Tests optimiert in den Lebenszyklus des Digitalen Zwillings (DZ) integriert werden. Durch die Entwicklung einer durchgängigen Testplattform soll ein Werkzeug bereitgestellt werden, das von der Konzeption bis zu den späten Hardwaretests aktiv in den Prozess eingreift und den Inbetriebnehmer dabei unterstützt, früh Testszenarien in einer Simulationsumgebung zu entwerfen und deren Komplexität über den Entwicklungsprozess hinweg möglichst verlustfrei zu steigern.



ABB.1: Konzept einer durchgängigen simulationsbasierten Steuerungstestplattform

Die Anforderung, eine Simulation zur virtuellen Inbetriebnahme möglichst früh, schnell und mit geringem Aufwand durchzuführen, erfordert das Konzept eines Simulationswerkzeugs mit angepasster Funktionalität unter Berücksichtigung simulationsspezifischer Merkmale wie der Komplexität, dem Umfang oder der Echtzeitfähigkeit. Um den Prozess zur dynamischen Fortführung der X-in-the-Loop-Konzepte und der „Mitnahme“ von frühen Simulationsmodellen zu ermöglichen, wird in dem Forschungsprojekt CoSBE das Konzept einer auf die Durchgängigkeit optimierten Testplattform erarbeitet.

ABB.1 stellt das Gesamtkonzept im Projekt CoSBE dar, im Folgenden werden die einzelnen Aspekte erläutert. In der

Erstellungsphase des DZ sollen Einzelkomponenten möglichst schnell zu dem intendierten Gesamtkonzept der Anlage oder Maschine zusammengefügt werden können. Dazu zählt die herstellerübergreifende Distribution von DZ und Testkonfigurationen (vgl. ABB.1, Nummer 1). Eine Datenaustauschplattform erlaubt es dem Entwickler, wiederkehrende Komponente und Testfälle erneut einzusetzen und verhindert somit eine ständige Neuentwicklung. Wird die Datenhaltung online betrieben, können Maschinen- oder Anlagenhersteller die entstandenen DZ zudem untereinander austauschen. Dabei kann jeder Modellhersteller festlegen, ob er seine DZ in einer Model-in-the-Loop (MiL)-, Software-in-the-Loop (SiL)-, oder Hardware-in-the-Loop (HiL)-Konfiguration bereit-

stellt, wodurch der Detaillierungsgrad des Simulationsverhaltens gezielt angepasst werden kann.

Eine weitere Methode in der frühen Entwicklungsphase MiL-Tests zu generieren ist das einfache Definieren von Kinematik auf Komponenten unter Beihilfe einer Bewegungssteuerung wie der Computermaus oder direkte Eingaben auf Touchscreens (vgl. **ABB.1**, Nummer 3). Dazu legt man für die jeweiligen Teilmodelle eine Kinematik fest und steuert das Modell daraufhin an die gewünschte Position in der Simulationsumgebung. Der Ablauf der vollzogenen Bewegung wird dabei im Hintergrund gespeichert und kann fortan genutzt werden, um den DZ auf mögliche Kollisionen in einer MiL-Konfiguration ohne ein direktes Programmieren von Steuerungscode zu testen.

Durchläuft man den Entwicklungsprozess mit einem initialen DZ, besteht an den Übergängen der MiL-, SiL- und HiL-Testkonfigurationen der höchste Modellierungsaufwand: Um eine frühe Simulation in der MiL-Konfiguration weiter überführen zu können, muss der DZ um den Steuerungscode ergänzt werden. Das Konzept der CoSBE Steuerungstestplattform soll die Möglichkeit eröffnen, Testkonfigurationen mit minimalem Aufwand zu überführen (vgl. **ABB.1**, Nummer 4). Um die Überführung in Steuerungscode aus einem initialen Modell, wie einem Blockschaltbild, zu erhalten, muss die semantische Information extrahiert werden. Dazu zählt der Typ, Ein- und Ausgänge, Parameter und Verbindungen. Im nächsten Schritt kann das erhaltene Metamodell auf zwei Arten in eine Steuerungssprache abgebildet werden. Besteht ein semantisch gleiches Element in der Zielsprache (trifft insbesondere auf einfache Konstrukte wie Addierer zu), kann dieses eins zu eins ersetzt werden. Liegt das zu überführende Element jedoch nicht semantisch in der Zielsprache vor, muss über Ersetzungsregeln eine entsprechende Abbildung hergeleitet werden. Dies kann in einigen Fällen durch eine Verkettung vorhandener Elemente realisiert werden. Endlosschleifen müssen zudem um Abbruchbedingungen ergänzt und zeitkontinuierliche durch zeitdiskrete Elemente ersetzt werden.

Eine weitere Zielstellung im Forschungsprojekt CoSBE ist, Teile einer Anlage als SiL- oder HiL-Konfiguration zu betreiben, während in derselben Simulation Komponenten als MiL-Konfiguration integriert sind (vgl. **ABB.1**, Nummer 2). So kann ein Entwickler in der frühen Phase seiner Anlage, virtuelle Maschinen von Herstellern verwenden, die nur in einer SiL-Konfiguration auf der Datenaustauschplattform bereitgestellt wurden. Ein weiterer Anwendungsfall besteht darin, dass ein Anlagenentwickler Maschinen unterschiedlicher Hersteller verwenden möchte, diese jedoch keine ausgeprägten DZ veröffentlichen. Die Maschinenhersteller können in diesem Fall einfache MiL-Konfigurationen bereitstellen; der Anlagenhersteller kann diese wiederum durch den gesamten Entwicklungsprozess hinweg verwenden. Um eine solche Benutzung zu gewährleisten, muss ein Mischbetrieb von Komponenten in unterschiedlichen Konfigurationen möglich sein. Dazu muss ein DZ in sämtlichen Konfigurationen eine

einheitliche Schnittstelle bereitstellen, die unabhängig von den beinhalteten Simulationsmodellen ansprechbar ist.

Als Teil der bisherigen Realisierung wurden Anforderungen an existierende Animationsbibliotheken aufgestellt und diese daraufhin verglichen, um eine Basis für eine Bewegungssteuerung im Kontext der Simulation von Maschinen und Anlagen zu ermöglichen. In der Folge entsteht ein Prototyp der Bewegungssteuerung, mit dessen Unterstützung frühe MiL-Tests erleichtert durchgeführt werden können.

Im Rahmen des Forschungsprojekts CoSBE ist die beschriebene Onlinedatenaustauschplattform „TwinStore“ entstanden (vgl. **ABB.2** & www.twinstore.de). Diese erlaubt die Bereitstellung vorgefertigter Simulationsmodelle zum Zweck des digitalen Austausches, der Schulung des Betriebspersonals oder für Servicefälle in der Betriebsphase. Dem Modellersteller eröffnet sich hierbei ein neues digitales Geschäftsmodell, da die Verfügbarkeit des DZ als Verkaufsargument genutzt werden kann. Der Anwender profitiert zudem von kürzeren Modellierungszeiten durch die Einbindung der bereitgestellten Simulationsmodelle.



ABB.2: Logo des ISG TwinStore

Kontakt:

Erik-Felix Tinsel, M. Sc.
erik-felix.tinsel@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



ENTWICKLUNG EINER MODULAREN ENTWICKLUNGS- UND SERVICEPLATTFORM ZUR IMPLEMENTIERUNG EINES FLIESSENDEN ÜBERGANGS VON DER VIRTUELLEN ZUR REALEN INBETRIEBNAHME VON FERTIGUNGSANLAGEN (v2r-IBN)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROJEKTES „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“



In diesem Forschungsprojekt wird die Entwicklung einer modularen Plattform angestrebt, die bei der Implementierung einen fließenden Übergang von der virtuellen zur realen Inbetriebnahme von Fertigungsanlagen unterstützt. Zusätzlich soll mit dieser Plattform durch das Aufschalten virtueller Automatisierungskomponenten während der Betriebsphase erweiterte Service-Dienstleistungen des Systemintegrators ermöglicht werden.

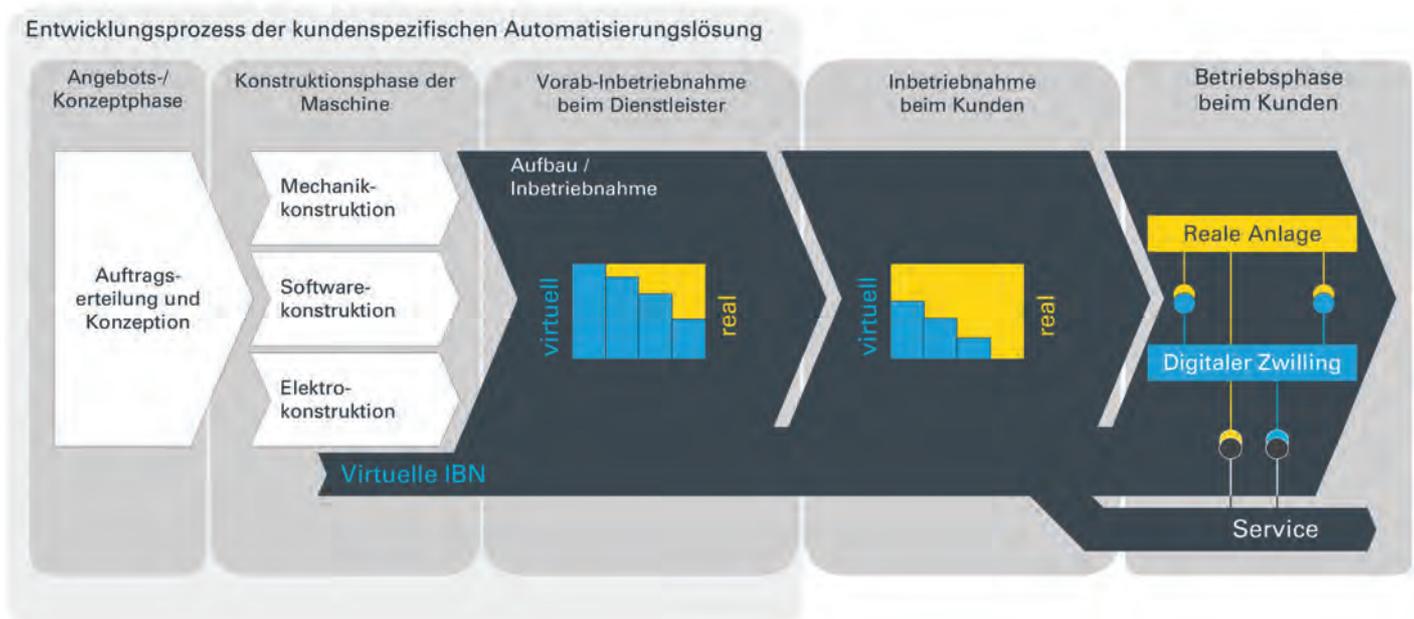


ABB.1: Neuer Entwicklungsprozess mit der Entwicklungs- und Serviceplattform für die erweiterte Realität

Hintergrund

Zwischen der Entwicklungsphase und der Betriebsphase einer Produktionsanlage steht die Phase der Inbetriebnahme (IBN). Die Weiterentwicklung der digitalen Möglichkeiten hat dazu geführt, dass die ursprünglich reale IBN durch die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) ergänzt wurde, die nun parallel zur Konstruktionsphase stattfindet und vorab möglichst viele Fehler aufdeckt. Dabei wird die geplante reale Fertigungsanlage mittels geeigneten Simulationsmodellen virtuell nachgebildet, unter Verwendung der Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulation gemacht wird, bei der die reale Steuerung

mit der Maschinensimulation verbunden wird. Anschließend findet die reale IBN zunächst als Vorab-IBN beim Systemintegrator und später als IBN beim Kunden komplett getrennt von der VIBN statt. Durch den beschriebenen Stand der Technik ergeben sich jedoch die folgenden Nachteile für den Systemintegrator:

- Lieferverzögerungen einzelner Module haben einen direkten Einfluss auf die Gesamtlauzeit der IBN
- Komplette Vorab-IBN ist beim Entwickler der Produktionsanlage notwendig
- Komplette Vorab-IBN ist aufgrund von Abhängigkeiten zu

Maschinenlieferanten nicht immer vollständig durchführbar

- Realer Materialfluss ist bei der IBN beim Kunden notwendig, welcher mit hohen Materialkosten verbunden ist
- Es sind keine virtuellen Einflussanalysen von Investitionen im Bereich Retrofit möglich

Die hybride IBN als Erweiterung der VIBN

Der fließende oder inkrementelle Übergang von der virtuellen zur realen IBN wird auch als hybride Inbetriebnahme (HIBN) bezeichnet. Hierbei werden Schritt für Schritt die real zu verwendenden Maschinenkomponenten mit der HiL-Simulation verbunden. Dadurch lassen sich die Komponenten testen, sobald diese verfügbar sind. Durch das beschriebene Vorgehen ist der Systemintegrator nicht mehr so eng an die Lieferzeiten von Komponentenherstellern geknüpft, wodurch eine komplette Vorab-IBN wieder möglich wird. Der angepasste Entwicklungsprozess einer Maschine unter Berücksichtigung der HIBN ist in **ABB.1** dargestellt.

Durch die Einführung von virtuellem Materialfluss in den Anlagenbetrieb, werden die Materialkosten und das Risiko eines Maschinen- und Personenschadens bei der IBN gesenkt. Hierbei sind die Sensoren aber auch alle anderen

Komponenten der Maschine zeitgleich in der Simulation sowie auch real vorhanden. Diese Art der Simulation wird als synchrone Simulation bezeichnet. Für die synchrone Simulation ist ein intelligentes Routing der Feldbuskommunikation erforderlich. Hierbei werden Ethernet-basierte Feldbusse betrachtet, wie z.B. ProfiNet oder EtherCAT. Mit Hilfe der synchronen Simulation können erweiterte Service-Dienstleistungen auch während der Betriebsphase und somit während der Produktion angeboten werden, wie z.B. Fernwartung und Fehlerbehebung, sowie digitale Leistungsanalysen für mögliche Investitionen im Bereich des Retrofits durchgeführt werden.

Kontakt:

Shan Fur, M.Sc.
shan.fur@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:

ROTH



Universität Stuttgart

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen

Wir steuern Zukunft: Innovativ. Interdisziplinär. Wissenschaftlich.

Das breite Forschungsspektrum des Instituts bietet stets interessante Themen zur Auswahl, wobei ständig eine Vielzahl konstruktiv, experimentell und theoretisch orientierter Aufgabenstellungen vorliegt.

Studierende aller Studiengänge, in deren Prüfungsordnung eine studentische Arbeit im Bereich der Ingenieurwissenschaften vorgesehen ist, können diese am ISW anfertigen, insbesondere Studierende des Maschinenbaus, der Mechatronik, der Technischen Kybernetik und des Technologiemanagements.

Immer aktuelle Themen finden Sie unter:
<https://www.isw.uni-stuttgart.de/lehre/studentische-arbeiten/>



**Bachelor-,
Studien-,
Masterarbeiten**

zu vergeben



ENTWICKLUNG EINES VERFAHRENS ZUR INTERNETBASIERTEN BEREITSTELLUNG VON PRODUKTTECHNOLOGIEN NACH „INDUSTRIE 4.0“ (ToolProduction)

**GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND
ENERGIE (BMWi) IM RAHMEN DES FÖRDERPROGRAMMS
„ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“**



In diesem Forschungsprojekt soll eine widerspruchsfreie, syntaktische wie semantisch einheitliche, zentrale Datenhaltung für Produkt-, Stamm- und Bewegungsdaten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg bereitgestellt werden. Diese bildet die Grundlage für Mehrwertdienste und erlaubt den kundenspezifischen Transfer von Produkttechnologie und Fertigungsknowhow.

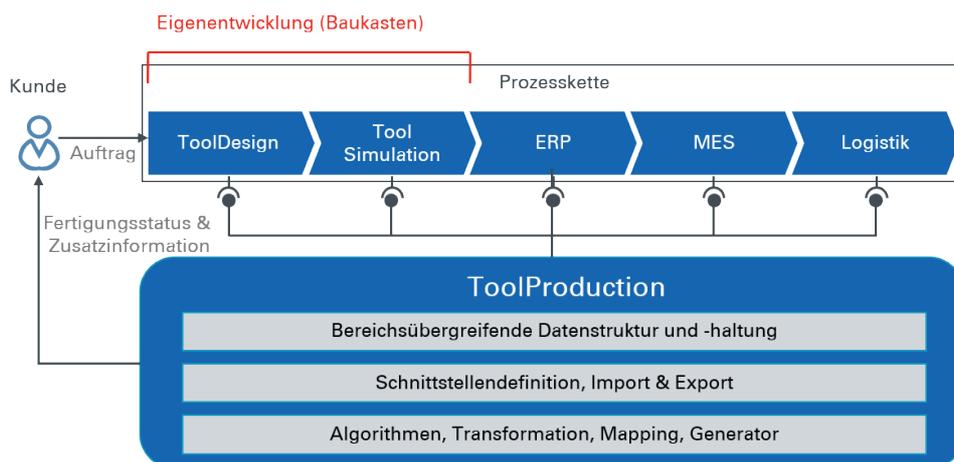


ABB.1: Systemlandschaft entlang der Schumacher Prozesskette einschließlich des baukastenbasierten Engineerings, deren Verbindung zum geplanten Datengenerator und dessen Beziehung zum Endkunden

Die Firma Schumacher Precision Tools, im nachfolgenden Schumacher genannt, stellt Gewindewerkzeuge her und setzt dabei auf ein baukastenbasiertes Engineering. Ziel des Projektes ToolProduction ist, einen zentralen Datengenerator über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg zu schaffen. Dazu sollen, wie in **ABB.1** dargestellt, die bestehenden Systeme der Prozesskette an eine einheitliche Datenhaltung angebunden werden und diese die Datengrundlage für Echtzeit-Rückmeldungen an den Kunden bilden. Beispiele für solche Rückmeldungen können Informationen über den Fertigungsstatus sowie weitere Zusatzinformationen sein. Basierend auf dem Standard für MES-Systeme VDI 5600 sowie den in ERP, MES und Eigenentwicklung identifizierten Informationsträgern relevanter Parameter, wird im Laufe des Projekts ein SQL-basiertes Datenmodell entwickelt, das als Grundlage für die interne Datenhaltung dient. Zur Anbindung des baukastenbasierten Engineerings sowie für die Bereitstellung von Mehrwertdiensten, wird eine SQL-ba-

sierte API bereitgestellt. Die Synchronisation mit ERP und MES erfolgt über ein Crawler-Modul, das auf ein gemeinsames Netzlaufwerk zugreift. Eine Aggregatoren-Komponente sorgt im Anschluss dafür, dass die Daten der unterschiedlichen Quellsysteme von Duplikaten befreit werden, bevor durch die Generator-Komponente weiterführende Informationen abgeleitet werden.

Kontakt:

Carsten Ellwein, M.Sc.
carsten.ellwein@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



OFFENES, VERTEILTES, ECHTZEITFÄHIGES UND SICHERES BETRIEBSSYSTEM FÜR DIE PRODUKTION (FabOS)



**GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE
(BMWi)**



FabOS bildet den IT-Backbone für die wandlungsfähige Automatisierung der Fabrik der Zukunft und die Grundlage eines Ökosystems für datengetriebene Dienste und KI-Anwendungen. Deutsche Unternehmen können von ihrem tiefen Domänenwissen und Erfahrung über industrielle Produkte, komplexen und hochqualitativen Fertigungsprozessen sowie wandlungsfähigen und stark vernetzten Produktionssystemen (Internet der Dinge, Industrie 4.0) profitieren. Diese starke Industriekompetenz ist essenziell wichtig, um KI-Lösungen für industrielle Anwendungen zu entwickeln und somit die KI-Technologie über den Stand der Technik hinaus zu treiben.

KI-Anwendungen im Industrie 4.0-Kontext benötigen einen kohärenten Zugriff auf Daten, Sensoren, Maschinen und Prozesse – zuverlässig und in Echtzeit – um die intelligente Automatisierung in der Fabrik der Zukunft zu ermöglichen. Ziel des Projektes FabOS ist es deshalb, ein Technologiekonzept und eine Plattform in Form eines Betriebssystems zu erarbeiten, die den IT-Backbone für die wandlungsfähige und flexible Automatisierung der Fabrik der Zukunft und die Grundlage für ein Ökosystem für datengetriebene Dienste für KI bildet. Hybride Cloud-Plattformen und IoT-Anwendungen sind Kernelemente cyber-physischer Architekturen und werden die Basis der zukünftigen Produktionslösungen bilden. FabOS bildet eine Plattform, die nach Vorbild eines Betriebssystems einzelne, unabhängige, abgestimmte Komponenten bereitstellt, um Maschinen, Infrastruktur und Dienste zu verknüpfen. Diese Plattform ist in **ABB.1** dargestellt.

Die Teilprojekte der 26 Partner decken verschiedene Teilaspekte dieser Plattform ab. Das Teilprojekt des ISW, „Echtzeitfähige Komponenten, deren Ausführung und Verknüpfung für OT-Integration und Simulation in FabOS“, hat insbesondere die Echtzeitfähigkeit der KI-Anwendungen im Fokus, sowohl im Bereich der Ausführung der verschiedenen FabOS-Komponenten, als auch in der Simulation der physikalischen Systeme. Echtzeitfähigkeit ist ein wichtiger Aspekt der Steuerungssysteme in der Produktion. In der Steuerungstechnik bedeutet Echtzeitfähigkeit einen zeitlichen Determinismus, sowie kurze (< 1 Millisekunde) und garantierte Zykluszeiten bei der Ausführung der Algorithmen. Sie betrifft sowohl die Architektur und Kommunikation als auch die Komponenten selbst, die die auszuführenden Algorithmen enthalten.

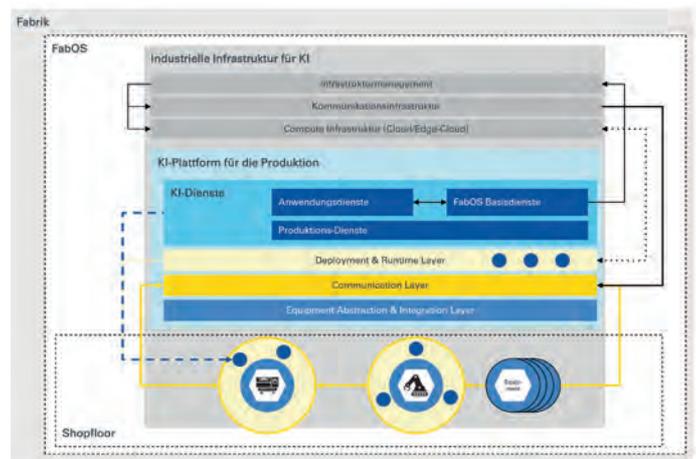


ABB.1: FabOS-Struktur Konzept. © Fraunhofer IPA

Die KI-Anwendungen werden durch eine Verknüpfung von vordefinierten Komponenten entstehen. Eine Modularisierung (inkl. Virtualisierung oder Containerisierung) der Komponenten ist hierbei unmittelbar als Lösungsmethode geplant.

Kontakt:

Dr.-Ing. Akos Csiszar
akos.csiszar@isw.uni-stuttgart.de

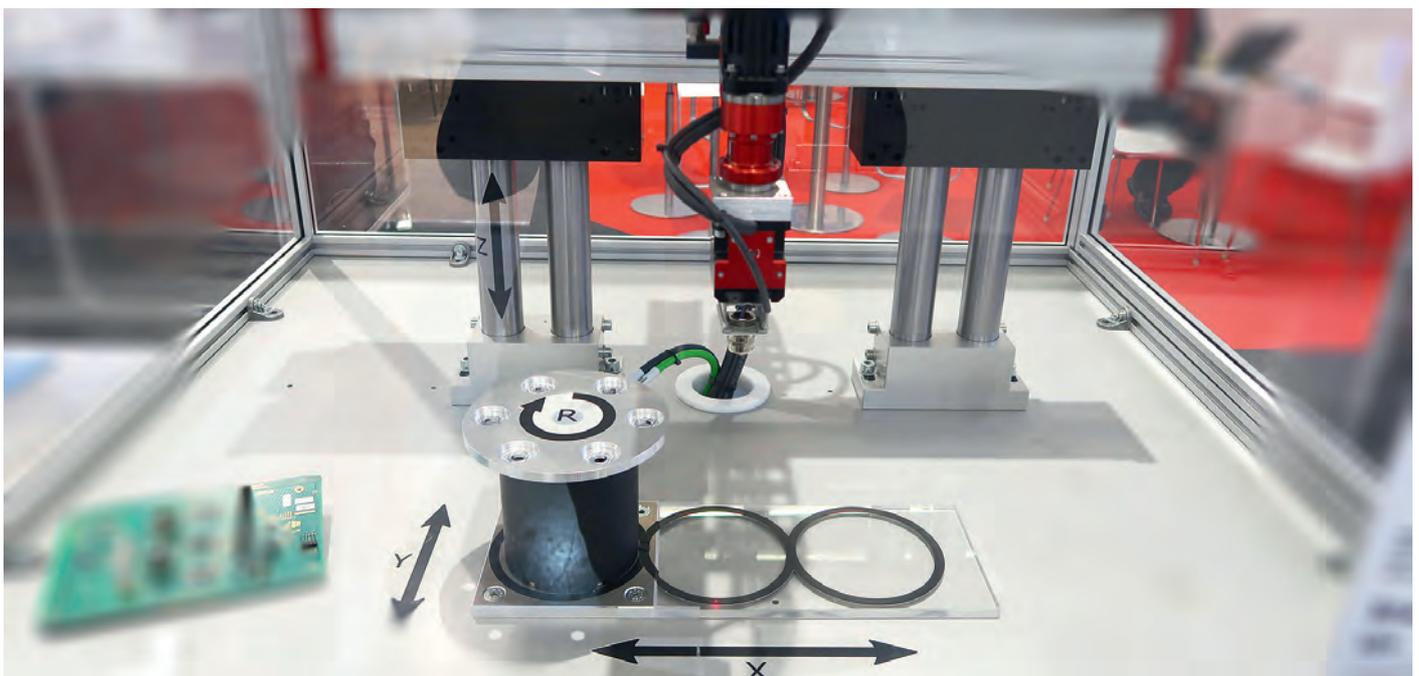
DURCHGÄNGIGES ENGINEERING FÜR SICHERE, VERTEILTE UND KOMMUNIZIERENDE MEHRKOMPONENTENSYSTEME (DEVEKOS)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi)



Produktionsanlagen in einem sich immer schneller verändernden Markt zur entwickeln und in Betrieb zu bringen, stellt immer höhere zeitliche und wirtschaftliche Anforderungen an Maschinen- und Anlagenbauer. Im Forschungsprojekt DEVEKOS arbeiten die Kooperationspartner daran, das Engineering für Komponenten mit eigener Miniatursteuerung und die Zusammenarbeit in einem dezentral gesteuerten Produktionssystem zu definieren. Das ISW erforscht, welche neuen Konzepte für bisher zentralisierte Anwendungen, wie die Interpolation zwischen Positionierachsen in den dezentral angesteuerten Komponenten, geeignet sind.



In einer wandlungsfähigen Produktion gehören die Nebenzeiten für die Erweiterung, Umrüstung und Wartung einer Maschine zu den Schlüsselstellen der Produktivität. Im kompletten Lebenszyklus einer Anlage, vom Engineering und technischen Vertrieb über die Produktion bis zu Umrüstungen und Wiederverwendung von Anlagenmodulen, stellt die bisherige zentralistische Steuerungsarchitektur hohe zeitliche Anforderungen an die Durchführung der einzelnen Schritte. Stattdessen werden im Forschungsprojekt DEVEKOS vollständig vernetzte, in Echtzeit kommunizierende Mehrkomponentensysteme entwickelt, die ihre eigene Miniatursteuerung bereits verbaut mitbringen. Die Komponenten

ABB.1: Versuchsstand zur verteilten Interpolation mit Komponenten verschiedener Hersteller und Evaluationsboard der Miniatursteuerung

werden über ihre Fähigkeiten (standardisierte Automatisierungsfunktionen) angesprochen und interagieren miteinander, um im Verbund höherwertige Produktionsfähigkeiten zu erreichen. An Stelle von zentralisierten Steuergeräten treten verteilte Kleinsteuerungen und Orchestration der Komponentenfähigkeiten.

Eine Komponenteninteraktion, die in der dezentralen Ansteuerung besonders betrachtet werden muss, ist die Synchroni-

sierung von positionierenden Achsen auf einer Bahnkurve. Ohne eine zentrale Steuerungsinstanz müssen alle beteiligten Achskomponenten miteinander kommunizieren, um den Bahnfolgefehler so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig soll die Kommunikation so daten- und ressourcensparend wie möglich durchgeführt werden. Dieser Ansatz wird als verteilte Interpolation bezeichnet.

Innerhalb des Projektes wird eine Kommunikationsarchitektur für die verteilte Interpolation konzipiert, die verschiedene Ausbaustufen der dezentral gesteuerten Komponenten berücksichtigt. Ein Demonstratoraufbau (ABB.1) zeigt die prototypische Umsetzung und Anbindung von kommerziellen Antriebskomponenten verschiedener Hersteller über eine gemeinsame Schnittstelle und ein Interaktionsprotokoll. Die Umsetzung der Bahnsynchronisierung als Kernforschungsfrage des ISW im Projekt wird als Multi-Agenten-System erprobt, indem in allen Komponentensteuerungen ein identisches Konsensverfahren implementiert wird, das die Synchronisierung ermöglicht. Hierbei wird eine masterlose Hierarchie durchgesetzt, sodass alle Achsen in gleicher Art und Weise die Verfahrbewegung beeinflussen können. In der Interaktion wird das Verhalten der Achsen bei Veränderungen der verfügbaren Achsdynamik sichtbar gemacht. Per Joystick können einzelne Achsen während der laufenden Bewegung in der Dynamik erhöht oder reduziert werden. Je nach Anteil der Achse an der Bewegung wird dann die Geschwindigkeit entlang der Bahn entsprechend erhöht oder verringert. Der Bahnfehler wird dabei so klein wie möglich gehalten, indem alle Achsen einen Konsens für die Bahngeschwindigkeit finden (ABB.2).



ABB.2: Bahngenauigkeit einer Raumkurve bei unterschiedlichen Dynamiken und Aufsynchronisierung von einzelnen Achsen je nach Arbeitsraumposition

Die Erweiterbarkeit und Rekonfiguration ist ein zentrales Konzept des Gesamtvorhabens DEVEKOS, weshalb ein besonderes Augenmerk auf die Integration weiterer Achsen in das Konzept der verteilten Interpolation gelegt wird. Definierte Schnittstellen und Verhaltensweisen der beteiligten Agenten verringern den Engineeringaufwand bei der Erstinstallation. Ein Arbeitsraumkonzept ermöglicht dem Anwender im dreidimensionalen Raum zu definieren ob und unter

welchen Randbedingungen eine Bahnsynchronisierung stattfinden soll. Ein Rundtisch in der Demonstration nimmt beispielsweise nur dann an der verteilten Interpolation teil, wenn die Bahn durch seinen Arbeitsraum verläuft (ABB.2, grüne Bahn). So können auch bei komplexen Anwendungen maximale Dynamiken aller direkt beteiligten Komponenten durchgesetzt werden.

Bisher sind die Konzepte prototypisch mit kommerziell verfügbaren Antriebssystemen umgesetzt, um die grundsätzliche Funktionalität nachzuweisen. Innerhalb des Projektes wurde eine Miniatursteuerung in einer äußerst kompakten Bauform umgesetzt, die nun ebenfalls in den Anwendungsfall integriert werden soll. Hierfür werden die definierte Kommunikationsschnittstelle sowie das Agentenverhalten für die Kommunikation auf der embedded-Plattform (ABB.1, Evaluationsboard) umgesetzt. Eine bereits vorhandene Motion Core Anwendung auf der Miniatursteuerung wird für die Ansteuerung eines Motors verwendet, der den Gesamtdemonstrator um eine weitere interagierende Achse erweitert.

Kontakt:

Caren Dripke, M.Sc.
caren.dripke@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



EINE PLATTFORM ZUR ARBEITSTEILIGEN ENTWICKLUNG VON SERVICEROBOTER-LÖSUNGEN (SeRoNet)



**GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE
(BMWi)**



Das Service Roboter Netzwerk (SeRoNet) zielt darauf ab, die Konzeption, die Entwicklung und den Einsatz von Servicerobotern in vielfältigen Bereichen, von der Logistik über Pflege und Gesundheitswesen bis hin zur Montageunterstützung in fertigen Betrieben, signifikant zu vereinfachen. Über eine Online-Plattform sollen Anwender, Systemintegratoren und Komponentenhersteller von Serviceroboterlösungen effizient zusammenarbeiten und gemeinsam Lösungen von der Anforderungsanalyse bis zum Einsatz bearbeiten können.

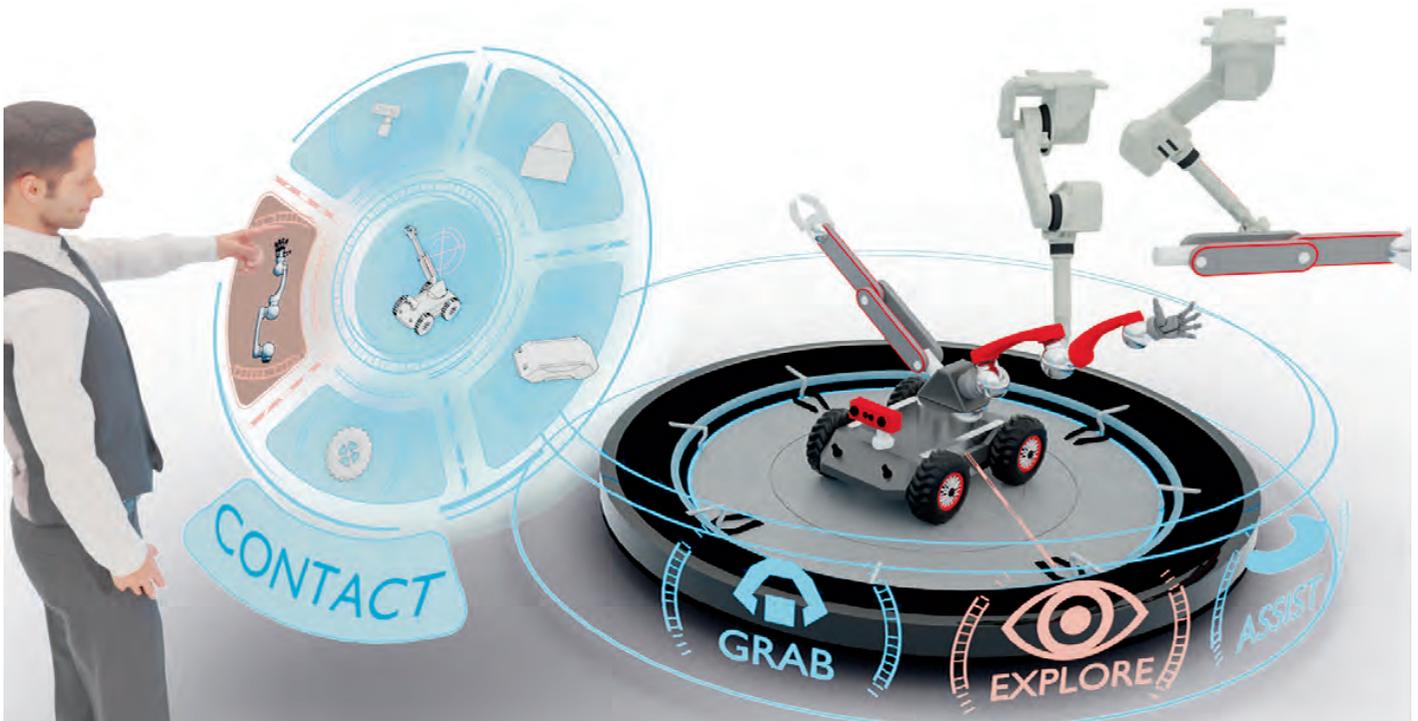


ABB.1: © SeRoNet

Serviceroboter (SR) sind heute in der Regel hochangepasste Systeme mit exakter Abstimmung auf spezifische Umgebungen, auf zu handhabende Objekte, auf auszuführende Prozesse und auf erforderliche Nutzerinteraktionen. Obwohl die Einsatzpotenziale der SR seit Jahren günstig bewertet werden, verbleiben Marktentwicklung und Etablierung einer Ausrüsterindustrie unter den Erwartungen. Studien belegen, dass anwendungsspezifische Entwicklungen dieser Lösungen in der Regel erst ab Stückzahlen von typischerweise 20 bis 30 Robotersystemen wirtschaftlich sind. SeRoNet zielt darauf ab, eine auf Wachstum angelegte, offene Plattform zu entwickeln, die dynamische Wertschöpfungs-

netzwerke für die effiziente Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen über die wesentlichen Entstehungsphasen eines SR-Systems unterstützt. Die Plattform soll Ausrüster und Betreiber einer SR-Lösung zueinander bringen und den SR-Entwicklungsprozess ab einem System bzgl. Wirtschaftlichkeit und Realisierungsqualität „first time right“ sicherstellen. Die klassische lineare Wertschöpfungskette wird durch ein Wertschöpfungsnetz ersetzt, in dem Hersteller, Systemintegratoren und Endanwender als Akteure in der Entwicklung und dem Betrieb von SR-Systemen dynamisch in lösungsspezifischen Teilnetzen variierender Zusammensetzung kooperieren. Die SeRoNet Plattform (ABB.2) trägt

diese Netze, indem sie Zugang zu ontologiebasiertem Domänenwissen, einen Verzeichnisdienst für standardisierte (OPC UA)-Services, bereitstellt und wissensbasiert individuelle Akteure zu arbeitsteiligen Teilnetzen vermittelt.

Zur einheitlichen Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten des Roboters kommt das herstellerunabhängige OPC UA-Protokoll zum Einsatz. Hierfür entwickelt das ISW eine Kommunikationsarchitektur mit Informationsmodellen zum Datenaustausch innerhalb des SR sowie über die Grenzen des SR hinaus. Die einheitlichen Schnittstellen ermöglichen den Austausch sowie die Kombination unterschiedlicher Komponenten ohne aufwändige Anpassungen. Die SeRoNet-Vermittlungsplattform lebt wie jeder Marktplatz von einer regen Teilnahme aller relevanten Marktakteure. Anbieter von Roboter-Komponenten in Hard- und Software sowie Systemintegratoren und Endanwender sollen daher frühzeitig ihre Produkte und Dienstleistungen auf der Plattform integrieren. Die Teilnahme wird vom SeRoNet-Konsortium in verschiedenen aufeinanderfolgenden Aufrufen unterstützt. In der erste Runde konnten 7 Firmen mit einem Auftragsvolumen von über 200.000 € unterstützt werden. Weitere Runden werden im Laufe des Jahres 2020 und 2021 gestartet.

Weitere Informationen zur Plattform und geförderter Mitwirkung unter: <https://www.robot.one>



Kontakt:

Sebastian Friedl, M.Sc.
sebastian.friedl@isw.uni-stuttgart.de

Christian von Arnim, M.Sc.
christian.von-arnim@isw.uni-stuttgart.de

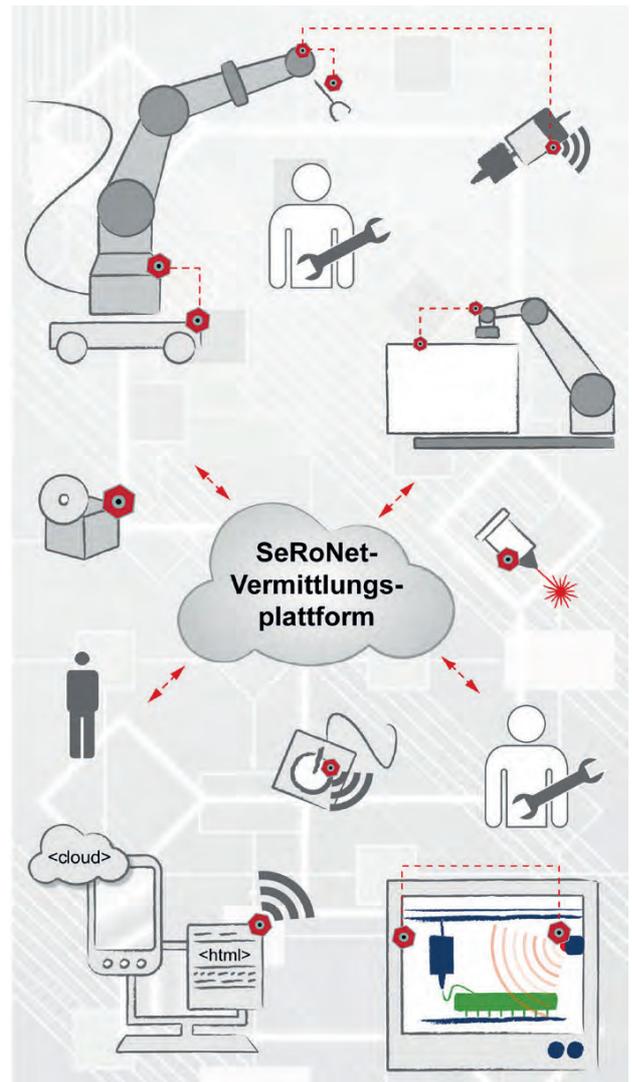
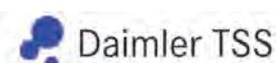


ABB.2: Die Vermittlungsplattform unterstützt die Entwicklung neuer Serviceroboter indem sie Kunde, Systemintegrator und Komponentenhersteller zusammenbringt

Projektpartner:



FLUIDE FAHRZEUGPRODUKTION FÜR DIE MOBILITÄT DER ZUKUNFT (FluPro)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

Ziel des Verbundprojekts **Fluide Produktion** ist, ein **menschzentriertes, cyberphisches Produktionskonzept** für die **Automobilproduktion** zu entwickeln und **exemplarisch zu implementieren**. Hierfür werden alle **Produktionsmittel in ortsflexible Module aufgebrochen**, um so **dynamisch Maschinensysteme bilden und auflösen zu können** und die heute übliche **Trennung zwischen Wertschöpfung und Logistik aufzuheben**. Dabei können **cyberphysische Produktionssysteme (CPPS)** bedarfsgerecht zu neuen **Betriebsmitteln zusammengeslossen werden**.

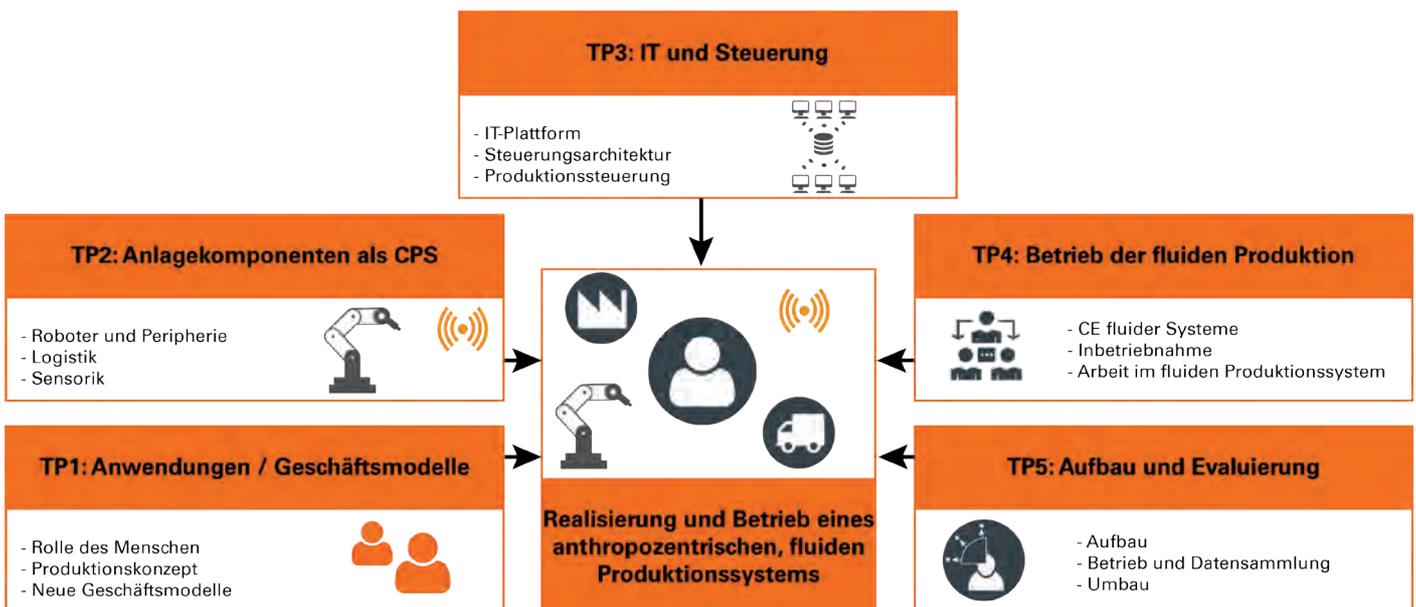


ABB.1: Aufteilung des Projekts in Teilprojekte

Die Automobilproduktion der Zukunft und die darin arbeitenden Menschen werden sich permanent an geänderte Rahmenbedingungen anpassen müssen, um sich ändernde Kundenbedarfe erfüllen zu können und um im internationalen Wettbewerb zu bestehen. Die Vision des Projekts **Fluide Produktion** umfasst die Entwicklung, den Aufbau, die Freigabe, den Betrieb und die Erforschung eines Produktionssystems, das komplett aus cyberphysischen Systemen besteht, welche ortsflexibel und dynamisch zu Maschinen kombiniert werden können. Hierdurch wird es möglich, Entscheidungen, die heute Stunden, Tage oder teils sogar Monate vor dem Zeitpunkt der Wertschöpfung getroffen werden müssen, erst kurz vor dem Zeitpunkt der Wertschöpfung zu treffen. So kann das Produktionssystem schnell auf Änderungen der gestellten Anforderungen reagieren, jederzeit

und ohne Unterbrechung der Produktion neue Produkte aufnehmen und Verschwendung im Sinne des Lean Gedankens (*Muda*) durch falsche Vorfestlegungen wird auf ein Minimum reduziert.

Der Begriff **Fluide Produktion** entspringt der Vision, dass sich cyberphysische Systeme permanent bedarfsgerecht neu zu Betriebsmitteln zusammenschließen; Hierdurch passt sich die Produktion – ähnlich einem Fluid, das seine äußere Form gemäß den auf es wirkenden Drücken anpasst – stets optimal an den aktuellen Bedarf an. Eine Übersicht über die wichtigsten Aspekte der Fluiden Produktion zeigt **ABB.1**. Adressiert werden folgende Kernherausforderungen: Die steigende Unsicherheit und strukturelle Varianz des Automobilbaus und die schlechte Beherrschbarkeit der Produktionstechnik durch den Menschen.

Vorgehensweise

Die Realisierung des Fluiden Produktionssystems basiert auf fünf Teilprojekten, (**ABB.1**): Im ersten Teilprojekt (**TP1**) werden Fluide Produktionen geplant und auf Industrie 4.0-Services aufbauende Geschäftsmodelle entwickelt.

Zentraler Aspekt bei der Planung fluider Produktionen (**TP1**) ist stets die Einbeziehung der Bedarfe des Menschen als zentrales Moment der technischen Entwicklung.

Im zweiten Teilprojekt (**TP2**) werden die cyberphysischen Module des fluiden Produktionssystems als „produktions-technische Fluidpartikel“ entwickelt und prototypisch umgesetzt.

Das dritte Teilprojekt (**TP3**) vertieft Fragen der Produktionssteuerung von der Auftrags- bis zur Echtzeitsteuerung und widmet sich der Spezifikation der CPS als Industrie 4.0-Komponenten.

Im vierten Teilprojekt (**TP4**) wird untersucht, welche Methoden und Unternehmensprozesse notwendig sind, um die mittels der in **TP2** und **TP3** erarbeiteten technischen Ergebnisse, mögliche Wandlungsfähigkeit in der betrieblichen Praxis nutzbar zu machen; Hierzu zählen insbesondere die Freigabe von sich ändernden Betriebsmitteln und die Gestaltung der Arbeit in einem sich ständig ändernden Produktionssystem. Im fünften Teilprojekt (**TP5**) wird die Fluide Produktion am Beispiel von zwei Produkten umgesetzt und getestet.

Aufgabenbereiche des ISWs im Projekt FluPro

Das Teilprojekt 3 – IT und Steuerung – wird unter der Leitung des ISW durchgeführt und hat zur Aufgabe, die Ausgestaltung und Erforschung der Steuerung des fluiden Produktionssystems von der Auftragssteuerung bis zur Echtzeitsteuerung durchzuführen.

Das erste Arbeitspaket in diesem Teilprojekt ist die Konzeption einer Echtzeitnahen und Modularen Steuerungsarchitektur. Hierzu sollen bisherige monolithische Steuerungsstrukturen aufgebrochen werden und übergeordnete Module zur Steuerung eines ganzheitlichen Prozesses ausgelagert werden. Schwerpunkt ist die Vernetzung der einzelnen Module unter Berücksichtigung der Anforderungen an Performanz und echtzeitkritisches Verhalten. Die durchzuführenden Arbeiten identifizieren eine mögliche Aufspaltung bestehender Steuerungssysteme und die Auslagerung auf die Plattform, welche im 2ten Arbeitspaket bereitgestellt wird.

Beim 3ten Arbeitspaket steht das Ziel, die Entwicklung neuer Methoden der Produktions- und Versorgungslogistik im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen der Fluiden Produktion, im Vordergrund. Die implementierten Methoden werden am definierten Produktionssystem auf ihre logistische Zielerreichung im Vergleich zu klassischen PPS-Methoden bewertet.

Das Ziel des 4ten Arbeitspakets ist es, die Geschehnisse im Shopfloor digital abzubilden. Dadurch wird permanent ein aktuelles, automatisch generiertes Abbild (Modell) der Realität die Planung, Steuerung und Optimierung aller Fabrikprozesse ermöglicht und damit die Zukunft erfassbar und die Wandlungsfähigkeit wirtschaftlich beherrschbar gemacht.

Damit alle verwendeten Komponenten im Projekt sowohl mit der übergeordnete IT, als auch untereinander kommunizieren können, wird im letzten Arbeitspaket das Modell für die Industrie 4.0-Komponente definiert. Die Industrie 4.0-Komponente ist ein Referenzmodell für Semantik, Syntax und Modellebeschreibung von Komponenten, die in Industrie 4.0-Wertschöpfungsnetzwerken miteinander agieren. Auf diese Weise können auch cyberphysische Systeme (CPS) und deren Eigenschaften über den Lebenszyklus hinweg beschrieben werden.

Kontakt:

Timur Tasci, M.Sc.

timur.tasci@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:

ARENA2036

KOLLABORATIVE SMART CONTRACTING PLATTFORM FÜR DIGITALE WERTSCHÖPFUNGSNETZE (KOSMoS)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG



In diesem Forschungsprojekt wird die Konzeptionierung und anschließende Entwicklung einer Plattform auf Blockchain-Basis angestrebt, die einen vertrauensvollen Austausch von Prozess- und Produktinformationen zwischen Unternehmen eines Wertschöpfungsnetzes ermöglicht. Hierbei werden Smart Contracts für einen automatisierten Daten- und Informationsfluss zwischen den einzelnen Parteien eingesetzt. Die Nachvollziehbarkeit der Korrektheit erfasster Daten hat im Projekt eine hohe Priorität und wird durch neuartige Transaktionssignierung direkt am Sensor ermöglicht.



Die aktuell mögliche Datenerfassung von Produktionsanlagen befähigt Unternehmen, detaillierte Informationen über ihre Prozesse und Produkte zu sammeln. Diese Daten werden anschließend für eine Optimierung der firmeninternen Produktion verwendet. Der nächste Schritt ist die Nutzung der Informationen über Firmengrenzen hinweg. Jedoch ist eine lückenlose Datenbasis notwendig, um Geschäfte auf Informationen von Geschäftspartnern zu stützen. Hierfür wird die Integration eines Systems vorausgesetzt, das unveränderliche Datenerfassung und bis zu einem gewissen Grad transparenten Datenaustausch ermöglicht. Ferner muss die Einsicht zur Überprüfung der Richtigkeit von Informationen jederzeit gewährt werden können, wobei nicht alle Daten dauerhaft jedem der Geschäftspartner zur Verfügung stehen sollen.

KOSMoS hat sich zum Ziel gesetzt, eine Plattform zur firmenübergreifenden Vernetzung von Produktions- und Prozessdaten zu entwickeln. In diese Plattform sollen neue Angebote und Geschäftsmodelle integriert werden können. Beispiele hierfür sind transparente Wartungskonzepte, dynamisches Leasing und ein einfacher Qualitätsnachweis von ausgelieferten Produkten. Durch diese Geschäftsmodelle sollen alle zusammenarbeitenden Firmen einen Vorteil erlangen. Die

ABB.1: Ein nachvollziehbarer Datenfluss über Firmengrenzen hinweg ist Grundlage für eine datenbasierte Zusammenarbeit

ser kann sich beispielsweise durch günstigere Preise, geringeren Wartungsaufwand oder einfacheren Produktvertrieb bemerkbar machen. Zusammengefasst soll in KOSMoS die Zusammenarbeit mehrerer Firmen erleichtert werden.

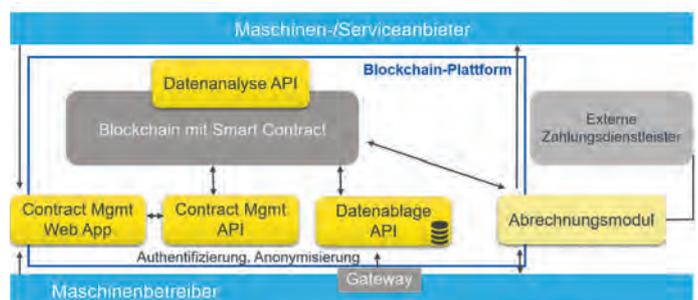
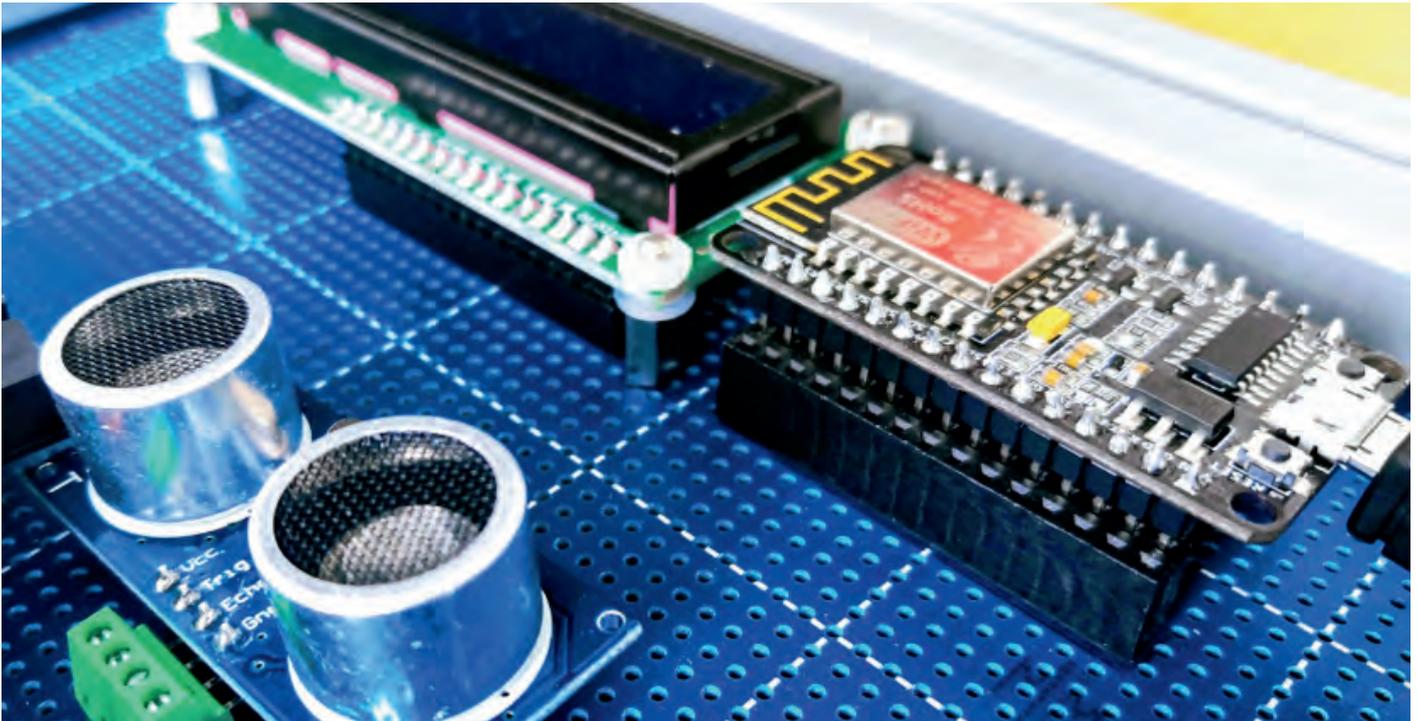


ABB.2: Architekturansatz zur Realisierung eines dynamischen Leasingmodells durch den Einsatz von Blockchain- und Smart Contract Technologie



Um Daten sinnvoll über Firmengrenzen hinweg teilen zu können, müssen einige Anforderungen erfüllt sein. Neben der sicheren Übertragung der Daten muss nachweisbar dargelegt werden können, dass die übermittelten Informationen auch korrekt sind. Hierfür wird in KOSMoS die „Blockchain“-Technologie genutzt. Durch eine Verkettung von Datenblöcken (daher der Name Blockchain) ist eine nachträgliche Manipulation der Daten nicht möglich. Um die erfassten Daten sicher und unverändert in diese Datenbank zu transferieren, wird ein Microcontroller genutzt, der direkt an ausgewählte Sensorik angebunden ist. Auf dem Microcontroller wird mit den erfassten Daten eine Blockchain-Transaktion gebildet und signiert.

So wird direkt bei der Datenerfassung sichergestellt, dass Informationen nicht mehr geändert werden können. Sind die Daten in der Blockchain angekommen, werden zur Verarbeitung der Daten Smart Contracts eingesetzt. Diese treffen automatisiert Entscheidungen, basierend auf erfassten Informationen. Beispielsweise kann ein Leasingpreis zu Gunsten des Maschinenbedieners angepasst werden, wenn dieser schonend mit der Maschine fertigt. Das beschriebene System wird weiterhin von Zusatzkomponenten wie einem Edge-Device, einer Analyse-Plattform sowie dem KOSMoS-Nutzerinterface ergänzt. Kombiniert entsteht ein wiederverwendbares Framework, mit dessen Hilfe vor allem KMU neue Geschäftsmodelle in Zusammenarbeit mit Firmen ihres Wertschöpfungsnetzes realisieren können.

ABB.3: Hardwarenahe Signierung von erfassten Sensordaten führt zu weniger Möglichkeiten, Informationen nachträglich zu ändern. Aus diesem Grund soll für KOSMoS die genutzte Sensorik direkt mit Microcontrollern gekoppelt werden, die signierte Transaktionen an eine Blockchain senden

Projektpartner:



Kontakt:

Tobias Bux, M.Sc.
tobias.bux@isw.uni-stuttgart.de

HYBRIDES INTERAKTIONSKONZEPT FÜR SCHULUNGEN MITTELS MIXED REALITY IN THE LOOP SIMULATION (MRiLS)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG



Ziel des Forschungsprojekts ist die Erforschung eines hybriden Interaktionskonzepts für die Schulung von technischen Fachkräften mittels einer Mixed Reality in the Loop Simulation. Anstelle einer starren und mechanischen Funktion wird mittels Augmented- und Mixed Reality eine natürliche und den menschlichen Sinnen entsprechende Interaktion zwischen Mensch und Technik ermöglicht. Dafür wird ein durchgängiges Simulationsmodell erforscht, das kundenindividuelle Mixed Reality in the Loop Simulationsmodelle, samt individueller Schulungsunterlagen und -szenarien, automatisch aus bereits im Engineering bestehenden Simulationsmodellen der virtuellen Inbetriebnahme erstellt.

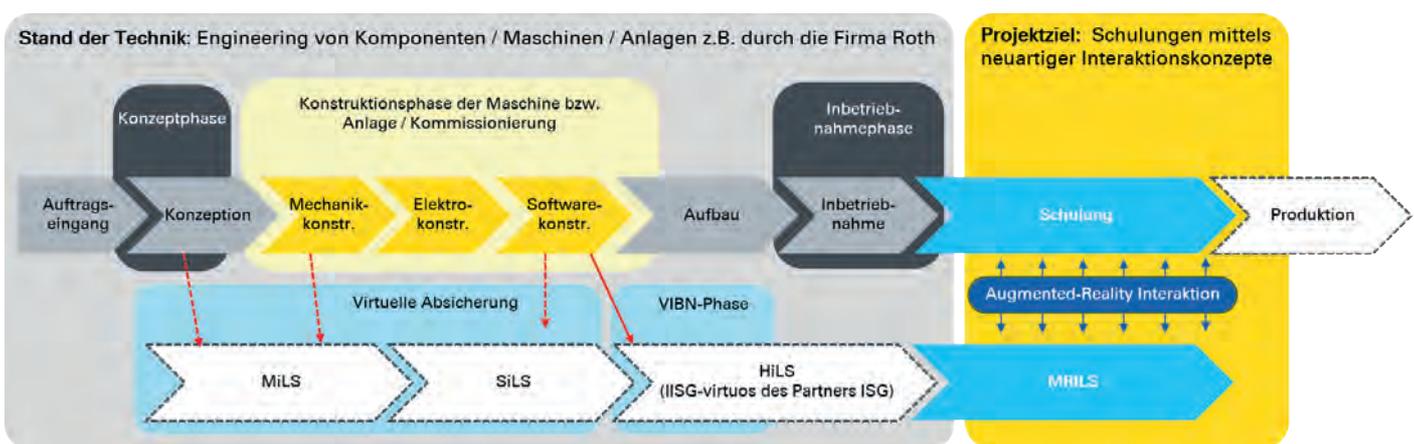


ABB.1: Erweiterung des Engineering-Prozesses in die innerbetriebliche Schulung durch das MRiLS-Simulationsmodell

Kaum ein Berufsbild hat sich in den letzten Jahrzehnten so sehr und so schnell gewandelt wie das technischer Fachkräfte. In den 80er Jahren löste die Einführung der Fabrikautomation völlig neue Disziplinen aus, die neue Berufsbilder erforderlich machte. Heute stehen mit dem Wandel hin zur Smart Factory, mit einer immer weiter zunehmenden Komplexität neuartiger Automatisierungslösungen, ähnliche Herausforderungen an, sodass Lehrinhalte zunehmend komplexer werden. Gut ausgebildete Fachkräfte stellen dabei die Grundlage für die Sicherung von Wohlstand am Wirtschaftsstandort Deutschland dar. Moderne AR- und VR-Technologie in Interaktion mit dem Menschen können dabei helfen, die benötigten Schulungen als eine der zentralen Zukunftsaufgaben an den rasanten Wandel der Produktionsverfahren, -maschinen und Bedienungskonzepte anzupassen. Kernstück des Forschungsvorhabens stellt, wie in **ABB.1** dargestellt, die automatische Erweiterung der Simulationsmodelle um ein neuartiges, weiteres Simulationsmodell dar: die

„Mixed Reality in the Loop Simulation (MRiLS)“ (vgl. **ABB.1**) Die technischen Fachkräfte werden damit erstmals sowohl mit realer Hardware, als auch dem virtuellen Simulationsmodell interagieren und die „reale“ Reaktion der virtuellen Produktionsanlage/-maschine mittels neuartiger Augmented-Reality-Verfahren „erleben“. Das Verhalten der virtuellen Produktionsanlagen entspricht im MRiLS damit dem Verhalten der realen Anlage, ohne Gefahr von teuren und ggf. gefährlichen Kollisionen. Das Verhalten der Simulation ist somit, aus der Sicht des Menschen, identisch zum realen Maschinenverhalten, d.h. die Interaktion des Menschen im späteren Arbeitsalltag, an der realen Maschine, bleibt dieselbe. Vorteile dieses neuartigen, hybriden Mensch-Technik-Interaktionskonzeptes sind ein höherer Lernfortschritt bei AR-gestütztem Lernen gegenüber PC-basiertem Lernen sowie eine

verbesserte Vermittlung besonders von relevanten physischen Vorgängen. Lernende eignen sich beispielsweise neue Reparatur- und Wartungsschritte nach aktueller Forschungslage schneller mit AR-Unterstützung an. Zusätzlich zeigen Lernende eine erhöhte Lernbereitschaft von AR-Inhalten gegenüber „simplen“ PC-Simulation, selbst wenn diese über Bedienungs Nachteile verfügen. Gründe hierfür sind besseres und intuitiveres Verständnis der Lerninhalte.

Kontakt:

Tobias Spielmann, M.Sc., M.A.
tobias.spielmann@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences



Unterstützt durch



Assoziierte Partner:



**INNOVATIONEN AUS DER WELT DER
STEUERUNGSTECHNIK**

Im Rahmen unserer Veranstaltungsreihe „Stuttgarter Innovationstage – Steuerungstechnik aus der Cloud“ sollen die heutigen Möglichkeiten und Lösungen einem Reality-Check unterzogen werden. Alles bereits kalter Kaffee oder besteht noch Forschungsbedarf? Der Einsatz künstlicher Intelligenz und maschinelles Lernen sind in aller Munde. Doch zu welchem Grad haben diese Technologien schon konkret in der industriellen Produktion Fuß gefasst?

Weitere Informationen zur nächsten Veranstaltung finden Sie unter:

www.stuttgarter-innovationstage.de

ORGANISATION



VERANSTALTER



SHOP-FLOOR SERVICE CONNECTOR ZUR NUTZERFREUNDLICHEN UND PLATTFORMUNABHÄNGIGEN ENTWICKLUNG VON INDUSTRIE 4.0 SMART SERVICES (SFSC)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

Das Konsortium von SFSC fokussiert sich auf die Entwicklung einer Kommunikationszweischicht zur Vereinfachung von softwarebasierten Lösungen für produktionstechnische Systeme. Es wird hierbei an einer nachrichtenbasierten Middleware geforscht, um eine serviceorientierte Softwareentwicklung zu ermöglichen und dennoch die Anforderungen des Hallenbodens zu erfüllen. Das erwartete Ergebnis stellt einen maßgeschneiderten Kompromiss aus der Automatisierungstechnik und des Cloud Computing dar, welcher KMU befähigen soll, innovative und domänenübergreifende Technologien in Symbiose mit ihrer eigenen Technologiedomäne einzusetzen. Das vom BMBF innerhalb des „KMU Innovativ: IKT“ Programms geförderte Projekt strebt hierfür eine Veröffentlichung als Open Source Projekt mit Community-Bildung an, um SFSC als Entwicklungswerkzeug nachhaltig in die Produktionstechnik zu integrieren und weiterzuentwickeln.

Die Produktionstechnik befindet sich in einem maßgeblichen Umbruch. Was als Digitalisierung oder Industrie 4.0 bezeichnet wird, umschreibt eine breite Öffnung von mechanischen Automatisierungslösungen für angrenzende Software-domänen, wie z.B. dem Cloud Computing, BigData, maschinellen Lernen oder service-basierten Softwarekonzepten. Diese Evolution birgt jedoch die Herausforderung, dass strikt gekapselte, homogene und kontrollierte Systeme mit hoch dynamischen, erweiterbaren und plattformdiversen Softwarelösungen vereint werden müssen. Wie die **ABB.1** veranschaulicht, treffen hierbei Technologiewelten aufeinander, welche in ihrer Kombination innovative Produktionsfähigkeiten realisieren oder bestehende effizienter gestalten sollen. Dabei existieren in Bereichen wie dem Cloud Computing bereits mächtige Integrationswerkzeuge für Situationen wie diese, die jedoch nicht immer den technischen Anforderungen von produktionstechnischen Anwendungen oder den Bedürfnissen ihrer KMU-Anwender entsprechen. Auf der anderen Seite bieten Automatisierungslösungen ebenfalls Integrationsschnittstellen, um externe Komponenten einzubinden. Diese Lösungen benötigen jedoch hochqualifiziertes Expertenwissen und sind auf eine geringe Anzahl an unterstützten Plattformen begrenzt. Diese Konstellation resultiert in erheblichen Aufwänden für die Integration von zusätzlichen Software-domänen in die Produktion, welche proprietär und mit einer meist geringen Wiederverwertbarkeit angebunden werden müssen. Solche Aufwände hemmen jedoch

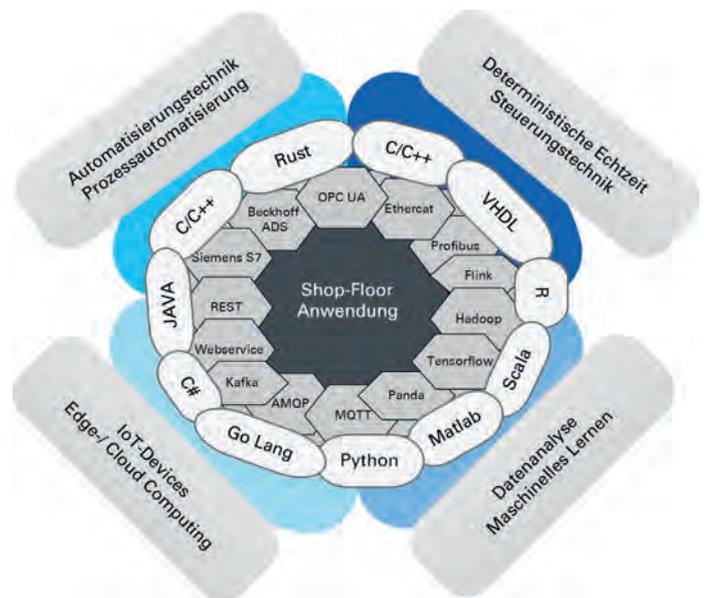


ABB.1: Diversität der modernen Automatisierungstechnik

die Innovationsbereitschaft deutscher KMU, denn diese fürchten hohe Kosten mit ungewisser Wertschöpfung. SFSC konzentriert sich hierbei auf die Vereinfachung der Schnittstellenbildung zwischen verschiedenen Technologie-

domänen, indem es eine Kommunikationszwischenschicht mit Fokus auf den Hallenboden schafft. Durch eine breite Plattformunterstützung soll der Integrationsaufwand minimiert sowie durch ein service-basiertes Anwendungskonzept die Wiederverwertbarkeit maximiert werden. Das Konsortium möchte hierfür jedoch keine neuen Technologiestandards schaffen und somit das Rad erneut neu erfinden. Es werden vielmehr etablierte Werkzeuge aus dem Bereich der service-orientierten Systementwicklung in ihrer möglichen Dynamik eingeschränkt und für den hardwarelimitierten Betrieb innerhalb von Automatisierungslösungen optimiert. So werden aktuelle Technologien zur effizienten Nachrichtenserialisierung, verteilten Kommunikation und verteilten Datensynchronisation genutzt, um ein als Service-Mesh bezeichnetes Kommunikationsnetzwerk aufzubauen. Die angestrebten Resultate umfassen die Kommunikationszwischenschicht sowie eine Anzahl an Basisservices, die essenzielle Funktionalitäten der Automatisierungsebene umfassen, wie z.B. die Integration des Apache PLC4X Projektes für die Anbindung von Automatisierungsprotokollen. Abschließend soll im Laufe des Projektes ein Open Source Projekt mit einer lebhaften Community aufgebaut werden. Diese Community soll zum einen die breiten Interessen deutscher KMU zusammenbringen und zum anderen die Entwicklung der Kommunikationszwischenschicht mit Abschluss des Projektes weitertreiben.

Kontakt:

Matthias Milan Strljic, M.Sc.
matthias.strljic@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:

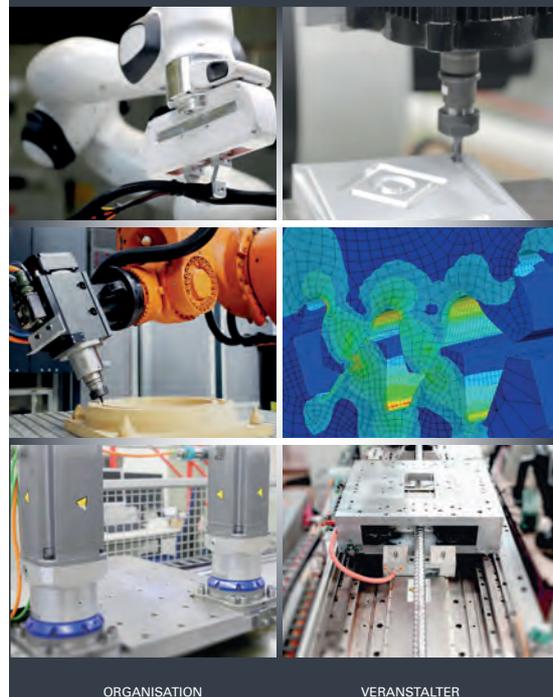


Lageregelseminar

Erstmals wieder seit 2015 organisiert das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) das Lageregelseminar. Auf der zweitägigen Veranstaltung geben unsere Referenten aus Industrie und Forschung einen spannenden Überblick zu aktuellen Forschungsergebnissen und Entwicklungen aus dem Bereich der Industrierobotik sowie der Antriebs- und Maschinenteknik. Hierfür werden anwendungsnahe und praxisbezogene experimentelle Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Weitere Informationen zur Veranstaltung finden Sie unter:

www.lageregelseminar-stuttgart.de



ORGANISATION



VERANSTALTER



ENTWICKLUNG EINER MODULAREN TSN-ROUTERPLATTFORM MIT APPLIKATIONSSPEZIFISCHER HARDWAREBESCHLEUNIGUNG FÜR DIE INDUSTRIELLE KOMMUNIKATION (TSN4KMU)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG



Die industrielle Kommunikation steht mit TSN (Time-Sensitive-Networking) vor einem Umbruch. Bisher getrennte Netzwerke wachsen zusammen und ermöglichen die Realisierung von Industrie 4.0 Szenarien. In einem einheitlichen und konvergenten Netzwerk ergeben sich viele Innovationen und neue Geschäftsmodelle, insbesondere für KMU. Bis sich jedoch einheitliche Systeme auf Basis von TSN etabliert haben, wird der Markt von gemischten Lösungen, sogenannten Brownfield-Netzen dominiert werden. Hierfür werden spezielle, applikationsspezifische Netzwerkinfrastrukturkomponenten benötigt, welche nicht durch die Produktportfolios der typischen Infrastrukturhersteller abgedeckt sind. Für KMUs ebenfalls komplex zu realisieren sind Ansätze, welche direkt auf der Netzwerkinfrastruktur lokalisiert sind, da hier üblicherweise geschlossene Systeme zum Einsatz kommen. Um KMUs einen frühen Einstieg in TSN zu erlauben, sowie um Innovationen auf der Infrastruktur zu erlauben, wird im Rahmen des Projekts TSN4KMU eine flexible Routerplattform für eine applikationsspezifische Lösung entwickelt.

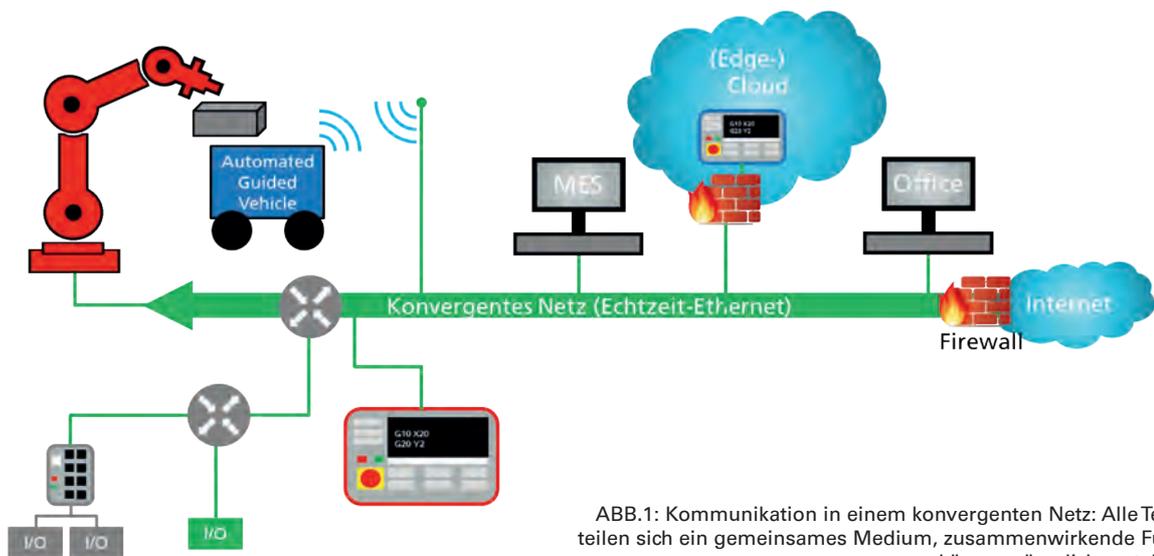


ABB.1: Kommunikation in einem konvergenten Netz: Alle Teilnehmer teilen sich ein gemeinsames Medium, zusammenwirkende Funktionen können räumlich verteilt werden

Die Digitalisierung der Produktion im Kontext von Industrie 4.0 ist eine der größten Wachstumschancen für den Mittelstand und nimmt eine Schlüsselrolle für die langfristige Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland ein. Entscheidende Voraussetzung für viele innovative Konzepte ist eine durchgängige Kommunikation über die Hierarchien der Produktionspyramide hinweg (konvergente Netze).

Da sich aufgrund der sehr speziellen Anforderungen der industriellen Kommunikation, insbesondere der Echtzeitfähigkeit, in der Vergangenheit eine Vielzahl proprietärer Lösungen durchgesetzt hat, sind konvergente Netze de facto heute nicht möglich. Eine potentielle „Enabling-Technologie“ ist die Erweiterung von Standard-Ethernet um Echtzeitfähigkeiten im Kontext von Time Sensitive Networking (TSN).

Konvergente Netze bieten insbesondere für KMUs ein signifikantes Innovationspotential und große Wachstumschancen. Bis diese aber einheitlich und flächendeckend zur Verfügung stehen, wird die industrielle Kommunikation von gemischten Feldbus- und Ethernet-Lösungen dominiert sein. Um in einer solchen Brownfield-Umgebung das Potential konvergenter Netze nutzen zu können, sind spezielle Hardwarelösungen, welche über die Fähigkeiten der am Markt verfügbaren Standardinfrastrukturkomponenten hinausgehen, notwendig. Ein weiteres Innovationsfeld, welches mittels Standardhardware nicht erschlossen werden kann, sind Lösungen die direkt auf der Netzwerkebene arbeiten, beispielsweise on-the-fly Datenvorverarbeitung für Big-Data Ansätze. Unternehmen, welche in diesem Bereich tätig werden wollen, müssen komplette Netzwerklösungen inklusive der Standardfunktionen entwickeln, was insbesondere für KMU kaum machbar ist.

Um diese Innovationshemmnisse zu überwinden, soll im Rahmen des Projekts TSN4KMU, eine flexible Routerplattform entwickelt werden. Diese wird bis zur Hardwareebene anpassbar sein und kann dadurch auf die jeweilige, applikationsspezifische Kommunikationsstruktur angepasst werden und somit den Weg zu einem konvergenten Netz ebnen. Zur einfachen Nutzung wird ein Engineering-Tool bereitgestellt, mit dem auch Anwender ohne Erfahrung in der Hardwareentwicklung und Netzwerktechnik in der Lage sind, von TSN mittels der Routerplattform in ihren Anwendungen zu profitieren.

Maschinendaten. Auf der anderen Seite stehen Module, die aus Hardware und FPGA-Logik bestehen. Über diese ist es u.a. möglich, nicht Ethernet-basierte Feldbusse in das TSN-Netzwerk zu integrieren. Über ein Adapterboard wird der physische Anschluss an den TrustNode realisiert. Sowohl das Modul zur Verarbeitung der Maschinendaten, als auch ein Beispielmodul für die Anbindung eines nicht Ethernet-basierten Feldbusses werden im Projekt realisiert. Um auch große Datenmengen von mehreren Geräten ans Kernnetz übertragen zu können, wird der TrustNode zusätzlich noch um eine Schnittstelle für einen High-Speed-Backbone erweitert.

Kontakt:

Torben Henke, M.Sc.
torben.henke@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:

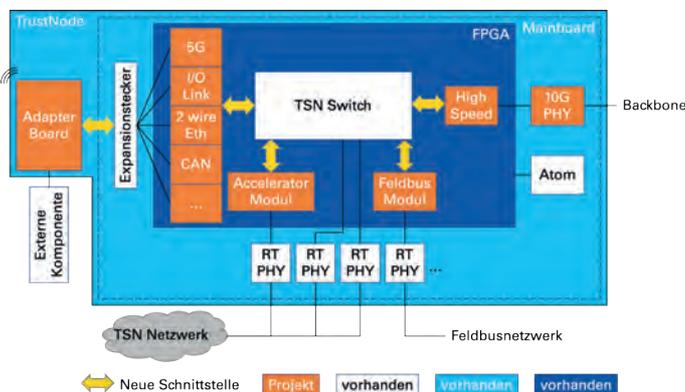


ABB.2: Strukturbild der Routerplattform mit existierenden und im Projekt entwickelten Komponenten

Als Basis für die neue, offene Routerplattform wird der TrustNode des Projektpartners InnoRoute genutzt, dessen Architektur zunächst modularisiert wird. Um Module anwendungsspezifisch mit minimalem Aufwand austauschen zu können, wird eine Methodik zur dynamischen Rekonfiguration entwickelt, mittels welcher der Router vom Anwender individuell angepasst werden kann. Bei den Modulen wird zwischen zwei Arten unterschieden: Auf der einen Seite stehen Module, die sich ausschließlich im FPGA befinden. Dazu gehört u.a. ein Modul zur on-the-fly Verarbeitung von

SIMPLIFIED ROBOTIC WOODWORK (SiRoWo)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

Im Rahmen dieses Projektes soll die Komplexität roboterbasierter Fertigungseinrichtungen zur Holzbearbeitung reduziert werden, um KMU zu befähigen, individualisierte Produkte möglichst automatisiert, flexibel und kostengünstig produzieren zu können. Auf diese Weise kann sowohl die Wettbewerbsfähigkeit, als auch die Qualität der Arbeitsplätze in KMU gesteigert werden.

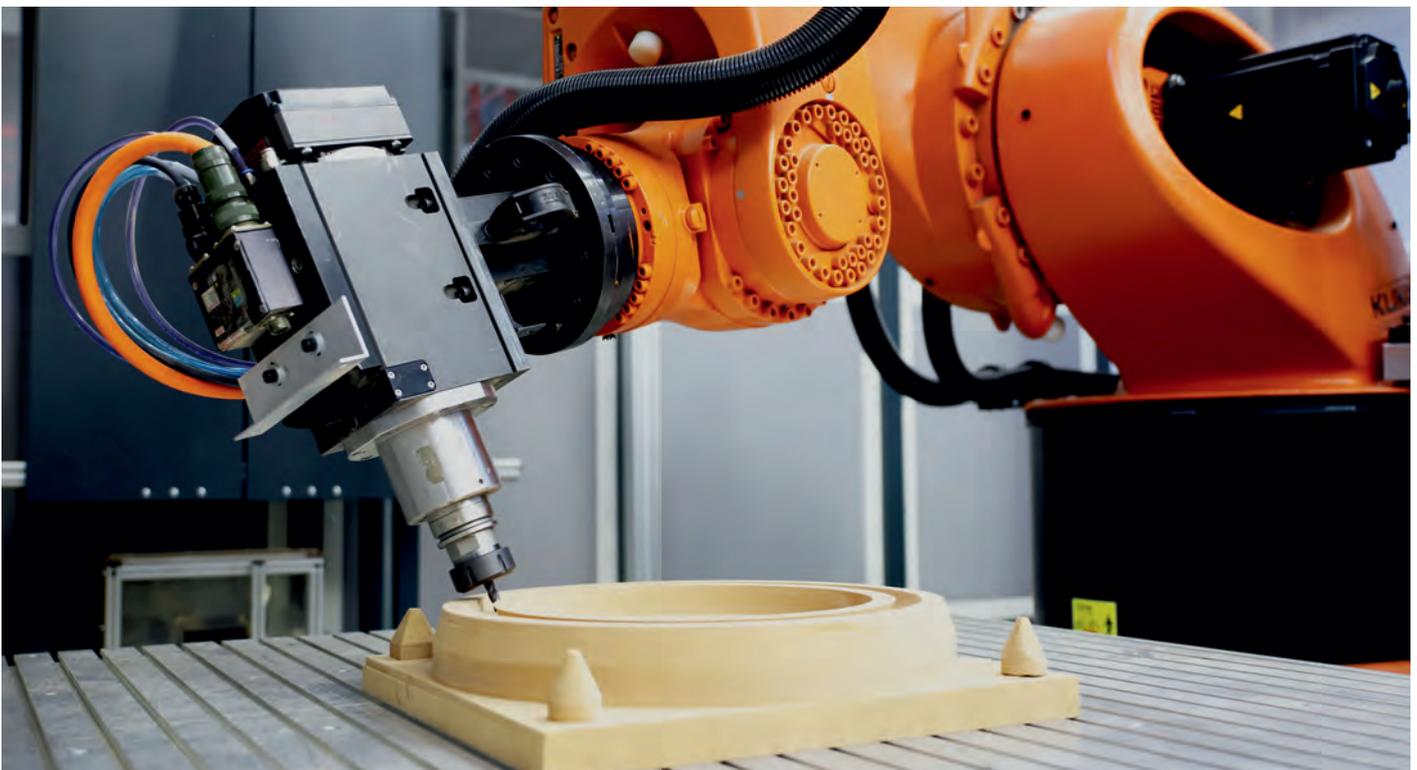


ABB.1: Roboter mit Werkzeugsystem und zur Beurteilung der Bearbeitungsqualität genutztem Referenzbauteil

Klassischerweise haben sich Großunternehmen und Konzerne vorwiegend auf die kostengünstige Massenfertigung von einheitlichen Produkten spezialisiert, sodass KMU den Markt der individualisierten Produkte mit geringen Losgrößen bedienen. Aktuelle Trends wie wachsende Produktindividualität und -dynamik führen dazu, dass auch Großunternehmen zunehmend diesen Markt erschließen und damit zur direkten Konkurrenz der KMU werden.

Um konkurrenzfähig zu bleiben, müssen KMU dem zunehmenden Wettbewerb mit einer höheren Produktivität begegnen. Dies lässt sich durch eine Steigerung des Automatisierungsgrads erreichen. Um dem Kunden möglichst viele Freiheitsgrade bereitstellen zu können, müssen bislang viele Bearbeitungsschritte manuell ausgeführt werden – die Komplexität der Prozesskette steigt. In der Holzbearbeitung

werden dafür häufig teure Sondermaschinen benötigt, die viel Platz und Energie benötigen (z.B. Abrichthobelmaschine, Band- und Kreissägen, Kantenanleimgerät, etc.). Der Einsatz eines Industrieroboters (IR) mit einem Werkzeugwechselsystem erweist sich daher als zunehmend wirtschaftliche Alternative für den Aufbau einer flexiblen Fertigungseinheit.

Zur Handhabung von Werkstücken und zur Fräsbearbeitung mit IR stehen bereits zahlreiche Planungswerkzeuge zur Verfügung. Der wirtschaftliche Einsatz solcher Lösungen ist jedoch eng mit dem Vorhandensein spezialisierter Fachkräfte verknüpft. Darüber hinaus sind beispielsweise bestehende CAD/CAM-Systeme nicht auf typische Bearbeitungswerk-

zeuge der Holzwerkstoffbearbeitung ausgelegt. Der daraus resultierende große Personal- und Programmieraufwand stellt eine Einstiegshürde dar, die gerade für KMU deutlich zu hoch ist, um flexible Bearbeitungslösungen mit IR wirtschaftlich einzusetzen.

Aus diesen Gründen soll im Rahmen dieses Projektes eine signifikante Reduktion der Komplexität zur Programmierung von flexiblen, roboterbasierten Fertigungseinrichtungen realisiert werden. Durch die gezielte Verbesserung und Erweiterung der Softwaresysteme sowie der Möglichkeit, Expertenwissen digital entlang der gesamten Prozesskette zur Verfügung zu stellen, soll die Hemmschwelle für den IR-Einsatz in KMU verringert werden. Neben Steigerung von Flexibilität und Produktivität kann der Einsatz von IR auch wesentlich zur Belastungsreduzierung des Personals (z.B. Staub, Lärm, Vibrationen, etc.) und somit zur Verbesserung der Arbeitsplatzqualität beitragen.

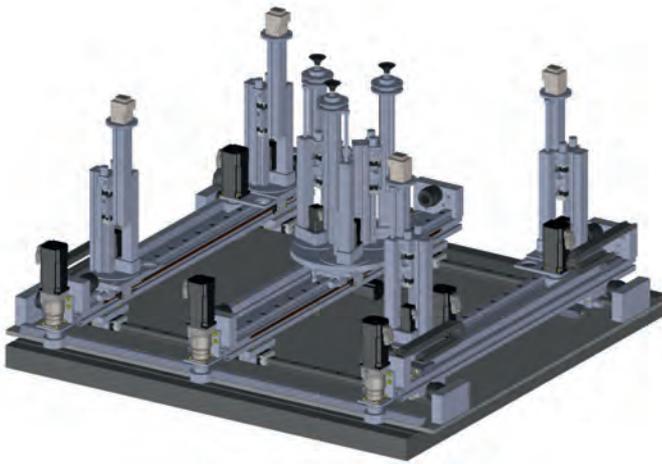


ABB.2: Roboter mit Werkzeugsystem und zur Beurteilung der Bearbeitungsqualität genutztem Referenzbauteil

Am ISW sollen Lösungen zur Steigerung des Automatisierungsgrades entlang der gesamten Prozesskette entwickelt werden. Mit Hilfe von Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) soll dem Bediener die grafische und intuitive Programmierung von Robotersystemen ermöglicht werden. Auf diese Weise wird das Vertrauen in die Systeme erhöht und der Einsatz von IR in KMU motiviert. Damit das Personal nicht speziell auf Robotersysteme geschult werden muss, soll die Umsetzung der Bearbeitungsschritte automatisiert erfolgen. Ebenfalls im Fokus des ISW liegt die Entwicklung und Integration eines adaptiven und vollautomatisierten Aufspannsystems für typische Werkstücke in der Holzbearbeitung. Die prozesssichere Fixierung individueller Werkstückgeometrien mit Freiformflächen, sowie der Werkstückwechsel in möglichst kurzer Zeit, sollen so ermöglicht werden.

Projektpartner:



Kontakt:

Andreas Schütz, M.Sc.
andreas.schuetz@isw.uni-stuttgart.de

CLOSED LOOP MANUFACTURING 4.0: STEUERUNGS- UND SOFTWAREARCHITEKTUR FÜR EINE SMART BOX (CLM4.0)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG



Dieses Projekt verfolgt das Ziel, mithilfe einer Smart Box, welche mit der Maschinensteuerung kommuniziert, eine Echtzeit-Rattervermeidung sowie eine Werkzeugverschleißerkennung zu implementieren. Hierdurch soll Rattern automatisiert erkannt und der Prozess durch die Wahl optimaler Parameter stabilisiert werden, ohne die Produktivität zu senken.

Mit der Smart Box als vernetztes System soll die Produktivität und Qualität der spanenden Produktion gesteigert werden, die durch Instabilitäten während des Bearbeitungsprozesses (Rattern) negativ beeinflusst werden. Tritt während der Bearbeitung Rattern auf, wird es aktuell üblicherweise durch eine Reduktion des Vorschubs oder der Schnitttiefe vom Maschinenbediener manuell ausgeregelt. Die schematische Darstellung aus **ABB.1** zeigt einen Regelkreis mit zwei Schleifen, der sowohl eine automatisierte Online- als auch Offline-Prozessregelung ermöglicht.

Mit dem Begriff „Online“ wird eine schnelle Regelschleife bezeichnet, die auf Basis einer hochfrequenten Abtastung von externen Sensoren wie Mikrofonen oder Beschleunigungsaufnehmer, internen Maschinendaten und einem Prozessmodell eine Aussage über den aktuellen Zustand der Bearbeitung treffen kann. Bei einem erkannten Rattern kann der Prozess sehr schnell stabilisiert und damit optimiert werden. In der übergeordneten Offline-Regelschleife werden die akquirierten Daten in eine Cloud-Umgebung eingespeist um eine digitale Zerspanungsdatenbank aufzubauen. Mit Hilfe der gesammelten Daten soll eine langfristige Optimierung der Bearbeitung beispielsweise durch eine Verbesserung der NC-Pfade (numerical control) erfolgen oder eine ganzheitliche Vorabsimulation des Prozesses, um Stabilität für zukünftige Bauteile zu gewährleisten. Durch diese innovative Regelkreisstruktur wird eine digitale Zerspanungsprozessdatenbank in der Cloud aufgebaut, die eine automatisierte und hinzulernende Prozessoptimierung und letztendlich eine erhöhte Produktivität der mechanischen Fertigung, verbunden mit einer Verringerung der Ausschussraten, ermöglicht. Die digitale Prozessdatenbank erlaubt Unternehmen, gewonnenes Prozesswissen unabhängig vom Expertenwissen einzelner Personen (z.B. Maschinenbediener) dauerhaft zu konservieren. Neben dem Aufbau wissenschaftlicher Grund-

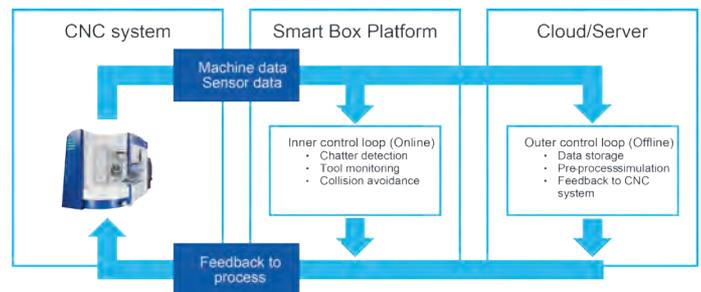


ABB.1: Schematische Darstellung der inneren und äußeren Regelschleife

lagen zur Prozessüberwachung und dem gezielten Eingriff in den Prozess, ergeben sich aus der Regelkreisstruktur auch diverse industrielle Verwertungsmöglichkeiten. Die präsentierte Struktur, inklusive der Smart Box als verbindendes Element, stellt eine leistungsstarke Erweiterung für einen Maschinensteuerungshersteller dar. Die, in diesem Zusammenhang genutzten Simulationen, lassen sich als Softwareprodukte und Cloud-Dienstleistungen vermarkten.

Projektpartner:

CANADA-GERMANY 2+2	
Deutschland	Kanada
Wissenschaftliche Projektpartner	
KMU-Projektpartner	
Anwendungspartner	Assoziierte Partner

Kontakt:

Felix Trautwein, M.Sc.
felix.trautwein@isw.uni-stuttgart.de

NULL-FEHLER-FERTIGUNG IN MEHRSTUFIGEN PRODUKTIONSSYSTEMEN (ForZDM)

GEFÖRDERT VON DER EUROPÄISCHEN UNION (EU H2020)



In diesem Forschungsprojekt wird die Entwicklung und Integration von Strategien und Methoden zur Ausschussreduzierung in mehrstufigen, verketteten Produktionssystemen angestrebt. Durch Auswertung zusätzlicher Sensorik, Prozessregelung und Downstream Kompensation, soll die Fehlerentstehung und -fortpflanzung verringert werden. Dieses Forschungsprojekt ist eine Fortführung der Untersuchungen im Projekt MuProD, das ebenfalls von der Europäischen Union gefördert wurde (FP7). Anwendungsfälle innerhalb ForZDM stammen aus der Luft- und Raumfahrt, Verkehrstechnik und Medizintechnik.

Die zunehmende Digitalisierung in Wirtschaft und Gesellschaft treibt auch den Wandel in der Produktion voran. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Unternehmen hinsichtlich der Individualität, sowie der effizienten und ressourcenschonenden Herstellung hochwertiger und komplexer Produkte. Eine wettbewerbsfähige Produktion muss in der Lage sein, schnell auf Marktveränderungen und individuelle Kundenwünsche zu reagieren und dennoch kostengünstige Produkte anbieten zu können. Der Trend zur Individualisierung führt aber auch zu einer zunehmenden Komplexität der Produktionsprozesse und Prozessketten, was das Auftreten von Fehlern begünstigt. Um auf dem Weltmarkt wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es wichtig, eine möglichst fehlerfreie Produktion zu erreichen. In der Vergangenheit wurden Methoden wie Six Sigma erfolgreich zur Qualitätssicherung eingesetzt. Sie betrachten die Produktion jedoch als statische Systeme und können mit dem heutigen Verständnis von Produktion, als dynamisches und flexibles System, nur bedingt genutzt werden. Ziel ist es, bessere und umfassendere Methoden zu entwickeln, die das dynamische Umfeld der Produktion berücksichtigen und den Anforderungen an eine fehlerfreie, kundenspezifische Produktion, hohen Kostendruck und Nachhaltigkeit gerecht werden.

Das von der Europäischen Union im Rahmen des Clusters Horizon 2020 geförderte Projekt ForZDM befasst sich genau mit dieser Thematik. Ziel ist es, Methoden und Strategien zur Optimierung mehrstufiger Produktionssysteme zu entwickeln, um eine Null-Fehler Produktion (Zero-Defect Manufacturing – ZDM), wie es im Kontext moderner Produktionssysteme gefordert wird, zu realisieren. Ziel jedes Produktionssystems ist, ein perfektes Produkt am Ende der Produktionslinie zu erhalten. In der Vergangenheit lag der Schwerpunkt auf der Optimierung einzelner Prozesse durch den Einsatz verschiedener Arten von Prozessregelung innerhalb der Fertigung. Aber auch nach der Optimierung eines einzelnen Prozesses treten Fehler in Form von Abweichun-

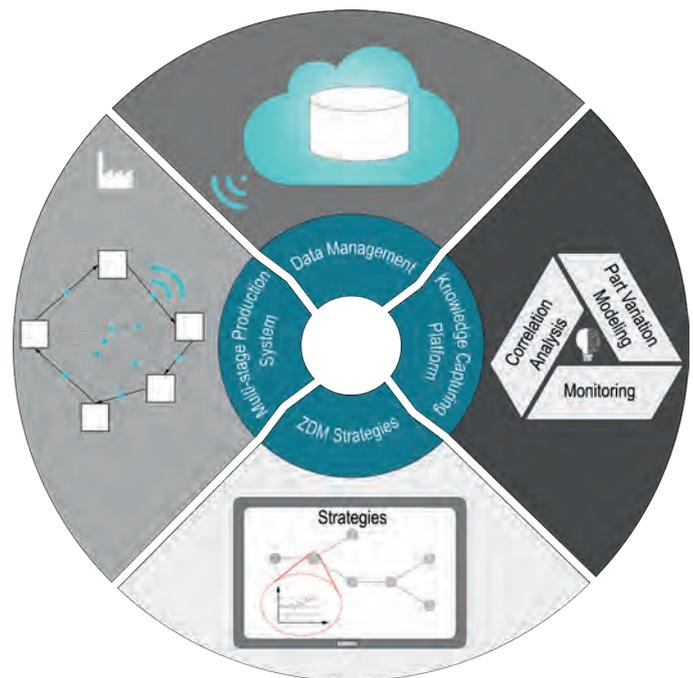


ABB.1: ForZDM-Architektur

gen auf, die nicht alle vorhersehbar sind und deren Ursache oft nicht ad hoc erkannt werden kann. Diese Abweichungen, die durch verschiedene Faktoren verursacht werden können, werden je nach verfügbaren Messsystemen oft erst spät oder gar nicht erkannt. Da das fehlerhafte Produkt anschließend weiterhin seinen vorgesehenen Produktionsprozess durchläuft, können daraus weitere Fehler entstehen, was in vielen Fällen zu Ausschuss oder enorm hohen Kosten durch Nacharbeit führt. Um eine solche Nacharbeit am Ende des eigentlichen Produktionsprozesses zu vermeiden, konzentriert sich der ZDM-Ansatz auf die globale Verbesserung des mehrstufigen Produktionssystems unter Berücksichtigung

aller Prozesse und ihrer Möglichkeiten. Durch die frühzeitige Erkennung möglicher Fehler kann die Vermeidung oder Kompensation dennoch auftretender Fehler durch Berücksichtigung aller möglichen Eingriffe in die Fertigungsprozesse erreicht werden.

Um das Ziel von ZDM zu erreichen, muss mehr Transparenz in mehrstufigen Produktionssystemen geschaffen werden. Multisensorsysteme werden eingesetzt um mehr Informationen über die einzelnen Prozesse und gefertigten Werkstücke zu erhalten. Neben der Überwachung der Prozesse selbst, müssen zusätzliche Sensorsysteme installiert werden, um Informationen über die Werkstücke zu erhalten. Diese Vielfalt an Informationsquellen ermöglicht es Produkt-, Prozess- und Ressourcenzustände, die über den gesamten Produktionsprozess vorhanden sind, zu erfassen. Um diese Daten zu sammeln, synchronisieren und auch strukturieren zu können, wird ein zentrales und flexibles Datenerfassungssystem entwickelt. Für die anschließende Extraktion von Wissen aus den gesammelten Daten, wird die Knowledge Capturing Plattform (KCP) eingeführt. Diese Plattform beinhaltet verschiedene statistische und analytische Werkzeuge zur Verarbeitung der Daten. Die, über das Multisensornetzwerk und die Datenmanagement-Plattform gesammelten Daten, stellen die wichtigste Wissensquelle über die Ursachen der Fehlergenerierung und deren Ausbreitungsmechanismen entlang der Produktionslinien dar. Dieses Wissen muss in der KCP extrahiert und strukturiert werden, um es für alle anstehenden Entwicklungen nutzen zu können.

Das KCP bildet, wie in **ABB.1** zu erkennen, die Schnittstelle zwischen den in der Datenbank erfassten Daten und der ZDM-Control Plattform, welche anschließend auf Basis der gewonnenen Kenntnis der ausgewerteten Daten Kompensations-Strategien (Downstream Compensation Strategies) definiert. Um das Wissen aus den vorhandenen Daten zu extrahieren, wurden verschiedene Tools entwickelt. Neben individuellen Lösungen wurden für das ZDM Vorhaben drei webbasierte Tools für einen generischen Einsatz in Produktionssystemen entwickelt: Eines für die Modellierung des nominellen Bauteils entlang des mehrstufigen Systems, eine Plattform zur Analyse und Identifikation signifikanter Bauteilvariationsmodi sowie interstationären Zusammenhängen und ein drittes als Applikation zur Überwachung des Gesamtsystems. Zur Charakterisierung dieser komplexen Zusammenhänge werden zwei Arten von Mechanismen verwendet: Top-down-Wissensbasierte und Bottom-up-Datenbasierte Ansätze.

Basierend auf den Erkenntnissen der Knowledge Capturing Plattform werden Strategien für eine nahezu fehlerfreie Fertigung abgeleitet. Dazu gehören zum einen Strategien zur Fehlervermeidung und zum anderen Strategien zur Kompensation bereits aufgetretener Fehler. Daher müssen prozessübergreifende Zusammenhänge, basierend auf statistischen Analysen, berücksichtigt werden, um die Zusammenhänge zwischen diesen Veränderungen und der Entstehung von Fehlern zu identifizieren. Dies ermöglicht eine vorausschauende Anpassung der beeinflussenden Prozess- oder Maschi-



ABB.2: ForZDM-Projektpartner

nenparameter an die interstationären Bedingungen, die zu Abweichungen wie bspw. durch Werkzeugverschleiß führen. Die Berücksichtigung stochastischer Defekte kann jedoch nicht garantiert werden. Daher sind nachgeschaltete Kompensationsstrategien notwendig, um Fehler zu beheben, deren Entstehung nicht verhindert werden konnte. Dabei ist der erste wichtige Schritt die frühestmögliche Erkennung des Defekts und damit die Festlegung möglicher Maßnahmen zur Kompensation oder zumindest Minderung der Auswirkungen des Defekts. Ziel ist in erster Linie die Anpassung der regelmäßigen nachfolgenden Prozessschritte, die für sich genommen einen Einfluss auf die Eigenschaften des Fehlers haben. Darüber hinaus kann es notwendig sein, die gesamte Prozesskette neu zu definieren und die Reihenfolge der einzelnen Prozessschritte zu ändern. Zusätzlich kann die Anpassung der geplanten Sollgeometrie berücksichtigt werden. Dies ermöglicht die Herstellung eines weiteren Bauteils mit z.B. kleineren Abmessungen, wodurch der aufgetretene Fehler vollständig beseitigt werden kann. Dadurch kann Ausschuss sowie kosten- und zeitintensive Nacharbeit reduziert werden.

Kontakt:

Florian Eger, M.Sc.
florian.eger@isw.uni-stuttgart.de

Colin Reiff, M.Sc.
colin.reiff@isw.uni-stuttgart.de

VIRTUALISIERUNG VON SAFETY (ViSa)

GEFÖRDERT VON DER AUDI AG



In diesem Forschungsprojekt wird die Ausführung der speicherprogrammierbaren Sicherheitssteuerung in einer virtualisierten Umgebung angestrebt. Dies soll eine verstärkte Konsolidierung von Hardware in der Produktion ermöglichen

In vielen Unternehmen wird die Fertigung stets erweitert, optimiert und verändert, wobei sich diese Veränderungen möglichst problemlos in die vorhandenen Gegebenheiten integrieren lassen müssen. Dabei kann es leicht zu einer heterogenen Ressourcenlandschaft kommen, da vorhandene Ressourcen unangetastet bleiben und neue Ressourcen hinzukommen. Dies zeigt sich beispielsweise bei der Audi AG im Hardwarebereich für Computer. Hier werden z.B. in der Montage eine Vielzahl von verschiedenen PCs, Steuerungen und Spezialrechnern eingesetzt. Die hohe Anzahl und Verschiedenartigkeit an Hardware, verursacht nicht nur bei der Anschaffung hohe Kosten, sondern auch im Betrieb durch Energiekosten und ein Mehraufwand bei der Wartung. Darüber hinaus wird die Rechenleistung der einzelnen Geräte nur geringfügig ausgenutzt und es gibt viele redundante Geräte. Dies führt dazu, dass mehr Geräte als nötig eingesetzt werden.

Die Reduktion der Hardwarezahl wird in anderen Domänen wie der Office-IT und dem Serverbetrieb durch Virtualisierung gelöst. Dabei werden existierende Systeme von der vorhandenen Hardware durch eine Zwischenschicht, auch Hypervisor genannt, abstrahiert. Damit können vorhandene Systeme migriert werden, ohne dass sich für den Endbenutzer etwas ändert. Außerdem ist es möglich, mehrere Systeme parallel auf einer Hardware auszuführen.

Im ersten Schritt werden PC-Systeme virtualisiert, die keine spezielle Anforderungen wie Echtzeit benötigen. Im nächsten Schritt sollen Steuerungssysteme, wie die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) folgen. Weiterhin sollen auch sicherheitsbezogene Systeme folgen.

Da in den Domänen der Office-IT und des Serverbetriebs keine Anforderungen an die Betriebssicherheit (engl. Safety) gestellt werden, ist die Virtualisierung der speicherprogrammierbaren Sicherheitssteuerung (Safety-SPS) mit den klassischen Lösungen nicht direkt möglich.

Für die Ausführung sicherheitsbezogener Systeme in virtualisierten Umgebungen muss sowohl die Hardware, als auch die Software als sicher zertifiziert sein. Hierfür muss ein geeignetes Konzept entwickelt werden.

Aufgrund der Konsolidierung wird die Rechenleistung effizienter ausgenutzt und die Anzahl der Hardware stark reduziert. Durch die Virtualisierung von sicherheitsbezogenen Systemen tritt eine große Kosteneinsparung ein, indem auf teure Spezialhardware verzichtet werden kann.

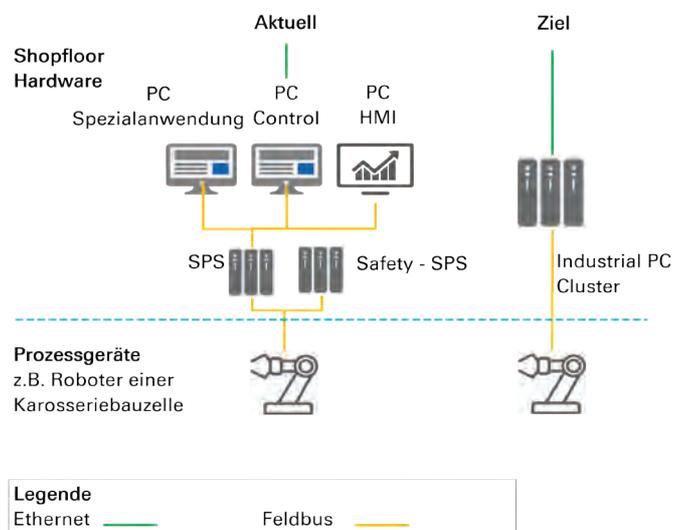


ABB.1: Hardwarestruktur einer Karosseriebauzelle von heute im Vergleich mit der angestrebten Virtualisierung

Kontakt:

Marc Fischer, M.Sc.
marc.fischer@isw.uni-stuttgart.de

PROZESSSTEUERUNG BEIM LICHTBOGENSCHWEISSEN (LiBo)

GEFÖRDERT VON DER AUDI AG



In diesem Forschungsprojekt wird die Ausführung einer autonomen Prozesssteuerung beim roboterbasierten Lichtbogenschweißen angestrebt. Diese soll eine erhöhte Flexibilität und verkürzte Fertigungszeiten ermöglichen.

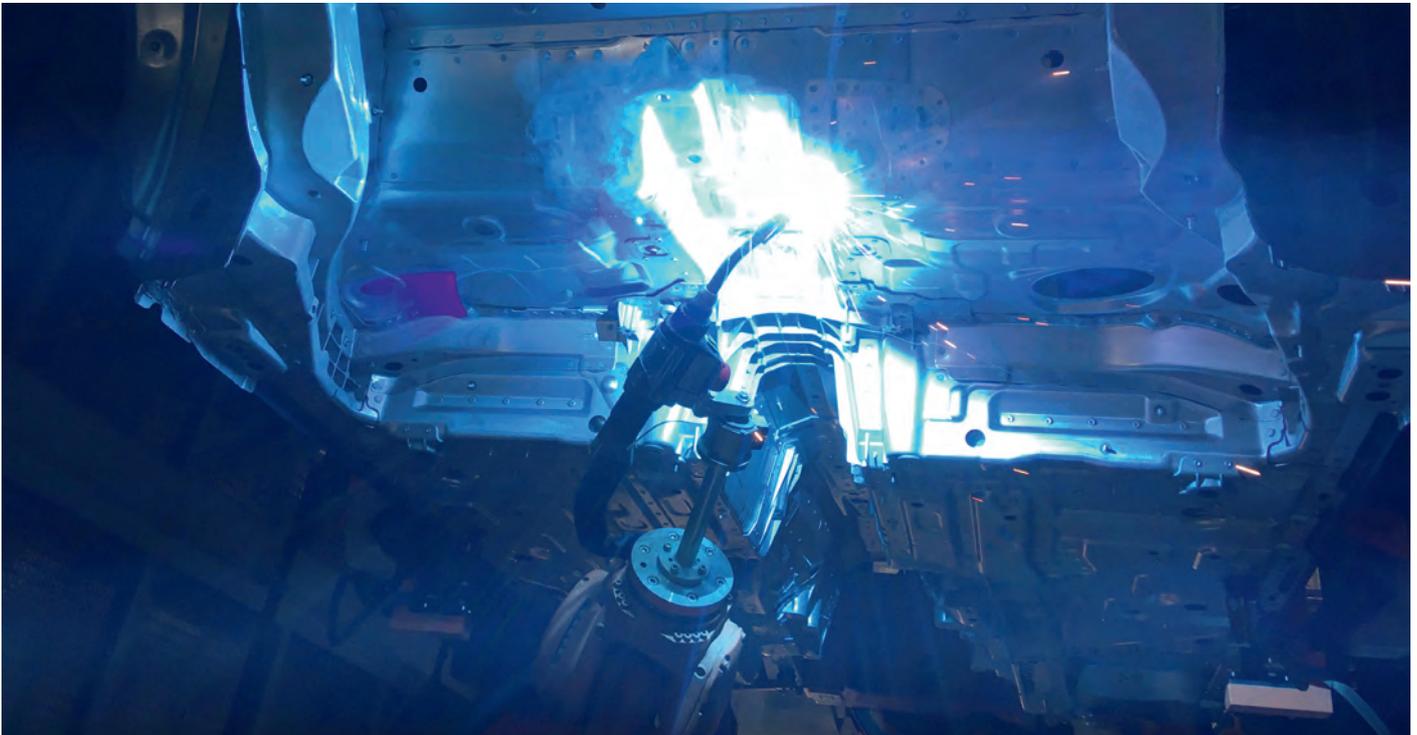


ABB.1: Schweißprozess einer Autokarosserie, © Audi AG

Das roboterbasierte Lichtbogenschweißen zählt zu den wichtigsten Fügetechnologien im Karosseriebau. Da der Prozess auf komplexen physikalischen Wirkprinzipien basiert, unterliegt er bauteilindividuellen stochastischen Schwankungen. Daher ist eine kontinuierliche Prozessüberwachung zur Gewährleistung der geforderten Qualität erforderlich. Diese Überwachung erfolgt bisher häufig auf Basis einer manuellen Überprüfung durch den Fertigungsmitarbeiter. Eine autonome Prozesssteuerung ermöglicht es, die Qualität der Bauteile automatisiert anhand von Prozessdaten zu erfassen und mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen weitere Qualitätsregelkreise zu schließen, um direkt auf Änderungen im Prozess zu reagieren.

Eine wesentliche Voraussetzung zur autonomen Prozesssteuerung ist die Erfassung der Schweißnahtqualität. Aufgrund der hohen Komplexität des zugrundeliegenden physikalischen Modells, ist eine Modellierung mittels physikalischer Zusammenhänge äußerst schwierig. Beispielhaft sei hier die Spritzerbildung beim Schweißen zu nennen, welche unter

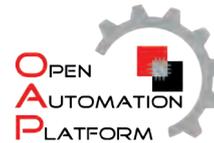
anderem auf einer komplexen Gasdynamik beruht. Deshalb erforscht die AUDI AG gemeinsam mit dem ISW einen datenbasierten Ansatz. Dazu werden die verschiedenen Steuergeräte, welche in Roboterzellen vorhanden sind, mit einem zentralen System zur Datenerfassung verbunden. Mittels moderner mathematischer Verfahren aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz werden dann Modelle trainiert, welche die prozessrelevanten Kenngrößen vorhersagen können. Die Architektur zur Datenerfassung und Verarbeitung spielt dabei eine wesentliche Rolle, da es sich bei dem Lichtbogenprozess um einen hochdynamischen Prozess handelt, der mit einer hohen Erfassungsrate aufgezeichnet werden muss.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Alexander Schmidt
alexander.schmidt@isw.uni-stuttgart.de

OPEN AUTOMATION PLATFORM (OAP)

ISW EIGENENTWICKLUNG



Innovative Konzepte der Steuerungs- und Regelungstechnik lassen sich häufig mangels offener Schnittstellen und Performance nicht auf konventionellen Plattformen umsetzen. Im Rahmen verschiedener Forschungsarbeiten wurde eine offene Plattform entwickelt, welche neben Freiheitsgraden auf der Hardware- und Software-Ebene zusätzlich eine FPGA-Ebene bietet. Hierdurch kann die OAP auch höchsten Anforderungen hinsichtlich Performance gerecht werden. Neben antriebstechnischen Aufgaben, wird sie für die Prozessregelung, Sensorikanwendungen und Kommunikationstechnik eingesetzt.



ABB.1: Modulare Hardware-Ebene der OAP



ABB.2: Ebenen und Komponenten der OAP

Die Umsetzung innovativer Ansätze in der Steuerungs- und Regelungstechnik scheitert oft an der mangelnden Offenheit und der begrenzten Performance, insbesondere bei komplexen Algorithmen, wie beispielsweise modellbasierter Regelung. Rekonfigurierbare Hardware in Form von FPGAs bietet, dank Hardware-Performance kombiniert mit der Flexibilität von Software, eine leistungsfähige Plattform. Um diese neue Technologie effizient nutzen zu können, wurde in verschiedenen Forschungsarbeiten die **Open Automation Platform (OAP)** am ISW entwickelt. Sie kommt in der Antriebstechnik, Prozessregelung, Sensortechnik und Kommunikationstechnik zum Einsatz. Beispielhaft seien verschiedene Projekte im TSN-Umfeld, das Projekt RoboSkin oder die Ansteuerung eines Lasers für die additive Fertigung erwähnt. Zur Maximierung der Synergieeffekte werden die Ergebnisse einzelner Projekte stets in eine Bibliothek von Hardware-, FPGA-, und Software-Komponenten zurückgespielt.

Die OAP bietet Offenheit auf den folgenden drei Ebenen:

Hardware-Ebene: Auf unterster Ebene steht eine Vielzahl von Schnittstellen zur Verfügung, welche modular und anwendungsspezifisch kombiniert werden können. Dies sind beispielsweise Treiber, Encoder-Schnittstellen, Leistungstreiber oder Kommunikationsmodule. Die FPGA-Logik selbst ist über eine einheitliche Schnittstelle mit den Interfaces gekoppelt. **ABB.1** zeigt eine beispielhafte Hardware-Konfiguration mit verschiedenen Schnittstellenmodulen.

FPGA-Ebene: Auch die FPGA-Ebene ist modular strukturiert. Dabei wird die Methodik des **System-On-a-Programmable-Chip (SOPC)** genutzt. Diese ermöglicht ein effizientes Systemdesign basierend auf individualisierten, sowie Stan-

dardkomponenten. Eine stetig wachsende Sammlung steht bereits zur Verfügung, beispielsweise für Interfaces wie Encoder oder verschiedene Feldbusse zur Umsetzung von Reglern und Modellen.

Software-Ebene: Als Plattform für die Software können gegenwärtig zwei Optionen genutzt werden: Entweder kommt ein sogenannter **Soft-Prozessor** zum Einsatz, welcher aus FPGA-Ressourcen synthetisiert wird. Alternativ wird Software auf einem Hard-Prozessor ausgeführt, welcher fester Bestandteil des FPGA-Chips ist (z.B. ein ARM-Prozessor). Abhängig von der Anwendung kann entweder eine spezielle Firmware oder aber auch ein Betriebssystem zum Einsatz kommen. Die Software ist ebenfalls modular aufgebaut, wozu objektorientierte Konzepte genutzt werden.

ABB.2 gibt einen Überblick über die Ebenen der Architektur und zeigt jeweils beispielhafte Komponenten auf. Die Entwicklung erfolgt hierbei in einer funktionalen Sicht über alle Ebenen hinweg. Um dies zu ermöglichen, sind alle Komponenten auf der Software-Ebene repräsentiert.

Die Architektur ermöglicht eine einheitliche Anbindung des Systems an Kommunikationsschnittstellen. Einerseits können spezialisierte Inbetriebnahme- und Forschungswerkzeuge genutzt werden, andererseits ist auch eine Anbindung an verschiedene Feldbusse möglich.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Florian Frick
florian.frick@isw.uni-stuttgart.de

DER DIGITALE ZWILLING ALS LERNUMGEBUNG FÜR INTELLIGENTE STEUERUNGEN (Hardware-/Software-in-the-Loop Gym)

ISW EIGENENTWICKLUNG



Am ISW wird an Methoden und Ansätzen geforscht, welche die aktuellen Entwicklungen und Fortschritte der künstlichen Intelligenz in die Produktionstechnik bringen. Dabei sind sowohl Ansätze für den Einsatz an Maschinen und Anlagen interessant, als auch Methoden, die den Entwicklungs- bzw. Engineering-Prozess betreffen. Für die steigenden Anforderungen der Produktionstechnik müssen die Steuerungssysteme intelligenter und lernfähig werden. Die Ansätze von maschinellem Lernen sind am ISW eng an den Digitalen Zwilling gekoppelt, da dieser zum einen die Möglichkeit gibt, Wissen zu repräsentieren und zum anderen auch eine Entwicklungsplattform für kognitive Systeme darstellt.

Reinforcement Learning zur Steuerung industrieller Prozesse

Reinforcement Learning hat in vielen, zumeist noch nicht-kommerziellen Bereichen, beeindruckende Ergebnisse erzielt. Ein entscheidender Faktor spielt dabei die Lernumgebung, innerhalb derer der Agent interagieren kann. Für industrielle Anwendungen (Maschinen, Anlagen und Roboter) scheidet das reale System aufgrund der Fehler aus, die der Agent für ein erfolgreiches Lernen unweigerlich macht. Diese Fehler sind kostenintensiv und z.T. gefährlich für das System. Stattdessen müssen künstliche Umgebungen geschaffen werden. Im Zuge der Virtualisierung des Engineerings ist eine solche künstliche Lernumgebung ohne großen Mehraufwand möglich. Hardware- oder Software-in-the-Loop (HiL/SiL) Simulationen sind Stand der Technik, wenn es um die Virtuelle Inbetriebnahme geht. Dabei wird die reale Steuerung in Verbindung mit einer virtuellen Maschine oder Anlage entwickelt, validiert und getestet.

Am ISW wird der Ansatz verfolgt, genau diese HiL Simulationsmodelle als Lernumgebung für eine kognitive Steuerung zu verwenden. Die Architektur einer solchen Umgebung kann anhand eines, am ISW entstandenen beispielhaften Anwendungsfalls, nachvollzogen werden (ABB.1). Innerhalb der Applikation sollen unterschiedliche Kisten über Transportbänder an spezifische Endpositionen sortiert werden. Sämtliche Aktor- und Sensorsignale werden dem Agenten zur Verfügung gestellt. Weitere lernspezifische Sensoren werden integriert um das Handeln des Agenten zu bewerten.

Standardisierung der HiL/SiL Lernumgebung

Bei der erfolgreichen Übertragung von Reinforcement Learning Methoden in die Produktionstechnik, ist es entscheidend, auf existierende und aktuelle Ressourcen zurückzugreifen. OpenAI, Google und Microsoft liefern standardisierte Lernumgebungen für Lernalgorithmen. Das mit Abstand beliebteste Toolkit kommt von OpenAI. OpenAI Gym

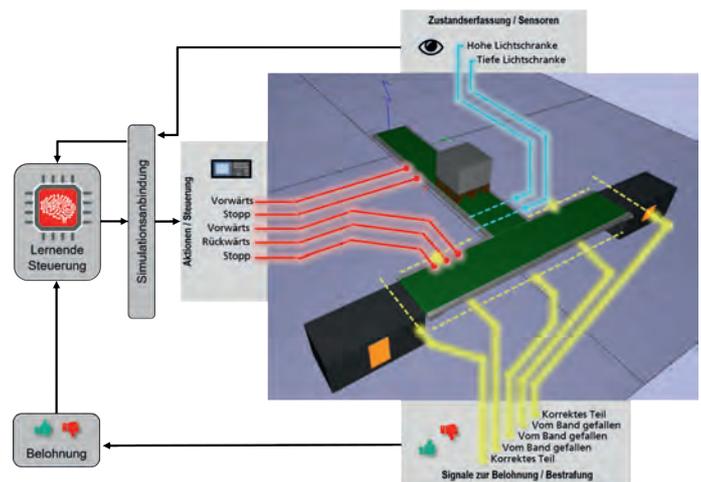


ABB.1: Selbstlernender Logistikprozess zum Sortieren von Kisten

bietet Open Source Lernumgebungen für bsw. Atari Spiele, physikbasierte Simulationen und unteraktuierte Steuerungsprobleme. OpenAI Gym definiert dadurch einen Standard für Lernumgebungen, was den Aufbau und die Schnittstellen betreffen.

Dazu stellt OpenAI noch Open Source Baseline Algorithmen zur Verfügung, welche die wichtigsten Entwicklungen und Fortschritte der aktuellen Forschung beinhalten. Diese Baseline Algorithmen werden laufend verbessert und erweitert. Den Anbietern fehlt aktuell jedoch eine produktionstechnische Simulationsumgebung oder eine geeignete Anknüpfung der Toolkits an industrielle Problemstellungen. Am ISW wird diese Schnittstelle durch eine HiL/SiL Lernumgebung geschlossen.

Die HiL/SiL Simulationsumgebung ISG-virtuos wird damit erweitert und mit Schnittstellen versehen, dass sie den Ope-

nAI Standard für Lernumgebungen erfüllt. Dadurch kann, wie in **ABB.2** dargestellt wird, ein Baseline Reinforcement Learning Algorithmus ohne Anpassung sowohl das OpenAI Gym als auch die HiL/SiL Lernumgebung lösen. Die bisher nur für das Testen der Steuerung entwickelten Modelle der Maschine oder Anlage, können somit auch als Trainingsumgebung für intelligente Steuerungen verwendet werden.

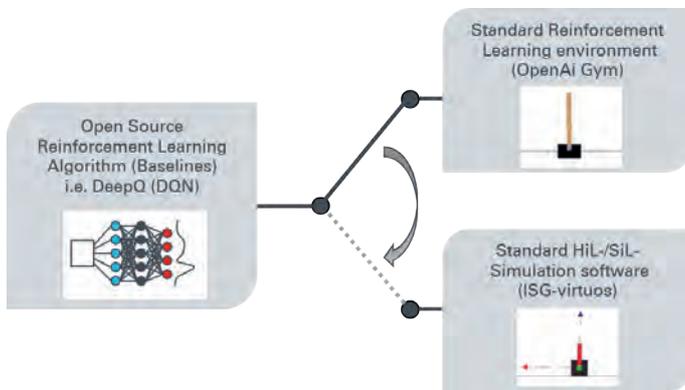


ABB.2: Demonstrator HiL/SiL Lernumgebung – Der Reinforcement Learning Algorithmus kann ohne Anpassung sowohl das OpenAI Gym als auch das HiL/SiL Lernumgebung lösen

Am ISW gibt es erste Lösungen zur Demonstration der Potentiale der HiL/SiL Lernumgebung. Diese soll in weiteren Forschungsarbeiten erweitert und möglichst automatisch generierbar gemacht werden. Dadurch wird es möglich, etablierte Reinforcement Learning Methoden ohne Anpassung und ohne spezifisches Wissen über maschinelles Lernen an HiL- oder SiL- Simulationen zu verwenden.

Kontakt:

Florian Jaensch, M.Sc.
florian.jaensch@isw.uni-stuttgart.de

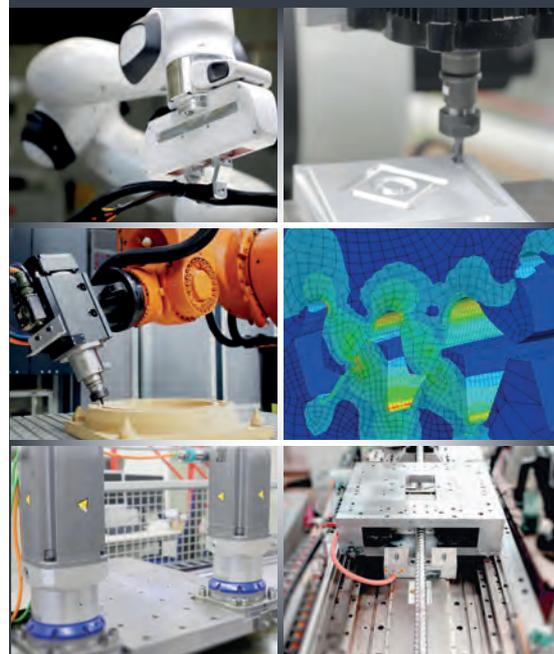


Lageregelseminar

Erstmals wieder seit 2015 organisiert das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) das Lageregelseminar. Auf der zweitägigen Veranstaltung geben unsere Referenten aus Industrie und Forschung einen spannenden Überblick zu aktuellen Forschungsergebnissen und Entwicklungen aus dem Bereich der Industrierobotik sowie der Antriebs- und Maschinenteknik. Hierfür werden anwendungsnahe und praxisbezogene experimentelle Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Weitere Informationen zur Veranstaltung finden Sie unter:

www.lageregelseminar-stuttgart.de



ORGANISATION



VERANSTALTER



VIRTUELLER TISCHKICKER

ISW EIGENENTWICKLUNG



Durch den Software- und Hardware-in-the-Loop-Demonstrator „Virtueller Tischkicker“ wird auf spielerische Weise die Qualität der Ausbildung der Studierenden am ISW gesteigert.

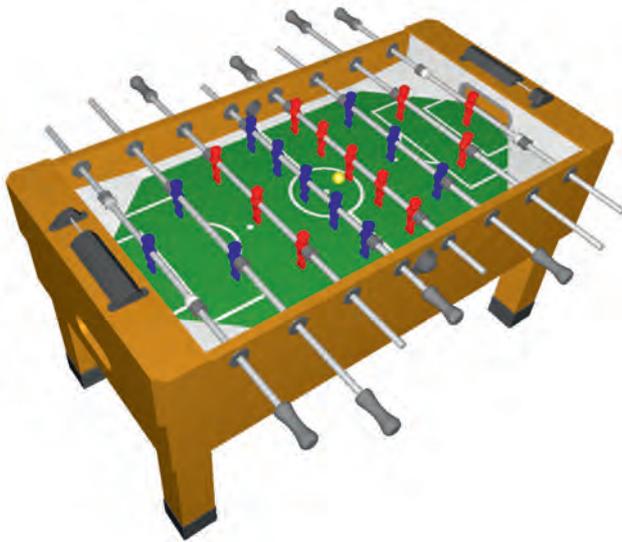


ABB.1: Virtuelles Spielfeld in Virtuos

Vorlesungen wie Steuerungstechnik I/II, Simulation automatisierter Maschinen und Prozesse oder die Bachelor Projektarbeit werden jedes Jahr an der Universität Stuttgart von rund 300 Studierenden unterschiedlicher Studiengänge (Maschinenbau, Automatisierungstechnik/Mechatronik, Technische Kybernetik, Simulation Technology, u.v.m.) absolviert. In diesen Vorlesungen werden die Themengebiete SPS-Technik, CNC-Technik und deren Programmierung, Hard- und Software-in-the-Loop Simulation, Echtzeitsimulation und Bus-Topologie behandelt. Im Hinblick auf die Verbesserung des Praxisbezuges und der Anwendbarkeit dieser theoretischen Lehrinhalte wurde ein virtueller Tischkicker mit simuliertem Spielfeld in der Echtzeitsimulationsumgebung Virtuos aufgebaut (siehe **ABB.1**). Der Tischkicker basiert auf einem Echtzeitsimulationsrechner mit einer 3D-Visualisierung für das virtuelle Spielfeld, welcher durch zwei Motion-Control-Steuerungen (SPS/MC) und vier mechatronische Eingabegeräte angesteuert werden kann. So kann Steuerung gegen Steuerung gespielt werden (s. **ABB.2**). Das Ziel ist, den Einsatz von Echtzeitsimulationen und das Zusammenspiel von Steuerungs- und Kommunikationstechnik und Mechanik, Sensorik und Aktorik zu demonstrieren. Studierende sollen Steuerungsprogrammierung und Entwicklung von Algorithmen an diesem Demonstrator „spielerisch“ erlernen und umsetzen (Steuerung gegen Steuerung). Des Weiteren ist im Rahmen studentischer Arbeiten und

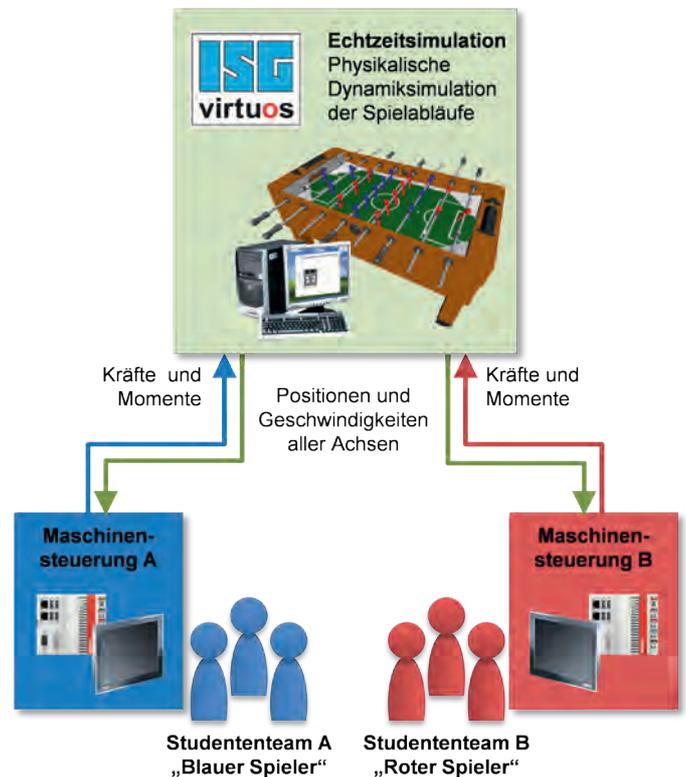


ABB.2: Prinzipskizze des virtuellen Tischkickers

durch Hilfswissenschaftliche Mitarbeiter ein Handbedienegerät für den virtuellen Tischkicker entstanden, der es ermöglicht, dass auch der Mensch gegen Steuerung spielen kann (s. **ABB.3**). Der virtuelle Tischkicker wird in folgenden Bereichen als Lehrsystem genutzt:

Vorlesungen: Steuerungstechnik I, Steuerungstechnik II, Simulation automatisierter Maschinen und Prozesse.

Projektübung: Im Rahmen von Projektübungen im Bereich der Mechatronik wird jedes Jahr ein Wettbewerb ausgerichtet. Dabei sollen studentische Teams Spieler auf Basis von SPS- und MC-Steuerungsprogrammen entwickeln und diese gegeneinander antreten lassen. Sie erwerben im Laufe dieser Projektübung Wissen in den Bereichen Echtzeitsimulation, SPS/MC-Programmierung, Kommunikationstechnik und die Inbetriebnahme von Maschinensteuerungen.

Studien-, Bachelor- und Diplomarbeiten: Diese Arbeiten werden in den Bereichen Echtzeitsimulation, Steuerungstechnik und Konstruktion ausgeschrieben.

Hauptfachpraktika: Gleichzeitig dient das Lehrmodell als Basis für ein weiteres Hauptfachpraktikum in den Bereichen SPS/MC-Programmierung, Echtzeitsimulation und Kommunikation.

Anschauungsobjekt: Es besteht die Möglichkeit, das Lehrmodell bei publikumswirksamen Veranstaltungen, wie dem Tag der Wissenschaft, Unitag, GirlsDay und Messen einzusetzen.

Kontakt:

Shan Fur, M.Sc.
shan.fur@isw.uni-stuttgart.de

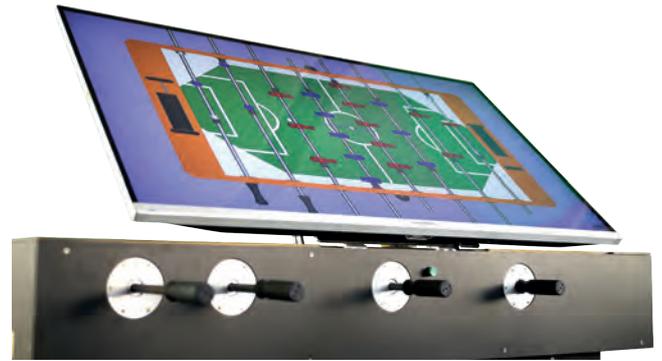


ABB.3: Handbediengerät des virtuellen Tischkickers

AUTOMATISIERTER SPANFERKELGRILL

ISW EIGENENTWICKLUNG



Im Rahmen verschiedener studentischer Arbeiten wurde am ISW ein vollautomatisierter Spanferkelgrill entwickelt. Der Grill ermöglicht den Studierenden, alle Schritte von der Konstruktion bis zur steuerungstechnischen Inbetriebnahme zu durchlaufen. Die Studierende können Erfahrungen mit kommerziellen Steuerungstechnikkomponenten in spielerischer Umgebung sammeln. Der Grill verfügt über zwei Servoachsen für die Rotation des Spießes und für die Abstandsregelung des Feuerkorbs. Über Temperatursensoren werden die Temperatur des Feuers, die Kerntemperatur und Oberflächentemperatur des Schweins gemessen. Daraus werden dann von einer CNC-Steuerung die Sollsignale für die Motoren generiert. Die Bedienung erfolgt über eine Browserapp, welche über OPC UA an die Steuerung angebunden ist.

In einem aktuellen studentischen Bachelor-Projekt wird die OPC UA Schnittstelle auf die OPC UA Companion Specification für Großküchengeräte umgebaut und ein Digitaler Zwilling des Grills erstellt.

Kontakt:

Sebastian Friedl, M.Sc.
sebastian.friedl@isw.uni-stuttgart.de



LERNPLATTFORM STÄUBLI-ZELLE

ISW EIGENENTWICKLUNG



Knickarmroboter sind heutzutage aus der Industrie nicht mehr wegzudenken. Der Einsatz von Robotern ist in den letzten Jahren zum Trend geworden und die Anzahl der zur Automatisierung eingesetzten Roboter nimmt weiterhin stetig zu. Das Ziel des ISW ist es daher die Studierenden mit dieser zukunftsweisenden Technologie vertraut zu machen.

Die Programmierung und Steuerung von Industrierobotern unterscheidet sich deutlich von der klassischen Steuerungstechnik aus dem Werkzeugmaschinenbereich. Zurückzuführen ist dies auf den besonderen mechanischen Aufbau von Industrierobotern als kinematische Kette. Dadurch ergeben sich Vorteile, wie ein großer Arbeitsraum und hohe Flexibilität durch die somit zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade. Jedoch bringt die Technologie auch steuerungstechnische Herausforderungen, beispielsweise redundante Achsstellungen oder Singularitäten im Arbeitsraum, mit sich.

Um Studierende für die Robotik zu begeistern und gleichzeitig für die damit einhergehenden steuerungstechnischen Problemstellungen zu sensibilisieren, bietet das ISW Praktika zur Roboterprogrammierung an. Hier werden die Studierenden spielerisch aber auch mit wissenschaftlichem Hintergrund an die Herausforderungen der Robotik herangeführt. Für die Praktika stehen den Studierenden am ISW die zwei, in **ABB.1** dargestellten, Stäubli TX-40 Knickarmroboter zur Verfügung. Für die zwei Knickarmroboter werden herstellereigene Steuerungen eingesetzt, die über eine externe Schnittstelle mit einer Beckhoff TwinCAT Soft SPS verbunden sind. Somit lässt sich die gesamte Zelle zentral ansteuern. TwinCAT dient dabei als übergeordnete Steuerungseinheit und kommuniziert über Feldbus mit den Robotersteuerungen. Weiterhin bietet die Lernplattform eine Schnittstelle zu MATLAB/Simulink, womit den Studierenden weitreichende Funktionen und umfangreiche Toolboxes zur Umsetzung eigener Lösungen zur Verfügung stehen. In **ABB.2** ist ein Überblick der beschriebenen Steuerungsarchitektur dargestellt. Die Lernplattform bietet Studierenden somit die Möglichkeit, sich zukünftigen Fragestellungen der Automatisierungstechnik, beispielsweise die Kollaboration von Robotern zu untersuchen, die bestehenden Herausforderungen zu erkennen und aktuelle Problemstellungen praxisnah zu lösen.



ABB.1: Praktikumszelle mit zwei Stäubli TX-40 Knickarmrobotern

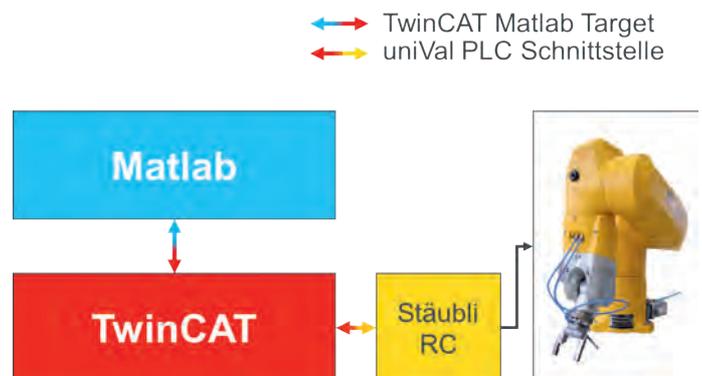


ABB.2: Steuerungsarchitektur der Lernplattform

Kontakt:

Dipl.-Ing. Markus Wnuk
 markus.wnuk@isw.uni-stuttgart.de

Thomas Reichenbach, M.Sc.
 thomas.reichenbach@isw.uni-stuttgart.de

DIENSTLEISTUNGEN FÜR DIE INDUSTRIE



Innovationstage am ISW, Hallenbesichtigung



LAPP IDC Expert Training am ISW

Das ISW kooperiert eng mit Industrieunternehmen zu den am Institut bearbeiteten Forschungsthemen und trägt damit dazu bei, den Transfer der Grundlagenforschung in die Industrie sicherzustellen. Darüber hinaus werden Firmen bei der Umsetzung von Prototypen bis hin zu neuen Produkten durch das Know-How am ISW entsprechend ihrer Anforderungen unterstützt.

Beratung und Entwicklung:

- Entwicklung von Steuerungskonzepten, -architekturen und -algorithmen
- Laufzeitoptimierung von Containerschnittstellen
- Entwicklung und Unterstützung von Kommunikationstechniken und Datenmodellierung (Time Sensitive Networking – TSN, OPC UA, sercos, ProfiNet, EtherCat, ...)
- Sondermaschinenbau für hochdynamische Prozesse
- Erstellung und Optimierung, Modellierung und Simulation
- Beratung zu baukastenbasiertem Engineering
- Konzeption von Steuerungshardware
- FPGA-Lösungen
- Maschinen- und Komponentenoptimierung
- Auslegung von Antrieben
- Innovative Softwarearchitekturen
- Entwurf von Digitalisierungskonzepten
- Einsatz und Optimierung additiver Fertigungstechnik
- Positioniergenauigkeitsuntersuchungen an Antriebssystemen
- Aufbau Digitaler Zwillinge
- Einsatz von Methoden aus „Data Science“ und „Big Data“ bis hin zu Anwendungen der Künstlichen Intelligenz für Produktionsprozesse

- Entwicklung von mechatronischen „Embedded Devices“ in jeder mechanischen Größenordnung und Leistungsklasse der Datenverarbeitung
- Erstellung von Gutachten auf Basis unserer wissenschaftlichen Expertise und Herstellerunabhängigkeit

Schulungen und Seminare:

- Stuttgarter Innovationstage
- Industriearbeitskreis Simulationstechnik
- Ethernet-basierte Kommunikation (OPC UA in der Steuerungs- und Automatisierungstechnik)
- Industriearbeitskreis „TSN for Automation“
- IICTSN Testbed Plugfest
- Hardware-in-the-Loop-Simulation
- Stuttgarter Produktionsakademie
- OPC UA Workshops zu Companion Specifications
- Einführung in OPC UA - Grundlagen zu OPC UA
- Schulung für die Firma Lapp „Industrial Data Communication - Expert Training“

STUTTGARTER INNOVATIONSTAGE



TRENDS UND INNOVATIONEN RUND UM DAS THEMA STEUERUNGSTECHNIK UND DIGITALISIERUNG

Die hohe Skalierbarkeit und der Ressourcenreichtum von Cloud-Plattformen sollen auch für die Steuerungstechnik nutzbar gemacht werden. Dieser Gedanke war 2017 Grundlage der ersten Veranstaltung „Stuttgarter Innovationstage – Steuerungstechnik aus der Cloud“. Inzwischen wird die Veranstaltung jährlich durchgeführt und informiert über die aktuellen Trends und Innovationen rund um das Thema Steuerungstechnik und Digitalisierung.



Stuttgarter Innovationstage 2020 in der Alten Reithalle, Maritim Hotel Stuttgart

Die erste Ausgabe der Stuttgarter Innovationstage im Jahr 2017 wurde als Abschlussveranstaltung des Forschungsprojekts pICASSO (www.projekt-picasso.de) initiiert. Das Projekt beschäftigte sich drei Jahre konkret mit der Umsetzbarkeit industrieller Steuerungsmechanismen aus der Cloud und generierte dabei einiges an Grundlagen und Basiswissen. Ursprünglich als einzeln Veranstaltung geplant, wurden inzwischen drei weitere Veranstaltungen durchgeführt. Initiator dieser Fachkongresse ist weiterhin das ISW, bekannt als eine der universitären Top-Adressen für Steuerungstechnik im Maschinenbau in Deutschland. Den Teilnehmern präsentiert sich jedes Jahr ein breites Themenspektrum zu vielen aktuellen Aspekten und Entwicklungen, die es im Wandel der Digitalisierung für Maschinenbauer und OEMs zu stemmen gilt. Darüber hinaus soll mit den Stuttgarter Innovationstagen der Austausch zwischen Forschung und Industrie gefördert und Inspiration für interdisziplinäre Lösungen und Ideen gegeben werden.

Wurden in den ersten Jahren noch die pICASSO-Demonstratoren aufgebaut, so gibt es inzwischen Führungen durch die ISW-Maschinenhalle, um Demonstratoren aus den zahlreichen Forschungsprojekten vorstellen zu können. Seit den 4. Stuttgarter Innovationstagen stellen nun auch ausgewählte Studenten des ISW ihre Themen bei der ISW Academy Poster Session dem Publikum vor.

Im Laufe der letzten Veranstaltungen wurden zahlreiche innovative Themen wie Blockchain, IT-Security, Künstliche Intelligenz, konvergente Netze beleuchtet und deren Relevanz für den Maschinenbau aufgezeigt. Dabei standen bei den 4. Stuttgarter Innovationstagen am 03. und 04. März 2020 die Themen der Connectivity, des Digitalen Engineering und des Software Defined Manufacturing im Vordergrund. Damit wird auch dem Umstand Rechnung getragen, dass einer der entscheidenden Stellhebel der vierten industriellen Revolution vor allem die Software sowie die Erstellung der Software ist.

Am **02. und 03. März 2021** werden die 5. Stuttgarter Innovationstage wieder in der Reithalle stattfinden und als Schnittstelle und Networking-Plattform zwischen Forschung und Industrie dienen. Bei dieser Jubiläumsveranstaltung sollen die bisherigen Trends fortgesetzt werden und die Themen Software Defined Manufacturing sowie Intelligente Produktion noch stärker in den Fokus rücken. Daneben darf ein Rückblick auf die vergangenen 5 Jahre nicht fehlen.

Nächsten Termine:

02. - 03. März 2021

21. - 23. Februar 2022

Weitere Informationen zur nächsten Veranstaltung finden Sie unter: www.stuttgarter-innovationstage.de.

INDUSTRIEARBEITSKREIS „TSN FOR AUTOMATION“



IHR EFFIZIENTER EINSTIEG IN DIE INDUSTRIE-4.0-BASISTECHNOLOGIE

Neue Technologien und Geschäftsmodelle in der Produktionstechnik fordern eine verbesserte Zugänglichkeit von Informationen auf allen Ebenen der Automatisierungspyramide. Dies erfordert die Verschmelzung von bisher strikt getrennten Kommunikationsnetzen, hin zu sogenannten Konvergenten Netzen. Hierbei teilen sich unterschiedlichste Verkehrsdaten mit sehr heterogenen Anforderungen eine gemeinsame Kommunikationsinfrastruktur. Werden Echtzeiteigenschaften gefordert, ist der bisherige Best-Effort-Ansatz von Ethernet jedoch nicht mehr ausreichend. Time Sensitive Networking (TSN) ist hier die zukünftige Enabling Technology für industrielle Kommunikation wie auch darüber hinaus. Wir begleiten Sie bei der Anwendung von TSN.

Innerhalb der IEEE-Arbeitsgruppe 802.1 wird derzeit eine Sammlung an Standards erarbeitet, welche das Ziel hat, die Kommunikation mittels Standard-Ethernet zeitdeterministisch zu machen. Dies betrifft beispielsweise die Synchronisation unterschiedlicher Teilnehmer, Verfahren zur zeit- und prioritätsgesteuerten Paketverarbeitung, sowie Mechanismen zur Steuerung von entsprechenden Teilnehmern und Ressourcen. Um jedoch konkreten Mehrwert für die industrielle Anwendung zu schaffen, benötigt es mehr als nur die Übertragungstechnologie: Entsprechende Anwendungsstandards, überlagerte Kommunikationsprotokolle, herstellerübergreifende Geräteprofile und auch Migrationsstrategien sind wesentliche Voraussetzung für eine zügige Konvergenz bisheriger Parallelösungen.

Zielsetzung des Industriearbeitskreis „TSN for Automation“ ist die anwendungsnahe, agile Entwicklung von TSN-Anwendungen, eng verknüpft mit OPC UA. Anstatt auf die Finalisierung der Spezifikation zu warten, werden zeitnah Erfahrungen mit der Technologie gewonnen, welche auch wieder an die entsprechenden Standardisierungsgremien zurückfließen. Der Arbeitskreis agiert dabei interdisziplinär sowie hersteller- und branchenübergreifend und verknüpft Akteure aus Technologie sowie Anwendung. Interessenten erhalten dadurch eine neutrale Anlaufstelle vom ersten Konzept bis hin zur zukünftigen Zertifizierung, welche auch stark mit weiteren wesentlichen Initiativen verknüpft ist, wie beispielsweise dem TSN-Testbed des IIC.

Zielgruppen und Beteiligte

- Gerätehersteller
- Komponentenhersteller
- Software-Provider
- Maschinenhersteller
- Anlagenbetreiber
- Netzwerkausrüster



Auftaktveranstaltung „TSN for Automation“ am ISW

Aktuelle Aktivitäten

- Regelmäßige Arbeitstreffen zum Austausch aktueller Entwicklungen
- Bereitstellung einer offenen, Linux-basierten Referenzlösung zum effizienten Einstieg in die Technologie
- TSN-Labor mit entsprechender Kommunikationsinfrastruktur und Messtechnik
- Gemeinsame Akquise von geförderten Forschungsvorhaben
- Vernetzung mit Standardisierungsgremien

Sie möchten die Technologie gerne besser einschätzen oder eigene Entwicklungen mit minimalem Infrastrukturaufwand starten? Kommen Sie gerne auf uns zu.

www.tsn4automation.com

Kontakt:

Dipl.-Ing. Florian Frick
florian.frick@isw.uni-stuttgart.de

TSN-TESTBED



INTEROPERABILITÄT FÜR TSN-BASIERTE AUTOMATISIERUNGSGERÄTE

Time Sensitive Networking (TSN) findet in der Industrie bereits eine breite Anerkennung als Enabling-Technologie für die Produktion der Zukunft. Entscheidende Voraussetzung hierfür ist die Interoperabilität zwischen Geräten verschiedener Hersteller. Um parallele Entwicklungen und verschiedene Interpretationen der Standards vorzubeugen, gibt es ein großes Interesse an einem möglichst frühen Testen verschiedener Geräte in einem gemeinsamen Netz. Den entsprechenden Rahmen hierfür bietet das TSN-Testbed des IICs, welches vom ISW gehostet und betreut wird.



TSN Testbed Demonstrator am ISW



IIC TSN Testbed Plugfest am ISW

Ziel des TSN-Testbeds des Industrial Internet Consortiums (IIC) ist es, Hersteller von TSN-Produkten dabei zu unterstützen, diese zu Testen und dadurch Interoperabilität sicherzustellen. Gleichzeitig soll die TSN-Technologie insgesamt voran gebracht werden und eine Akzeptanz am Markt geschaffen werden. Das Testbed, welches derzeit ca. 35 Firmenmitglieder hat, verfügt neben der Instanz am ISW über eine weitere in Nordamerika.

Das Testbed unterstützt die Teilnehmer mittels verschiedener Aktivitäten:

- **Plugfeste:** Vier bis sechs Plugfeste werden jährlich durchgeführt, bei welchen mehrere Tage lang Geräte gegeneinander und gegen Testequipment getestet werden. Seit Gründung des Testbeds fanden bereits 17 Plugfeste statt.
- **Interoperability Rack:** Um ein kontinuierliches Testen zu ermöglichen, sei es für Langzeituntersuchungen oder für Softwareupdates zwischen den Plugfesten, wird ein Testrack betrieben, welches im Dauerbetrieb arbeitet. Hersteller können ihre Geräte integrieren und anschließend auf diese über einen Remote-Zugang zugreifen. Um die

Analyse zu unterstützen verfügt das Rack über verschiedene Features, wie beispielsweise eine Puls-Per-Second-Messung zur Überwachung der Zeitsynchronisation.

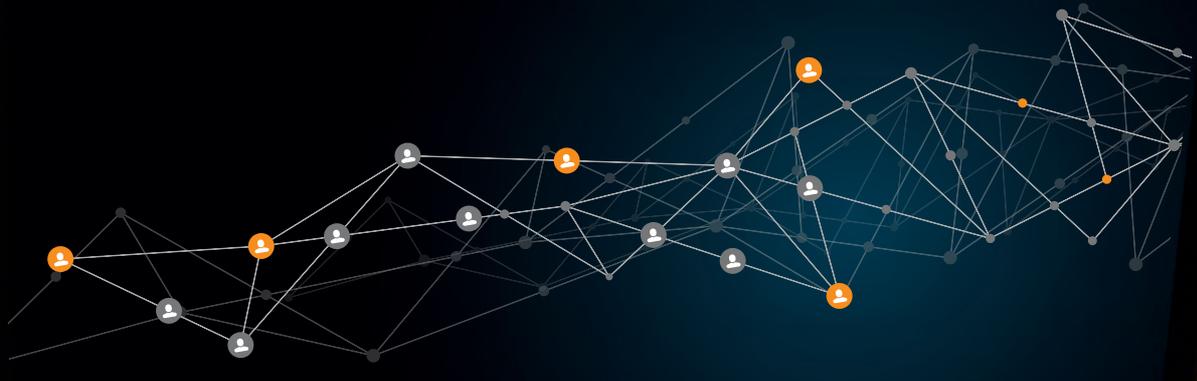
- **Demonstratoren:** Neben den Testaspekten ist das Marketing eine weitere Aufgabe des Testbeds. Hierzu werden gemeinsame Demonstratoren aufgebaut, welche auf einschlägigen Fachmessen ausgestellt werden. Zentrale Botschaft ist hierbei die Interoperabilität von Geräten verschiedener Hersteller.

Bei Interesse steht Ihnen Herr Florian Frick gerne zur Verfügung. Weitere Informationen finden Sie auch unter www.iiconsortium.org/time-sensitive-networks.htm.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Florian Frick
florian.frick@isw.uni-stuttgart.de

spsconnect
The digital automation hub



AUTOMATION GOES DIGITAL

- Trendthemen der Automatisierung
- Hochkarätige Referenten
- Interaktive Expertenrunden
- KI-gestütztes Matchmaking

Werden Sie Teil des digitalen Branchentreffs der
Automatisierungsindustrie vom 24. – 26.11.2020.

Jetzt Ticket sichern!
sps-messe.de/eintrittskarten

50 %
Rabattcode:
SPSXXAZ1

mesago
Messe Frankfurt Group



LEHRE

LERNEN AM MODELL

PRAXISNAHE AUSBILDUNG IN AUTOMATISIERUNGSTECHNIK UND IT

Am ISW wird seit Oktober 2017 verstärkt auf die Integration bzw. das Zusammenwachsen von Produktions- und Office-IT gesetzt. Insbesondere durch die Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 und den daraus resultierenden interdisziplinären Fragestellungen wurde das studentische Applikationslabor, zur Erforschung und Ausbildung dieser Themen, geschaffen.



Der modulare Aufbau der Anlagen ermöglicht eine universelle Nutzung während den Veranstaltungen

Das ISW forscht international an aktuellen Aufgaben der immer bedeutender werdenden Verzahnung von Maschinen und Software-Technik, die in der Steuerungs- und Automatisierungstechnik auch in Industrieprojekten immer mehr zum Tragen kommt. Als Institut der Universität Stuttgart gehören jedoch auch Beiträge zur Lehre zum Aufgabenbereich. Vertiefungen gibt es zur NC-Technologie, Robotik, Medizintechnik sowie diverse Praktika zu Ölhydraulik und Pneumatik, Handhabungstechnik und Kommunikationstechnik. Zudem sind seit dem Sommersemester 2017 Themengebiete der Digitalisierung in der Produktion durch die Vorlesungen „Produktionstechnische Informationstechnologien“, „IT-Architekturen in der Produktion“, „Simulationsgestützte Planung und Auslegung von Produktionsanlagen“ sowie „Data Science in der Produktion“ zum Lehrportfolio des ISW hinzugekommen.

Verzahnung von Theorie und Praxis

Die theoretischen Anteile der Vorlesungen werden von praktischen Übungen begleitet, die an realen Anlagen und

Anwendungsfällen im institutseigenen Applikationslabor durchgeführt werden. Die Räumlichkeiten des Labors waren zuvor ein PC-Pool, ergänzt durch einige Projektarbeitsplätze zur Bearbeitung studentischer Arbeiten oder zur Realisierung von Projektergebnissen. Anfang 2018 wurden die neuen Laborräume mit 22 Arbeitsplätzen eröffnet. Der Fokus lag auf einem möglichst modularen Aufbau mit universeller Nutzung hinsichtlich der durchzuführenden Veranstaltungen. So gibt es nun 22 Laborarbeitsplätze, die jeweils mit Spannungsversorgung, Netzteilen, Sicherheitstechnik und Netzwerktechnik ausgestattet sind. Im gesamten Labor ist ein doppelter Boden verlegt, durch den alle Versorgungs- und Datenleitungen zu modularen Bodentanks geführt werden. So ergibt sich die Möglichkeit, die Anzahl der Laborarbeitsplätze anzupassen oder gegebenenfalls eine andere Raumbelegung und Raumaufteilung zu schaffen. Die Leitungen führen in einen dem Labor zugehörigen Serverraum und sind an eine Netzwerkinfrastruktur angeschlossen. Durch diese Option ist es möglich, einzelne Arbeitsplätze in einer



Mit vernetzten Arbeitsplätzen können komplexe Produktionsbedingungen simuliert werden

beliebigen Netzwerktopologie zu verbinden und durch die Switches zu routen. Es können somit praxis- und industriennahe Netzwerkszenarien einer komplexen Produktionsumgebung dargestellt und untersucht werden.

Zudem ist eine rund vier Quadratmeter große Modellanlage, in Form einer modernen werkstückträgerbasierten Montageanlage, im Applikationslabor installiert. Auf dieser werden Werkstücke in acht verschiedenen Kombinationen montiert und qualifiziert. Die Ansteuerung dieser Anlage basiert auf Industriekomponenten. CPUs, Buskoppler, RFID-Leser, Sensoren und Smart-Kameras sind hier bewusst als Industriekomponenten ausgeführt. Die Werkstückträger sind mit am ISW entwickelten Mikrocontroller-Boards ausgestattet, welche Umgebungsdaten speichern und über WLAN an eine Datenbank senden. Die übergeordnete Verwaltung übernimmt ein ERP-System, das einen Webshop zur Verfügung stellt, indem die Bauteile von den Studierenden exemplarisch bestellt werden können. Durch diese modular erweiterbare Anlage, die teilweise auch wiederum als Grundlage für die studentischen Übungen herangezogen wird, ergeben sich über die festen Übungstermine hinaus Möglichkeiten zur Durchführung von Studienarbeiten, zur Erweiterung der Anlage.

Um Vorlesungen vorzubereiten und neue Techniken für die Übungen bereitzustellen, ist dem Labor ein Vorbereitungsraum angegliedert, der in identischem Umfang, jedoch mit reduzierter Anzahl an Arbeitsplätzen wie das Labor selbst, ausgestattet ist.

Übungen mit Realbezug

Die vorlesungsbegleitenden Übungen behandeln Hard- und Software in der Automatisierungstechnik, Co-Simulation und Visualisierung sowie Cloud- bzw. Data Science-Anwendungen. Dabei weisen alle Übungen einen hohen Praxisanteil auf, in dem die Studierenden Problemstellungen aus der Praxis mit industrieller Soft- und Hardware, eingebettet in praktische Beispielsszenarien, eigenständig bearbeiten können.

In den Übungen zur Data Science Vorlesung werden unter anderem die intelligenten Werkstückträger der Modellanlage verwendet, um über diverse Sensorik Daten der Anlage auszuwerten und im Übungskontext zu visualisieren und zu interpretieren.

Die Modellanlage wurde zudem virtuell als Hardware-in-the-Loop-Simulation umgesetzt. Hierfür wurden die CAD-Daten in eine Simulationsumgebung importiert und können jetzt mit der realen Steuerung verbunden und automatisiert werden. Diese Inbetriebnahme- und Visualisierungsmöglichkeit wird ebenfalls in einer bereits bestehenden Übung für Studierende abgebildet.

Fazit und Ausblick

Eine Erweiterung der Labornutzung stellt die betriebliche Aus- und Weiterbildung dar. In diesem Zusammenhang besteht bereits die Möglichkeit, interessierte Fachkräfte oder Berufseinsteiger in Themen, wie z.B. die praxisnahe Einführung in OPC UA sowie technisch tiefere Einführungen zum Themenbereich „Produktionstechnische Informationstechnologien“ zu schulen. Ziel ist dabei, ein Verständnis für IT in der Produktion zu vermitteln und allen Teilnehmenden die Möglichkeit zu bieten, IT in der Produktion in einem sicheren Umfeld an Modellanlagen, selbst anzuwenden.

Die Rückmeldungen von Studierenden und Projektpartnern sind durchweg positiv und werden häufig durch Diskussionen zur weiteren Nutzung und dem möglichen Mehrwert für die universitäre Ausbildung, aber auch zur industriellen Fort- und Weiterbildung, ergänzt.

Kontakt:

Georg Ziegler
georg.ziegler@isw.uni-stuttgart.de

Tobias Spielmann, M.Sc., M.A.
tobias.spielmann@isw.uni-stuttgart.de

VORLESUNGEN, ÜBUNGEN, PRAKTIKA UND KURSE

Das Institut ist in die Fakultät 7 „Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik“ der Universität Stuttgart integriert und arbeitet in der Forschung schwerpunktmäßig in der Konzeption und Anwendung steuerungstechnischer Mittel zur Automatisierung von Werkzeugmaschinen, Robotern und anderen Produktionseinrichtungen. Im Vordergrund der Arbeiten stehen dabei die Konzeption und Entwicklung von Planungssystemen und Engineeringmethoden, die echtzeitfähige Simulation von Produktions- und Materialflusssystemen, die Konzeption neuartiger, auch cloudbasierter Steuerungsarchitekturen und industrielle Kommunikations-, Antriebs-, Mess- und Regelungstechnik. Der für Studierende daraus abgeleitete Vorlesungsstoff vermittelt die aktuellen, praxisnahen Grundlagen für die industrielle Automatisierungstechnik und ist nicht nur auf Werkzeugmaschinen und Industrieroboter bezogen.



Studierende in der Maschinenhalle des ISW

Wir legen Wert auf die praxisgerechte Erprobung der Ergebnisse. Diese fließen in die Lehre, aber auch in Kurse und Seminare für Ingenieurinnen und Ingenieure aus der Praxis ein. Arbeiten im Rahmen von Industrieprojekten bieten für Sie zudem die Möglichkeit, sich durch persönliche Eindrücke und Kontakte auf ihre zukünftigen Aufgaben besser vorzubereiten.

Haben Sie vor, eine bestimmte Zeit im Ausland zu studieren? Wir haben umfangreiche Kontakte zu Forschungseinrichtungen weltweit und können Sie dabei unterstützen, einen erfolgreichen und zielführenden Auslandsaufenthalt in Ihr Studium zu integrieren.

Das ISW bietet ein umfangreiches Vorlesungs- und Praktikumsangebot in den Bereichen Steuerungs-, Antriebs-, Simulations- und Robotertechnik. Dieses Angebot wurde im letzten Jahr um Vorlesungen mit integrierten Übungen zur simulationsgestützten Planung und Auslegung von Pro-

duktionsanlagen und Datasience in der Produktion erweitert. Studierende des Maschinenbaus, der Mechatronik, der Technischen Kybernetik, der Elektrotechnik und Informatik, aber auch des Technologiemanagements und der technisch orientierten Betriebswirtschaftslehre besuchen diese Veranstaltungen.

Praktika bieten den Studierenden Einblicke und Erfahrungen an realen Maschinen und Anlagen, um das in den Vorlesungen vermittelte Wissen zu vertiefen. Dies umfasst beispielsweise die Programmierung von SPS, das Programmieren von Werkzeugmaschinen und Industrierobotern oder die Einstellung von Achsreglern an Vorschubachsen.

Erfreulich ist der andauernd hohe Zuspruch der Studierenden an den Veranstaltungen, der es dem ISW ermöglicht, die Studierenden auch für studentische Arbeiten (Studien-, Bachelor-, Masterarbeiten, Beschäftigung als wissenschaftliche Hilfskraft) am Institut zu gewinnen.

Vom ISW angebotene Vorlesungen

Vorlesung	WS 18/19	SS 19	WS 19/20
Steuerungstechnik mit Antriebstechnik (Verl)	300	–	290
Zusätzliche Übungen zur Steuerungstechnik (Seyfarth)	210	–	180
Steuerungsarchitekturen und Kommunikationstechnik (Verl / Lechler)	22	–	15
Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter (Verl)	–	120	
Angewandte Regelungstechnik in Produktionsanlagen (Verl)	–	20	
Produktionstechnische Informationstechnologien (Riedel)	–	75	
IT-Architekturen in der Produktion (Riedel)	40	–	70
Simulationsgestützte Planung und Auslegung von Produktionsanlagen (Riedel)	–	15	
Data Science in der Produktion (Riedel)	–	–	15
Modellierung, Analyse und Entwurf neuer Roboterkinematiken I / II (Pott)	10	10	–
Robotersysteme – Anwendungen aus Industrie und Servicerobotik (Koeppel)	–	25	
Robotersysteme – Anwendungen aus der Servicerobotik (Bormann)	40	–	50
Planung von Robotersystemen (Kraus)	10		7
Ölhydraulik und Pneumatik in der Steuerungstechnik (Seyfarth)	–	30	
Automatisierung in der Montage- und Handhabungstechnik (Wolf)	–	40	
Grundlagen der Bionik (Schwarz)	–	30	
Mechatronische Systeme in der Medizin – Anwendungen aus der Rehabilitation und Orthopädie (Schneider)	40	–	40
Steuerungstechnisches Praktikum (Verl / Riedel / Lechler / Seyfarth)	80	20	70
APMB (Allg. Praktikum Maschinenbau) (Verl / Riedel / Lechler / Seyfarth)	50	55	45
C/C++ Kurs (Seyfarth)	20	20	20



Kontakt:

Dipl.-Ing. Michael Seyfarth
 michael.seyfarth@isw.uni-stuttgart.de

ABGESCHLOSSENE STUDENTISCHE ARBEITEN

Eine wertvolle Bereicherung für die Arbeiten des Instituts sind die zahlreichen studentischen Arbeiten. Die Studierenden können dabei hautnah die aktuellen Forschungen der wissenschaftlichen Mitarbeiter unterstützen. Auf Grund der vielfältigen Einbindung des ISWs in unterschiedliche Studiengänge kommen Studierende des Maschinenbaus, der Automatisierungstechnik, der Mechatronik und Technischen Kybernetik aus verschiedenen Semestern zu Studienarbeiten (SA), Bachelorarbeiten (BA) und Masterarbeiten (MA) an das ISW. Die hohe Anzahl an abgeschlossenen Arbeiten zeigt, dass das Institut interessante und innovative Angebote an die Studierenden macht, die von diesen geschätzt und mit großem Engagement umgesetzt werden.

2020

Heer, Silas

Diskrete Rekonfiguration eines parallelen Seilroboters

Cam, Berkay

Konstruktion und Entwicklung eines Mehrfinger-Greifers zur Handhabung empfindlicher Bauteile

Walker, Moritz

Konzeption und Realisierung eines Scheduling- und Ausführungskonzepts für container-basierte Steuerungen

Baier, Michael

Analyse zur prozessübergreifenden Modellbeschreibung von Fabriksimulationen

Steen, Oscar

Optimization of parameter trajectories for machine tools using Reinforcement Learning

Götza, Maureen

Entwicklung einer browserbasierten Visualisierung auf Basis der Game-Engine Unity3D

Keck, Michael

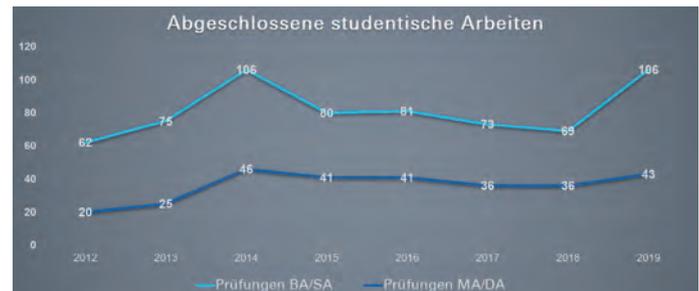
Nutzung von Ergebnissen der Bilderkennung in der Bahnplanung autonomer Fahrzeuge - Evaluierung bestehender Ansätze für fahrerlose Transportsysteme im Logistikbereich

Stanglmeier, Pirmin

Anwendungsfallstudie zur dezentralen Interpolation: Integration von kommerziellen Antriebskomponenten und prototypischen DEVEKOS-Achskomponenten

Baur, Marius

Systematisierung eines komponentenbasierten Model-



lierungsprozesses Digitaler Zwillinge für die virtuelle Inbetriebnahme

2019

Vora, Bhaveshkumar

Klassifikation und Erkennung von Objekten unter Nutzung der Fusion von hochwertigen Merkmalen aus Expertensystemen für die Anwendung in der Roboterwahrnehmung

Drescher, Marcel

Konzeption und Konstruktion einer mobilen Fertigungszelle für kooperierende Robotersysteme

Hüsges, Daniel

Realisierung einer sensorgestützten mobilen Roboterplattform für Logistikanwendungen

Vollmann, Chris

Konzeptionierung und Realisierung einer plattformunabhängigen nachrichtenbasierten Middleware zur benutzerfreundlichen Entwicklung von Smart Services im Rahmen des Shop-Floors

Leckel, Tim

Systematische Weiterentwicklung eines Aufwältgreifers zur Lösung differenter Kunden- und Systemanforderungen

Riedlinger, Marc

Greifen unbekannter Objekte

Wohlleber, Timur

Conception and implementation of a video-based system for automated booking of products in an inventory database

Schwenk, Jochen

Entwicklung und Simulation einer Methode zur optimalen Steuerung von redundanten Werkzeugmaschinen

Wagner, David

Biomechanische Auslegung und modellgestützte Evaluation eines aktiven Schulter-Arm-Exoskeletts zur Unterstützung des manuellen Patiententransfers in der OP-Schleuse

Götzke, Nikolas

Konzeption einer Prozessmodellierung und Implementierung eines Transfersystems für eine modulare assembleereinheit der digitalisierten Batteriezellenproduktion

Sackenreuther, Lisa

Entwurf und Validierung eines Beobachtermodells für die dezentrale Interpolation

Haj Hassine, Firas

Mechanische Konstruktion eines aktiven Exoskelett-Hüftgelenkes für die Unterstützung der unteren Extremitäten beim Gehen

Kesper, Markus

Entwicklung einer Anwendung für die Modellierung von mehrstufigen Produktionssystemen

Zakes, Hannes

Generierung von technischen Dokumenten mit Hilfe von maschinellem Lernen

Trefz, Steffen

Bahnplanung auf zusammengesetzten parametrisierten Flächen

Isleyen, Umut

Methoden der künstlichen Intelligenz zur verbesserten Reibkompensation in Werkzeugmaschinen

Lämmle, Max

Containerbasierte CAM-Werkzeugkette für CNC-Anlagen zur servicebasierten Prozessplanung

Prudlik, Robin

Erweiterung der Algorithmik zur automatischen Generierung topologisch optimierter Bauteile für die Herstellung durch hybride Fertigungsverfahren

Bubeck, Luis

Konzeptionelle Neuentwicklung einer nachgiebigen Antriebseinheit

Zarbali, Emilio

Realisierung einer containerbasierten Simulation für den Montageprozess von Produktvarianten mit Werkzeugen des maschinellen Lernens

Frie, Lennart

Struktursynthese eines parallelen Seilroboters

Reyna, Yuda Leon

Anwendung, Implementierung und Analyse eines Klassifikators zur automatischen Steuerung der Unterstützung körpergetragener Kraftunterstützungshilfen (Exoskeletten) der oberen Extremitäten

Chaibi, Sana

Auslegung einer Siebfunktion und steuerungstechnische Inbetriebnahme auf Basis eines Mikrocontrollers für die Entpackstation eines pulverbasierten 3D-Druckers

Pohl, Dominik

Steuerung eines Strahlformungsmoduls für die Laserbearbeitung

Laage, Georg

Entwicklung eines Frameworks zur Erforschung von Reinforcement Learning Ansätzen im Kontext von CAM-Systemen für CNC-Anwendungen

Adam, Johannes

Bedien- und Steuerungskonzept einer Vorschubregelung für die Zerspanung mit zusätzlicher Werkzeugüberwachung

Jiang, Renxian

Realisierung eines plattformunabhängigen Benchmark-Frameworks für die Performanzanalyse von Automatisierungsprotokollen

Wei, Liu

Bahn- und Trajektorienplanung für Galvanometerscanner in der Laserbearbeitung

Klein, Konrad

Entwicklung eines adaptiven Infill-Generators für die mehrachsige additive Fertigung

Brakowski, Timo

3D-Druck: Offset-Bahnplanung auf parametrisierten Flächen

Wang, Xinjie

Schmutzerkennung für professionelle Reinigungsroboter

Vogel, Josef

Topologieoptimierung eines Lagerbockes hinsichtlich experimentell ermittelter Betriebsbelastungen

Busch, Fabian

Entwicklung und Validierung eines Deep-Learning-Verfahrens zur direkten Bestimmung von Griffpunkten mittels Single-Shot-Detektoren

Xu, Anna

Systematische Literaturrecherche über die Ressourcenplanung im Kontext des Cloud-Manufacturing

Paredes, Ferenc Szenes

Entwicklung eines Anlagenkonzepts für das selektive Laserschmelzen

Koch, Moritz

Entwicklung einer Methodik zur Identifikation dynamischer Kenngrößen am Beispiel eines Industrieroboters

Weiß, Tobias

Entwicklung und konstruktive Integration von hochdynamischer Aktuatorik zur semiaktiven Dämpfung in einem Industrieroboter

Paschke, Udo

Objekterkennung und Posenschätzung für mobile Roboter auf der Grundlage von RGB-D Bildern, Deep Learning und adaptiven lokalen Deskriptoren

Fritz, Ann-Kathrin

Entwurf und Konstruktion einer Plattform mit endloser Rotation für parallele Seilroboter

Breunig, Simon

Wirtschaftliche Einführung der virtuellen Inbetriebnahme durch eine automatisierte Modellgenerierung im Entwicklungsprozess von Sondermaschinen

Burr, Felix

Entwicklung eines OPC UA-Aggregationssystems von Automatisierungsdaten über PLC4X

Binder, Kai

Eine Lösung zur Approximation der Produzierbarkeit unter Verwendung einer CAM-Simulation mittels Deep Reinforcement Learning

El Halimi, Sami

Entwicklung eines cyber-physischen Systems für die Zentrierung von Wellen zur Reduzierung der Unwucht

Schellroth, Florian

Entwurf und Implementierung eines selbstlernenden Verfahrens zur automatisierten Erstellung und Optimierung von Steuerungsprogrammen zur Prozesssteuerung

Hintz, Kevin

Entwurf eines Verschlüsselungsmechanismus für Simulationsbibliotheken und Komponenten

Karahan, Enes

Inbetriebnahme eines parallelen Seilroboters

Altaweel, Abdulghani

Entwicklung und Validierung eines Deep-Learning Verfahrens zur Bestimmung der Robustheit von Griffpunkten für das robotergestützte Greifen

Müller, Johannes

Auswahl und Integration von Sensorik in eine Roboteranlage zur antriebsbasierten Schwingungsdämpfung

Madbouly, Moustafa

Bewegungsschätzung eines mobilen Roboters mit Hilfe von neuronalen Netzen

Rühle, Sophie

Vorgehensmodell zur Bewertung eines Materialflusssystemes anhand eines digitalen Zwillings

Bauer, Christian

Inbetriebnahme eines parallelen Seilroboters

Chen, Jingshan

Wirkungsgradbestimmung von Windensystemen für seilgetriebene Roboter

Löw, Frederik

Entwicklung eines Algorithmus zur Aktivitätserkennung im Bereich Smart Factory mit Ansätzen des maschinellen Lernens

Ziegler, Theodor

Konzeptuntersuchung eines Antriebssystems für die Linearachsen einer 3D-Laserschneidmaschine mit dem Ziel der Dynamiksteigerung

Krawczyk, Daniel

Entwicklung einer Vorsteuerung für laserbasierte Pulverbettverfahren

Dede, Xholjon

Multikriterielle Entscheidungsanalyse zur Bewertung additiver Fertigungsverfahren

Traunecker, David

Entwicklung eines Prozessmodells für Schnappverbindungen zur Anwendung in roboterbasierten Montageoperationen

Ben Mansour, Raed

Quantifizierung von Fehlern und Vergleich verschiedener Methoden der Bahnplanung

Villinger, Moritz

Integration bewegter Hindernisse in einen lokalen Bahnplanungsalgorithmus

Liang, Jiatai

Reibungsbehafteter Materialfluss von plattenförmigen Werkstücken bei der Hardware-in-the-Loop Simulation

Kalmbach, Simon

Planung und Konzeption eines fahrerlosen Transportsystems zur automatisierten Materialversorgung einer Roboterzelle

Jud, Oliver

Entwicklung einer Maschinenkinematik für die mehrachsige additive Fertigung von faserverstärkten Bauteilen im erweiterten FDM-Verfahren

Chi, Haozhuang

Expertensystem zur Bestimmung von Produktionsparametern

Gommel, Sebastian

Sequentielle Kopplung von Simulationstools und umfassende Umsetzung eines Digitalen Zwillings anhand eines Materialflusssystems

Mrzyglod, Stephanie

Analyse und Simulation redundanter Werkzeugachsen

Marquart, Daniel

Plattform für die Abschätzung fertigungstechnischer Randbedingungen in der additiven Fertigung

Alas, Fatih Yusuf

Analyse und Vergleich von Datenmodellen im Kontext des Cloud Manufacturing

Blank, Alexander

Konzeption einer Online-Plattform zum Austausch von Simulationsmodellen zur virtuellen Inbetriebnahme

Derstroff, Michael

Charakterisierung eines pneumatischen Drehantriebs

Gessner, Gernot

Entwurf und Evaluierung eines Blockchain-basierten Marktplatzes für die Economy of Things (EoT)

Wang, Yuanyong

Erstellen von Methoden für die Bahnplanung für ein roboterbasiertes additives Fertigungsverfahren

Brenner, Felix

Untersuchung semiaktiver Dämpfungskonzepte zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Industrierobotern

Mehdi, Nouisser

Standardisierung virtueller Komponenten zum Austausch zwischen Simulations-Anwendern

Schütz, Andreas

Entwicklung einer automatisierten, flexiblen Werkstückaufspannung für roboterbasierte Fertigungszellen

Bayat, Ramin

Aufbau eines Predictive-Maintenance-Modells für mechatronische Komponenten einer Werkzeugmaschine

Lyssenko, Maria

Entwicklung einer Türklinkenerkennungsmethode

Boughattas, Bilel

Prädiktion der Konfiguration von Stückgütern in einer Kiste anhand von synthetischen Sensordaten

Saueressig, Sebastian

Sprachsteuerung für das Sammeln von Anlagendaten über einen Smart Assistant

Ma, Yingpei

Anpassung eines Optimierungsverfahrens zur einfacheren Planung in Produktionsplanungssystemen

Ma, Yue

Realisierung einer CAD/CAM-Kette unter der Verwendung von Reinforcement Learning

Wolff, Arne

Konzeptionierung und Implementierung von kamerabasierten semantischen 3D-Umgebungskarten für mobile Roboter

Kocsis, Peter

Echtzeit-Untersuchung zur dynamischen Simulation von Gelenksystemen

Neumann, Marcel

Softwarearchitektur zur Verwaltung von Maschinendaten mittels OPC-UA

Alhamede, Mohammad

Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche zur Darstellung fertigungstechnischer Randbedingungen in der additiven Fertigung

Sawodny, Julia

Detektion von IT-seitigen Angriffen auf cyber-physische Systeme

Breidoehr, Veronika

Konzeption und Umsetzung einer Octomap-basierten Softwarekomponente zur Erstellung von multi-auflösenden Kollisionskarten für die Bahnplanung von Industrierobotern

Schulze, Christiane

Entwicklung eines Hub- und Fördermoduls für den mobilen Roboter Rob@Work 4.0 zur Automatisierung des Kommissionierprozesses in der Logistik

Oechsle, Stefan

Entwicklung einer webbasierten Plattform für die Analyse von Datensätzen

Neff, Sascha

Literaturrecherche Cloud Manufacturing

Raab, Maximilian

Modellierung und Regelung von Industrierobotern mit flexiblen Gelenken für die spanende Bearbeitung

Jin, Lizhao

Entwurf und Umsetzung einer OPC-UA-PubSub-Kommunikation in ROS 2

Hernandez Leon, Michael Johan

Erzeugung synthetischer Datensätze anhand Game Engines für Deep Learning-Anwendungen in der Robotik

Schöbel, Daniel

Entwicklung eines dezentralen Steuerungskonzepts für die verteilte Interpolation mit autonomen Agenten

Tran, Quoc Dat

Konstruktive Entwicklung und thermische Simulation einer Baukammer für das selektive Lasersintern

Warag, Mouldi

Integration von industriellen Achsen an einem Mehrachs-demonstrator zur verteilten Interpolation

Kalafat, Yalcin

Modeling and simulation of a machine tool with two redundant axes

Löw, Frederik

Datenfusion und Analyse von Sensordaten für komplexe Montagebereiche

Scharpf, Frieder

Entwicklung und Umsetzung eines 6-DOF Pfadfindungs-Algorithmus für die Bewegungsplanung von Industrierobotern

Marx, David

Entwicklung einer Anwendung für die Erfassung von Defekten im Rahmen der Produktionsoptimierung mehrstufiger Prozesse mittels der Gameengine Unity 3D

Ulbrich, Konstantin

Entwicklung eines Maschinenkonzepts zur Laserbearbeitung mittels überlagerter Bewegung von Galvanometer-Scannern und Linearachsen

Bhingaradiya, Shyamkumar

Entwicklung und Implementierung von Machine Learning Ansätzen zur Vorhersage und Vergleich von Zeitreihen

Zhou, Yicun

Entwurf und Umsetzung eines modularen zentralisierten Netzwerk-Controllers für TSN-Netzwerke

Wagner, David

Untersuchung zur Steigerung der Komfort- und Performanceigenschaften der Interaktionsregelung eines Oberkörper-Exoskeletts durch Parameterstudien mit subjektivem Empfinden und der Analyse der muskulären Beanspruchung

Weinhold, Matthias

Untersuchung der Eignung eines photogrammetrischen Messsystems und -prozesses für eine robotergestützte 3D-Messung und eine Roboter-Lokalisation

Schobel, Tim

Entwicklung, Konstruktion und Simulation eines neuartigen, spielfreien Zahnstangen-Antriebs

Yang, Yi

Entwicklung von Algorithmen zur automatischen Generierung strukturierter Bauteilschichten aus den Simulationsergebnissen einer Topologieoptimierung

Steen, Oscar

Reinforcement Learning on a software-in-the-loop simulation to solve cable handling task

Malzoni, Adriano

Entwicklung eines Druckkopfsystems für das mehrachsige Drucken von künstlichem Knorpelgewebe

Braunmiller, Frederik

Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung von Slicing-Freiflächen für die mehrachsige belastungsoptimierte additive Fertigung

Fischer, Marc

Konzeption, Realisierung und Validierung einer nachrichtenbasierten Kommunikation in containerbasierten Steuerungssystemen

Janson, Philipp

Auslegung einer Steuerungs-Architektur für roboterbasiertes Rührreibschweißen

Scholz, Johannes

3D-Druck und Fräsen: Fertigungsplanung und -optimierung für die hybride Fertigung

Schüler, Alexander

Augmented Reality für den Einsatz in der Produktion zur Unterstützung von Maschinenbedienern

Mohammad, Zaki

Entwicklung eines Datenerfassungsmoduls für manuelle Pipettiertätigkeiten

Soydas, Burak

Entwicklung einer Python-Anwendung für den kontinuierlichen Abgleich von Bauteileigenschaften innerhalb mehrstufiger Produktionssysteme

Roffeis, Jonas

Entwicklung einer Python-Anwendung für den kontinuierlichen Abgleich von Bauteileigenschaften innerhalb mehrstufiger Produktionssysteme

Knepple, Andre

Entwicklung einer Python-Anwendung für die Zentrierung von Wellen zur Reduzierung der Unwucht

Vetter, Thorsten

Anwendbarkeit von Collective Decision Modellen aus der Schwarmrobotik auf verteilte Interpolation bei Mehrkomponentensystemen

Philippi, Timo

Konzeption eines kompakten granulatverarbeitenden 3D-Druckkopfes durch Invertierung der Extruderschnecke

Burbulla, Benjamin

Test-Driven-Development als Ansatz für eine selbständige Programmierung von Ablauflogiken mithilfe von Reinforcement Learning

Krank, Torsten

Konzeption eines alternativen Antriebskonzepts eines hochdynamischen Impuls-Zusatzaktors für eine Vorschubachse

Doser, Tobias

Automatisierte Generierung von Reinforcement-Learning Umgebungen und Agenten auf Basis von Hardware-in-the-Loop Simulationsmodellen

Hättinger, Louis

NC-Steuerung über ein neuronales Netzwerk

Eisenhardt, Fabian

Visualisierung von Steuerungslogik zu einem Digitalen Zwilling in einer AR-/VR-Umgebung

König, Thomas

Entwicklung eines Konzepts zur durchgängigen Verwendung von CAD-Modellen bei der Erstellung von digitalen Zwillingen für die virtuelle Inbetriebnahme von Produktionsanlagen

Inderarajah, Jeyakanth

Entwicklung und Erprobung einer modellbasierten Testroutine für die Sicherheitsfunktion Not-Halt in einer I4.0-Anwendung

Kronberger, Nico

Integration des CPX- CMAX in die Festo Automatisierungsplattform – Konzeption und Umsetzung

Reichle, Alexander

Analyse und Vergleich von klassischen und containerbasierten Steuerungssystemen am Beispiel einer Bearbeitungsstraße

Braitmaier, Marcel

Implementierung einer globalen und lokalen Bahnsteuerung zur flexiblen Navigation eines mobilen Roboters in dynamischen Umgebungen auf Basis des Robot Operating System

Vollmer, Marcel

Modellierung und Analyse von Seilrobotern mit endloser Rotation

Neifer, Alexander

Regelung von Produktionsnetzwerken mit variablen Fertigungsgeschwindigkeiten

Edviken, Martin

Development of a framework for a voxel-based path-planning tool

Hofmann, Simon

Entwicklung und Implementierung eines Kalibrierungsverfahrens mittels maschinellem Lernen zur Steigerung der Positioniergenauigkeit von Parallelkinematiken

Hecht-Mijic, Rainer

Modellierung einer Regelung für roboterbasiertes Rührreißschweißen

Greshake, Julius

Ausarbeitung und Vergleich von Regelgesetzen für dämpfende Aktoren in Industrierobotern

Caglar, Ömer

Messtechnische Erfassung und Modellierung der Getriebe- und Strukturelastizitäten in einem robotischen Servoantrieb

Gottschlich, Pascal

Vereinheitlichte Beschreibung von Industrie 4.0 Systemarchitekturen in der Produktion

Lamaj, Denis

Evaluation von Bahnplanungsalgorithmen für einen Industrieroboter

Chen, Jianghao

Modellanalyse von Werkstücken zur Greifpunktbestimmung für Handhabungssysteme

Albus, Marcel

Deep Reinforcement Learning Architectures for safety behavior in robotics

Steinle, Philipp

Entwicklung einer Architektur für die hochdynamische und offene Steuerung von Galvanometerscannern zur Realisierung einer intelligenten Regelung von Bahn- und Prozessparametern

Epple, Fabius

Fertigungsgerechte Konstruktion eines Design-Robotergehäuses

Gommel, Sebastian

Evaluierung von Partikelsensoren mittels verschiedener Messszenarien für Reinraumanwendungen in der Produktzertifizierung

Henke, Achim

Konzeptionierung einer Testumgebung für produktionsnahe Konnektoren

Ishac, Joseph

Implementierungsstudie zur Verteilung von Interpolationsalgorithmen für Überschleifen und Lookahead in Mehrkomponentensystemen

Li, Yan

Kraft-/Drehmomentsensorik eines 3D-Druckers mit Seilkinematik

Zimmermann, Tobias

Intuitives Bedienkonzept zur verbesserten Interaktion mit Digitalen Zwillingen

Helmstädter, Sven

Evaluierung eines Konzepts zur Konfiguration von TSN-Netzwerken

Leckel, Tim

Smart Centering - Entwicklung einer Webanwendung zur intelligenten Ausrichtung rotationssymmetrischer Bauteile

2018

Ye, Zhongyi

Kopplung mehrerer Simulink-Echtzeit-Simulationen: Schnittstelle zur Kommunikation für die verteilte Interpolation mit industriellen Linearachsen

Sonntag, Jan

Algorithmische Unterstützung bei der Auswahl eines Fertigungsverfahrens

Yang, Yiwen

Entwicklung einer Simulationsumgebung zur SiL- und HiL-Simulation paralleler Seilroboter in ISG virtuos

Peschel, Kjell

Analyse und Realisierung einer SPS-Code-Generierung auf Basis von durch Reinforcement Learning erzeugter Steuerungslogik

Berth, Matthias

Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur Verwendung von Generative Adversarial Networks für die Generierung interpolierter Bahnkurven

Sun, Yuesheng

Reconfigurable kinematics - a framework to automatically generate forward- and backward transformations for basic kinematic structures

Sönmez, Mehmet-Ali

Konzept zum automatisierten Ableiten von Beschreibungsmodellen aus Maschinendaten am Beispiel von Spritzgießmaschinen

Hupfaut, Florian

Algorithmische Unterstützung bei der Auswahl eines Fertigungsverfahrens

Scheiffele, Jonas

Belastungsgerechte Bahnplanungsstrategie im mehrachsigen FDM-Verfahren unter Verwendung FEM-ermittelter Spannungsfelder

Jakob, Michael

Position and Force Control with Redundancy Resolution for Mobile Manipulators

Eilers, Jan

Greifplanung in der Montagetechnik

Kienzlen, Annika

Einsatz eines Kalman-Filters zur Prädiktion von Koppelsignalen

Sandler, Jonathan

Entwicklung einer Methodik zur Integration von Reinforcement Learning als Ansatz zur autonomen Steuerungsprogrammierung

Naramsen, Dinkha

3D-Druck: Erkennung und Schätzung von Verzug

Falch, Tobias

Entwicklung und Bewertung von Testszenarien für lokale Bahnplanungsalgorithmen für ein fahrerloses Transportfahrzeug in ROS/Gazebo

Huang, Dawen

Umfassende experimentelle Untersuchung des Kraft-Dehnungs-Verhaltens von Dyneema-Faserkabeln

Müller, Bernd

Implementierung einer adaptiven Verspannungsstrategie an einem Zahnstange-Ritzel-Versuchsstand

Bubeck, Wolfgang

Entwicklung einer Steuerungsarchitektur für Extrusionswerkzeuge in CNC-Steuerungen

Böhl, Ralf

Arbeitsraumoptimierung eines seilgeführten 3D-Druckers

Lozano Corredor, Danny Leonardo

Arbeitsraumanalyse und Bewegungsoptimierung einer Leichtbauroboterkinematik für eine Rehabilitationsanwendung

Zareba, Jessica

Fehlertolerante Regelung für ein pneumatisches Stellsystem in der Prozessindustrie

Schnabel, Benjamin

Entwicklung eines Konzepts zur Simulation der

thermo- mechanischen Vorgänge des selektiven Lasersinterprozesses

Wenger, Thomas

Konzeptionierung und Konstruktion eines nachgiebigkeitsgeregelten Greifers auf Basis von Formgedächtnisaktoren

Weiß, Christopher

Optimierung und Inbetriebnahme eines Faserdruckkopfs für eine 7-Achs-Anwendung zum faserverstärkten 3D-Druck

Odehnal, Florian

Simulationsgestützte Untersuchung der muskuloskelettalen Entlastungswirkung eines Oberkörper-Exoskeletts anhand eines Trageszenarios mit dem AnyBody-Modeling-System

Böhm, Daniel

Inbetriebnahme und Vermessung einer Modell-Werkzeugmaschine

Poppe, Benjamin

Entwicklung einer Arbeitsplattform für einen seilgetriebenen 3D-Drucker

Brovkina, Daniella

Analyse von Techniken aus dem Bereich des Model Based Systems Engineering für die Planung und Auslegung vollautomatisierter Montagelinien

Riedlinger, Philipp

Quantitative Untersuchung unterschiedlicher Blockchain-Technologien

Djuric, Marko

Grafische Umsetzung eines Digitalen Zwillings für Produktionsanlagen

Herczeg, Tobias

Entwicklung eines Konzepts zur Beschreibung des Soll-Zustands von Bauteilen für die automatisierte Verarbeitung in mehrstufigen Produktionssystemen

Mayer, Yannick

Entwurf einer Python-Schnittstelle zur skriptbasierten Ausführung von Methoden im GESI-Server

Baumeister, Fabian

Querkraftminimale Bahnplanung für den Einsatz in der Handhabungstechnik mit Industrierobotern

Almeida, Raphael Kusumoto

Bahn- und Trajektorienoptimierung für nichtholonome Systeme

Tandler, Tobias

Entwicklung eines Druckkopfes zur kollisionsarmen FDM-Mehrachsbearbeitung

Neumann, Richard

Automatisierte Generierung von Reinforcement-Learning-Umgebungen von Simulationsmodellen

Schneider, Anja

Modellierung und Simulation elastischer Deformationen weicher Objekte unter dem Ansatz eines Feder-Masse-Dämpfer-Modells

Kükenhöhner, Florian

Entwicklung einer Funktionseinheit für die Erfassung und Kalibrierung der geometrischen Parameter eines seilgetriebenen 3D-Druckers

Richter, Tim

Quantitative Bewertung verschiedener Methoden zur Datenverarbeitung in der Produktion anfallender Daten mithilfe einer Distributed Ledger-Technologie

Chu, Uyen Thi To

Konzeption eines Objekterkennungs-Algorithmus von chaotisch gelagerten Stückgütern in einer Kiste

Herzig, Armin

Entwicklung eines Konzepts zur Inline-Prozesssteuerung für das selektive Lasersintern

Rost, Kilian

Industrie 4.0: Steuerungstechnik von Werkzeugmaschinen am Beispiel von Turbinengehäusen bei der Daimler AG

Rosenstengel, Markus

Entwicklung eines Anlagenkonzepts für hybride Arbeitsplätze

Wörner, Veit

Modellbildung und Echtzeit-Simulation additiver Fertigungsprozesse

Holzapfel, Andreas

Entwicklung einer modularen Aufhängung für das Druckwerkzeug eines seilgetriebenen 3D-Druckers

Weidmann, Daniel

Anwendung, Implementierung und Analyse eines Bewegungsmustererkennungsverfahrens für den Einsatz in körpergetragenen Kraftunterstützungshilfen (Exoskelette) der oberen Extremität

Christmann, Nils

Abweichungserkennung vom Normalzustand zur Fehlerprognose am Beispiel eines mobilen Serviceroboters

Frischeisen, Kilian

Entwicklung eines Web-Services zur Berechnung und Bereitstellung fertigungstechnischer Randbedingungen additiver Verfahren im Kontext der Mass Personalization

Medek, Michael

Entwicklung einer Methode für die geschlossene und kontinuierliche Darstellung des translatorischen Arbeitsraumes eines parallelen Seilroboters

Reich, Jennifer

Synchronisationsmechanismen für die parallelisierte Systemsimulation

Steidle, Adrian

Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche für die Erfassung von Defekten im Rahmen der Produktionsoptimierung mehrstufiger Prozesse mittels der Gameengine Unity3D

Hernando, Sandra

Entwicklung von Strategien und Lösungen zur Vermeidung von Fehlerentstehung und Fehlerfortpflanzung in mehrstufigen Produktionssystemen

Klingel, Lars

Untersuchung von Standards zum Modellaustausch für die virtuelle Inbetriebnahme mit digitalen Zwillingen

Fischer, Marc

Konzept für Deployment zur Datenübertragung in produktionstechnischen Applikationen am Beispiel 5G

Wang, Xiaoguo

Anbindung eines Serviceroboter-Frameworks an ein OPC UA Backend

Graser, Christian

Entwicklung eines Diagnosewerkzeugs für die Echtzeit-Kommunikation in TSN-Netzwerken

Tjardes, Ole

Implementierung eines simulierten Feder/Dämpfer-Modells für die automatisierte Layout-Generierung in sicheren Mensch-Roboter-Applikationen

Kisurin, Valeri

Entwicklung eines Tools zur Identifikation von Geometrieabweichungen in mehrstufigen Produktionssystemen

Wizl, Jens

Auswirkungen von Uhrensynchronisationsverfahren auf Regelalgorithmen im Kontext drahtloser Kommunikation

ABGEHALTENE PRÜFUNGEN

Zum Lehrbetrieb am ISW gehört auch das Abhalten von Prüfungen. Diese Aufgabe, die für das Institut eine nicht unerhebliche Arbeitsbelastung bedeutet, beinhaltet das Erstellen der Aufgaben, die Beaufsichtigung der Prüflinge und die anschließende Korrektur der Klausuren. Im Prüfungszeitraum sind zahlreiche Mitarbeitende in diese Tätigkeiten eingebunden.

Prüfung	Herbst 2018	Frühjahr 2019	Herbst 2019	Frühjahr 2020
Steuerungstechnik mit Antriebstechnik	105	307	115	260
Steuerungsarchitekturen und Kommunikationstechnik	3	20	1	15
Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter	104	28	99	37
Angewandte Regelungstechnik in Produktionsanlagen	18	–	17	–
Produktionstechnische Informationstechnologien	33	10	76	8
IT-Architekturen in der Produktion	18	37	30	55
Simulationsgestützte Planung und Auslegung von Produktionsanlagen	–	–	8	–
Data Science in der Produktion	–	–	–	7
Modellierung, Analyse und Entwurf neuer Roboterkinematiken I / II	10	3	7	–
Robotersysteme – Anwendungen aus Industrie und Servicerobotik	35	3	20	–
Robotersysteme – Anwendungen aus der Servicerobotik	5	41	1	35
Planung von Robotersystemen	–	10	1	16
Ölhydraulik und Pneumatik in der Steuerungstechnik	27	5	32	4
Automatisierung in der Montage- und Handhabungstechnik	39	16	50	9
Grundlagen der Bionik	35	5	25	3
Mechatronische Systeme in der Medizin – Anwendungen aus der Rehabilitation und Orthopädie	5	25	3	30

EXKURSIONEN FÜR STUDIERENDE

Wir freuen uns, interessierten Studierenden mehrmals im Jahr Werksführungen bei innovativen Firmen der Umgebung und Besuche auf Fachmessen anzubieten. Diese beliebten Busausfahrten fördern den Kontakt der angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure untereinander und ermöglichen hautnah Einblicke in unterschiedliche Produktionsabläufe und aktuelle technische Entwicklungen.

Eintägige Exkursion am 27.11.2019 nach Nürnberg auf die **SPS smart production solutions**, eine der weltweit größten Messen im Bereich der Automatisierungstechnik.



Eintägige Exkursion am 18.04.2019 zum **Audi Werk** Neckarsulm.



AUSZEICHNUNGEN

Das Institut zeichnet herausragende studentische Arbeiten und Leistungen durch Auslobung von Preisen aus.

Der **Professor-Günter-Pritschow-Preis** und der **Professor-Alfred-Storr-Preis** werden für exzellente studentische Arbeiten verliehen (gesponsert von der Gottfried Stute Stiftung).

Die feierliche Verleihung findet alljährlich an der Weihnachtsfeier des Institutes statt.



Studierende aus dem 3. Semester entwickeln im Rahmen einer Projektarbeit am Institut einen Tischkicker-Spieler, der einen in Echtzeit simulierten Tischkicker steuert.

Als Höhepunkt der Veranstaltung treten die virtuellen Spieler der Studententeams am Ende des Semesters in einem Turnier gegeneinander an.



Die Siegermannschaft erhält einen Gutschein (gesponsert vom Verein der Freunde des ISW)

Das Gewinner-Team nach dem gemeinsamen Kartfahren am 31.05.2017

SONSTIGE STUDENTISCHE VERANSTALTUNGEN

Das Institut pflegt den Kontakt zu seinen Studierenden durch vielfältige Veranstaltungen und Angebote. Auch die zahlreichen wissenschaftlichen Hilfskräfte tragen zum aktiven Institutsleben bei.



Mentoring für die Erstsemesterler am ISW



Besichtigung der ISW-Versuchsfelder mit anschließendem gemütlichen Beisammensein

Mentoring

Zielgruppe sind die Studienanfänger, die in ihren ersten Semestern Unterstützung im „Einleben und Eingewöhnen“ an der Universität erhalten sollen. Über Informationsveranstaltungen, das Angebot von Tutoren und Mentoren und das Arbeiten in kleinen Gruppen (ca. 20 Studierende) wird das gegenseitige Kennenlernen und Bilden von Lerngruppen gefördert.



Studenten-Hocketse mit Grillen im Hof des ISW

Hallenbesichtigungen

Besonders wichtig für die Studierenden ist der Einblick in die aktuellen Forschungs- und Arbeitsgebiete des Instituts. Die Maschinen und Anlagen in der Halle beeindruckten viele Studierende und begeistern sie so für eine Mitarbeit am Institut.



Sommerliche Grillabende

Damit sich die Studierenden der „ISW-Familie“ angeschlossenen fühlen und sich gegenseitig über Jahrgangsgrenzen hinweg besser kennenlernen und vernetzen können, bietet das ISW Grillabende und Hocketsen an.





ViKick-WM

Im Rahmen einer Projektarbeit dürfen die Studierenden an realen SPS, gekoppelt mit einer Echtzeitsimulationsumgebung, einen virtuellen Tischkicker programmieren. Der Schwerpunkt liegt in der Implementierung der Spielertaktik und Spielintelligenz. Den Abschluss des Projekts bildet eine ViKick-WM, in der die Mannschaften gegeneinander antreten, um einen Pokal und einen Gutschein zu einem gemeinsamen Event wie Paintball oder Kartfahren zu gewinnen.



Automatisierter Spanferkelgrill

Bei der Projektarbeit „Automatisierter Spanferkelgrill“ geht es um die Entwicklung eines vollautomatischen Spanferkelgrills. Unter anderem kann der Grillfortschritt in einer APP überwacht werden und damit die Entfernung des Spanferkels zum Feuer automatisch eingestellt werden.



Girlsday – Mädchen-Zukunftstag an der Uni Stuttgart

Zahlreiche Institute und Einrichtungen bereiten spannende und verblüffende Aktionen für Schülerinnen aus Stuttgarter Gymnasien vor, um zu zeigen, dass Experimentieren, Forschen und Bauen nicht nur etwas für Jungs ist! Dabei gibt es Veranstaltungen für unterschiedliche Altersgruppen. Neben der Möglichkeit, die Uni von innen zu erleben, werden faszinierende Einblicke in die Arbeit von Natur- und Ingenieurwissenschaftlerinnen sowie die seltene Chance geboten, auch selbst aktiv zu werden.

Am ISW findet eine Maschinenhallenrallye statt und jede Schülerin kann einen Schlüsselanhänger mit selbstentworfenem Motiv und dazu selbstgeschriebenem NC-Programm herstellen.



ISW ACADEMY

Wir haben es uns zum Ziel gemacht, gute Studierende mit Interesse an Steuerungs- und Automatisierungstechnik während ihres Studiums zu unterstützen und zu fördern und gründeten zu diesem Zweck die ISW Academy.



Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=cXJBWYXXZKM>



ISW Academy Informationsabend zu Auslandsaufenthalten

Wir kümmern uns um jegliche studentische Anliegen. Falls Ihr auf der Suche nach einem geeigneten Praktikumsplatz seid, helfen wir Euch gerne mit unseren Firmenkontakten weiter.

Oder Ihr habt Lust, Eure Kenntnisse im Ausland weiter auszubauen? Dank unseren Kontakten in der ganzen Welt finden wir sicher einen geeigneten Platz für Euch. Auch in Sachen Stipendiensuche stehen wir Euch beratend zur Seite.

Bei regelmäßigen Events wie Exkursionen zu Industrieunternehmen wie HAFNER und Messebesuchen, wie beispielsweise auf der EMO Hannover oder der SPS, könnt Ihr Euch außerdem mit ehemaligen Mitarbeitern des ISW und Leuten aus der Industrie austauschen und Kontakte knüpfen. Externe Trainer bieten Euch eine Schreibwerkstatt und Rhetoriktraining an, wodurch Ihr Euch weiterbilden könnt.

Falls Ihr also spannende Arbeit sucht, bei der Ihr Euer Wissen erweitern und die trockene Theorie endlich anwenden könnt, dann meldet Euch bei uns und wir finden gemeinsam ganz bestimmt das Richtige für Euch.

Und was bei uns natürlich nicht zu kurz kommen darf sind die spaßigen Ausflüge und Veranstaltungen, an denen Ihr als exklusives Academy-Mitglied teilnehmen könnt. Sei es mit einem Maß auf dem Wasen, beim Spanferkelgrillen oder bei einem interessanten Industry-Students-Come-Together mit einem Referenten aus der Industrie.

Steuerungstechnik kann „mehr“!



Du willst Mitglied der ISW Academy werden?

Wenn Du Lust hast ein Mitglied der ISW Academy zu werden, dann schreibe uns einfach eine E-Mail mit Deinem Namen, Studienfach und Studiumsbeginn, Deinem Lebenslauf und einer kurzen Beschreibung was Du bereits mit dem ISW zu tun hattest an:

academy@isw.uni-stuttgart.de

Wir freuen uns auf Deine Bewerbung!



ABGESCHLOSSENE DISSERTATIONEN

In der Reihe „ISW/IPA Forschung und Praxis“ erschienen abgeschlossene Dissertationen, herausgegeben bis Band 57 von Prof. G. Stute, ab Band 58 von Prof. G. Pritschow und von Band 161 bis Band 192 von Prof. A. Verl. Seit 2013 werden die ISW-Dissertationen im Fraunhofer Verlag Stuttgart in der Reihe „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ publiziert.



2020

ONLINE-BEWEGUNGSPLANUNG FÜR ZWEIARMIGE INDUSTRIEROBOTER

Beuke, Felix

Der Trend zu einer immer weitergehenden Individualisierung von Endkundenprodukten stellt die Domäne der Fertigungsautomatisierung vor eine Reihe von Herausforderungen. Eine dieser Herausforderungen betrifft die notwendige Flexibilität der eingesetzten Fertigungsmittel. Konnte eine automatisierte Fertigungsanlage in herkömmlicher Fertigung noch auf mehrere Jahre im Dauerlauf hin entworfen, projektiert und finanziert werden, so erfordert die Fertigung kundenindividueller Produkte eine vielfach erhöhte Variantenvielfalt und auf diese angepasste, kurzzyklische und flexible Fertigungsprozesse. Mit den geforderten geringeren Einzelstückzahlen und kürzeren Produktlaufzeiten geht eine Unsicherheit einher, die den Einsatz von Investitionsmitteln für hochspezialisierte Anlagen zunehmend unrentabel macht. Die eingesetzten Fertigungsmittel müssen deshalb bei Änderungen oder einem Wechsel des gefertigten Produkts möglichst flexibel weiterverwendbar sein. Vor diesem Hintergrund hat die kollaborative Industrierobotik, bei der Roboter und Mensch auf engem Raum und ohne Schutzzaun zusammenarbeiten, in den letzten Jahren einen Boom erfahren. In diesem Rahmen wurde auch die Entwicklung zweiarmiger Roboter vorangetrieben. Geräte von diesem Typ vereinen zwei Roboterarme in humanoider Anordnung an einem Oberkörper und decken dadurch potenziell eine Palette von Fähigkeiten ab, die bisher nur bei menschlichen

Mitarbeitern vorhanden ist (z.B. zweiarmiges Handling, schnellere Arbeitsausführung durch Parallelarbeit). Gleichzeitig bringt die enge Anordnung der beiden Arme Probleme bei der Geräteapplikation mit sich, die die Vorteile der gesteigerten Flexibilität in vielen Fällen wieder zunichtemachen. Mit herkömmlichen Programmierverfahren ist es aufgrund der nah aneinander liegenden Arme komplex und zeitaufwendig, koordinierte und kollisionsfreie Bewegungen zu programmieren. Um die Applikation zweiarmiger Industrieroboter zu erleichtern und die flexible Anwendbarkeit derartiger Geräte zu sichern, entwickelt die vorliegende Arbeit einen Bewegungsplaner und eine zugehörige Steuerungsarchitektur für Zweiarmroboter. Gemeinsam entlasten diese den menschlichen Programmierer von der Pflicht, die Kollisionsfreiheit auf Basis einer exakt spezifizierten zeitlichen Synchronisation der Arme sicherzustellen und führen dadurch zu einer deutlichen Komplexitätsreduktion bei der Applikation zweiarmiger Industrieroboter. Darüber hinaus ermöglicht das entwickelte Steuerungskonzept den Einsatz automatisierter Planer auf höheren Abstraktionsebenen.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2020

*Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 98
ISBN 978-3-8396-1561-4*

ADAPTIVE VERSpannung von ZAHNSTANGE-RITZEL-ANTRIEBEN

Engelberth, Tim

Zahnstange-Ritzel-Antriebe werden insbesondere in großen Werkzeugmaschinen als Vorschubantriebssysteme einge-

setzt. Um das Umkehrspiel im Antriebsstrang zu kompensieren und damit die Genauigkeit zu erhöhen, werden elektrisch verspannte Zahnstange-Ritzel-Antriebe genutzt. Der aktuelle Stand der Technik macht keine eindeutigen Angaben über die minimal für die Kompensation des Umkehrspiels benötigte Verspannung. Auch ist nicht geklärt, in welchen Systemzuständen die Verspannung deaktiviert werden kann, ohne die Genauigkeit zu beeinflussen. Dies führt zu einem ineffizienten Betrieb des Antriebssystems.

Um den Energiebedarf und die mechanische Belastung der verspannten Antriebe zu minimieren, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit die sogenannte Minimalverspannung definiert. Diese beschreibt den Verspannungsbetrag, der minimal für die Kompensation des Umkehrspiels und somit für den Erhalt der Genauigkeit notwendig ist. Darauf aufbauend wird ein Algorithmus zur Anpassung der Verspannung während des Betriebes entwickelt, die so genannte adaptive Verspannung. Es wird gezeigt, dass die adaptive Verspannung eine Reduzierung der mechanischen Belastung um bis zu 14 % und eine Reduzierung des Energiebedarfs um bis zu 3 % erzielt, ohne die Genauigkeit des Antriebssystems zu beeinflussen.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2020

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 96

ISBN 978-3-8396-1542-3

2019

PLATTFORM ZUR ECHTZEIT-CO-SIMULATION FÜR DIE VIRTUELLE INBETRIEBNAHME

Scheifele, Christian

Im Entwicklungsprozess neuer Produktionsanlagen werden heute im Maschinen- und Anlagenbau abgestimmte Simulationen in verschiedenen Ausprägungen eingesetzt, um die Prozesse zu beschleunigen und die Qualität bei gleichzeitiger Kostensenkung zu erhöhen. Im Entwicklungsprozess kommen Simulationen zur virtuellen Inbetriebnahme von industriellen Steuerungssystemen, im Speziellen im Rahmen der Hardware-in-the-Loop-Simulation, zur Anwendung.

Für eine umfassende virtuelle Absicherung und Auslegung von Produktionsanlagen müssen die Wechselwirkungen zwischen Prozess, Maschine, Steuerungssystem und Bediener durch die Virtualisierung abgebildet werden.

Diese Arbeit untersucht die Steigerung der Aussagekraft virtueller Produktionsanlagen für eine umfassende virtuelle Absicherung und Auslegung im Rahmen einer virtuellen Inbetriebnahme. Ziel der Arbeit ist die Konzeption die Entwicklung einer Plattform zur Echtzeit-Co-Simulation für die Hardware-in-the-Loop Simulation, welche die zur Modellberechnung nutzbare Rechenleistung auf Basis einer parallelisierten Echtzeitberechnung in einer Co-Simulationsarchitektur steigert.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019, Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 95, ISBN 978-3-8396-1534-8

DYNAMIK PARALLELER SEILROBOTER MIT ELASTISCH-FLEXIBLEN, LÄNGENVERÄNDERLICHEN SEILEN

Tempel, Philipp

Parallele Seilroboter sind eine spezielle Ausführung paralleler Manipulatoren, bei denen prismatische Antriebe durch elastische und flexible Kunststofffaserseile ersetzt werden. Das Ersetzen der bewegungs- und kraftübertragenden Komponenten impliziert jedoch drastische Auswirkungen auf Kinematik und Dynamik der Roboter. Seile sind nicht nur spürbar leichter als prismatische Antriebe, sie sind auch elastischer und flexibler, was sich beim Spannen eines Seils zwischen zwei Punkten zeigt: Seildurchhang durch Eigengewicht des Seils ist unvermeidbar. Beide Eigenschaften - Elastizität und Flexibilität - von Faserseilen machen den Betrieb von Seilrobotern herausfordernder als von Manipulatoren mit starren Antrieben bekannt. In dieser Arbeit wird besonderer Fokus auf die Dynamik paralleler Seilroboter gelegt, unter expliziter Berücksichtigung der Seile und ihrer räumlichen und axialen Dynamik. Für Entwurf und Steuerung dieser Roboter wird ein vollständiges Mehrkörpermodell aus Plattform und Seilen hergeleitet, welches die räumliche Seilbewegung durch die Cosserat-Balkentheorie beschreibt. Auf Basis dieser Theorie der klassischen Mechanik können große elastische Verformungen wie Dehnung und Biegung beschrieben werden, was ein Formulieren der Seilbewegung im Raum ermöglicht. Bewegungsgleichungen werden mittels Rayleigh-Ritz-Ansatz diskretisiert, um das Kontinuum "Seil" in eine endlich-dimensionale Form zu überführen. Referenzmodell zur Bewertung der Güte des Seil- und Robotermodells ist die klassische Balkentheorie ebenso wie etablierte Methoden der Roboterkinostatik und der Seilkraftverteilungsalgorithmen. Numerische Ergebnisse der Roboterdynamik erfolgt mit einem energie- und impulserhaltenden mechanischen Integrator für Mehrkörpersysteme. Die axiale Seildynamik, d. h. Kraft und Dehnung, von Kunststofffaserseilen zeigt hysteretisches und nichtlineares Verhalten auf, das durch eine rein lineare Feder nicht dargestellt werden kann. Ein analoges Kraftdehnungsmodell wird auf Basis experimenteller Untersuchungen entwickelt, welches auf mehreren Federn und Dämpfern basiert und das hysteretische Verhalten und die auftretende Spannungsrelaxation gut erfasst. Elastische und viskose Materialparameter werden durch die Identifikation der Übertragungsfunktion bestimmt. Beide Beiträge liefern gültige Modelle zum Einsatz in der Modellierung, Simulation und Steuerung paralleler Seilroboter.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 94

ISBN 978-3-8396-1536-2

PRÄDIKTIVE UND KOOPERATIVE LOKALE BEWEGUNGS- PLANUNG: EIN BEITRAG ZUR VERNETZTEN NAVIGATION VON MOBILEN ROBOTERFLOTTEN IN INDUSTRIELLEN ANWENDUNGEN

Garcia Lopez, Felipe

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie Flotten von mobilen Robotern in industriellen Anwendungen von vernetzten Architekturen profitieren können und wie sich daraus kooperative Lösungen zur Steigerung der Navigationsqualität generieren lassen. Ein besonderer Fokus der Arbeit liegt dabei auf dem Aspekt der lokalen Bewegungsplanung. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung und Umsetzung eines Verfahrens zur prädiktiven und kooperativen lokalen Bewegungsplanung, welches den Robotern zur Laufzeit ermöglicht, bevorstehende Kollisionen mit anderen Robotern zu erkennen und kooperativ aufzulösen.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 93

ISBN 978-3-8396-1531-7

METHODE ZUR FLEXIBILISIERUNG DES ENERGIEVER- BRAUCHS VON AUTOMATISCHEN HOCHREGALLAGERN

Voss, Michael

In dieser Arbeit wird eine Methode entwickelt, um den Energiebedarf eines automatischen Hochregallagers zu flexibilisieren. Die Flexibilisierung des Energieverbrauchs erfolgt durch eine Lagerstrategie, die es ermöglicht den Energiebedarf des Lagers an der Energiebörse in der Day-Ahead-Auktion zu beziehen und einer synchronisierten Bewegungsstrategie der Regalbediengeräte zur Vermeidung von elektrischen Lastspitzen, um Energiekosten zu senken.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 92

ISBN 978-3-8396-1526-3

UNTERSUCHUNG VON MESSGLIEDERN ZUR ERFAS- SUNG DER REGELGRÖSSE BEIM ERWÄRMEN FÜR DAS THIXOSCHMIEDEN

Gerlach, Oliver

Diese Dissertation befasst sich mit der Untersuchung von Messgrößen und -verfahren zur indirekten Erfassung des Flüssigphasenanteils, welcher die Regelgröße beim Erwärmen für das Thixoschmieden, einem Formgebungsverfahren im teilflüssigen Bereich, darstellt. Bislang fehlt ein geeignetes Verfahren, weshalb eine geregelte Erwärmung für das Thixoschmieden bisher nicht möglich ist. In dieser Arbeit wird eine Übersicht über Messgrößen und -verfahren zur indirekten Erfassung der Regelgröße während der Erwärmung gegeben und ihre Vor- und Nachteile dargelegt. Es wird ein Forschungsdefizit bei elektrischen Messgrößen

und hier insbesondere der elektrischen Zeitkonstanten aufgezeigt. Die elektrische Zeitkonstante wird eingehender auf ihre Eignung zur Erfassung des Flüssigphasenanteils untersucht, Störeinflüsse auf die Messgröße ermittelt und ein Verfahren hergeleitet, um diese Einflüsse zu kompensieren. Aufbauend auf dieser Kompensation wird eine Bewertung der elektrischen Zeitkonstanten auf die Eignung zur Erfassung der Regelgröße beim Erwärmen für das Thixoschmieden vorgenommen.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 91

ISBN 978-3-8396-1516-4

ROBOTERMANIPULATIONSFÄHIGKEITEN ZUR AUTOMATI- SIERUNG VON INSTANDHALTUNGSAUFGABEN

Friedrich, Christian

In Produktionssystemen spielt die Anlagenverfügbarkeit und Produktqualität eine entscheidende Rolle. Damit dies erreicht werden kann, unterliegen Produktionseinrichtungen regelmäßigen Instandhaltungsarbeiten. Während bereits automatisierte Inspektionsverfahren existieren, werden Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben komplett manuell durchgeführt. Zur Steigerung der ökonomischen Effizienz heutiger Produktionseinrichtungen muss jedoch auch hier eine Teilautomatisierung erfolgen. Deswegen erforscht diese Arbeit erstmalig Planungs-, Steuerungs- und Regelungsverfahren für die Autonomiebildung von Robotersystemen mit dem Fokus auf Demontage- und Montageoperationen unter Instandhaltungsbedingungen. Die entwickelten Manipulationsfähigkeiten werden in eine Steuerungsarchitektur integriert und ganzheitlich anhand praxisrelevanter Anwendungsfälle validiert.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 89

ISBN 978-3-8396-1484-6

MOBILE ROBOTIK IN DER BANDSYNCHRONEN MONTAGE ZUR FLEXIBLEN MENSCH-ROBOTER-INTERAKTION

Bix, Johannes

Der Einsatz mobiler Robotik zur flexiblen Mensch-Roboter-Interaktion in der bandsynchronen Montage bietet Antworten auf die Herausforderungen in der Automobilproduktion von morgen. Die Realisierung stellt aber gleichzeitig besondere Anforderungen an die mobile Robotik, die auf Basis von untersuchten Anwendungsfällen abgeleitet werden. Neben der technischen Realisierung dieser Herausforderungen steht vor allem die Gesamtverlässlichkeit der Produktion im Vordergrund. Mit diesem Fokus wird für die bandsynchrone Montage in der Automobilindustrie ein katalogbasiertes Reaktionsverfahren entwickelt, das mithilfe der kognitiven Fähigkeiten des Menschen, aus einer integrierten Risiko-

beurteilung für Sicherheit und Zuverlässigkeit, vorbeugende Reaktionen für den mobilen Roboter ableitet.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 88

ISBN 978-3-8396-1458-7

KOMPENSATION VON MAGNETISIERUNGSABWEICHUNGEN IN PERMANENTMAGNET-SYNCHRONMOTOREN DURCH SELEKTIVE ROTORMONTAGE

Coupek, Daniel

In dieser Arbeit wird die Strategie der selektiven Rotormontage für Elektromotoren vorgestellt. Dabei werden unvermeidbare Abweichungen der Magnetisierung identifiziert und in nachfolgenden Prozessschritten kompensiert. Die Klassifikation der Einzelteile erfolgt durch künstliche neuronale Netzwerke und ein Fuzzy Inferenz System wird zur Auswahl der idealen Kombination der Einzelteile eingesetzt. Mittels selektiver Rotormontage wird somit erreicht, dass die Elektromotoren trotz Magnetisierungsabweichungen in den Einzelteilen innerhalb der gewünschten Toleranzen liegen. Durch diese Strategie wird die Ausschussrate, sowohl der Einzelteile als auch des montierten Motors, verringert.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019, Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 87, ISBN 978-3-8396-1461-7

UNTERSUCHUNG DES POSENABHÄNGIGEN DYNAMISCHEN STRUKTURVERHALTENS GROSSER WERKZEUGMASCHINEN

Apprich, Stefanie

Große kartesische, serielle Werkzeugmaschinenstrukturen mit werkzeugseitiger Bewegung zeigen in der Regel ein posenabhängiges dynamisches Verhalten. Ist dieses zuverlässig über den gesamten Arbeitsraum bekannt und mathematisch beschrieben, so können die Antriebsregelung sowie Algorithmen zur Schwingungsreduktion darauf ausgelegt werden und damit die Dynamik von Verfahrensbewegungen und somit die Produktivität gesteigert werden.

Die vorliegende Arbeit behandelt die Bereitstellung eines parametrischen Modells mit Finite-Segmente-Ansatz, welches das reale, posenabhängige dynamische Verhalten einer seriellen Werkzeugmaschinenstruktur mit werkzeugseitiger Bewegung über den gesamten Arbeitsraum abbildet. Dafür werden die Modellparameter einer Fahrständerwerkzeugmaschinenstruktur während des Betriebs auf Basis maschineninterner Signale als auch zusätzlich an die Struktur angebrachter Beschleunigungssensoren mit Hilfe der Methode der Recursive Least Squares an das aktuelle, reale Maschinenverhalten angepasst. Die Verifikation der online Parameteridentifikation wurde am Laborprototyp einer Leichtbaufahrständermaschine durchgeführt.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019, Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 86, ISBN 978-3-8396-1453-2

KNOWLEDGE-BASED COST-BENEFIT ANALYSIS OF ROBOTICS FOR SME-LIKE MANUFACTURING

Dietz, Thomas

Robot systems promise high potential for improvement of production processes in small and medium-sized enterprises (SME). Often, reliable data for the assessment of costs and benefits of robot systems is missing, because robot systems are special machinery and because the required information is distributed among component manufacturer, system integrator and end-user. This thesis addresses the problem of cost-benefit assessment of industrial robot systems in the face of uncertain and incomplete information by combining methods from business economics and from knowledge management in robotics in a cost-benefit model. The resulting method allows efficient decision support in the planning and realization of SME-type robot systems. A test implementation is used to evaluate the method for two realistic use cases.

Hrsg.: Fraunhofer IPA, Stuttgart, 2019, Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 85, ISBN 978-3-8396-1437-2

MODELLING AND CONTROL OF A CABLE-DRIVEN PARALLEL ROBOT: METHODS FOR VIBRATION REDUCTION AND MOTION QUALITY IMPROVEMENT

Schenk, Christian

Seilroboter können aufgrund ihrer parallel Struktur und dem Aufbau ihrer Antriebsstränge hohe Beschleunigungen erreichen und besitzen einen großen Arbeitsraum. Beide Eigenschaften ermöglichen den Einsatz als Simulatoren. Durch die Verwendung als Simulator ergeben sich jedoch neue Herausforderungen und Aufgabenstellungen. Zu diesen zählen Robustheit, präzises Folgeverhalten von Positionen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen und eine schwingungsarme Betriebsart. Seile neigen aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften zu Schwingungen, die an die Plattform weitergegeben werden und dadurch die Simulationsqualität negativ beeinflussen. Desweiteren können statische Reibung und aggressive Regelungsstrategien Impulse applizieren, die Schwingungen am Antriebsstrang provozieren. Diese Arbeit beschäftigt sich mit Methoden zur Reduzierung dieser Schwingungen und damit mit Maßnahmen zur Verbesserung der Folgeverhaltens. Die gewählten Methoden, diese liegen im Bereich der nichtlinearen robusten Regelung via Sliding-Mode Controllern, modellbasierter Vorsteuerung, Reibungskompensation, Zustandsbeobachtung mit Unscented Kalman-Filtern und Modellierung sowie Regler-Synthese basierend auf Port-Hamilton Modellierung. In Experimenten an zwei Seilrobotern mit paralleler Kinematik werden die vorgeschlagenen Reglerstrukturen und Modelle verifiziert und stellen deren Effizienz deutlich dar.

URL: <http://dx.doi.org/10.18419/opus-10680>

HOCHSCHULKONTAKTE

Das ISW pflegt durch Stipendiaten- und Studierendenaustauschprogramme Kontakte zu Universitäten in aller Welt.

Australien:

University of Wollongong

Belgien:

Katholieke Universiteit Leuven

China:

Hefei University of Technology

Tongji University Shanghai

Technical University of Peking

England:

University of Bath

Frankreich:

Supélec Paris

Kanada:

University of British Columbia in Vancouver

Neuseeland:

Auckland University

Massey University

Rumänien:

Technical University of Cluj-Napoca

Russland:

Staatliche Technische Universität Moskau

Staatliche Technische Universität St. Petersburg

Schweden:

Lund University

Schweiz:

ETH Zürich

USA:

University of California in Berkeley

University of Michigan in Ann Arbor

University of Utah in SLC

Kooperation mit der University of Auckland:

Professoren und Forscher beider Universitäten besprechen Kooperationsmöglichkeiten und gemeinsame Forschungsinteressen und besuchen im Austausch die jeweilige Universität. Mit interessantem kulturellem Rahmenprogramm lernen die Wissenschaftler so Land und Leute näher kennen.

Mögliche Zusammenarbeit bei:

- Promotionen
- Studienaufenthalten
- Internationales Graduiertenkolleg: Soft Tissue Robotics

Stipendiatenprogramme mit ausländischen Hochschulen können durch die ISW-eigene Gottfried-Stute-Stiftung finanziert werden.



SUMMER SCHOOL UND FORSCHUNGSaufenthalte DES GRADUIERTENKOLLEGS SOFT TISSUE ROBOTICS



Soft Tissue Robotics



GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)

Das Graduiertenkolleg GRK 2198/1 ist der deutsche Teil des deutsch-neuseeländischen Verbundprojektes Soft Tissue Robotics. Ziel ist es, zukünftige ExpertInnen auf dem Gebiet simulationsgestützter Methoden für die Interaktion von Roboterstrukturen mit weichen Materialien auszubilden.

Im Rahmen des internationalen Graduiertenkolleg Soft Tissue Robotics lernen Doktoranden aus Stuttgart und Neuseeland die Herausforderungen bei der Interaktion starrer Roboter mit weichen und flexiblen Materialien kennen. Ziel des Graduiertenkollegs ist es, Ansätze zu entwickeln, wie in der Automatisierungstechnik mit Unsicherheiten umgegangen werden soll, die Interaktionen mit weichen Materialien implizieren. Im Rahmen der internationalen und überfachlichen Kooperation fanden für die Doktoranden des ISW und der weiteren beteiligten Institute 6-monatige Forschungsaufenthalte und die zweite Summer School statt.

Forschungsaufenthalte in der Partneruniversität Auckland

Für einen Perspektivwechsel sorgten die 6-monatigen Forschungsaufenthalte an der University of Auckland, die einen Kernpunkt des Bildungskonzepts im Graduiertenkollegs darstellen. In den Gruppen der jeweiligen Co-Betreuern Prof. Xun Xu und Prof. Peter Xu konnten durch regelmäßigen Austausch mit den Doktoranden vor Ort, insbesondere auf den korrespondierenden Partner-Projekten, nicht nur das eigene Projekt vorangebracht, sondern auch das Universitätsleben in Neuseeland kennen gelernt werden.

Zweite Summer School Soft Tissue Robotics in Neuseeland

Um die interdisziplinäre Kooperation und Zusammenarbeit der insgesamt 20 deutsch/neuseeländischen Doktoranden zu fördern fand im März 2019 eine dreiwöchige Summer School statt, in der sich alle teilnehmenden Doktoranden aus beiden Nationen austauschen und zusammenarbeiten konnten. Das Programm war hierbei in zwei Hauptbestandteile gegliedert. Diese umfassten:

- Zehn Projektstage, in denen sich die Doktoranden in Teamarbeit intensiv einer konkreten Problemstellung aus dem Themenbereich widmen konnten.
- Einer Konferenzwoche, in der die Doktoranden ihre Forschungsprojekte als Meilenstein-Präsentationen vorstellten und im Detail sowohl in großer Runde, als auch mit den Betreuern kritisch diskutierten. Darüber hinaus

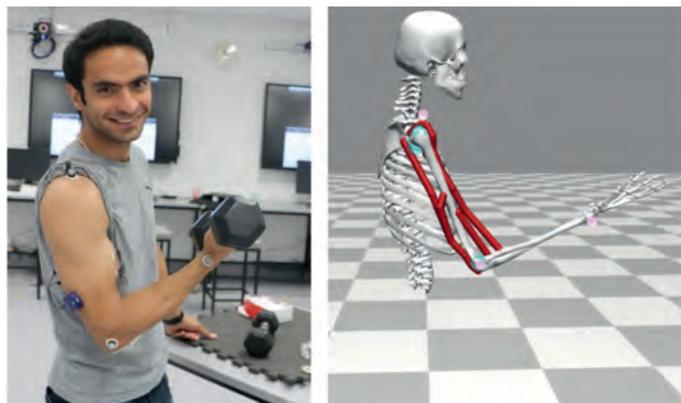


Abb.1: Messdatenaufnahme für das biomechanische Projekt der Summer School

stellten internationale Technologieexperten und renommierte Wissenschaftler fach- und themenverwandter Fachgebiete ihre Themen als Keynotes vor, um den Beteiligten einen Ausblick über das eigene Forschungsgebiet hinaus zu ermöglichen.

Das Programm wurde durch eine Vielzahl an Aktivitäten begleitet durch die sich die Teilnehmer persönlich kennenlernen und neue Kontakte knüpfen konnten. Mitunter wurden zwei Industriebesuche bei lokalen Unternehmen ermöglicht. Hier durften die Teilnehmer viel über die Entwicklung technischer Innovationen, wie Motion Capture Systeme und Exoskelette aus erster Hand erfahren.

Projektstage: Ein Problem und 10 Tage Zeit es zu lösen

In den Projekttagen arbeiteten die Doktoranden insgesamt zehn Tage lang an zwei Teilprojekten. Diese wurden jeweils aus einem biomechanisch motivierten und einem industriellen Anwendungsfall abgeleitet.

- Im biomechanischen Teilprojekt wurden Parameter für ein State-of-the-Art Muskelmodell mithilfe von 3D-Motion-

Capture und EMG-Sensorik identifiziert. Da sich Muskeln menschlicher Individuen stark unterscheiden, ist es beispielsweise für Exoskelette wichtig, die Parameter des Trägers zu kennen, um angepasst zu reagieren. Die Ergebnisse dieses Projekts zeigen, dass sich solche Parameter über Muskelmodelle, aber auch maschinelle Lernverfahren qualitativ identifizieren lassen, um später allein über EMG-Sensorik die Absichten des Trägers vorherzusagen.

- Das industrielle Teilprojekt beschäftigte sich mit der Umsetzung eines Teleoperationssystems für einen Industrieroboter. Die entwickelte Lösung ermöglichte, in Demonstrationen mit einem Stift auf der empfindlichen Oberfläche eines Ballons zu schreiben, ohne, dass dieser dabei platzte. Dabei wurden die auf den Stift wirkenden Kräfte gemessen und über eine Kräfteübertragung an den Bediener übertragen, der an einem haptischen Eingabegerät den Roboter bediente. Die Herausforderungen lagen dabei in der Integration verschiedener Teilsysteme in der kurzen Projektbearbeitungszeit und der Kommunikation zwischen den Systemen, die für die Kräfteübertragung nur sehr geringe Latenzen aufweisen durfte. Hauptziel des Projektes war es, möglichst viele Disziplinen des Graduiertenkollegs zu integrieren, um Rückschlüsse auf die größten Herausforderungen in den Schnittstellen der verschiedenen Teildisziplinen zu ziehen.

Die Bilanz nach 10 Tagen war sowohl für die Teilnehmer als auch für die betreuenden Professoren aus Deutschland und Neuseeland erfreulich. Die Teilnehmer konnten sich interdisziplinär weiterentwickeln und nützliche Erkenntnisse für ihre Arbeit aus der Zusammenarbeit ziehen. Durch die Kollaboration der einzelnen Fachgebiete konnte darüber hinaus ein wissenschaftlicher Fortschritt erzielt werden, der in der Publikation von je einem Konferenzbeitrag pro Team resultierte. Im Juli 2020 treffen sich die 20 deutsch/neuseeländischen Doktoranden wieder in Stuttgart, um die Zusammenarbeit bei der nächsten Summer School fortzusetzen. Dieses Mal werden die ersten Teilnehmer der nächsten Generation an Doktoranden dabei sein, wodurch eine größeres Rahmenformat zu erwarten ist, aber auch die Förderung der neuen Generation im Fokus stehen wird. Ergänzt wird die Summer School die-

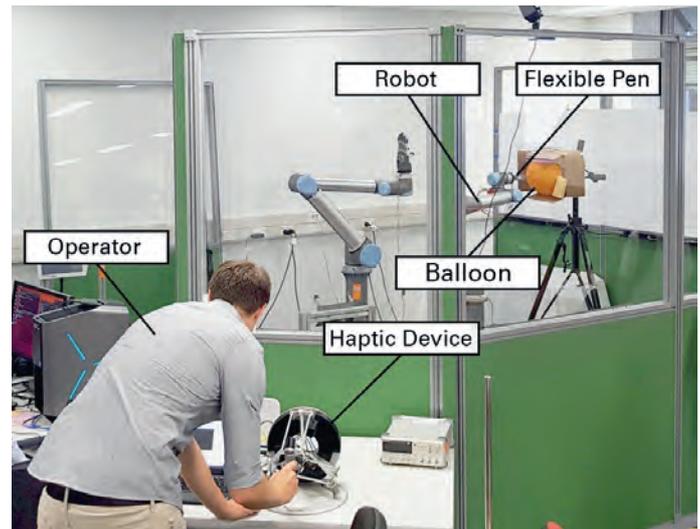


ABB.1: Demonstration des teleoperierenden Robotik-Projekts bei der Summer School

ses Mal durch das angrenzende Muscoskeletal System Symposium 2020, welches mit weiteren renommierten Sprechern den Themenschwerpunkt der Simulation weicher Materialien weiter vertiefen wird.

Kontakt:

Florian Jaensch, M.Sc.
florian.jaensch@isw.uni-stuttgart.de

Christoph Hinze, M.Sc.
christoph.hinze@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing Markus Wnuk
markus.wnuk@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



M2VIP – 25TH MECHATRONICS AND MACHINE VISION IN PRACTICE CONFERENCE



Das ISW richtete vom 20. bis 22. November 2018 die „25th Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice“ in Stuttgart aus.



Die Konferenz fand dieses Jahr zum ersten Mal in Deutschland statt. Dabei trafen Wissenschaftler aus 15 Ländern auf einander. Die M2VIP verlief äußerst erfolgreich, mit vielen spannenden und interessanten Vorträgen rund um mechatronische Systeme und Bilderkennung. Insbesondere der Sonder-Track „Soft-Tissue Robotic“ hatte viele Autoren zur Einreichung bewegt. Insgesamt wurden 61 Paper akzeptiert und das ISW durfte 78 Teilnehmer im campus.guest Tagungshotel in Stuttgart-Vaihingen begrüßen. Zudem waren drei Hauptredner eingeladen, Ralf Bucksch von IBM, Damon Kohler von Google und Prof. Johan Potgieter von der Massey University (NZ), die eindrucksvolle Vorträge hielten. Eine Auszeichnung für das „Best Paper“ wurde an Malik Aqeel Anwar and Arijit Raychowdhury vom Georgia Institute of Technology (USA) verliehen, welche den Titel „NAVREN-RL: Learning to Fly in Real Environment via End-To-End Deep Reinforcement Learning Using Monocular Images“ trug.



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

MITGLIEDSCHAFTEN

Das ISW pflegt intensive Kontakte zu folgenden Forschungseinrichtungen, Verbänden und Vereinen.

ASIM	Arbeitsgemeinschaft Simulation
cecimo	Comité de coopération des industries de la machine-outil
CIRP	College International pour la Recherche en Productique/ The International Academy for Production Engineering
DFAM	Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V.
FVP	Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen e.V.
EXAPT	Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V.
GI	Gesellschaft für Informatik e.V.
IEEE IES	IEEE Industrial Electronics Society
IEEE RAS	IEEE Robotics and Automation Society
IFPR	International Foundation for Production Research
IFR	International Federation of Robotics
IIC	Industrial Internet Consortium
IZST	Interuniversitäres Zentrum für Medizinische Technologien Stuttgart –Tübingen
Kompetenznetzwerk Mechatronik	Kompetenznetzwerk Mechatronik BW e.V.
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
OPC Foundation	Object Linking and Embedding for Process Control (OPC) Foundation
PI International	Profibus (Process Field Bus) & Profinet (Process Field Network) International
prostep ivip	Verein zur Entwicklung von durchgängigen Prozess-, System- und Datenintegration in allen Produktentstehungsphasen
SI/SERCOS	sercos international e. V. /Serial Realtime Communication System
TC Computational Kinematics	IFToMM Technical Committee of Computational Kinematics
VDC	Virtual Dimension Center Fellbach w. V
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VDW	Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.
WGMHI	Wissenschaftliche Gesellschaft Montage, Handhabung und Industrierobotik e. V.
WGP	Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik
WiGeP	Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung



MITARBEIT AN SELBSTVERWALTUNGSAUFGABEN DER UNIVERSITÄT

UNIV.-PROF. DR.-ING. A. VERL

- Mitglied des Fakultätsrats
- Studiendekan des Studiengangs „Mechatronik“
- Transfer Unit SimTech „Cluster of Excellence“
- PI SimTech, PI GSaME, PI IntCDC

UNIV.-PROF. DR.-ING. O. RIEDEL

- Prodekan der Fakultät 7 „Maschinenbau“
- PI GSaME
- Mitglied im Forschungsrat der Universität Stuttgart
- Prüfungsausschussvorsitzender der Studiengänge „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“ und „Automatisierungstechnik in der Produktion (Dipl.-Ing.)“
- Mitglied der Studienkommission „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“
- Gutachter Forschungsprogramm Cyber Valley

DIPL.-ING. M. SEYFARTH

- Mitglied der Studienkommissionen „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“
- Studiengangbeauftragter, Studiengang „Mechatronik“
- Stundenplanbeauftragter, Studiengang „Mechatronik“
- Mitglied des Zulassungsausschusses, Studiengang „M.Sc. Mechatronik“
- Mitglied der Auswahlkommission „Studiengang B.Sc. Mechatronik“
- Bafög-Beauftragter, Studiengang „Mechatronik“

EHRENAMTLICHE MITARBEIT IN INSTITUTIONEN, AUSSCHÜSSEN UND VERBÄNDEN

UNIV.-PROF. DR.-ING. A. VERL

- CIRP (The International Academy for Production Engineering) – Associate Member
- DFG Fachkollegium 401 Produktionstechnik – Mitglied
- GfT (Gesellschaft für Fertigungstechnik, Stuttgart) – Chairman
- GSaME (Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering) – Mitglied
- IFR (International Federation of Robotics) – Chairman of the Research Committee
- IntCDC Cluster of Excellence (Integrative Computational Design and Construction for Architecture) – Principal Investigator
- ISR (International Symposium on Robotics) – Conference Chair
- SERCOS International – Vorstandsmitglied
- SimTech (Industriekonsortium im Exzellenzcluster „Simulation Technology“) – Vorstandsvorsitzender
- SimTech Cluster of Excellence (Stuttgart Research Centre for Simulation Technology) – Principal Investigator
- MHI e.V. (Wissenschaftliche Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik) – Präsident (seit Mai 2018)
- WGP (Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik) – Mitglied

UNIV.-PROF. DR.-ING. O. RIEDEL

- Arbeitsgemeinschaft Simulation – Mitglied
- Dr.-Artur-Fischer Stiftung – Beirat und Jurymitglied
- EXAPT e.V. – Beirat
- Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen e. V. – Vorstand
- FpF (Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung e.V., Stuttgart) – Vorstand
- GSaME (Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering) – Mitglied
- IFPR (International Foundation for Production Research) – Boardmemeber
- Informatik Verbund Stuttgart – Vorstand
- nachhaltig .digital (Kompetenzplattform für Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Mittelstand) – Beirat
- NPM (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität) – Beratendes Mitglied
- prostep iViP e.V. – Mitglied
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) – Vorsitzender des Landesverbandes Baden-Württemberg
- Virtual Dimension Center – Vorstand
- Württembergischer Ingenieurverein e.V. – Mitglied

DR.-ING. A. LECHLER

- DFAM (Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V.) – Mitglied
- Kernteam ARENA 2036 – Mitglied
- OPC Foundation – Mitglied
- PNO (PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.) – Mitglied
- Sercos Kompetenzzentrum und Zertifizierungsstelle – Leiter
- SSC (Sercos Steering Comitee) – Mitglied

DR.-ING. K.-H. WURST

- Mitarbeit im Interuniversitären Zentrum IZST

DIPL.-ING. M. DRĂGAN

- ISR (International Symposium on Robotics) – Organizing Committee – Mitglied
- Sercos TSN Task Force – Mitglied

DIPL.-ING. F. FRICK

- IICTSN Testbed Stuttgart – Koordinator

S. FRIEDL, M.SC.

- VDMA OPC UA for Machinery – Harmonization Working Group

T. HEINEMANN, M.SC.

- VDMA OPC UA for Machinery – Harmonization Working Group

DIPL.-ING. K. KÜBLER

- VDI/VDE-GMA FA 6.11 „Virtuelle Inbetriebnahme“ – Mitglied

T. TASCI, M.SC.

- Mitarbeit bei VDI/VDE-GMA FA 7.21 Industrie 4.0 – Begriffe, Referenzmodelle, Architekturkonzepte

AKTIVE TEILNAHME AN MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

AUFTAKTVERANSTALTUNG ZUM INNOVATIONSCAMPUS MOBILITÄT DER ZUKUNFT, 2020

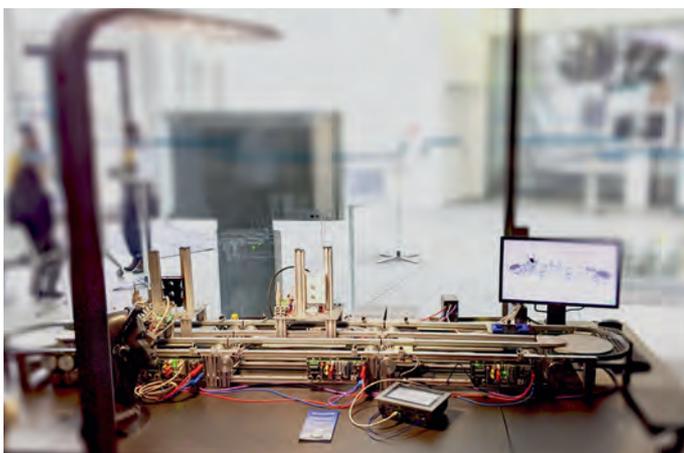
Am 13.01.2020 eröffneten die Universität Stuttgart und das KIT den Innovationscampus feierlich mit der Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg, Frau Theresia Bauer. Im Pilotprojekt Additive Fertigung des Strategiefelds Advanced Manufacturing wird die innovative Technologie des 3D-Druckens standortübergreifend (IFSW, IMWF, IfW, ISW in Stuttgart und wbk in Karlsruhe) mittels Metalldraht und Laser erforscht und zur Anwendung in der Produktion für die Mobilität der Zukunft entwickelt. Geldgeber: Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg



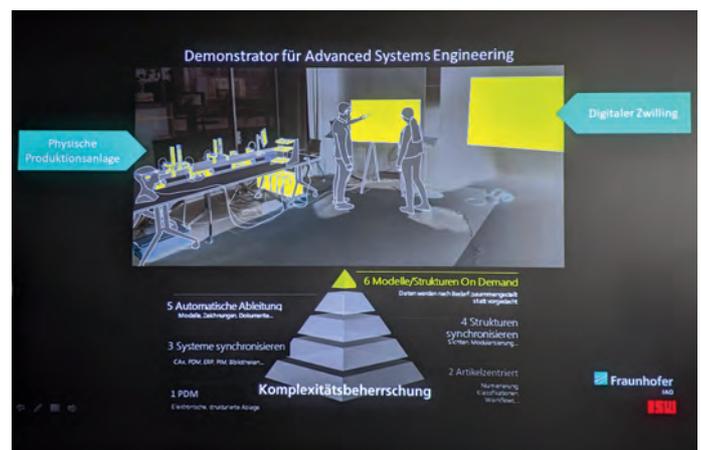
Frederik Wulle (ISW) erläutert Ministerin Bauer das Potential des Metalldruckens auf der Eröffnungsveranstaltung InnovationsCampus Mobilität der Zukunft

ADVANCED DIGITAL ENGINEERING SUMMIT 2020

Beim Advanced Digital Engineering Summit 2020 (ADE Summit) präsentierte das Fraunhofer IAO Ideen für einen durchgängigen digitalen Workflow in der Entwicklung und Produktion. Im Rahmen des Projekts Advanced Systems Engineering konnte das ISW einen gemeinsam entwickelten Demonstrator vorstellen. Der durchgängige Produktionsprozess zur automatischen Variantengenerierung war dort an einer Modellanlage mit verschiedenen verknüpften Produktionssystemen dargestellt.



Virtuelle und reale Produktionsanlage mit Montagestation für einen durchgängigen Prozess



Advanced Systems Engineering: Effizienzsteigerung durch auftragsbasierte Variantenplanung

MESSEAUFTTRITTE ISW & UMATI

Der VDW entwickelt umati (universal machine tool interface): eine universelle Schnittstelle, die Werkzeugmaschinen und Anlagen sicher, naht- und mühelos in kunden- und anwenderspezifische IT-Ökosysteme integrieren kann. Das ISW zählt zu den Kernpartnern der Initiative und übernimmt seit Herbst 2017 die wissenschaftliche und technische Begleitung sowie die Projektleitung von umati.

Begleitend zum Projekt waren Mitarbeiter des ISW auf folgenden Messen für umati unterwegs:

- AMB Stuttgart, September 2018
- EMO Hannover, September 2019
- Metalex Thailand, Bangkok, November 2019
- sps Nürnberg, November 2019

Auf der AMB fand die Einführung der Marke umati statt. Danach zeigte die Projektgruppe bei der EMO eine Showcase mit 110 verbundenen Maschinen von 70 Herstellern und 28 angebundenen Softwaredienstleistern. Anschließend zeigte umati Iterationen der Showcase auf den Messen Metalex und sps.



umati Messestand auf der EMO Hannover, 2019



umati Messestand auf der sps Nürnberg, 2019

S-TEC SPITZENTREFFEN, 2019

Das ISW präsentierte neueste Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Additiven Fertigung in Stuttgart auf der S-TEC Jahresveranstaltung am 7. November 2019. Die drei Forschungsprojekte beschäftigen sich mit den Themen:

- Personalisierte Computermaus
- Personalisierte Knorpelimplantate
- Prozessoptimiertes Selektives Lasersintern

Geldgeber: Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg und die Universität Stuttgart



Ausstellungsobjekte werden präsentiert von Colin Reiff (ISW), Paul Eichinger (Student ISW) und Steffen Boley (IFSW) (vrnl)



Die Wirtschaftsministerin von Baden-Württemberg Frau Dr. Hoffmeister-Kraut ist begeistert von der Masterarbeit und Start-up Initiative „Personalisierte Computermaus“ von Paul Eichinger unter der Betreuung von Prof. Oliver Riedel und Frederik Wulle (ISW)

TSN TESTBED DEMONSTRATOR

Der Demonstrator des IICTSN Testbeds am ISW kombiniert TSN-Geräte von 18 Herstellern in einem konvergenten Netzwerk. Das synchrone Zusammenspiel von Netzwerkinfrastruktur, Prototyping-Systemen von Hardwareherstellern und Endgeräte aus der industriellen Automation zeigt ein zentrales Anliegen des Testbeds: Interoperabilität. Der IICTSN Testbed Demonstrator wurde auf folgenden Messen präsentiert:

- SPS/IPC/Drives Nürnberg 2018
- HMI Hannover 2019
- TSN/A Konferenz in Bad Homburg 2019



Der IICTSN Testbed Demonstrator auf der SPS/IPC/Drives 2018 in Nürnberg und auf den Stuttgarter Innovationstagen 2020

SPS/IPC/DRIVES 2018, NÜRNBERG

Vom 27.-29.11.2018 zeigte das ISW aktuelle Forschungsergebnisse auf der SPS/IPC/Drives in Nürnberg, der weltweit wichtigsten Messe für Steuerungstechnik. Die wichtigsten Forschungsschwerpunkte des Instituts waren auf der Messe durch folgende Demonstratoren vertreten:



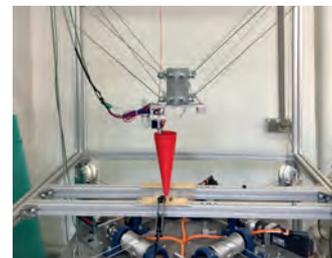
Echtzeit-Co-Simulation:
Echtzeitfähige Integrationsplattform
für die Virtuelle Inbetriebnahme
VIBN



Adaptiv verspanntes Zahnstange-
Ritzel-Antriebssystem



Kamerabasierte Bahnplanung für
Industrieroboter



Seilgetriebener 3D-Drucker „CaRo-
Printer“



Cloudbasiertes Roboterschweißen



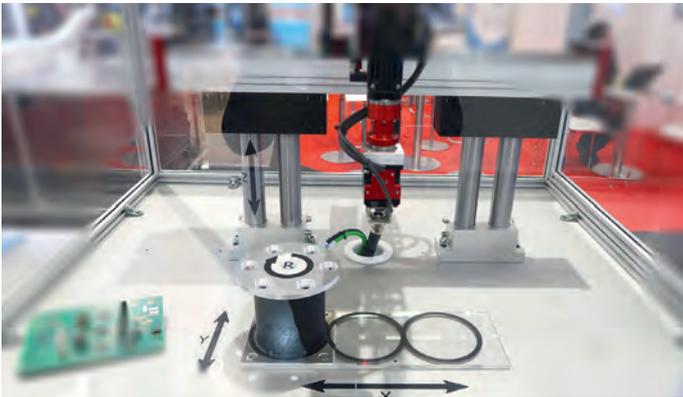
Industrielle Kommunikation mit
TSN und OPC UA:
Konvergente Vernetzung von
Steuerungskomponenten mit
echtzeitfähigem Ethernet



Kognitive Steuerungstechnik:
Automatisches Erlernen von
Steuerungslogik am Digitalen
Zwilling

SMART PRODUCTION SOLUTIONS 2019, NÜRNBERG

Mit ihrem einzigartigen Konzept bildet die Messe sps (smart production solutions) das komplette Spektrum der smarten und digitalen Automation ab und wurde zur 30. Auflage von den Veranstaltern gegenwartstreu umgetauft und konzeptionell modernisiert. Auch dieses Mal zeigte das ISW am eigenen Messestand den zahlreichen Besuchern neueste Entwicklungen aus verschiedenen Forschungsbereichen:



Verteilte Interpolation: Synchronisierungsalgorithmen für dezentral gesteuerte Antriebskomponenten (BMBF Forschungsprojekt DEVEKOS)



Open Automation Platform (OAP): Offenheit auf drei Ebenen: Hardware, FPGA, Software



Kognitive Steuerungstechnik: Handhabung flexibler Objekte mithilfe von Machine Learning



Virtueller Tischkicker: Hardware-in-the-Loop-Simulator für die Lehre



Bewegungs- und Greifplanung: Visionsgestützte Bewegungs- und Greifplanung zur Manipulation beliebiger Objekte



Kognitiv gestützte Roboterprogrammierung: Modellbasierte Manipulation verformbarer Werkstücke

MASCHINENAUSSTATTUNG

Das ISW verfügt über einen vielseitig einsetzbaren Maschinenpark

WERKZEUGMASCHINEN:

- **DMG DMC 650V**, 3-Achs CNC-Fräsmaschine
- **DMG DMU 50 ecoMill**, 5-Achs CNC-Fräsmaschine
- **Exeron Digma HSC600**, 5-Achs HSC-CNC-Fräsmaschine
- **Hermle UWF 1202 H**, 3-Achs CNC-Fräsmaschine
- **OSACA2**, „3-Achs CNC-Fräsmaschine“

ROBOTER:

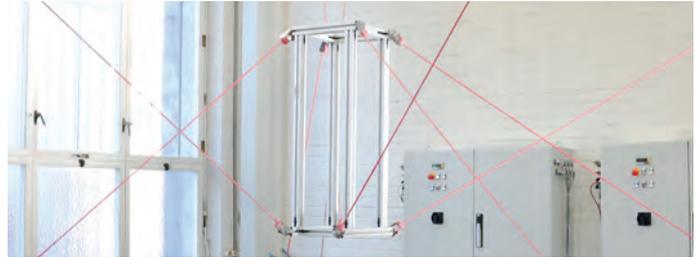
- **Kuka KR210**
- **KUKA KR500**-Roboter-Bearbeitungszelle
- **Stäubli TX40**, 2 Stück
- **Franka Emika Panda**, 2 Stück
- **COPacabana**, Räumlicher Seilroboter
- **CaroPrinter**, Seilroboter für die Additive Fertigung

WERKSTATTMASCHINEN:

- Bandsägen
- Tischbohrmaschinen
- Ständerbohrmaschine
- Schleifböcke
- Deckel FP3A, Universalfräsmaschine
- Maho MH800E, CNC-Fräsmaschine
- Drehmaschine Weiler Praktikant140, Spitzenhöhe 140 mm Spitzenweite 650 mm
- Drehmaschine VDF, Spitzenhöhe 230 mm Spitzenweite 1000 mm
- Horizontalflachschleifmaschine Blohm, Schleiflänge 700 mm, Schleifbreite 350 mm, Schleifhöhe 425 mm

SONSTIGE AUSSTATTUNG:

- Versuchsstände Kugelgewindtrieb
- Versuchsstand Zahnstange-Ritzelantrieb
- Versuchsstand Impulsaktor
- Virtueller Tischkicker
- Linapod Stabkinematik als 3D-Drucker
- 8-Achs-Druckanlage
- 7-Achs-Druckanlage



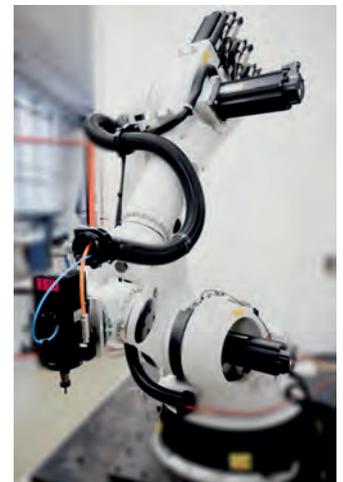
COPacabana, Räumlicher Seilroboter



Stäubli TX40



KUKA KR500-
Roboter-Bearbeitungszelle



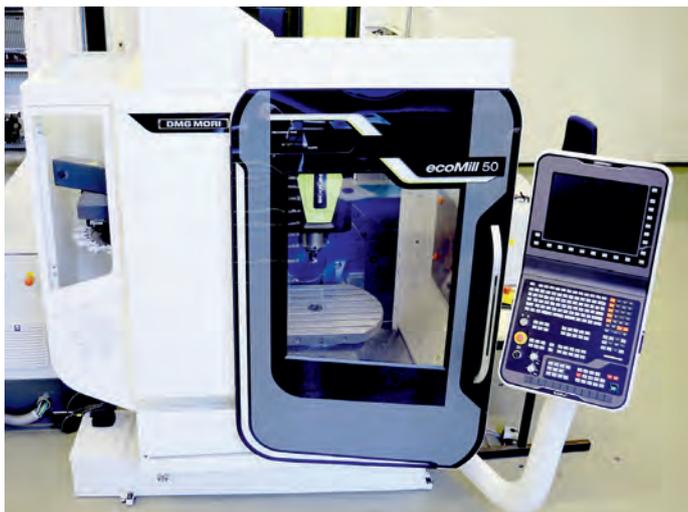
Kuka KR210



DMG DMC 650 V



Franka Emika Panda



DMG DMU 50 ecoMill



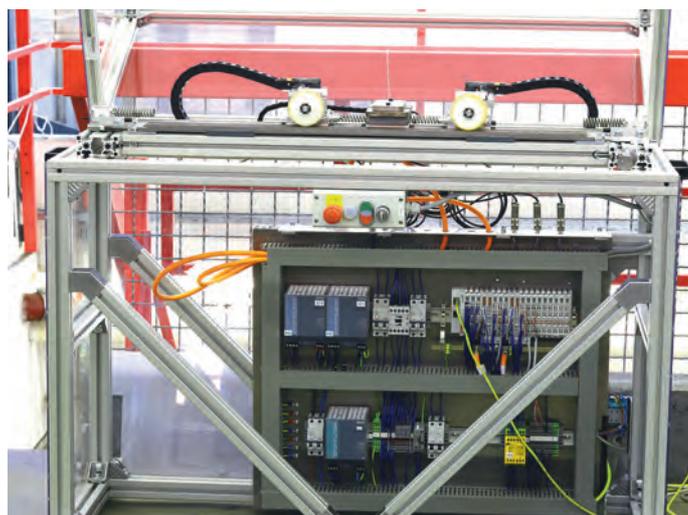
Exeron Digma HSC600



Hermle UWF 1202 H



Virtueller Tischkicker



Versuchsstand Zahnstange-Ritzelantrieb



OSACA2, „3-Achs CNC-Fräsmaschine“

VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE

2020

Alkhoury, K.; Sikora, A.; Neher, Ph.; Frick, F.:

Time Synchronization for Time Sensitive Networks.

In: Proceedings of embedded world Conference 2020: WEKA Fachmedien, 2020

Christodouloupoulos, K.; Lautenschlaeger, W.; Frick, F.; Benzouai, N.; Henke, T.; Gebhard, U.; Dembeck, L.; Lechler, A.; u. a.:
Enabling the Scalability of Industrial Networks by Independent Scheduling Domains.

In: Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2020: Optical Society of America, 2020, S. Th2A.24

Mesmer, P.; Neubauer, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

Drive-based Vibration Damping Control for Robot Machining.

In: IEEE Robotics and Automation Letters. Bd. 5 (2020), Nr. 2, S. 564-571

Schmidt, A.; Schellroth, F.; Riedel, O.:

Control Architecture for Embedding Reinforcement Learning Frameworks on Industrial Control Hardware.

In: Proceedings of the 3rd International Conference on Applications of Intelligent Systems. Las Palmas de Gran Canaria, Spain: Association for Computing Machinery, 2020 — ISBN 9781450376303

Schütz, A.; Helfesrieder, N.; Lechler, A.; Verl, A.:

Automatisierte Werkstückfixierung - Formadaptive Aufspannung von Schalenelementen für Bearbeitungsaufgaben mit Industrierobotern.

In: wt Werkstattstechnik online. Bd. 110 (2020), Nr. 01-02, S. 80-85

Rosen, R.; Jäkel, J.; Barth, M.; Stern, O.; Schmidt-Vollus, R.; Heinzerling, T.; Hoffmann, P.; Richter, C.; Puntel Schmidt, P.; Scheifele, C.; Kübler, K.; Röhler, M.:

Simulation und digitaler Zwilling im Anlagenlebenszyklus

In: VDI-Statusreport Februar 2020

Barth, M.; Kübler, K.; Heinzerling, T.; Rosen, R.; Jäkel, J.:

Eine systematische Bewertung der Qualität von Simulationsmodellen - Identifikation und Clustering von Qualitätskriterien

In: atp magazin 6-7/2020

Kübler, K.; Schopper, D.; Riedel, O.; Rudolph, S.:

Towards an Automated Product-Production System Design – Combining Simulation-based Engineering and Graph-based Design Languages

In: 5th International Conference on System-integrated Intelligence Intelligent, flexible and connected systems in products and production

2019

Dripke, C.; Sun, Y.; Verl, A.:

Framework for the Closed-Form Calculation of Forward and Inverse Kinematics for Basic Kinematics in Reconfigurable Multi-Component Systems.

In: Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA): IEEE, 2019a, S. 687-694

Dripke, C.; Ye, Zh.; Verl, A.:

Synchronization of a distributed interpolation application via cross-coupled control.

In: IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC): IEEE, 2019b — ISBN 978-1-7281-3401-7

Eger, F.; Tempel, Ph.; Magnanini, M. Ch.; Reiff, C.; Colledani, M.; Verl, A.:

Part Variation Modeling in Multi-Stage Production Systems for Zero-Defect Manufacturing.

In: 2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2019, S. 1017-1022

Ellwein, C.; Elser, A.; Riedel, O.:

Production planning and control systems – a new software architecture Connectivity in target.

In: Procedia CIRP. Bd. 79 (2019a), S. 361-366. — 12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 18-20 July 2018, Gulf of Naples, Italy

Ellwein, C.; Elser, A.:

Vernetzte Produktionsplanung.

In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Bd. 114, Carl Hanser Verlag (2019), Nr. 12, S. 807-810

Ellwein, C.; Neff, S.; Verl, A.:

Cloud Manufacturing: An Automated Literature Review.

In: Procedia CIRP. Bd. 86 (2019b), S. 251-256. — 7th CIRP Global Web Conference – Towards shifted production value stream patterns through inference of data, models, and technology (CIRPe 2019)

Ellwein, C.; Schmidt, A.; Lechler, A.; Riedel, O.:

Distributed Manufacturing: A Vision About Shareconomy in the Manufacturing Industry.

In: Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Automation, Control and Robots. Prague, Czech Republic : ACM, 2019c — ISBN 978-1-4503-7288-6, S. 90-95

Elser, A.; Königs, M.:

HybridCAM: Durchgängiger Informationsfluss in der hybriden Fertigung.

In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. (2019)

Engelberth, T.; Neubauer, M.; Verl, A.:

Master-Switch für verspannte Zahnstange-Ritzel-Antriebe.

In: atp magazin. Bd. 61 (2019), Nr. 3, S. 54-63

Engelberth, T.; Verl, A.:

Adaptive Verspannung von Zahnstange-Ritzel-Antrieben.

In: wt Werkstattstechnik online. Bd. 109 (2019), Nr. 5, S. 312-318

Frick, F.; Neher, Ph.:

Open Source TSN.

In: Al-Badri, J.; Al-Scheikly, B. (Hrsg.) SPS Magazin, Bd. 32. Jahrgang (2019), Nr. 11/2019, S. 70-72

Heinemann, T.; Lechler, A.; Riedel, O.; Verl, A.:

Vermeidung von Nothalten von fahrerlosen Transportfahrzeugen durch lokale Bahnplanung.

In: Krüger, J.; Uhlmann, E.; Verl, A.; Riedel, O.; Brecher, C. (Hrsg.): Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 2, Fertigungstechnik. Bd. Produktion 2030-Wandel in der Automatisierungstechnik. Als Manuskript gedruckt. Düsseldorf: VDI Verlag, 2019a — ISBN 3183699028, S. 151

Heinemann, T.; Riedel, O.; Lechler, A.:

Generating Smooth Trajectories in Local Path Planning for Automated Guided Vehicles in Production.

In: Procedia Manufacturing : Elsevier B.V., 2019b, S. 98-105

Helfesrieder, N.; Neubauer, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

Hochautomatisierte Roboterzelle mit adaptiver Werkstückaufspannung für die komplexe Holzbearbeitung.

In: agt agile technik verlag (Hrsg.) HOB Die Holzbearbeitung. (2019), Nr. 3/2019, S. 57-58

Hinze, Ch.; Tomzik, D.; Lechler, A.; Xu, X.; Verl, A.:

Control Architecture for Industrial Robotics based on Container Virtualization.

In: Schüppstuhl, T.; Tracht, K.; Roßmann, J. Tagungsband des 4. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019a — ISBN 978-3-662-59317-2, S. 64-73

Hinze, Ch.; Wnuk, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

Harte Echtzeit für weiche Materialien.

In: atp magazin. Bd. 61, Vulkan-Verlag GmbH (2019b), Nr. 11-12, S. 112

Krüger, J.; Uhlmann, E.; Verl, A.; Riedel, O.; Brecher, C. (Hrsg.):

Produktion 2030 – Wandel in der Automatisierungstechnik Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 2, Fertigungstechnik. Bd. Nr. 699. Als Manuskript gedruckt. Düsseldorf : VDI Verlag, 2019 — ISBN 3183699028

König, T.; Verl, A.; Lechler, A.:

Motion superimposition for machine tool trajectories using asynchronous axis interpolation.

In: 13th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2019. Bd. Volume 52: ELSEVIER - ScienceDirect, 2019b, S. 300-305

König, T.; Atmosudiro, A.; Verl, A.; Lechler, A.:

G2-stetiges Klothoidenüberschleifen.

In: wt Werkstattstechnik online. Bd. Jahrgang 109 (2019a), Nr. 6, S. 489-493

Magnanini, M. Ch.; Eger, F.; Reiff, C.; Colledani, M.; Verl, A.:

A control model for downstream compensation strategy in multi-stage manufacturing systems of complex parts.

In: Elsevier (Hrsg.) IFAC-PapersOnLine. Bd. Volume 52 (2019), Nr. Issue 13, S. 1473-1478

Menze, Ch.; Becker, D.; Stehle, Th.; Möhring, H.-Ch.; Helfesrieder, N.; Lechler, A.; Verl, A.:

Spanende Bearbeitung mit Industrierobotern und Bearbeitungszentren: Vergleichende Analyse der erzielbaren Bauteilqualität in der Holzbearbeitung.

In: wt Werkstattstechnik online. Bd. 109 (2019), Nr. 9, S. 650-655

Mesmer, P.; Neubauer, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

Spanende Bearbeitung mit Industrierobotern - Herausforderungen bei der Roboterbearbeitung.

In: Robotik und Produktion. Bd. 4/2019 (2019), S. 54-55

Neubauer, M.; Mesmer, P.; Lechler, A.; Verl, A.:

Industrieroboter mit offener Steuerungsplattform.

In: Antriebstechnik. (2019), Nr. 2019/10, S. 96-97

Pott, A.; Tempel, Ph.; Verl, A.; Wulle, F.:

Design, Implementation and Long-Term Running Experiences of the Cable-Driven Parallel Robot CaRo Printer.

In: Pott, A.; Bruckmann, T. (Hrsg.): Cable-Driven Parallel Robots. Cham: Springer International Publishing, 2019 — ISBN 978-3-030-20751-9, S. 379-390

Pott, A.; Tempel, Ph.:

A Unified Approach to Forward Kinematics for Cable-Driven Parallel Robots Based on Energy.

In: Lenarcic, J.; Parenti-Castelli, V. (Hrsg.): Advances in Robot Kinematics 2018. Cham: Springer International Publishing, 2019 — ISBN 978-3-319-93188-3, S. 401-409

Reichenbach, Th.; Tempel, Ph.; Verl, A.; Pott, A.:

On Kinetostatics and Workspace Analysis of Multi-Platform Cable-Driven Parallel Robots with Unlimited Rotation.

In: Kuo, C.-H. u. a. (Hrsg.): Proceedings of the 6th IFToMM International Symposium on Robotics and Mechatronics: Springer Switzerland, 2019a

Reichenbach, Th.; Verl, A.:

Umdrehungen ohne Ende. Seilroboter mit endloser Rotationsachse.

In: Eberhard, P. (Hrsg.), handling (Nr. 6), 2019

Reichenbach, Th.; Tempel, Ph.; Verl, A.; Pott, A.:

Static Analysis of a Two-Platform Planar Cable-Driven Parallel Robot with Unlimited Rotation.

In: Pott, A.; Bruckmann, T. (Hrsg.): Proceedings of the Fourth International Conference on Cable-Driven Parallel Robots: Springer Switzerland, 2019b

Reiff, C.; Eger, F.; Verl, A.:

Smart Centering - Methodik zur intelligenten Zentrierung von rotationssymmetrischer Körper für die Null-Fehler-Fertigung in mehrstufigen Produktionssystemen.

In: Krüger, J.; Uhlmann, E.; Verl, A.; Riedel, O.; Brecher, C. (Hrsg.): Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 2, Fertigungstechnik. Bd. Produktion 2030 – Wandel in der Automatisierungstechnik. Als Manuskript gedruckt. Düsseldorf : VDI Verlag, 2019b — ISBN 9783183699025, S. 110-132

Reiff, C.; Wulle, F.; Strieg, F.; Riedel, O.:

Model for the Client-Oriented Selection of Additive Manufacturing Infrastructure based on Information gathered from Production Networks.

In: Procedia CIRP. Bd. 84 (2019d), S. 322-327. — 29th CIRP Design 2019 (CIRP Design 2019)

Reiff, C.; Oechsle, S.; Eger, F.; Verl, A.:

Web-based Platform for Data Analysis and Monitoring.

In: Procedia CIRP. Bd. 86 (2019c), S. 31-36. — 7th CIRP Global Web Conference

Reiff, C.; Eger, F.; Tempel, Ph.; Magnanini, M. Ch.; Ortiz, J. A.; Colledani, M.; Verl, A.; Sarries, I.:

Smart centering for rotation-symmetric parts in multi-stage production systems for zero-defect manufacturing.

In: Procedia CIRP. Bd. 79 (2019a), S. 27-32. — 12th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 18-20 July 2018, Gulf of Naples, Italy

Schulte, A.; Zahn, P.; Lechler, A.; Verl, A.:

Extreme Beschleunigung von Vorschubachsen.

In: MM MaschinenMarkt., Vogel Communications Group GmbH & Co. KG (2019), Nr. 24, S. 68-69

Spielmann, T.; Ellwein, C.; Riedel, O.:

Blended-Learning in der betrieblichen Weiterbildung.

In: atp Magazin. (2019), S. 106-110

Tempel, Ph.; Lee, D.; Trautwein, F.; Pott, A.:

Modeling of Elastic-Flexible Cables with Time-Varying Length for Cable-Driven Parallel Robots.

In: Pott, A.; Bruckmann, T. (Hrsg.): Proceedings of the Fourth International Conference on Cable-Driven Parallel Robots: Springer Switzerland, 2019a

Tempel, Ph.; Trautwein, F.; Pott, A.:

Experimental Identification of Stress-Strain Material Models of UHMWPE Fiber Cables for Improving Cable Tension Control Strategies.

In: Lenarcic, J.; Parenti-Castelli, V. (Hrsg.): Advances in Robot Kinematics 2018. Cham: Springer International Publishing, 2019b — ISBN 978-3-319-93188-3, S. 258-265

Verl, A.; Kienzlen, A.:

Der Materialfluss des digitalen Zwillings.

In: SPS Magazin. (2019), Nr. 10, S. 34-36

von Arnim, Ch.; Friedl, S.; Lechler, A.; Verl, A.:

Automated OPC UA address space generation from existing data structures.

In: 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). Bd. 1, 2019, S. 959-964

Wnuk, M.; Wenger, Th.; Lechler, A.; Verl, A.:

Nachgiebigkeit ist Einstellungssache.

In: Eberhard, P. (Hrsg.) handling. (2019), Nr. 9, S. 20

Wolf, M.; Elser, A.:

A software architecture for a multi-axis additive manufacturing path-planning tool.

In: Procedia CIRP. (2019)

Wulle, F.; Wolf, M.; Riedel, O.; Verl, A.:

Method for load-capable path planning in multi-axis fused deposition modeling.

In: Procedia CIRP. Bd. 84, Elsevier BV (2019b), S. 335-340

Wulle, F.; Bubeck, W.; Elser, A.; Wolf, M.; Verl, A.:

Trajektorienplanung mittels modellprädiktiver Vorsteuerung eines FDM-Druckkopfes.

In: 26. Stuttgarter Kunststoffkolloquium: IKT, Universität Stuttgart, 2019a — ISBN 978-3-9818681-1-1, S. 83-88

Kübler, K.; Schwarz, E.; Verl, A.:

Test case generation for production systems with model-implemented fault injection consideration.

In: Procedia CIRP 79, S. 268-273

Jaensch, F.; Csiszar, A.; Sarbandi, J.; Verl, A.:

Reinforcement Learning of a Robot Cell Control Logic using a Software-in-the-Loop Simulation as Environment.

In: Second International Conference on Artificial Intelligence for Industries (AI4I) (p./pp. 79-84), Sep., .

2018

Dripke, C.; Laicher, S.; Verl, A.:

Axis-in-the-loop simulation: a concept to transfer verification and validation of distributed interpolation algorithms from simulation to interaction with commercial motion control hardware.

In: Proceedings of International Conference on Computers & Industrial Engineering (CIE 48), 2018a

Eger, F.; Reiff, C.; Colledani, M.; Verl, A.:

Knowledge Capturing Platform in Multi-Stage Production Systems for Zero-Defect Manufacturing.

In: 2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 2018c, S. 1-6

Ellwein, C.; Schmidt, A.; Riedel, O.; Lechler, A.:

Shareconomy in der Fertigungsindustrie.

In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Bd. 113, Carl Hanser Verlag (2018c), Nr. 11, S. 775-778

Elser, A.; Königs, M.; Verl, A.; Servos, M.:

On achieving accuracy and efficiency in Additive Manufacturing: Requirements on a hybrid CAM system.

In: Procedia CIRP. Bd. 72 (2018), Nr. 2018, S. 1512-1517

Held, M.; Wehner, D.; Hämmerl, R.; Dangelmaier, M.; Briem, A.-K.; Reiff, C.; Wulle, F.:

Personalization in the Automotive and Building Sector - Research Program of the High-Performance Center „Mass Personalization“ in Stuttgart.

In: MCP-CE. (2018). – 8th International Conference on Mass Customization and Personalization – Community of Europe (MCP-CE 2018)

Helfesrieder, N.; Lechler, A.; Verl, A.:

Mehr Steifigkeit bei weniger Gewicht.

In: MM Maschinenmarkt., Vogel Communications Group GmbH & Co. KG (2018), Nr. 019, S. 112-113

Hinze, Ch.; Tasci, T.; Lechler, A.; Verl, A.: Towards Real-Time Capable Simulations with a Containerized Simulation Environment.

In: 2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 2018, S. 1-6

Jaensch, F.; Csiszar, A.; Kienzlen, A.; Verl, A.:

Reinforcement Learning of Material Flow Control Logic Using Hardware-in-the-Loop Simulation.

In: 2018 First International Conference on Artificial Intelligence for Industries (AI4I), 2018a, S. 77–80

Jaensch, F.; Csiszar, A.; Scheifele, Ch.; Verl, A.:

Digital Twins of Manufacturing Systems as a Base for Machine Learning.

In: 2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 2018b, S. 1-6

Kaiser, B.; Csiszar, A.; Verl, A.:

Generative models for direct generation of CNC toolpaths.

In: 2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 2018, S. 1-6

Klein, M.; Hoher, S.; Kimpeler, S.; Lehner, M.; Jaensch, F.; Kühfuß, F.; Lehmann, H.; Snelting, F.:

Machines Without Humans—Post-Robotics.

In: Coeckelbergh, M.; Loh, J.; Funk, M. (Hrsg.): Proceedings of Robophilosophy 2018 / TRANSOR 2018, 2018, S. 88-92

Mesmer, P.; Lechler, A.; Verl, A.:

Antriebsbasierte Schwingungsdämpfung an Industrierobotern für die spanende Bearbeitung.

In: Antriebstechnik. Bd. 10/2018, Vereinigte Fachverlage GmbH (2018), S. 96-97

Reiff, C.; Wulle, F.; Riedel, O.; Epple, S.; Onuseit, V.:

On Inline Process Control for Selective Laser Sintering.

In: MCP-CE. (2018b). – 8th International Conference on Mass Customization and Personalization – Community of Europe (MCP-CE 2018)

Reiff, C.; Eger, F.; Korb, T.; Freiberger, H.; Verl, A.:

User Interface for the Acquisition and Characterization of Defects and Performed Rework in Multi-Stage Production Systems.

In: Procedia CIRP. Bd. 78 (2018a), S. 243-248. – 6th CIRP Global Web Conference – Envisaging the future manufacturing, design, technologies and systems in innovation era (CIRPe 2018)

Scheifele, S.; Riedel, O.:

Vom mechatronischen zum Digital Engineering von Maschinen und Anlagen.

In: atp Plus. (2018)

Scheifele, S.; Verl, A.; Riedel, O.:

Engineering mit cyber-physischen Systemen - Vom mechatronischen zum cyber-physischen Engineering.

In: atp magazin. (2018), Nr. 11/12 2018, S. 68-78

Sommer, Ph.; Schellroth, F.; Fischer, M.; Schlechtendahl, J.: Message-oriented Middleware for Industrial Production Systems.

In: 2018 IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2018a, S. 1217-1223

Strljic, M. M.; Korb, T.; Tasci, T.; Tinsel, E.-F.; Pawlowicz, D.; Riedel, O.; Lechler, A.:

A platform-independent communication framework for the simplified development of shop-floor applications as micro-service components.

In: 2018 IEEE International Conference on Advanced Manufacturing (ICAM), 2018b, S. 250-253

Strljic, M. M.; Brovkina, D.; Korb, T.; Riedel, O.; Lechler, A.:

Platform architecture concept for the composition of collective cloud manufacturing.

In: 2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP) : IEEE, 2018a, S. 1-6

Strljic, M. M.; Tasci, T.; Schmidt, A.; Korb, T. ; Riedel, O.:

A data model for data gathering from heterogeneous IoT and Industry 4.0 applications

In: 18. Internationales Stuttgarter Symposium : Springer, 2018c

Tasci, T.; Schmidt, A.; Strljic, M. M.; Verl, A.:

A container-based architecture for the flexible coupling of communication protocols.

In: 18. Internationales Stuttgarter Symposium: Springer, 2018, S. 827-841

Wnuk, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

Formschlüssiges Spannen leicht gemacht.

In: Michael, C. (Hrsg.) KEM Konstruktion. (2018b), Nr. 12, S. 34-35

Kübler, K; Krebser, G.:

Steuerungssoftware automatisiert prüfen

In: MM Maschinenmarkt der Fokus 124 (4), S. 28-31

VEREIN DER FREUNDE UND EHEMALIGEN MITARBEITERN DES ISW e.V.

Als ISW sind wir stolz auf unsere Alumni und unsere Alumni sind stolz auf uns. Zur besseren Vernetzung untereinander wurde der Verein der Freunde des ISW (kurz VdF) gegründet. Der VdF besteht aktuell aus knapp 200 Mitgliedern aus 5 Jahrzehnten ISW Geschichte. Viele der Mitglieder haben heute Spitzenpositionen in Industrie und Forschung inne, blicken aber immer noch gerne auf ihre Zeit am ISW zurück. Die Mitglieder des VdF werden jedes Jahr zu einer Vielzahl an Veranstaltungen eingeladen, um weiter Kontakt zum ISW zu halten, um sich miteinander auszutauschen oder auch nur um gemeinsam ein Bier zu trinken.

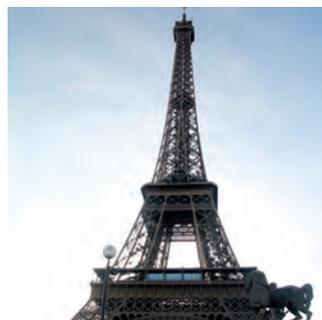
Im September 2019 führte uns die gemeinsame Exkursion nach Dresden. Dort erlebten wir ein interessantes Wochenende mit zahlreichen Highlights (Elbrunndfahrt, Neustadt, Frauenkirche und vieles mehr).



Im Mai 2019 organisierten wir einen gemeinsamen Tagesausflug zum Simigolf - Indoor Schwarzlichtminigolf nach Asperg.



Im Oktober 2018 besuchten wir gemeinsam die großartige Stadt Paris.



WEITERE ISW-EVENTS

Zur Förderung der Kommunikation zwischen aktiven, ehemaligen und zukünftigen ISW'lern finden über das Jahr verteilt zahlreiche Events statt.



Dr. Ch. Friedrich, Dr. M. Voß und Dr. O. Gerlach mit der Prüfungskommission nach bestandener mündlicher Doktorprüfung



Dr. M. Keinert, Dr. T. Engelberth und Dr. Ph. Tempel mit der Prüfungskommission nach bestandener mündlicher Doktorprüfung



Dr. S. Scheifele, Dr. Ch. Scheifele und Dr. P. Zahn mit der Prüfungskommission nach bestandener mündlicher Doktorprüfung



Das jährliche Hoffest am ISW





Das verlorene alljährliche PROF-Spiel verpflichtet die Institutsleitung, ein gemeinsames Weißwurstfrühstück für alle ISW'ler und ISG'ler zu sponsorn



Campus Run auf dem Campus Vaihingen, Juli 2019



Institutsausflug nach Walheim: Weinwanderung und Paddeln am Neckar



Unsere alljährliche Weihnachtsfeier fand in der Alten Reithalle, Hotel Maritim, statt

WIR SUCHEN JUNGE, NEUGIERIGE FORSCHER

HIGH PERFORMANCE AUTOMATISIERUNG!

Das Institut für Steuerungstechnik (ISW) der Universität Stuttgart ist eines der führenden Forschungsinstitute auf dem Gebiet der Steuerungs- und Antriebstechnik.



© Ludmilla Parsyak, ISW Uni Stuttgart

Das ISW bietet einen Arbeitsplatz mit interessanten und technisch innovativen Aufgabengebieten in unterschiedlichen Teilbereichen auf höchstem internationalem Niveau. Unsere Absolventen findet man in den Spitzenpositionen des nationalen und internationalen Maschinenbaus.

Für Absolventen/-innen der Mechatronik, Kybernetik und angrenzender Disziplinen wie Informatik, Maschinenbau und Elektrotechnik bietet das ISW ein ausgezeichnetes Umfeld. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter entwickeln und bearbeiten Sie selbstständig äußerst anspruchsvolle Projekte mit gleichzeitig höchster Entfaltungsmöglichkeit. In den Projekten stehen wissenschaftliche Erfahrungen, interdisziplinäres Fachwissen, Kreativität und Managementfähigkeiten im Mittelpunkt. Es handelt sich bei den Projekten sowohl um grundlagenorientierte als auch um industriennahe Themen. Außerdem wird die Möglichkeit zur Promotion an einer weltweit angesehenen, wissenschaftlichen Einrichtung im Bereich der Steuerungs- und Antriebstechnik gegeben.

**HABEN WIR IHR INTERESSE GEWECKT?
DANN FREUEN WIR UNS AUF IHRE BEWERBUNG.**

Aktuelle Stellenangebote
finden Sie unter
www.isw.uni-stuttgart.de



Universität Stuttgart



Kontakt:

Dr.-Ing. Armin Lechler
armin.lechler@isw.uni-stuttgart.de

Institut für Steuerungstechnik
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart

KONTAKT



**Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart**

Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart
T +49 711 685-82410
F +49 711 685-82808

info@isw.uni-stuttgart.de
www.isw.uni-stuttgart.de

ANFAHRT

Mit dem Auto:

Aus Richtung München oder Karlsruhe A8, Ausfahrt 52b Stuttgart-Degerloch. Der B27 folgen in Richtung Stuttgart Zentrum. Ab Charlottenplatz weiter auf der Schlossstraße bis Berliner Platz, dann rechts in die Seidenstraße abbiegen.



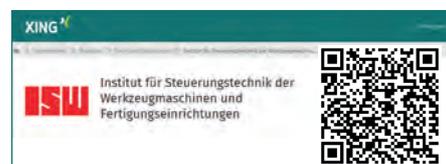
Öffentliche Verkehrsmittel:

Ab Stuttgart-**Hauptbahnhof** mit dem Bus 42 (Richtung Erwin-Schoettle-Platz) bis Haltestelle Rosenberg-/Seidenstraße oder vom Rotebühlplatz/**Stadtmitte** mit der U4 (Richtung Hölderlinplatz) oder mit dem Bus 43 (Richtung Killesberg) bis Haltestelle Rosenberg-/Seidenstraße.

Ab Stuttgart-**Flughafen** mit der S2 (Richtung Schorndorf) oder S3 (Richtung Backnang) bis Haltestelle Rotebühlplatz/**Stadtmitte**, dann Stadtbahn Linie U4 (Richtung Hölderlinplatz) oder mit dem Bus 43 (Richtung Killesberg) bis Haltestelle Rosenberg-/Seidenstraße.

BESUCHEN SIE UNS

-  www.facebook.com/iswunistuttgart
-  <https://twitter.com/iswunistuttgart>
-  <https://www.xing.com/companies/institutfürsteuerungstechnikderwerkzeugmaschinen-undfertigungseinrichtungen>
-  <https://de.industryarena.com/isw-uni-stuttgart>



IMPRESSUM

ISSN: 1614-8185

Schutzgebühr: 5,00 Euro

Herausgeber:

Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen
in Zusammenarbeit mit
ALPHA Informationsgesellschaft mbH

Redaktionelle Zusammenarbeit:

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen
Universität Stuttgart
Seidenstraße 36
70174 Stuttgart

Inga Deines
T: +49 (0)711 685-83880
inga.deines@isw.uni-stuttgart.de

Xenia Günther
T: +49 (0)711 685-82453
xenia.guenther@isw.uni-stuttgart.de

www.isw.uni-stuttgart.de

Bildnachweis:

Soweit nicht anders gekennzeichnet
© Copyright 2020 – Universität Stuttgart ISW

Anzeigenverwaltung/Gesamtherstellung:

ALPHA Informationsgesellschaft mbH
Finkenstraße 10
68623 Lampertheim
T: +49 (0)6206 939-0
F: +49 (0)6206 939-232
www.alphapublic.de

Die Informationen in diesem Heft sind sorgfältig geprüft worden, dennoch kann keine Garantie übernommen werden. Eine Haftung für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, des Vortrags, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung des Werkes oder von Teilen des Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechts der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Projekt-Nr. 003-339

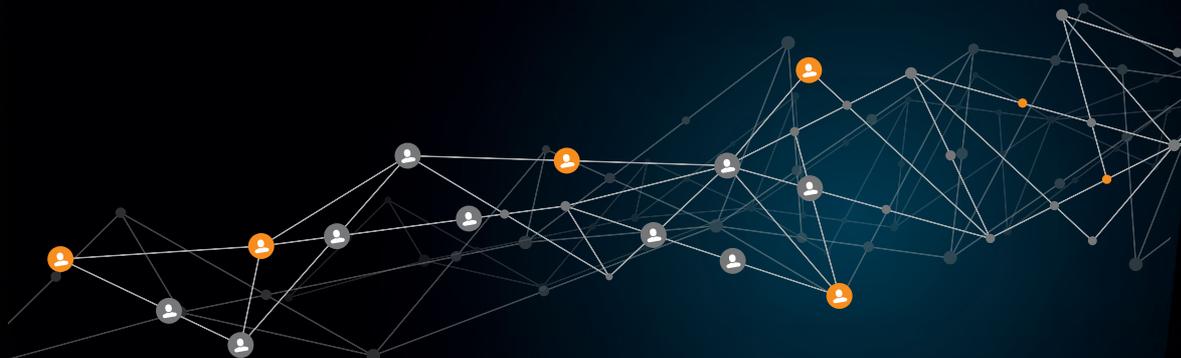


NOTIZEN

Lined writing area consisting of 20 horizontal lines.



spsconnect
The digital automation hub



AUTOMATION GOES DIGITAL

- Trendthemen der Automatisierung
- Hochkarätige Referenten
- Interaktive Expertenrunden
- KI-gestütztes Matchmaking

Werden Sie Teil des digitalen Branchentreffs der Automatisierungsindustrie vom 24. – 26.11.2020.

Jetzt Ticket sichern!
sps-messe.de/eintrittskarten

50 %
Rabattcode:
SPSXXAZ1

mesago
Messe Frankfurt Group



Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen



WIR STEuern ZUKUNFT



VIRTUELLE PRODUKTION



STEUERUNG



SIMULATION



ENGINEERING



ANTRIEBSREGELUNG



ADDITIVE FERTIGUNG



KOMMUNIKATION



MASCHINENTECHNIK

www.isw.uni-stuttgart.de

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen
Seidenstr. 36
70174 Stuttgart