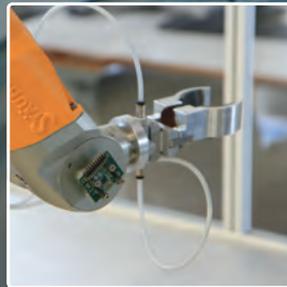
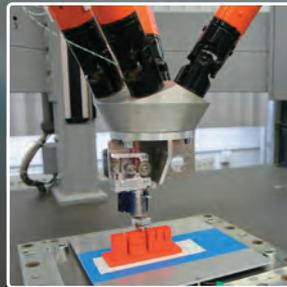


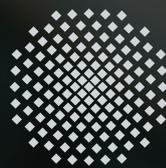
I M B L I C K P U N K T

ISSN 1614-8185

DEUTSCHLANDS
exzellenz-INSTITUTE



„Industrie 4.0 machen wir seit über 50 Jahren“



Universität Stuttgart

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen



HERAUSGEBEN VOM INSTITUT FÜR WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN
UND DER ALPHA INFORMATIONSGESellschaft MBH



**„ALLES IST WICHTIG,
WAS DIE GRENZEN UNSERES WISSENS ERWEITERT
UND DEM GEIST NEUE GEGENSTÄNDE
DER WAHRNEHMUNG ODER NEUE VERHÄLTNISSE
ZWISCHEN DEM WAHRGENOMMENEN DARBIETET.“**

ALEXANDER VON HUMBOLDT

Deutscher Naturforscher

(1769 – 1859)

VORWORT

Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart zählt in Deutschland und international zu den führenden universitären Forschungsinstituten auf dem Gebiet der Fertigungsautomatisierung. Am ISW werden seit über 50 Jahren neben grundlagenorientierten Forschungsaktivitäten auch herausforderungsvolle Aufgabenstellungen aus der Industrie erfolgreich bearbeitet.

Die Kernkompetenzen des ISW liegen nach wie vor im Bereich der industriellen Steuerungs- und Antriebstechnik. Hierzu gehören Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu innovativen Steuerungs- und Regelungskonzepten, deren Umsetzungen von embedded- bis hin zu cloud-basierten Lösungen reichen. Die industrielle Kommunikation zieht sich von der harten echtzeitbehafteten Feldebene bis hin zur Maschinenvernetzung in die Cloud. Durch Weiterentwicklungen im Bereich der Simulation und dem Engineering wird die steigende Komplexität beherrschbar gemacht.

Diese Broschüre gibt einen Überblick über die Forschungskompetenzen und das Lehrangebot, aber auch über die Geschichte und das umfangreiche Netzwerk des Instituts. Industrie 4.0 existiert am ISW seit 50 Jahren!

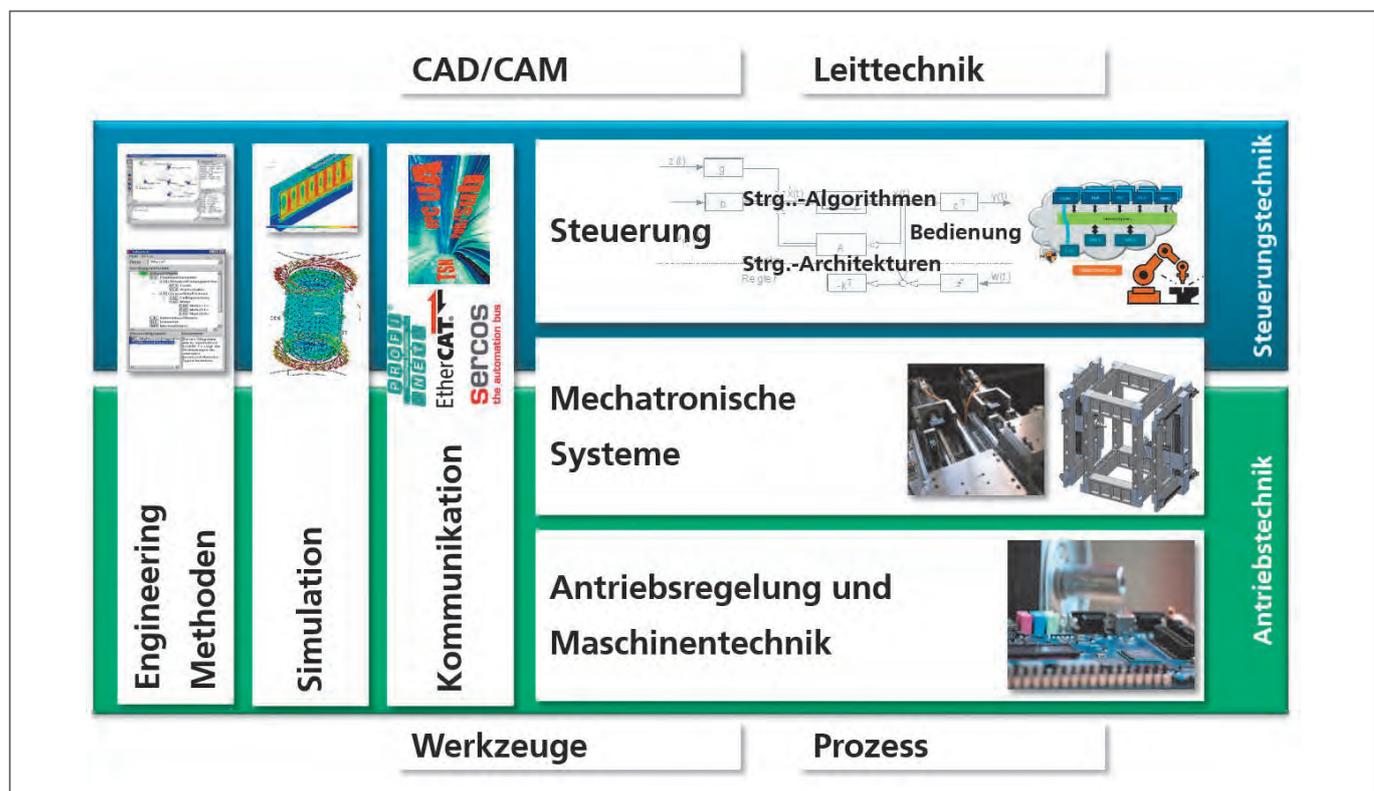
Ich freue mich wieder am ISW zu sein, das nach wie vor als zukunftsorientiertes und innovatives Institut aufgestellt ist. Zahlreiche internationale Kontakte, eine anhaltend rege Publikationsaktivität, gute Industrienähe, eine exzellente und nachhaltige Lehrtätigkeit und das Management der Studiengänge Mechatronik B.Sc. und M.Sc. verleihen dem ISW besondere Stärke.

Wir freuen uns auf zukünftige Herausforderungen. Nehmen Sie Kontakt mit uns auf!

Mit besten Grüßen



Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Alexander Verl
(*Institutsleiter*)



INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	3
1. Institutsstruktur	6
Gruppe 1: Planungssysteme und Engineeringmethoden	7
Gruppe 2: Industrielle Steuerungstechnik	8
Gruppe 3: Antriebs- und Regelungstechnik	11
Gruppe 4: Maschinentechnik	12
Gruppe 5: Mechatronische Systeme	13
Partnerinstitut Fraunhofer IPA	14
2. Forschung	15
Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME)	15
Forschungsprojekte	16
Dienstleistungen für die Industrie	98
Auszeichnungen	99
3. Lehre	100
Vorlesungen, Übungen, Praktika und Kurse	100
Abgeschlossene studentische Arbeiten	101
Abgehaltene Prüfungen	107
Exkursionen für Studierende	108
Sonstige studentische Veranstaltungen	109
Auszeichnungen	111
ISW Academy	112
Abgeschlossene Dissertationen	113
Hochschulkontakte	118
4. Öffentlichkeitsarbeit	119
Mitgliedschaften	119
Mitarbeit an Selbstverwaltungsaufgaben der Universität	120
Ehrenamtliche Mitarbeit in Institutionen, Ausschüssen und Verbänden	121
Aktive Teilnahme an Messen und Ausstellungen	122
5. Maschinenausstattung	123
6. Veröffentlichungen und Vorträge	124
7. Weiterbildungsveranstaltungen	127
8. Angehörige des Instituts, Weitere ISW-Events	129
9. Verein der Freunde	131
10. Stellenausschreibung	132
11. Kontakt	133

INSTITUTSSTRUKTUR



Stand: Oktober 2016

Das ISW an der Universität Stuttgart steht wieder unter der bewährten wissenschaftlichen Leitung von Herrn Prof. Alexander Verl nach seiner Rückkehr aus dem Fraunhofer Vorstand. Herr Dr. Armin Lechler ist nach wie vor für die erfolgreiche Führung der Geschäfte am Institut als stellvertretender Institutsleiter verantwortlich. Die Institutsleitung wird unterstützt durch die Juniorprofessur von Herrn Jun.-Prof. Andreas Pott.

Die etablierte fachliche Gliederung des ISW in fünf Gruppen mit den folgenden Schwerpunkten hat nach wie vor Bestand:

- Planungssysteme und Engineeringmethoden
- Industrielle Steuerungstechnik
- Antriebs- und Regelungstechnik
- Maschinentechnik
- Mechatronische Systeme

In den einzelnen Gruppen werden die jeweiligen Forschungsthemen und Industrieprojekte

zu den einzelnen Schwerpunkten bearbeitet und durch innovative Ideen stetig ausgebaut. Das ISW ist darüber hinaus für die wissenschaftliche Betreuung der Graduiertenschule GSaME für das Cluster G an der Universität Stuttgart verantwortlich. Zentrale Dienste unterstützen den Erfolg des Instituts durch Übernahme von administrativen Aufgaben bei der Studierendenbetreuung, Organisation der Lehre, dem Rechnungswesen und dem Sekretariat sowie der Assistenz der Institutsleitung. Im technischen Büro werden erfolgreich Veranstaltungen und Marke-

tingmaßnahmen koordiniert. Die elektrische und mechanische Werkstatt garantieren am Institut eine schnelle und zuverlässige Umsetzung von Versuchsständen, Prototypen, Praktikumsaufbauten und Funktionsmustern.

GRUPPE 1: PLANUNGSSYSTEME UND ENGINEERINGMETHODEN



Bild 1: Cloudbasierte Systemarchitekturen

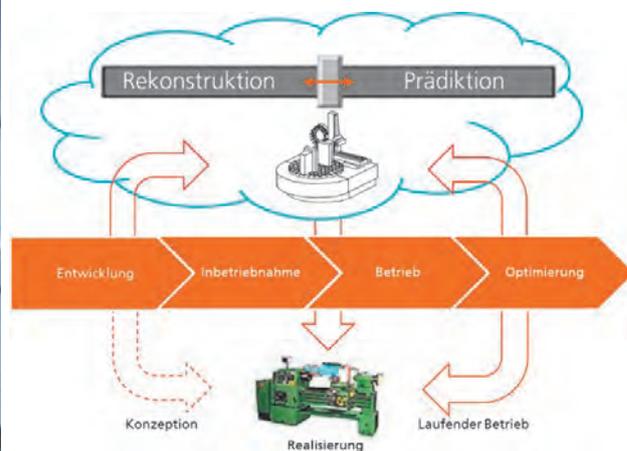


Bild 2: Schwerpunkt der Gruppe 1 – Digitale Produktion

Leitung:

Dipl.-Ing. Markus Birkhold

Gruppenmitglieder:

Carsten Ellwein, M.Sc.
 Christian Friedrich, M.Eng.
 Florian Jaensch, M.Sc.
 Timur Tasci, M.Sc.
 Dipl.-Ing. Alexander Schmidt

Planungsalgorithmen

- Kamerabasierte Aktions- und Bahnplanung (Instandhaltung oder Schweißen)
- Modellbasierte Prozess- und Bahnplanung (Gießprozessen)
- Fähigkeitsbasiertes Scheduling von Aufträgen

Systemanalyse und -optimierung

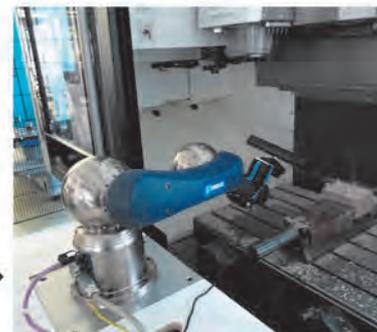
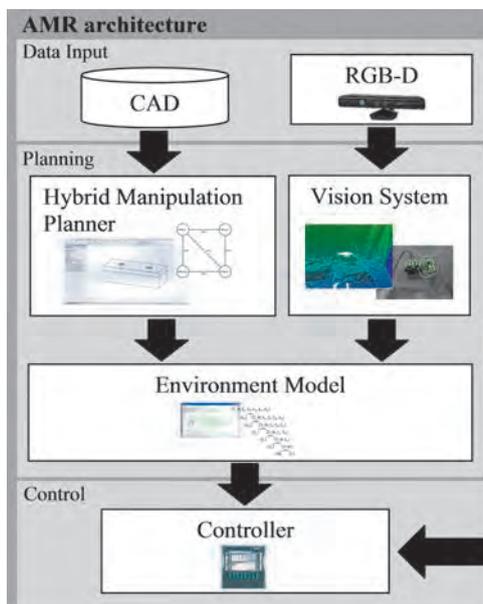
- Datengetriebene Identifikation von System(Fehl)verhalten
- Systemmodellierung (Aufbau von HiL-, Prozess-, Security-Modellen)
- Lernende Algorithmen
- Intuitive Bedienkonzepte für komplexe Anlagen oder Planungssysteme

Forschungsschwerpunkte:

Entwicklungs- und Projektierungsmethoden

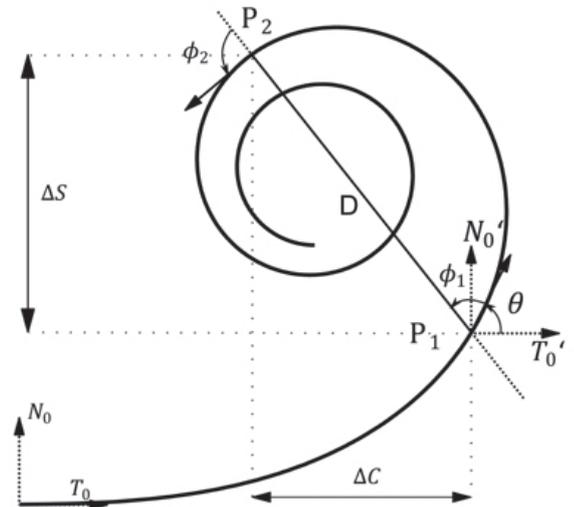
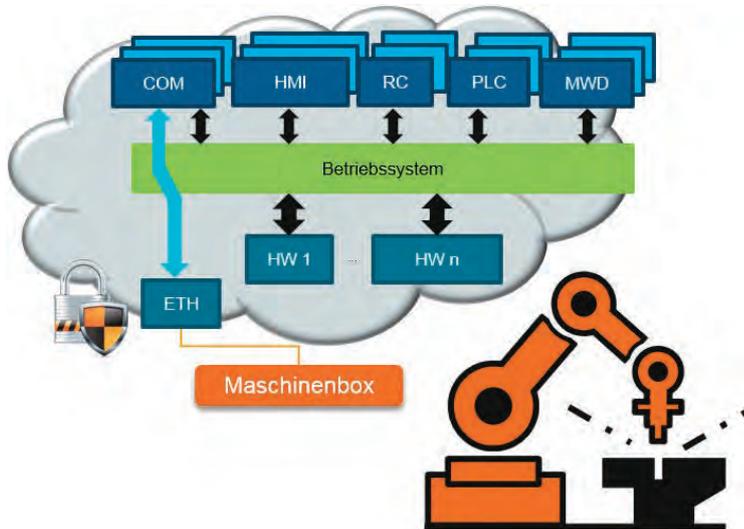
- Innovative Entwicklungs- und Projektierungsmethoden (simulationsgestützt, funktional, Baukastenbasiert, u.A.) für Fertigungseinrichtungen
- Optimierung des Entwicklungsprozesses
- Funktionale Betrachtung von (IT-)Sicherheitsanforderungen
- Cloudbasierte Systemarchitekturen für die Automatisierungstechnik

Bild 3: Automatische Planung und Durchführung von Instandhaltungsprozessen



Kontakt: Dipl.-Ing. Markus Birkhold
 Markus.Birkhold@isw.uni-stuttgart.de

GRUPPE 2: INDUSTRIELLE STEUERUNGSTECHNIK



Leitung:

Dipl.-Ing. Matthias Keinert

Gruppenmitglieder:

- Dipl.-Ing. Agus Atmosudiro
- Dipl.-Ing. Mihai Dragan
- Caren Dripke, M.Sc.
- Tobias Korb, M.Sc.
- Dipl.-Ing. Felix Kretschmer
- Dipl.-Ing. Karl Kübler
- Dipl.-Ing. Philipp Neher
- Christian Scheifele, M.Sc.
- Philipp Sommer, M.Sc.
- Matthias Strljic, M.Sc.

Forschungsschwerpunkte:

Simulation

- Virtuelle Inbetriebnahme
- Hardware-in-the-Loop- und Echtzeitsimulation
- Materialflusssimulation
- Simulationsbasierter Steuerungstest

Steuerungsarchitekturen und -funktionen

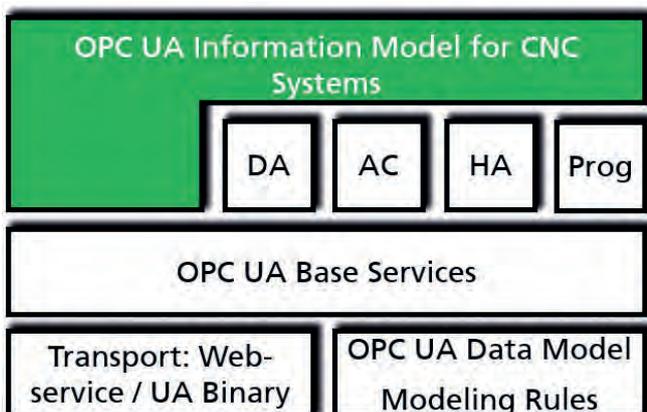
- Steuerungssysteme und Benutzeroberflächen
- NC-Kernfunktionalität

- Herstellerspezifische und -übergreifende Steuerungsschnittstellen
- Cloudbasierte Steuerungstechnik
- Multicore-fähige Steuerungstechnik

Kommunikationstechnik

- Test von (ethernet-basierten) Feldbussystemen
- Kompetenzzentrum für Sercos
- Middleware-systeme (OPC UA, SOAP, CORBA, ...)
- Anbindung Maschine – Cloud

Kontakt: Dipl.-Ing. Matthias Keinert
Matthias.Keinert@isw.uni-stuttgart.de



GRUPPE 3: ANTRIEBS- UND REGELUNGSTECHNIK



Leitung:

Dipl.-Ing. Peter Zahn

Gruppenmitglieder:

Dipl.-Ing. Florian Frick
Dipl.-Ing. Oliver Gerlach
Ali Karim, M.Sc.
Johann Uphoff, M.Sc.
Dipl.-Ing. Hendrik Vieler

Forschungsschwerpunkte:

Antriebstechnik

- Antriebe für Werkzeugmaschinen und Industrieroboter
- Regelkonzepte für Servoantriebe und Sonderanwendungen
- Leistungselektronik und Umrichtertechnik
- Auslegung, Systemanalyse und Identifikation
- Vergleichende Untersuchung und Optimierung

Architekturkonzepte

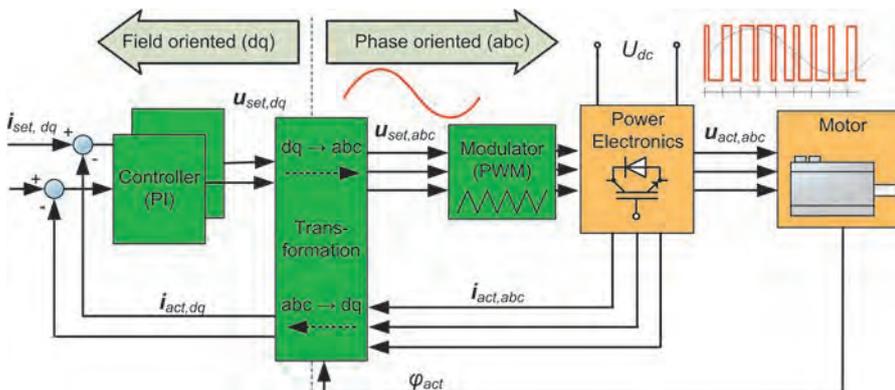
- Offene Steuer- und Regelplattformen
- Anwendung von FPGA-Technik
- Sensordatenerfassung und -aufbereitung
- Anbindung an Feldbusse
- Modellintegration

Bearbeitung mit Industrierobotern

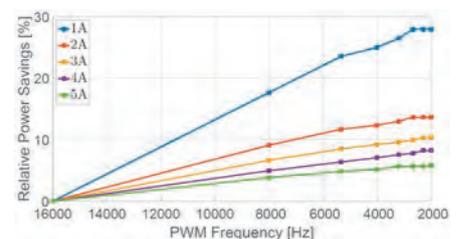
- Schwingungsdämpfung
- Untersuchung der Posenabhängigkeit

Weitere Themen

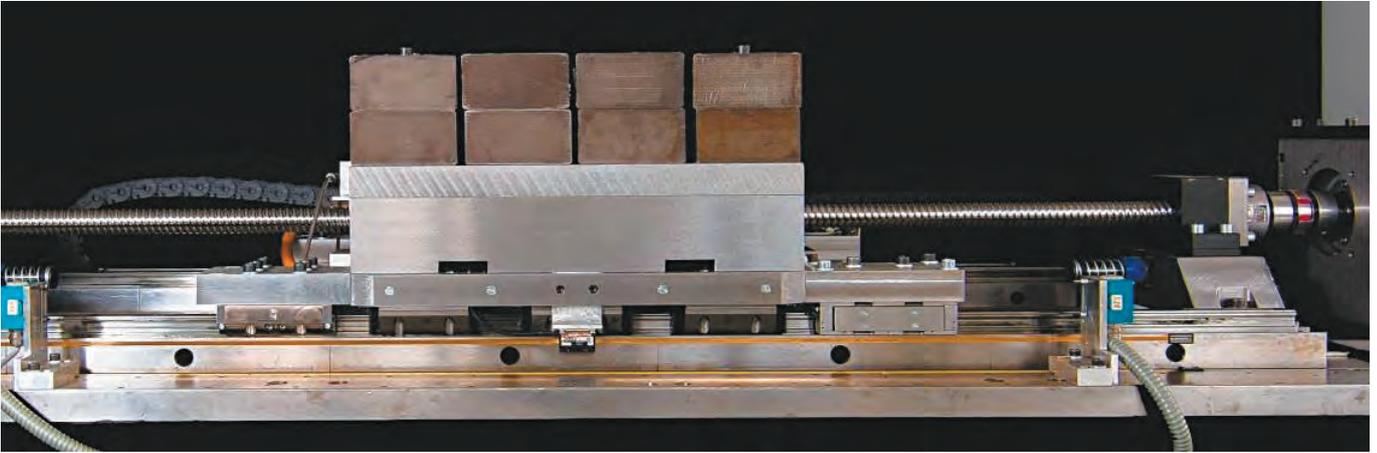
- Regelung induktiver Erwärmungsprozesse



Kontakt: Dipl.-Ing. Peter Zahn
Peter.Zahn@isw.uni-stuttgart.de



GRUPPE 4: MASCHINENTECHNIK



Leitung:

Dipl.-Ing. Peter Zahn

Gruppenmitglieder:

Michael Neubauer, M.Sc.

Dipl.-Ing. Zheng Sun

Forschungsschwerpunkte:

Maschinendynamik

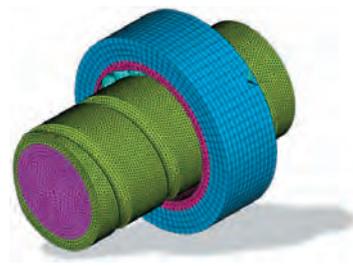
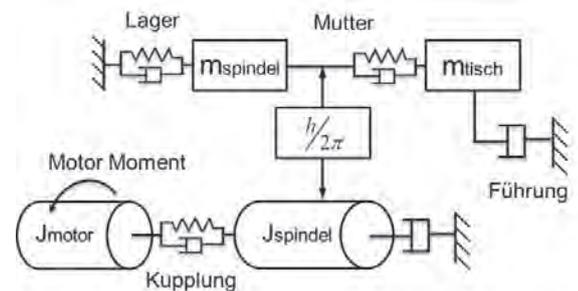
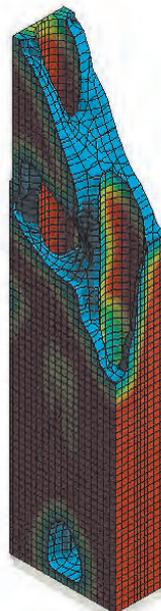
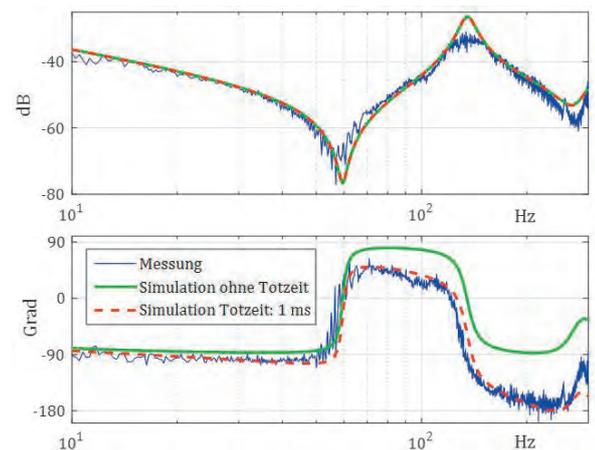
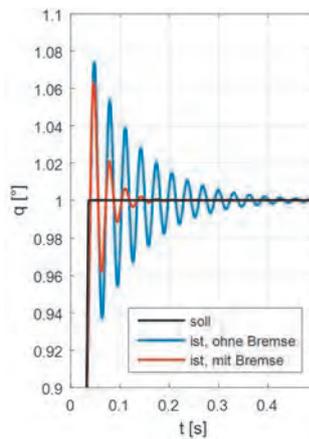
- Experimentelle (Modalanalyse) und simulative (FEM, MKS) Untersuchungen
- Neue Konzepte zur Dynamiksteigerung

Vorschubantriebe

- Betrachtung von Einzelkomponenten und Gesamtsystem
- Auslegung und Inbetriebnahme
- Numerische Optimierung (FEM, CACE, MKS)
- Messtechnische Untersuchung und vergleichende Analysen

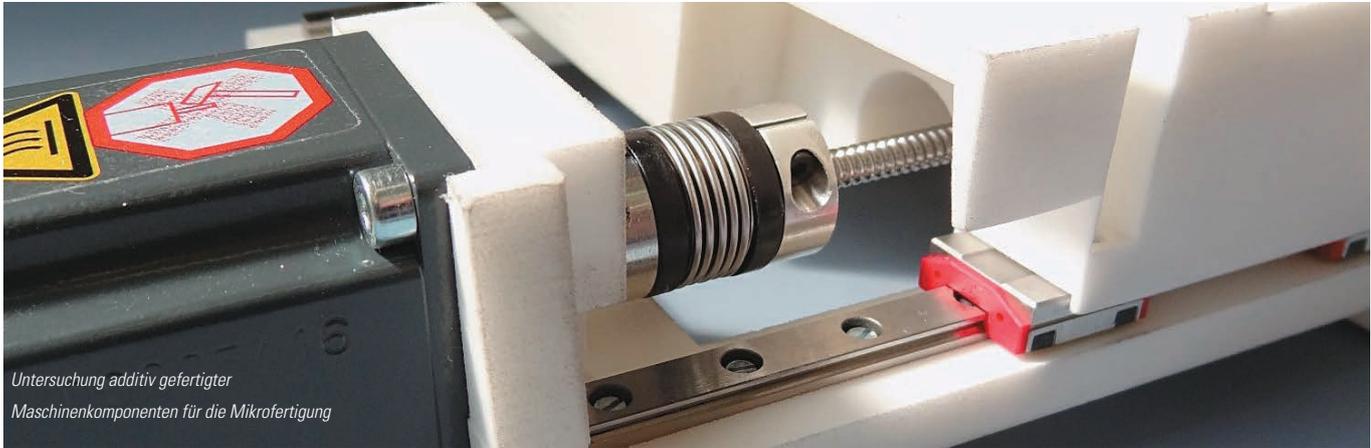
Maschinenkomponenten

- Kugelgewindetriebe
- Zahnriementriebe
- Zahnstange-Ritzel-Antriebe
- Wälzführungen
- Elastomerkupplungen



Kontakt: Dipl.-Ing. Peter Zahn
Peter.Zahn@isw.uni-stuttgart.de

GRUPPE 5: MECHATRONISCHE SYSTEME



Das Forschungsziel ist die Optimierung des Gesamtsystems Werkzeugmaschine bzw. Fertigungseinrichtung im Verständnis als mechatronisches System

Leitung:

Dipl.-Ing. Daniel Coupek

Gruppenmitglieder:

Dipl.-Ing. Stefanie Apprich
Florian Eger, M.Sc.
Tim Engelberth, M.Sc.
Dipl.-Ing. Jens Friedrich
Dipl.-Ing. Stefan Scheifele
Dipl.-Ing. Philipp Tempel
Frederik Wulle, M.Sc.

Forschungsschwerpunkt:

Additive Fertigung

- Steuerungstechnische Optimierung additiver Fertigungsverfahren
- Entwicklung neuer Druckköpfe (Düsenarrays, Faserintegration)
- Additive Fertigung bionischer Bauteile
- Innovative Kinematiken für den mehrachsigen 3D-Druck

Analyse und Optimierung des Maschinenverhaltens

- Steuerungs- und Regelungsverfahren zur Schwingungsreduktion
- Ausschussreduktion in Produktionssystemen
- Experimentelle Modalanalyse

- Energieverbrauchsmodellierung für Produktionsmaschinen
- Maschinelle Lernverfahren

Entwicklung von Maschinenkonzepten

- Rekonfigurierbare modulare Werkzeugmaschinen für die Mikrobearbeitung
- Untersuchung und Entwicklung von Gleitführungen mit adaptivem Reibverhalten
- Sonderkinematiken

Angewandte Steuer- und Regelungsverfahren

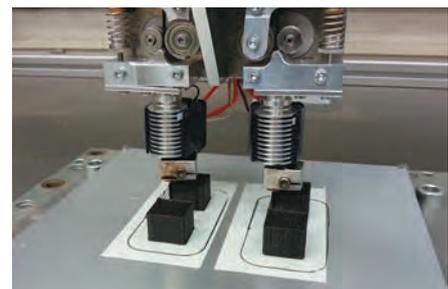
- Energieeffizienzsteigerung
- Erhöhung der Prozessstabilität und -robustheit
- Maschinendiagnose auf Basis von Antriebssignalen
- Steigerung der Verfügbarkeit von Werkzeugmaschinen

Simulationstechnik

- Virtuelle Inbetriebnahme
- Automatische Modellgenerierung
- Simulation strömungsmechanischer Prozesse



Zahnstange-Fitzel Versuchsstand



Entwicklung und Ansteuerung neuer Druckköpfe



Additive Fertigung bionischer Bauteile

Kontakt: Dipl.-Ing. Daniel Coupek
Daniel.Coupek@isw.uni-stuttgart.de

PARTNERINSTITUT FRAUNHOFER IPA



Das Fraunhofer IPA ist eines der größten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und wird geleitet von Prof. Thomas Bauernhansl.

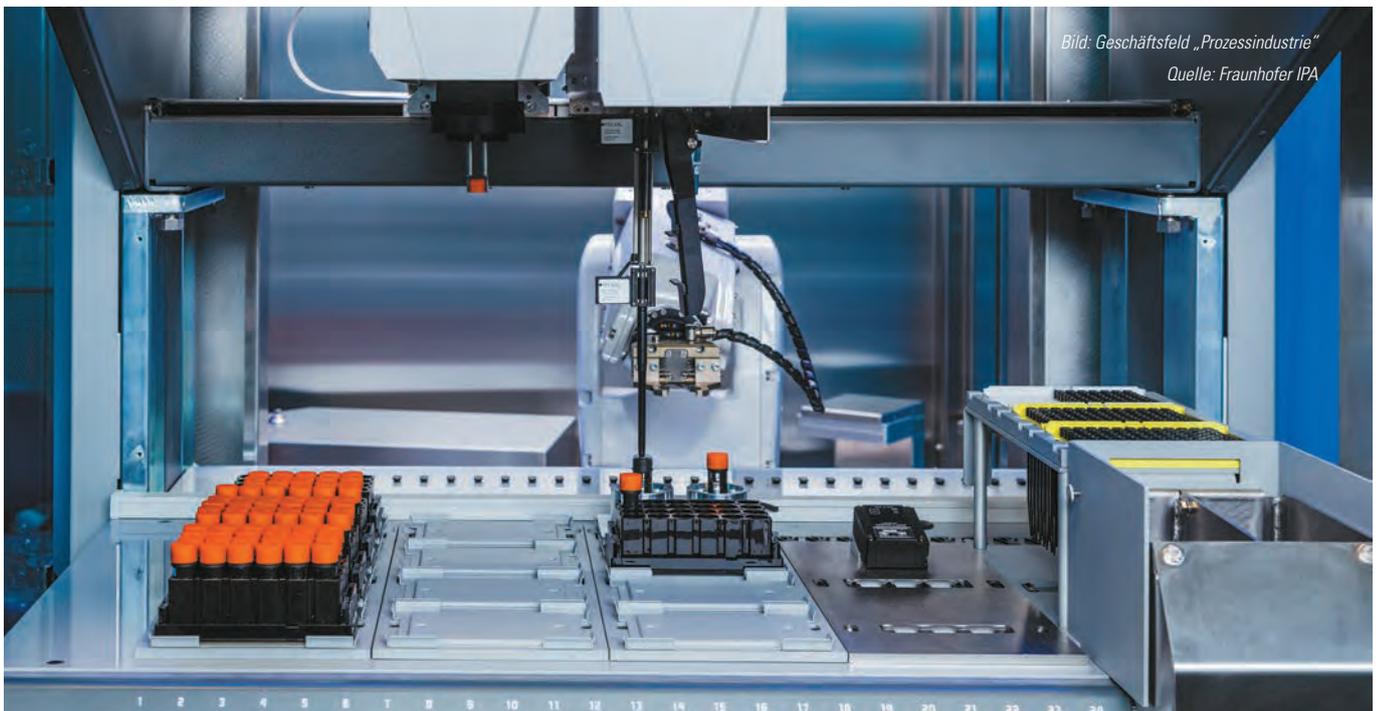


Bild: Geschäftsfeld „Prozessindustrie“
Quelle: Fraunhofer IPA

Das ISW kooperiert mit dem IPA in folgenden Projekten:

- FastStorage BW II
- Steuerungsarchitektur (Fa. Trumpf)
- EXPO 2015
- Schweißroboter
- SPS/IPC/DRIVES 2015
- Fahrgeschäfte
- Weitere Ultraschallprüfanlagen

Das ISW bringt in diesen gemeinsamen Projekten seine steuerungstechnische Expertise ein.

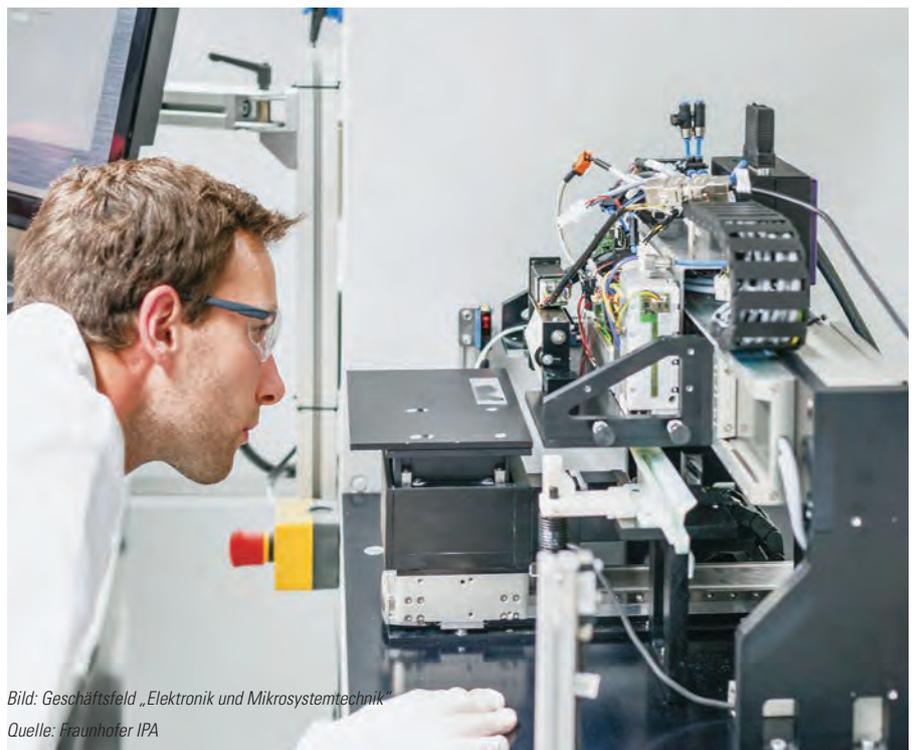


Bild: Geschäftsfeld „Elektronik und Mikrosystemtechnik“
Quelle: Fraunhofer IPA

Kontakt: <http://www.ipa.fraunhofer.de>

GRADUATE SCHOOL OF EXCELLENCE IN ADVANCED MANUFACTURING ENGINEERING (GSaME)



GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)

Das ISW beteiligt sich mit dem Cluster „Intelligente Produktionseinrichtungen“ an der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME) der Universität Stuttgart.

Forschungs- und Innovationsleistungen für eine zukunftsfähige Produktion, international führende Produktionstechnologien und auf einen Wandel der Arbeit in einer digitalisierten Welt vorbereitete, nachgefragte Absolventen/-innen sind Beiträge der Graduiertenschule GSaME für einen wettbewerbsfähigen Industriestandort. Die gelungene Einbindung in eine leistungsstarke Forschungsumgebung, die Integration in einen international herausragenden Produktionsstandort sowie die Realisierung des interdisziplinären Forschungsprogramms „advanced Manufacturing Engineering“ (aME) haben die GSaME befähigt, den Herausforderungen an Spitzenforschung, Innovation und Qualifizierung aus der Veränderung von Produktionssystemen und Produktionstechnik, gemeinsam mit ihren Partnern auf höchstem akademischen Niveau, mit Relevanz für den Wirtschaftsstandort und international sichtbar Rechnung zu tragen. Mit ihrem dualen Grundkonzept, das Forschung mit industrieller Realität verbindet, hat sie bewusst einen Weg eingeschlagen, der sie von anderen Graduiertenschulen unterscheidet. Dieses Alleinstellungsmerkmal ist eine wesentliche Grundlage für eine kontinuierlich positive Entwicklung der GSaME.

Das Ziel der Graduiertenschule besteht darin, optimale Voraussetzungen für Promotionen zum Dr.-Ing. und Dr. rer. pol. und die Förderung des wissenschaftlich qualifizierten Nachwuchses durch ein Modell zu schaffen, das neben der originären wissenschaftlichen Arbeit eine ergänzende methodische,



inhaltlich-fachliche und außerfachliche Qualifizierung ermöglicht und durch verbindliche, transparente und angemessene Betreuungsstrukturen das Erreichen der Forschungs- und Qualifizierungsziele innerhalb einer Promotionsdauer.

Mehr als 30 Nachwuchswissenschaftler haben bereits promoviert und übernehmen anspruchsvolle Aufgaben in der Wirtschaft. Mehr als 40 Promovierende forschen derzeit in der GSaME und 35 Principal Investigators der GSaME sichern die Rahmenbedingungen für eine exzellente Promotion.

Seit 2014 wurden 3 Promotionen am ISW abgeschlossen, oder stehen kurz vor

Abschluss. Momentan promoviert ein Doktorand als Stipendiat der GSaME am ISW. Hier werden Methoden zur vorbeugenden und automatisierten Wartung und Instandhaltung erforscht. Genaueres findet sich in den Einzelprojektbeschreibungen.

Kontakt: Dr.-Ing. Akos Csiszar
Akos.Csiszar@gsame.uni-stuttgart.de

FORSCHUNGSPROJEKTE

PARALLELISIERUNG DES NC-KANALS ZUR AUSFÜHRUNG AUF MULTICORE-ARCHITEKTUREN (PANAMA)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Die Entwicklungen der Prozessortechnik haben die technologischen Neuerungen in der Steuerungstechnik stets begünstigt. Mit der Einführung von Multicore-Prozessoren stehen nun leistungsfähige Systeme bereit, die gewinnbringend im Bereich der NC-Steuerungen eingesetzt werden können. Allerdings muss hierfür die Software zur Ausführung auf Multicore-Prozessoren ausgelegt sein. Dies ist im Bereich der NC-Steuerung aktuell nur bedingt der Fall. Im Projekt PANAMA wird deshalb untersucht, wie der NC-Kern effizient auf Multicore-Architekturen ausgeführt werden kann.

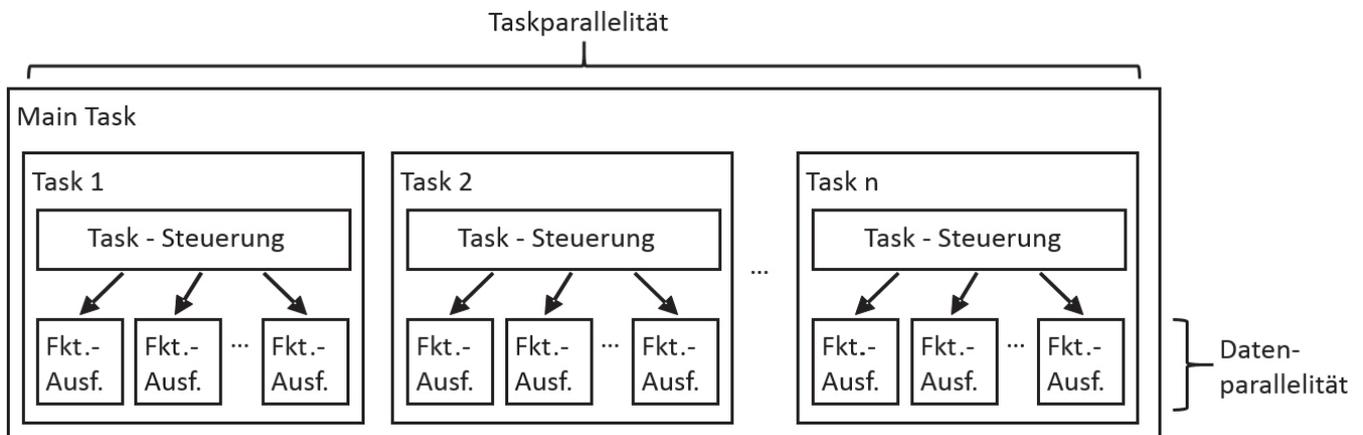


Bild 1: Partitionierungskonzepte

Die NC-Steuerung ist durch die Generierung der Bahnbewegung in großem Maße für die Qualität und Produktivität einer Werkzeugmaschine mitverantwortlich. Die Algorithmen zur Berechnung der Bahn haben aus diesem Grund über die Jahre an Komplexität zugenommen, da auch die Maschinenkinematiken komplexer, die Bearbeitungsprozesse anspruchsvoller wurden und die Anforderungen an Produktivität und Werkstückqualität kontinuierlich gestiegen sind. Die Ausführung dieser Algorithmen bedarf aus diesem Grund leistungsfähiger Systemplattformen.

Bei Prozessoren ist über die Jahre hinweg ein enormer Leistungszuwachs zu verzeichnen. Bis vor wenigen Jahren war die Erhöhung der Taktfrequenz sowie die Erhöhung der Schaltungskomplexität die treibende Kraft hinter der Leistungssteigerung verfügbarer Prozessoren. Diese Entwicklung wurde jedoch

durch die exponentiell steigende Verlustleistung und Probleme bei der Wärmeabfuhr begrenzt. Heute erfolgt die Leistungssteigerung aus diesem Grund nicht mehr durch die Steigerung der Leistungsfähigkeit eines Rechenkerns, sondern durch die Hinzunahme weiterer Rechenkerne. Parallele Rechenkerne sind ein adäquates Mittel, um den Datendurchsatz zu erhöhen und gleichzeitig die Verlustleistung aufgrund niedriger Taktfrequenzen und Spannungsversorgungen zu reduzieren.

Die Leistungsfähigkeit von Prozessoren kann theoretisch unbegrenzt durch die Hinzunahme von Rechenkernen gesteigert werden. Allerdings gilt zu beachten, dass die Softwareanwendungen, die auf Multicore-Prozessoren ausgeführt werden, eine entscheidende Rolle spielen, ob die verfügbare Leistung auch tatsächlich genutzt

werden kann. Die Anwendungen müssen möglichst effizient auf die Rechenkerne aufteilbar sein. Dies erfordert ein Umdenken im Softwaredesign. Softwareanwendungen dürfen nicht mehr sequentiell angelegt werden, sondern müssen in viele parallel ausführbare Einheiten aufgeteilt werden. Im Bereich der NC-Technik ist dies nur bedingt gegeben. Zwar ist die NC-Steuerungssoftware in der Regel modular aufgebaut, eine Verteilung der rechenintensiven Algorithmen der NC-Steuerung ist jedoch nicht möglich.

Ein Umstieg auf Multicore-Prozessoren im Bereich der NC-Steuerungen ist aus verschiedenen Gründen notwendig. Erstens lasten aktuell verfügbare Algorithmen zur Sollwertgenerierung die eingesetzten Prozessoren unter Einhaltung der Echtzeitbedingungen teilweise bis zur Leistungsgrenze aus. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn bei der

Sollwertgenerierung eine hohe Anzahl an Maschinenachsen berücksichtigt wird. Zweitens stellt die Bahnvorbereitung, welche die Funktionen bündelt, die dem Interpolator direkt vorgeschaltet sind (z.B. Look-Ahead und Bahnglättung), einen rechenintensiven Prozess mit hohen zeitlichen Anforderungen dar. Die Bahnvorbereitung kann bis an die Leistungsgrenze beaufschlagt werden. Dies gilt beispielsweise für den Look-Ahead bei der Werkstückbearbeitung unter Verwendung sehr kurzer Bahnsegmente. Drittens besteht im Bereich der NC-Steuerungen aufgrund des Kostendrucks die Notwendigkeit auf Standardkomponenten zurückzugreifen. In Anbetracht der Tatsache, dass Single-Core-Prozessoren auslaufende Modelle sind, muss der Umstieg auf Multicore-Prozessoren erfolgen.

Ziel des Projektes PANAMA ist deshalb, den NC-Kern softwaretechnisch zu partitionieren um den größtmöglichen Nutzen aus der Leistungssteigerung durch mehrere Kerne zu ziehen. Zwei Ansätze finden in diesem Kontext Berücksichtigung (siehe **Bild 1**): zum einen die Task- und zum anderen die Datenparallelität. Unter Taskparallelität versteht sich die gleichläufige Ausführung verschiedener Funktionen auf mehreren Prozessorkernen zur Verarbeitung eines oder mehrerer Datensätze. Die Datenparallelität hingegen ist die parallelisierte Verarbeitung eines Datensatzes durch eine Funktion.

Für die Validierung der gewählten Lösung wurden im Projekt die essentiellen Funktionen einer NC-Steuerung umgesetzt: Interpreter, Look-Ahead, Slope und Interpolator. Aktuelle Untersuchungsergebnisse sind vielversprechend, siehe **Bild 2** und **Bild 3**. Mit den parallel ausgeführten Funktionen lässt

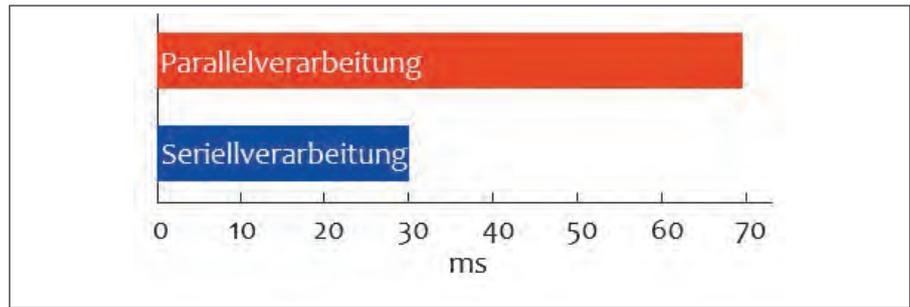


Bild 2: Vergleich von Ausführungszeiten (hier Look-Ahead) für gegebenen Datensatz

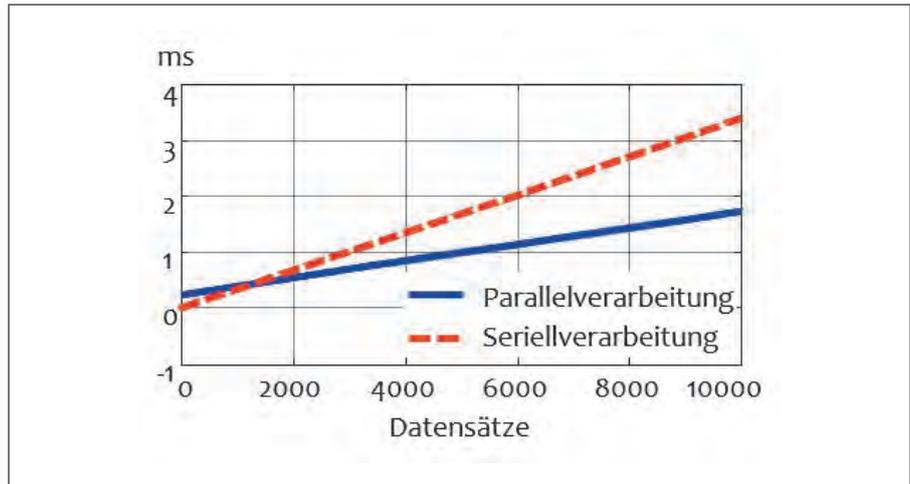


Bild 3: Vergleich von Ausführungszeiten (hier Look-Ahead) in Abhängigkeit vom Datenaufkommen

sich der Datendurchsatz maßgeblich erhöhen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Dauer zur Verarbeitung eines gegebenen Datensatzes reduziert wird und Ressourcen beispielsweise für aufwendigere Algorithmen frei werden.

Das prototypisch realisierte Multicore-Steuerungssystem wird zum aktuellen Zeitpunkt an einer dreiachsigen Versuchsmaschine getestet.

Kontakt: Dipl.-Ing. Matthias Keinert
 Matthias.Keinert@isw.uni-stuttgart.de

G²-STETIGES ÜBERSCHLEIFVERFAHREN FÜR NC-STEUERUNGEN MITTELS STÜCKWEISE DEFINIERTER KLOTHOIDE (CORNUSPLINE)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Beim Überschleifen findet vor allem die polynombasierten Interpolationsverfahren (Bézier, B-Splines und ihre Derivaten) Anwendung. Das Verfahren basiert auf der Einpassung stückweise definierter Polynome zwischen zwei Stützpunkten, sodass die Bahnverläufe an den Übergangsstellen tangential- und krümmungsstetig sind. Allerdings ergibt sich hierbei kein optimales Geschwindigkeitsprofil. Dies liegt darin begründet, dass der Krümmungsverlauf über die Bogenlänge weder linear noch steuerbar ist. Dies kann zu Geschwindigkeitsabsenkungen führen, um die Verletzung des Achs-Beschleunigungsvermögen sowie hohen Ruck zu vermeiden. Zudem lässt sich die Bogenlänge polynombasierter Verfahren nicht analytisch lösen. Dadurch kommt es zu Fehlern bei der Ausgabe der Weglänge. In diesem Projekt sollen Algorithmen mittels Klothoiden zum zweidimensionalen Überschleifen entwickelt werden.

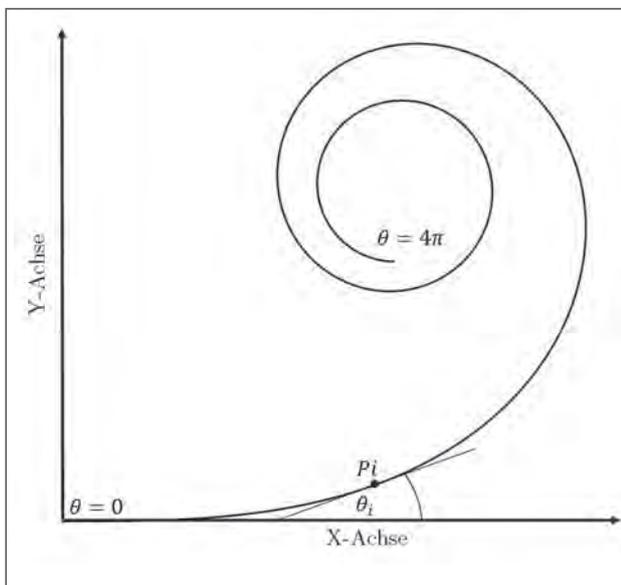


Bild 1: Kartesische Darstellung von Klothoiden

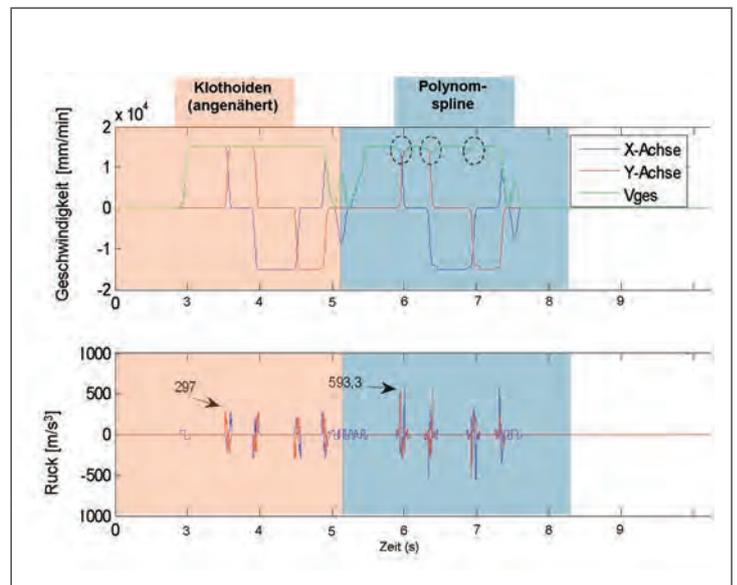


Bild 2: Vergleich des Geschwindigkeits- und Ruckverlaufs zwischen angenäherten Klothoiden und Polynomspline

Die Klothoide, auch Euler- oder Cornuspirale genannt, ist eine Ebene in der Parameterdarstellung beschriebene Spiralkurve. Die Klothoide entsteht durch die Verwendung der Fresnel-Integrale (**Bild 1**), die jedoch nicht analytisch lösbar sind. Hierfür wird ein numerisches Verfahren eingesetzt, bspw. Taylorreihe bzw. deren Erweiterungen, mit Fehler $|\text{fehler}| < 10^{-9}$ und Berechnungszeit von $2 \mu\text{s}$. Besondere Eigenschaften der Klothoide sind die lineare Krümmungszunahme über die Bogenlänge und die Parametrisierung der Kurve über die Bogenlänge. Diese gewährleisten die Krümmungsbegrenzung sowie die exakte Berechnung der Bogenlänge, wodurch

sich ein zeitoptimales Geschwindigkeitsprofil ermitteln lässt.

Im **Bild 2** wird der Geschwindigkeits- und Ruckverlauf als Ergebnis einer Versuchsdurchführung zum linearen Überschleifen dargestellt, links das Überschleifen mit angenäherten Klothoiden und rechts mit Polynomspline. Bei Polynomspline sind Geschwindigkeitsreduzierungen an den Übergangsstellen festzustellen (eingekreist), während das Klothoidenüberschleifens eine konstante Vorschubgeschwindigkeit gewährleistet. Trotz niedrigerer Geschwindigkeit entsteht bei Polynomspline ein höherer Ruck

an den Übergangsstellen. Für produzierende Unternehmen bedeutet dies, dass das Klothoidenüberschleifen eine Reduzierung der Bearbeitungszeit und Maschinenanregung ermöglichen kann.

Kontakt: Dipl.-Ing. Agus Atmosudiro
Agus.Atmosudiro@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 Schaltverluste minimiert werden.

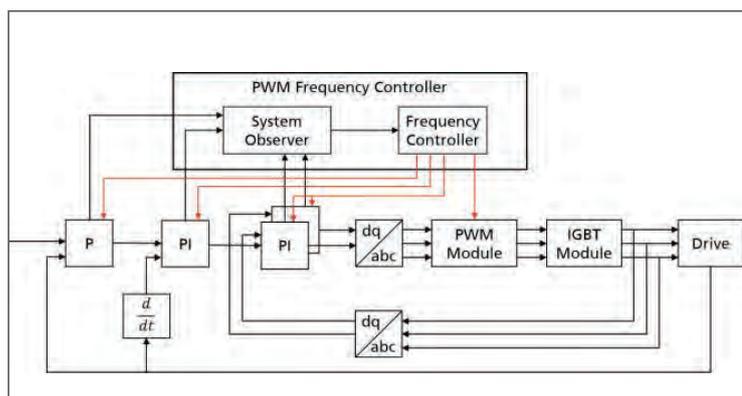


Bild 1: Systemaufbau eines Vorschubantriebs mit Reglerkaskade, Leistungselektronik und übergeordneter Schaltfrequenzregelung

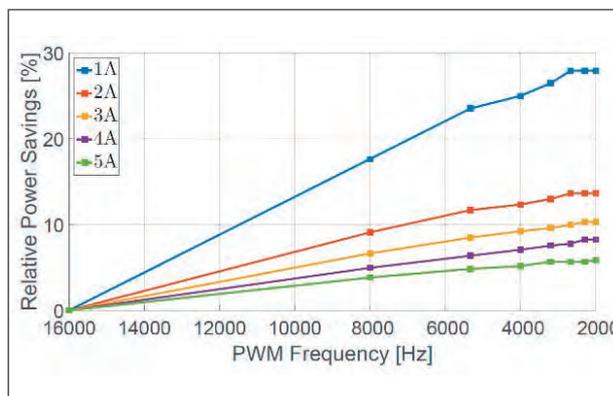


Bild 2: Relative Energieeinsparung bei unterschiedlichen Belastungen in Abhängigkeit der Schaltfrequenz

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.

Große PWM-Frequenzen, welche für eine hohe Dynamik des Antriebs notwendig sind, verursachen jedoch entsprechend dominante

Schaltverluste in den Leistungshalbleitern. Dies vermindert die Energieeffizienz und führt zu Mehraufwand für die entsprechende Wärmeabfuhr.

An diesem Punkt setzt der Algorithmus der adaptiven PWM, wie dargestellt in **Bild 1**, an. Um die Energieeffizienz in Werkzeugmaschinen weiter zu steigern soll in den Prozessschritten, in denen geringere Anforderungen an Genauigkeit und Dynamik gestellt werden, die PWM-Frequenz zur Laufzeit reduziert werden. Daraus resultiert eine Reduzierung der Schaltfrequenz der Leistungshalbleiter und somit entsprechend weniger Schaltverluste. Da sich das Systemverhalten und somit die Übertragungsfunktion bei Anpassung der PWM-Frequenz ändert, müssen außerdem die Parameter der Regelkaskaden automatisch angepasst werden.

Das Verfahren wurde auf der am Institut entwickelten Open Automation Plattform prototypisch umgesetzt. Erste Messungen (siehe **Bild 2**) zeigen, dass großes Energieeinspar-

potential besteht wenn die Schaltfrequenz, unter Berücksichtigung der Prozessanforderungen, minimal gewählt wird.

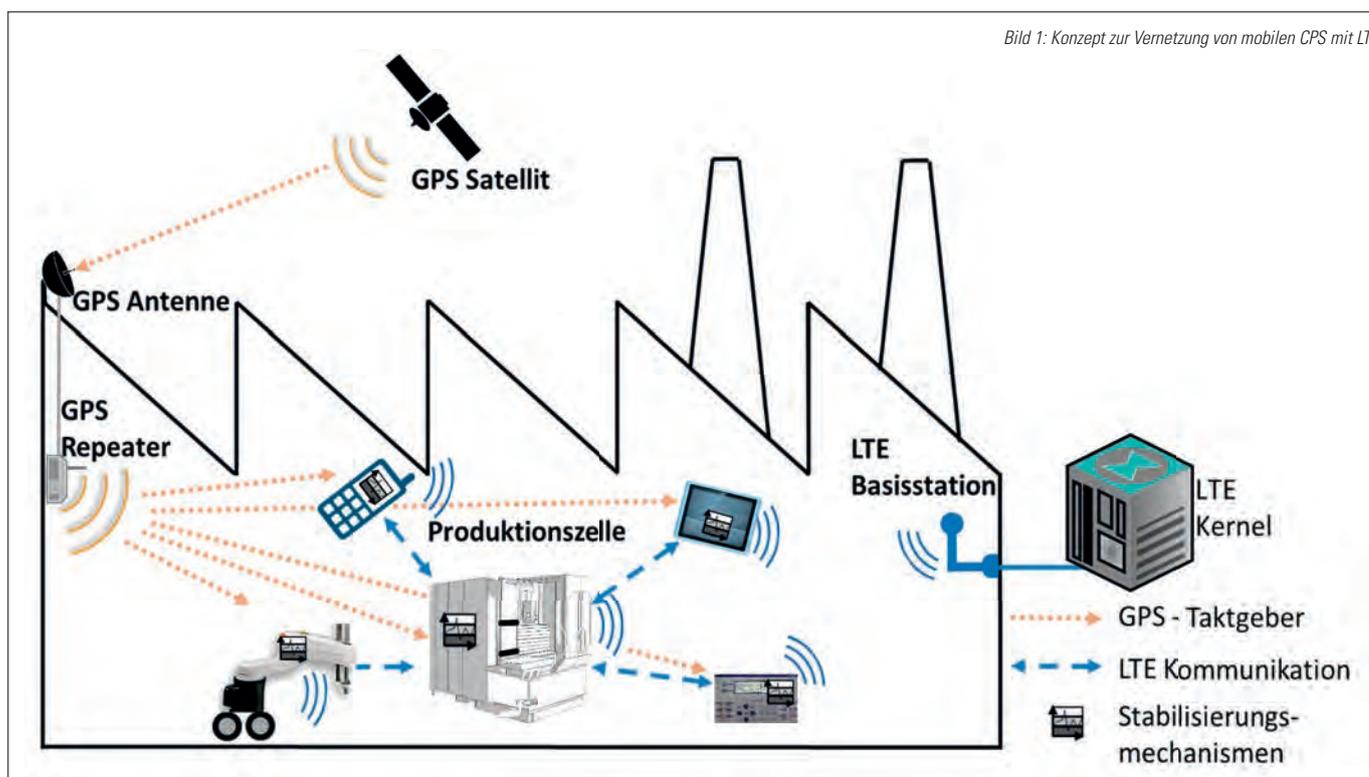
Kontakt: Dipl.-Ing. Florian Frick
Florian.Frick@isw.uni-stuttgart.de

VERNETZUNG VON MOBILEN CPS IN DER PRODUKTION DURCH ECHTZEITFÄHIGE DRAHTLOSKOMMUNIKATION (EDK)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In der intelligenten Fabrik der Zukunft sollen unterschiedlichste Information zwischen stationären und mobilen Cyber-Physischen Systemen (CPS) ausgetauscht werden – zunehmend drahtlos. Im Rahmen eines DFG-Forschungsprojekts wird erforscht, wie diese Kommunikation zwischen CPS unter Berücksichtigung industrieller Kommunikationsanforderungen ermöglicht werden kann. Durch eine Kombination von LTE und GPS soll eine echtzeitfähige Drahtloskommunikation geschaffen werden.



In Zukunft wird die industrielle Produktion durch 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, das die Anforderungen industrieller Kommunikation berücksichtigt.

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 Bitfehlerrate unter 10^{-5} und eine garantierte Antwortzeit. Besonders bei kooperierenden CPS mit Roboterarmen ist die Synchronität aller beteiligten Kommunikationsteilnehmer von entscheidender Bedeutung. Letztendlich ist die Reaktionszeit wichtig. Sie kann je

nach betrachteter Applikation und Prozess zwischen 1 ms und 100 ms liegen. Bisher gibt es keine Funkstandardlösungen, die den zeitkritischen Echtzeitanwendungen von CPS vollständig genügen.

Die VDI/VDE Richtlinie 2185 gibt einen Überblick über die im industriellen Umfeld einsetzbaren drahtlosen Kommunikationssystemen. Unter den genannten Systemen bieten nur Wi-Fi, Wimax und LTE-Advanced die benötigte Datenrate. Zusätzlich bieten Wimax und LTE-Advanced ein zuverlässiges Modulationsverfahren und durch die Regulation der genutzten Frequenzbereiche wird eine Störungsfreiheit und damit eine höhere

Verfügbarkeit gewährleistet. Aufgrund der geringeren Reaktionszeit und der höheren Datenrate ist LTE-Advanced im Vergleich zu Wimax eine bessere Basis für eine echtzeitfähige industrielle Drahtloskommunikation.

Innerhalb eines DFG-Forschungsprojekts wird LTE-Advanced um Mechanismen zur Gewährleistung der Synchronität und der Zuverlässigkeit erweitert. Das dadurch entstehende Kommunikationssystem soll die genannten Anforderungen der Zellebene erfüllen.

Zum Erreichen der Synchronität, also der Minimierung des Jitters sind hardwarebasierende Zeitsynchronisationsverfahren aufgrund ihrer Genauigkeit am besten geeignet. Das Global Positioning System (GPS) bietet eine Zeitsynchronisation mit einer Genauigkeit von ± 10 ns. Dabei wird keine direkte Kommunikation zwischen den Modulen benötigt und die gesamte verfügbare Bandbreite kann für die Datenkommunikation genutzt werden. Für die GPS-Synchronisation

lassen sich handelsübliche Standardkomponenten verwenden und so kostengünstige Lösungen umsetzen.

Der Funkstandard LTE-Advanced beinhaltet eine aktive Bandbreitenanpassung. Je nach auftretenden Störungen und der Qualität des Funkkanals wird die Übertragungsbandbreite angepasst. Mit diesen Variationen muss das übergeordnete Kommunikationssystem umgehen können. Im Bereich des Video-Streaming gibt es für diese Verbindungsvariabilität adaptive Streaming-Lösungen wie DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP). Dabei werden die Videobitrate und damit die Videoqualität an die verfügbare Bandbreite angepasst. Dieses Vorgehen könnte auf die industrielle Kommunikationstechnik übertragen werden, indem die Daten in Datenklassen von besonders prozessrelevant bis prozessunkritisch klassifiziert werden. Prozessunkritische Daten wie beispielsweise Diagnosedaten oder manche Konfigurationsdaten werden somit zu Zeiten mit großer Bandbreite übertragen. Beson-

ders prozessrelevante Daten (z. B. Sollwerte) werden immer übertragen.

Die Erweiterung von LTE-Advanced durch GPS und Streaming-Mechanismen wird untersucht, um einen echtzeitfähige Drahtloskommunikation für CPS in Produktionseinrichtungen zu schaffen. 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.

Kontakt: Dipl.-Ing. Philipp Neher
Philipp.Neher@isw.uni-stuttgart.de



Universität Stuttgart

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen



Wir steuern Zukunft: Innovativ. Interdisziplinär. Wissenschaftlich.

Wir forschen interdisziplinär an Technologien für die Produktion und Automatisierung von Übermorgen. Die industrielle Anwendbarkeit steht dabei immer im Fokus. Für die Industrie sind wir innovativer, verlässlicher und unabhängiger Partner für anspruchsvolle Herausforderungen von der ersten Idee bis hin zum Produkt.

Die themenbezogene Gliederung des Instituts erfolgt in die acht Forschungsschwerpunkte: **Antriebsregelung, Bedienung, Engineering, Kommunikation, Maschinenteknik, Simulation, Steuerungsalgorithmen** und **Steuerungsarchitekturen**.

Die Themenstellungen für studentische Arbeiten ergeben sich in der Regel aus aktuellen, laufenden Forschungsvorhaben. 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:

<http://www.isw.uni-stuttgart.de/lehre/studentische-arbeiten/themen/>

**Bachelor-,
Studien-,
Diplom- und
Masterarbeiten**

zu vergeben



TOPOLOGISCH OPTIMIERTE BAUTEILE FÜR GENERATIVE FERTIGUNGSVERFAHREN TopGen

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Topologisch optimierte Bauteile ermöglichen maximale Steifigkeit bei minimalem Materialeinsatz. Subtraktive und formative Fertigungsverfahren sind vielversprechende Technologien zur Herstellung solcher Bauteile. Für die Topologieoptimierung werden typischerweise Algorithmen eingesetzt, welche Fertigungseinschränkungen berücksichtigen und keine variablen Materialdichten zulassen. Optimale Ergebnisse sind damit jedoch nicht erreichbar, da diese mit konventionellen Verfahren nicht hergestellt werden können. Im Rahmen dieses Projektes wird ein additives Fertigungsverfahren für global optimale Topologien untersucht.

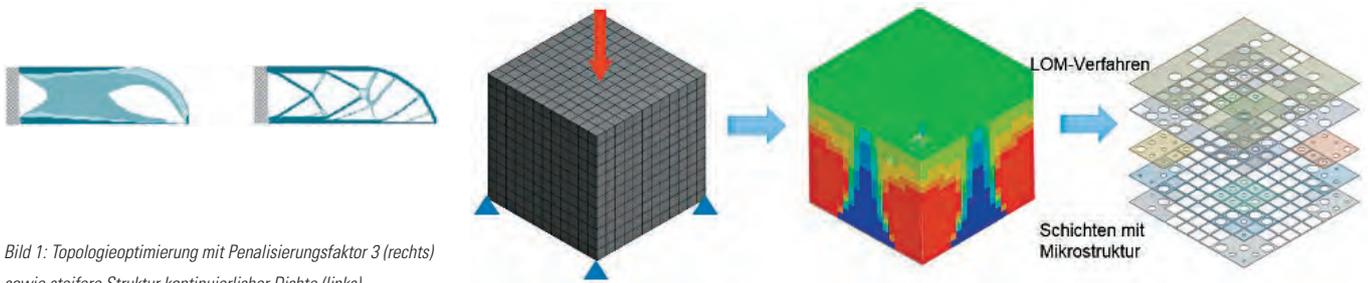


Bild 1: Topologieoptimierung mit Penalisierungsfaktor 3 (rechts) sowie steifere Struktur kontinuierlicher Dichte (links)

Bild 2: Fertigungsprozess für optimale Strukturen

Um bessere mechanische Eigenschaften für Strukturen und Komponenten zu erreichen, wird Topologieoptimierung eingesetzt. Während der Optimierung ergeben sich durch Penalisierung der Elementdichte (SIMP) unterschiedliche Topologien. In **Bild 1** sind zwei Ergebnisse der Topologieoptimierung eines Kragträgers dargestellt. Bei einem Penalisierungsfaktor 1 wird die Dichte der Elemente zwischen null und dem vollen Material verteilt und dadurch wird das beste Ergebnis erzielt. Solche Topologien können jedoch mit umformenden oder spanenden Verfahren nicht gefertigt werden.

Ein neuer Ansatz zur Herstellung von Komponenten mit verteilten Dichten mittels additiver Fertigungsverfahren bildet das Laminated Object Manufacturing (LOM). Das Bauteil wird in Schichten unterteilt, diese entsprechend strukturiert und miteinander verbunden. Das Ergebnis der Topologieoptimierung in Form der gewünschten Dichteverteilung wird mittels Mikrostrukturschichten approximiert. Die Schichten bestehen aus Mikrokavitäten mit verschiedenen Formen und Größen. In

den Abschnitten, in denen die Dichte gering sein soll, sind die Hohlräume größer, in anderen Bereichen wird keine Kavität erzeugt. Ein Algorithmus diskretisiert jede Schicht und berechnet basierend auf Ergebnissen aus FE-Simulationen die mittlere Dichte jeder Zelle. Darauf basierend wird die Form und Größe der Kavität bestimmt und an entsprechenden Koordinate in der Zelle positioniert. Die strukturierten Metallschichten werden dann mittels Laserschneiden hergestellt, verklebt und verpresst, um das endgültige Bauteil zu bilden. **Bild 2** stellt schematisch das vorgestellte Verfahren von TopGen dar.

Für die Herstellung der Strukturen, bei welchen Gewicht und Steifigkeit eine wesent-

liche Rolle spielen, kann das Verfahren signifikante Vorteile erzielen. Eine Untersuchung an einem Kragträger (**Bild 3**) zeigt einen Steifigkeitsgewinn von 24 % auf.

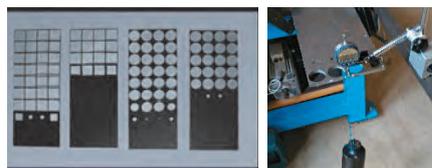


Bild 3: Einzelne strukturierte Schichten und Versuchsaufbau für die Steifigkeitsuntersuchung

Kontakt: Dipl.-Ing. Peter Zahn
Peter.Zahn@isw.uni-stuttgart.de

In Zusammenarbeit mit



INDUKTIVE ERWÄRMUNG VON TITAN FÜR DIE SEMI-SOLID-FORMGEBUNG

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird die Anwendbarkeit des Thixoschmiedens in Verbindung mit einer induktiven Erwärmung für biokompatible Titanlegierungen untersucht. Titanlegierungen sind teure und schwierig zu bearbeitende Werkstoffe. Gleichzeitig sind sie wegen ihrer Leichtigkeit und Biokompatibilität für viele industrielle Anwendungen und die Medizin ein interessanter Werkstoff.

In vorhergehenden Forschungsprojekten wurde am ISW in Zusammenarbeit mit dem IFU, welches die Schmiedeprozesse selbst betrachtet, an einer Regelung zur optimalen Erwärmung von Metallen in den teilflüssigen Bereich geforscht. Die Umformung durch Thixoschmieden hat das Ziel einer hohen Endkonturgüte bei gleichzeitig guten mechanischen Eigenschaften des Werkstücks.

Hierfür ist eine Regelung des Erwärmungsprozesses nötig, die das Werkstück schnell erwärmt und in das optimale Prozessfenster bringt. Dadurch wird zum einen energieeffizient gearbeitet, zum anderen eine Degenerierung des Materialgefüges verhindert. Es muss sichergestellt werden, dass die Erwärmung ein definiertes Verhältnis zwischen festem und flüssigem Phasenanteil einstellt.

Hierfür wurde am ISW ein Verfahren entwickelt, welches auf Basis der üblicherweise verwendeten induktiven Erwärmung, den spezifischen Widerstand misst und daraus auf den Zustand des Materials schließt.

Dieses Verfahren, welches bisher für Aluminiumlegierungen erprobt ist, wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auf Titanlegierungen übertragen. Titan als Werkstoff ist nicht zuletzt auf Grund seiner hohen Kosten für eine materialschonende Umformung attraktiv. Schwierigkeiten bereitet dabei die hohe Prozesstemperatur von über 1600 °C. Zudem stellt es wegen seiner geringen Wärmeleitfähigkeit und des sehr schmalen Prozessfensters hohe Anforderungen an die Mess- und Regelungstechnik.

In den bisherigen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass Titanlegierungen wie TiAl6V4 gegenüber Aluminiumlegierungen eine deut-



Bild 1: Induktives Erwärmen eines Titanbolzen (TiAl6V4)



Bild 2: Mittels Thixo-Schmieden geformtes Zahnrad

lich geringere Änderung des Messwerts aufweisen. Gleichzeitig sind, bedingt durch die hohe Anlagenleistung, Störeinflüsse auf die Messung größer. Diesem wird im Forschungsvorhaben durch die Weiterentwicklung der Messwerterfassung und -aufbereitung begegnet.

Projektpartner:



Kontakt: Dipl.-Ing. Oliver Gerlach
Oliver.Gerlach@isw.uni-stuttgart.de

STEIGERUNG DER DYNAMIK ELEKTROMECHANISCHER VORSCHUBANTRIEBE DURCH DISKONTINUIERLICHE EINLEITUNG EINER REIBKRAFT (DELVE)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Zur Erzeugung von Vorschubbewegungen in Werkzeugmaschinen werden überwiegend Kugelgewindetriebe eingesetzt. Die mit derartigen Antriebssystemen erreichbare Dynamik wird jedoch durch die erste Eigenfrequenz der verbauten Mechanik begrenzt. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde ein Dämpfungsaktor entwickelt, welcher auftretenden Schwingungen durch diskontinuierliche Einleitung einer Reibkraft entgegenwirkt. Die damit einhergehende Verbesserung der Dämpfungseigenschaften ermöglicht eine Steigerung der Systemdynamik. Das Hauptaugenmerk der derzeitigen Forschung liegt auf der Integration des Aktors in eine reale Werkzeugmaschine sowie auf dessen steuerungstechnische Einbindung in industrielle Steuer- und Regelplattformen.

Bei elektromechanischen Vorschubantrieben handelt es sich um lagegeregelt Antriebsysteme, bei welchen die Position des Maschinentisches messtechnisch erfasst und innerhalb der Regelkaskade an den Lageregler zurückgeführt wird. Das Schwingungsverhalten der Mechanik, insbesondere die erste Eigenfrequenz der verbauten Kugelumlaufspindel, begrenzt jedoch den einstellbaren Wertebereich der Regelparameter und damit die erreichbare Dynamik des Antriebssystems. Neben dem Führungsverhalten wirkt sich das Übertragungsverhalten der Mechanik auch auf die dynamische Störsteifigkeit aus.

Um stetig zunehmenden Anforderungen an die Bearbeitungsqualität von Werkzeugmaschinen, bei gleichzeitigem Wunsch nach einer höheren Maschinenproduktivität, Rechnung zu tragen, wurde am ISW die Methode der Semiaktiven Dämpfung entwickelt. Dabei wird durch einen Dämpfungsaktor eine situationsgerechte Reibkraft zwischen Maschinentisch und Maschinenbett eingestellt. Dies führt zu einer Verbesserung des dynamischen Systemverhaltens, womit eine Bandbreitensteigerung des Lageregelkreises ermöglicht wird. **Bild 1** zeigt beispielhaft einen hierfür konstruierten elektromagnetischen Dämpfungsaktor.

Die Berechnung der erforderlichen Stellgröße für den zusätzlichen Aktor erfolgt über ein Regelgesetz, welches die Ist-Geschwindigkeiten der Motor- und Tischsensorik miteinander vergleicht. Auf diese

Weise lässt sich ein Überschwingen des Maschinentisches erfassen und mithilfe des Dämpfungsaktors die vorhandene Schwingungsenergie abbauen. Die Wirksamkeit der Methode lässt sich anhand des Mechanikfrequenzganges beurteilen, welcher in **Bild 2** mit und ohne semiaktiver Dämpfung dargestellt ist.

Gegenstand aktueller Forschung ist die steuerungs- und hardwaretechnische Integration des Dämpfungsaktors in eine reale Werkzeugmaschine. Hierzu wurde der Ansatz gewählt, entsprechende Bremskräfte vom Maschinentisch über die Führungsschienen in das Maschinenbett abzuleiten. Um einen symmetrischen Kraftfluss zu gewährleisten ist pro Führungsschiene ein Dämpfungs-



Bild 1: Elektromagnetisch betätigter Dämpfungsaktor

aktor vorgesehen, welcher entsprechend **Bild 3** zwischen den Führungswagen angebracht wird und mit dem Maschinentisch

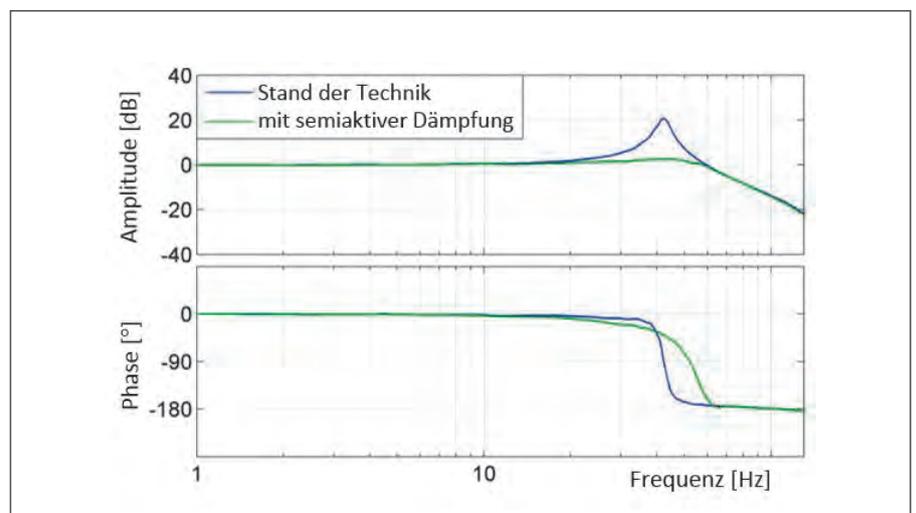


Bild 2: Frequenzgang der Mechanik mit (grün) und ohne (blau) semiaktiver Dämpfung

verschraubt ist. Die damit verbundenen Herausforderungen stellen neben dem begrenzten Bauraum, die schwierige Zugänglichkeit sowie die Gegenwart von Kühlschmierstoff und Spänen dar.

Die steuerungstechnische Einbindung der Methode erfolgt unter Beibehaltung der klassischen Kaskadenregelstruktur, um eine einfache Nachrüstbarkeit zu gewährleisten. Entsprechend wird diese lediglich um einen zusätzlichen Pfad erweitert.

Die Berechnung der Stellgröße zur Aktoransteuerung erfolgt mittels einer antriebsseitigen SPS, womit die Bereitstellung eines zusätzlichen Steuerungsmoduls entfällt. Zentrale Herausforderungen sind dabei die Abtast- und Totzeiten für Kommunikation und Signalverarbeitung sowie begrenzte Möglichkeiten zur Signalaufbereitung und die eingeschränkte Verfügbarkeit komplexer Rechenoperationen.

Das Potential der Methode für die industrielle Anwendung wird derzeit durch umfangreiche experimentelle Untersuchungen erforscht.

Kontakt: Michael Neubauer, M.Sc.
Michael.Neubauer@isw.uni-stuttgart.de

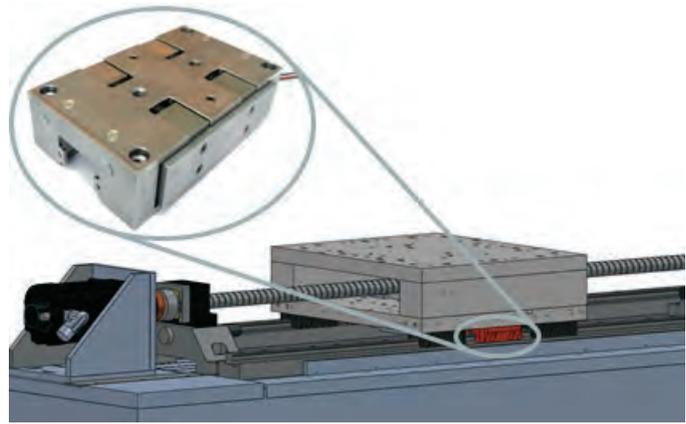


Bild 3: Konzept zur Integration der Dämpfungsfaktoren in eine Vorschubachse mit Kugelgewindetrieb

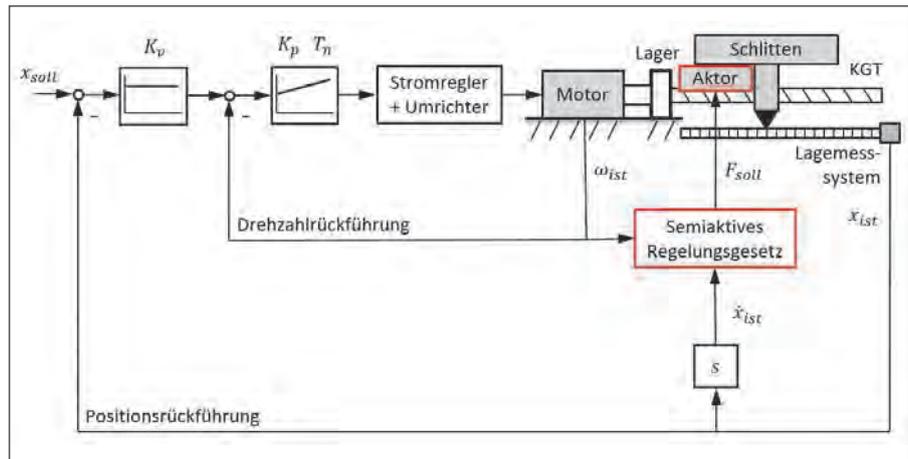


Bild 4: Steuerungstechnische Einbindung der Dämpfungsfaktoren in die Regelkaskade

HIGH PERFORMANCE AUTOMATISIERUNG!

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
www.isw.uni-stuttgart.de/institut/karriere/student

ERHÖHUNG DER BANDBREITE VON VORSCHUBANTRIEBEN DURCH ZUSÄTZLICHEN GESCHWINDIGKEITSREGLER

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Um eine hohe Eilganggeschwindigkeit zu erreichen, sind bei Werkzeugmaschinen Vorschubantriebe mit niedriger Getriebeübersetzung attraktiv. Diese führen aber zu einem ungünstigen Verhältnis der Trägheitsmomente zwischen Antrieb und Abtrieb. Um die Lageregelbandbreite von solchen Vorschubantrieben zu erhöhen, wird ein neuartiges Regelverfahren mit zusätzlichem abtriebsseitigem Geschwindigkeitsregler erforscht.

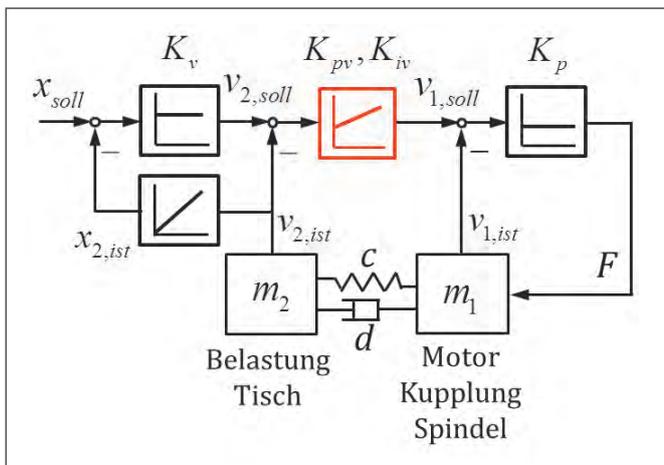


Bild 1: Regelstruktur mit zusätzlichem Geschwindigkeitsregler

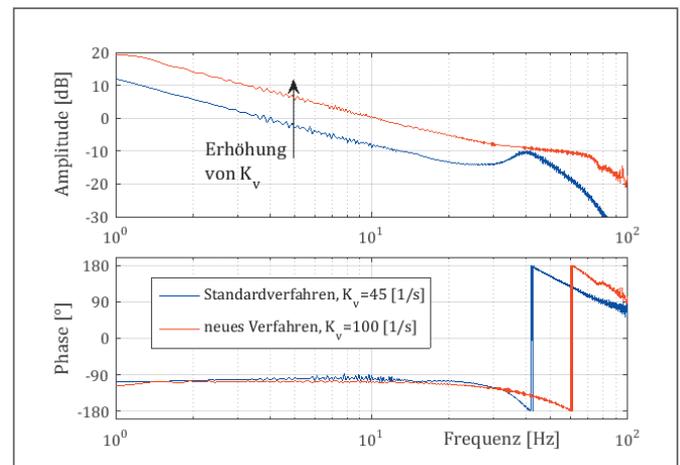


Bild 2: Vergleich des Frequenzgangs des offenen Lageregelkreises

Für die Produktivität von Werkzeugmaschinen hat die Bandbreite der lagegeregelten Vorschubantriebe zentrale Bedeutung. Von der Bandbreite sind sowohl die Geometrie-genauigkeit als auch die Bearbeitungsdauer betroffen. Ein übliches Regelverfahren für Vorschubantriebe ist die Kaskadenregelung mit Proportional-Anteil im Lageregler und Proportional- und Integral-Anteil im Drehzahlregler (*P-PI-Verfahren*). Der Verstärkungsfaktor K_p des Drehzahlreglers wird bei diesem Verfahren hoch eingestellt, um eine genügende Störsteifigkeit zu erzielen. Jedoch regt ein zu hoch eingestellter K_p die Eigenschwingung der mechanischen Struktur an, welche die Lageregelbandbreite stark begrenzt.

Am ISW wird ein neuartiges Regelverfahren für Vorschubantriebe mit ungünstigen Trägheitsverhältnissen entwickelt. **Bild 1** zeigt die gesamte Regelstruktur des neuen Verfahrens. Im Gegensatz zur konventionellen Auslegung wird hier die erste mecha-

nische Eigenschwingung durch den Motor gedämpft, indem der Drehzahlregler verhältnismäßig schwach eingestellt wird. Neben der Dämpfung führt dies zu einem PT1-Verhalten, dessen Eckfrequenz deutlich niedriger als die erste mechanische Eigenfrequenz liegt. Um dieser Begrenzung entgegenzuwirken, wird ein PI-Geschwindigkeitsregler mit der Rückführung der abtriebsseitigen Geschwindigkeit (gemessen am Tisch) überlagert. Der I-Anteil des PI-Reglers bewirkt eine Phasen- und Amplitudenanhebung im relevanten Frequenzbereich. Der P-Anteil hat die Aufgabe, die Gesamtverstärkung angemessen zu erhöhen.

Bild 2 zeigt die Auswirkung des neuen Verfahrens anhand der Frequenzgänge des offenen Lageregelkreises. Der K_v -Faktor des Lagereglers wird für beide Verfahren mit dem gleichen Stabilitäts- und Robustheitskriterium eingestellt. Mit dem neuen Verfahren kann der K_v -Faktor von 45 1/s um 120 % auf 100 1/s erhöht werden.

Das Potential des neuen Verfahrens geht ebenfalls aus den durchgeführten Untersuchungen im Zeitbereich hervor. **Bild 3** zeigt Reaktionen des Vorschubantriebs bei verschiedenen Regelverfahren. Verglichen mit dem Standardverfahren, verkürzt das neue Verfahren die Ausregelzeit bei der Sprungantwort um 69 % und bei der Störantwort um 59 %. Die maximale Regelabweichung bei der Störantwort wird auch um 35 % reduziert.

Die Vorschubbewegung mit verschiedenen Tischmassen ist in **Bild 4** dargestellt. Es wurde gezeigt, dass das neue Verfahren neben der verbesserten Vorschubdynamik auch ausreichende Robustheit gegenüber der Massenvariation aufweist.

Zusammenfassend kann die Bandbreite des gesamten Vorschubsystems durch die Erweiterung um eine zusätzliche Regelkaskade für die abtriebsseitige Geschwindigkeit und eine entsprechende Parametrierung der Regler merklich erhöht werden. Darüber hinaus

bietet das neue Verfahren mehr Freiraum bei der Antriebsauslegung, da das Trägheitsverhältnis von Antrieb zu Abtrieb keinen begrenzenden Faktor mehr darstellt. Somit können hochdynamische Motoren mit kleinem Trägheitsmoment sowie Getriebe mit kleinem Übersetzungsverhältnis eingesetzt werden, um eine höhere Vorschubdynamik und Eilganggeschwindigkeit zu erreichen.

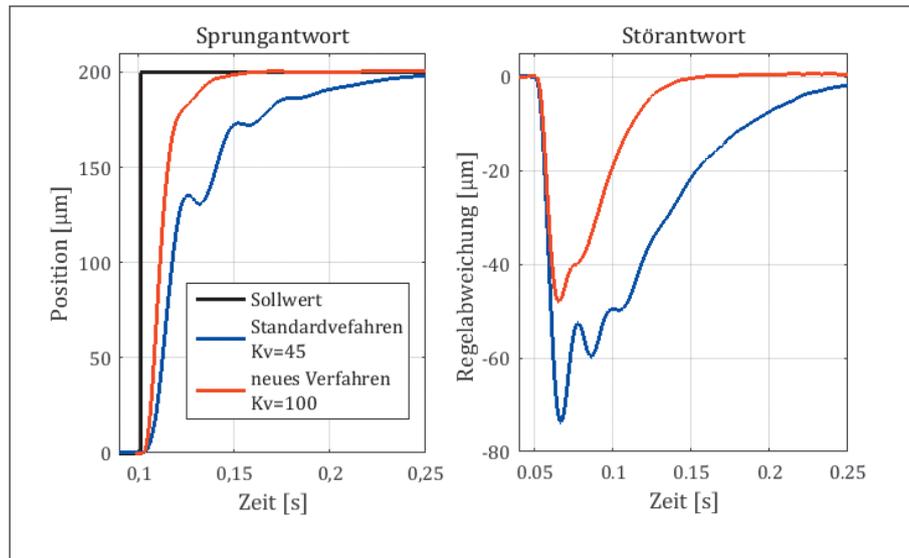


Bild 3: Vergleich der Sprung- und Störantwort

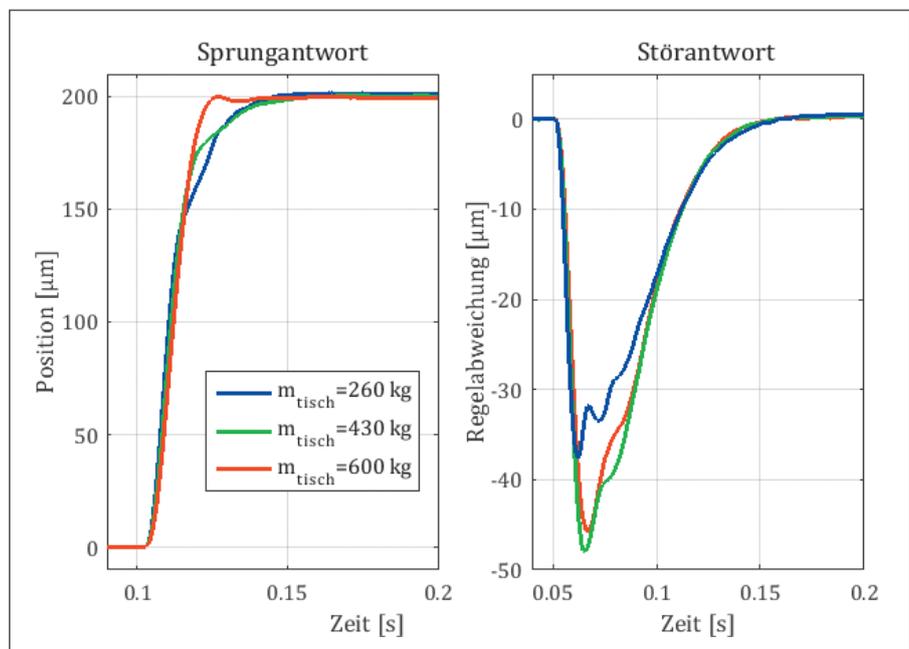


Bild 4: Sprung- und Störantwort mit unterschiedlichen Tischmassen

Kontakt: Dipl.-Ing. Zheng Sun
Zheng.Sun@isw.uni-stuttgart.de

NEUARTIGES MESSVERFAHREN FÜR DIE PROZESSSTEUERUNG VON INDUKTIVEN ERWÄRMUNGSVORGÄNGEN VON METALLEN IN DEN TEILFLÜSSIGEN BEREICH

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Beim Thixoschmieden werden Legierungen soweit erwärmt bis ein teilflüssiges Materialgefüge vorliegt. Dadurch ist in der Umformtechnik eine präzise Formgebung bei geringen erforderlichen Drücken möglich. Der Temperaturbereich gängiger Aluminiumlegierungen für das Thixoschmieden ist abhängig von ihrer Zusammensetzung und beträgt nur wenige Kelvin. Dies erschwert, insbesondere im Hinblick auf Chargenschwankungen der Legierungszusammensetzung, das Einstellen des Flüssigphasenanteils. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens am ISW werden Mess- und Regelverfahren für das Thixoschmieden erforscht, welche eine homogene Erwärmung des Halbzeugs in den gewünschten Gefügezustand ermöglichen.

Die induktive Erwärmung eignet sich um gezielt und effizient metallische Körper zu erhitzen. Dabei wird über eine Induktionsspule, welche von einem Wechselstrom durchflossen wird, ein sich änderndes Magnetfeld erzeugt, welches seinerseits wiederum Wirbelströme in das zu erwärmende Rohteil induziert.

Da die elektrischen Eigenschaften, wie die Leitfähigkeit des zu erwärmenden Materials, sich während der Erwärmung ändern, wirken sich diese direkt auf die induzierten Wirbelströme aus und beeinflussen rückwirkend den Strom in der Induktionsspule. Dies ermöglicht es, den Stromverlauf zur Gefügestandsbestimmung zu nutzen.

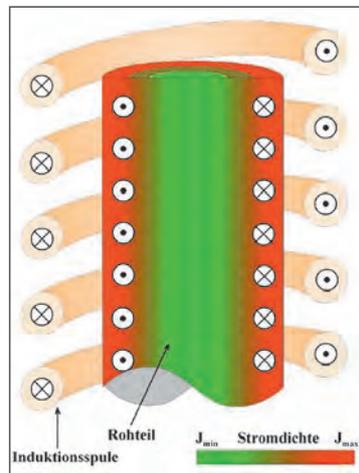


Bild 1: Wirbelstromdichte innerhalb des induktiv erwärmten Metallbolzens

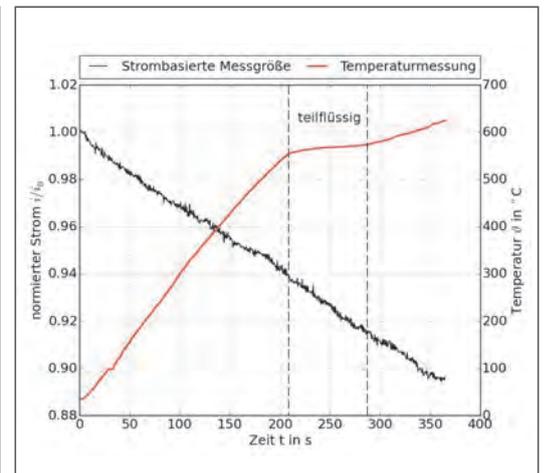


Bild 2: Temperaturmessung und strombasierte Messgröße bei einem Erwärmungsversuch

Bild 1 zeigt einen beispielhaften Verlauf von Temperatur und einer strombasierten Messgröße über eine komplette Erwärmung eines Bauteils bis in den flüssigen Bereich.

Neben Störeinflüssen aus der Anlage selbst, erschwert insbesondere die Inhomogenität der Erwärmung einen sicheren Prozess. Ursächlich hierfür ist der Skin-Effekt, welcher die Konzentration der Wirbelströme unterhalb der Rohteiloberfläche beschreibt (siehe **Bild 2**). Der dadurch hervorgerufene Gradient in der Leistungseinkopplung birgt die Gefahr eines vollständigen Aufschmelzens und ungewollten Abtropfens der Randbereiche während der mittlere Teil noch fest ist.

Zur Umgehung dieses Problems wird typischerweise mit geringer Leistung erwärmt,

um für die Wärmeleitung ins Innere des Bauteils ausreichend Zeit zu gewinnen. Dies erhöht jedoch die Prozesszeiten und sorgt zudem durch längeres Halten auf hohen Temperaturen für ungewollte Kornvergrößerungen und damit verbundenen schlechteren Materialeigenschaften. Wünschenswert wäre deshalb, zu jedem Zeitpunkt die maximal mögliche Energie zuzuführen, ohne dass Teilbereiche vollständig aufschmelzen.

In diesem Zusammenhang befasst sich die Weiterentwicklung der Prozessregelung mit der gezielten Ausnutzung des Skin-Effekts und der damit verbundenen Eindringtiefe der induzierten Wirbelströme. Diese Eindringtiefe ist abhängig von der Frequenz des Wechselstroms, mit welcher die Induktionsspule beaufschlagt wird und ermöglicht

es somit, in unterschiedlichen Tiefen eine Aussage über den Gefügezustand zu treffen. Hierdurch wiederum kann die zugeführte Leistung so eingestellt werden, dass bei hohem Wärmeeintrag trotzdem eine homogene Erwärmung des Halbzeugs gewährleistet ist.

Kontakt: Johann Uphoff, M.Sc.
Johann.Uphoff@isw.uni-stuttgart.de

ANTRIEBSBASIERTE SCHWINGUNGSDÄMPFUNG AN INDUSTRIEROBOTERN ZUR FRÄSBEARBEITUNG

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Ausgehend von der mittlerweile gegebenen Verfügbarkeit abtriebsseitiger Positionssensorik an Industrierobotern, wird in diesem Forschungsvorhaben ein Verfahren zur Dämpfung von Schwingungen am Tool-Center-Point an Bearbeitungsrobotern entwickelt. Es soll so eine ganzheitliche Verbesserung des dynamischen Verhaltens und damit ein verbessertes Bearbeitungsergebnis beim Einsatz von Industrierobotern für die Fräsbearbeitung erreicht werden.

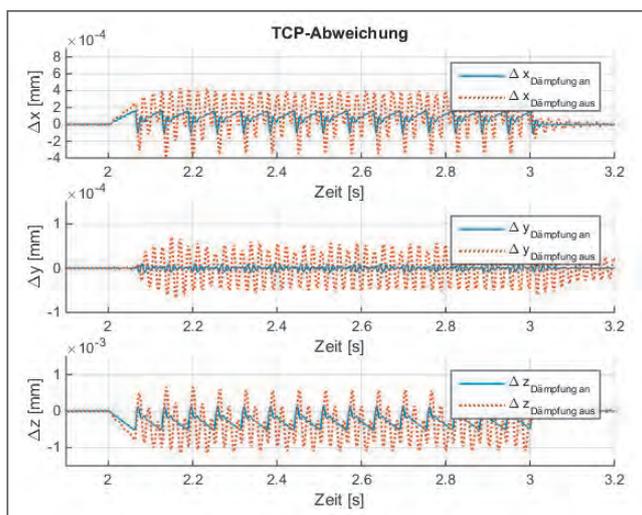


Bild 1: Simulierte TCP-Abweichung bei Anregung mit sägezahnförmiger Kraft

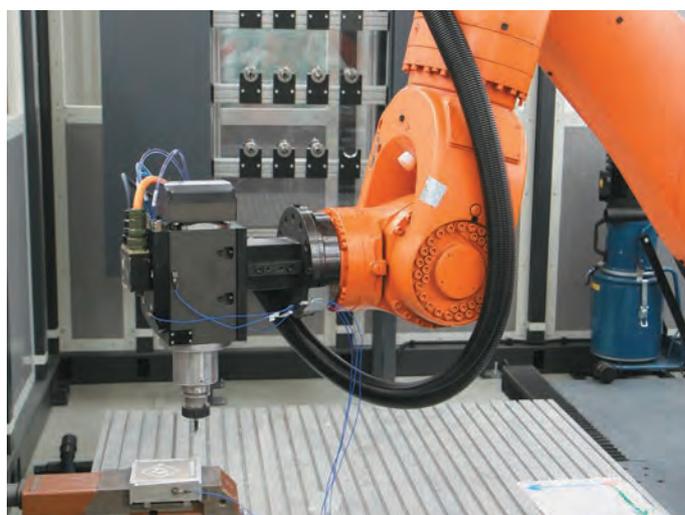


Bild 2: Versuchs-Roboterzelle zur Durchführung der experimentellen Arbeiten

Der mechanische Aufbau von Industrierobotern aus seriellen, rotatorischen Achsen, ermöglicht einen großen Arbeitsraum, bedingt jedoch auch eine vergleichsweise hohe Nachgiebigkeit der Gesamtstruktur. Der große Arbeitsraum bei kleinem Bauraum und die mäßigen Investitionskosten von Robotersystemen erhöhen deren Attraktivität für Bearbeitungsaufgaben. Die nachgiebige Struktur und das posenabhängige Schwingungsverhalten des Roboters führen jedoch zu geringer Genauigkeit und Abtragraten bei der Bearbeitung. Insbesondere die Positionsmessung auf der Antriebsseite verhindert eine hohe Genauigkeit des Roboters.

Mittlerweile bieten erste Roboterhersteller Industrieroboter auch mit zusätzlicher abtriebsseitiger Positionserfassung an. Die daraus gewonnene Information wird bisher hauptsächlich verwendet, um auch unter Last genauer zu positionieren, beispielsweise

beim Bohren. Eine Verwendung zur Schwingungsdämpfung erfolgt bislang noch nicht.

Im Bereich der Bearbeitung mit Robotern gibt es verschiedene Ansätze zur Verbesserung der Genauigkeit, wobei diese selten auch direkt die Dämpfung von Schwingungen betrachten. Oftmals basieren die Verfahren auf mechanischer Versteifung der Roboterstruktur durch externe Elemente, welche teilweise auch aktiviert werden. Dieses Vorgehen schränkt jedoch den nutzbaren Arbeitsraum des Roboters deutlich ein, was die Vorteile des Roboters gegenüber der Werkzeugmaschine relativiert.

In diesem Forschungsvorhaben sollen die Verbesserungen allein durch steuerungstechnische Eingriffe erreicht werden. Aus der Differenz zwischen an- und abtriebsseitiger Positionsmessung können Rückschlüsse auf vorliegende Schwingungen und Positions-

abweichungen geschlossen werden. Über verschiedene Regelalgorithmen können nun die Antriebsmotoren des Roboters derart angesteuert werden, dass einerseits die statische Abdrängung des Roboters minimiert, andererseits aber auch Schwingungen gedämpft werden. Dies gilt insbesondere für Schwingungen, welche durch den Bearbeitungsprozess bedingt sind und somit, im Gegensatz zu Schwingungen aufgrund von Bahnbewegungen, nicht im Voraus bestimmt werden können. Die in diesem Projekt untersuchten Regelalgorithmen sollen zu einer Erhöhung der Dämpfung und Steifigkeit im gesamten Arbeitsraum führen.

Kontakt: Dipl.-Ing. Hendrik Vieler
Hendrik.Vieler@isw.uni-stuttgart.de

MODULAR STRUKTURIERTE, (RE)KONFIGURIERBARE MASCHINEN FÜR DIE MIKROBEARBEITUNG MITTELS KOOPERATIVER BEWEGUNGSERZEUGUNG

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)
IM RAHMEN DES SPP 1476: KLEINE WERKZEUGMASCHINEN FÜR KLEINE WERKSTÜCKE



Die Entwicklung kleiner Werkzeugmaschinen erlaubt es Bauteile der Mikrofertigung ressourcenschonender zu fertigen. Durch gegenläufig angeordnete Bewegungsachsen für Werkstück und Werkzeug lassen sich Produktionsmaschinen modularer und kleiner aufbauen und mit alternativen Antriebstechnologien betreiben. Generative Fertigungstechnologien erlauben eine weitere Miniaturisierung der Maschinenkomponenten und eine Funktionsintegration ohne aufwändige Montageprozesse.

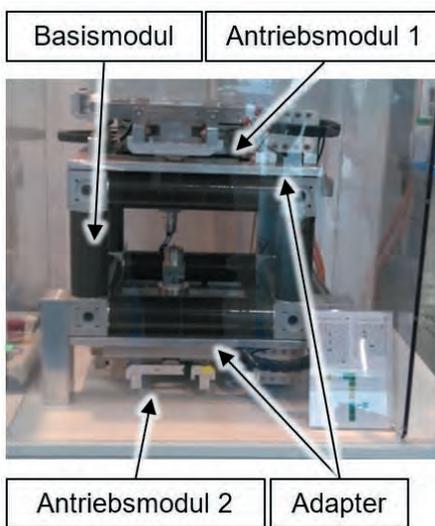


Bild 1: Demonstrator auf Hannovermesse 2016

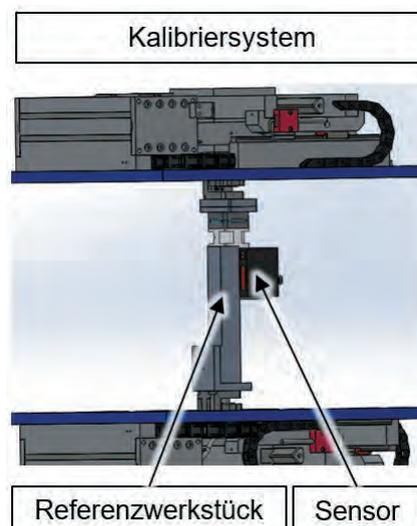


Bild 2: Konstruktion Kalibriersystem

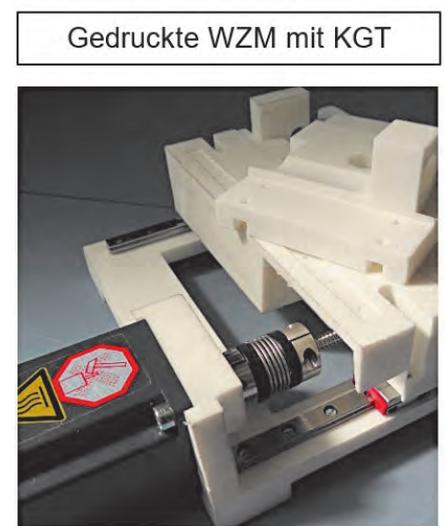


Bild 3: Gedruckte Werkzeugmaschine mit Kugelgewindeantrieb

Derzeitige Werkzeugmaschinen in der Mikrofertigung weisen ein ungünstiges Verhältnis von Bauraum zu Arbeitsraum auf und sind unflexibel, wenn sich Prozessanforderungen ändern. Im ersten Projektzeitraum wurde ein Maschinenkonzept entwickelt, welches es erlaubt, Werkzeugmaschinen der Mikrofertigung kleiner als herkömmliche Maschinen zu bauen und an Prozesse anzupassen.

Es wurde ein sogenanntes *Production Cube Module (PCM)* (Bild 1) entwickelt, welches es erlaubt, verschiedene Antriebskonzepte und Prozesse über leicht wechselbare Adapterplatten an einem PCM zu betreiben und eine hohe Modularität sicherzustellen. Über eine Kulissenkinematik sowohl bei Werkzeug

als auch Werkstück wurde eine kooperative Bewegungserzeugung am PCM realisiert, wodurch der Bauraum bei gleichzeitiger Erhöhung des Bearbeitungsraums verkleinert wird.

In der zweiten Förderperiode mit einer Laufzeit von weiteren 3 Jahren sind die Miniaturisierung der Werkzeugmaschine, die Integration eines an die kooperative Bewegungserzeugung angepassten Kalibriersystem, sowie die Erweiterung der Werkzeugmaschine auf 5-Achs-Betrieb Forschungsaufgaben dieses Projektes.

Um die Genauigkeit der kleinen Werkzeugmaschine mit wechselbaren Adapterplat-

ten zu gewährleisten, wird ein geeignetes Kalibriersystem entwickelt. Dabei muss die Besonderheit der kooperativen Bewegungserzeugung berücksichtigt werden (Bild 2). Durch einen Lasertriangulationssensor, welcher per Elektromotor drehbar in der oberen Kulisse befestigt ist und ein in der unteren Kulisse eingespanntes Referenzwerkstück, können mit geeigneten Verfahrrichtungen von der oberen, der unteren oder beiden Kulissen die rotatorischen und translatorischen Fehler erkannt werden.

Um an der kleinen Werkzeugmaschine eine 5-Achs-Bearbeitung durchzuführen, wird durch Aufsetzen eines identischen Kinematikmoduls auf dem bereits vorhan-

denen Kinematikmodul, eine Möglichkeit geschaffen, bei Anpassung des Kulissensteins und geeigneter Führungen mit Hilfe einer Stabkinematik das Werkzeug und das Werkstück dreh- und schwenkbar zueinander auszurichten. Der Winkel von 90° zwischen Werkstück und Werkzeugachse um eine vollständige 5-Achs-Bearbeitung zu ermöglichen ist jedoch basierend auf der aktuellen Größe des PCM nicht zu erreichen. Bauraumlimitierungen im Kulissenstein und Wegbeschränkungen der Z-Achsen verhindern dies. Stattdessen wurde die Erweiterung des PCM auf 5-Achs-Bearbeitung mit einem klassischen Werkzeugmaschinenaufbau durch Integration einer durch Servomotoren angesteuerten B- und C-Achse realisiert.

Eine weitere Miniaturisierung der Werkzeugmaschine erlaubt es, die Maschinenstruktur generativ herzustellen. Die Gründe dafür sind abnehmende Anforderungen hinsichtlich der Bearbeitungs- und Gewichtskräfte, sowie niedrigere Anforderungen an die Steifigkeit der Maschinenstruktur. Dadurch können Werkzeugmaschinen schnell und kostengünstig an andere Prozesse oder Antriebe angepasst werden. Die Verkleinerung der

Maschine und die Verwendung der kooperativen Bewegungserzeugung ermöglichen auch die Integration neuer Antriebstechnologien, wie zum Beispiel einen Piezoaktor als hochdynamische Vorschubachse, da durch die kooperative Bewegung und einer Hebelkonstruktion ein Weg von 1 mm zurückgelegt werden kann. Eine andere Variante der kleinen generativ hergestellten Werkzeugmaschine mit Kugelgewindeantrieben und Servomotoren erreicht im kooperativen Betrieb bei einer Baubreite von 150 mm einen Verfahrbereich von 120 mm. Durch die generative Herstellung ist es möglich, die Bauteile wesentlich komplexer zu konstruieren und dadurch die Anzahl an Einzelteilen, Schrauben und Verbindungselementen deutlich zu reduzieren.

Kontakt: Dipl.-Ing. Daniel Coupek
Daniel.Coupek@isw.uni-stuttgart.de



Universität Stuttgart

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen



**Bachelor-,
Studien-,
Diplom- und
Masterarbeiten
zu vergeben**

Wir steuern Zukunft:

Innovativ. Interdisziplinär. Wissenschaftlich.

Wir forschen interdisziplinär an Technologien für die Produktion und Automatisierung von Übermorgen. Die industrielle Anwendbarkeit steht dabei immer im Fokus. Für die Industrie sind wir innovativer, verlässlicher und unabhängiger Partner für anspruchsvolle Herausforderungen von der ersten Idee bis hin zum Produkt.

Die themenbezogene Gliederung des Instituts erfolgt in die acht Forschungsschwerpunkte: **Antriebsregelung, Bedienung, Engineering, Kommunikation, Maschinentechnik, Simulation, Steuerungsalgorithmen** und **Steuerungsarchitekturen**.

Die Themenstellungen für studentische Arbeiten ergeben sich in der Regel aus aktuellen, laufenden Forschungsvorhaben. 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:
<http://www.isw.uni-stuttgart.de/lehre/studentische-arbeiten/themen/>



FABRICATION OF BIOMIMETIC AND BIOLOGICALLY INSPIRED (MODULAR) STRUCTURES FOR USE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)
IM RAHMEN DES FORSCHUNGSPROJEKTS TRR141: BIOLOGICAL DESIGN AND INTEGRATIVE STRUCTURES



Das Forschungsprojekt „Biological Design and Integrative Structures“ widmet sich den Design- und Konstruktionsgrundsätzen der Biologie und überführt diese in die Architektur und die Baukonstruktion. Am ISW wird die Verwendung von Schichtenverfahren (Additive Fertigung) in steuerungs- und fertigungstechnischer Kombination mit anderen Prozessen, wie Betonspritzen und Pultrusion von Faserstrukturen untersucht. Neben allgemeinen Fertigungsverfahren von bioinspirierten Bauteilen, dient das kontinuierliche Schneckenschalenwachstum als Inspiration für die Herstellung einer Gebäudehülle.



Bild 1: Panzer eines Sanddollars (Seeigel)
[Quelle: W. Gerber, Universität Tübingen]

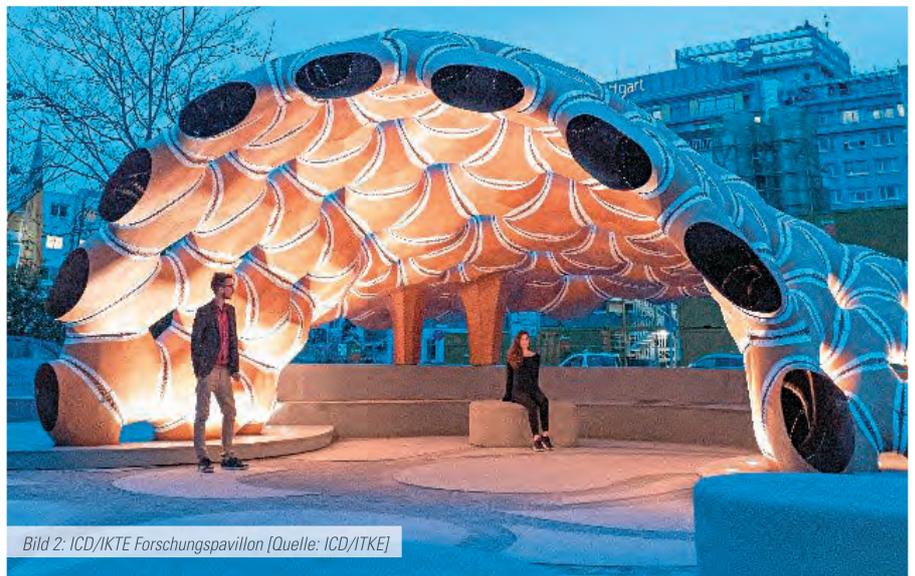


Bild 2: ICD/IKTE Forschungspavillon [Quelle: ICD/ITKE]

Seit Jahrmillionen passen sich Lebewesen durch Mutation, Rekombination und Selektion (evolutionärer Algorithmus) an deren spezifische Aufgaben und Überlebensstrategie an. **Bild 1** zeigt das Ergebnis eines solchen Anpassungsprozesses einer mechanischen Struktur am Beispiel eines Seeiegels. Bei diesem Vorgang ist der effiziente Einsatz von natürlichen Rohstoffen ein signifikanter evolutionstechnischer Vorteil. Dabei entstehen Leichtbaustrukturen, wie sie in vielen biologischen Körpern vorhanden sind.

Das hier vorgestellte Projekt untersucht, wie solche Strategien in technische Prozesse überführt werden können. Das Konsortium des TRR141 „Biological Design and Integrative Structures“ besteht aus 16 Instituten der

Universitäten Freiburg, Stuttgart und Tübingen, dem Fraunhofer Institut für Bauphysik und dem Staatlichen Museum für Naturkunde Stuttgart. Da sich das gesamte Forschungsprojekt als Dialog zwischen den Disziplinen Biologie, Architektur und Ingenieurwissenschaften versteht, werden die funktionell wichtigen Merkmale des biologischen Systems in einem Modell abstrahiert, welches die wesentlichen Eigenschaften, sowie die Designgrundlagen widerspiegelt. Hierbei wird das biologische Modell als Ideengeber für innovative Strukturen in der Architektur betrachtet. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird sowohl eine Systematik als auch eine konkrete Abbildung für die Herstellung solcher Strukturen abgeleitet. Dies gilt für einen kleinen biomimetischen Maßstab

ebenso wie für bautechnische Dimensionen, was bedeutet, dass der Herstellungsprozess skaliert werden muss (s. **Bild 2**).

In einem konkreten Fallbeispiel wird im Zuge des Projektes das Schneckenschalenwachstum in dessen Übertragbarkeit auf das Drucken von Gebäudeschalen untersucht. Die freie Formgebung des in der Schnecke vorkommenden Periostakums wird als additiv gefertigte Membran realisiert, die als Analogie zur Kalkschicht der biologischen Schale (siehe **Bild 3**) mit gradiertem Spritzbeton verstärkt wird. Das kontinuierliche Extrudieren einer Kunststoffschale in Kombination mit dem Betonspritzprozess und zusätzlichen Beschichtungsverfahren stellt eine Herausforderung in fertigungstechnischer Realisierung

barkeit und steuerungstechnischen Lösungen dar.

Das Teilprojekt „*Fabrication of biomimetic and biologically inspired (modular) structures for use in the construction industry*“ (B04) beschäftigt sich mit der allgemeinen Herstellung solcher biomimetischer und bioinspirierten (modularen) Strukturen für den Einsatz im Baugewerbe.

Die Herausforderung bei der Abbildung biologischer Vorbilder auf eine gebaute Struktur liegt darin, struktur- und systembestimmende Eigenschaften von biologischen Materialien, in solche aus bauspezifischen, sowie bisher noch nichtbauspezifischen Werkstoffen und Fertigungsverfahren zu überführen. Dazu werden zunächst Bauteile und Herstellungsmethoden im kleinen Maßstab (Modell, Elementarzelle) untersucht und verifiziert, um die Erkenntnisse daraufhin in weiteren Forschungsabschnitten auf die Herstellung von Bauteilen im architektonischen Maßstab übertragen zu können. Eine bedeutende Randbedingung für die Weiterentwicklung von Fertigungsverfahren bildet die Tatsache, dass auch eine wirtschaftliche Herstellung von komplexen Bauteilstrukturen bei einer Losgröße von eins gewährleistet sein soll.

Am ISW wird die Verwendung von Schichtenverfahren als Vertreter der Additiven Fertigungsverfahren untersucht, wobei in einem ersten Schritt die Herstellung mittels *Fused Deposition Modeling (FDM)* im Vordergrund steht (**Bild 4**). Allgemein eignet sich die Klasse der schichtbasierten Fertigungsverfahren für den Aufbau komplexer Geometrien und Strukturen, für die Funktionsintegration in Bauteile und somit für die Generierung von Leichtbaustrukturen nach dem Vorbild aus der Biologie.

Weitere Institute forschen an Sprüh- und Gießverfahren (ILEK) zur Herstellung der inneren Strukturierung von Betonbauteilen/Elementarzellen sowie Pultrusionsverfahren



Bild 4:
FDM-gedruckter
Ausschnitt eines
Seeigelstachels auf
Grundlage eines
µCT-Scans

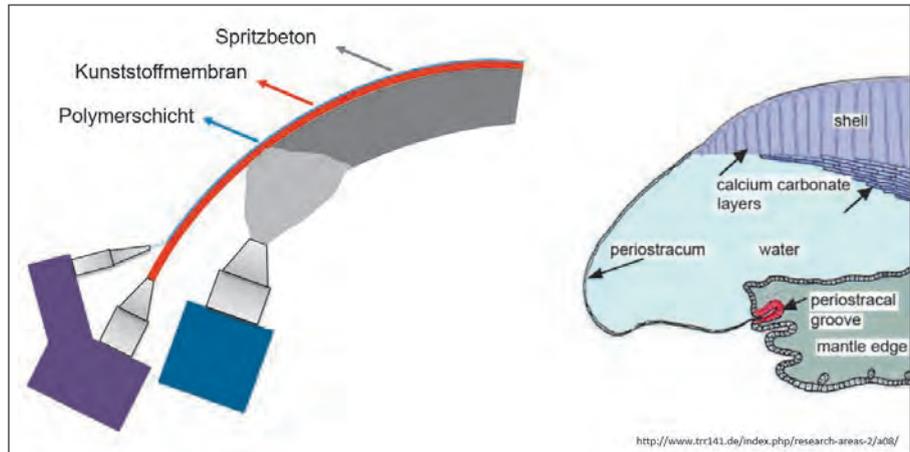


Bild 3: Schneckewachstum als Additiver Fertigungsverfahren, biologisches Vorbild (rechts) und hybrider Druckprozess (links [Quelle: <http://www.trr141.de/index.php/research-areas-2/a08/>])

(ITFT) zur Herstellung räumlicher, faserverstärkter, biomimetischer Strukturen. Dabei werden die vorteilhaften Eigenschaften der verschiedenen Materialien und Fertigungsverfahren kombiniert, um Composite-Bauteile zu generieren. Das Ziel ist die Entwicklung von hybriden Herstellungsverfahren, die in ein und derselben Anlage zur Anwendung kommen können.

Da es ein Grundprinzip lastaufnehmender, biologischer Materie ist, die Lastabtragung über matrixgebundene Fasern zu vollziehen, werden die verschiedenen makroskopischen Eigenschaften von Bauwerkstoffen durch die gezielte Einlagerung unterschiedlicher Fasermaterialien mit einer Faserorientierung in Belastungsrichtung erreicht. Damit sollen sowohl mittels schichtbasierter Verfahren als auch räumlicher Pultrusion faserverstärkte Strukturen mit gradiertem Bauteilverhalten hergestellt werden und diese auf ihre Eignung untersucht werden.

Ein weiteres Charakteristikum biologischer, vor allem mineralischer Lebewesen ist die Formgebung durch poröse Strukturen, die durch Sprüh- und Gießverfahren von gradiertem Beton und Kombinationen mit dem FDM-Verfahren realisiert werden.

Neben der fertigungstechnischen Fragestellung wird herausgearbeitet, inwieweit durch Maßstabeffekte die biologischen Phänomene, Herstellungstechniken und der Werkstoffeinsatz Rückwirkungen aufeinander haben und ob diese gegebenenfalls modifiziert werden müssen, um geforderte Eigenschaften und Funktionen im hochska-

lierten Zustand zu gewährleisten. Ziel dieser Untersuchung sind steuerungstechnische Optimierungen des Druckprozesses und die Skalierung des Fertigungsverfahrens für den architektonischen Einsatz. Letzteres könnte beispielsweise durch die Einbindung des Druckkopfes in eine Seilkinematik realisiert werden. So soll sich die Herstellung von bioinspirierten Gebäudeteilen oder Segmenten mittels Additiver Fertigung im Bauen der Zukunft etablieren.

Projektpartner:



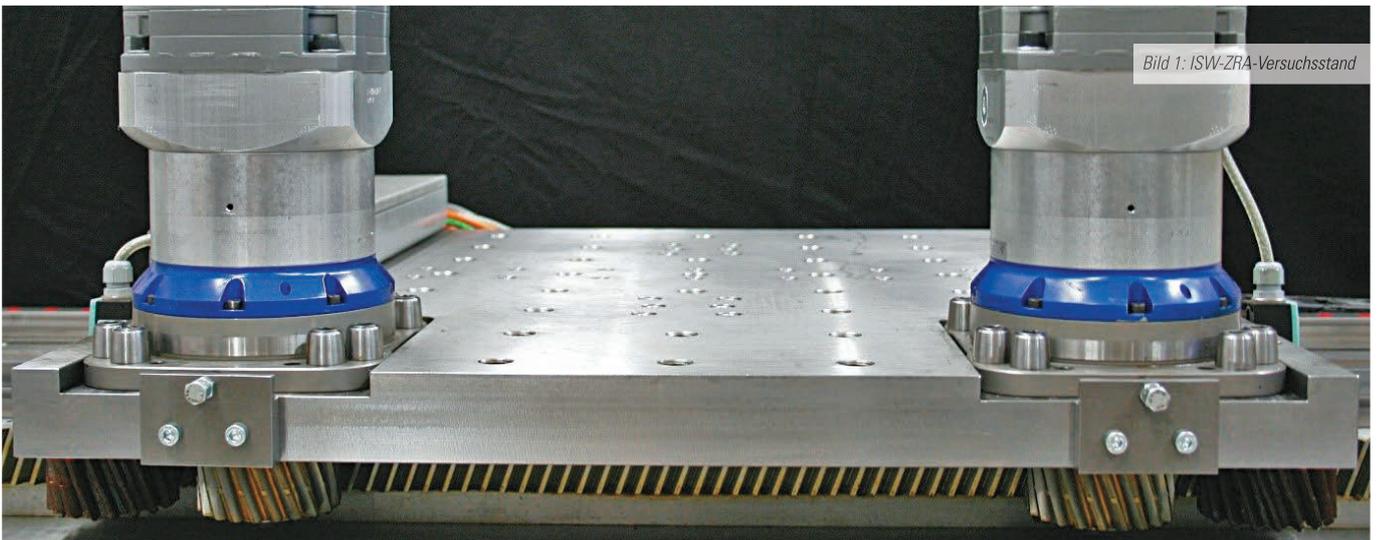
Kontakt: Frederik Wulle, M.Sc.
Frederik.Wulle@isw.uni-stuttgart.de

EFFIZIENZSTEIGERUNG BEI ZAHNSTANGE-RITZEL-ANTRIEBEN DURCH BEDARFSGERECHTE KOMPENSATION DES UMKEHRSPIELS

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Die Positioniergenauigkeit von Zahnstange-Ritzel-Antrieben wird maßgeblich durch das Umkehrspiel im Antriebsstrang begrenzt. Am ISW wird an verschiedenen Methoden zur bedarfsgerechten Kompensation des Umkehrspiels geforscht. Zum einen kann das Umkehrspiel durch eine konstant eingestellte, elektrische Verspannung reduziert werden. Um negative Einflüsse der konstanten Verspannung zu verringern und somit die Effizienz der Anlage zu steigern, wird eine Methodik zur Einstellung des Verspannungsbetrags während des Betriebs entwickelt. Zum anderen kann das Umkehrspiel durch die Erfassung der Maschinentisch-Beschleunigung kompensiert werden. Anstelle eines zweiten Motors zur Reduzierung des Umkehrspiels wird hier ein Beschleunigungssensor zur Erfassung der Tischbeschleunigung und somit zur Identifikation des Umkehrspiels eingesetzt.



Zahnstange-Ritzel-Antriebe (ZRA) werden neben den weit verbreiteten Kugel-Gewinde-Trieben (KGT) und Linear-Direkt-Antrieben (LDA) als Vorschubantrieb in Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren eingesetzt. Sie bestehen aus einer Zahnstange, die in den meisten Fällen fest am Maschinenbett befestigt ist und einem Ritzel, das sich entlang der Zahnstange bewegt. Das Ritzel wird über ein Vorsatzgetriebe mit dem Antriebsmotor verbunden.

Aufgrund des Steifigkeitsverhaltens von ZRA, das unabhängig von der Vorschublänge und der aktuellen Lage des angetriebenen Maschinentischs ist, werden ZRA überwiegend in großen Maschinen mit Vorschub-

wegen länger als 5 m eingesetzt. Hier können die im Bereich der Werkzeugmaschinen etablierten KGT nicht mehr effizient eingesetzt werden, da ihre maximale Drehzahl und Steifigkeit mit wachsender Spindellänge abnimmt. LDA können hingegen ebenfalls für lange Vorschubwege eingesetzt werden und weisen vergleichbare Vorteile wie ZRA auf. Allerdings steigen die Anschaffungskosten für LDA bei wachsender Vorschublänge stärker an, als die Anschaffungskosten von ZRA. Des Weiteren ermöglichen Entwicklungen im Bereich der Vorsatzgetriebe eine deutliche Steigerung der dynamischen Eigenschaften von ZRA und qualifizieren diese ebenfalls für den Einsatz in Maschinen mit langen Vorschubwegen. Lediglich der Genauigkeit

von ZRA sind technologiebedingt Grenzen gesetzt. Sowohl das Umkehrspiel zwischen Zahnstange und Ritzel als auch das Getriebeispiel verringern die Positioniergenauigkeit des Antriebssystems, da die Position des Maschinentischs bei großen Maschinen über den Lage-Istwert des Motorgebers berechnet und geregelt wird.

Zur Steigerung der Positioniergenauigkeit existieren diverse regelungstechnische oder konstruktive Ansätze. Ein Ansatz ist die elektrische Verspannung zweier Ritzel, die auf einer Zahnstange laufen. Die Ritzel werden jeweils über einen Motor angetrieben und die Verspannung wird erzeugt, indem die Sollmomente der Motorregler

durch ein Offsetmoment modifiziert werden. Die Verspannung wird in Prozent bezogen auf den Nennstrom des Motors angegeben. Untersuchungen am ISW-ZRA-Versuchsstand (**Bild 1**) haben gezeigt, dass das Umkehrspiel im Antriebsstrang durch 20 % Verspannung von circa 60 µm auf wenige Mikrometer reduziert und die Positioniergenauigkeit von circa 100 auf 30 µm verbessert werden kann. Allerdings werden durch den Einsatz eines zweiten Ritzels samt Antrieb und Leistungselektronik der Energiebedarf der Anlage, die Reibung und der Temperatureintrag erhöht.

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollen die negativen Einflüsse der Verspannung bei gleichzeitigem Erhalt der maximalen Positioniergenauigkeit reduziert werden, indem der Verspannungsbetrag während des Betriebs der Anlage bedarfsgerecht eingestellt wird. Untersuchungen am ISW-ZRA-Versuchsstand haben gezeigt, dass eine Reduzierung des durchschnittlichen Verspannungsbetrags von 20 % auf 10 % eine Verringerung des Energiebedarfs um 3 % zur Folge hat. Der aktuelle Stand der Technik nennt zwar die Möglichkeit, die Verspannung während des Betriebs zu verändern. Es fehlt allerdings ein sinnvoll und robust

anwendbares Vorgehen zur Einstellung des Verspannungsbetrags. Diese Lücke soll durch die Methodik der adaptiven Verspannungsregelung, die im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelt wird, geschlossen werden.

Ein weiterer Ansatz sieht vor, durch den Vergleich von Tisch- und Motorbeschleunigung das Umkehrspiel in den mechanischen Übertragungselementen zu detektieren und ein entsprechendes Kompensationssignal zu generieren, das vom Antrieb umgesetzt wird. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird ein Kompensationsmechanismus entwickelt, der die Auswirkung des Umkehrspiels auf die Regelgüte reduziert. Dabei sollen Robustheit und Stabilität des Antriebssystems nicht negativ beeinflusst werden, wie es in regelungstechnischen Ansätzen im aktuellen Stand der Technik der Fall ist. Die Erfassung der Beschleunigung des Maschinentisches soll durch kostengünstige, energieeffiziente MEMS-Sensoren erfolgen, um weder die Energie- noch die Investitionskosten einer solchen Anlage zu erhöhen. Hierdurch wird der industrielle Einsatz von ZRAs gefördert und Nachteile bekannter Verfahren, wie die Notwendigkeit eines zweiten Lagegebers,

Vernachlässigung von Reibungseinflüssen oder einer resultierenden Reduktion der Dynamik, umgangen. Da Kompensationsverfahren empfindlich auf Parameteränderungen reagieren und MEMS-Sensoren nur eine begrenzte Signalqualität liefern, ist die Kernaufgabe des Forschungsprojekts die Entwicklung geeigneter und wirkungsvoller Kompensationsverfahren unter Nutzung der zur Verfügung stehenden Signale.

Kontakt:

Tim Engelberth, M.Sc.
Tim.Engelberth@isw.uni-stuttgart.de

Ali Karim, M.Sc.
Ali.Karim@isw.uni-stuttgart.de



- Steuerungstechnik GmbH

www.fisw.de

ÜBER DIE GRENZE DES MÖGLICHEN

Mit unserem Leistungsangebot zur »Steuerungs- und Antriebstechnik« unterstützen wir Sie bei der Verfolgung der wesentlichen Produktionsziele im Bereich Automatisierungstechnik.

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

OPTIMALE STEUERUNG VON MATERIALFLUSSSYSTEMEN DURCH MULTISKALEN-NETZWERK-MODELLE (OptiFlow)

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



In enger Kooperation zwischen Mathematik- und Ingenieurwissenschaften wird in diesem Forschungsprojekt die Modellierung, die Konzeptionierung und der Entwurf eines Multiskalen-Netzwerk-Modells, bestehend aus einer diskreten Modellierung des Materialflusses (physikbasiertes Modell) und einer kontinuierlichen Modellierung (Flussmodell), angestrebt. Im Kontext von materialflussintensiven Produktionssystemen soll hierbei, auf Basis des zu erforschenden Multiskalen-Netzwerk-Modells, die Grundlagen für eine globale Durchsatzoptimierung sowie für eine Steuerungs- und Layoutoptimierung geschaffen werden.

Die ereignisbasierte, die kinematikbasierte und die physikbasierte Materialflusssimulation sowie die Flusssimulation sind Simulationsansätze zur Beschreibung von Materialbewegungen innerhalb von Materialflusssystemen. Die einzelnen Simulationsansätze betrachten Materialflusssysteme auf unterschiedlichen Simulationsskalen und unterscheiden sich daher hinsichtlich ihrer Modelleigenschaften als auch des abbildbaren Verhaltens von Materialflüssen. Abhängig vom Untersuchungsziel sowie den aus der Testkonfiguration abgeleiteten Anforderungen an das Simulationsmodell unterscheidet sich die Wahl des Simulationsansatzes.

Durch Kombination der einzelnen Simulationsansätze zu einem mehrskaligen Materialflussmodell können die Vorteile der einzelnen Simulationsansätze vereint werden: Auf zwei Modellebenen (der mikroskopischen und makroskopischen Ebene) werden im Forschungsvorhaben ein diskreter Ansatz (physikbasierte Materialflusssimulation) mit einem kontinuierlichen Ansatz (Flussmodell) zum „Multiskalen-Netzwerk-Modell“ kombiniert. Mit Hilfe des kontinuierlichen Ansatzes wird eine hohe Anzahl an Fördergütern an den Stellen abgebildet, wo keine Aussagen über einzelne Fördergüter benötigt werden. An diesen Stellen ist mit Hilfe des Flussmodells eine globale Durchsatzoptimierung mit der aus der Mathematik bekannten Theorie der klassischen Optimierung möglich. An Stellen, bei denen das konkrete Bewegungsverhalten einzelner Fördergüter von Bedeutung ist, wird mit einem detaillierteren diskreten Modell gerechnet. Dies ermöglicht

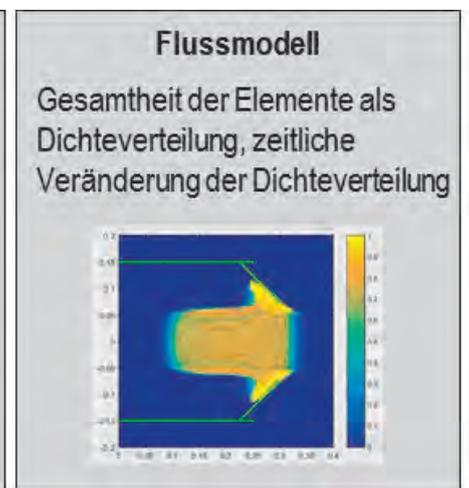
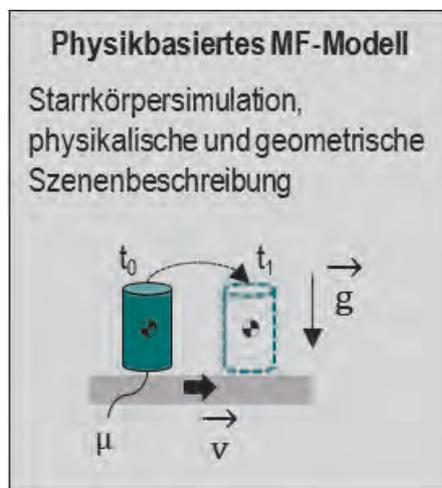


Bild 1: Physikbasiertes Materialflussmodell und Flussmodell

eine Steuerungs- und Layoutoptimierung. Durch die Kopplung von mikroskopischer und makroskopischer Skala bleibt im Modell die Kohärenz zwischen dem Bewegungsverhalten des einzelnen Förderguts und der Dynamik des gesamten Materialflusses erhalten.

Das erste Teilziel des Forschungsvorhabens ist die Verbindung zwischen feineren, schneller lösbarer makroskopischen Flussmodellen und den genaueren, aber auch rechenintensiveren, mikroskopischen physikbasierten Materialflussmodellen einzelner Materialflusselemente herzustellen. Die Verbindung zwischen den Modellen stellt sicher, dass das spezifische Anwendungsspektrum der Modelle weiterhin genutzt werden kann, ohne das Simulationsszenario neu erstellen zu müssen. Aus den Daten des physikbasier-

ten Materialflussmodells wird die Parametrierung des Flussmodells approximiert. Die Ergebnisse der Durchsatzoptimierung auf Basis des Flussmodells werden dann wiederum in das physikbasierte Materialflussmodell transportiert, um anschließende Optimierungen durchführen zu können.

Um eine systemglobale Optimierung des Materialflusssystems realisieren zu können, müssen die makroskopischen Flussmodelle im zweiten Teilziel zu einem Netzwerk verknüpft werden, dem sogenannten Fluss-Netzwerk-Modell. Dann wird die Modellhierarchie zwischen Fluss-Netzwerk-Modell und physikbasiertem Materialflussmodell definiert und das Multiskalen-Netzwerk-Modell entworfen. Hier muss insbesondere die Flusserhaltung in den Koppelknoten

berücksichtigt werden. Transiente Simulationsexperimente mit dem Multiskalen-Netzwerk-Modell validieren das korrekte simulative Abbild des gesamten Materialflusssysteme.

Projektpartner:

UNIVERSITÄT
MANNHEIM

Kontakt: Christian Scheifele, M.Sc.
Christian.Scheifele@isw.uni-stuttgart.de

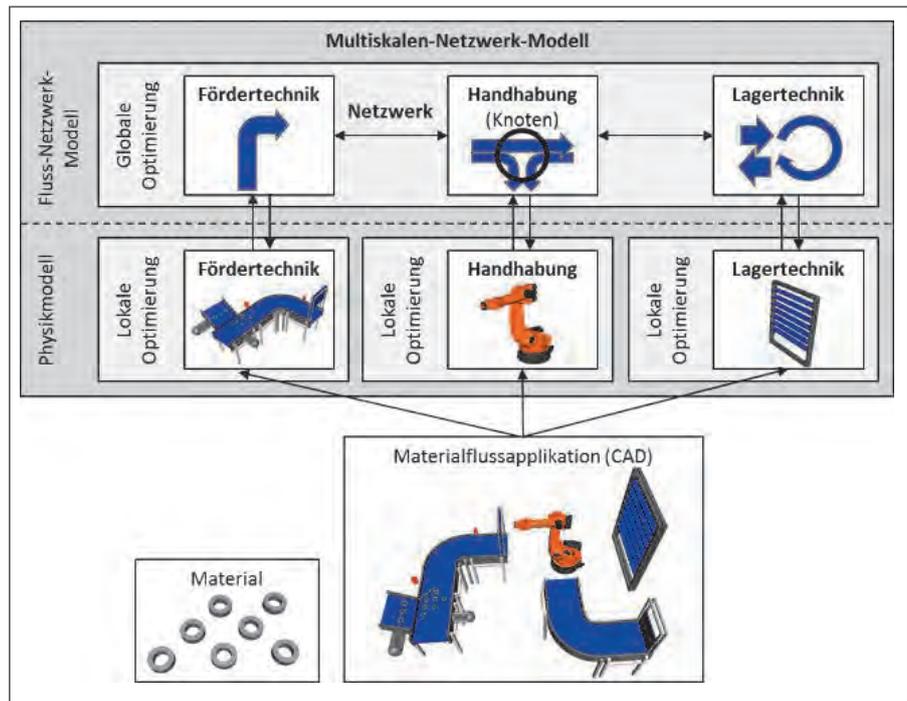


Bild 2: Multiskalen-Netzwerk-Modell

HIGH PERFORMANCE AUTOMATISIERUNG!

WIR SUCHEN SIE!

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



ROBOTERMANIPULATIONSSTRATEGIEN ZUR AUTOMATISIERUNG VON INSTANDHALTUNGSAUFGABEN

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



In heutigen Produktionssystemen spielt die Maschinen- und Anlagenverfügbarkeit eine entscheidende Rolle und bildet ein wegweisendes Differenzierungsmerkmal im globalen Wettbewerb. Während heutige Produktionsmaschinen und -anlagen bereits oftmals mit Condition Monitoring Systemen ausgestattet sind, wodurch eine automatisierte Diagnose von Fehlerzuständen ermöglicht wird, muss die anschließend notwendige Wartungs- oder Instandsetzungsaufgabe manuell durchgeführt werden. Dies führt dazu, dass die Kostenintensität des manuellen Instandhaltungsaufwand einen Großteil der Lebenszykluskosten von Produktionssystemen ausmacht. Deshalb untersucht diese Arbeit wie manuelle Aufgaben durch den Einsatz von autonomen Robotersystemen unterstützt werden können. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung von Manipulationsstrategien sowie die Bereitstellung einer Steuerungsarchitektur, sodass das Robotersystem autonom verschiedene Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben ausführen kann.

Zur Unterstützung manueller Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben durch Automatisierungstechnische Lösungen wird in diesem Forschungsprojekt der Einsatz autonomer Robotersysteme untersucht. Dabei liegt der Fokus auf der Handlungsplanung und Ausführung von Manipulationen, damit beispielsweise der Austausch einer defekten Funktionskomponente automatisch durchgeführt werden kann.

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung geeigneter Strategien, sodass automatisch Manipulationen für die erforderlichen Roboterarbeiten erzeugt werden können. Weitergehend sollen diese in einem ganzheitlichen Architekturkonzept abgebildet und experimentell validiert werden, siehe **Bild 1**.

Zur Bewerkstelligung dieser Aufgabe nutzt das Robotersystem CAD als auch Vision-Daten für die Planung der einzelnen Manipulationen. Durch den Einsatz probabilistischer Fusionsverfahren von CAD- und Vision-Daten wird eine Kompensation von Unsicherheiten erlaubt. Das Planungssystem arbeitet dabei weitgehend auf symbolischer und topologischer Abstraktionsebene, was eine zeiteffiziente Planung direkt in Roboterarbeiten ermöglicht. Die metrische Zuordnung, sowie die lokal optimale Sequenzierung werden im Umweltmodell bestimmt, wobei hier Weg- als auch Werkzeugwechselkosten beachtet werden.

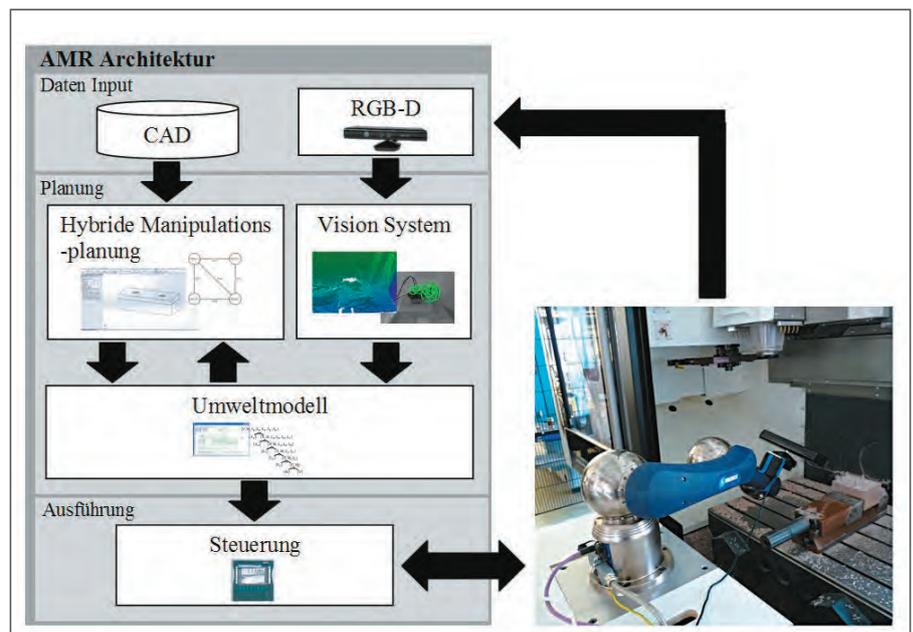


Bild 1: Robotersystemarchitektur

Die Bahnplanung erfolgt direkt auf Basis des generierten Umweltmodells. Hierzu werden gängige such- und samplingbasierte State-of-the-Art Algorithmen verwendet, welche adaptiv an den Belegtheitsgrad angepasst werden, was die zeitliche Berechnungsausführung deutlich verkürzt.

Zur robusten Ausführung der einzelnen Manipulationen können bedarfsgerecht

Admittanz- und bildbasierte Regelung hinzugeschaltet werden. Derzeit werden geeignete regelungstechnische Verfahren untersucht, die ein stoßfreies Umschalten, sowohl zustands- als auch kombinationsunabhängig, erlauben.

Weitergehend soll das Gesamtsystem anhand verschiedener praxisrelevanter Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben getes-

Mit Präzision und Zuverlässigkeit fit für die Zukunft:

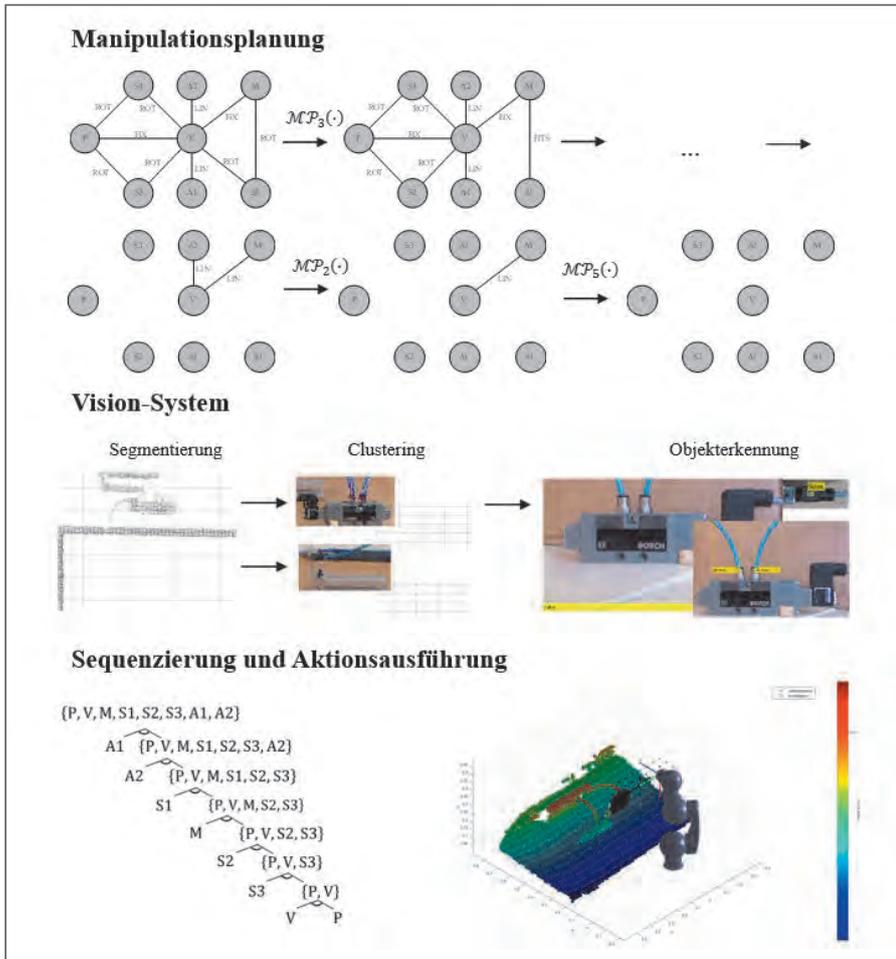


Bild 2: Automatische Generierung von Roboteroperationen für Instandhaltungsaufgaben

tet werden. In **Bild 2** wird ein Überblick gegeben, der die einzelnen Schritte von der Planung bis zur Aktionsausführung schematisch darstellt.

Kontakt: Christian Friedrich, M.Eng.
Christian.Friedrich@isw.uni-stuttgart.de

Werkzeug- und Produktionsdatenmanagement in der NC-Fertigung aus einer Hand

- Durchgängige Prozesse
- Höhere Transparenz
- Mehr Effizienz

IMPROVED MODELING OF CABLES FOR KINEMATICS AND DYNAMICS OF LIGHTWEIGHT ROBOTS (iCaMDyRo)

**GEFÖRDERT VON SIMTECH,
CLUSTER OF EXCELLENCE DER UNIVERSITÄT STUTTGART
PROJEKTNETZWERK 3: „DYNAMICAL SYSTEMS: MODEL REDUCTION, OPTIMIZATION AND CONTROL“**



Das Projekt „iCaMDyRo“ beschäftigt sich mit der Modellierung der Antriebsglieder paralleler Seilroboter. Dabei steht nicht nur eine Verbesserung der Simulation dieser Roboter im Vordergrund. Ebenso soll das Verständnis von Seilrobotern und ihren inhärenten Eigenschaften verbessert werden. Eine genauere Modellierung der elastischen und flexiblen Seile soll darüber hinaus zu einer erhöhten Steifigkeit und Steuer- und Regelbarkeit führen.

Seilgeführte Systeme eröffnen durch den Einsatz leichter aber dennoch robuster Seile einen Aufgabenbereich, der für konventionelle Maschinen nicht möglich wäre. Dabei kann nicht nur ein großer Bauraum mittels solcher Systeme erreicht werden, es kann ebenfalls eine Reduzierung der bewegten Masse erzielt werden. Dadurch lässt sich auf der einen Seite die Energieeffizienz solcher Systeme gegenüber vergleichbarer konventioneller Systeme erhöhen. Auf der anderen Seite lässt sich aber auch die Dynamik der zu bewegendem Objekte wesentlich verbessern.

Es gibt eine Vielzahl, teils seit mehreren Jahrhunderten bekannte, seilgeführte Systeme in Kränen, Seilbahnen und Aufzügen. Neben Ärzten mit seilgeführten Operationsinstrumenten werden Drahtseile auch in Bahnanlagen zum Stellen von Weichen verwendet. Man erkennt recht schnell die breite Einsatzfähigkeit von Seilen jeglichen Materials aufgrund der inhärenten Eigenschaften. Seile können Kräfte über weite Strecken übertragen und dabei ein vergleichsweise geringes Eigengewicht besitzen. Ebenso können Seile sehr fein und filigran ausgeführt werden und ermöglichen so den Zugang zu kleinsten Bereichen. Lediglich eine entscheidende Herausforderung ergibt sich durch die Verwendung von Seilen: es können keine Druckkräfte aufgebracht werden. Dies hat zur Folge, dass Seile immer in antagonistischen Paaren auftreten.

Mit der Verfügbarkeit hoher Rechenleistungen und schneller Datenübertragungen ist es seit einigen Jahrzehnten möglich, Seile synchronisiert auf- und abzuwickeln. Dies

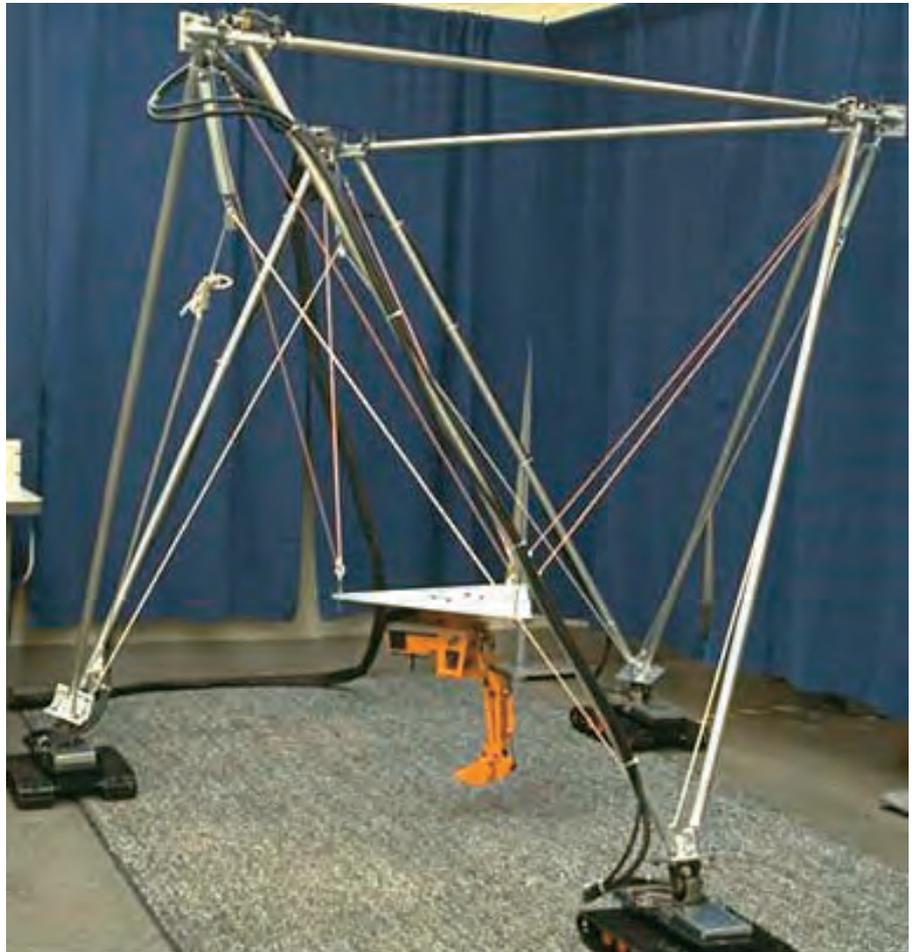


Bild 1: NIST RoboCrane: Der erste Prototyp eines seilgeführten Parallelroboters als Abwandlung einer Gough/Stewart Plattform (Quelle: nist.gov)

ermöglicht einen noch weiteren Anwendungsbereich seilgeführter Systeme. Dies haben Ende der 1980er Jahre Forscher des National Institute of Standard and Technology

(NIST) aus Gaithersburg, MD, USA erforscht und einen der ersten Seilroboter, den „NIST Robocrane“ (siehe **Bild 1**) erfunden.

Seilroboter lassen sich als besondere Ausprägung paralleler Roboter klassifizieren, bei denen die starren Antriebe durch flexible und elastische Seile ersetzt werden. Durch die bereits erwähnte Notwendigkeit antagonistischer Paare ergibt sich nun ein mechanisch überbestimmtes System, welches eine starke Kopplung zwischen allen Antrieben aufweist. Die Erforschung sowie genauere Modellierung dieser Kopplung, der Elastizität und Flexibilität der verwendeten Antriebe, ist die wesentliche Fragestellung dieses Projektes.

Damit knüpft dieses Projekt an eine Reihe vorangegangener Forschungsfragen an, die sich mit der Erforschung der Seilrobotertechnologie beschäftigt haben. Neben der Frage der kinematischen Transformation, welche unter Vereinfachungen bereits in den frühen 1990er Jahren gelöst wurde und in den letzten Jahren auch um die Berücksichtigung von Umlenkrollen und Seilmasse erweitert wurde, haben sich viele Fragestellungen um die Klassifizierung und Berechnung des Arbeitsraumes eröffnet. Die Verwendungen von Seilen und die daraus resultierende mechanische Redundanz des Systems erhöht auch hier die Komplexität.

Neben neuesten Erkenntnissen basieren auch viele der in den vergangenen zweieinhalb Jahrzehnten bestimmten Lösungen dennoch auf der Annahme masseloser, ideal starrer und gerader Seile. Gerade unter geringer Seilspannung, bei hoher Dynamik oder unter hoher Last widersprechen die Seile diesen Annahmen. Hinzu kommt die Interaktion von Seilen und ihrer Umgebung, zum Beispiel auf Umlenkrollen oder den Windentrommeln, auf welchen sie aufgewickelt werden (siehe **Bild 2**).

Im Rahmen dieses Projektes wurde, basierend auf vorangegangenen Arbeiten, ein tieferes Verständnis der kinematischen Eigenschaften massebehafteter Seile erlangt. Darauf basierend, wurden die vorhandenen Algorithmen und Seilrobotermodell erweitert und kontinuierlich gegen den Versuchsträger validiert. Aufbauend darauf wird ein dynamischeres Modell dieser massebehafteter Seile entwickelt. Dieser Ansatz berücksichtigt die räumliche Ausdehnung des Seiles und die damit verbundenen Schwingungen.

Der aktuelle Stand des Projektes umfasst darüber hinaus auch eine Toolbox für Seilroboter unter dem Namen „CDPR-Toolbox

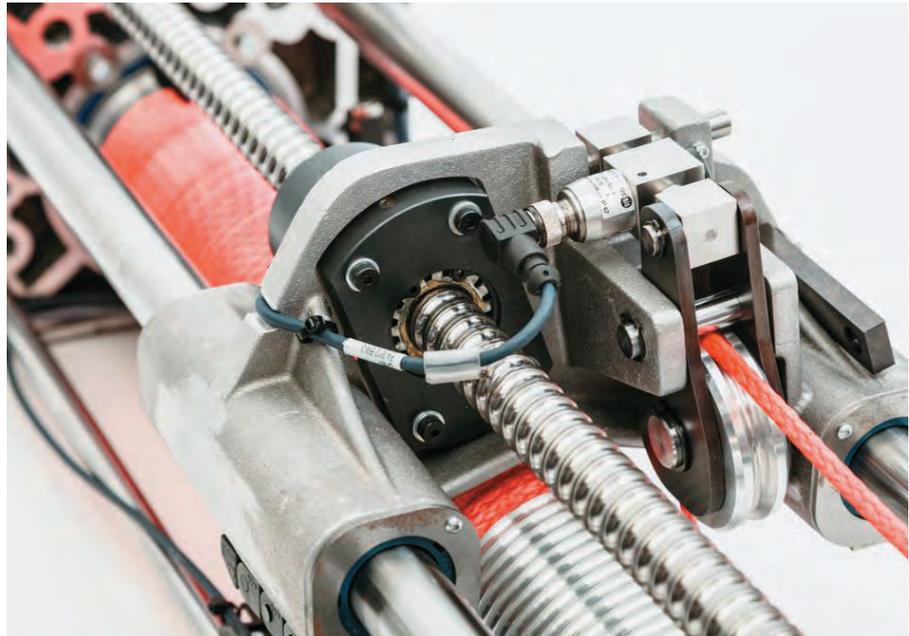


Bild 2: Bild der aktuell verwendeten Windengeneration IPAnema3-Winch. Diese mit integrierter Steuer- und Sensortechnik ausgestattete Winde bietet Einlagenwicklung und Überwachung der Seilkraft an der sichtbaren Umlenkrolle

for MATLAB and MAT-LAB/Simulink“. Diese ermöglicht die schnelle Erstellung einer Simulationsumgebung eines Seilroboters beliebiger Konfiguration und Dimension. Neben einigen Tools zur Offline-Analyse von Seilrobotern lassen sich auch die Tools und Algorithmen zur Untersuchung der Dynamik von Seilrobotern nutzen.

Durch die Kooperation mit anderen Instituten im Exzellenzcluster „Simulation Technology“ der Universität Stuttgart können darüber hinaus Wissen und Methodiken angewendet werden, um die entstandenen Modelle in ihrer Komplexität zu reduzieren, damit sie auch an den Versuchsträgern validiert werden können. Dies erfolgt zum Beispiel in einer Hardware-in-the-loop Umgebung, die virtuelle und reale Welt verschmelzen lässt.

Neben Seilrobotern soll das in dieser Arbeit gewonnene Wissen auch auf andere seilgeführte Anwendungen übertragen werden. Dies können zum Beispiel Roboterhände, Exoskelette oder serielle Manipulatoren sein. Darüber hinaus ermöglicht ein ausgereiftes Seilrobotermodell einen besseren Reglerentwurf und den Entwurf und die Anwendung von Vorhersagefunktionen.

Der Autor dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung dieses Projekts im Rahmen des Exzellenzclusters Simulation Technology (EXC 310/2) an der Universität Stuttgart.

Kontakt: Dipl.-Ing. Philipp Tempel
Philipp.Tempel@isw.uni-stuttgart.de

MODELLIERUNG UND IDENTIFIKATION DES POSENABHÄNGIGEN DYNAMISCHEN VERHALTENS GROSSER LEICHTBAUWERKZEUGMASCHINEN

GEFÖRDERT VON SIMTECH,
CLUSTER OF EXCELLENCE DER UNIVERSITÄT STUTTGART



Große Leichtbauwerkzeugmaschinenstrukturen mit serieller, ausschließlich werkzeugseitiger Bewegung wie Fahrständer- und Portalmaschinen, zeigen ein stark poseabhängiges dynamisches Verhalten. Die niedrigsten Eigenmoden variieren um mehrere Hertz innerhalb des Arbeitsraumes, weshalb effiziente, überlagerte Schwingungsreduktionsalgorithmen exakte Kenntnis dieses veränderlichen dynamischen Verhaltens benötigen. Ein einfaches, generelles parametrisches Maschinenmodell, wessen Parameter online durch einen Rekursiven Least Squares (RLS) Algorithmus an das reale Maschinenverhalten angepasst werden, stellt diese Information bereit. Im Frequenzbereich bis 50 Hz passt der RLS-Algorithmus bei stehender Achse die poseabhängigen Modellparameter genau an das dynamische Verhalten der Maschinenstruktur der jeweiligen Pose an. Bei bewegter Achse folgen die Parameter entsprechend den sich ändernden dynamischen Verhältnissen.

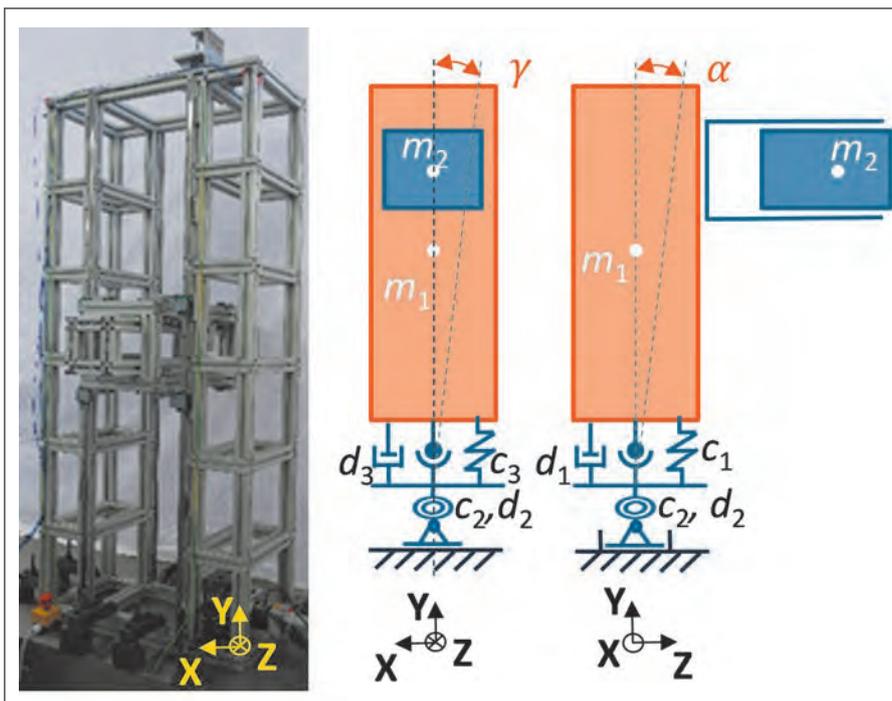


Bild 1: Laborprototyp und generelles parametrisches Maschinenmodell (vereinfacht aus zwei Perspektiven)

Die Modellierung des allgemeinen, parametrischen Maschinenmodells erfolgt mit dem Finite-Segmente-Ansatz, worin die Bauteilnachgiebigkeit durch Starrkörper, welche mit Federn und Dämpfern verbunden sind, modelliert werden. **Bild 1** zeigt den Laborprototyp einer Leichtbaufahrständermaschine sowie dessen allgemeines parametrisches Maschinenmodell mit zwei Starrkörpern, welche den Fahrständer und die Pinole repräsentieren. Die ersten drei Eigenmoden des Fahrständers (Biegung um X und Z, Torsion um Y) werden durch drei Feder-Dämpfer-Kombinationen im Zusammenspiel mit den Massen abgebildet. Die Parameter für die Federn und Dämpfer ändern sich je nach Pose der Pinole im Arbeitsraum. Sie werden online an die aktuelle, real auftretende Dynamik der Maschinenstruktur mittels RLS-Algorithmus angepasst. Dafür werden steuerungsinterne Signale sowie Signale von zusätzlich angebrachten Beschleunigungssensoren verwendet. Die Methode wird am Laborprototyp validiert, dessen poseabhängige dominante Eigenfrequenzen durch eine experimentelle Modalanalyse (**Tab. 1**) bekannt sind. Die Verbesserungen der Schnelligkeit und Robustheit der Parameterschätzungen bilden den aktuellen Gegenstand der Forschungsarbeit.

Pinole	oben	mitte	unten
Bieg. X	12.75 Hz	14.76 Hz	16.93 Hz
Bieg. Z	15.38 Hz	17.53 Hz	19.09 Hz
Tors. Y	18.57 Hz	19.76 Hz	23.75 Hz

Tab. 1: Dominante Eigenfrequenzen des Laborprototyps bei stehender Pinole in unterer, mittlerer und oberer Stellung.

Kontakt: Dipl.-Ing. Stefanie Apprich
Stefanie.Apprich@isw.uni-stuttgart.de

RENT'N'PRODUCE: SICHERER CLOUD-SERVICE ZUR BEAUFTRAGUNG UND STEUERUNG VON FERTIGUNGSSYSTEMEN



IM AUFTRAG UND GEFÖRDERT VON DER BADEN-WÜRTTEMBERG STIFTUNG

Ziel des hier vorgestellten Forschungsprojektes Rent'n'Produce (RnP) ist, die Vision sich selbststeuernder Fertigungssysteme voranzutreiben. Unternehmen unterschiedlicher Branchen soll eine cloud-basierte Plattform zur Verfügung gestellt werden, mit der Ressourcen wie Maschinen und Anlagen bereitgestellt und über die Unternehmensgrenzen hinweg bis auf die Shopfloor-Ebene beauftragt werden können.

Im Rahmen von Industrie 4.0 werden Services einhergehend mit einem höheren Vernetzungsgrad in den Vordergrund gerückt. Ansätze diesbezüglich konzentrieren sich oft auf die Erfassung und Auswertung von Daten. Die Vision sich selbststeuernder Systeme, die ohne menschliches Zutun Informationen austauschen und Entscheidungen treffen, ist zwar übergeordnetes Ziel, steht aber nicht unbedingt im Fokus vieler Projekte.

Das Projekt RnP greift auf die bestehende Infrastruktur und Vernetzung in produzierenden Unternehmen zurück und setzt eine cloud-basierte Plattform für die Beauftragung von Maschinen und Anlagen auf. Erklärtes Ziel ist eine hochflexible, standort-unabhängige Fertigungsbeauftragung über Unternehmensgrenzen hinweg. Die für die Beauftragung nötige Werkstückbeschreibung kann dabei in Form von CAD-Daten oder NC-Programmen vorliegen und vom Auftraggeber an das System übermittelt werden. Bevor die Beauftragung der ausgewählten Ressource auf Shopfloor-Ebene durchgeführt wird, durchlaufen die Werkstückbeschreibungen auf der cloud-basierten Plattform einen Post-Processor und werden an die ausgewählte Produktionsressource aus dem Ressourcenkatalog adaptiert. Auf diese Weise wird ein System geschaffen, dass die direkte Abarbeitung von Fertigungsaufträgen ohne manuelles Eingreifen ermöglicht.

Um eine fehler- und konfliktfreie Zuweisung der Aufträge zu den Fertigungsressourcen zu gewährleisten, müssen diese die Abfrage des Belegungsstatus sowie ihrer Konfiguration ermöglichen. Die hierfür benötigten Informationen werden von den Anbietern der

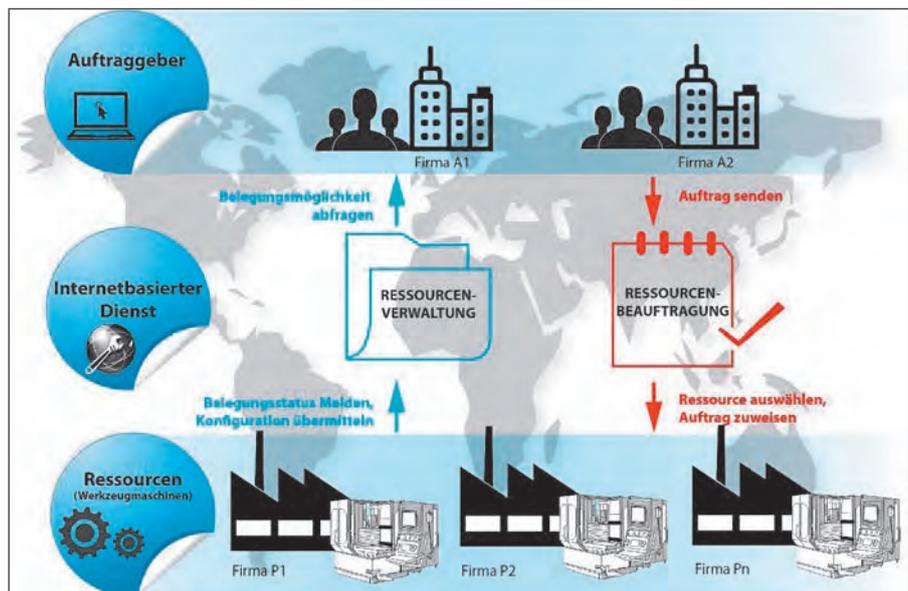


Bild: Funktionsprinzip der cloud-basierten Plattform Rent'n'Produce

Ressource bei Aufnahme in den Ressourcenkatalog angegeben.

Die Verwaltung und Beauftragung der Fertigungsressourcen geschieht über eine einheitliche Weboberfläche, eingetragene Ressourcen können dabei von allen Nutzern des RnP-Service eingesehen und beauftragt werden. Auf diese Weise ergeben sich vielfältige Möglichkeiten neue Geschäftsmodelle wie Pay-per-Use oder Pay-per-Piece zu etablieren, Produktionsspitzen auszulagern oder die Kapazitäten der eigenen Ressourcen voll auszunutzen.

Da in kleinen und mittelständischen Unternehmen hinsichtlich Cloud-Technologie sicherheitstechnische Bedenken im Vergleich zu den damit verbundenen Chancen oft im Vor-

dergrund stehen, setzt RnP auf die sichere Cloud-Infrastruktur Virtual Fort Knox des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (Fraunhofer IPA). Für die Anbindung an Werkzeugmaschinen kommt OPC UA und das darin integrierte Sicherheitskonzept zum Einsatz. OPC UA ist ein herstellerunabhängiges Kommunikationsprotokoll, das auf eine serviceorientierte Architektur (SOA) setzt.

Projektpartner: Fraunhofer IPA

Kontakt: Carsten Ellwein, M.Sc.
Carsten.Ellwein@isw.uni-stuttgart.de

CLOUD-BASIERTE NAVIGATIONS-LÖSUNGEN FÜR FLEXIBLE FAHRERLOSE TRANSPORTSYSTEME IN DER INDUSTRIE 4.0 (CLON-I4.0)

GEFÖRDERT VON DER BADEN-WÜRTTEMBERG STIFTUNG



Im Projekt CLON-I4.0 soll ein Konzept von fahrerlosen Transportsystemen (FTS) erarbeitet und umgesetzt werden, welches es erlaubt, die derzeitigen maßgeschneiderten und unflexiblen Lösungen durch eine flexible, wandlungsfähige und effiziente Lösung zu ersetzen.



Bild 1: Übersicht der Systemkomponenten und Informationsflüsse in CLON-I4.0

Derzeitige Installationen von Fahrerlosen Transportsystemen (FTS) sind zumeist durch maßgeschneiderte Lösungen gekennzeichnet, welche im Zuge einer wandelbaren Produktion weder flexibel modifiziert noch in ihren Fähigkeiten kurzfristig oder kurzzeitig erweitert werden können. Flexible autonome Navigationslösungen für FTS erfordern neben aufwendiger Softwareentwicklung auch teure Hardware-Installationen auf den einzelnen Fahrzeugen und werden daher aus Kostengründen zumeist nicht umgesetzt. Dabei bergen flexible FTS enormes Potenzial, die Produktivität und Effizienz von zukünftigen Produktions- und Logistikanlagen zu steigern.

Im Projekt CLON-I4.0 soll deshalb ein Cloud-basiertes Navigationsframework für ein FTS in der Industrie 4.0 entwickelt werden.

Dafür sollen rechenintensive Navigationsalgorithmen in eine zentrale Cloud-basierte Leitsteuerung ausgelagert werden. Dort können, über die zentrale Bündelung aller verfügbaren Sensorinformationen zu einem holistischen Live-Bild der Anlage, prädiktive und kooperative Navigationslösungen für das FTS berechnet und den einzelnen Fahrzeugen individuell als On-Demand-Services zur Verfügung gestellt werden. Das FTS kann damit auch ohne teure Hardware-Ausstattung auf den einzelnen Fahrzeugen, bei Bedarf mit hoher Navigationsintelligenz und adaptiv an veränderte Anforderungen, betrieben werden. Ferner unterstützen webbasierte Benutzerschnittstellen und Mechanismen zur automatischen Authentifizierung und Umgebungserkundung die vereinfachte Installation sowie eine benutzerfreundliche Verwaltung und Rekonfiguration des FTS.

Projektpartner:



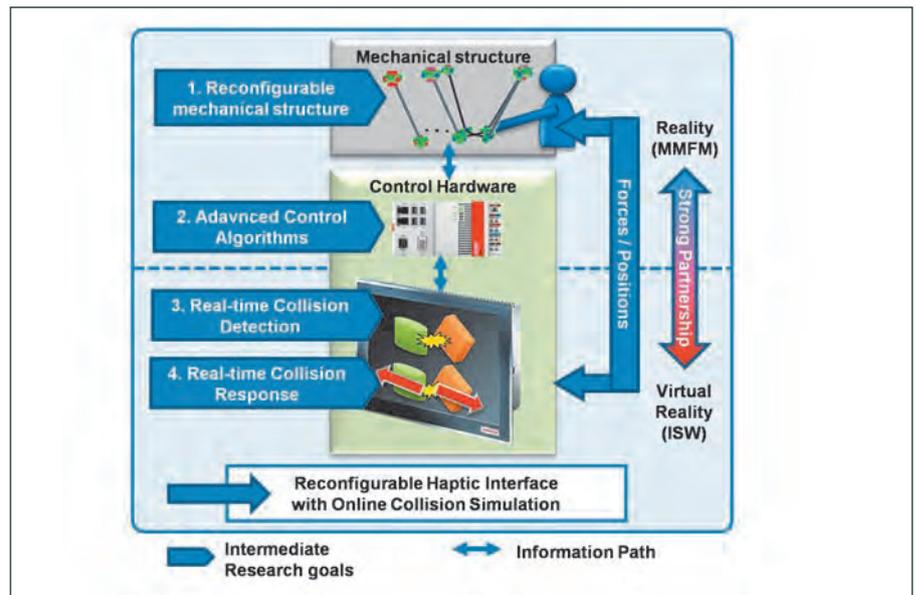
Kontakt: Dipl.-Ing. Stefan Scheifele
Stefan.Scheifele@isw.uni-stuttgart.de

FORSCHUNG ZUR THEORETISCHEN ENTWICKLUNG UND EXPERIMENTELLEN VALIDIERUNG REKONFIGURIERBARER HAPTISCHER SCHNITTSTELLEN FÜR VIRTUAL REALITY (ReHaPy)

GEFÖRDERT VON DER ALEXANDER VON HUMBOLDT-STIFTUNG



Virtual Reality (VR) findet zunehmend auch Anwendung in der Fertigungstechnik, u. a. bei der computerunterstützten Konstruktion (CAD), dem virtuellen Prototyping, der virtuellen Inbetriebnahme und der virtuellen Montage. Herkömmliche Monitore, Tastaturen und Mäuse werden für die Interaktion mit der VR benutzt, aber neuartige VR-Verfahren verlangen neue Interaktionstechniken. Haptische Schnittstellen können definiert werden als duale Interfaces (Input als auch Output), die dem Benutzer eine Krafterückmeldung bezüglich seiner Bewegungen geben oder umgekehrt. Mit anderen Worten, als Analogie zu visuellen Schnittstellen. Sehen ist für das Licht, was Haptik für die Berührung ist. Mit haptischen Schnittstellen kann der User (Bediener, Konstrukteur, etc.) die VR-Umgebung nicht nur sehen, er kann sie auch fühlen.



Viele Veröffentlichungen betonen die Vorteile der haptischen Geräte bei verschiedenen fertigungstechnischen Anwendungen, wie z.B. der virtuellen Montage, der virtuellen Fertigung, dem virtuellen Prototyping und der virtuellen Instandhaltung. Diese neuartigen Schnittstellen machen das Arbeiten mit VR komfortabler und praktischer. Bei der virtuellen Montage werden haptische Schnittstellen genutzt, um die manuellen Montagezeiten besser voraussagen zu können und sie durch die Optimierung der Montagewege zu reduzieren. Der virtuelle schnelle Prototypenbau von Drehknöpfen mit haptischem Feedback ist ein kostengünstiges Verfahren für das „Human-in-the-loop-testing“. Haptische Geräte vervollständigen die Interaktion, indem sie neuartige VR-Methoden für die Fertigungstechnik mit Krafterückmeldung anwenden und so die VR konkreter und, infolgedessen, die Arbeit des Ingenieurs effizienter machen.

Die Entwicklung eines haptischen Interfaces, die in verschiedenen Szenarien stattfinden kann, eröffnet neue Forschungsrichtungen in der Fertigungstechnik. Neue Methoden der

Roboterprogrammierung mit virtuellen Lernverfahren können erforscht werden. Auch Forschungen betreffend, die Schulung von Arbeitern für verschiedene Fertigungs- und/oder Montageprozesse, wo menschliches Versagen zu erheblichen Schäden führen kann, können zum Teil kostengünstiger mit VR durchgeführt werden.

Rekonfigurierbare Systeme, basierend auf ihren modularen Eigenschaften, erfüllen unterschiedliche Anforderungen auf ökonomische Art und Weise. Ein rekonfigurierbares haptisches Interface wird den Vorteil haben, dass es den verschiedenen Erfordernissen unterschiedlicher VR-Interaktionsszenarien kosteneffizient genügen kann.

Neue Simulationsmethoden in Echtzeit ermöglichen die Simulation von Kollisionen mit reduzierter Rechnerleistung. Um das Potenzial der haptischen Schnittstellen voll auszuschöpfen, müssen sie normalerweise an VR-Umgebungen mit hoher Rechnerkapazität angebunden sein, wo die Dynamik der virtuellen Welt in Echtzeit simuliert wird. Im Fall von Haptik ist nur ein Teil der Berech-

nungen der virtuellen Welt notwendig, hauptsächlich Kollisionssimulationen. Kollisionen, die in der Steuerungsarchitektur der haptischen Schnittstelle simuliert werden, ermöglichen die Nutzung des vollen Potenzials des haptischen Interfaces ohne die Notwendigkeit einer kostspieligen VR-Umgebung mit hoher Rechenleistung.

Dieses Projekt beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung einer rekonfigurierbaren haptischen Schnittstelle, einschließlich Kollisionssimulation in Echtzeit, in ihrem Steuerungssystem. Um diese Ziele zu erreichen, ist das Fachwissen aus verschiedenen Disziplinen gefordert. Mechanische Struktur und Steuerungssysteme fallen in die Gebiete Mechatronik und Robotik, während VR und Echtzeitsimulationen der Kybernetik zuzuordnen sind.

Kontakt: Dr.-Ing. Akos Csiszar
Akos.Csiszar@isw.uni-stuttgart.de

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

ERFORSCHUNG NEUARTIGER HOCHLEISTUNGS- UND HOCHENERGIESPEICHERZELLEN UND DEREN FERTIGUNGSMETHODIK FÜR IHRE HERSTELLUNG (FastStorageBW II)



FastStorageBW

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR FINANZEN UND WIRTSCHAFT

GEFÖRDERT VOM MINISTERIUM FÜR FINANZEN UND WIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG

Nachhaltige Energiekonzepte und radikale Energieeinsparungen können industrielle Fertigungseinrichtungen nachhaltig verändern. Um dies zu erreichen werden neue und robuste Ansätze bei der Speicherung elektrischer Energie benötigt. Heutige Lithium-Ionen-Energiespeicher besitzen wesentliche Schwachstellen. Sogenannte „PowerCaps“ besitzen diese Mängel nicht und sind daher eine attraktive Alternativtechnologie. Heutige industriell verfügbare Superkondensatoren sind für den Einsatz in der Fertigungsindustrie nicht geeignet. Im Rahmen dieses Projektes wird die Erforschung neuartiger Energiespeicherzellen für industrielle und automobiler Fertigungseinrichtungen am Standort Baden-Württemberg angestrebt.

Energiespeicher kommen im digitalen Zeitalter in einer Vielzahl mobiler elektronischer Geräte vor. Einen Einzug in industrielle Fertigungseinrichtungen haben sie bisher nicht gefunden da Lithiumionenspeicher eine unzureichende Stabilität bei hohen Temperaturen und limitierte Schnellladefähigkeit besitzen. Eine attraktive Alternativtechnologie kann in so genannten Superkondensatoren gefunden werden, die zudem auch noch eine hohe Zyklenlebensdauer und ultraschnelle Aufladung ermöglichen.

Im Vergleich zu konventionellen Kondensatoren besitzen Superkondensatoren (Supercaps) eine wesentlich höhere Speicherkapazität. Es können Energiedichten von bis zu 50 Wh/kg erreicht werden. Diese Energie können Supercaps wesentlich schneller als gewöhnliche Batterien abgeben und ebenso kurzfristig hohe elektrische Leistungen von mehr als 20 kW/kg bereitstellen. Der Einsatz solcher Supercaps in Industrieanlagen – laut Siemens AG entfallen knapp 70 % des elektrischen Energiebedarfs auf Antriebe – ist mit am Markt verfügbaren Supercaps nicht realisierbar. Vor allem die notwendige zeitlich kurze und zugleich ultraschnelle Aufladung (im Sekundenbereich) bei gleichzeitig hoher Zyklenanzahl (mehr als 100.000) sowie ausreichend hohe Energiedichten erfüllen diese Produkte nicht (siehe **Bild 1**).

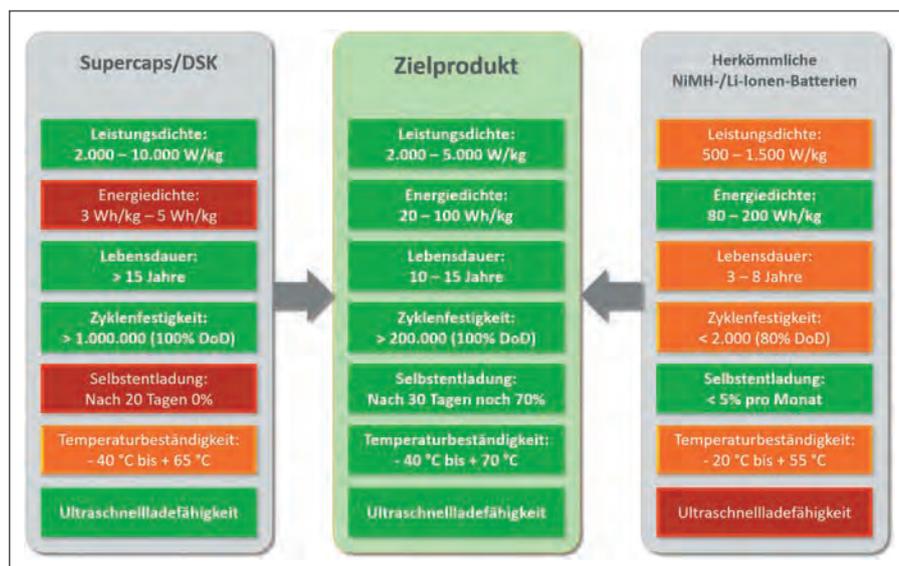


Bild 1: Zielprodukteigenschaften der in diesem Projekt entwickelten Powercaps – abgeleitet aus den Eigenschaften herkömmlicher Supercap-Kondensatoren und Batterien

Unter Führung des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA werden leistungsfähigere Speicherzellen, basierend auf einem wässrigen Hybridsystem, entwickelt. Der Nachweis der Verwendbarkeit dieser Technologie für eine spätere Großserienproduktion geht zwingend einher mit der Erforschung dieser Produkte.

Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen beteiligt sich in diesem Projekt in mehreren Teilprojekten:

Die Abschätzung des Bedarfs der Industrie und der Dimension der Leistungsfähigkeit dieser neuartigen Speichertechnologie wird durch unsere langjährigen erfolgreichen Beziehungen mit lokal ansässigen und deutschlandweiten Industriepartnern

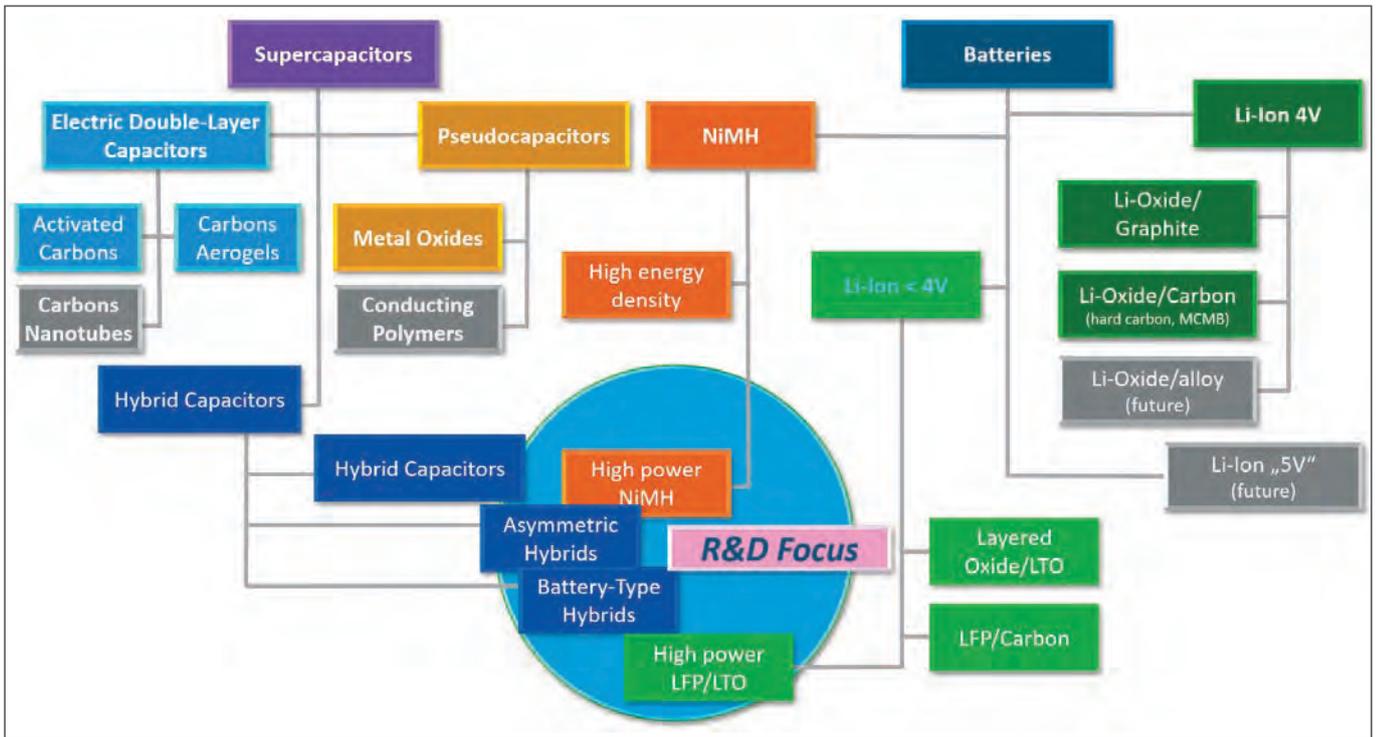


Bild 2: Klassifizierung von Superkondensatoren und anderen Batterietechnologien

Projektpartner:

ermöglicht. Eine Umfrage bei verschiedenen Industriefirmen im Bereich industrieller Fertigung bestätigt den Bedarf an der neuen Technologie; bisher fanden Ultra- oder Superkondensatoren ihren Einsatz nur in der Intralogistik. Als Grund dafür wird die nicht ausreichende Technik wie zu geringe Zyklenanzahl, unvorteilhafte Baugröße, sowie Kosten pro Leistungskapazität, angeführt; Einsatzmöglichkeiten für Supercaps werden im Bereich Backupspeicher und Rekuperationsanlagen gesehen. Beispielsweise bei Servopressen entsteht dadurch ein großes Potenzial der hier entwickelten Technologie.

Die Implementierung der Steuerungstechnik einzelner Stationen der, in diesem Projekt neu entwickelten Versuchsserienlinie, wird durch das Institut realisiert. Die einzelnen Produktionsstationen werden dabei durch SPS-Technik und IEC 61131-3 Programmierung angesteuert. Hinzu kommt die Integration eines überlagerten Manufacturing Execution System (MES), welches die Steuerung und Kommunikation der einzelnen Stationen untereinander, realisiert durch OPC UA, ermöglicht. Da nicht alle Stationen vollautomatisiert betrieben werden, muss eine Kommunikation zwischen MES und mobilen Endgeräten ebenfalls unterstützt werden.

Im Bereich der Demonstratoren beteiligt sich das Institut durch die Projektleitung des Teilprojektes „Demonstratoren, Feld- und Sicherheitstests“. Hier sollte die neu entwickelte Speichertechnologie anhand praxisrelevanter Applikationen (fahrerlose Transportsysteme, Regalbediengeräte, sowie Roboterzellen und Fräsmaschinen in Fertigungseinrichtungen) untersucht werden, um deren tatsächliches Einsparpotential zu überprüfen. Entsprechende Sicherheits- und Funktionstest auf Anwendungsebene runden die Arbeiten ab und können so eine fundierte Aussage über die Risiken und Vorteil der PowerCaps treffen.

Neben der Untersuchung der Einsetzbarkeit der Technologie unterstützt das Institut auch die Identifikation zur Einsparung von Energie und Ressourcen für eine energieeffiziente und abfallminimale Produktion.

Kontakt: Dipl.-Ing. Philipp Tempel
 Philipp.Tempel@isw.uni-stuttgart.de



ENTWICKLUNG EINES SIMULATIONSWERKZEUGS FÜR DEN AUTOMATISIERTEN VERGLEICH UND DIE OPTIMIERUNG VON MITEINANDER ZU PROZESSKETTEN VERNETZTEN, VARIANTENREICHEN MASCHINEN UND ANLAGEN IM 3-DIMENSIONALEN RAUM („SimVar3D“)



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

Bei der Planung von Produktionsketten müssen aktuell eine Vielzahl von komplexen Kundenforderungen aufeinander abgestimmt werden. Die Abdeckung der vom Kunden eingebrachten Änderungswünsche, in Form verschiedener Lösungsvarianten, verursacht dabei einen hohen Konstruktionsaufwand sowie aufwändige Re-Designs. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Simulationswerkzeugs, das erstmals die Planung und Konstruktion sowie eine automatisierte Optimierung der komplexen Produktionsketten bereits in der Konzeptionsphase ermöglicht.

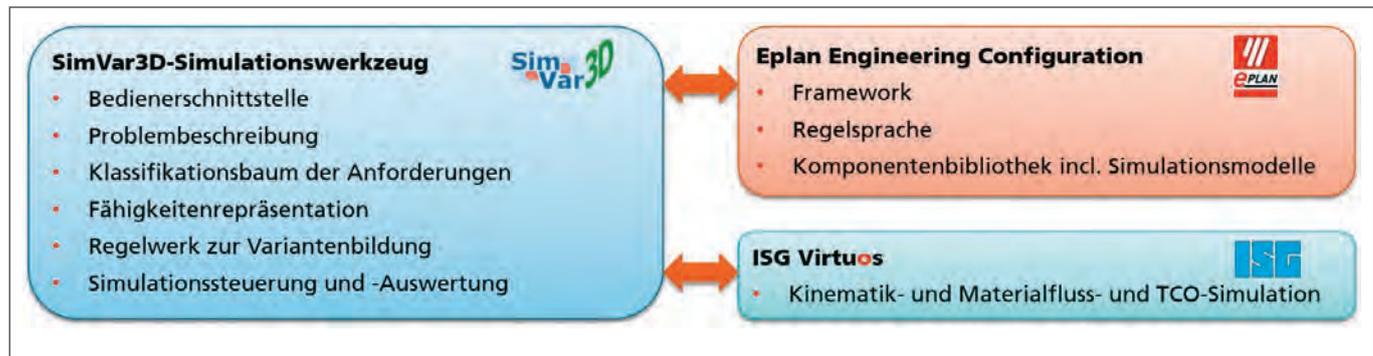


Bild 1: Zusammenspiel SimVar3D mit den beteiligten Softwarewerkzeugen

Kleine bzw. mittelständische deutsche Unternehmen haben im internationalen Vergleich bei Produktionsmaschinen und komplexen Produktionsketten, aufgrund der hohen Löhne einen Wettbewerbsnachteil. Die Unternehmen können nur dann bestehen, wenn sie bereits in der Planungs- und Konstruktionsphase sehr individuell und schnell auf Kundenwünsche reagieren. Vor allem bei der Planung und Konstruktion von komplexen, miteinander vernetzten Produktionsprozessen und -anlagen werden sehr hohe, z. T. sogar gegensätzliche Anforderungen von Kunden an die Anlage gestellt.

Durch die sich ändernden Kundenwünsche und gegensätzlichen Anforderungen müssen

gleichzeitig eine Vielzahl von Varianten für eine einzige Anlagenrealisierung generiert werden. Die parallele Planung, Konstruktion und gegebenenfalls mehrere Re-Designs der einzelnen Varianten, führt zu einem erhöhten Aufwand im Bereich der Entwicklungskosten.

Die endgültige Lösungsvariante entsteht anschließend durch häufige Abstimmung mit dem Kunden in Verbindung mit einer iterativen Optimierung der Gesamtanlage.

Aus den dargestellten Gründen ist die Auslegung und Planung von vernetzten Produktionsanlagen und Fertigungslinien mit oft mehr als 20 Fertigungsstationen sehr kom-

plex sowie zeit- und kostenaufwendig. Das Forschungsprojekt setzt genau an dieser Problembeschreibung an.

Zentrales Ziel des in Zusammenarbeit mit der Firma Schnaithmann Maschinenbau GmbH laufenden FuE-Projektes ist, die Entwicklung eines neuen, computergestützten Entwicklungs- und Simulationswerkzeugs. Mithilfe des Werkzeuges sind Konzeption und Konstruktion, sowie eine automatisierte Optimierung von komplexen Produktionsketten möglich. Besonderheit des SimVar-3D Werkzeuges ist, dass die heute üblicherweise manuell bzw. semiautomatisch, mit manueller Unterstützung durchgeführten Planungs- und Konstruktionsaufgaben erst-

mals automatisiert werden können. Dadurch sollen die, aus einer Vielzahl von miteinander vernetzten Maschinen und Anlagen aufgebauten, komplexen Produktionsketten automatisch konzipiert, entwickelt und abgebildet werden.

Des Weiteren soll durch die direkte Verbindung von Entwicklungs- und Simulationsumgebung erstmals eine automatisierte Variantenanalyse und Optimierung für die Konzeption von Produktionsketten zur Verfügung stehen.

Das SimVar3D-Simulationswerkzeug nutzt dafür die bestehenden Softwarewerkzeuge ISG-virtuos und EPLAN Engineering Configuration. Diese werden über in den Programmen bereits bestehende Schnittstellen in das SimVar3D-Tool eingebunden, sodass ein neues eigenständiges Add-On entsteht (**Bild 1**). In der Benutzeroberfläche des SimVar3D-Werkzeuges projiziert der Anwender über eine baukastenbasierte Problembeschreibung seine Anlage. Dabei soll jedoch kein Lösungskonzept eingegeben werden, sondern lediglich die grundsätzliche Aufgabenbeschreibung in Form von räumlicher und funktionaler Eigenschaften diverser miteinander gekoppelten 3D-Komponenten. Aus dieser lösungsunabhängigen Anlagenbeschreibung sollen über geeignete Methoden automatisch Varianten in Form von Simulationsmodellen für vernetzte Produktionsketten entwickelt und realisiert werden.

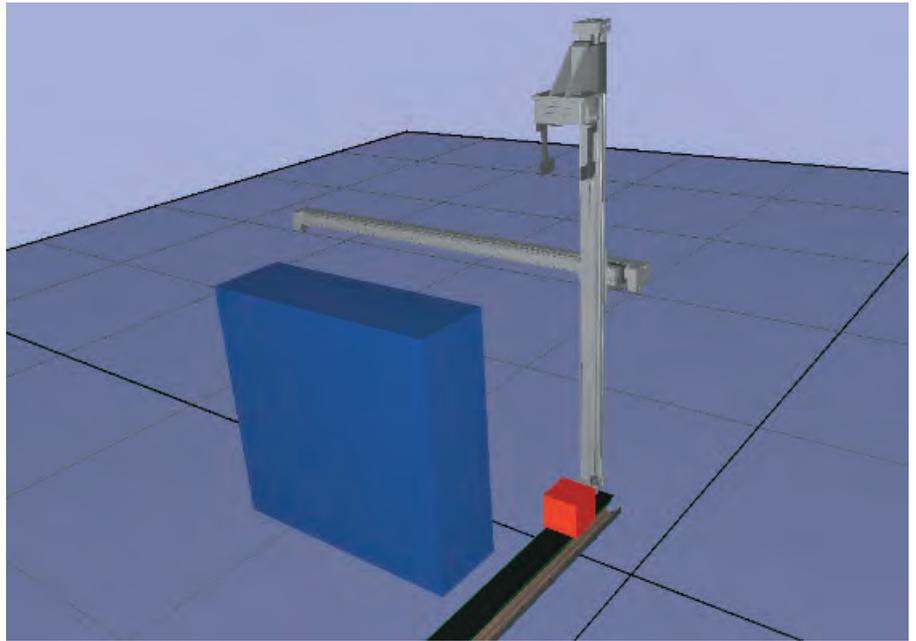


Bild 2: Simulationsbeispiel eines verketteten 3D-Materialfluss- und Handlungssystems

Eine Beispielapplikation, welche über das Sim-Var3D-Tool als Lösungsvariante generiert werden kann, ist in **Bild 2** dargestellt. Anhand des erstellten 3D-Simulationsmodells können automatisierte Kinematik-, Materialfluss- und TCO-Analysen durchgeführt werden und dem Anwender direkt als Ergebnis aufbereitet werden.

Projektpartner:



Schnaithmann Maschinenbau GmbH

Kontakt: Florian Jaensch, M.Sc.
Florian.Jaensch@isw.uni-stuttgart.de



- Steuerungstechnik GmbH

www.fisw.de

ÜBER DIE GRENZE DES MÖGLICHEN

Mit unserem Leistungsangebot zur »Steuerungs- und Antriebstechnik« unterstützen wir Sie bei der Verfolgung der wesentlichen Produktionsziele im Bereich Automatisierungstechnik.

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

PARALLELISIERUNG VON BERECHNUNGEN UNTER ECHTZEITBEDINGUNGEN AUF MULTI-CORE SYSTEMEN (MultiFlex)

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



Die Steigerung der Rechenleistung moderner PC-Systeme wird in erster Linie durch eine zunehmende Parallelisierung erreicht. Verfahren zur Parallelisierung von komplexen Algorithmen sind zwar bekannt, jedoch nicht für die Nutzung unter Echtzeitbedingungen geeignet. Mit dem Fokus auf die Realisierung einer simulativen Kollisionserkennung mit Abtragsimulation in Echtzeit, welche parallel zum Prozess ausgeführt wird, werden am ISW Methoden und Frameworks zur Echtzeitparallelisierung entwickelt und untersucht.

Beim Wechsel des Bearbeitungsprogramms einer Werkzeugmaschine besteht die Gefahr von Kollisionen durch geänderte Bewegungsabfolgen. Es werden daher üblicherweise verlangsamte Probeläufe durchgeführt, um Kollisionen zwischen sich simultan bewegendem Maschinenteilen, sowie zwischen Maschine und Werkstück, zu erkennen.

Um dieses aufwendige Vorgehen zukünftig zu vermeiden, wird im Rahmen des Projekts *MultiFlex* ein Verfahren für eine prozessbegleitende Kollisionsüberwachung entwickelt.

Der Lösungsansatz beruht auf einem Mehrkanal-Simulationsverfahren zur geometrischen Kollisionserkennung und Materialabtragsimulation in einem Echtzeitsystem mit Feldbusanbindung. Dazu wird parallel zur Bewegung der realen Maschine eine prozessbegleitende, deterministische *Hardware-in-the-Loop-Simulation (HiLS)* anhand einer virtuellen Maschine realisiert (dargestellt in **Bild 1**). Um die Elemente der virtuellen Maschine wird eine Sicherheitshülle gelegt, welche dem minimalen Bremsweg entspricht. Dadurch kann die reale Maschine beim Erkennen einer Kollision noch rechtzeitig gestoppt werden.

Zur Realisierung der prozessbegleitenden Kollisionsüberwachung müssen eine Kinematiksimulation, eine Abtragsimulation sowie eine Kollisionserkennung simultan im Feldbustakt berechnet werden. Die Rechenleistung eines einzelnen Prozessors ist hierfür derzeit nicht mehr ausreichend. Aus

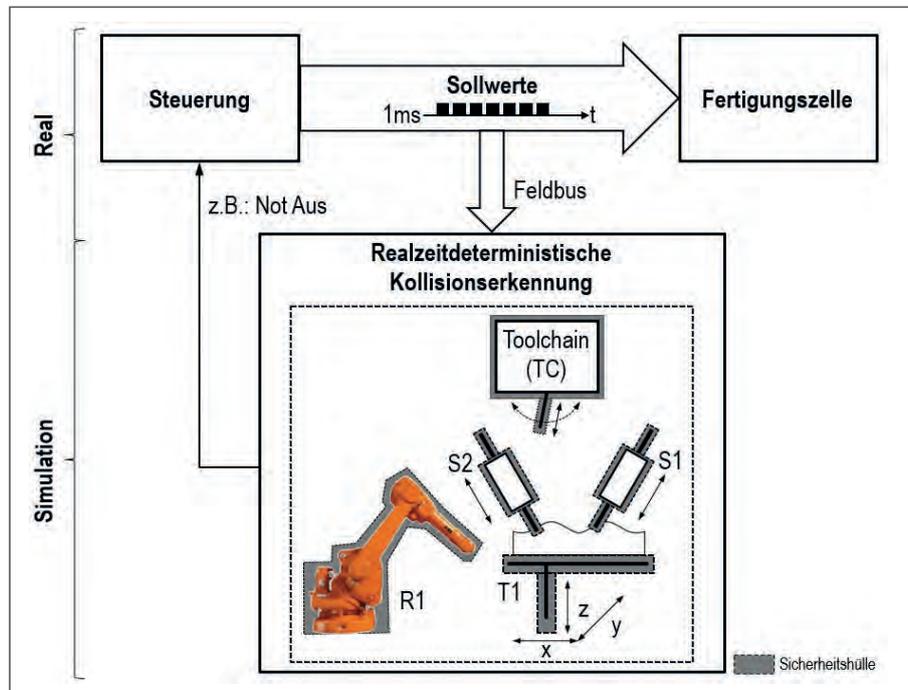


Bild 1: Konzept der prozessbegleitenden geometrischen Kollisionsüberwachung

diesem Grund wird ein Multicore-System für die Ausführung vorgesehen.

Traditionell eingesetzte Methoden für die Parallelisierung von Berechnungen können auf Realzeitsystemen nicht angewandt werden, da ihr zeitdeterministisches Verhalten nicht gewährleistet werden kann. Daher wird ein neuartiges Systemkonzept zur Parallelisierung der Echtzeitsimulation entworfen, welches in **Bild 2** dargestellt ist.

Innerhalb dieser Systemplattform dienen gemeinsam genutzte Speicherbereiche zum Austausch von Daten zwischen den parallel ausgeführten Applikationen. Hier können parallelisierte Echtzeitprozesse mit geringen Zykluszeiten ausgeführt werden, wobei ein Datenaustausch simultan zum Feldbus- und Simulationstakt möglich ist.

Die Strategie, nach welcher die Applikationen auf verschiedene Prozessorkerne

verteilt werden, ist von der Anwendung abhängig. Je nach Bedarf an Rechenleistung können die Applikationen optimal auf die Prozessoren verteilt werden. **Bild 3** zeigt ein exemplarisches Ausführungsmodell mit Echtzeitsimulationen, Kollisionserkennung und Abtragsimulationen auf einem Multi-kernprozessor. Ein Prozessorkern verbleibt für das Betriebssystem. Jeweils zu Beginn eines Taktes müssen gemeinsam genutzte Datensätze zwischen den Prozessoren synchronisiert werden.

Um auch komplexe Modelle effizient auf mehrere Kerne verteilen zu können, stehen Methoden und Tools zur Verfügung, welche die Modelle automatisch hinsichtlich ihrer Parallelisierbarkeit analysieren, zerlegen und auf die CPU-Kerne verteilen.

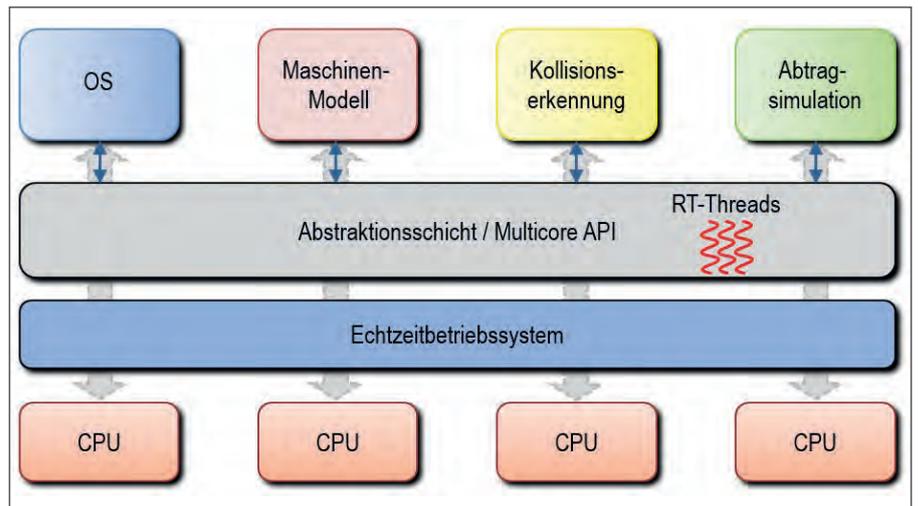


Bild 2: Systemplattform für die Parallelisierung von Echtzeitalgorithmen

Projektpartner:



Kontakt: Dipl.-Ing. Florian Frick
 Florian.Frick@isw.uni-stuttgart.de

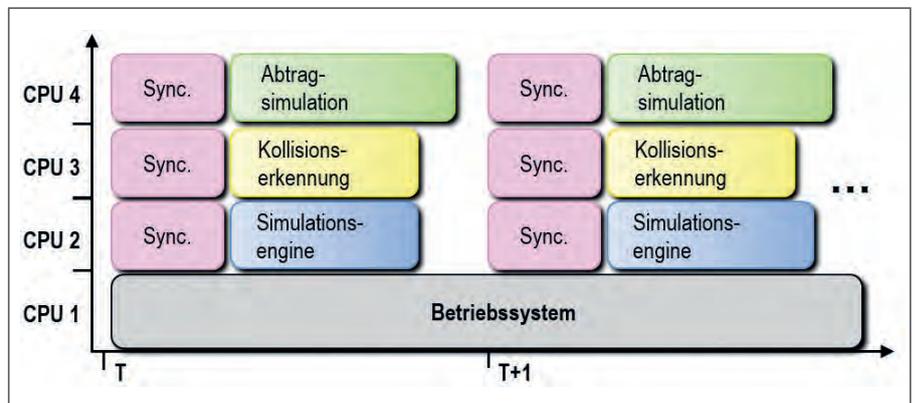


Bild 3: Beispielhaftes Gantt-Diagramm der Prozessorauslastung für vier CPUs

HIGH PERFORMANCE AUTOMATISIERUNG!



WIR SUCHEN SIE!

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



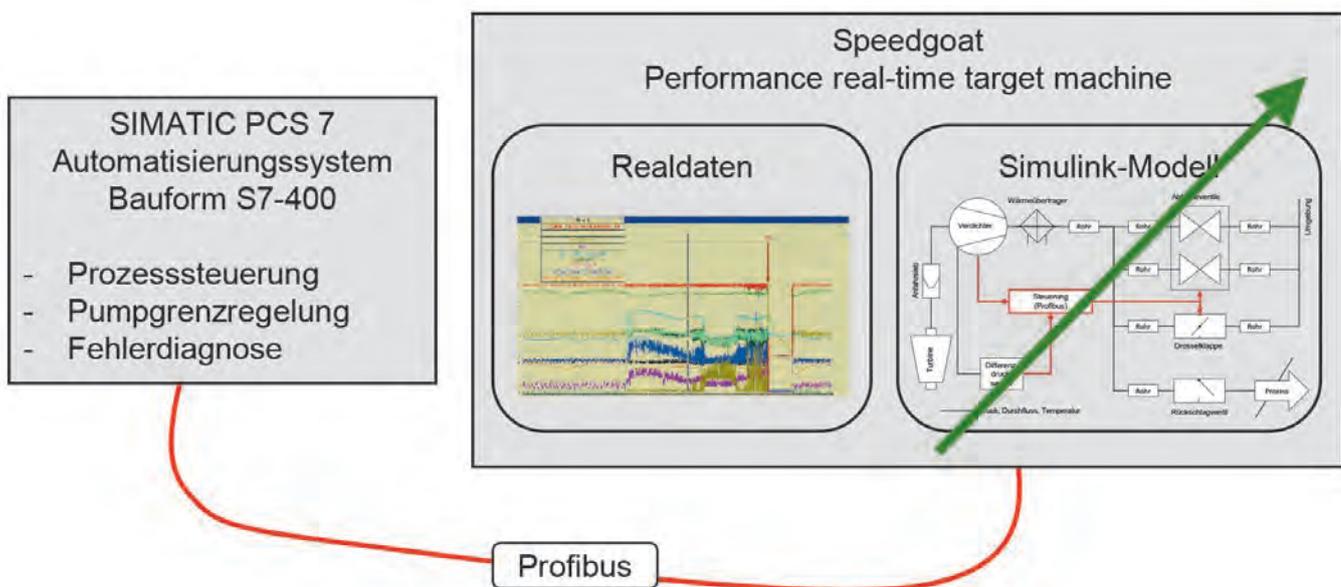
OPTIMIERTE RADIALKOMPRESSOR-ANLAGEN FÜR DEN FLEXIBLEN UND CO₂-REDUZIERTEN KRAFTWERKSBEREIT



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi)



In der Prozessindustrie stellen Kompressor-Anlagen Gase mit dem benötigten Druck und in der benötigten Menge bereit. Sie werden für spezifische Betriebspunkte konzipiert und einmalig im Rahmen der Inbetriebnahme parametrieren. Das Anlagenverhalten wird durch komponentenspezifische, zeitveränderliche Faktoren beeinflusst. Diesen Einflüssen wird entgegengewirkt, indem Kompressor-Anlagen mit Robustheitsreserven betrieben werden. Um diese Reserven verringern und somit die Anlageneffizienz steigern zu können, müssen die genannten zeitveränderlichen Faktoren und deren Änderung während des Betriebs diagnostiziert werden. Ein solches Diagnose-System ist nicht Stand der Technik und soll im Rahmen des Forschungsprojekts, das Teil des AG Turbo Verbundprojekts COOREFLEX-turbo ist, entwickelt werden.



Kompressor-Anlagen setzen sich aus vielfältigen Komponenten und Komponentenbaugruppen zusammen. Der Kompressor, als zentrale Komponente der Anlage, komprimiert Gase für den nachgelagerten Prozess. Umlagerte Komponenten, wie beispielsweise Regelventile, Rückschlagklappen oder Wärmeübertrager, gewährleisten einen funktions-sicheren Betrieb der Anlage und schützen den Kompressor vor Schäden, beispielsweise durch Pumpstöße. Einzelne Komponenten sind mit Aktoren und Messsystemen ausgestattet und werden von einer zentralen Pro-

zesssteuerung gesteuert, beziehungsweise geregelt. Diese Prozesssteuerung übernimmt unter Anderem die Pumpgrenzregelung zum Schutz des Kompressors.

Alle Komponenten werden durch zeitveränderliche Faktoren, wie Alterung, Verschleiß oder manuelle Bedienungs- und Wartungsvorgänge, beeinflusst. Diese Einflüsse verändern das Komponentenverhalten und können eine Verschlechterung des Betriebsverhaltens und des Wirkungsgrades oder im schlimmsten Fall einen Ausfall oder

eine Beschädigung der Anlage oder des nachgelagerten Prozesses verursachen. Um diesen Einflüssen entgegenzuwirken, werden Kompressor-Anlagen mit Robustheitsreserven ausgelegt und betrieben.

Da Robustheitsreserven die Anlageneffizienz verschlechtern, sollen diese weitestgehend reduziert oder vermieden werden. Dazu sollen die genannten komponentenspezifischen, zeitveränderlichen Faktoren während des Betriebs detektiert und diagnostiziert werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden modellbasierte Diagnosetechniken entwickelt. Es werden dynamische Detailmodelle der einzelnen Komponenten und deren veränderlichen Faktoren in MATLAB/Simulink entworfen und in ein Anlagenmodell integriert. Die Modelle werden anhand von Realdaten validiert. Das Gesamtmodell wird zur Untersuchung der Einflüsse einzelner Faktoren auf die jeweilige Komponente selbst und das gesamte Anlagenverhalten eingesetzt. Die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchung fließen in die Entwicklung komponentenspezifischer Diagnoseverfahren ein.

Zur Erprobung der Verfahren wird ein Hardware-in-the-loop Aufbau, bestehend aus einem Echtzeitrechner und einer realen Pro-

zesssteuerung, eingesetzt. Auf dem Echtzeitrechner läuft das Anlagenmodell, dessen veränderliche Faktoren sich während des Betriebs variieren lassen. Die Prozesssteuerung erhält die vom Echtzeitrechner simulierten Messwerte via Profibus. Dort werden sie anhand der implementierten Diagnoseverfahren ausgewertet. Die Ergebnisse der Diagnose werden zur Ausgabe von Statusmeldungen oder zur Anpassung von Regelparametern genutzt. Um Fehlanpassungen zu vermeiden, liegt ein besonderes Augenmerk auf der Robustheit der Diagnoseverfahren.

Weiterhin sollen die gewonnen Erkenntnisse in den Designprozess der Kompressor-Anlagen einfließen, um den flexiblen Betrieb auf Grund zeitveränderlicher Faktoren effizient umsetzen zu können.

Projektpartner:



MAN Diesel & Turbo

Kontakt: *Tim Engelberth, M.Sc.*
Tim.Engelberth@isw.uni-stuttgart.de



Universität Stuttgart

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen



Wir steuern Zukunft: Innovativ. Interdisziplinär. Wissenschaftlich.

Wir forschen interdisziplinär an Technologien für die Produktion und Automatisierung von Übermorgen. Die industrielle Anwendbarkeit steht dabei immer im Fokus. Für die Industrie sind wir innovativer, verlässlicher und unabhängiger Partner für anspruchsvolle Herausforderungen von der ersten Idee bis hin zum Produkt.

Die themenbezogene Gliederung des Instituts erfolgt in die acht Forschungsschwerpunkte: **Antriebsregelung, Bedienung, Engineering, Kommunikation, Maschinentechnik, Simulation, Steuerungsalgorithmen** und **Steuerungsarchitekturen**.

Die Themenstellungen für studentische Arbeiten ergeben sich in der Regel aus aktuellen, laufenden Forschungsvorhaben. 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:

<http://www.isw.uni-stuttgart.de/lehre/studentische-arbeiten/themen/>

**Bachelor-,
Studien-,
Diplom- und
Masterarbeiten**

zu vergeben



ENTWICKLUNG EINES SOFTWAREBASIERTEN VERFAHRENS ZUM AUTOMATISIERTEN TEST VON MASCHINENSTEUERUNGEN AUF BASIS VON VIRTUELLEN MASCHINEN (Virtuelle Steuerungstestbench)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi)



Das Projekt beinhaltet die Entwicklung eines softwarebasierten Verfahrens zum automatisierten und herstellerunabhängigen Test von Maschinensteuerungen auf Grundlage virtueller Maschinen. Das geplante System basiert auf einem Hardware-in-the-Loop (HiL)-System bestehend aus: dem realen HMI und der realen Steuerung sowie der simulierten Maschine. Durch die Kombination der realen Steuerungskomponenten mit der virtuellen Maschine über eine Abstraktionsschicht für einheitliche Steuerungs- und HMI-Zugriffe, soll der virtuelle und automatisierte Test von Maschinensteuerungen herstellerübergreifend realisiert werden. Damit ergeben sich eklatante Vorteile gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik beim Testen von Steuerungssoftware.

Die Steuerungssoftware moderner Werkzeugmaschinen verfügt über eine komplexe und heterogene Architektur. Die Kernbestandteile der Software sind das HMI (Human Machine Interface), die SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) und der NC-Kern (numerische Steuerungskern). Dementsprechend ist auch die Steuerungsentwicklung für eine neue Werkzeugmaschine durch den Maschinenhersteller ein komplexer Prozess. Während der zugekaufte NC-Kern im Wesentlichen nur auf die Maschineneigenschaften hin konfiguriert werden muss, erfolgt die Programmierung des HMI unter Anwendung von HMI-Programmertools. Die SPS wird von Drittanbietern zur Verfügung gestellt und muss für Maschinenhersteller für die jeweilige Maschine programmiert und angepasst werden. Die Praxis zeigt, dass über 50 % der erstellten Steuerungsprogramme den Fehlererkennungs- und Diagnoseroutinen dienen. Im Rahmen der CE-Zertifizierung von neuen Maschinen, aber auch bei der Abnahme von Maschinen nach dem Aufbau beim Kunden, sind somit umfangreiche Steuerungstests erforderlich. Diese erfolgen nach dem derzeitigen Stand der Technik steuerungsherstellerspezifisch und manuell an der Maschine über das Abarbeiten einer langen Checkliste. Diese Vorgehensweise bedingt einen hohen Aufwand und lange Maschinenstillstandzeiten. Insbesondere bei der Testdurchführung von Maschinen gleichen Typs machen sich die Nachteile besonders

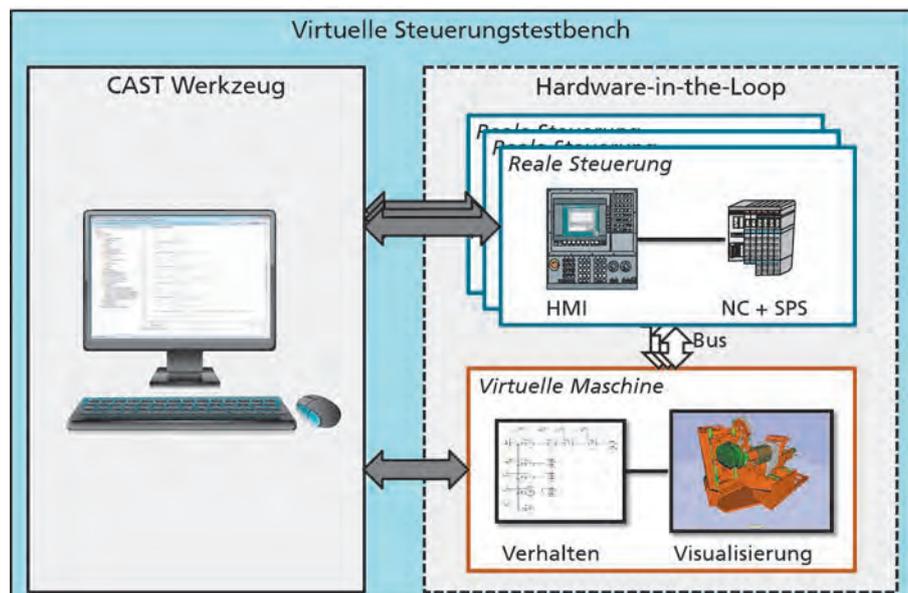


Bild 1: Lösungsarchitektur Virtuelle Steuerungstestbench

bemerkbar, da logisch identische Tests wiederholt durchgeführt werden müssen. Hinzu kommt, dass Änderungen in der Steuerungssoftware aufgrund von Interdependenzen eine Wiederholung des gesamten Testpanels notwendig machen. Eine weitere Komplikation ergibt sich derzeit durch die große Vielfalt der Steuerungen und das Fehlen einheitlicher Schnittstellen in der SPS und HMI.

Diese aufwändigen und heute an den realen Werkzeugmaschinen durchgeführten

Steuerungstests verursachen einen großen personellen Aufwand sowie beträchtliche Maschinenstillstandzeiten und sind damit sehr kostenintensiv. Dies führt dazu, dass aufgrund der destruktiven Eigenschaft bestimmter Testszenerien, in der Praxis nicht immer hinreichend umfassend und rigoros getestet werden kann, bzw. dass Interdependenzen und Rekursionen unberücksichtigt bleiben, wodurch Fehler in der Steuerungssoftware nicht bemerkt werden. Dies kann im schlimmsten Fall Schäden an Werkzeu-

gen und Werkzeugmaschinen während der Produktion verursachen, was weitere unerwünschte und teure Stillstandzeiten nach sich zieht. Zudem erlaubt eine manuelle Testdurchführung nicht die zeitlich exakte Erfassung eines Ereignisses. Das heißt, es kann zwar festgestellt werden, dass ein Ereignis in Folge einer Handlung aufgetreten ist, jedoch nicht wann dieses relativ zur Handlung auftritt. Für die Auswertung des Testablaufs – zur Festlegung, ob der Prüfling einen Testfall besteht – ist dieser Parameter von großer Bedeutung, da bestimmte Testszenerarien nicht nur die korrekte Reaktion erwarten, sondern auch die Reaktionszeit messen.

Aus den genannten Gründen besteht daher ein großes Interesse an einer gänzlich neuen Lösung, mit der ein umfassender, automatisierter und systemübergreifender Test von Maschinensteuerungen auf Basis von virtuellen Maschinen möglich ist, um die Testqualität zu verbessern und den personellen Aufwand, sowie Maschinenstillstandzeiten zu minimieren. An dieser Stelle setzt das beschriebene FuE-Projekt an.

Die Aufgabenstellung des geplanten Projektes besteht in der Entwicklung eines softwarebasierten Verfahrens zum virtuellen, automatisierten und herstellernunabhängigen Test von Maschinensteuerungen, das die beschriebenen Nachteile des aktuellen Stands der Technik beseitigen kann.

Der Lösungsansatz ist in schematisch dargestellt. Das System besteht aus zwei wesentlichen Komponenten, dem Computer Aided Software Testing (CAST) Werkzeug (links im Bild) und dem HiL System, bestehen aus realer Steuerung mit HMI und der simulierten Maschine.

Nach knapp zwei Jahren Forschung und Entwicklung zu diesem Projekt ist bereits ein erster Prototyp der Virtuellen Steuerungstestbench am ISW entstanden, welcher die grundsätzlichen Anforderungen an ein solches System zur Testautomatisierung erfüllt:

1. Einfache Konfiguration von Testfällen
2. Wiederverwendbarkeit von Testfällen
3. Automatisierte Erstellung von ausführbaren Testskripten
4. Automatisierter Ablauf von Tests und deren Protokollierung
5. Automatisierte Auswertung von Testergebnissen

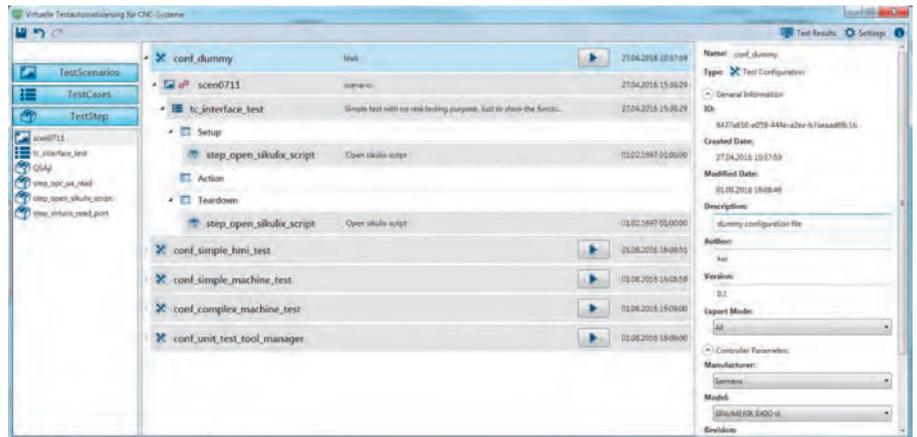


Bild 2: Benutzeroberfläche (CAST-GUI) des CAST Werkzeugs

6. Remotezugriff auf Steuerungssysteme verschiedener Hersteller
7. Remotezugriff auf das HMI verschiedener Hersteller
8. Remotezugriff auf das Simulationssystem
9. Automatisierte Bedienung von HMI Systemen verschiedener Hersteller

Das Herzstück der Virtuellen Steuerungstestbench ist das CAST Werkzeug. Das CAST Werkzeug deckt alle Funktionen laut der oben stehenden Anforderungsliste ab. Dabei unterteilt sich das CAST Werkzeug in zwei Bestandteile: Eine grafische Benutzeroberfläche (CAST GUI) und ein Softwaretestframework (CAST-Framework). Die CAST-GUI deckt die Punkte 1 und 2 der Anforderungsliste ab. Das CAST-Framework die weiteren Punkte 3 bis 9. zeigt die Ansicht der CAST-GUI.

Die Oberfläche unterteilt sich in drei Bereiche:

- Links: Der Pool an Testobjekten
- Mitte: Grafisches Erstellen von Testkonfigurationen
- Rechts: Konfiguration des aktuellen Testobjekts

Als Testobjekte werden die Bestandteile eines ausführbaren Tests bezeichnet. Dazu gehören: Testschritt, Testfall, Testszenerario und Testkonfiguration. Die Konfiguration erlaubt es, einen ausführbaren Test für ein konkretes HiL System zu parametrieren. Neben dem Erstellen und Konfigurieren von Testfällen dient die CAST-GUI dem Einsehen von Testergebnissen.

Neben dem CAST Werkzeug zum automatisierten Testen, wurde vom Projektpartner ISG Industrielle Steuerungstechnik GmbH, eine Schnittstelle zur Fernsteuerung und -bedienung (Remote) ihrer Simulationssoftware ISG-virtuos erstellt. Diese Schnittstelle erlaubt es, während einer aktiven Simulation, Einfluss auf das Modell der Werkzeugmaschine oder Anlage nehmen zu können. Somit können Testfälle durchlaufen werden, welche eine Fehlersituation an der Maschine erzeugen, um dann das korrekte Verhalten der Steuerung zu überprüfen.

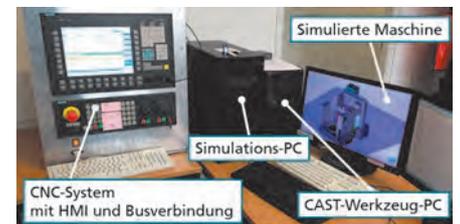


Bild 3: Virtuelle Steuerungstestbench Demonstrator

Bild 3 zeigt den aktuellen Demonstrator am ISW. Die im Projekt Virtuelle Steuerungstestbench gefundene Lösung wird im weiteren Verlauf bei ersten Pilotkunden getestet.

Projektpartner:



Kontakt: Dipl.-Ing. Karl Kübler
Karl.Kuebler@isw.uni-stuttgart.de

ROBUSTHEIT DURCH INTEGRATION, INTERAKTION, INTERPRETATION & INTELLIGENZ (RobIN 4.0)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)



Im Projekt RobIN 4.0 wird der Grundstein für Industrie 4.0 in der Umformtechnik gelegt. Durch die *Integration* von Sensoren, die informationstechnische Vernetzung aufeinanderfolgender Wertschöpfungsschritte und die *intelligente* Interpretation der Mess- und Prozessdaten, sollen bisher unbekannte Prozesszusammenhänge entdeckt und eine autonome Anpassung einzelner Prozessschritte ermöglicht werden. Neuartige Visualisierungs- & Bedienkonzepte sollen zudem die *Interaktion* mit dem *intelligent* geschulten Anlagenführer effizienter gestalten.

Industrie 4.0 eröffnet fertigungstechnischen Betrieben die Chance, Prozesse flexibler und gleichzeitig robuster gegenüber Störeinflüssen zu gestalten. Umformprozesse, die zu den produktivsten industriellen Fertigungsprozessen zählen, nutzen das Potential von Industrie 4.0 bislang noch nicht. Dabei kann gerade die Umformtechnik von der zusätzlichen Vernetzung und den Datenanalysemethoden der Industrie 4.0 profitieren. Das zielgerichtete Aufdecken und Ausnutzen von häufig komplizierten oder unbekanntem Zusammenhängen zwischen unerwünschten Prozessschwankungen und den dafür verantwortlichen Ursachen erlauben neue Ansätze zur Verbesserung der Produktqualität, höhere Werkzeuglebensdauer und eine größere Prozesssicherheit.

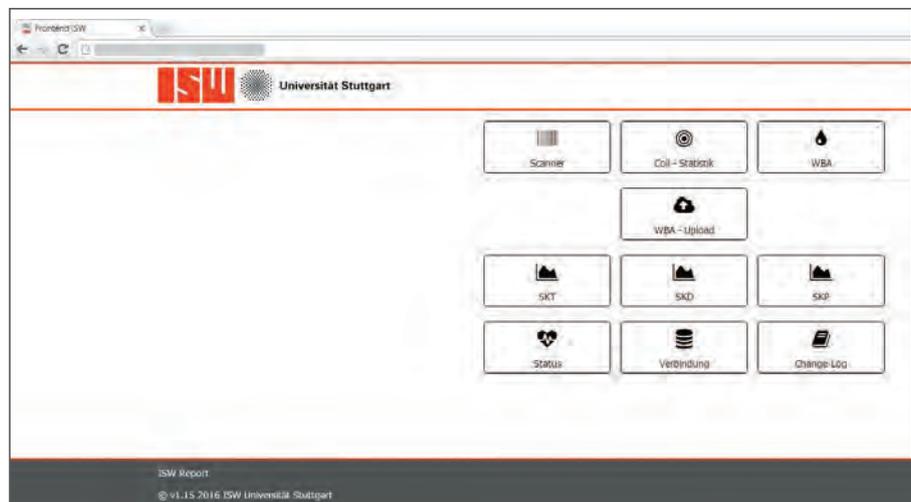


Bild 1: Webanwendung zur Visualisierung und Analyse der Prozesskette „Schraubenherstellung“

Im Verbundprojekt *RobIN 4.0* haben sich daher Vertreter aus Industrieunternehmen, einem Schulungszentrum für Umformtechnik und Universitäten zusammengeschlossen, um verschiedene Methoden und Konzepte der Industrie 4.0 für die Umformtechnik zu evaluieren und zu etablieren. Die Methoden wurden im Projekt an mehreren Beispielanwendungen prototypisch umgesetzt und validiert. Dabei sind Anwender aus der Kaltmassivumformung (industrietaugliche Schrauben), der Blechumformung (Stanz- und Biegeteile) und ein Hersteller von Servospindelpressen vertreten.

Adaptive umformtechnische Systeme erfordern ein grundlegendes, umfangreiches Verständnis von Prozessen und Wirkzusammenhängen, um Ursachen von Fehlzuständen zu erkennen und anschließend zu beheben.

Hierfür müssen zunächst Schnittstellen zu vorhandenen Datenquellen in der Produktion wie Sensoren, Steuerungen, MES- oder BDE-Systemen geschaffen werden. Anschließend müssen die Daten in einem zentralen System für eine Datenanalyse zusammengeführt werden. Dies wird im Projekt an der Beispielprozesskette der Schraubenherstellung realisiert.

Die Daten einzelner Prozessschritte werden erfasst und an eine Datenbank in der Cloud geschickt. Mittels einer Webanwendung werden die hinterlegten Daten visualisiert und automatisiert analysiert (vgl. **Bild 1**).

Möglich ist beispielsweise eine Coilbasierte Auswertungen der Schraubenqualität (vgl. **Bild 2**). Darüber hinaus können Daten aus den der Umformung vorgelagerten Pro-

zessschritte analysiert und mit der Schraubenqualität korreliert werden, um bisher unbekannte Zusammenhänge zwischen den Prozessschritten zu erkennen. Die Detektion von Prozesszusammenhängen ermöglicht anschließend einen zielgerichteten Eingriff in die Produktion. Ein Eingriff kann z. B. eine Anpassung von Prozessparametern, wie Temperaturen oder Durchlaufzeit, oder Maschinenparametern, wie Hubzahl oder Hubhöhe, sein. Ein automatisierter Eingriff wurde im Projekt beispielhaft an einem einfachen Folgeverbundwerkzeug realisiert. Wo bisher ein manueller Eingriff des Anlagenführers nötig war, wird jetzt bei einer Abweichung des Biegewinkels ein Keil am Folgeverbundwerkzeug automatisiert nachgestellt. Durch die automatisierte Nachstellung werden Stillstandzeiten vermieden, die bei einer manuellen Beeinflussung unweigerlich not-

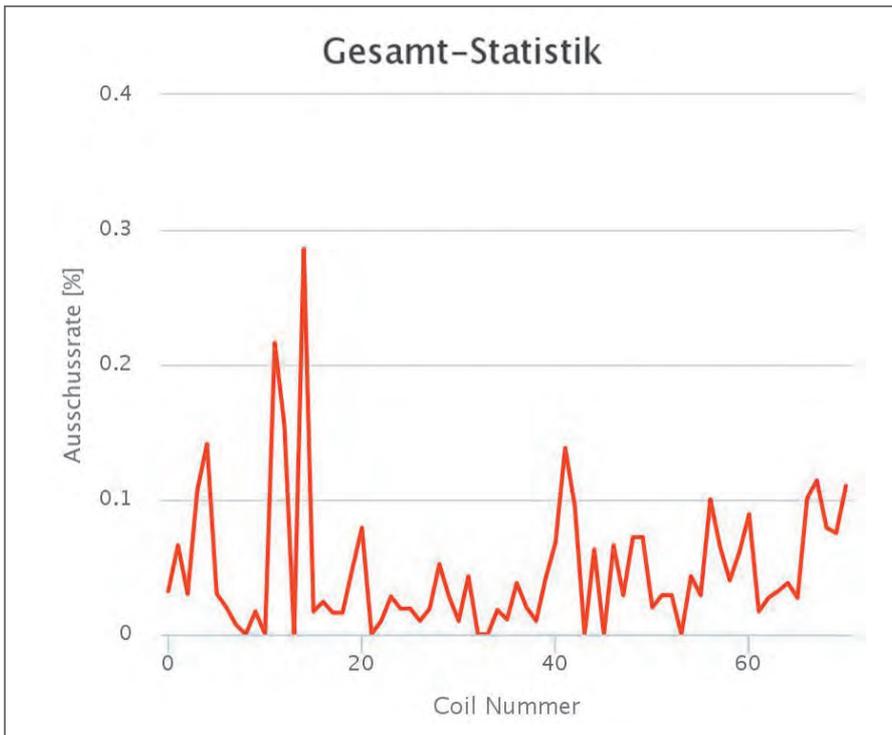


Bild 2: Vergleich der Ausschussrate verschiedener Coils (beispielhafte Darstellung)

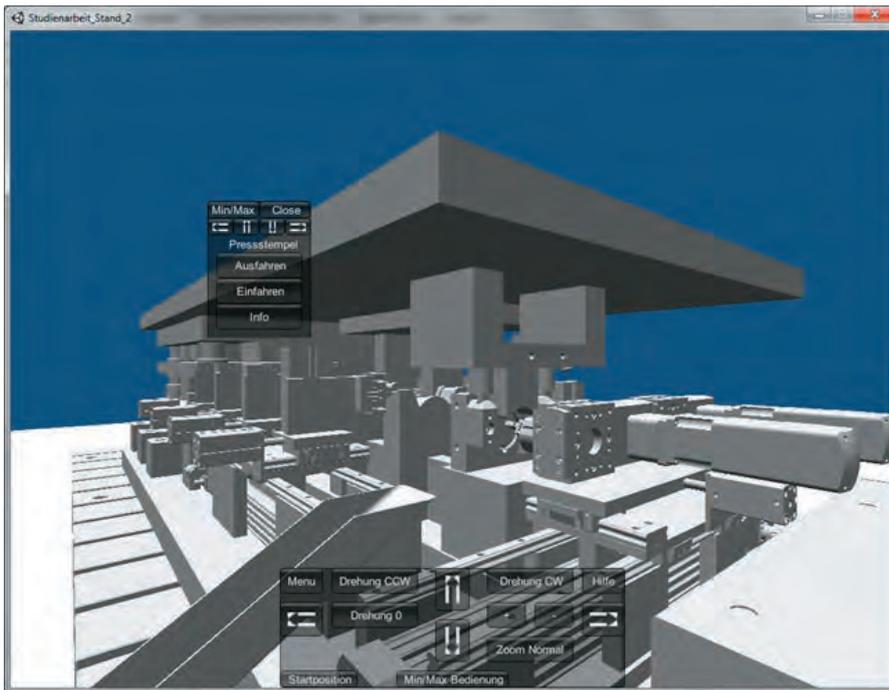


Bild 3: Mockup auf Basis Unity3D (Quelle CAD Daten: Fa. Pauli)

wendig wären. Sollte jedoch ein automatisierter Eingriff nicht möglich sein, so soll der Anlagenführer zumindest bei der Behebung der Fehlerquelle unterstützt werden. Dies wird durch ein intuitives Bedienkonzept erreicht. Anstelle von alphanumerischen Eingabefeldern und Hinweisen wird der Anlagenführer durch eine 3D-Visualisierung von Presse und Werkzeug unterstützt. Der Bedie-

ner kann an dem Modell der Presse zudem Hubverläufe per Drag'n drop planen und animieren (vgl. **Bild 3**). So können gravierende Fehler, wie die Verwechslung von Achsen, vermieden werden.

Kontakt: Dipl.-Ing. Markus Birkhold
 Markus.Birkhold@isw.uni-stuttgart.de

Projektträger:



Projektpartner:



MULTICLOUD-BASIERTE DIENSTLEISTUNGEN FÜR DIE PRODUKTION (MultiCloud)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)



Durch die Entwicklung von Industrie 4.0-Technologien schreitet die Digitalisierung der Produktion stetig voran. Heute kann auf Echtzeitdaten von Sensoren und Steuerungen zugegriffen werden, die Daten werden bisher allerdings kaum in standardisierter Form durch Services (z. B. Condition Monitoring, Wartungsplanung) genutzt. Dies liegt nicht an den fehlenden Ideen, wie die Daten genutzt werden können, es liegt vielmehr am aufwändigen Entwicklungs- und Integrationsprozess der Services: Schnittstellen zu Datenquellen müssen meist erst geschaffen, Services entwickelt und in die Produktion integriert werden. Da Services aktuell meist als Einzellösung entwickelt und angeboten werden, können keine serviceorientierten Geschäftsmodelle (z. B. Sharing-Modelle, etc.) entwickelt werden.

Ziel des BMBF-Projekts MultiCloud-basierte Dienstleistungen für die Produktion (MultiCloud) ist es, eine Dienstplattform zu entwickeln, die den Entwicklungsaufwand und Integrationsaufwand von neuen Services verringert und einen möglichst kostengünstigen Betrieb bzw. die Nutzung der Services ermöglicht. Dies wird durch die Zusammenarbeit von Serviceanbietern (MAX-CON DATA SCIENCE GmbH, Bosch Rexroth AG), Anwendern (WEPA Hygieneprodukte GmbH) und Experten für IT-Plattformen (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA), Steuerungs- und Kommunikationstechnik (Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart, SOTEC Software Entwicklungs GmbH + Co Mikrocomputertechnik KG)

erreicht. Der Fokus des Projekts liegt besonders auf der Verwertbarkeit der Ergebnisse für KMU.

Sowohl für Maschinenbetreiber als auch für Serviceanbieter würde eine solche Dienstplattform für Services, wie sie ansatzweise bereits im Consumer-Bereich (z. B. App Store, Google Playstore) vorhanden ist, wesentliche Vorteile bringen. So können Serviceanbieter ihre Services mit einmaligem Aufwand einem breiten Kundenspektrum zu Verfügung stellen und abrechnen. Die angebotenen Services werden über die Plattform ausgewählt, konfiguriert (vgl. **Bild 1**), und dann automatisiert auf einer Cloud-Plattform deployed. Der wirtschaftliche Vorteil zeigt sich insbesondere für KMU: Durch die Nutzung einer Cloud-Plattform vermeiden

KMU die Bereitstellung und Pflege eigener Rechnersysteme. Da Services häufig auf die Nutzung von lizenzpflichtigen Fremdprodukten angewiesen sind, werden zudem die Nutzungskosten durch das Angebot der Services im Rahmen eines Sharing-Modells für jeden Kunden bei gleicher Leistung drastisch reduziert. Für den Produktionsbereich wurde von der Firma Axoom bereits ein Lösungskonzept vorgestellt. Im Gegensatz zu dieser Lösung kann mit der in MultiCloud entwickelten Lösung ein und derselbe Service auf verschiedene Cloud-Plattformen (u. A. Google, Azure, Amazon, Bosch IOT-Cloud) oder eine eigene Serverinstanz bzw. einem lokalen Firmenrechner deployed werden. Diese Flexibilität ist notwendig, da die Auswahl einer Cloud-Plattform maßgeblich von den Anforderungen des Maschinenbetreibers sowie des Services selbst abhängt. Bei der Auswahl einer Cloud-Plattform spielen verschiedene Faktoren wie die Leistungsfähigkeit, Verlässlichkeit, Kosten, Serverstandort, sowie Datenschutz und Urheberrechte eine Rolle. Dies darf für den Serviceentwickler jedoch keinen unwirtschaftlichen Mehraufwand bedeuten. Daher wird im Projekt ein Werkzeug entwickelt, das eine plattformunabhängige Entwicklung von Services ermöglicht.

Die zu analysierenden Daten müssen den Cloud-Plattformen in geeigneter Form bereitgestellt werden. Hierfür wird im Rahmen des Projekts ein Cloud-Connector (weiter-)entwickelt, welcher auf Maschinenebene mit gängigen Protokollen wie OPC UA arbeitet und die ausgewählten Informationen per HTTPS an den Endpunkt der konfigurierten Cloud-Plattform sendet. Zudem können natürlich auch weitere Datenquellen, wie MES oder ERP-Systeme an die Cloud-Plattform angebunden werden. Anschließend werden anhand von Regelwerken die Datensätze so aufbereitet, dass sie für die weitere Nutzung der Services geeignet sind.

Die Ergebnisse werden im Projekt prototypisch realisiert: Der Endanwender WEPA (Hersteller von Hygienepapier) stellt Maschinen-, Produktions- und Qualitätsdaten in der Cloud zur Verfügung, die durch Services von MAX-CON oder Bosch Rexroth genutzt werden. Dies kann zum Beispiel ein Algorithmus zur automatisierten Qualitätskontrolle oder eine Diagnose für Wartungstechniker sein. Beide Services nutzen dabei die gleiche Datenbasis. Natürlich können die Services auch aufbauend gestaltet werden

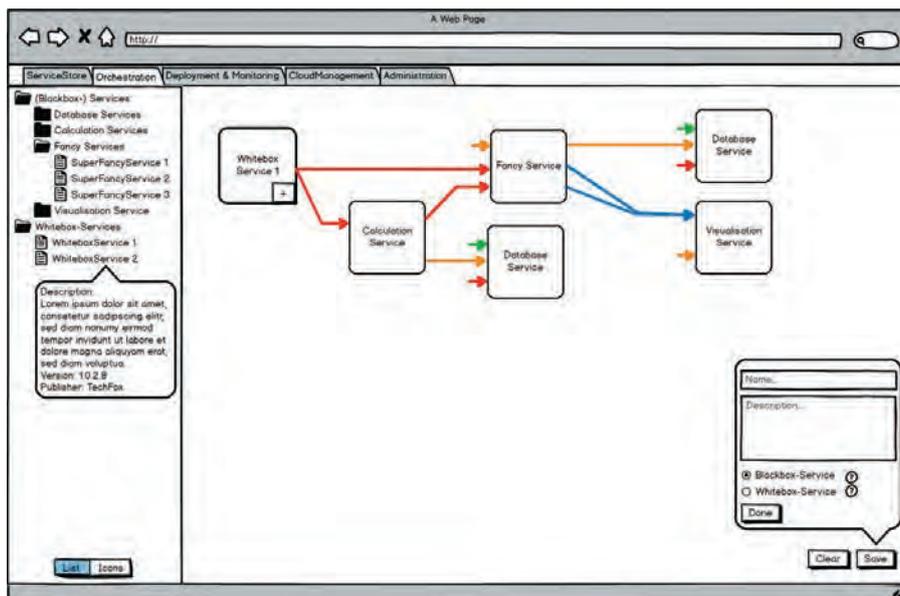


Bild 1: Webanwendung zur grafischen Orchestrierung von Services

(Diagnose Maschinenzustand – automatischer Wartungsplan).

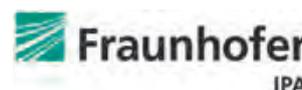
Interessierte Unternehmen können gerne den Kontakt zum Konsortium aufnehmen. Mehr Informationen zum Projekt finden Sie auch unter: www.bmbf-multicloud.de.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Förderprogramms „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen 01FJ15051) gefördert und vom Projektträger DLR (DLR-PT) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Projektträger:



Projektpartner:



Kontakt: Timur Tasci, M.Sc.
 Timur.Tasci@isw.uni-stuttgart.de

INDUSTRIELLE CLOUDBASIERTE STEUERUNGSPLATTFORM FÜR EINE PRODUKTION MIT CYBER-PHYSISCHEN SYSTEMEN (pICASSO)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)



Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Bereitstellung einer skalierbaren Steuerungsplattform für cyber-physische Systeme in industriellen Produktionen. Hierzu wird die klassische Steuerungstechnik, unter Berücksichtigung und Beibehaltung der strengen Anforderungen der Produktionstechnik im Bereich Echtzeitfähigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit, in die Cloud verlagert.

In heutigen Produktionsanlagen herrscht bezüglich der Steuerungsarchitektur eine strikt hierarchische Trennung zwischen einzelnen Steuerungsebenen (**Bild 1**). Es wird in der jeweiligen Steuerungsebene, ausgehend von Zielwerten und entsprechenden Istwerten, mittels statischer Algorithmen neue Sollwertvorgaben für die darunterliegende Ebene berechnet. Die Steuerung in einer heutigen Produktion erfolgt somit stets Top-Down.

Bei den einzelnen Steuerungen handelt es sich dabei um abgeschlossene Einheiten, die über eine Vielzahl unterschiedlichster Schnittstellen meist statisch konfigurierte Informationen austauschen können. Zusätzlich verfügen die einzelnen Steuerungen über einen fest vorgegebenen Funktionsumfang und Rechenleistung. Dies führt zu deutlichen Einschränkungen der Produktivität in den Unternehmen aufgrund von Defiziten in folgenden Bereichen:

- Produktionsanlauf und Rekonfiguration
- Selbstoptimierung
- Berechnung komplexer Algorithmen
- Sicherheit und Schutz des Prozess-Know-Hows
- Erweiterbarkeit, Aktualität und Zukunftssicherheit
- Verfügbarkeit, Redundanz und Ersatzteilbevorratung
- Stabilität und Kompatibilität
- Bedienbarkeit
- Datenprotokollierung und Dokumentation

Das Ziel des Forschungsvorhabens pICASSO ist die Bereitstellung einer skalierbaren

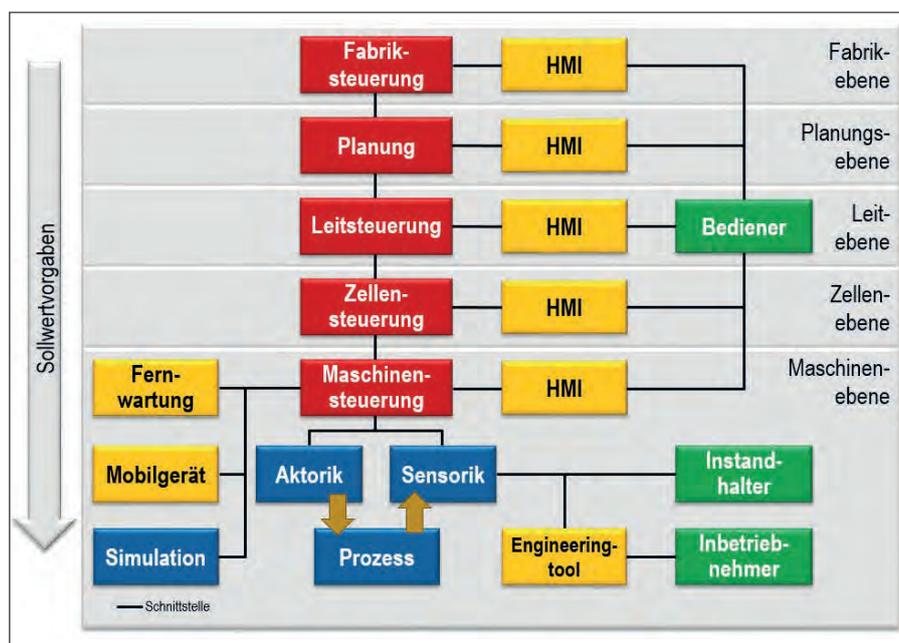


Bild 1: Hierarchische Trennung der heutigen Produktionssteuerung

Steuerungsplattform für cyber-physische Systeme in industriellen Produktionen. Eine solche Steuerungsplattform soll skalierbare Rechenleistung bieten, die abhängig von der Komplexität der Algorithmen automatisch zur Verfügung gestellt wird. Die monolithische Steuerungstechnik wird aufgebrochen und in die Cloud verlagert. Dabei müssen die strengen Anforderungen der Produktionstechnik, wie Echtzeitfähigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit, weiterhin erfüllt werden können.

Als cyber-physisches System wird eine Maschine (z.B. Roboter oder Produktionssystem) betrachtet (**Bild 2**), die durch die Verlagerung der Steuerungsfunktionen in

die Cloud, einfach mit anderen Maschinen interagieren und ohne Hardwareschnittstellen mit ihnen Informationen über Services austauschen kann. Somit kann die Maschine wandelbar und lernend auf ihr Umfeld und die Bediener reagieren. Sie kann sich selbstständig und schneller an sich ändernde Einflüsse von außen anpassen, ohne manuell und durch neue Hardwareverbindungen umkonfiguriert zu müssen.

Die vorhandene, monolithische Steuerungstechnik wird aufgebrochen, modularisiert und mit Mechanismen des Cloud-Computing, wie globale Datenverarbeitung und serviceorientierten Softwarear-

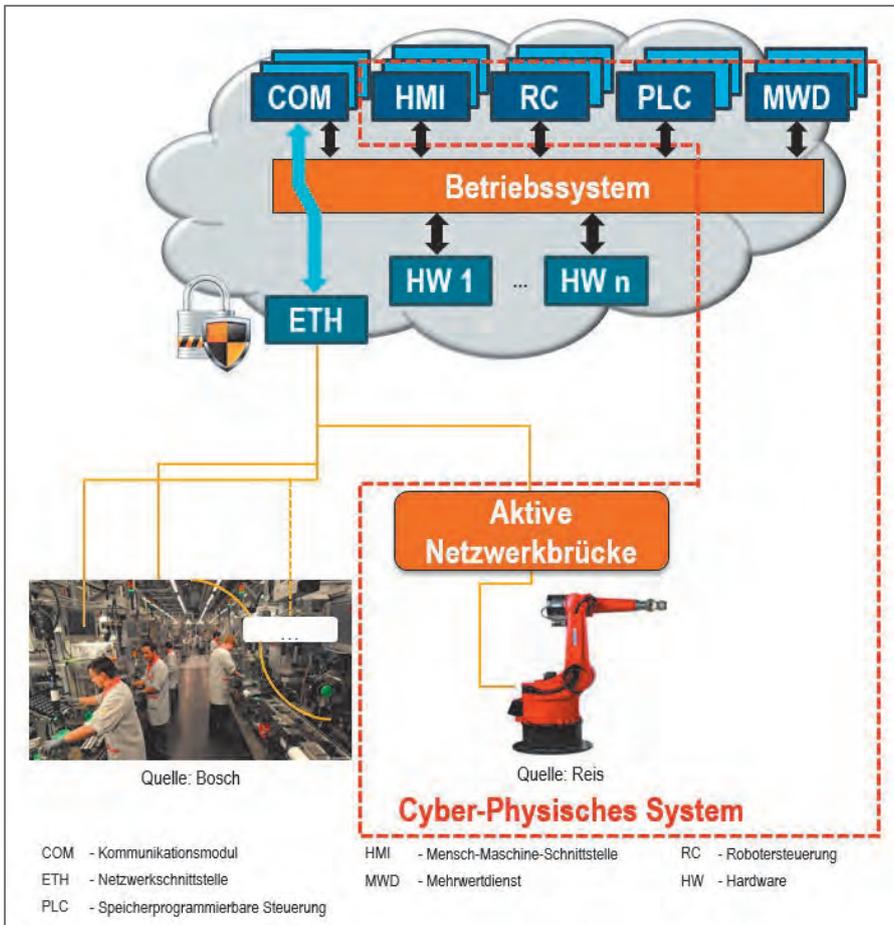


Bild 2: Systemgrenze für ein cyber-physisches System

chitekturen, erweitert. Eine cloudbasierte Steuerung bietet eine geeignete Grundlage für die Vernetzung und Bereitstellung von Rechenleistung für cyber-physische Systeme in der Produktionstechnik (Bild 3). Der

Informationsaustausch zwischen cyber-physischen Systemen soll zukünftig ohne die Anpassung von Hardwareschnittstellen und Protokollen erfolgen.

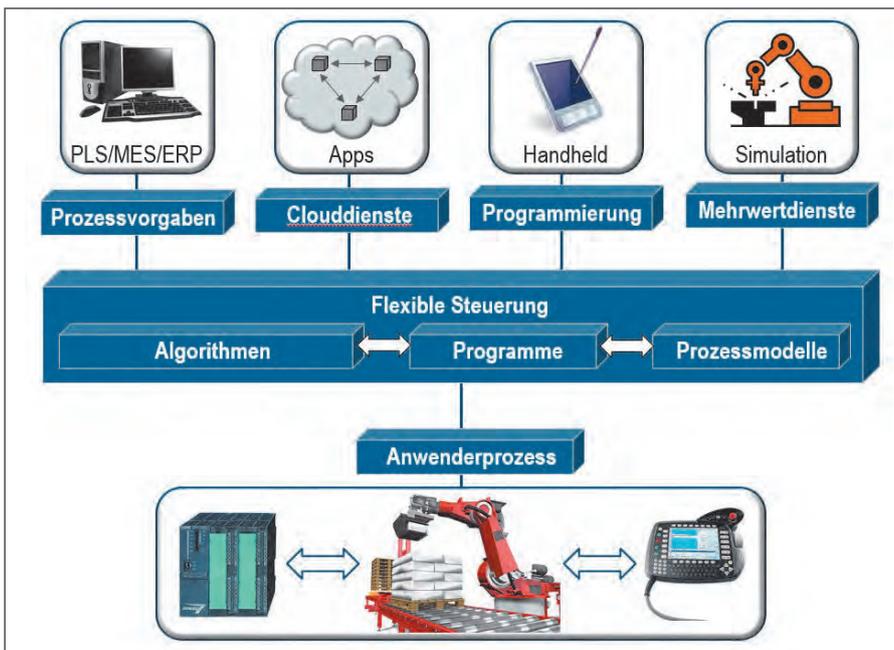


Bild 3: Cloudbasierte Steuerungsplattform für cyber-physische Systeme

Während des ersten Halbjahres der Projektlaufzeit wurde am ISW eine Vorlage zur Analyse bestehender Anwendungsfälle generiert. Anhand der erfassten Daten wurden Beispielszenarien ermittelt, welche für den demonstrativen Aufbau einer Steuerungsplattform genutzt werden können. Des Weiteren werden mögliche Mehrwertdienste erfasst, welche innerhalb einer Produktion mit cyber-physischen Systemen eingesetzt werden können, um beispielsweise eine Effizienzsteigerung des Produktionsprozesses zu erzielen.

Kontakt: Dipl.-Ing. Felix Kretschmer
 Felix.Kretschmer@isw.uni-stuttgart.de

Projektträger:



Projektpartner:



iWindow – INTELLIGENTES MASCHINENFENSTER

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)



Herkömmliche Maschinenfenster an Werkzeugmaschinen bieten dem Bediener oft nur geringen Nutzen. Zusätzliche Hilfssysteme wie Simulations- oder Diagnosetools sind für den Bediener oft nicht zugänglich oder können ihn überfordern. Auf einem neuartigen intelligenten Maschinenfenster sollen Visualisierungstechniken wie Augmented und Mixed Reality genutzt werden, um dem Bediener einen Mehrwert zu bieten.

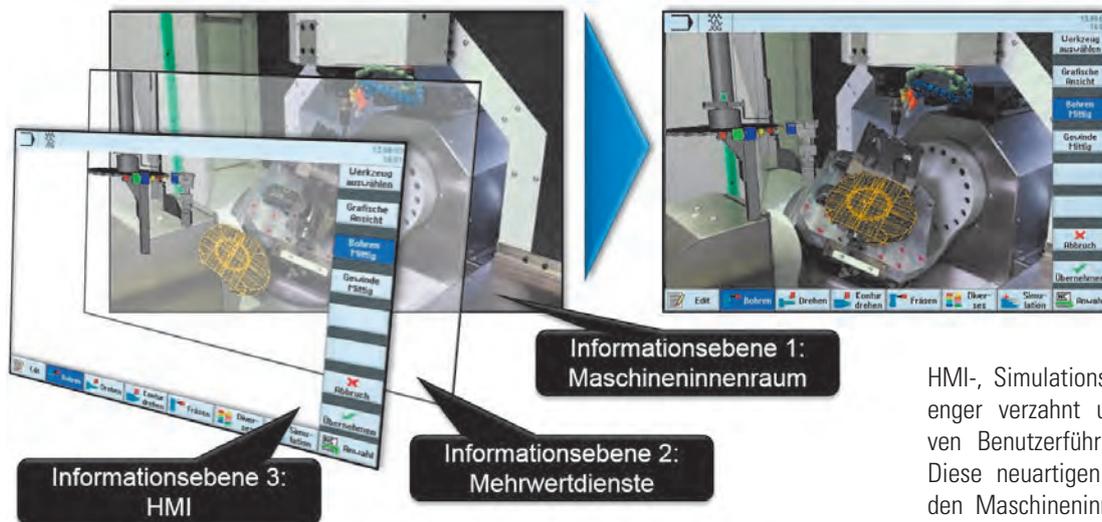


Bild 1: Informationsebenen des intelligenten Maschinenfensters

Werkzeugmaschinen sind heute fast durchgängig mit einem oder sogar mehreren Sichtfenstern ausgestattet. Diese Fenster bieten dem Maschinenbediener einen Einblick ins Innere der Maschine und ermöglichen damit die Beobachtung und Überwachung des Bearbeitungsprozesses. Da diese Fenster eine trennende Einrichtung zwischen Bediener und Maschineninnenraum darstellen und den Zugriff von außen auf Gefahrstellen verhindern, müssen sie sicherheitstechnischen Anforderungen genügen und sind als Schutzeinrichtung und Sicherheitsbauteil zu behandeln. Auf Grund dieser Anforderungen sind Sichtfenster in Laser-Werkzeugmaschinen und in der spanenden Verarbeitung mit sehr hohen Kosten verbunden. Während der Bearbeitung kann trotz der vorhandenen Sichtfenster jedoch oft keine Beobachtung des Werkzeugs und des Werkstücks erfolgen, da die Sicht in den Maschineninnenraum durch Kühlschmierstoffnebel (KSS-Nebel), Bearbeitungsstaub und Späne nicht möglich ist.

Während der Inbetriebnahme, Bedienung und Wartung von Werkzeugmaschinen werden neben der visuellen Erfassung des Maschinenzustands durch das Sichtfenster, unterstützende Systeme und Bediensysteme, beispielsweise HMIs (Human Machine Interfaces), Smart Devices und Simulationssysteme, eingesetzt. Da der Einsatz der unterstützenden Systeme und Bediensysteme meist getrennt voneinander auf unterschiedlicher Hardware und zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgt, wird das Potential dieser Systeme nicht ausreichend genutzt. Eine Verschmelzung dieser Systeme würde zu einem deutlichen Mehrwert führen.

Ziel des Forschungsvorhabens *iWindow* ist es, konventionelle Sichtfenster, wie sie aktuell an Werkzeugmaschinen vorzufinden sind, durch neue intelligente Maschinenfenster zu ersetzen, die trotz beispielsweise schmutzintensiver Bearbeitungsprozesse eine Beobachtung des Maschineninnenraums erlauben. Um eine bessere Bedienunterstützung zu erreichen, soll gleichzeitig das Sichtfenster aufgewertet werden, indem

HMI-, Simulationssysteme und der Prozess enger verzahnt und Konzepte zur intuitiven Benutzerführung eingebracht werden. Diese neuartigen Maschinenfenster sollen den Maschineninnenraum um computergenerierte, kontextbezogene Informationen, erzeugt durch Mehrwertdienste unter Nutzung von Mixed und Augmented Reality, erweitern. Die Funktionalitäten des intelligenten Maschinenfensters werden in drei Informationsebenen – Maschineninnenraum, Mehrwertdienste und Bedienung – gegliedert (siehe **Bild 1**).

Der Maschineninnenraum ist entweder durch ein transparentes Display direkt sichtbar, oder wird mittels Kamerabild, oder durch realitätsnahe Visualisierung, auf einem konventionellen Display dargestellt. Im Falle der letzten beiden Visualisierungsmethoden erfolgt die Rekonstruktion, bzw. die Visualisierung, in Echtzeit, damit die Darstellung während des Bearbeitungsprozesses genutzt werden kann. Eine perspektivische Darstellung wird unter Einbeziehung von Head-Tracking-Systemen erzielt. Ist die Sicht in den Maschineninnenraum beeinträchtigt, wird, unabhängig von der Displaytechnologie, das Echtzeit-Computermodell des Innenraums verwendet. Dieses Modell basiert auf CAD-Geometriedaten des Innenraumes und wird zur Laufzeit mit Echtzeitdaten der Maschinenachsen animiert. Durch die Animation mit Achsdaten repräsentiert das

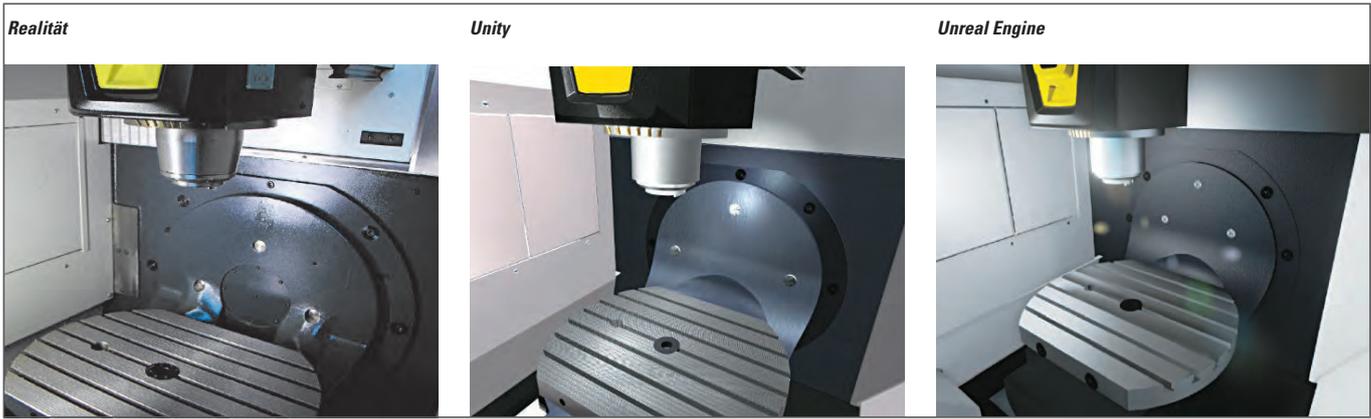


Bild 2: Vergleich zwischen Realität und virtueller Darstellung mittels Gameengines

Computermodell zu jeder Zeit eine genaue Abbildung des tatsächlichen Innenraumes. Um eine solche Koppelung mit unterschiedlichen Maschinensteuerungen zu ermöglichen, wird die *OPC UA Companion Specification für CNC Systeme* als herstellerunabhängige einheitliche Schnittstelle verwendet. Dieses Informationsmodell wurde in Zusammenarbeit zwischen der OPC UA Foundation, dem Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW), Steuerungsherstellern und Forschungsinstituten entwickelt. Um eine möglichst realitätsnahe Darstellung des Computermodells zu erreichen, bietet sich die Nutzung einer Gameengine (Framework zur Entwicklung von Computerspielen) an. Ein Vergleich zwischen realem Maschineninnenraum und jeweils einer Visualisierung in den Gameengines *Unity* und *Unreal Engine*, ist in **Bild 2** am Beispiel einer *DMU 50 ecoMill* der Firma DMG MORI dargestellt.

- Grafische Evaluierung von Prozessergebnissen (siehe **Bild 3**)

Um eine Interaktion direkt am Maschinenfenster zu ermöglichen, soll das Fenster mit einer Touch-Bedienoberfläche ausgestattet werden. Durch Gesten, wie sie Anwendern durch die Nutzung von Smart Devices bekannt sind, erfolgt eine intuitive Bedienung. Da die Bedienung am vertikal stehenden Maschinenfenster bei längeren Eingaben nicht ergonomisch ist, sollen zusätzlich Smart Devices als sogenannte *Second Screens* dienen. Durch die Kopplung eines Tablets mit dem Maschinenfenster wird dieses als zusätzliche Anzeige und als Eingabegerät nutzbar gemacht.

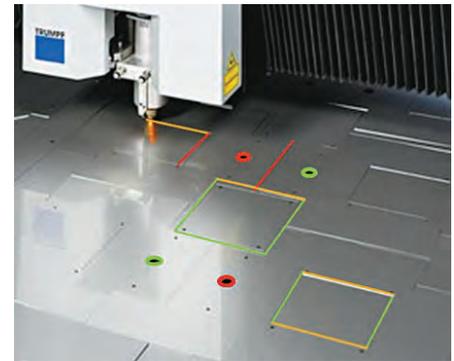


Bild 3: Visualisierung der Qualität von Laserschnitten
(Quelle: Trumpf; verändert)

Zur Laufzeit wird der Maschineninnenraum dynamisch mit kontextbezogenen Informationen, generiert von Mehrwertdiensten, angereichert. Jeder Mehrwertdienst fügt Funktionalität für einen speziellen Nutzen hinzu und agiert somit unabhängig von anderen Diensten. Um das intelligente Maschinenfenster entsprechend der Maschine und dem aktuellen Bearbeitungsvorgang anzupassen, werden die Mehrwertdienste in einem Plug-In-System ausgeführt. Dadurch können Mehrwertdienste ausgetauscht, nachträglich hinzugefügt, aktualisiert und entfernt werden. Nützliche Mehrwertdienste sind beispielsweise:

- Visualisierung von Werkzeugbahnen
- Visualisierung von Werkstückkonturen auf Restmaterial beim Laserschneiden

Kontakt: Philipp Sommer, M.Sc.
Philipp.Sommer@isw.uni-stuttgart.de

Projektträger:



Projektpartner:



„ARENA2036 FORSCHFAB“ – PRODUKTION UND LEICHTBAU IN EINER WELT DES WANDELS



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)

In der Fahrzeugproduktion der Zukunft werden Leichtbaumaterialien in den Stückzahlen einer Großserie zu neuen funktionsintegrierenden Strukturen verarbeitet. Dabei muss zugleich nachhaltig als auch wirtschaftlich produziert und ein breites Spektrum an Produktvarianten bewältigt werden. Ziel ist die Entwicklung von Konzepten sowie Prozess- und Logistikmodulen für die flexible Produktion jenseits der klassischen Bandmontage. Dazu wird im Forschungscampus eine Musteranlage aufgebaut.



Bild 1: Produktion in der Forschungsfabrik (Quelle: Arena2036)

Produktionslinien in der Industrie sind hochautomatisierte und effiziente Anlagen. Bei Autobauern entsteht in komplexen Montage- und Produktionsschritten ein Fahrzeug. Die Herausforderungen an die Produktion der Zukunft sind:

- eine hohe Variabilität in den Produkten
- eine zunehmende Individualisierung der Massenproduktion
- neue Bauweisen und Materialien, darunter funktionsintegrierte Leichtbauteile
- verschiedene Antriebssysteme (Benzin, Diesel, Erdgas, Batterie, Hybrid, Brennstoffzelle)
- neue Interaktionsmuster von Mensch und Maschine
- Ressourcen- und Energieeffizienz in der Produktion
- schnelle Umsetzung neuer Technologien

Eine wandlungsfähige Produktion ist die Lösung: weg von der Linienmontage, weg vom Band, hin zu Produktionskonzepten, die sich innerhalb von Tagen statt Monaten und zu geringen Kosten umstellen lassen.

Ziele der Forschungsfabrik

Als globales Ziel werden neue Produktionskonzepte zur Wandlungsfähigkeit in der Fahrzeugproduktion entwickelt. Hierzu werden unter anderem folgende Punkte weiterentwickelt:

- Methoden, Werkzeuge zur Planung/Konfigurierung/Betrieb wandlungsfähiger Produktionssysteme
- Adaption von Leichtbau-Fertigungsverfahren auf produktionstechnische Anforderungen
- Technologien neuartiger Roboter als Basiskomponente wandlungsfähiger Produktionen

Forschungsfabrik: Aufgaben des ISW

Das ISW ist maßgeblich für die steuerungstechnische Umsetzung der wandlungsfähigen Montageanlagen zuständig. Dies beinhaltet sowohl die Orchestrierung verschiedener Dienste im Zusammenspiel unterschiedlicher Maschinen und Roboter, als auch Weiterverarbeitung von Produktionsdaten und Information zu funktionierenden Ablauf-

programmen, Produktionsanweisungen und Informationsrückflüssen aus der Produktion.

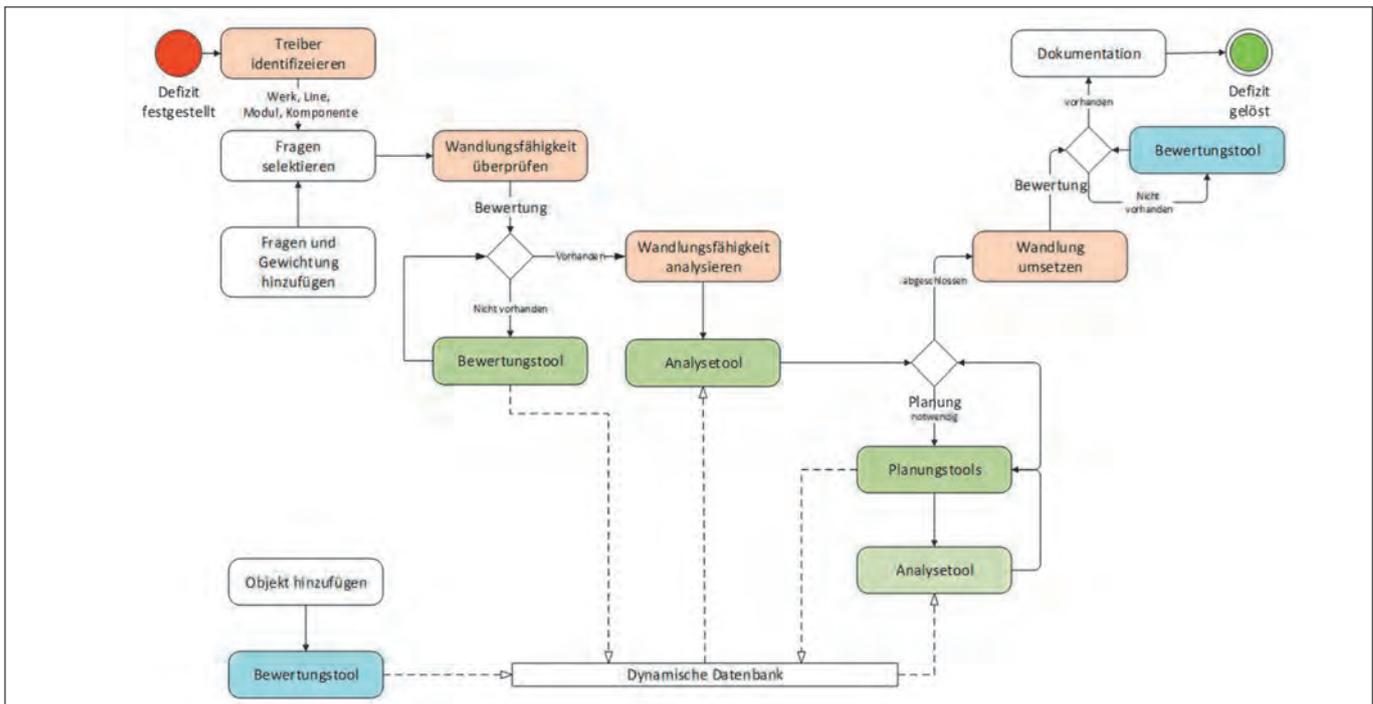
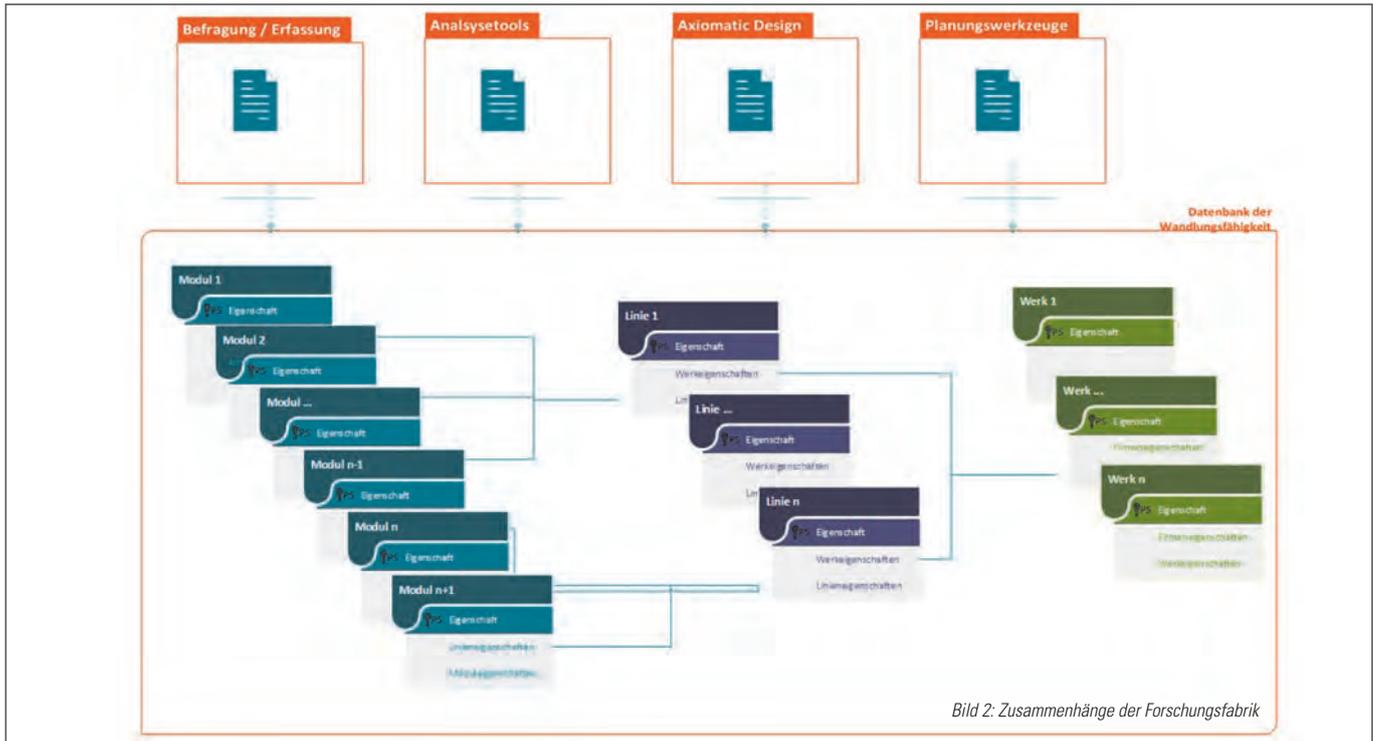
Weiterhin ist das ISW bei der Planung der Forschungsfabrik beteiligt. Die Forschungsfabrik ist eine wandlungsfähige Produktionsfläche für die kooperative Forschung aller beteiligten Partner der Arena2036.

Als Forschungsschwerpunkte werden in der ersten Forschungsperiode vor allem rekonfigurierbare Prozessmodule untersucht, entwickelt und notwendige Steuerungsalgorithmen und Datenhaltungs- und Verarbeitungssysteme entworfen und in der Arena2036 umgesetzt und erprobt.

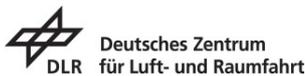
Die Beschreibungsformen der Arbeitsaufgaben in gleitenden Automatisierungsgraden und zur Mensch-Roboter-Kooperation hierfür werden untersucht und weiterentwickelt.

Kontakt: Dipl.-Ing. Felix Kretschmer
Felix.Kretschmer@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Markus Birkhold
Markus.Birkhold@isw.uni-stuttgart.de



Projektpartner:



RETROFITTING VON MASCHINEN UND ANLAGEN FÜR DIE VERNETZUNG MIT INDUSTRIE 4.0 TECHNOLOGIE (RetroNet)

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)



Industrie 4.0 setzt Kommunikationsfähigkeit und Vernetzung der Produktionsmittel voraus. Eine Fähigkeit, die ein Großteil der bis heute eingesetzten Maschinen und Anlagen nicht oder nur ansatzweise besitzen. Mit Rücksicht auf die hohen Investitionen werden diese nur langfristig erneuert. Der Zugang zur Industrie 4.0 bleibt dadurch eingeschränkt. Das Projekt RetroNet hat sich aus diesem Grund das Ziel gesetzt, die Vernetzung bestehender Produktionsmittel zu ermöglichen.

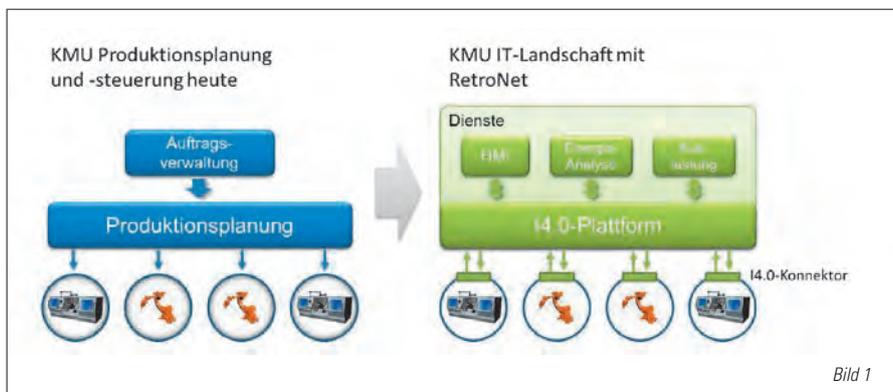


Bild 1

Im Rahmen von Industrie 4.0 werden Dienste einhergehend mit einem höheren Vernetzungsgrad in den Vordergrund gerückt. Die Erfassung von Produktionsdaten, sowie die darauf aufbauende Datenanalyse, ermöglicht die zielgerichtete Beeinflussung und Optimierung von Produktionsprozessen und -systemen. Dies gilt sowohl für Großunternehmen, als auch für kleine und mittlere Firmen. Vor allem für Letztere stellt der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur jedoch eine große Herausforderung dar, da Produktionsmittel einer langfristigen Investition unterliegen und nicht laufend erneuert werden können. Der praktische Einsatz von Industrie-4.0-Technologien wird dadurch erschwert, dass nur ein geringer Teil der Produktionsmittel die Fähigkeit zur Vernetzung mitbringt.

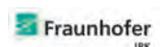
Das Ziel des Forschungsvorhabens RetroNet ist die Entwicklung und Validierung einer Methodik zur Analyse vorhandener Maschinen, dem Einsatz einer I4.0-Plattform und der Integration ausgewählter vorhandener Maschinen in diese Plattform. Für diese

Integration werden physische und logische Konnektoren entwickelt, mit der die Einbindung vorhandener Maschinen und Anlagen ohne entsprechende Schnittstellen in die Plattform ermöglicht wird. Über die Plattform können so erweiterte Dienste für die Analyse der Produktionsdaten und das Monitoring der Anlagen mit homogenen Benutzerschnittstellen bereitgestellt werden (siehe **Bild 1**). Neben der Befähigung der Maschine zu I4.0 steht die Begleitung und Qualifikation des Mitarbeiters im Fokus der Methodik, um so die Akzeptanz der neuen Verfahren zu gewährleisten.

Kontakt: Dipl.-Ing. Matthias Keinert
Matthias.Keinert@isw.uni-stuttgart.de

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Projektpartner:



Projektträger:



BAUTEILGERECHTE MASCHINENKONFIGURATION IN DER FERTIGUNG DURCH CYBER-PHYSISCHE ZUSATZMODULE (BaZMod)



GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)

Um der geforderten Flexibilität in der Fertigungstechnik gerecht zu werden, kommen in Werkzeugmaschinen vermehrt intelligente Werkzeuge zur Anwendung. Hierfür sind mittlerweile diverse hersteller- und anwendungsspezifische Schnittstellen entstanden. Um den Einsatz dieser "smarten Tools" zu vereinfachen, wird eine einheitliche Schnittstelle entwickelt.

In der Fertigungstechnik, und damit auch bei Werkzeugmaschinen, ergibt sich zunehmend die Forderung nach größerer Flexibilität der Fertigungssysteme, bei gleichzeitig wachsenden Qualitätsanforderungen an die produzierten Werkstücke. Diese Forderungen führen zu einer steigenden Anzahl von Bearbeitungsschritten, zum Beispiel Fräsen, Bohren und Drehen, die in einem Bearbeitungszentrum (BAZ) ausgeführt werden können müssen. Diese geforderte Flexibilität bei der Bearbeitung ist beispielsweise durch Einwechseln zusätzlicher Aussteuerwerkzeuge erreichbar.

Aussteuerwerkzeuge, wie dargestellt in **Bild 1**, bezeichnet hierbei Werkzeuge, die mit einer zusätzlichen radial angeordneten Bewegungsachse ausgestattet sind und so eine Drehbearbeitung am ruhenden Werkzeug erlauben.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Flexibilität, bezogen auf die Qualitätskontrolle, ist die Verwendung von einwechselbaren Messwerkzeugen, wie sie bereits heute vermehrt zum Einsatz kommen.

Allen Anwendungen von Zusatzwerkzeugen ist gemein, dass sie nicht nur mehr als eine mechanische Kopplung zur Maschine, sondern auch eine Energieversorgung und Kommunikationsanbindung benötigen. Entsprechend der Sichtweise von *Industrie 4.0*, können diese Zusatzwerkzeuge als *cyberphysische Systeme (CPS)* aufgefasst werden, welche eine gemeinsame Schnittstelle zwischen Werkzeug und Maschine für Kommunikation und Versorgung aufweisen. Idealerweise sollte dabei, statt verschiede-

nen hersteller- und anwendungsspezifischen Schnittstellen, auf eine einheitliche Schnittstelle zurückgegriffen werden, um so Kosten und Komplexität zu minimieren.

Im Projekt BaZMod wird eine solche Schnittstelle entwickelt, welche rotierenden Werkzeugen eine Spannungsversorgung bis 48V, sowie eine bidirektionale Kommunikationsstrecke mit einer Datenrate von bis zu 10 Mbit/s zur Maschinensteuerung bereitstellt. Hierbei kommuniziert das wechselbare Werkzeug über eine serielle Schnittstelle mit einer programmierbaren Gegenstelle, welche die Kommunikation des CPS an ein ethernet-basiertes Bussystem weiterleitet.



Bild 1: Aussteuerwerkzeug (Quelle: Komet Group)

Projektträger:



Projektpartner:

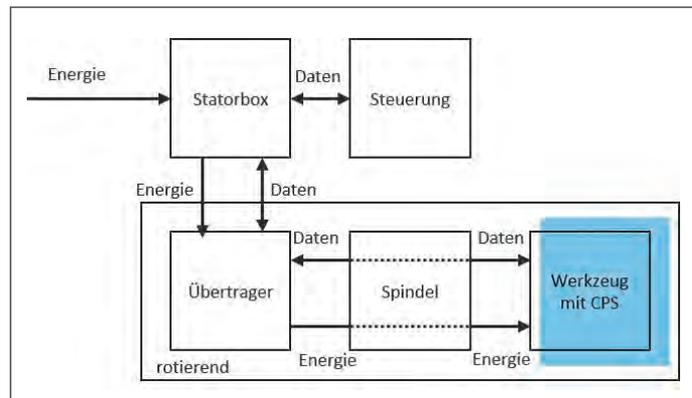


Bild 2: Kommunikationsstruktur mit BaZMod-Schnittstelle

Kontakt: Dipl.-Ing. Hendrik Vieler
Hendrik.Vieler@isw.uni-stuttgart.de

ENTWICKLUNG EINES SOFTWAREBASIERTEN VERFAHRENS ZUR KOMBINIERTEN KINEMATISCH-DYNAMISCHEN MATERIALFLUSS-SIMULATION (UniFlow)



**GEFÖRDERT VON DER ARBEITSGEMEINSCHAFT INDUSTRIELLER FORSCHUNGSVEREINIGUNGEN (AiF)
UND DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWi)
IM RAHMEN DES FÖRDERPROGRAMMS „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“ (ZIM)**

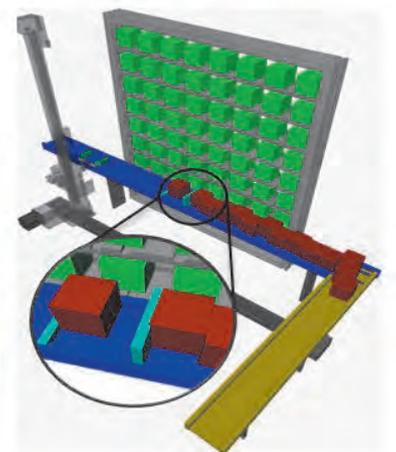
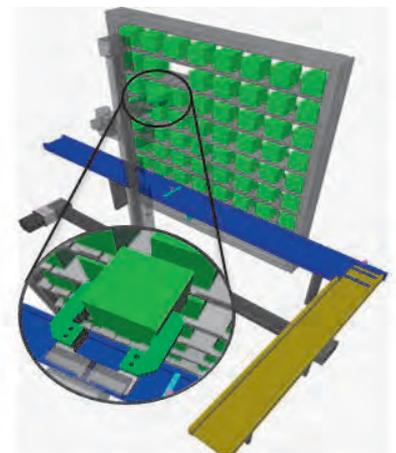
Das Projekt beinhaltet die Entwicklung eines kombinierten, kinematisch/dynamischen Materialfluss-Simulationsverfahrens (MFS), das die Vorteile beider MFS-Prinzipien vereint. Es soll adaptive Änderungen von Objektinformationen erlauben und zudem echtzeitfähig sein, wodurch auch eine Kopplung an reale Steuerungstechnik ermöglicht wird.

Die Materialfluss-Simulation (MFS) dient der Modellierung der Materialbewegung in logistischen Systemen in Raum und Zeit. Sie wird zur Leistungsmessung und Optimierung eingesetzt, beispielsweise bei Produktions- und Montageprozessen und in Lagern, Förderanlagen und Distributionszentren. MFS-Verfahren werden bei der Planung und Auslegung von Produktions- und Logistikanlagen und in der Realisierungsphase, z. B. zur Entwicklung von Anlagesteuerungen, eingesetzt. Ebenfalls können sie im laufenden Betrieb zur Planung und Optimierung, und im Zusammenhang mit Modernisierungsmaßnahmen oder Umrüstungen entsprechender Anlagen, angewandt werden.

Die verbreiteten Verfahren zur Materialfluss-Simulation basieren auf zwei alternativen Grundprinzipien. Bei **kinematischen Materialfluss-Simulationsmethoden** findet eine rein punktförmige Abbildung, der im System bewegten Objekte, statt. Diese werden entlang von kinematischen Trajektorien in vier Dimensionen (Raum und Zeit) bewegt. Dagegen findet bei **dynamischen Materialfluss-Simulationsverfahren** eine detaillierte geometrische Abbildung der Objekte auf Grundlage von CAD-Daten statt. Zusätzlich beinhaltet diese Art der Darstellung eine Beschreibung der dynamischen Objekteigenschaften (Masse, Trägheit).

Derzeit ist es zwar grundsätzlich möglich, Materialfluss-Simulationen in zwei getrennten Simulationsschritten durchzuführen – zunächst kinematisch, anschließend, für kleine Teilprobleme, dynamisch. Dieses

stellt jedoch lediglich einen wenig effektiven Kompromiss dar. Dazu müssen die zu untersuchenden Materialflussapplikationen aufwendig doppelt modelliert werden. Zudem besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Konsistenz zu der gesamten MFS durch die Approximation der Randgebiete im dynamischen Modell verloren geht, da bei der dynamischen MFS nur ein Ausschnitt der MF-Applikation betrachtet werden kann. Daher besteht ein großes Interesse an einem MFS-Verfahren, das die Vorteile beider Prinzipien vereint und zugleich die jeweiligen Nachteile eliminiert. An dieser Stelle setzt das FuE-Projekt an.



Projektpartner:



Kontakt: Dipl.-Ing. Philipp Neher
Philipp.Neher@isw.uni-stuttgart.de

ENTWICKLUNG EINER LÖSUNG ZUR ANBINDUNG VON ANLAGEN MIT OPC UA SCHNITTSTELLE AN CLOUDRESSOURCEN (CloudPlug)



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

Heute sind Anlagen in der Produktion in vielfältiger Weise in ihr Umfeld eingebunden. So werden zum Beispiel Kennzahlen der Anlage erfasst (z. B. Stillstandszeiten für die Auswertung in der Unternehmensleitung), oder es werden Prüfergebnisse produktbezogen abgespeichert (z. B. weil dies der Gesetzgeber vorschreibt). Die Bereitstellung der hierfür notwendigen IT-Infrastruktur (z. B. für die Datenhaltung und Auswertung) verursacht hohe Kosten und zählt nicht zu den Kernkompetenzen von produzierenden Unternehmen.

Cloudlösungen stellen Dienste zur Auslagerung von IT-Ressourcen dar (z. B. Speicherplatz, Auswertungssoftware und Entwicklungsplattform). Das Ziel von Cloud-diensten besteht im Wesentlichen darin, einerseits eine bedarfsgerechte und skalierbare Nutzung von IT-Ressourcen zu ermöglichen, wodurch sich Investitions- und Betriebskosten deutlich senken lassen. Andererseits lässt sich die Verfügbarkeit der IT-Ressourcen erhöhen, da diese über das Internet stets erreichbar sind.

Die Industrie hat, bezüglich des Zugriffs auf Dienste und Daten in der Cloud, unterschiedlichste Anforderungen bezüglich Sicherheit, Effizienz, Integrität sowie Zuverlässigkeit. Um den Anforderungen der Industrie gerecht zu werden, bedarf es neuer Innovationen gegenüber der derzeitigen Datenübertragung in die Cloud. Diese erfolgt heute paketweise, es wird demnach kein kontinuierlicher Datenstrom genutzt. Weiterhin sind aufgrund des Cloud-Abrechnungssystems nach Datenaufkommen weitere Innovationen notwendig. Die in der derzeitigen Praxis eingesetzten Protokolle (TCP/IP bzw. UDP/IP) sind gerade bei kleinen Datenmengen, die aber in einem schnellen Takt anfallen, mit großem Overhead behaftet und somit ineffizient. Daher besteht ein großes Interesse an einer kostengünstigen Lösung zur Anbindung von Maschinen und Anlagen an die Cloud, die den Anforderungen der Industrie genügt. Da die Anforderungen bezüglich der Kommunikation in die Cloud je nach Anwendungsfall sehr variieren, muss die Kommunikation

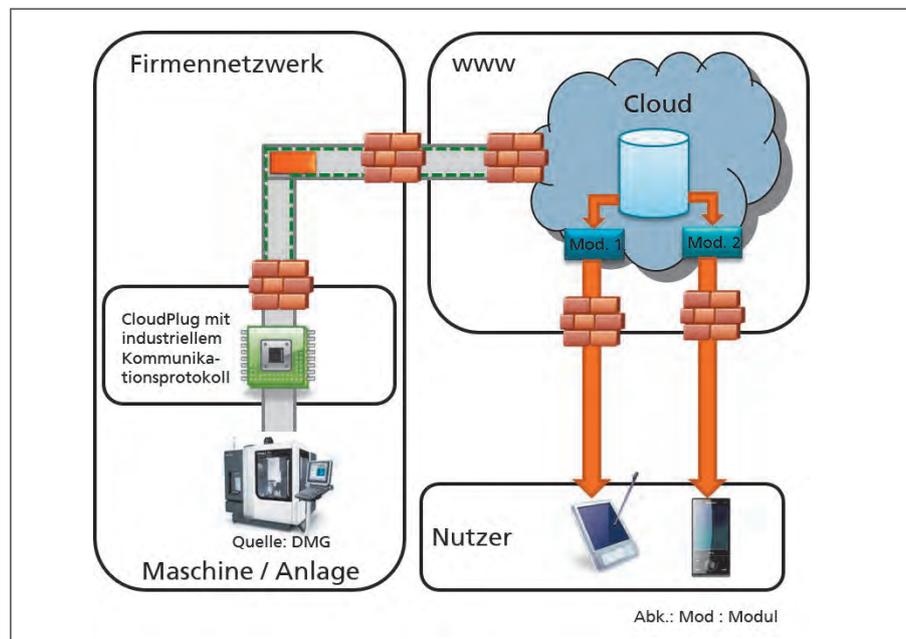


Bild 1: Konzept Cloudplug

in die Cloud konfigurierbar sein. An dieser Stelle setzt das beschriebene FuE-Projekt an.

Im Rahmen dieses Projektes wurde mit dem sogenannten CloudPlug eine Lösung erarbeitet, die eben eine solche Anbindung von Maschinen und Anlagen an die Cloud ermöglicht, siehe . Die Cloudplug Hardware ist als Einplatinencomputer realisiert. Auf der Cloudplug Hardware läuft ein OPC UA Client, der die Schnittstelle zur Anlage realisiert. Zur Kommunikation mit der Cloud ist ein Kommunikationstack implementiert. Dieser Kommunikationstack ermöglicht es, die Kommunikation für nutzerspezifische

Anforderungen bezüglich Sicherheit, Effizienz, Integrität sowie Zuverlässigkeit zu konfigurieren. Auf Basis dieser Konfiguration ermittelt der Kommunikationstack den geeignetsten Kommunikationsmechanismus.

Projektpartner:



Kontakt: Dipl.-Ing. Matthias Keinert
Matthias.Keinert@isw.uni-stuttgart.de

MINI-FACTORIES FOR CUSTOMISED PRODUCTS USING LOCAL FLEXIBLE PRODUCTION (CassaMobile)



GEFÖRDERT VON DER EUROPÄISCHEN UNION (EU FP7)



Die Forderungen der Kunden nach individualisierten Produkten nehmen stetig zu. Um diesem Trend folgen zu können, wird im Forschungsprojekt CassaMobile ein flexibles, rekonfigurierbares und modulares Produktionssystem in einem Container entwickelt. Durch die Integration von verschiedenen Prozessmodulen kann das Produktionssystem für unterschiedlichste Anwendungsfälle im industriellen und medizinischen Bereich angepasst werden. Um diese Anpassung schnell und flexibel zu gestalten, konfiguriert sich das Steuerungssystem selbstständig neu, sobald ein Prozessmodul ausgetauscht wurde. Dazu verfügt jedes Modul über einen standardisierten Configuration and Information Memory (CIMory), welcher alle notwendigen Daten enthält.

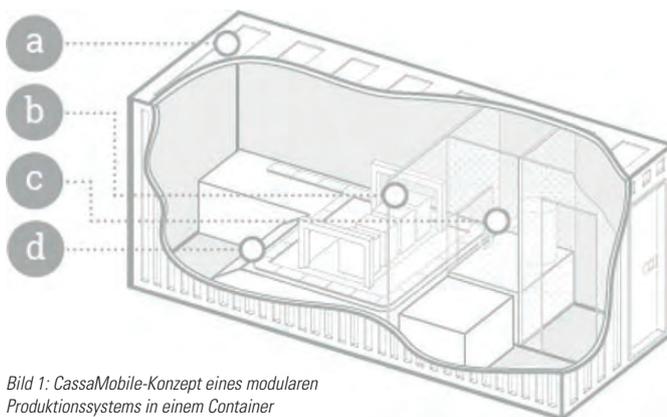


Bild 1: CassaMobile-Konzept eines modularen Produktionssystems in einem Container

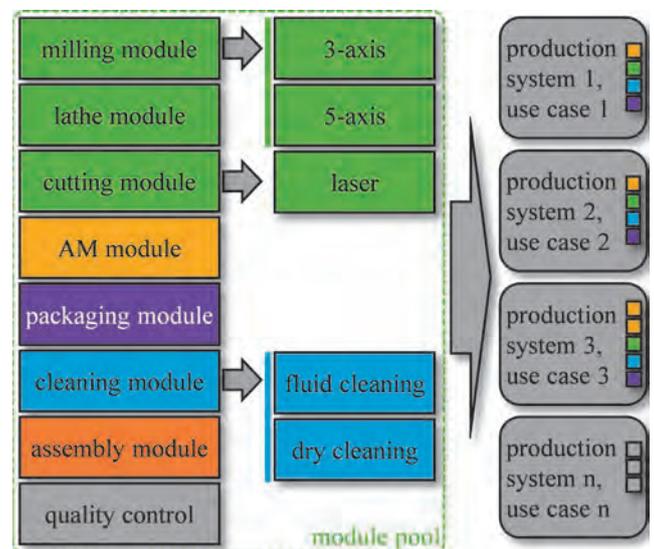


Bild 2: Kombination verschiedener Prozessmodule aus einem Baukasten für spezielle Anwendungsfälle

Steigende Kosten für die Massenproduktion und den Transport, sowie der Wunsch nach individualisierten Produkten, erhöhen die Nachfrage nach lokalen Fertigungsmöglichkeiten. Um eine lokale und flexible Produktion von individuellen Produkten zu ermöglichen, wird im Forschungsprojekt CassaMobile ein modulares Produktionssystem in einem Container (**Bild 1 Punkt a**) entwickelt. In dieses Produktionssystem können verschiedene austauschbare Produktions- und Prozessmodule flexibel kombiniert werden. Dabei sollen sowohl die Hardware, als auch die Software und das Steuerungssystem einem modularen Ansatz folgen.

Die verschiedenen Prozessmodule (**Bild 1 Punkt b und c, Bild 2**) für additive Fertigung, Fräsen, Montage, Reinigung und Verpackung werden von den jeweiligen Projektpartnern entwickelt und in das CassaMobile-Konzept

integriert. Je nach Anwendungsfall kann der Container so mit den passenden Modulen ausgerüstet werden.

Eine einfache Mensch-Maschinen-Schnittstelle (**Bild 1 Punkt d**) ermöglicht eine Bedienung ohne Expertenwissen direkt vor Ort. Diese Funktionalität wird durch eine hierarchische Benutzerstruktur gewährleistet. Außerdem werden alle Prozesse zur Arbeitsvorbereitung gekapselt und automatisiert, sodass eine prozess- und modul-unabhängige Konfiguration des Produkts möglich ist.

Das CassaMobile-Konzept wird mittels dreier unterschiedlicher Anwendungsfälle aus dem medizinischen und produktionstechnischen Sektor demonstriert und validiert.

Durch den modularen Aufbau des Containers, als auch den modularen Aufbau des Steuerungssystems, ist es möglich, das Gesamtsystem speziell an einen Anwendungsfall anzupassen, um optimale Durchlaufzeiten und Werkstückqualität zu erreichen. Es steht ein Modulpool mit unterschiedlichen Prozessmodulen zur Verfügung. (**Bild 2**). Die Module können über ein Schienensystem schnell ausgetauscht werden (**Bild 3**) um eine schnelle Anpassung an die gestellten Anforderungen zu ermöglichen.

Das ISW hat im CassaMobile-Projekt folgende Aufgaben. Die Entwicklung und Bau eines Prozessmodules passend zu den Anforderungen von CassaMobile für das 5-Achsfräsen. Außerdem die Entwicklung eines modularen Steuerungssystems, welches die

Selbstkonfiguration ermöglicht (**Bild 4**). Dazu verfügt jedes Modul über einen Configuration and Information Memory (CIMory), in dem alle notwendigen Daten abgelegt sind und automatisiert erkannt und verwendet werden können.

Der Produktionsablauf wird durch einen Workflow Manager (WFM) koordiniert, welcher die Aufgabe eines Leitsystems einnimmt. Er kommuniziert einerseits mit der HMI und damit mit dem Bediener, welchem die Fertigungsmöglichkeiten des Systems dargestellt werden, andererseits mit den einzelnen Prozessmodulen. Durch den Einsatz des Module Viewers (MV) kann eine Kommunikation mit beliebigen Steuerungssystemen realisiert werden. Durch das automatisierte Auslesen des CIMory über die „configuration communication“ gibt jedes Prozessmodul seine Fähigkeiten dem WFM bekannt.

Die Module selbst besitzen entweder eine eigene Steuerung (vgl. **Bild 3, Module 1**) oder werden zentral durch das Central Control System (CCS) gesteuert. Dazu wird der benötigte Echtzeitbus zwischen Steuerung und E/A- bzw. Antriebsebene über die Modulgrenzen hinaus, bis zum CCS erweitert. Die Konfiguration des CCS erfolgt automa-

tisch, basierend auf den im CIMory hinterlegten modulspezifischen Informationen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine funktionsfähige und vernetzte Produktionslinie in einem Container umgesetzt. Die schematische Darstellung des Demonstrators ist in **Bild 5** gezeigt.



Bild 3: Einbau eines Prozessmoduls über ein Schienensystem

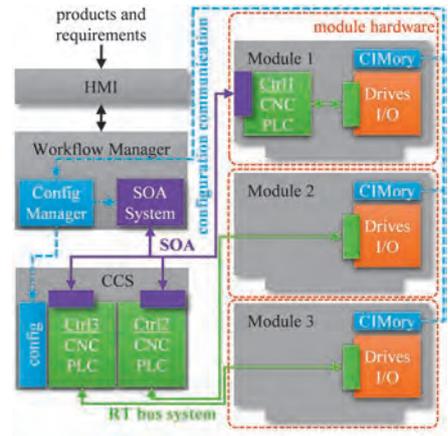


Bild 4: Überblick des Container und Modul Steuerungsystems

Kontakt: Dipl.-Ing. Jens Friedrich
Jens.Friedrich@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Stefan Scheifele
Stefan.Scheifele@isw.uni-stuttgart.de

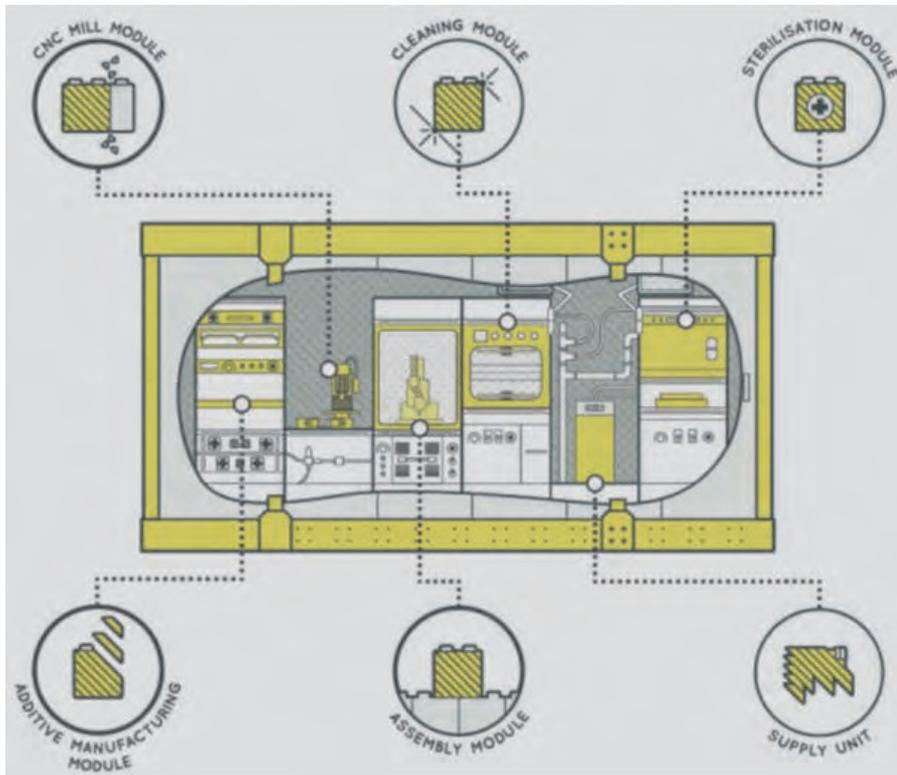


Bild 5: schematischer Aufbau des Demonstrators

Projektpartner:



INTEGRATED ZERO DEFECT MANUFACTURING SOLUTION FOR HIGH VALUE ADDING MULTI-STAGE MANUFACTURING SYSTEMS (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.

Aufbauend auf den Ergebnissen des EU-Projektes MuProD sollen Methoden zur Ausschussreduzierung in mehrstufigen Produktionssystemen entwickelt und in bestehende Anlagen integriert werden. Ziel ist es, Abweichungen in der Fertigung durch Produktionsregelung und Korrekturmaßnahmen zu verringern, um letztendlich Ausschuss am Ende der Fertigung zu vermeiden.

Durch zusätzliche Sensorik werden große Datenmengen aufgezeichnet und ausgewertet. Mittels Datenfusion und Methoden der künstlichen Intelligenz, können relevante Informationen und Korrelation zwischen verschiedenen Messwerten ermittelt und in einer Wissensdatenbank gespeichert werden.

Diese Informationen werden anschließend zur Vermeidung von Fehlerentstehung und Fehlerfortpflanzung verwendet. Schwerpunkte liegen hierbei auf der Inline Reparatur im selben Prozessschritt und in der Downstream Kompensation in späteren Prozessen. Erste Ergebnisse für den Fall der Rotormontage in Elektrofahrzeugen wurden bereits in MuProD erzielt und sollen innerhalb von ForZDM weiterentwickelt und verallgemeinert werden.

Um den Einfluss der korrigierenden Maßnahmen auf das Produktionssystem quantifizieren zu können (Taktzeit, Durchsatz, etc.), werden Modelle der mehrstufigen Produktionslinien angefertigt (Markov-Ketten).

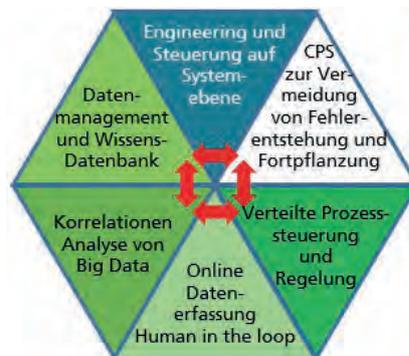


Bild 1: Schematische Übersicht des Projektes ForZDM

Anschließend erfolgt eine Implementierung der entwickelten Strategien in Steuerungssystemen der vorhandenen Produktionslinien. Hierfür wird eine neue Steuerungsarchitektur entwickelt und realisiert, die es erlaubt, Rückflüsse aus den Optimierungsstrategien zu integrieren. Im Projekt erfolgt eine experimentelle Validierung der Strategien in drei Demoanlagen, die die Wirtschaftsbereiche Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik und Schienen-Mobilität abdecken. Die Ergebnisse sollen auf neue Anwendungsfälle erweiterbar sein, um eine Verbreitung in weiteren Industriezweigen zu ermöglichen.

Projektpartner:



Kontakt: Dipl.-Ing. Daniel Coupek
Daniel.Coupek@isw.uni-stuttgart.de

INNOVATIVE PROACTIVE QUALITY CONTROL SYSTEM FOR IN-PROCESS MULTI-STAGE DEFECT REDUCTION (MuProD)



GEFÖRDERT VON DER EUROPÄISCHEN UNION (EU FP7 NMP)

Ziel dieses Forschungsprojektes ist die Entwicklung von Strategien und Methoden zur Ausschussreduzierung in mehrstufigen, verketteten Produktionssystemen. Einerseits sollte die Entstehung von Abweichungen verhindert werden und andererseits sollten vorhandene Fehler innerhalb der Linie korrigiert werden. Erreicht wurden diese Ziele durch Auswertung zusätzlicher Sensorik, Prozessregelung und selektive Montage. Innerhalb dieses Projektes wurden Anwendungsfälle aus drei wichtigen europäischen Wirtschaftssektoren untersucht: Rotormontage für Elektromotoren (Automobilindustrie), Getriebe für Windkraftträder (erneuerbare Energie) und Mikrokatheter für Herz-Operationen (Medizintechnik).



Bild 1: Anwendungsbeispiele innerhalb MuProD: Elektromotoren, Getriebe von Windkraftanlagen und Mikro-Katheter (Quelle: MuProD)

Moderne Fertigungssysteme bestehen aus komplexen Verkettungen von einzelnen Prozessen und Prozesslinien und besitzen somit eine Vielzahl an potentiellen Fehlerquellen. Weit verbreitet ist die *End-Of-Line (EOL)* Qualitätskontrolle, bei welcher Werkstücke erst am Ende der gesamten Produktionskette auf Funktionsfähigkeit geprüft werden. Wird bei der EOL-Prüfung ein Fehler entdeckt, so bleibt häufig nur die Möglichkeit das Produkt zu entsorgen. Während des Fertigung wird Zeit, Material und Energie verschwendet, um ein, letztendlich fehlerhaftes, Werkstück weiter zu bearbeiten.

Im Rahmen des von der EU geförderten Projektes *MuProD* wurden neue Methoden zur Qualitätssicherung entwickelt, die eine frühzeitige Fehlererkennung und Kompensation erlauben. Die Ergebnisse des Projektes wurden anhand von Demonstratorsystemen experimentell validiert. Mit Elektromotoren

(E-Mobilität), Mikro-Kathetern (Medizintechnik) und Getrieben für Windkraftanlagen (Energietechnik) sind die drei wichtigsten Sektoren der europäischen Industrie jeweils durch einen Anwendungsfall in MuProD vertreten (**Bild 1**).

In MuProD wurde die Integration zusätzlicher Sensorik in der Fertigung untersucht, sowie Algorithmen zur Wissensextraktion und Datenanalyse entwickelt. Das Ergebnis ist die Software *Information Sharing Platform (ISP)*, die es erlaubt, Messwerte aus der Produktion mittels geeigneter Schnittstellen aufzuzeichnen, zu speichern und weiter zu verarbeiten. **Bild 2** zeigt die ISP für eine laufende Messung, bei welcher in Echtzeit Daten aus der Steuerung grafisch dargestellt werden. In die ISP können zudem Funktionalitäten zur Online-Signalanalyse (zum Beispiel Filter) integriert werden.

Um bereits die Entstehung von Abweichungen zu reduzieren, wurde eine Kaskadenreglerstruktur entworfen, die auf Messwerte der ISP zugreift. Für die Extrusion von Mikrokathetern wurden diese Regler auf einer TwinCAT-Steuerung implementiert und in die Fertigungslinie integriert. Die Reglerkaskade besteht aus einzelnen PID-PWM-Reglern. Über Heizwiderstände kann dann ein gleichmäßiges Temperaturprofil generiert werden, welches sich direkt auf die Wanddicke der Katheter auswirkt. Auf diese Weise wurden die Flexibilität der Anlage und das Produktspektrum erweitert und gleichzeitig Ausschuss reduziert.

Da diese Art der Prozessregelung Abweichungen von den Vorgaben in den drei Anwendungsfällen nicht vollständig vermeiden kann, wurde eine Methode zur Korrektur entwickelt. Diese wird im Projekt als *Inline-Reparatur* bezeichnet. Hierfür wird

das Werkstück im eingespannten Zustand während oder direkt nach der Bearbeitung vermessen. Ein Regler kann dann die Sollwerte unterlagerter Regelkreise anpassen, Aktoren direkt ansteuern oder neue Code-Segmente erzeugen und auf die Steuerung laden. Nachteilig ist, dass durch Wiederholung des Prozesses oder eines Teilprozesses die Bearbeitungszeit erhöht wird, wodurch es zu Konflikten mit der Taktzeit der Produktionslinie kommen kann.

Eine Alternative zur Inline-Reparatur ist die *Downstream-Kompensation*. Dabei werden Abweichungen im Werkstück durch Anpassen der Parameter in den darauf folgenden Arbeitsschritten behoben. Hierzu müssen zuvor die Kreuzkorrelationen zwischen den Ausgangssignalen der einzelnen Prozesse berechnet werden, die es erlauben, Aussagen über die Ähnlichkeit zweier Signale und deren zeitliche Verschiebung zu treffen. Wird die Korrelation für alle möglichen Kombinationen von Prozessen im mehrstufigen Produktionssystem ermittelt, dann erhält man eine Korrelations-Matrix. Die Berechnung der Kreuzkorrelationen, auf Basis der Messwerte aus der ISP, erfolgt in dem neu entwickelten Software-Tool *Correlation Analyzer*. **Bild 3** zeigt die Anwendung der Software auf die Fertigung der Getriebe von Windkraftanlagen.

Es konnten neue Zusammenhänge zwischen einzelnen Bearbeitungen und Messwerten identifiziert werden, welche zuvor nicht bekannt waren und somit bei der Fertigung nicht berücksichtigt wurden.

Für die *Downstream-Kompensation* bei Montageprozessen wurden zwei Verfahren untersucht: selektive und sequentielle Montage. Angewendet wurden sie auf die Fertigung von Elektromotoren für die Automobilindustrie. Bei der selektiven Montage werden die einzelnen Lamellenpakete (LP)

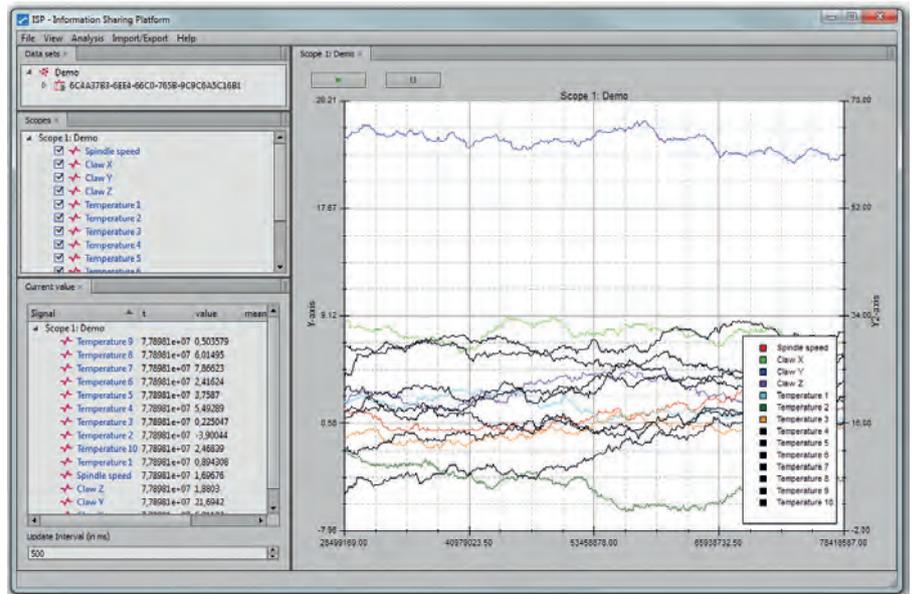


Bild 2: Software zum Aufzeichnen und Auswerten von Produktionsmesswerten (ISP)

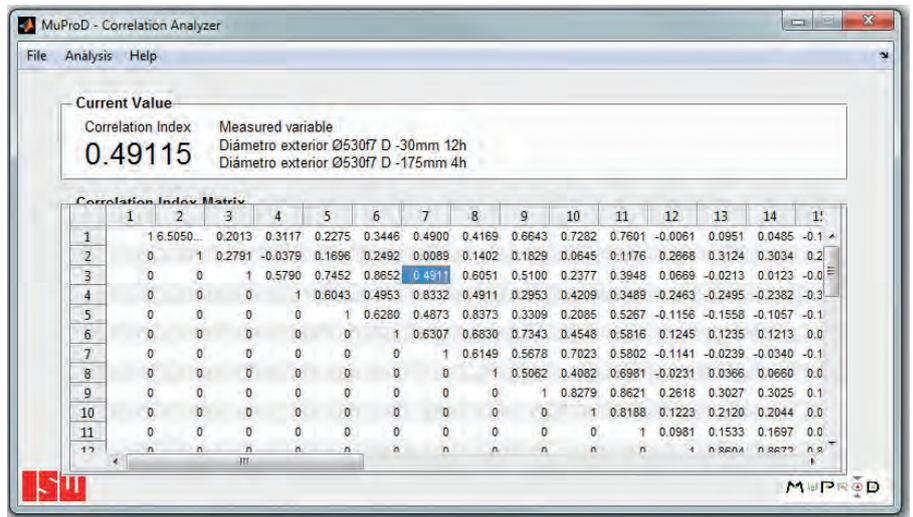


Bild 3: Korrelations-Analyse von Messwerten aus der Fertigung von Windkraftanlagen

des Rotors nacheinander magnetisiert, vermessen und klassifiziert (**Bild 4**). Die Klassifikation ordnet die LP nach Art und Stärke der Magnetisierungsabweichung in verschiedene Cluster. Es wird einmalig und offline eine optimale Montagevorschrift ermittelt,

die angibt wie LP aus unterschiedlichen Clustern miteinander kombiniert und gegeneinander verdreht werden müssen, sodass das magnetische Feld des zusammengebauten Rotors gleichmäßig und innerhalb der Toleranzen ist.

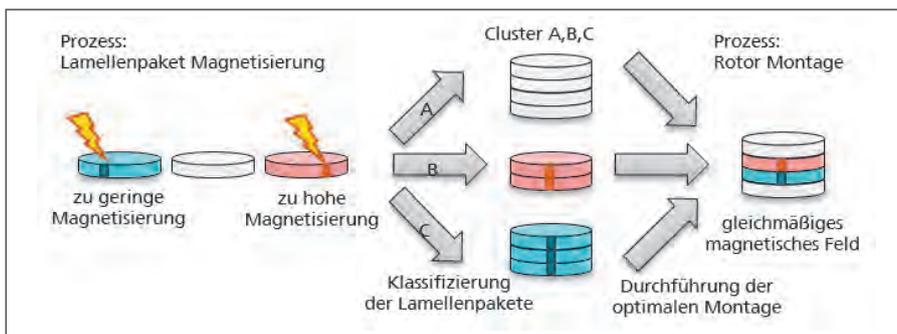


Bild 4: Selektive Montage eines Rotors bestehend aus vier Lamellenpaketen

Im Gegensatz dazu, werden die LP bei der sequentiellen Montage nicht klassifiziert, sondern online kombiniert. Es wird die Anzahl an LP magnetisiert und vermessen, die zum Zusammenbau genau eines Rotors notwendig ist (**Bild 5**). Für die im Puffer gelagerten LP wird online ein Optimierungsproblem gelöst, um die beste Kombination und Verdrehung zu ermitteln. Nachteilig ist, dass die Online-Optimierung sehr viel Rechenzeit in Anspruch nehmen

kann, abhängig von der Anzahl der LP und der Magnete. Zudem kann es vorkommen, dass keine Lösung existiert, sodass der Rotor als Ausschuss behandelt werden muss.

Mittels der Downstream Kompensation konnte ein gleichmäßiges Magnetfeld des Rotors erreicht und der Ausschuss am Ende der Linie reduziert werden. Die Implementierung dieser Methoden ist in **Bild 6** dargestellt.

Als Ergebnis des Projektes wurde einerseits die Entstehung von Fehlern und andererseits deren Fortpflanzung verhindert. Ziel war es, Fertigungssysteme so zu optimieren, dass am Ende der Wertschöpfungskette kein Ausschuss produziert wird und die EOL-Qualitätskontrolle samt ihrer Nachteile entfällt.

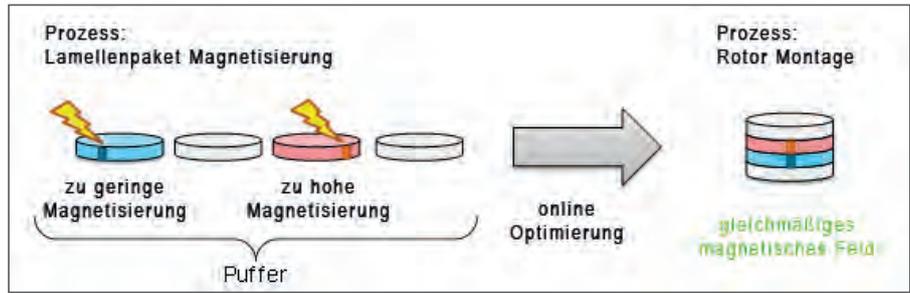


Bild 5: In der sequentiellen Montage werden die Lamellenpakete eines Rotors online kombiniert

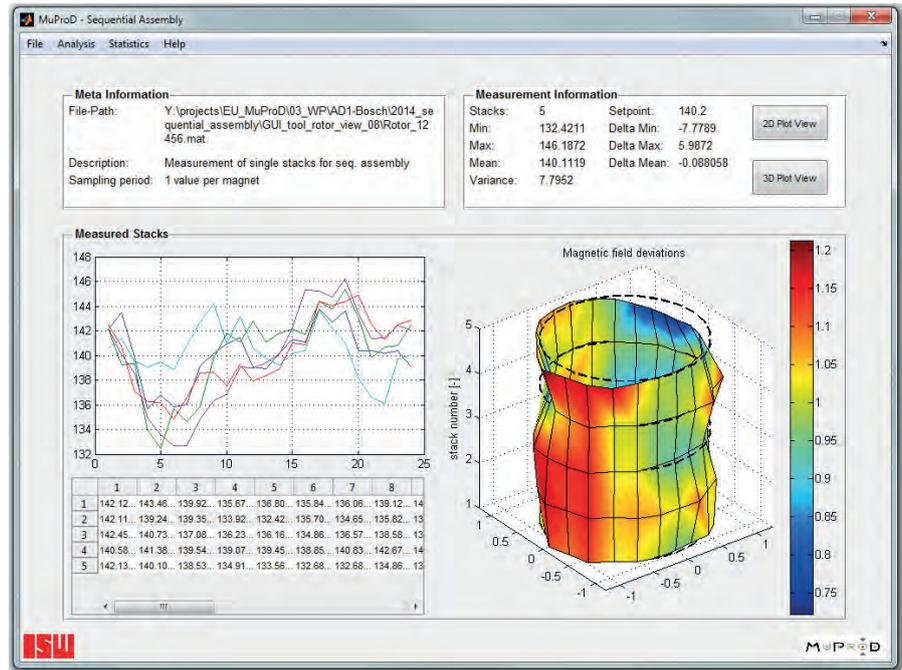


Bild 6: Optimierung des Rotor-Magnetfeldes mittels Downstream Kompensation

Kontakt: Dipl.-Ing. Daniel Coupek
 Daniel.Coupek@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:



STEUERUNGSBASIERTE METHODEN ZUR SCHWINGUNGSUNTERDRÜCKUNG

EIGENENTWICKLUNG ISW



In heutigen Produktionssystemen spielt eine hohe Maschinendynamik eine tragende Rolle für die ökonomische Effizienz der Gesamtanlage. Jedoch kommen aufgrund energetischer Vorteile immer häufiger Leichtbaustrukturen zum Einsatz, welche aufgrund ihrer niedrigen Dämpfung zu einer hohen Schwingungsneigung tendieren. Auch prozesstechnische Gründe, wie beispielsweise der Transport von Flüssigkeiten, erfordert Maßnahmen, die Schwingung des Systems steuerungs-basiert zu kompensieren. Am ISW wurden hierzu verschiedene Softwarelösungen entwickelt, welche modular in industrielle Steuerungssysteme integrierbar sind und eine einfache Parametrierung erlauben.

Aufgrund immer weiter steigenden dynamischen Anforderungen, sowie dem Trend, komplexe Bewegungen zu automatisieren, werden fortgeschrittene Steuerungsalgorithmen benötigt um diese Aufgaben mit hoher Performance zu lösen. Auch müssen sich diese Lösungen softwareseitig in bestehende, industrielle Steuerungssysteme modular integrieren lassen, als auch eine einfache Parametrierbarkeit durch den Anwender erlauben. Am ISW bestehen hierzu verschiedene Lösungen für Bewegungsaufgaben, welche sich einfach in das bestehende Steuerungssystem integrieren lassen, siehe **Bild 1**.

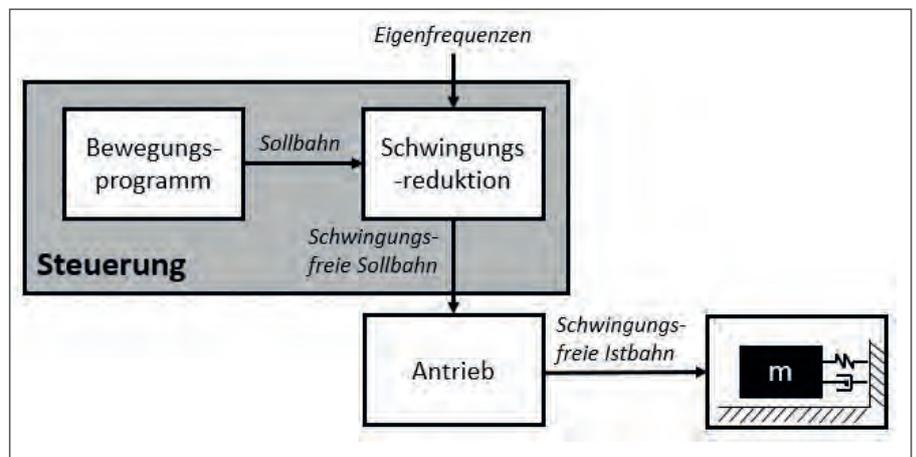


Bild 1: Modulare Softwareintegration der Schwingungsreduktion

Die Leistungsfähigkeit der Verfahren soll am Beispiel eines Flüssigkeitstransports dargestellt werden, wie dieser etwa im Bereich der Laborautomation vorkommt (siehe auch <https://www.youtube.com/watch?v=1PumZQDOjeE>). Das Verfahren kann äquivalent auf rein mechanische System übertragen werden. In **Bild 2** ist die Schwingungsneigung bei nicht angepasster Bewegungssteuerung abgebildet. Die Anregung der Eigenfrequenzen durch die Sollbahn der konventionellen Bewegungssteuerung führt zu starken Systemschwingungen bis hin zu Turbulenzen.

Durch die Integration der Schwingungsreduktion kann die Schwingung komplett kompensiert werden, siehe **Bild 3**. Lediglich die erste Halbwelle, welche die Trägheitsreaktion des Systems darstellt, ist noch zu erkennen.

Neben der steuerungs-basierten Schwingungsunterdrückung stehen am ISW zahl-

reiche regelungs-technische Methoden zur Verfügung, als auch Möglichkeiten zur Systemidentifikation, sodass die zu unterdrückenden Eigenfrequenzen oder weitere Systemeigenschaften automatisch identifiziert werden können.

Kontakt: Christian Friedrich, M.Eng.
Christian.Friedrich@isw.uni-stuttgart.de

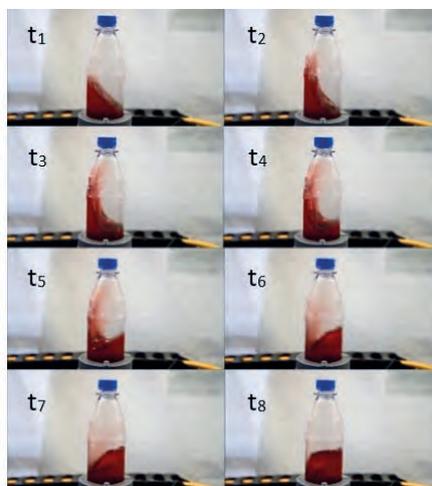


Bild 2: Konventionelle Bewegungssteuerung

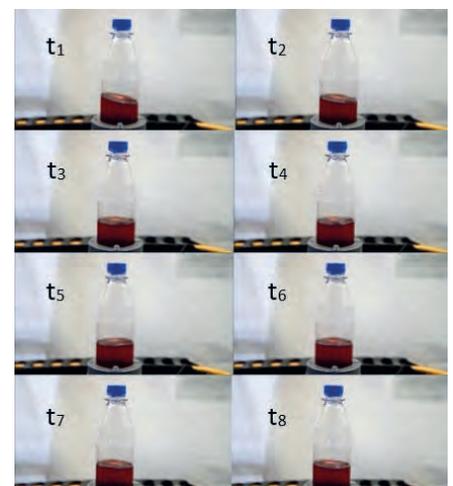


Bild 3: Erweiterte Bewegungssteuerung

SERCOS SLAVE CONFORMIZER



EIGENENTWICKLUNG ISW

Das ISW ist ein von der Feldbusnutzerorganisation Sercos International e. V. autorisiertes Testlaboratorium & Kompetenzcenter für die Zertifizierung von Sercos Feldbusgeräten (Antrieben, E/A-Peripherie). Hierfür wurde der Sercos Slave Conformizer am ISW entwickelt. Dabei besteht das Ziel darin, die Konformität von Sercos Geräten auf die Spezifikation zu überprüfen. Weiterhin soll durch den Slave Conformizer die Entwicklung von Sercos Geräten unterstützt werden, da dieser als Referenzgerät für die Geräteentwicklung dienen kann.

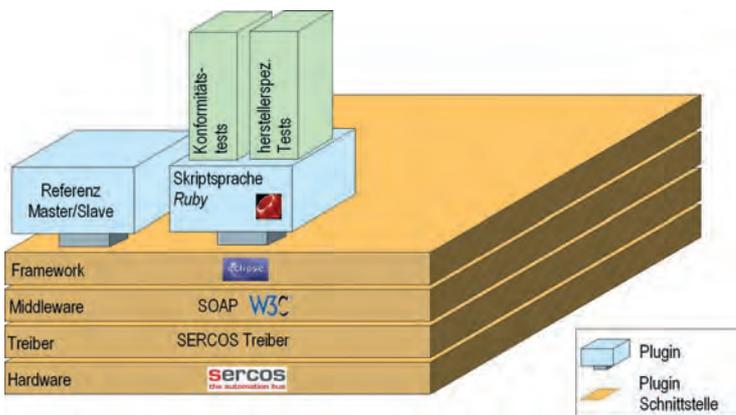


Bild 1: Architektur des Slave Conformizers

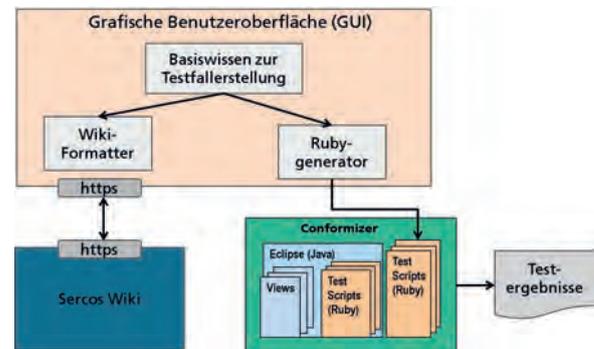


Bild 2: Architektur des Test-Entwicklungstools

Der Sercos Slave Conformizer ist in der Lage, Sercos Slave Geräte gemäß der Spezifikation zu überprüfen. Er kann die Funktionalitäten eines Sercos Slaves mittels eines Standard-Masters auf ihre Konformität abprüfen. Zudem kann er eingesetzt werden, um Zertifizierungstests vorzubereiten, indem Gerätefehler bereits im Vorfeld erkannt und behoben werden können. Dies ermöglicht den Herstellern eine unabhängige Entwicklung des Gerätes bei gleichzeitiger Überprüfung der Gerätefunktionen.

Die Architektur des Sercos Slave Conformizers besteht aus einem eclipse-basierten Test-Framework und einer Middleware, welche die Kommunikation mit dem Sercos Treiber (die SERCANS PCI-Masterkarte) ermöglicht (siehe **Bild 1**). Durch den Einsatz des standardisierten Netzwerkprotokoll SOAP, lässt sich die Komplexität in der Applikation reduzieren. Die Implementierung von Testfällen zur Konformitätsüberprüfung erfolgt in der objektorientierten Skriptsprache Ruby und die Testfälle werden automatisch

abgearbeitet. Dabei können die Testfälle um herstellerepezifische Tests erweitert werden.

Um die Entwicklungszeit der Testfälle zu minimieren, wird eine GUI-geführte Testentwicklung verfolgt. Dies ermöglicht bausteinbasiert Testfälle zusammenzustellen. Dem Anwender steht ein Tool zur Verfügung, welches eine Testfallerstellung ohne Kenntnisse in Ruby-Programmierung ermöglicht. Weiterhin wird das Tool an eine Testdatenbank (Wiki) angebunden, in der Testfälle beschrieben und abgelegt sind. Der Aufbau des Tools ist in **Bild 2** abgebildet. Der Baustein „Basiswissen zur Testfallerstellung“ stellt eine logische Abbildung des Testframeworks dar. Der Baustein „Wiki-Formatter“ bindet den zu erstellenden Testfall aus der Testdatenbank ein. Letztlich generiert der Baustein „Ruby Generator“ das Testskript, welche im Conformizer ausführbar ist.

Kontakt: Dipl.-Ing. Agus Atmosudiro
 Agus.Atmosudiro@isw.uni-stuttgart.de

OPC UA WORKBENCH

EIGENENTWICKLUNG ISW



Mit dem Ziel, die Validierung und Funktionsüberprüfung neuer OPC UA Produkte zu ermöglichen bzw. zu vereinfachen, hat das ISW die OPC UA Workbench im Rahmen einer Eigenentwicklung entworfen. Es ist somit möglich, direkten Eingriff auf eine OPC UA Umgebung zu nehmen und das dynamische Verhalten anderer Teilnehmer zu testen.

Für die nicht-echtzeitfähige Kommunikation im Bereich von Fertigungseinrichtungen, beispielsweise für die Vernetzung von Benutzeroberflächen mit Maschinen und Anlagen, wird vermehrt das Kommunikationsprotokoll OPC UA eingesetzt. Durch dieses Protokoll besteht ein Kommunikationsstandard, der die einheitliche und standardisierte Kommunikation in allen Ebenen der Fertigungstechnik ermöglicht. OPC UA erlaubt die plattformunabhängige, skalierbare und abgesicherte Kommunikation bei gleichzeitig hohem Datendurchsatz zur Verbindung verschiedenster Systeme. **Bild 1** stellt den heutigen Einsatz von OPC UA über verschiedene Schichten der Automatisierungspyramide dar. Neben der Anbindung der Prozessleitebene mittels OPC UA ist es heute bereits gängig die Betriebsleit- und Unternehmensebene via OPC UA Kommunikation direkt mit Maschinen und Anlagen zu verbinden.

Für den Einsatz des Protokolls in unterschiedlichen Anwendungsbereichen besteht mit OPC UA die Möglichkeit, Informationsmodelle zu spezifizieren, die festlegen, welche Daten und Informationen kommuniziert werden, sowie die Datenstruktur.

Bei der Entwicklung von Komponenten und Softwareanwendungen für den Maschinen- und Anlagenbau besteht die Herausforderung, dass zum Zeitpunkt der Entwicklung das Gesamtsystem oftmals nicht zur Verfügung steht. Dies trifft auch für die Entwicklung von OPC UA Anwendungen zu – beispielsweise werden grafische Benutzeroberflächen oder Leitsysteme entwickelt, die mittels OPC UA an die Steuerung angekoppelt werden sollen, ohne dass jedoch das Steuerungssystem für Tests verfügbar ist. Analog verhält es sich bei der Entwicklung von Informationsmodellen. Test und Validierung des Gesamtsystems sind von daher während der Entwicklung nur mit großem Aufwand möglich, oder aber erst

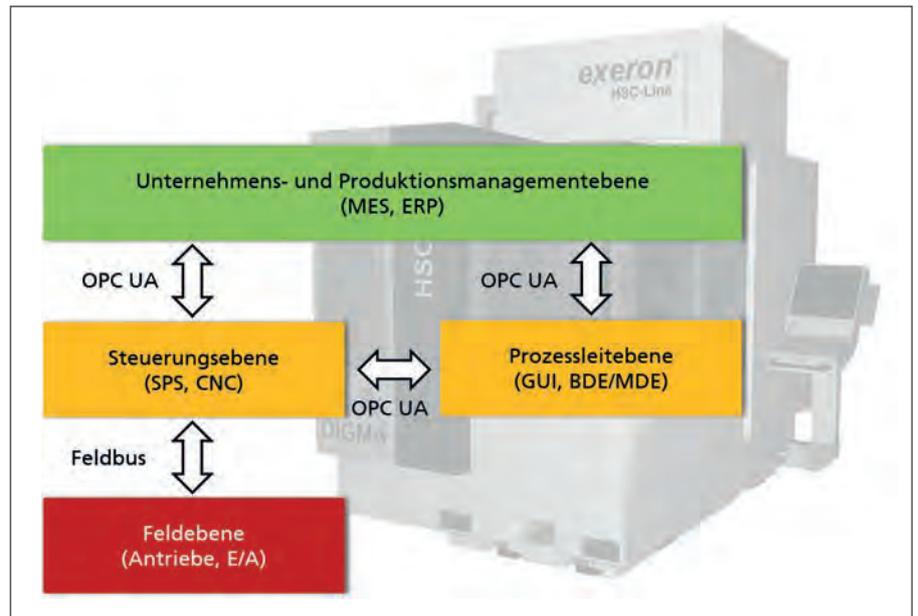


Bild 1: Stand der Technik von M2M Kommunikation

zu einem späten Zeitpunkt, sobald alle Komponenten zur Verfügung stehen.

Die OPC Foundation, die für die Weiterentwicklung und Pflege des OPC-Standards verantwortlich ist, stellt zur Validierung von OPC UA Servern und Clients ein Werkzeug bereit, das OPC UA Compliance Test Tool (UA CTT). Mithilfe dieses Werkzeugs kann überprüft werden, ob sich die entsprechende Anwendung gemäß der OPC UA Spezifikation verhält. Eine ganzheitliche Systembetrachtung, die auch das Kommunikations- und Reaktionsverhalten einer OPC UA Anwendung abbildet, wird durch das UA CTT jedoch nicht angestrebt.

Mit dem OPC UA Simulation Server stellt die Firma Prosys eine Umgebung bereit, die den Ansatz einer ganzheitlichen Systembetrachtung verfolgt. Mit dem Simulation Server lassen sich Signale generieren und Konfigurationen vorgeben, um bei der Ent-

wicklung von OPC UA Client-Anwendungen eine Gegenstelle für Test und Validierung zu haben. Unberücksichtigt bleibt hier jedoch die Abbildung von Verhaltensweisen, wie sie im Bereich der Automatisierungs- und Steuerungstechnik zusätzlich vorzufinden sind – beispielsweise die Veränderung des OPC UA Adressraums durch An- oder Abwahl von Maschinenachsen, fehlerhaftes Anwendungsverhalten oder die Reaktion bei Kommandierung der Gegenstelle.

Die Eigenentwicklung des ISW stellt aus diesem Grund einen Ansatz zur ganzheitlichen Betrachtung von Systemen vor, die durch OPC UA miteinander vernetzt sind. Die OPC UA Workbench ermöglicht es, über den Funktionsumfang des UA CTT oder des Simulation Server hinaus, OPC UA Anwendungen ganz oder teilweise in ihrem Verhalten abzubilden. Hierzu können OPC UA Server und Clients instanziiert und konfiguriert werden. Auch Multiinstanzierungen sind mög-

lich. Über eine Skriptumgebung kann dann, dem Anwendungsfall entsprechend, ein beliebiges Verhalten generiert werden, welches sich im Adressraum des OPC UA Servers widerspiegelt. Somit besteht beispielsweise die Möglichkeit zur Erweiterung oder Reduktion des Adressraums und zur Änderung von Variablenwerten. Über die Instanz des OPC UA Clients können, aus der Skriptumgebung heraus, Anfragen an bestehende OPC UA Server gesendet werden, um Variablen zu beschreiben, zu lesen oder zu abonnieren. Auf diese Weise besteht mit der OPC UA Workbench die Möglichkeit, Umgebungen aufzusetzen, die für Entwicklung und Test von OPC UA Server- und Client-Anwendungen, sowie von Informationsmodellen, genutzt werden können. Die OPC UA Workbench ist so realisiert, dass auf den Adressraum der instanziierten OPC UA Server im laufenden Betrieb Einfluss genommen werden kann, ohne die Serveranwendung beenden oder gar erneut kompilieren zu müssen (Online-Change). Die Gesamtarchitektur sowie

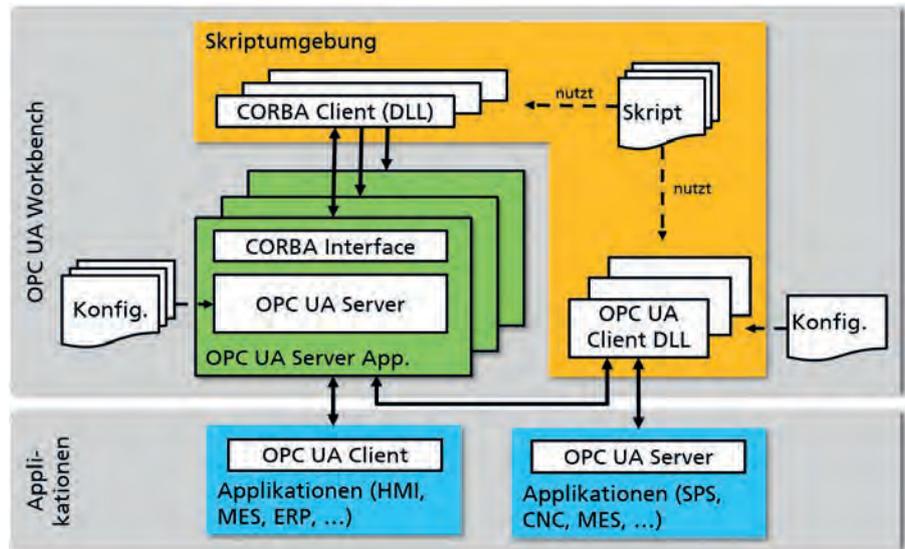


Bild 2: Systemarchitektur der OPC UA Workbench

die Zusammenhänge zwischen OPC UA Workbench und zu testender Anwendung sind in **Bild 2** dargestellt.

Kontakt: Dipl. Ing. Matthias Keinert
Matthias.Keinert@isw.uni-stuttgart.de

Wir steuern Zukunft: Innovativ. Interdisziplinär. Wissenschaftlich.

Wir forschen interdisziplinär an Technologien für die Produktion und Automatisierung von Übermorgen. Die industrielle Anwendbarkeit steht dabei immer im Fokus. Für die Industrie sind wir innovativer, verlässlicher und unabhängiger Partner für anspruchsvolle Herausforderungen von der ersten Idee bis hin zum Produkt.

Die themenbezogene Gliederung des Instituts erfolgt in die acht Forschungsschwerpunkte: **Antriebsregelung, Bedienung, Engineering, Kommunikation, Maschinentechnik, Simulation, Steuerungsalgorithmen** und **Steuerungsarchitekturen**.

Die Themenstellungen für studentische Arbeiten ergeben sich in der Regel aus aktuellen, laufenden Forschungsvorhaben. 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:
<http://www.isw.uni-stuttgart.de/lehre/studentische-arbeiten/themen/>

**Bachelor-,
Studien-,
Diplom- und
Masterarbeiten**

zu vergeben



UNIVERSELLE BEDIENBEREICHEN FÜR MASCHINEN UND ANLAGEN (Evergreen)



EIGENENTWICKLUNG ISW

Im Projekt *Evergreen* wurde ein Framework entwickelt, welches die Erstellung von Bedienoberflächen zur Anbindung an Maschinen- und Anlagensteuerungen ermöglicht. *Evergreen* zeichnet sich dadurch aus, dass Bedienoberflächen mit geringem Aufwand erstellt werden können, die erstellte Bedienoberfläche durch Abstraktion der Kommunikation zur Steuerung herstellerübergreifend genutzt werden kann, und dass die erstellten Bedienoberflächen eine intuitive Bedienung von Maschinen und Anlagen ermöglichen.

Heutige Werkzeugmaschinen und Produktionsanlagen stellen komplexe Systeme dar, die dem Nutzer eine Vielzahl an Funktionen und Konfigurationsmöglichkeiten zur Verfügung stellen. Die Bedienung dieser Maschinen und Anlagen ist dementsprechend komplex. Die Interaktion mit den Systemen erfolgt über eine oder mehrere Bedienoberflächen, welche im Allgemeinen an die Maschinensteuerungen gekoppelt sind.

Bedienoberflächen, wie sie im Bereich der Werkzeugmaschinen vorzufinden sind, haben sich über die letzten Jahre kaum verändert. Zwar wurde das Layout teilweise überarbeitet, jedoch sind die Bedienkonzepte weitgehend unverändert geblieben. Nachteilig an diesen Bedienoberflächen sind beispielsweise die tief verschachtelten Menüs. Die Menüstrukturen erfordern zu viele Bedienvorgänge, um die Ausführung einer Funktion anstoßen zu können und erfordern entsprechendes Expertenwissen, wo die gewünschten Funktionen und Konfigurationseinstellungen aufgreifbar sind.

Hinzu kommt, dass eine Austauschbarkeit von Bedienoberflächen nicht gegeben ist. Werkzeugmaschinen sind in der Regel mit steuerungsspezifischen Bedienoberflächen ausgestattet. Die Anbindung eigener Oberflächen ist aufgrund proprietärer Kommunikationsschnittstellen nur mit hohem Aufwand möglich und aus diesem Grund nicht praktikabel. Dies bedeutet zum einen, dass nicht die bestmögliche, an Anwenderbedürfnisse und Maschinenausprägungen angepasste Oberfläche eingesetzt wird und zum anderen, dass die Nutzer dieser Maschinen sich entsprechend bei jeder Werkzeugmaschine mit der jeweiligen Bedienung vertraut machen müssen.

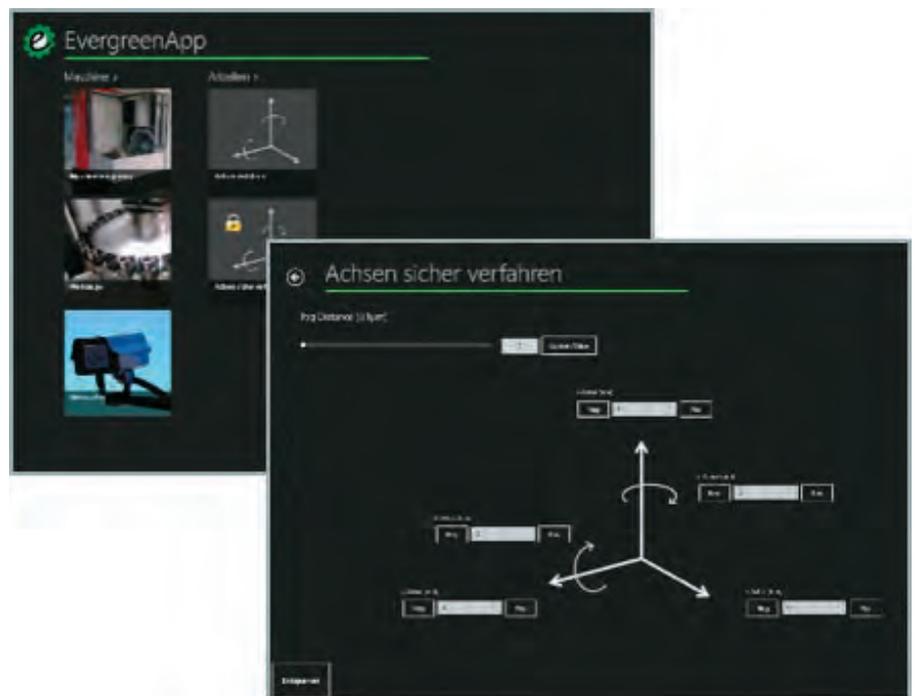


Bild 1: Intuitive Maschinenbedienung

Aus diesen Beobachtungen heraus wurde am ISW ein Studierendenprojekt des Studiengangs Softwaretechnik mit dem Ziel initiiert, Bedienoberflächen als zentrales Element von Werkzeugmaschinen und Produktionsanlagen aufzuwerten. Im Vordergrund des Projekts standen drei Aspekte: Die Vereinfachung der Bedienung von Maschinen und Anlagen, die Reduktion des Aufwandes zur Erstellung von Bedienoberflächen sowie die Erhöhung der Austauschbarkeit.

Zur Vereinfachung der Bedienung von Werkzeugmaschinen wurden Bedienoberflächen, wie sie im Bereich elektronischer Alltagsgeräte dem Stand der Technik entsprechen, als Vorbild herangezogen: Touch- und Gestenbedienung, flache Menüstrukturen,

sowie wenig Funktionalität pro Seite sollen die intuitive Bedienung komplexer Maschinen und Anlagen erlauben und die Nutzung dadurch sicherer und schneller machen, siehe **Bild 1**.

Zur Reduktion des Erstellungsaufwandes von Bedienoberflächen wurde eine Umgebung geschaffen, die es erlaubt, eigene Oberflächen vornehmlich zu konfigurieren anstatt zu programmieren. Die Erstellung von Bedienoberflächen basiert auf Vorlagenseiten, die entsprechend der eigenen Anforderungen gestaltet werden können. Steuerelemente werden per Drag'n'Drop auf den Seiten platziert. An die einzelnen Steuerelemente jeder Seite können Steuerungsvariablen für den lesenden und schreibenden Zugriff

gebunden werden (Binding). Die verfügbaren Steuerungsvariablen können vorab ausgelesen werden und als Auswahlliste für das Binding zur Verfügung gestellt werden.

Um die Austauschbarkeit von Bedienoberflächen zu erhöhen und den herstellerübergreifenden Einsatz der erstellten Bedienoberfläche zu erlauben, wurde der *Evergreen-Server* entwickelt. Ein Kommunikationsserver, welcher die proprietären Kommunikationsschnittstellen der verschiedenen Steuerungssysteme abstrahiert, siehe **Bild 2**. Aktuell kann via OPC UA und ADS mit Maschinensteuerungen kommuniziert werden. Der Kommunikationsserver kann jedoch um weitere Kommunikationsmechanismen erweitert werden.

Durch die verteilte Systemarchitektur können der *Evergreen-Server* und die Bedienoberfläche auf unterschiedlichen Systemen ausgeführt werden. Der Evergreen-Server ist in C++ unter Verwendung plattformunabhängiger Bibliotheken implementiert, sodass dieser auf unterschiedlichen Systemen ausgeführt werden kann, beispielsweise auch direkt auf dem Steuerungs-PC.



Bild 2: Evergreen Systemarchitektur

Kontakt: Dipl. Ing. Karl Kübler
Karl.Kuebler@isw.uni-stuttgart.de



- Steuerungstechnik GmbH
www.fisw.de

ÜBER DIE GRENZE DES MÖGLICHEN

Mit unserem Leistungsangebot zur »Steuerungs- und Antriebstechnik« unterstützen wir Sie bei der Verfolgung der wesentlichen Produktionsziele im Bereich Automatisierungstechnik.

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

OPEN AUTOMATION PLATFORM (OAP)

EIGENENTWICKLUNG ISW



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, wodurch diese auch höchsten Anforderungen hinsichtlich Performance gerecht werden kann. Ursprünglich für antriebstechnische Aufgaben konzipiert, wird sie zunehmend auch für andere Aufgaben wie Prozessregelung oder Kommunikationstechnik eingesetzt.

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 bei modellbasierten Ansätzen. Rekonfigurierbare Hardware, insbesondere FPGAs, bieten 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 *Offene Antriebsreglerplattform* am ISW entwickelt. Es zeigte sich, dass das Potential der Technologie nicht auf die Antriebstechnik beschränkt ist, sondern auch für andere Bereiche wie Prozessregelung, Kommunikationstechnik und Integration neuartiger Sensoren geeignet ist. Um die Entwicklungen zu vereinheitlichen und Synergieeffekte zu maximieren, wurden alle bisherigen Entwicklungen unter dem Namen *Open Automation Platform (OAP)* fusioniert.

Die OAP bietet Offenheit auf den folgenden drei Ebenen:

Hardware-Ebene: Auf unterster Ebene stehen eine Vielzahl von Schnittstellen zur Verfügung, welche modular und anwendungsspezifisch kombiniert werden können. Dies sind beispielsweise Treiber, Encoder-Schnittstellen, Leistungstreiber, Kommunikationsmodule etc. Der FPGA selbst ist über eine einheitliche Schnittstelle mit den Interfaces gekoppelt. Für die meisten Anwendungen kommen handelsübliche FPGA-Prototyping-Boards zum Einsatz, wodurch von der sich schnell entwickelnden FPGA-Technologie profitiert wird. **Bild 1** zeigt eine beispielhafte Hardware-Konfiguration mit verschiedenen Schnittstellenmodulen.

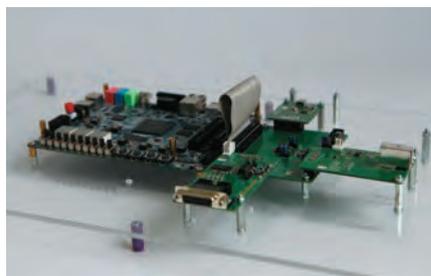


Bild 1: Labormuster der Hardware-Ebene für die OAP

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 Standardkomponenten. Eine stetig wachsende Sammlung an Komponenten steht bereits zur Verfügung, beispielsweise für Interfaces wie Encoder oder verschiedene Feldbusse sowie 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 ICs ist (z.B. ein ARM-Prozessor). Abhängig von der Anwendung kann entweder eine spezielle Firmware oder ein Betriebssystem zum Einsatz kommen. Die Software ist ebenfalls modular aufgebaut, wozu objektorientierte Konzepte genutzt werden.

Bild 2 gibt einen Überblick über die Ebenen der Architektur und zeigt jeweils beispiel-

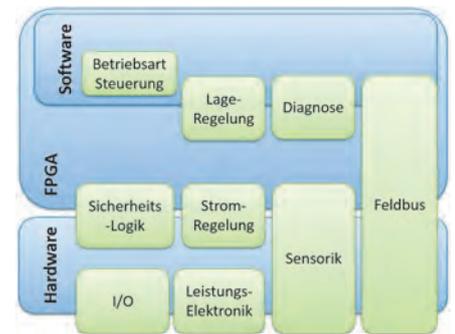


Bild 2: Ebenen und Komponenten der OAP

hafte 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 auf Kommunikationsschnittstellen. Einerseits für spezialisierte Inbetriebnahme- und Forschungswerkzeuge, andererseits ist auch eine Anbindung an verschiedene Feldbusse möglich. Hier kommt ein weiterer Vorteil zum Tragen, da der Wechsel von einem Feldbus zu einem anderen keinen Tausch der Hardware mehr erfordert, sondern durch eine Änderung des FPGA-Designs erreicht werden kann.

Kontakt: Dipl. Ing. Florian Frick
Florian.Frick@isw.uni-stuttgart.de

INDUSTRIEROBOTER ZUR SPANENDEN BEARBEITUNG



EIGENENTWICKLUNG ISW

Im Rahmen mehrerer Vorhaben wird beabsichtigt, das Einsatzpotential von Industrierobotern in der spanenden Fertigung zu verbessern. Vor allem als kostengünstige Ergänzung zu Werkzeugmaschinen können Bearbeitungsroboter Vorbearbeitungen (Schruppen und Trennen) oder Nachbearbeitungen (Bohren und Entgraten) übernehmen. Dadurch können Werkzeugmaschinen durch Aufgaben mit höheren Anforderungen besser ausgelastet werden. Für den industriellen Einsatz ist es hierzu notwendig, die erreichbare Produktivität der Roboterbearbeitung zu maximieren.

Die in der Industrie verbreiteten Sechs-Achs-Knickarmroboter haben im Vergleich zu Werkzeugmaschinen einen vielfach größeren Arbeitsraum bei geringeren Investitionskosten. **Bild 1** zeigt den am ISW vorhandenen Roboter mit insgesamt acht Achsen (6-Achs-Roboter, 3-m-Linearverfahreinheit sowie Drehtisch), der durch die flexible Struktur die Fertigung von komplexen Freiformbauteilen ermöglicht. Trotz der Vorteile werden bisher nur wenige Industrieroboter für bearbeitende Aufgaben eingesetzt. Dieser geringe Anteil ist unter anderem auf die niedrige erreichbare Genauigkeit bei der Zerspanung zurückzuführen. Im Zerspanungsprozess auftretende Kräfte erzeugen sowohl eine statische Abdrängung, als auch eine niederfrequente Schwingung des Fräs Werkzeuges. Dadurch verringert sich die Bauteilqualität erheblich. Die eingenommene Pose des Roboters beeinflusst die Steifigkeit der Roboterstruktur und somit die Schwingungsanfälligkeit. Daher ist die Bearbeitungsqualität und das mögliche Abtragsvolumen stark von der Pose abhängig.

Im Rahmen der am ISW durchgeführten Forschungsarbeiten wird der Roboter als sinnvolle Ergänzung zur Werkzeugmaschine betrachtet. Somit steht nicht die Oberflächen-Geometrie bzw. Rauigkeit wie bei der Endbearbeitung im Vordergrund. Vielmehr soll eine Maximierung des Abtragsvolumens unter Einhaltung der Toleranzen, welche bei der Vorbereitung im mm-Bereich liegen, erreicht werden.

Durch den Drehwinkel um die Werkzeugachse stellt der Bearbeitungsroboter eine redundante Kinematik dar. Dieser Winkel beeinflusst die geometrische Position und Orientierung der Werkzeugspitze nicht. Mittels der zusätzlichen Linearachse und einer



Bild 1: Acht-Achs-Bearbeitungsroboter am ISW

drehbar ausgeführten Werkstückaufnahme wird die Redundanz weiter erhöht. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Posen, mit welchen eine identische Fräsbahn abgefahren werden kann, wie im **Bild 2** dargestellt. Dieser zusätzliche Freiheitsgrad soll genutzt werden, um den Roboter hinsichtlich eines maximalen Abtragsvolumens zu optimieren.

Hierzu werden Eigenschaften wie Posenabhängigkeit und Richtungsabhängigkeit des dynamischen und statischen Verhaltens im Kontext des Fräsergebnisses untersucht. Bedingt durch die Redundanz der Roboterkinematik können dann die möglichen Posen hinsichtlich der identifizierten und für das Abtragsvolumen relevanten Kriterien bewertet werden.

Die Optimierung der Gelenkwinkel zur Steigerung der Produktivität erfolgt dabei innerhalb des CAM-Tools, wodurch weiterhin eine durchgängige CAx-Kette sichergestellt und ein industrieller Einsatz gefördert werden kann.

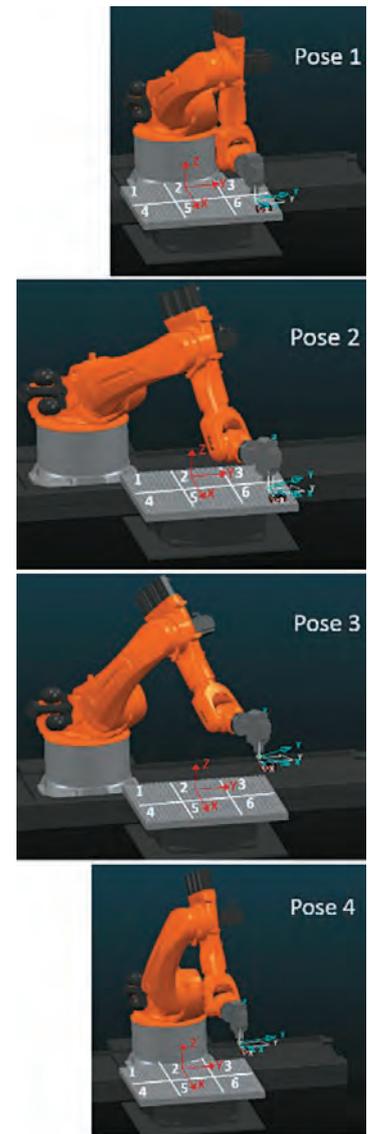


Bild 2: Unterschiedliche mögliche Posen für identische Fräskontur

Kontakt: Ali Karim, M.Sc.
Ali.Karim@isw.uni-stuttgart.de

VIRTUELLER TISCHKICKER

EIGENENTWICKLUNG ISW



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

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. Der Tischkicker basiert auf einem Echtzeitsimulationsrechner mit einer 3D-Visualisierung für das virtuelle Spielfeld, welcher durch zwei reale Motion-Control-Steuerungen (SPS/MC) und vier mechatronische Eingabegeräte (analog zum realen Kicker mit Force-Feedback) angesteuert werden kann. So kann entweder Mensch gegen Steuerung oder Steuerung gegen Steuerung gespielt werden (s. **Bild 1**). Ziel ist es, den Einsatz von Echtzeitsimulationen und das Zusammenspiel von Steuerungs- und

Kommunikationstechnik und Mechanik, Sensorik und Aktorik zu demonstrieren. Studenten sollen Steuerungsprogrammierung und Entwicklung von Algorithmen an diesem Demonstrator „spielerisch“ erlernen und umsetzen (Steuerung gegen Steuerung).

Kontakt: Dipl. Ing. Philipp Neher
Philipp.Neher@isw.uni-stuttgart.de

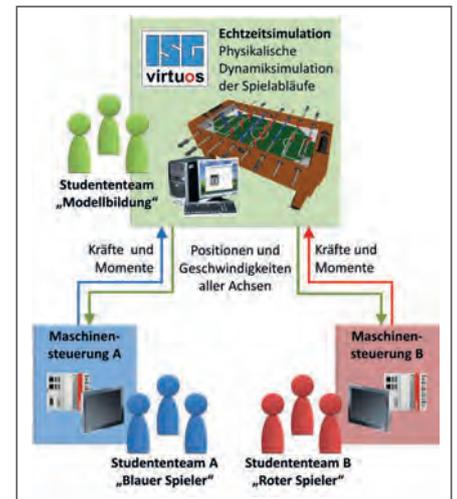


Bild 1: Prinzipskizze des virtuellen Tischkickers

AUTOMATISIERTER SPANFERKELGRILL

EIGENENTWICKLUNG ISW



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 Studierenden 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 von einer CNC-Steuerung dann die Sollsignale für die Motoren generiert. Die Bedienung erfolgt über eine Browserapp, welche über OPC UA an die Steuerung angebunden ist.

Kontakt: Dipl. Ing. Jens Friedrich
Jens.Friedrich@isw.uni-stuttgart.de



ROBOTIK BAND

EIGENENTWICKLUNG ISW



Als optischer Blickfang auf Messen und zur Demonstration von verschiedenen sercos III – Komponenten ist das Studentenprojekt Robotik Band entstanden. Gesteuert von einer industriellen Steuerung spielen echte Instrumente vollautomatisch Lieder. Studierenden wird die Möglichkeit geboten, neben dem Studium praktische Erfahrung mit Steuerungstechnik zu sammeln.

Aufgrund der gestiegenen Leistungs- und Genauigkeitsanforderungen im Bereich der Werkzeugmaschinen und Handhabungssysteme spielt die Dynamik von Strukturen eine immer größere Rolle. Dies erfordert Entwürfe, welche die Maschinenmasse minimieren, jedoch weiterhin die maximal erforderliche Steifigkeit gewährleisten. In der Konzeptfindungs- und Konstruktionsphase werden daher vorwiegend CAD-Programme, aber auch vermehrt numerische Optimierungsmethoden eingesetzt, um die Designtopologie zu optimieren. Optimalität bedeutet, dass das Bauteil bei vorgegebener Masse und Randbedingungen eine minimale Dehnungsenergie besitzt.

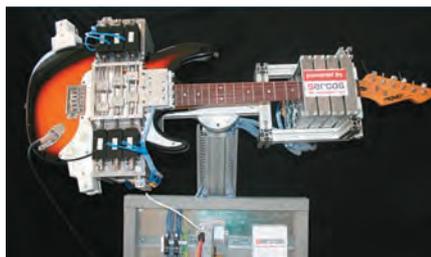


Bild 1: Gitarre



Bild 2: Keyboard

Kontakt: Philipp Sommer, M.Sc.
Philipp.Sommer@isw.uni-stuttgart.de

Projektpartner:

Rexroth
Bosch Group

PHOENIX
CONTACT

AUTOMATISIERTER COCKTAILMISCHER

EIGENENTWICKLUNG ISW



Das Projekt „Automatisierter Cocktailmischer“ gibt Studierenden die Möglichkeit, theoretische Vorlesungsinhalte in der Praxis anzuwenden. Durch die mechanische, elektronische und softwaretechnische Weiterentwicklung der Maschine wird der Nachwuchs qualifiziert und spielerisch an die Steuerungstechnik herangeführt.

Der automatisierte Cocktailmischer stellt, ein zu Lehrzwecken ins Leben gerufenes Projekt dar, an welchem Studierende die interdisziplinären Forschungsaktivitäten des ISW im Kleinen kennenlernen können. Dies reicht von der Konstruktion mechanischer Komponenten wie Maschinentisch und Führungsschienen, über die Auslegung von Vorschubachsen mit Zahnriemenantrieb, bis hin zur Auswertung von Sensorsignalen zur Prozessüberwachung. Die Ansteuerung von Magnetventilen und Schrittmotoren zur Realisierung der Vorschubbewegung und Dosierung von Softdrinks sowie Alkoholika,

erfolgt über einen Einplatinencomputer. Cocktail-Bestellungen können über mobile Endgeräte aufgegeben werden, indem eine webbasierte Benutzeroberfläche über WLAN aufgerufen wird. Insofern stellt der automatisierte Cocktailmischer ein mechatronisches Gesamtsystem dar, mit interdisziplinären Aufgabenstellungen für Studierende, die ihre steuerungstechnischen Kenntnisse vertiefen wollen.

Kontakt: Michael Neubauer, M.Sc.
Michael.Neubauer@isw.uni-stuttgart.de



Bild 1: Automatisierter Cocktailmischer

MERo – MARKE EIGENBAU ROBOTER

EIGENENTWICKLUNG ISW



Unsere Studierenden sind die Ingenieure von morgen. Neben der theoretischen Ausbildung, im Rahmen der Vorlesungen, ist es daher wichtig, ihnen auch praktisches Arbeiten zu ermöglichen. Hierfür wurde eine Plattform entwickelt, die alle Disziplinen aus den Vorlesungen vereint. Dadurch haben Studenten freien Zugriff auf alle Software- und Hardware-Ebenen, um Aufgaben umsetzen und untersuchen zu können.

Das ISW bietet eine Vielzahl an Forschungsthemen und Abschlussarbeiten für Studierende an. Im Rahmen solcher Arbeiten hat das ISW einen kleinen Roboterarm selbst aufgebaut und in Betrieb genommen. Bei diesem Roboter handelt es sich um den "Marke Eigenbau Roboter" oder kurz MERo, wie er in **Bild 1** dargestellt ist.

Aufgrund der verwendeten Schutzkleinspannung und der geringen bewegten Massen ist ein sicherer Laborbetrieb möglich. Der modulare Aufbau des Systems erlaubt es, einzelne und voneinander unabhängige Arbeiten zu realisieren. So bestehen mittlerweile neben der zentralen Steuerung der RoCo (Robot Control) auch vielfältige Möglichkeiten zur Bedienung. Zum Beispiel über ein mechanisch ähnliches Modell kann der MERo im Master-Slave-Verfahren (**Bild 2**) betrieben werden.

Die Bedienung mit einem *Gamepad* ist ebenfalls implementiert. Auch die in **Bild 3** dargestellte berührungslose Gestensteuerung mittels einer *Leap-Motion* ist bereits umgesetzt.

In allen Bedienvarianten ist eine Programmierung der Bewegungsabfolge über das Einteachen von Punkten möglich. Zahlreiche weitere Arbeiten, wie ein Greifersystem oder Bahnplanungsalgorithmen sind geplant. Auch eine Anbindung an einen Cloud-Dienst soll zeitnah realisiert werden.



Bild 1: MERo



Bild 2: Master-Slave

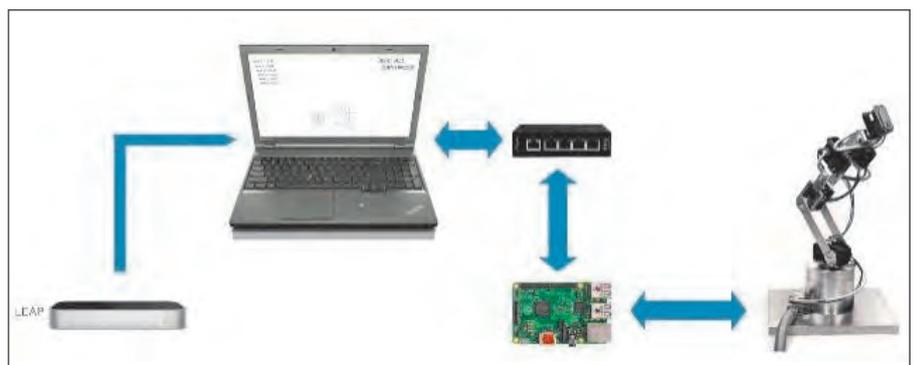


Bild 3: Leap-Motion Gestensteuerung

Kontakt: Ali Karim, M.Sc.
Ali.Karim@isw.uni-stuttgart.de

ROBOTER-PRAKTIKUMSZELLE



EIGENENTWICKLUNG ISW

Roboter sind heutzutage aus der automatisierten Industrie nicht mehr wegzudenken. Ihr Einsatz nimmt in den letzten Jahren stetig zu und die Absatzzahlen steigen wie kaum in einem anderen Sektor. Deshalb ist es ein Ziel des ISW, die Studierenden entsprechend auf diesen Trend vorzubereiten.

Um der hohen Relevanz der Roboter für die Automatisierung gerecht zu werden, hat das ISW eine Zelle aufgebaut, in der die Studierenden spielerisch, aber gleichzeitig mit wissenschaftlichem Hintergrund, die Handhabung solcher komplexen Systeme erlernen. **Bild 1** zeigt beispielsweise ein Pick-and-Place-Szenario, welches selbständig von Studierenden im Rahmen eines Praktikums programmiert, simuliert und in der Realität ausprobiert wird.



Bild 1: Handhabung mit dem Roboter

Neben den Praktika dient die vorhandene Zelle ebenso für Abschlussarbeiten, bei denen Studierende an aktuellen Fragen aus der Forschung arbeiten. Angetrieben vom Industrie 4.0 Gedanken, werden Kommunikationsstrukturen aufgebaut und erweitert, um dann, wie beispielsweise in **Bild 2** aufgezeigt, kooperierende Roboter für automatisiertes Weißbier-Einschenken zu programmieren. Weitere Projekte zur Online-Bahnmanipulation mithilfe verschiedener Sensorik oder die parametrische Bahngenerierung aus Matlab/Simulink sind nur einige der zahlreichen studentischen Abschlussarbeiten, die hier durchgeführt wurden.



Bild 2: Master-Slave-Demonstration

Kontakt: Ali Karim, M.Sc.
Ali.Karim@isw.uni-stuttgart.de

SEILROBOTER IM DEUTSCHEN PAVILLON – WELTAUSSTELLUNG EXPO 2015 IN MAILAND

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



Die Weltausstellung Expo 2015 in Mailand vom 01. Mai 2015 bis 31. Oktober 2015, fand unter dem Motto „Feeding the planet, Energy for Life“ statt. Der Deutsche Beitrag hat sich dabei sehr intensiv mit dem Thema auseinandergesetzt und leistete einen glaubwürdigen und authentischen Beitrag. Durch die Seilrobotertechnologie des ISW konnte den internationalen Besuchern ein atemberaubender Blick über Deutschland ermöglicht werden.

Bei der Weltausstellung Expo 2015 in Mailand hat sich die Bundesrepublik Deutschland mit einem mehrfach preisgekröntem Pavillon gezeigt. Das Motto der Weltausstellung „Feeding the planet, Energy for Life“ wurde dabei mit dem BIE award für die beste inhaltliche Umsetzung gekürt. Im Deutschen Pavillon wurde, auf mehrere Stationen verteilt, in einer den Besucher einbindenden interaktiven Art die Bedeutung nachhaltiger Ernährung und Energieversorgung für die kommenden Generationen gezeigt. Die Tour durch den Pavillon endete für den Besucher im Deutschen Kräutergarten, an den die künstlerische Show angeschlossen war.

Die Show mit zwei Musikern wurde von zwei parallelen Seilrobotern unterstützt, die über den Köpfen der Zuschauer schweben. An den Unterseiten der Seilroboter waren Projektionsflächen angebracht, welche den Flug über Deutschland aus Sicht einer Biene darstellen sollten. Den Entwurf beider Seilroboter und die Integration in den Showroom (siehe **Bild 1**) wurde von Junior-Prof. Andreas Pott erarbeitet. Der besondere Clou bestand in der verwendeten Technik: Durch parallele Seilroboter konnte ein großer Raum über dem Publikum bespielt werden. Die als Bienenaugen stilisierten Displays bewegten sich frei über dem Boden und boten eine ganz neue Perspektive (siehe **Bild 2**). Die Seile, mit denen die Seilroboter bewegt wurden, garantierten Sicherheit und zuverlässigen Betrieb und blieben dabei fast unsichtbar.

Im Rahmen der Arbeiten hat das ISW mit der Auslegung und Dimensionierung der Seilroboter wesentlich dazu beigetragen, die Anforderungen an die multimediale Technik mit der notwendigen Sicherheitstechnik zu

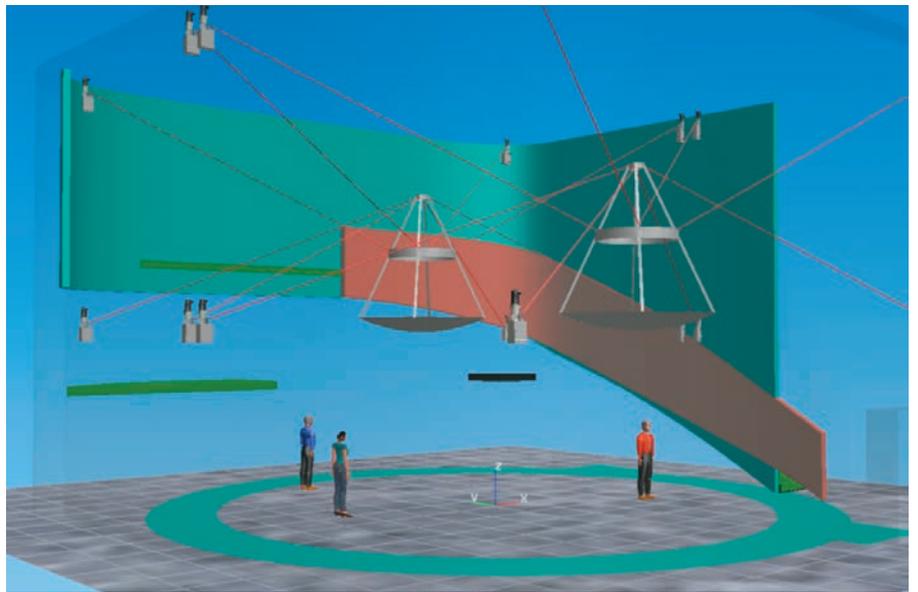


Bild 1: Erster Entwurf der Seilroboter für die Show im deutschen Pavillon, welcher aus zwei vollverspannten Seilrobotern besteht

verbinden. Die Leistungskenngrößen der Antriebe und die genaue Dimensionierung der Plattformen und Seilroboterrahmen standen dabei zu Beginn der Arbeiten im Fokus. Die größte Herausforderung bestand jedoch darin, eine Sicherheitsgenehmigung für das Betreiben der Seilroboter über den Köpfen der Zuschauer zu erhalten. Dabei wurden sowohl softwareseitige Sicherheitstests entwickelt, erprobt und implementiert, aber auch hardwareseitige Tests und Überwachungsmechanismen auf Basis von theoretischen Formeln und Berechnungen mit den Partnern von Fülling&Partner und ASM Steuerungstechnik erarbeitet.

Die softwareseitigen Sicherheitstests wurden als Erweiterung des Modellierungswerkzeugs Blender vom ISW bereitgestellt.

In dieser Umgebung können Bewegungen geprüft werden, die mit Werkzeugen des Instituts für Technische und Numerische Mechanik bereitgestellt wurden. Neben der Überprüfung, die Plattform nicht außerhalb des Arbeitsraumes zu bewegen und der kontinuierlichen Überwachung der Seilkräfte, wurden auch Dynamiktests durchgeführt. Entscheidend war hier die Limitierung der maximalen Geschwindigkeit in der Entwurfsphase, da die antreibenden Motoren nur eine maximale Geschwindigkeit von 1.2m/s zuließen (siehe **Bild 3**). Aber auch die Frage der Dynamik des Seilroboters bei einem eventuell eintretenden Notstopps war von Bedeutung: Beide Seilroboter durften nicht miteinander kollidieren oder an die Wand anstoßen. Ebenso wurde die maximal mögliche Verkipfung und -drehung der



Bild 2: Einer der beiden Seilroboter im Deutschen Pavillon auf der Weltausstellung EXPO 2015 scheint über den Köpfen der Zuschauer zu schweben
(© Deutscher Pavillon Expo Milano 2015/Jacopo Bianchini).

Plattform überwacht, damit die Seilroboter stets mit Hilfe der Seile kontrollierbar bleiben.

Zu den weiteren Arbeitspaketen des Instituts gehörte die Inbetriebnahme der Seilroboter und Generierung der Trajektorien für die Testfahrten. Dies wurde sowohl für den Testaufbau in Ludwigsburg bei Stuttgart im Jahr 2014, als auch für die finale Inbetriebnahme in Mailand im März 2015 durchgeführt. Bei dieser Inbetriebnahme und Kalibrierung der Seilroboter wurden mithilfe eines Lasertrackers die Koordinaten der Ablaufpunkte der Seile von den Winden und der Ankerpunkte an der Plattform

bestimmt. Mit diesen Daten konnte anschließend die inverse kinematische Transformation parametrisiert und die Seilroboter bewegt werden.

Nach abschließenden Tests der korrekten kinematischen Transformation und Beweglichkeit beider Seilroboter wurde auch die Sicherheitstechnik vor Ort noch einmal überprüft. Entsprechend vorbereitete Trajektorien, die bis an die technischen Grenzen gingen, konnten erfolgreich verifiziert werden. Die beiden Seilroboter wurden anschließend für den Showbetrieb frei gegeben und liefen bei mehr als 10 Stunden am Tag über mehr als 6 Monate ohne technische Probleme.

Für die finanzielle Unterstützung der Universität Stuttgart und des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg danken wir herzlich. Wir bedanken uns auch bei Milla & Partner für Ihre Einladung, Teil des EXPO-Teams zu sein. Besondere Anerkennung gilt Ingo Kaske und Ulrich Kunkel, die durch Ihren unermüdlichen Einsatz die Show im Deutschen Pavillon technisch und organisatorisch möglich gemacht haben.

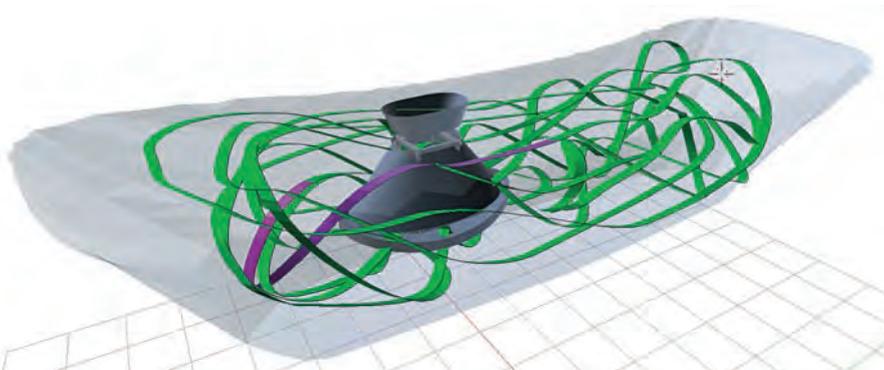


Bild 3: Visualisierung der Trajektorie eines Seilroboters mit der farblichen Codierung grün für erfolgreiche Tests und violett für fehlgeschlagene Dynamiktests

Kontakt: Dipl.-Ing. Philipp Tempel
Philipp.Tempel@isw.uni-stuttgart.de

DIENSTLEISTUNGEN FÜR DIE INDUSTRIE

Das ISW berät Industrieunternehmen rund um die am Institut bearbeiteten Forschungsthemen und hilft damit, den Transfer von 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:

- Steuerungskonzepte, -architekturen und -algorithmen
- Kommunikationstechnik
- (OPC UA, sercos, ProfiNet, EtherCat, TSN)
- Sondermaschinen
- Modellierung und Simulation
- Baukastenbasiertes Engineering
- FPGA-Lösungen
- Maschinen- und Komponentenoptimierung
- Auslegung von Antrieben
- Softwarearchitekturen
- Technologieberatung
- Regelungsverfahren, -parametrierung und -methoden
- Additive Fertigungstechnik
- Positioniergenauigkeitsuntersuchungen an Antriebssystemen
- Security-Analyse von Steuerungen

Schulungen und Seminare:

- Lageregelseminar
- Stuttgarter Innovationstage
- Steuerungstechnisches Forum
- Industriearbeitskreis Simulationstechnik
- Ethernet-basierte Kommunikation (OPC UA IN DER STEUERUNGS- UND AUTOMATISIERUNGSTECHNIK)
- Industriearbeitskreis
- Hardware-in-the-Loop-Simulation
- Stuttgarter Produktionsakademie

Kontakt: Dr.-Ing. Armin Lechler
Armin.Lechler@isw.uni-stuttgart.de

AUSZEICHNUNGEN

Das Institut sowie dessen Angehörige erhielten zahlreiche Auszeichnungen für internationale Forschungsprojekte und Lehrtätigkeiten.

Auf dem Kongress der **SPS Drives 2014** gewann Markus Birkhold (ISW Universität Stuttgart) den 3. Platz.



Expo Milano 2015: Deutscher Pavillon gewann in drei Kategorien bei den FAMAB-Awards:

- Red dot award
- Exhibitor expo award BEST PAVILION Winner – Germany Pavillon
- BIE award für die beste inhaltliche Umsetzung des Expo-Themas
- Nominierung DDC
- Best interactive Installation
- Best Thematic Exhibition – Bronze
- Best Public Event – Gold



Georg Schlesinger Preis 2016 für den ehemaligen Institutsleiter:

Gemeinsam mit Herrn Prof. Yusuf Altintas, Ph. D., Dr.-Ing. (hon) von der University of British Columbia (Kanada) wurde Herr Prof. i. R. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Günter Pritschow, ehemaliger Institutsleiter (1984–2005), mit dem Georg-Schlesinger-Preis des Landes Berlin ausgezeichnet. Die beiden renommierten Wissenschaftler erhielten die Auszeichnung für ihre wegweisenden Arbeiten auf dem Gebiet der Produktionstechnik.



Matthias Keinert, Armin Lechler und Alexander Verl – **Best Paper: 2016** IEEE 14th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC 2016), April 22–24, 2016, Auckland New Zealand.

LEHRE

3.1 VORLESUNGEN, ÜBUNGEN, PRAKTIKA UND KURSE

Das ISW bietet ein umfangreiches Vorlesungs- und Praktikumsangebot in den Bereichen Steuerungs-, Antriebs-, Simulations- und Robotertechnik. 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 Studieren-

den auch für studentische Arbeiten (Studien-, Bachelor-, Diplom-, Masterarbeiten, Beschäftigung als wissenschaftliche Hilfskraft) für das Institut zu gewinnen.

Vorlesung	WS 15/16	SS 16
Steuerungstechnik mit Antriebstechnik	300	–
Zusätzliche Übungen zur Steuerungstechnik	210	–
Steuerungstechnik II	35	–
Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter	–	110
Angewandte Regelungstechnik in der Produktionstechnik	–	22
Softwaretechnik für Prozessplanung und Leitsysteme I (entfällt, da Prof. Klemm im Ruhestand ist)	–	–
Grundlagen der Prozessrechentechnik und der Softwaretechnik (entfällt, da Prof. Klemm im Ruhestand ist)	–	–
Softwaretechnik für Prozessplanung und Leitsysteme II (entfällt, da Prof. Klemm im Ruhestand ist)	–	–
Modellierung, Analyse und Entwurf neuer Roboterkinematiken	–	13
Robotersysteme – Anwendungen aus Industrie und Servicerobotik	–	39
Robotersysteme – Anwendungen aus der Servicerobotik	40	–
Ölhydraulik und Pneumatik in der Steuerungstechnik	–	24
Automatisierung in der Montage- und Handhabungstechnik	–	54
Grundlagen der Bionik	–	30
Mechatronische Systeme in der Medizin – Anwendungen aus der Rehabilitation und Orthopädie	60	–
Steuerungstechnisches Praktikum	130	57
APMB (Allg. Praktikum Maschinenbau)	75	75
C/C++ Kurs	20	25

3.2 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.

2016

Müller-Riederer, Gregor

Entwurf und Implementierung von Methoden zur Online-Signalanalyse

Rüther, Benedikt

Untersuchung und Implementierung von konfigurationsraumbasierten Bahnplanungsalgorithmen

Gottschlich, Pascal

Entwicklung einer Methodik zur Erzeugung von Testzyklen für elektromechanische Vorschubantriebe

Yu, Jing

Implementierung diverser Verbesserungen für die nichtlineare Optimierung der Vorwärtskinematik von Seilrobotern

Hummel, Ferdinand

Entwicklung von krümmungstetigen Interpolationsverfahren (G2)

Schwaderer, Meike

Anbindung einer Echtzeitsimulationssoftware an eine Cassandra-Datenbank

Dyhringer, Robert

Entwicklung einer linearen Wirbelstrombremse zur Dämpfung elektromechanischer Vorschubantriebe

Weber, Dominik

Einbindung einer Kalibriereinrichtung an eine Steuerung und konstruktive Anbindung an eine kleine Werkzeugmaschine

Koch, Dominik

Entwicklung einer Plattform für die Evaluation verteilter Energiesparalgorithmen

Johansson, Anders

Development and Implementation of a Sensorless Control Method for Synchronous Motors

Badum, Lukas

Entwicklung eines Versuchsstandes für das Montieren von Turbinenschaukeln mit Robotern

Schwarz, Gerwin

Entwicklung von Überschleifverfahren mittels Cornu-Spirale

Bayer, Lisa

Implementierung und Untersuchung lernender Vorsteuerverfahren für die Regelung des Mehrgrößenmodells einer Werkzeugmaschinenvorschubachse

Chernev, Toma

Entwicklung von Interpolationsverfahren mittels Pythagorean Hodograph Kurven

Michalkowski, Carissa

Enhancing the Kinostatic Model of Cable-Driven Robots using Beam Theory to Analyze Modes of Vibration of a 1R2T Cable Robot

Trunzer, Stephan

Untersuchung und Erstellung eines Material- und Informationsflusskonzepts für die Booster2-Fertigung mit Integration von Industrie-4.0-Elementen

Rietzel, Daniel

Untersuchung und Optimierung des Aufwählprozesses mit Robotern

Lutchen, Ralf

Automatische Verschleißerkennung bei Transporteinheiten in einem direktangetriebenen, linearen Transportsystem

Mahlitz, Jannis

Konzeptionierung und Realisierung einer Steuerung sowie Entwicklung und Implementierung der direkten und inversen Kinematik für einen sechs-achsigen Roboterarm

Faul, Florian

Untersuchung der Positioniergenauigkeit eines Zahnstange-Ritzel-Antriebssystems

Herberger, Wolfgang

Experimental investigation of an omnidirectional and autonomous mobile robot to prove energy efficiency of a path planning algorithm

Weiß, Frank

Entwicklung und Validierung eines Algorithmus zur Generierung der Dynamikgleichungen für Industrieroboter

Hanke, Julian

Anwendung von maschinellem Lernen zur Lösung des inversen kinematischen Problems

Grieger, Dennis

Visuelle Anleitung von manuellen Tätigkeiten in der Montage mittels Augmented Reality

Schmid, Benjamin

Überwachung von manuellen Tätigkeiten in der Montage mittels Gadgets und Bildverarbeitung

Puviyarasan, Maduraipandiyan

Modules Devolpment for the Platform of an offline NC-System

Pfaff, Andreas

Design und Simulation einer Werkzeugmaschine für Laminated Object Manufacturing (LOM)

Mettler, Markus

Entwicklung eines wiederverwendbaren Frameworks zum Laden und Verwalten von Apps

Soldu-Becker, Mario

Marktanalyse zum Einsatz und den Möglichkeiten heutiger Leitsteuerungen im Rahmen von Industrie 4.0

Köpf, Christian

Entwicklung eines Verfahrens zur Regelung von Kraftprofilen bei Widerstandspunktschweißprozessen

Lodwig, Ragnar

Experimentelle Untersuchung des Verhaltens eines Seilroboters bei selbst- und fremderregten Schwingungen

Bergbauer, Florian

Qualifizierung einer Sensorik zur Detektion von Fehlschnitten an einer Festkörperlaser-Schneidanlage mit bewegtem Blech

Coko, Daniel

Erstellung eines Konzepts für die Integration einer elektromechanischen Vorschubachse in eine Leichtbaumaschinenstruktur

Merkle, Tim

Entwicklung eines Materialfluss-Simulators auf Basis der Unity Game Engine

Häcker, Dagmar

Produktivitätssteigerungen in 2D-Laserschneidanlagen und ihrer Entwicklung

Graser, Christian

Anbindung eines HIL-Systems zum automatisierten Steuerungssoftwaretest für eine herstellerunabhängige Testbench

Treiber, Tilman

Konstruktion einer astronomischen Montierung

Wulle, Frederik

Implementierung und Validierung einer Online-Identifikation von zeitvarianten Systemparametern einer Leichtbauwerkzeugmaschinenkinematik

Siebert, Witalij

Implementierung und Anwendung von Roboter-Skills am Beispiel Autotürmontage

Tröster, Mark

Entwicklung einer Regelungsplattform für ein Exoskelett der oberen Extremitäten und Implementierung mit dem Rapid Prototyping Tool dSPACE

Sollinger, Johannes

Regelung eines inversen Pendels über die Vorschubachse einer Werkzeugmaschine am Beispiel des Mehrmassenschwingers

Vlasov, Fedor

Optimierung der Fahrregelung eines elektrisch betriebenen dreirädrigen Reinigungsfahrzeuges

Adam, Johannes

Cloudbasierter teilautomatisierter Handarbeitsplatz über die Soft-SPS Codesys

Tasci, Timur

Konzeption und Validierung einer Gesamtarchitektur für die digitale Produktion

Sprunk, Sebastian

Modellierung und Regelung eines 5-Achs-Fräsmoduls

Schneider, Matthias

Konzeption und Umsetzung eines Demonstrators für eine cyber-physische Handhabungs- und Sortierzelle

Friedl, Sebastian

Entwicklung der Rechteverwaltung für einen Verzeichnisdienst auf Basis von OPC UA

Finke, Michael

Erweiterung des MERo (Marke Eigenbau Roboter) um einen externen Manipulator für die manuelle Bedienung sowie zum Einteachen von Punkten

Liu, Chang

Abgleich von Ethernet-basierenden Feldbus-Protokollen für die Powerline Kommunikation

Münster, Carlos

Umsetzung einer RepX-Schnittstellenerweiterung für NVIDIA PhysX zur interaktiven Physiksimulation

Henriksson, Andreas

Design and implementation of a framework for real-time control systems on hybrid FPGA-CPU platforms

Gehri, Dennis

Aufbau einer Laserscanner-Kalibriereinrichtung für mobile Roboterplattformen

2015

Zoll, Michael

Entwicklung und Aufbau eines kompakten 2D-Radarscanners für die Entfernungsmessung von Personen mit einem FMCW-Radar

Schanz, Thomas

Entwurf und Evaluierung verschiedener Regelungsansätze für eine körpergetragene Hebehilfe

Denz, Silas

Entwicklung eines Prüfstands für flexible Kraftübertragungstechnologien in aktiven Ellenbogen-Orthesen

Lange, Niklas

Criteria and Strategy for optimal Placement of suction cups for the Automation of a New Laser Cutting Machine

Frinell, Erik

Time Optimized Final Cut

Molander, Philip

Adaptive collision avoidance

Stiefel, Simon

Identifikation parametrischer Fehlermodelle für eine Werkzeugmaschine aus Kalibriermessungen zur Kompensation statistischer Maschinenfehler im gesamten Arbeitsvolumen

Engert, Daniel

Konstruktion und Integration eines Achsmoduls zur Erweiterung einer 3-Achs-Fräsmaschine auf 5-Achs-Bearbeitung

Kuttner, Kevin

Konzeption, Entwurf und Implementierung einer SPS-basierten Leitsteuerung für eine Modellfabrik

Sendetski, Michael

Konzeption, Entwurf und Implementierung einer SPS-basierten Leitsteuerung für eine Modellfabrik

Mahler, Martin

Weiterentwicklung eines neuartigen elektrostatischen Fluidisierbetts zur Herstellung von Elektroden für Speicherzellen

Barsaume, Markus

Entwicklung und Konstruktion eines hybriden Fräs-Druckzentrums

Pelzer, Marcel

Inbetriebnahme eines Schunk Roboterarms unter Einsatz von ROS

Bauer, Max

Klassifizierung von Lamellenpaketen mittels SOM und Ableiten von Montagevorschriften

Breuning, Patrick

Auslegung und Implementierung einer linearen modellprädiktiven Regelung für einen 3D-Drehkran

Birkenbach, Jens

Recherche und Untersuchung zur Medienversorgung der mobilen Plattform von Seilrobotern

Weng, Kailong

Entwurf und Implementierung eines Reglers für eine Multi-Achs-Kinematik

Wolf, Dirk

Konstruktion und Integration eines Achsmoduls zur Erweiterung einer 3-Achs-Fräsmaschine auf 5-Achs-Bearbeitung

Heinemann, Tonja

Integration eines OPC-UA-Servers in die Open-Source-Steuerung Beremiz

Majer, Stefan

Modellbasierte Schwingungsreduktion einer Leichtbaustruktur

Jordan, Florian

Technologiestudien für autonome Reinigungsroboter in der professionellen Büroreinigung

Wempe, Alexander

Trajektorien-Erfassung von Fördergütern mit Methoden aus dem Bereich der Bilderkennung und -verarbeitung

Brosinsky, Paul

Entwicklung eines Cloud-Treibers für Softwaresteuerung

Heidrich, Poldi

Entwicklung einer Störgrößenkompensation der Steuerung einer elektromotorischen Punktschweißzange

Xu, Tong

Simulative Vergleichsanalyse der Regelverfahren für Vorschubsysteme mit Lineardirektantrieb

Chen, Zhaowen

Entwicklung der Steuerungsarchitekturen für synchronisierte Regalbediengeräte

Daum, Markus

Integration eines portablen Versuchsstandes zur Messung von Schaltzeiten von Farbventilen für verschiedene Ventilversuchsstände

Dittrich, Manuel

Programmierung einer plattformunabhängigen App zur Organisation von Projekten

Dittrich, Manuel

Entwicklung einer Software zum Anzeigen des Stabilitätszustands beim Fräsen

Perino, Sebastian

Entwicklung und Konstruktion einer Aktoreinheit zur Erzeugung einer Nachgiebigkeit im Gelenk des ISELLA III-Roboterarms

Brandt, Lars

Konzeptionierung und Integration eines CFK-Greifsystems mit mehreren Manipulatorarmen an ein Robotersystem

Mäckle, Friedrich

Skalierbare Maschinenanbindung aus der Google Cloud

Rauch, Christian

Generische Modellierung von mechatronischen Dimensionierungsregeln in der teilautomatisierten Produktkonfiguration

Merkle, Tim

Generierung von Simulationskörpern für die Anlagen-Simulation aus CAD-Modellen

Häcker, Dagmar

Algorithmische Prozessdatenoptimierung von 2D-Laserschneidanlagen

Blaszczyk, Reiner

Design und Realisierung einer Schnittstelle zwischen der Indramotion MLC Robotik und dem Robot Operating System (ROS)

Gutenkunst, Alexander

Laser-based human motion tracking

von Freeden, Sebastian

Konzeption und Anforderungsdefinition einer interaktiven Prozessvalidierungs- und Optimierungsumgebung für die Umformtechnik auf Basis von ISG-virtuos

Legler, Philipp

Entwicklung eines automatisierten Benchmarkingtools für Manipulationsaufgaben

Mayenberger, Benedikt

Interaktionskonzepte bei Augmented Reality Anwendungen

Varisli, Filiz

Erarbeitung eines optimalen Einbaukonzeptes für die Traktionsbatterie am Beispiel der Audi A6 am Standort Neckarsulm

Ziegler, Patrick

Apriori G-Code-Analyse und -Optimierung unter Berücksichtigung dynamischer Eigenschaften einer Werkzeugmaschine zur Verbesserung des Bearbeitungsergebnisses

Schmidt, Arthur

Entwicklung einer intuitiven Benutzeroberfläche zur Konfiguration und Optimierung von Transferwerkzeugen in der Umformtechnik aus Basis von Unity 3D

Grimm, Jochen

Untersuchung der Anwendbarkeit eines Gyroskopsensors zur Roboteridentifikation

Überschuß, Benjamin

Konzeption, Auslegung und Konstruktion einer pneumatischen Fügeinheit für ein Lehrmodell

Scheifele, Christian

Entwicklung einer Prozesskette zur Umwandlung von CAD-Konstruktionsdaten in Modelldaten für die physikalische Materialflusssimulation

Heizmann, Alexander

Entwicklung und Bewertung von Klassifikationsalgorithmen für einen Instandhaltungsroboter

Weber, Stefan

Auslegung und Konstruktion einer Nivelliereinrichtung für die Bauplattform einer Laserschmelzanlage und Konzeption einer

Messanordnung zur Erzeugung von Stellgrößen für die Nivellierung

Kauffmann, Thomas

Konstruktion einer integrierten Wartungsbasis für den Seilroboter CoPacabana

Dripke, Caren

Planung kartesischer Bahnen im Achsraum eines Industrieroboters: Verfahren zur Optimierung der Stützpunktezahl

Schuler, Benjamin

Motion generation and adaptive control for precision high-speed point-to-point motion application

Wenzelburger, Philipp

Regelung von omnidirektionalen Plattformen auf unbekanntem Untergrund

Vlasov, Fedor

Inbetriebnahme und softwaretechnische Konfiguration eines embedded-linux-basierten Einplatinencomputers als Basis eines HIL-Systems

Walker, Nadine

Entwicklung einer MotionControl und der kinematischen Vorwärts- und Rückwärtstransformation eines Roboters

Hofmann, Ferdinand

Modellierung und Simulation sowie virtuelle Inbetriebnahme einer Servopresse

Ju, Ling

Kontinuierliches Lernverfahren mit neuronalen Netzen

Willkens, Tim

Modellieren, Parametrisieren und Parametrieren eines Seilroboterantriebs

Maurer, Andreas

FE-Analyse und Optimierung einer 5-Achs-Fräsmaschine

Gianuzzi, Michael

Untersuchung der Eignung kostengünstiger MEMS-Beschleunigungssensoren zur Messung von Strukturschwingungen an Werkzeugmaschinen

Ihringer, Simon

Mechanische Optimierung eines 3D-Druckers mit Integration von industrieller Steuerungstechnik

Falkenau, Franz

Akquisition von thermografischen Bilddaten und deren Verarbeitung zur Rissprüfung an Bahnradern

Sandler, Jonathan

Entwicklung eines Ansatzes zur Optimierung der Fräsparameter durch Messung der Betriebsschwingung

Eckhardt, Andreas

Realisierung eines EtherCAT-Masters für Einplatinencomputer

Lizenberger, Andreas

Realisierung der Ansteuerung und Kommunikation einer Rotationsachse an einer TWinCAT-Steuerung

Tasci, Timur

Entwurf von Methoden zur Darstellung von Baukastenstrukturen und deren Komponenten für das funktionale Engineering

Bruckmeier, Simon

Technische Umsetzung der Pedicellarien des Seeigels in ein Greiferkonzept für medizintechnische Anwendung

Brenner, Tobias

Erweiterung einer Finite-Elemente-Bibliothek durch neue strukturmechanische Standardkomponenten

Laumer, Nina

Untersuchung der Eignung der Laterne des Aristoteles als neuartiges bionisches Gerät für die technische Anwendung

Selzam, Daniel

Konzeption einer Kalibriereinrichtung an einer modularen Werkzeugmaschine

Körber, Jacob

Entwicklung und Bewertung von Bildverarbeitungsalgorithmen zur Objektklassifikation

Srivastava, Ankur

Aufbau einer Prozesssteuerung mit der Open Source SPS Beremiz auf einer BananaPi Plattform

Härtel, Marina

Gesicherter Datentransfer von Konfigurationsdaten einer Steuerung mit Qt

Merovci, Petrit

Experimentelle Modalanalysen an einem Industrieroboter (KR60)

Nitsche, Philipp

Implementierung und Validierung eines Input Shapers auf einer SPS zur Schwingungsreduktion in mechatronischen Antriebssystemen

Doser, Tobias

Untersuchung und Entwicklung von Algorithmen zur Vorverarbeitung, Segmentierung und Klassifikation von Objekten aus RGB-D-Sensordaten

Müller, Manuel

Entwicklung einer fotorealistischen Maschinenvisualisierung mittels einer Gameengine

Borges, Ricardo Esteves

Entwicklung eines Verfahrens für die Auslegung von Seilrobotern für gegebene Anwendungen

Deliktas, Tahsin

Konstruktion eines Demonstrators mit Gestensteuerung und Lambdakinematik

Welther, Patrick

Modellierung und virtuelle Inbetriebnahme einer 5-Achs-Fräsmaschine

Schmieder, Markus

3D-Bewegungssteuerung von Maschinen und Softwaretools mit 3D-Motion-Controllern

Schneider, Hendrik

Konzeptionierung und Konstruktion einer Platinenfräse

Weinert, Marlon

FEM-Simulation eines parallelkinematischen Werkzeugmaschinenkonzepts zur 5-Achs CNC-Bearbeitung

Wüst, Simon

Entwicklung eines Kontrollprogramms für Hardware-in-the-Loop-Simulationen

Neudorfer, Lukas

Erstellen eines kinematischen und dynamischen Simulationsmodells inklusive Visualisierung des IPAnema 3 unter Nutzung der Physics-Engine aus Blender

Haffner, Georg

3D-Bewegungssteuerung von Maschinen und Softwaretools mit 3D-Motion-Controllern

Springer, Philipp

Entwicklung und Implementierung eines Virtuos-Modells für die Stabkinematik des Linapod

Sun, Qiang

Modellierung eines Gefahrindex aus dem dynamischen Kollisionspotenzial in der Mensch-Roboter-Kooperation

Eilers, Jan

Konstruktion und Auslegung eines Stirlingmotors

Kocsis, Peter

Entwicklung und Aufbau eines lagegeregelten Panoramakopfes

Gulde, Ralf

Entwicklung und Validierung eines RGB-D-SLAM Algorithmus für ein autonomes Robotersystem

Maier, Christian

Bahnplanung für zeitsynchron bewegte Regalbediengeräte eines Hochregallagers

Ho, Wei Yang

Dynamische Modellierung und Trajektorienregelung eines Oberkörper-Exoskeletts mit 4 Freiheitsgraden

Tang, Yuting

Entwicklung einer Analysemethode auf Basis geometrischer und semantischer Information zur Freiheitsgradanalyse für die Demontageplanung

Wang, Erliang

Erstellen eines Regelkonzeptes zur energieoptimierten Klimatisierung von Bussen und Nutzfahrzeugen

Kuhn, Gundolf

Feldbusbasierte Erkennung von Maschinenkomponenten

Arefin, Shamsul

Simulationsunterstützte Lebensdauerprognose von hochbelasteten Kugelgewindtrieben

Sigle, Christian

Erstellen eines kinematischen und dynamischen Simulationsmodells inklusive Visualisierung des COPacabanaRobots unter Nutzung der Physics-Engine aus Blender

Pflüger, Robin

Konstruktion einer gestengesteuerten Scherenkinematik

Lobstedt, Tobias

Hochrüstung und Programmierung einer MTX CNC-Steuerung

Herre, Stefanie

Entwicklung eines Expertensystems zur Generierung von Roboteraktionen für Manipulationsaufgaben

Goldschmid, Sebastian

Analyse, Entwicklung und Bewertung von Verfahren zur optimalen Rotormontage elektrischer Antriebe

Stapf, David

Entwicklung einer synchronisierten Second-Screen-Anwendung zur Visualisierung und Steuerung von Werkzeugmaschinen

Groß, Sophia

Untersuchung zum Einsatz CNC-gesteuerter Roboter für biomechanische Prothesentests

Kohnle, Alexander

Modellierung und Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Regelgüte einer Maschinenachse

Gaebele, Daniel

FE-Modellierung und Untersuchung des Rotor-Magnetfeldes für einen elektrischen Antrieb aus der Automobilindustrie

Ziegler, Tim

Erstellung eines SPS-Programms zur Ansteuerung eines modularen Mehrmassenschwingers

Schwenk, Jochen

Konstruktion und steuerungstechnische Inbetriebnahme eines einwechselbaren 3D-Druckkopfes mit zugehöriger Materialzuführung

Lämmle, Max

Steuerung aus der Cloud für ein 5-Achs-Bearbeitungszentrum

Tran, Hieu

Entwicklung einer smartphonebasierten bzw. -gestützten Fernsteuerung von Seilrobotern

Henkel, Christian

Energieoptimale Pfadplanung für mobile Serviceroboter durch maschinelles Lernen

Amirpour, Leon

Untersuchung des Aufwältzgreifprozesses durch Simulation und Weiterentwicklung des Simulationsmodells

Epple, Matthias

Generation eines künstlichen Magnetfeldes zur Verbesserung der inertialen Navigation von chirurgischen Instrumenten

Mayer, Philipp

Entwicklung und Aufbau einer automatischen Ladestation für den Care-0-bot 4

Hummel, Heiko

Vergleich von Kaskadenregelung und Zustandsregelung für Werkzeugmaschinen-vorschubachsen am Beispiel des Mehrmassenschwingers

Zolynski, Johannes

Großflächige Mengenzählung von Halbzeugen mit Versatz in der Tiefe durch optische Erfassung der Stirnfläche

Breunig, Simon

Entwicklung eines kameragestützten Verspannungsprozesses für Seilroboter mit Seilkraft- und kartesischer Positionsregelung

Renz, Wolfgang

Mechatronische Auslegung und Konstruktion eines 6-Achs-Knickarmroboters im Laborbetrieb

Fausser, Simon

Entwicklung eines Augmented Reality Systems basierend auf der Oculus Rift und einer Stereokamera

Zareba, Jessica

Entwurf eines Regelungskonzepts für 3D-Druckköpfe

Molter, Benjamin

Kollisionsvermeidung bei der Roboterbewegung für Montageanwendungen mit Industrierobotern

Kinder, Patrick

Modellierung eines Zahnstange-Ritzel-Versuchsstands mit MATLAB/Simulink

Zhu, Da

Modellierung der Kinematik und Dynamik vollverspannter Seilroboter mittels Port-based Modelling in Matlab Simscape

Ling, Meng

Entwicklung und Implementierung einer Benchmarkapplikation für Echtzeit-Multicore-Systeme

Zhang, Qi

Simulation ereignisorientierter Produktionsplanung und -steuerung für die Industrie 4.0

Li, Zhefeng

Entwicklung eines sicheren Zugriffverfahrens für Steuerungssysteme auf Basis des PGP-Verfahrens

De Monte, Daniel

Konzeptionierung und Entwicklung einer Steuerung für einen Dauerlaufprüfstand unter Einbindung von Messhardware sowie Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche zur Ansteuerung und Verarbeitung der Messergebnisse

Lin, Kebin

Entwicklung eines Verfahrens zum lagegeberlosen Betrieb von Drehfeldmaschinen im Bereich kleiner Drehzahlen und Stillstand für den Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen

Du, Hao

Entwicklung einer Complex Event Processing Anwendung zur Ereignisverarbeitung in steuerungstechnischen Systemen

Lin, Yuming

Modellbildung und Reglerentwurf für ein Zahnstange-Ritzel-Antriebssystem in MATLAB / Simulink

Ockert, Philip

Optimale Roboterbahngenerierung für die Bearbeitung

Freitag, Clemens

Untersuchung und Umsetzung einer flachheitsbasierten Vorsteuerung für den Einsatz bei Vorschubachsen von Werkzeugmaschinen

Freitag, Clemens

Entwicklung eines Baukastensystems zur Implementierung von Modellgleichungen in einem SOPC-System

Ganter, Patrick

Entwicklung einer adaptiven Prozessregelung für eine nichtlineare Regelstrecke

Ganter, Patrick

Entwurf und Implementierung einer modellbasierten Regelung für eine Zahnriemenachse

Münster, Carlos

Betrachtung der NVIDIA PhysX hinsichtlich ihrer Parametriermöglichkeiten

Faix, Manuel

Entwurf und Umsetzung einer Konfigurationsoberfläche für XML-Files

Gutierrez, Carlos

Zeitoptimale Bahnplanung für Industrieroboter

Henriksson, Andreas

Implementation of a Profibus communication and adaptation of the existing PLC program in a rack-and-pinion test stand

Jin, Hao

Entwicklung und Validierung eines Modells zur automatisierten Erkennung von Prozessabweichungen in der Umformtechnik

Runtsch, Florian

Be- und Entladen von Werkzeugmaschinen mittels autonomer fliegender Drohnen

Muela, Joel

Inbetriebnahme eines 5-Achsmoduls fürs Fräsen und 3D-Druck

Baumeister, Fabian

Umsetzung eines mathematischen Modells zur Ansteuerung einer Parallelkinematik in eine industrietaugliche Steuerungsumgebung

Gronbach, Daniel

Modellbasierte Schwingungsregelung am Beispiel eines Hochregalbediengeräts

ABGEHALTENE PRÜFUNGEN

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

	Herbst 2014	Frühjahr 2015	Herbst 2015	Frühjahr 2016	Herbst 2016 (Anmeldezahlen)
Steuerungstechnik mit Antriebstechnik	83	315	111	336	140
Steuerungstechnik II	1	15	–	24	4
Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter	120	19	89	27	148
Angewandte Regelungstechnik in Produktionsanlagen	23	1	18	–	27
Softwaretechnik für Prozessplanung und Leitsysteme I/II	14	6	21	6	9
Grundlagen der Prozessrechentchnik und der Softwaretechnik	–	7	–	1	–
Robotersysteme – Anwendungen aus der Industrie und Servicerobotik	14	1	34	–	50
Robotersysteme – Anwendungen aus der Servicerobotik	1	28	3	42	10
Automatisierung in der Montage- und Handhabungstechnik	10	5	24	8	54
Ölhydraulik und Pneumatik in der Steuerungstechnik	9	1	13	–	24
Modellierung, Analyse und Entwurf neuer Roboterkinematiken	9	–	8	–	13
Mechatronische Systeme in der Medizin – Anwendungen aus Orthopädie und Rehabilitation	1	56	11	65	36
Grundlagen der Bionik	14	3	47	1	30
Planung von Robotersystemen	–	–	–	3	2

EXKURSIONEN FÜR STUDIERENDE

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

Eintägige Exkursion nach Nürnberg auf die **SPS/IPC/Drives**, eine der weltweit größten Messe im Bereich der Automatisierungstechnik.



Eintägige Exkursion nach München auf die **AUTOMATICA**, weltweit größte Messe für Robotik.



Halbtägige Exkursion zu **RotoFrank** nach Leinfelden, ein Unternehmen das Tür- und Fensterbeschläge herstellt.



Quelle: <http://www.roto-frank.com>



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 Erstsemester am ISW



Besichtigung der ISW-Versuchsfelder mit anschließendem gemütlichem 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.

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.

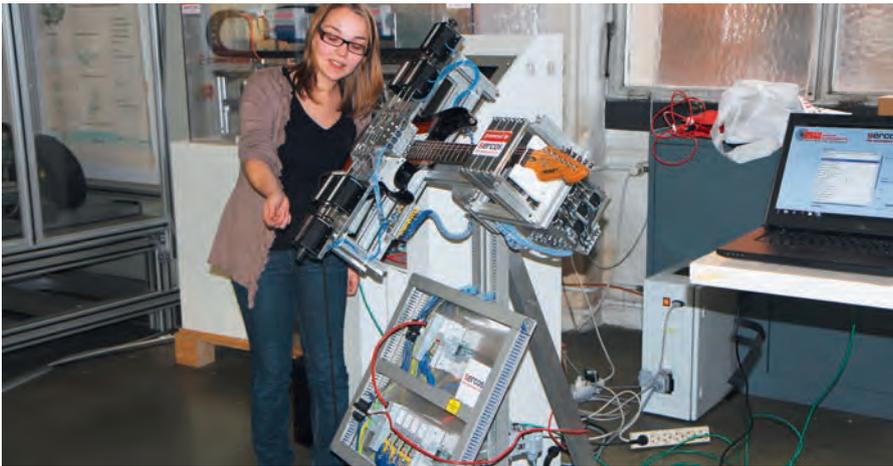
Sommerliche Grillabende: Damit sich die Studierenden der „ISW-Familie“ angeschlossenen fühlen und sich gegenseitig über Jahrgangsgrenzen hinweg besser kennenlernen und vernetzen können, bietet das ISW Grillabende und Hocketse an.



Studenten-Hocketse mit Grillen im Hof des ISW



ViKick-WM: Im Rahmen einer Projektarbeit dürfen die Studierenden an realen SPS, gekoppelt mit einer Echtzeitsimulationsumgebung, einen virtuellen Tischkicker programmieren. Schwerpunkt liegt in der Implementierung der Spielertaktik und Spielintelligenz. Den Abschluss des Projekts bildet eine ViKick-WM, in der die Mannschaften gegeneinander antreten um Pokal und einen Gutschein zu einem gemeinsamen Event wie Paintball oder Kartfahren zu gewinnen.



Robotik-Band: Im Rahmen von Projektarbeiten dürfen die Studierenden eine Robotik-Band konzipieren und aufbauen. Jeweils ein „Roboter“ spielt ein reales Instrument (Gitarre, Keyboard, Schlagzeug). Die Studierenden lernen so spielerisch den Umgang mit der Steuerungstechnik und den Aufbau von mechatronischen Systemen.



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 die Entfernung des Spanferkels zum Feuer wird automatisch eingestellt.



Girlsday-Mädchen-Zukunftstag an der Uni Stuttgart: Zahlreiche Institute und Einrichtungen hatten spannende und verblüffende Aktionen für Schülerinnen aus Stuttgarter Gymnasien vorbereitet, um zu zeigen, dass Experimentieren, Forschen und Bauen nicht nur was für Jungs sind! Dabei gab es Veranstaltungen für unterschiedliche Altersgruppen. Neben der Möglichkeit, die Uni von innen zu erleben, wurden faszinierende Einblicke in die Arbeit von Natur- und Ingenieurwissenschaftlerinnen sowie die seltene Chance geboten, auch selbst aktiv zu werden.

Am ISW fand eine Maschinenhallenrallye statt und jedes Mädchen konnte einen Schlüsselanhänger mit selbstentworfenem Motiv und dazu selbst geschriebenem NC-Programm herstellen.

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 FISW GmbH).



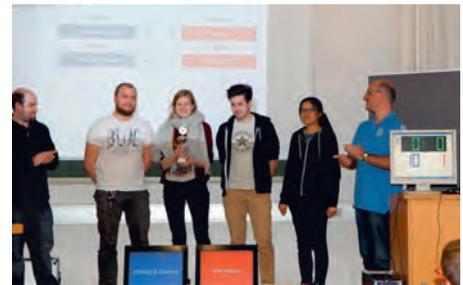
Die feierliche Verleihung findet alljährlich an der Weihnachtsfeier des Institutes statt



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 gemeinsamen Kartfahren

ISW ACADEMY

Die ISW Academy hat sich zum Ziel gemacht, gute Studierende mit Interesse an Steuerungs- und Automatisierungstechnik während ihres Studiums zu unterstützen und zu fördern. Denn Steuerungstechnik besteht aus mehr als nur aus Vorlesungen.

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 Treffen könnt Ihr euch außerdem mit ehemaligen Mitarbeitern auf unseren Veranstaltungen austauschen und Kontakte knüpfen. Externe Trainer bieten Euch ein Bewerbungstraining an und auf Schulungen könnt Ihr euch jederzeit weiterbilden. Falls Ihr mehr Lust habt Euer Wissen umzusetzen, suchen wir regelmäßig Studierende, die uns als Hiwis unterstützen und selbstständig an spannenden Themen arbeiten. Und was natürlich nicht fehlen darf sind die Ausflüge und Veranstaltungen an denen Ihr als exklusives Academy Mitglied teilnehmen könnt. Sei es mit einem Maß auf dem Wasen oder beim Spanferkelgrillen. Steuerungstechnik kann „mehr“.



Video unter <https://www.youtube.com/watch?v=cXJBWYXXZKM>

Wie wirst Du ISW Academy Mitglied?

Wenn Ihr Lust habt ISW Academy Mitglied zu werden, dann schreibt uns einfach eine E-Mail mit Eurem Namen, Studienfach und Studiumsbeginn, Eurem Lebenslauf und einer kurzen Beschreibung was Ihr bereits mit dem ISW zu tun hattet an:

academy@isw.uni-stuttgart.de

Wir freuen uns auf Eure Bewerbungen!



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 192 von Prof. A. Verl. Seit 2013 werden die ISW-Dissertationen im Fraunhofer Verlag Stuttgart in der Reihe „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ publiziert.

2016

FRAMEWORK FÜR DIE ENERGIE-OPTIMALE ANSTEUERUNG VON WERKZEUGMASCHINEN

Schlechtendahl, Jan

Die Arbeit stellt ein Framework für die energieoptimale Ansteuerung von Werkzeugmaschinen vor. Über das Framework können unterschiedliche Maßnahmen zur energieoptimalen Ansteuerung einfach und kostengünstig umgesetzt werden. Das Framework übernimmt dabei die Anbindung der Maßnahmen an die Werkzeugmaschine sowie deren Ausführung.

Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016,
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 50
ISBN: 978-3-8396-0983-5

ENERGIEEFFIZIENTER BETRIEB VON KÜHLSCHMIERSTOFF-REINIGUNGSANLAGEN MIT ANSCHWEMMFILTERN

Rahäuser, Raphael

In dieser Arbeit wird ein Verfahren zum energieeffizienten Betrieb von Kühlschmierstoff-Reinigungsanlagen mit Anschwemmfiltern vorgestellt. Mit diesem wird der Förderstrom durch die Filter über eine Regelung bedarfsgerecht angepasst, wodurch der Energieeinsatz bei geringerem Bedarf reduziert wird. Zusätzlich wird über ein Berechnungsmodell der Druck in der Filterkammer rekonstruiert, der sich im unregelmäßigen Betrieb ergeben würde. Mithilfe des berechneten Wertes kann der Zeitpunkt einer erforderlichen Filterregeneration erkannt werden. Das Verfahren wurde an einer Anlage erfolgreich nachgerüstet und führte zu einer Energieeinsparung von 62 Prozent.

Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016,
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015,

Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 52
ISBN: 978-3-8396-1016-9

FORCE CONTROL OF CABLE-DRIVEN PARALLEL ROBOTS – KRAFTREGELUNG VON PARALLELEN SEILROBOTERN

Kraus, Werner

In Seilrobotern werden Seile zur Kraftübertragung eingesetzt. Da Seile nur Zugkräfte übertragen, stellen Seilroboter hohe Anforderungen an die Regelung. Die in dieser Arbeit zu Grunde gelegten Seilroboter besitzen mehr Seile als Bewegungsfreiheitsgrade der Plattform und zählen damit zur Klasse der redundanten Roboter. Die Redundanz erlaubt es, die Seile gegeneinander zu verspannen. In dieser Arbeit werden Kraftregler für die Regelung der internen Verspannung der Seile und der externen Kräfte zwischen Roboterplattform und der Umgebung entwickelt und verifiziert.

Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016,
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 49
ISBN: 978-3-8396-0979-8

UNTERSUCHUNGEN ZUR EIGNUNG MIKROHYDRAULISCHER ANTRIEBE FÜR DIE MINIMAL INVASIVE CHIRURGIE

Cuntz, Timo

Operationen mit dem Endoskop sind anspruchsvoll und verlangen von Chirurgen ein hohes Maß an Fingerfertigkeit. Endoskopische Instrumente mit hydraulischem Antrieb sollen Ärzte künftig bei minimalinvasiven Eingriffen unterstützen. Sie lassen sich besonders feinfühlig bedienen und vereinfachen das sichere Greifen von Gewebe. Die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für diese Entwicklung liefert diese Arbeit.

Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016,
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 53
ISBN: 978-3-8396-1023-7

GANZHEITLICHE METHODE ZUR AUSLEGUNG VON REINRÄUMEN MIT DEFINIERTER ORGANISCHER LUFTREINHEIT

Keller, Markus

Aus vielen in Reinraumbau verwendeten Materialien treten gasförmige Verbindungen in die umgebende Atmosphäre aus. Dieses sogenannte Ausgasen führt zur Kontamination der Produktionsumgebung mit luftgetragenen chemischen Verunreinigungen (ACC). Einige flüchtige organische Verbindungen (VOC) wie beispielsweise Amine, Organophosphate, Phthalate und Siloxane können dabei immense irreversible Produkt- und Prozessschäden verursachen.

In den meisten reinen Fertigungen müssen demnach ausgasungsarme Materialien verwendet werden, welche zusätzlich keine der genannten kritischen Verbindungen in deren Ausgasungsspektrum enthalten.

In der vorliegenden Arbeit wird für eine gezielte Materialauswahl das Ausgasungsverhalten aller relevanten Materialien bestimmt und klassifiziert. Mit einem experimentell verifizierten Simulationsmodell werden drei neue Produktionsumgebungen hinsichtlich geringer VOC-Belastung geplant und erbaut. Abnahmemessungen demonstrieren letztendlich den Erfolg einer zielgerichteten Materialauswahl hinsichtlich einer optimierten organisch-chemischen Luftqualität.

Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016,
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 51
ISBN: 978-3-8396-1000-8

MODELLBASIERTE SOFTWARE-ENTWICKLUNG FÜR MOBILE MANIPULATOREN IM INDUSTRIELLEN EINSATZ

Bubeck, Alexander

Roboter, die Mobilität und Manipulation verbinden, stehen in immer größerer Anzahl für den Einsatz in Wissenschaft, aber auch in industriellen Anwendungen zur Verfügung. Jedoch ist die Softwareentwicklung durch die hohe Anzahl an Aktoren und Sensoren für solche Robotersysteme aufwändig und komplex. Eine Nutzung ist im industriellen Kontext daher oft nicht wirtschaftlich. Ziel dieser Arbeit ist eine Verbesserung der Softwareentwicklung durch modellgetriebene Entwicklungsmethodik herbeizuführen, um durch geringeren Aufwand, durch verstärkte Wiederverwendung bestehender Software und durch das bessere Separieren von Expertenwissen die Entwicklungskosten zu senken.

Dazu wird im Rahmen dieser Arbeit eine direkte formale Beschreibung des ROS Komponentenframeworks als Meta-Modell entwickelt, auf dessen Basis eine Entwicklungstoolchain umgesetzt wird. Die konzeptionelle Nähe zu den bestehenden Mechanismen innerhalb des Komponentenframeworks ermöglicht eine schnellere Akzeptanz bei ROS Entwicklern sowie die Wiederverwendung bestehender ROS Komponenten. In der Umsetzung des Meta-Modells wird dabei die Auftrennung von Entwicklerrollen und -belangen umgesetzt. Zudem wird durch Modelltransformationen eine Unterstützung von anderen Roboterframeworks und Meta-Modellen implementiert.

Die entwickelte Toolchain wird in dieser Arbeit im Rahmen von drei Case Studies auf Roboterentwicklungsprozesse angewandt und bzgl. Wiederverwendbarkeit, der Auftrennung von Nutzerrollen und des Entwicklungsaufwands analysiert. Dabei kann eine Effizienzsteigerung und eine Verbesserung von Wiederverwendungsmetriken gezeigt werden. Mit Hilfe einer Entwicklerbefragung wird zudem eine qualitative Verbesserung von Entwicklungsprozessen für mobile Manipulatoren durch die modellbasierte Toolchain nachgewiesen.

Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016, Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015 Stuttgartar Beiträge zur Produktionsforschung, 54 ISBN: 978-3-8396-1033-6

2015

NUMERISCHE VERFAHREN FÜR POLYNOMSYSTEME MIT ANWENDUNGEN IN DER ROBOTIK

Groh, Friedemann

Zur Steuerung von Robotern und Werkzeugmaschinen werden Systeme multivariater Polynome gelöst. Diese Gleichungen lassen sich in ein äquivalentes Eigenwertproblem transformieren. Dadurch können die gesuchten Lösungen mithilfe der Eigenwerte und -vektoren in einem Schritt berechnet werden. Diese Methode wird auf allgemeine kinematische Ketten mit sechs Gelenken angewendet, so dass sich auch Roboter ohne Handgelenk steuern lassen. Jedoch ergibt sich ein Polynomsystem, welches auch mit den aktuellen Methoden zum automatisierten Umformen nicht in eine Eigenwertgleichung transformiert werden kann. Um das Problem zu lösen, nutzt man Eigenschaften der Euklidischen Bewegungsgruppe. Dafür wird die kinematische Transformation als Produkt aus Exponentialfunktionen für Matrizen dargestellt. Diese Produktformel gilt in allen Darstellungen der Gruppe. So ergibt sich ein Verfahren, das sich leichter implementieren lässt als bisher bekannte Methoden.

Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2015, Stuttgart, Univ., Diss. 2015 Stuttgartar Beiträge zur Produktionsforschung; 42 ISBN 978-3-8396-0882-1

MULTIMODAL OBJECT PERCEPTION FOR ROBOTICS

Browatzki, Björn

Die Fähigkeit, unbekannte Objekte zu erkennen und zu manipulieren, ist von entscheidender Bedeutung für Roboter, um in natürlichen Umgebungen arbeiten zu können. Da dreidimensionale Objekte allerdings aus unendlich vielen Ansichten betrachtet werden können, gestaltet sich ihre Erkennung und Klassifikation oft als äußerst schwierig. Im Rahmen dieser Dissertation sollen Wege untersucht werden, wie mittels Integration verschiedener Sensoriken dieses Problem gelöst oder vereinfacht werden kann. Zunächst werden Lösungsansätze motiviert, indem auf Aspekte der biologischen und maschinellen Objekterkennung eingegangen wird. Außerdem

wird der technische Hintergrund für die Entwicklung von Software für moderne Robotersysteme vorgestellt. Das Dokument gliedert sich in zwei Teile. Diese behandeln zwei Strategien für multimodale Objekterkennung mittels aktueller Robotikhardware.

Der erste Teil konzentriert sich auf die Klassifikation von Alltagsgegenständen (z. B. Tassen oder Bücher) mittels Tiefenmessung. Hierfür wurde eine neue Objektdatenbank aufgenommen, die eingesetzt wird um die Kombination von 2D und 3D Information zu untersuchen. Im zweiten Teil wird Objektmanipulation in den Erkennungsprozess integriert. Für den humanoiden Roboter iCub wurde eine Methodik entwickelt, die aktuelle und vorherige Messungen berücksichtigt, um den Objekterkundungsprozess zu steuern. Der Roboter hält hierbei ein Objekt in der Hand und bewegt dieses mit dem Ziel neue Objektansichten mit zusätzlicher Information zu generieren. Zusätzlich wird gezeigt, dass durch die weitere Betrachtung der Roboterbewegung, welche ausgeführt wurde, um eine Ansicht in die andere zu überführen, wichtige Information gewonnen wird. Diese ist besonders in Situationen mit widersprüchlicher visueller Information hilfreich Objekte korrekt zu identifizieren.

Stuttgart, 2015 Stuttgart, Univ., Diss., 2014, Elektronische Publikation

EINE NEUARTIGE ROBOTERKINEMATIK FÜR DIE LAPAROSKOPISCHE SINGLE-PORT CHIRURGIE

Sanagoo, Arash

Minimal invasive Operationstechniken haben sich in den letzten Jahren sehr schnell weiterentwickelt. Unter anderem konnte sich die roboterassistierte Laparoskopie auf dem Markt etablieren. Solche Systeme können jedoch sehr eingeschränkt für die Single-Port Laparoskopie eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde basierend auf einer sphärischen Parallelkinematik ein kompakter Manipulator entwickelt. Dieser Manipulator wird in erster Linie für die laparoskopische Single-Port Chirurgie genutzt.

Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2015, Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2015 Stuttgartar Beiträge zur Produktionsforschung, 43 ISBN: 3-8396-0863-5, ISBN: 978-3-8396-0863-0

ENTWURFSMUSTER FÜR DEN AUFBAU VON BAUKÄSTEN FÜR DAS FUNKTIONALE ENGINEERING

Buck, Raphael

Die Arbeit stellt einen Katalog aus mechatronischen Entwurfsmustern für die reproduzierbare Erstellung leicht zu wartender Baukästen für Funktionale Engineering Systeme (FES) vor. Um Optimierungspotenziale in vorhandenen Baukästen transparent und die Anwendung der entwickelten Entwurfsmuster messbar zu machen, werden Metriken zur Analyse von FES-Baukästen ermittelt. Die mechatronischen Entwurfsmuster werden zum einen benutzt, um Konzepte für firmenübergreifend wiederverwendbare Basisbaukästen zu entwickeln, womit sich Aufwände bei der Erstellung von Baukästen reduzieren lassen. Zum anderen werden mit Hilfe dieser Entwurfsmuster Konzepte erstellt, um den Einsatz von FES in Kooperationen zwischen Firmen zu ermöglichen.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2015,
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2014,
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, 41
ISBN: 978-3-8396-0828-9*

A USER-ORIENTED, COMPREHENSIVE SYSTEM FOR THE 6 DOF RECOGNITION OF ARBITRARY RIGID HOUSEHOLD OBJECTS

Fischer, Jan

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines intuitiv nutzbaren, umfassenden Systems zur Wahrnehmung von typischen Haushaltsgegenständen in Lage und Position. Im Rahmen dieser Arbeit wird der zugrundeliegende Wahrnehmungsprozess in die drei Teilgebiete Datenaufnahme, Objektmodellierung und Objekterkennung untergliedert. Mit dem Ziel, den Wahrnehmungsprozess in seiner Gesamtheit zu optimieren, werden spezifische Entwicklungen in den einzelnen Teilgebieten vorgestellt und evaluiert.

Als Grundlage der Wahrnehmung dienen korrespondierende Bilddaten von Farbkameras und 2.5-D Tiefendaten einer Tiefenbildkamera. Das Teilgebiet der Datenaufnahme wird oftmals nicht genauer untersucht, da im Allgemeinen angenommen wird, dass Kameradaten durch entsprechende Kamera-

systeme unmittelbar zur Verfügung stehen. Jedoch ist es möglich, durch Verfahren der Sensordatenfusion, verschiedene Kamerasysteme zu kombinieren, um eine Verbesserung der Kameradaten z.B. hinsichtlich räumlicher Abdeckung und Genauigkeit der Tiefendaten zu erzielen. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Verfahren entwickelt, um die Daten eines Stereokamerasystems mit den Daten einer Tiefenbildkamera zu kombinieren. Dabei werden die Daten der Einzelsysteme durch Aufstellung einer gemeinsamen Kostenfunktion mittels Belief Propagation kombiniert. Es wird gezeigt, dass dadurch die räumliche Abdeckung und Genauigkeit der Tiefendaten im Vergleich zu den genutzten Einzelsystemen gesteigert werden kann.

Im Bereich der Objektmodellierung stellt diese Arbeit eine Methode vor, die es ermöglicht, Objekte intuitiv mittels eines Robotersystems einzulernen. Dabei wird das Objekt im Greifer des Roboters platziert, worauf dieser das Objekt autonom modelliert. Relevante Daten zum Greifen und Erkennen des Objektes werden hierbei berechnet und in einem Objektmodell abgespeichert. Zusätzlich wird das Einlernen von Objekten mittels eines Drehtellers sowie mittels eines Schachbretts vorgestellt, um das Erstellen von Objektmodellen auch ohne Robotersystem zu ermöglichen. Eine grundlegende Arbeit zur Modellierung von Objekten wurde bereits in [AFV10] publiziert. Im Rahmen dieser Arbeit wird dieses Verfahren unter Benutzung des Bundle Adjustment Algorithmus weiter entwickelt. Des Weiteren entwickelt diese Arbeit zwei neue binäre Deskriptoren zur Modellierung und Erkennung von texturierten sowie texturlosen Objekten. Diese ermöglichen durch die Benutzung von einfachen Bit-Operationen das schnelle Berechnen von deskriptiven Merkmalen. In Bezug auf die Erkennung von texturierten Objekten wird ein neuer Deskriptor vorgestellt. Dieser basiert auf den Entwicklungen von Rublee et al. [RRKB11], besitzt jedoch neben der Invarianz gegenüber Änderungen in der Orientierung und Beleuchtung auch Invarianz gegenüber Änderungen in der Skala. Teile dieser Arbeiten wurden bereits in [FABV12] publiziert. In Bezug auf die Erkennung von texturlosen Objekten stellt diese Arbeit einen histogramm-basierten Deskriptor vor. Dieser berechnet mittels binären Operationen 2-D und 3-D Informationen, welche gemeinsam zur Beschreibung von Objektmerkmalen verwendet werden. Teile dieser Arbeiten wurden in [FBAV13] veröffentlicht.

Im Teilgebiet der Objekterkennung werden die vorgestellten Deskriptoren zur Erkennung unterschiedlicher Objekte verwendet. Um die Erkennungsrate zu verbessern, werden im Verlauf der Datenassoziation räumliche Beschränkungen eingeführt. Dadurch wird die räumliche Ausdehnung eines Objektes explizit beachtet. Um texturlose Objekte zu erkennen, wird ein adaptives Sliding Window Verfahren entwickelt, welches die Größe des Suchfensters basierend auf den gemessenen Tiefendaten sowie der bekannten Größe des Objektes dynamisch bestimmt.

Die vorgestellten Algorithmen sind eingebettet in ein modulares Softwaresystem, welches auf dem Serviceroboter Care-O-bot 3 sowie auf separaten Einzelsystemen lauffähig ist. Die Einzelkomponenten werden unter Verwendung von Standard-Datensätzen sowie selbst erstellten Aufnahmen von typischen Haushaltsgegenständen separat evaluiert.

*Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2015,
Stuttgart, Univ., , Diss. 2015,
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 44
ISBN 978-3-8396-0891-3*

ENTWICKLUNG EINES VERTEILTEN ENERGIEMANAGEMENTSYSTEMS

Brix, Jonathan

Traktionsbatterien bestimmen durch ihre hohen Kosten den Verkaufspreis von Elektrofahrzeugen und tragen dadurch zu geringer Marktakzeptanz dieser bei. Eine Traktionsbatterie besteht nicht nur aus dem Energiespeicher selbst, sondern unter anderem auch aus einer Überwachungseinrichtung – dem Batteriemanagementsystem (BMS). Das BMS soll einen fehlerfreien und sicheren Betrieb der Komponente Batterie sicherstellen. Da BMS individuell für jedes Fahrzeug entwickelt werden, ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, einen Ansatz zu finden, BMS einheitlich zu gestalten und somit eine Möglichkeit zu schaffen, die Kosten der Batterie zu senken.

*Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2015
Stuttgart, Univ., Diss. 2015
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 46
ISBN 978-3-8396-0909-5*

FEHLERTOLERANTE NUMERISCHE STEUERUNG

Bock, Hans-Peter

Die andauernde Leistungssteigerung von Rechnern nach dem noch geltenden Moore'schen Gesetz ermöglicht computerbasierten numerischen Steuerungen den Einsatz in Anwendungsbereichen, die bisher allein dem Menschen vorbehalten waren. Damit werden numerische Steuerungen vermehrt auch in sicherheitskritischen Anwendungen eingesetzt wie beispielsweise der minimal invasiven Chirurgie. Dieser Anwendungsbe- reich stellt sehr hohe Anforderungen an die Sicherheit des Assistenzsystems. Aus die- sem Grund sind diese Systeme fehlersicher ausgelegt und gewährleisten, dass ein inter- ner Fehler des Systems einen Patienten nicht unmittelbar verletzt. Um dieser Anforderung gerecht zu werden nehmen bestehende Systeme zur Erhöhung der Sicherheit eine Reduktion der Zuverlässigkeit in Kauf. Zukünftig ist dies nicht weiter ausreichend, da bestimmte Operationstechniken bei Aus- fall des Assistenzsystems nur durch einen deutlich größeren manuellen Eingriff wei- tergeführt werden können oder im schlech- testen Fall überhaupt nicht möglich sind. Eine Aufgabenstellung liegt hierbei darin, eine fehlertolerante numerische Steuerung zu entwerfen, welche den bestehenden Sicherheitsanforderungen gerecht wird und gleichzeitig die Zuverlässigkeit gegenüber bestehenden Systemen deutlich erhöht. Her- ausfordernd ist dabei, dass möglicherweise in der Steuerung auftretende Fehler zu keiner Konturverletzung der Sollbahn führen dürfen. Diese Arbeit untersucht hierzu bestehende Ansätze zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Systemen sowie ein Operationsassis- tenzsystem, das die Sicherheit dessen numerischer Steuerung erhöht. Dabei wird der fehlersichere Ansatz des Operationsas- sistenzsystems um Fehlertoleranz erweitert. Das Ziel ist der Entwurf eines numerischen Steuerungssystems das durch Redundanz auf Basis einer Mehrheitsentscheidung interne Fehler maskieren sowie fehlerhafte redundante Einheiten durch Rekonfiguration ausgliedern kann, so dass keine fehlerhaften Sollwerte ausgegeben werden. Das System weist damit nach außen hin eine fehlerfreie Funktion auf, so dass ein begonnener Bear- beitungsprozess ohne Unterbrechung zu Ende geführt werden kann.

*Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2015
Stuttgart, Univ., Diss. 2015
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 45.
ISBN 978-3-8396-0890-6*

2014

HEURISTISCHES SUCHVERFAHREN ZUR OBJEKTLAGERKENNUNG AUS PUNKTEWOLKEN FÜR INDUSTRIELLE ZUFÜHRSYSTEME

Palzkill, Matthias

In dieser Arbeit wird ein heuristisches Ver- fahren zur Objektlagererkennung für auto- matisierte Zuführsysteme vorgestellt, das erfolgreich im industriellen Einsatz an zehn automatisierten Zuführsystemen erprobt werden konnte.

Zur Erfassung der Szene, einem mit cha- otisch gelagerten Werkstücken gefüllten Ladungsträger, kann ein beliebiges Sensor- system zur Tiefenmessung genutzt werden, aus der eine Punktwolke erhalten wird. Die Objektlagererkennung wird dann als kombi- natorisches Optimierungsproblem betrachtet und hierfür eine Konstruktionsheuristik ange- wendet. Für diese heuristische Baumsuche wird aus dem kontinuierlichen Suchraum zunächst eine endliche Menge an möglichen Werkstücklagen gebildet.

Für die Verwendung eines Entscheidungs- baums werden die Elemente der Suchmenge in zwei Komponenten aufgespalten. Die erste Komponente beschreibt einen interessanten Punkt innerhalb des Suchraums, der sich auf der Werkstückoberfläche befindet. Die zweite Komponente beschreibt eine mögliche Werk- stücklage relativ zu einem interessanten Punkt. Die hierdurch erhaltenen Teilsuch- mengen weisen eine signifikant geringere Komplexität gegenüber der ursprünglichen Suchmenge auf, da die interessanten Punkte eine Zwangsbedingung an die relativen Werkstücklagen stellen können und hierüber deren Bewegungsfreiheit einschränken.

Als Suchstrategie der Baumsuche wird eine Bestensuche verwendet. Die Bestensuche zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine heu- ristische Schätzung zu jedem Baumknoten abgeben kann, wie weit die Entfernung des Baumknotens von einer Lösung ist und stets

denjenigen Weg weiterverfolgt, der am kür- zesten erscheint.

Die abschließende Evaluierung der Werk- stücklagen erfolgt durch eine sechsd- imensionale Hough-Abstimmung, die auch als Generalisierte Hough-Transformation bezeichnet wird. Die verwendeten Merkmale für die Hough-Abstimmung sind Sensor- messwerte, die relativ zu einem interes- santen Punkt betrachtet werden. Für jede Konstellation eines Sensormesswerts zu einem interessanten Punkt kann eine wahr- scheinlichkeitsbasierte Aussage über mög- liche zugehörige Werkstücklagen getroffen werden. Durch die Superpositionierung aller wahrscheinlichkeitsbasierten Aussagen kön- nen Lösungskandidaten gebildet werden, die anhand eines statistischen Tests einer Gütebewertung unterzogen werden. Mit Hilfe der erhaltenen Prüfgröße wird unter Berücksichtigung einer geforderten Signifi- kanz über die Annahme einer Werkstücklage entschieden.

*Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2014
Stuttgart, Univ., Diss. 2014
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 37
ISBN 978-3-8396-0784-8*

EIN VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN ERZEUGUNG INTELLIGENTER PROZESSÜBERWACHUNGSSYSTEME

Kaupp, Markus

Eine Voraussetzung für die Automatisierung von Produktionsprozessen ist die Existenz zuverlässiger Prozessüberwachungssysteme. Solche Systeme erfassen Sensordaten aus dem zu überwachenden Prozess und leiten daraus den aktuellen Prozesszustand ab. In dieser Arbeit wird ein Verfahren für die automatische Erzeugung von Prozessüber- wachungssystemen für beliebige zyklische Fertigungsprozesse vorgestellt. Die erzeug- ten Systeme verwenden dabei Methoden aus dem Gebiet des maschinellen Lernens.

Für die Umsetzung der automatischen Erzeugung wurde ein generisches Prozess- überwachungssystem implementiert, das mithilfe eines Optimierungsverfahrens an den zu überwachenden Fertigungsprozess angepasst werden kann. Für die Optimie- rung wird dabei ein eigens erweiterter Arti- ficial-Bee-Colony-Algorithmus eingesetzt.

*Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2014
Stuttgart, Univ., Diss. 2014
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 36
ISBN 978-3-8396-0780-0*

FUNCTION-BASED COST ESTIMATION FOR SERVICE ROBOT PROTOTYPES IN EARLY DESIGN PHASES

Blümlein, Nikolaus

Die frühzeitige Kostenabschätzung ist häufig eine Voraussetzung, um bei der Entwicklung komplexer Produkte deren Wirtschaftlichkeit beurteilen zu können. Die Verknüpfung zahlreicher technischer und wirtschaftlicher Faktoren stellt dabei für Systementwickler insbesondere in sehr frühen Phasen eine Herausforderung dar, in denen nur wenig mehr als die gewünschte Funktionalität bekannt ist. Da die Servicerobotik im Vergleich zu anderen Technologien noch relativ jung ist, verschärft der Mangel an Erfahrungswerten diese Problematik für Serviceroboterprodukte.

In dieser Arbeit wird ein Ansatz vorgeschlagen, der durch strukturelle Verknüpfung von typischen Serviceroboterkomponenten, -funktionalitäten und statistischen Kostenmodellen den Kostenschätzungsprozess unterschiedlicher Kostenaggregatsstufen für Serviceroboter-Prototypen in frühen Entwicklungsphasen erleichtert. Zusätzlich ermöglicht diese Vorgehensweise die Abschätzung von Stückkosten für kleine Stückzahlen.

Kernelemente der Arbeit sind die Entwicklung einer Design-Struktur-Matrix für Serviceroboter und die Modellierung von Hardware- und Softwarekosten. Mittels Strukturmatrix verknüpfte Roboterfunktionen sowie Hardware- und Softwarekomponenten ermöglichen die Ableitung der wesentlichen Bestandteile eines Prototyps aus gewünschten Fähigkeiten des Serviceroboters.

Für Hardwarekomponenten wurden basierend auf zentralen Eigenschaften mittels nichtparametrischer Regression individuelle Kostenmodelle erstellt. Für Softwarekomponenten bedient sich der Ansatz der analogiebasierten Aufwandsschätzung. Dazu wurden mehrere Hundert Module einer existierenden Open-Source-Softwareumgebung für Roboter analysiert und Kosten für deren Erstellung und Wiederverwendung

mittels heuristischer Daten abgeleitet. Die statistische Fundierung der Modelle ermöglicht neben Erwartungswert auch Standardabstand und Interquartilsabstand und lässt somit die Beurteilung der Schätzunsicherheit zu. Um den Schätzprozess zu unterstützen, wurde eine Softwareapplikation entwickelt.

Der Ansatz wurde an zwei unterschiedlichen Datensätzen verifiziert. Zum einen wurden für im Rahmen von EFFIROB entworfene Roboterskizzen Schätzungen erstellt und von Experten mit bestehenden Kostenschätzungen verglichen und beurteilt. Zum anderen wurde die Kostenschätzung für einen gebauten Prototypen mit ursprünglicher Kostenschätzung sowie tatsächlich angefallenen Kosten von einem der damaligen Entwickler gegenübergestellt.

*Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2014
Stuttgart, Univ., Diss. 2013
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 35
ISBN 978-3-8396-0749-7*

NEUARTIGER PIEZOELEKTRISCHER MIKRO-BIEGEAKTOR ALS SCHALLWANDLER IN EINEM IMPLANTIERBAREN HÖRGERÄT

Kaltenbacher, Dominik

Weltweit leiden ca. 500 Millionen Menschen unter Schwerhörigkeit. Insbesondere bei hochgradiger Beeinträchtigung des Hörvermögens können aktive Mittelohrimplantate die Lebensqualität der betroffenen Patienten erhöhen. In der vorliegenden Arbeit wird ein neuartiger piezoelektrischer Mikro-Biegeaktor als Schallwandler für ein aktives Mittelohrimplantat vorgestellt und untersucht.

Basierend auf einer Analyse der geometrischen und akustischen Verhältnisse am Implantationsort werden Anforderungen an den Wandler formuliert und ein Lösungskonzept für dessen Realisierung vorgestellt. Ein neuartiger piezoelektrischer Mikro-Biegeaktor mit kreisförmiger Außengeometrie ist rechnerisch in der Lage, die audiologischen Anforderungen an den Schallwandler eines implantierbaren Hörgeräts zu erfüllen. Für die Erfüllung der Anforderungen ist die optimale Auslegung des Aktors essentiell. Das in der Arbeit hergeleitete elektromechanische Modell ermöglicht die Berechnung wichtiger Aktoreigenschaften wie Auslenkungs-

amplitude, Kraft und Resonanzfrequenz in Abhängigkeit von Aktorgeometrie, Materialparametern und anliegender elektrischer Wechsellspannung. Die Modellierung ist Voraussetzung für die Aktordimensionierung und nimmt einen wesentlichen Teil der Arbeit ein.

Die Realisierung und Charakterisierung von Aktorfunktionsmustern erlaubt die Evaluierung des Aktorprinzips und die Verifikation der erarbeiteten Modelle. Die Messergebnisse zeigen eine insgesamt gute Übereinstimmung mit den errechneten Kenndaten. Ein Ausblick am Ende der Arbeit beschreibt Optimierungsmöglichkeiten sowohl für den Schallwandler als auch für das Gesamtkonzept des Implantats. Gelingt es, diese Optimierungen umzusetzen, steht ein leistungsfähiges Hörgerät zur Verfügung, das die akustischen Vorteile eines Implantats ausschöpft und gleichzeitig minimal-invasiv implantiert werden kann.

*Stuttgart : Fraunhofer Verlag, 2014
Stuttgart, Univ., Diss. 2013
Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 34
ISBN 978-3-8396-0748-0*

HOCHSCHULKONTAKTE

Das ISW pflegt durch Stipendiaten- und Studentenaustauschprogramme Kontakte zu Universitäten in aller Welt.



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.



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



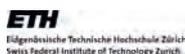
Russland:

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

ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

MITGLIEDSCHAFTEN

Das ISW pflegt intensive Kontakte zu folgenden Forschungseinrichtungen, Verbänden und Vereinen

AMA	AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V
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.
EXAPT	Verein zur Förderung des EXAPT-Systems e.V.
GI	Gesellschaft für Informatik e.V.
IFR	International Federation of Robotics
IZST	Interuniversitäres Zentrum für Medizinische Technologien Stuttgart – Tübingen
Kompetenznetzwerk Mechatronik	Kompetenznetzwerk Mechatronik BW e.V.
OPC Foundation	Object Linking and Embedding for Process Control (OPC) Foundation
PI International	Profibus (Process Field Bus) & Profinet (Process Field Network) International
SI/SERCOS	sercos international e. V. /Serial Realtime Communication System
TC Computational Kinematics	IFToMM Technical Committee of Computational Kinematics
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



MITARBEIT AN SELBSTVERWALTUNGSAUFGABEN DER UNIVERSITÄT

PROF. DR.-ING. A. VERL

- Mitglied des Fakultätsrats
- Studiendekan des Studiengangs „Mechatronik“
- Transfer Unit SimTech „Cluster of Excellence“
- PI SimTech, PI GSaME

JUN.-PROF. DR.-ING. A. POTT

- Mitglied des Fakultätsrats
- Mitglied des Exzellenzcluster SRC SimTech
- Mitglied der Transfer Unit von SRC SimTech
- Prüfungsausschussvorsitzender der Studiengänge „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“ und „Automatisierungstechnik in der Produktion (Dipl.-Ing.)“
- Mitglied der Studienkommission „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“
- Mitglied der Stipendienkommission für das Deutschlandstipendium

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

PROF. DR.-ING. A. VERL

- AUTOMATICA - Fachbeirat der Messe – Mitglied
- CIN – Werner Reichardt Centre for integrative Neuroscience – Exzellenzcluster – Principal Investigator
- CIRP (The International Academy for Production Engineering) – Associate Member
- DGR – Deutsche Gesellschaft für Robotik – Mitglied
- GSaME – Graduate School of Excellence in advanced Manufacturing Engineering – Mitglied
- IFR – International Federation of Robotics – Chairman of Research Committee
- ISR – International Symposium on Robotics – Chairman
- MHI e. V. – Wissenschaftliche Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik – Vorstandsmitglied
- SERCOS International – Vorstandsmitglied
- SimTech Cluster of Excellence – Stuttgart Research Centre for Simulation Technology – Principal Investigator
- WGP – Wissenschaftlichen Gesellschaft Produktion – Mitglied
- University of Auckland – Department of Mechanical Engineering – Honorary Professor

JUN.-PROF. DR.-ING. A. POTT

- Beirat des Vereins der Freunde des ISW
- Mitglied im Kernteam Geschäftsfeld Maschinen und Anlagenbau

- International Conference on Cable-Driven Parallel Robots (Chairman)
- IFTOMM Technical Committee Computational Kinematics (Member)
- Associate Editor für IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems

DR.-ING. A. LECHLER

- Leiter des sercos Kompetenzzentrum und Zertifizierungsstelle
- Mitglied des Sercos Steering Comitee (SSC)
- Mitglied der Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e. V. (DFAM)
- Mitglied der PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO)
- Mitglied der OPC Foundation
- Lenkungskreis Industrie 4.0 am Fraunhofer
- Mitglied im Kernteam ARENA 2036
- Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e. V. (VDW) – Mitglied

DIPL.-ING. A. ATMOSUDIRO

- Leiter der Arbeitsgruppe Conformance für Sercos
- Mitglied der Arbeitsgruppe Communication für Sercos
- Mitglied der Sercos Steering Comitee

DIPL.-ING. J. FRIEDRICH

- Mitarbeit bei VDI/VDE-GMA FA 7.21 Industrie 4.0 – Begriffe, Referenzmodelle, Architekturkonzepte

CH. SCHEIFELE, M.SC.

- Mitglied im VDI/VDE-GMA FA 6.11 „Virtuelle Inbetriebnahme“

T. TASCI, M.SC.

- Mitarbeit bei VDI/VDE-GMA FA 7.21 Industrie 4.0 – Begriffe, Referenzmodelle, Architekturkonzepte

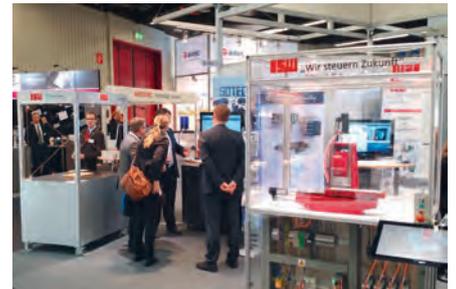
AKTIVE TEILNAHME AN MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

SPS/IPC/DRIVES 2014, NÜRNBERG:



SPS/IPC/DRIVES 2015, NÜRNBERG:

Messestand zu Cloud-basierter Steuerungstechnik und Security



EXPO 2015, MAILAND:

ISW-Aufgaben:

- Planung und Auslegung der beiden Seilroboter
- Steuerung der sicheren Bewegungen der beiden Plattformen
- Programmierumgebung für die Erzeugung der Show



Deutscher Pavillon Expo Milano 2015/ © Jacopo Bianchini

HANNOVER MESSE 2015:

Demonstration der Seilrobotertechnologie in Form einer haptischen Ein- und Ausgabegerätes



HANNOVER MESSE 2016:

In seiner Funktion als Finanz- und Wirtschaftsminister begutachtete Dr. Nils Schmid neueste Ergebnisse aus der 3D-Druck-Forschung am ISW (ein Ergebnis in Zusammenarbeit mit der Meshparts GmbH)



MASCHINENAUSSTATTUNG

Das ISW verfügt über einen vielseitig einsetzbaren Maschinenpark

Werkzeugmaschinen:

- Maho MH800E, CNC Fräsmaschine, Arbeitsbereich: X800 Y450 Z500 mm
- DMG DMC 650V, Arbeitsbereich: X650 Y520 Z475 mm
- DMG DMU 50 ecoMill, 5-Achs CNC Fräsmaschine, Arbeitsbereich: X500 Y450 Z400 mm
- Exeron Digma HSC600, 5-Achs CNC Fräsmaschine, Arbeitsbereich: X650 Y550 Z400 mm
- Hermle UWF, 3-Achs CNC Fräsmaschine, Arbeitsbereich: X850 Y630 Z500 mm
- Index V100, vertikale CNC Drehmaschine mit Parallelkinematik
- 7-Achs CNC „Modellfräsmaschine“
- Deckel FP3A, Universalfräsmaschine, Arbeitsbereich: X500 Y300 Z400 mm

Roboter:

- Kuka KR90
- Stäubli TX40, 2 Stück
- 7-Achs KUKA KR500-Roboter-Bearbeitungszelle
- Räumlicher Seilroboter COPacabana

Werkstattmaschinen:

- Bandsägen
- Tischbohrmaschinen
- Ständerbohrmaschine
- Schleifböcke
- Drehmaschine Weiler Praktikant140 Spitzenhöhe 140 mm Spitzenweite 650 mm
- Drehmaschine VDF Spitzenhöhe 230mm Spitzenweite 1000 mm
- Horizontalfachschleifmaschine Blohm
Schleiflänge 700 mm Schleifbreite 350 mm Schleifhöhe 425 mm

Sonstige Ausstattung:

- Versuchsstände Kugelgewindtrieb
- Versuchsstand Zahnstange-Ritzelantrieb
- Versuchsstand „Kleine Werkzeugmaschine“
- Linapod Stabkinematik als 3D-Drucker



7-Achs KUKA KR500-Roboter-Bearbeitungszelle

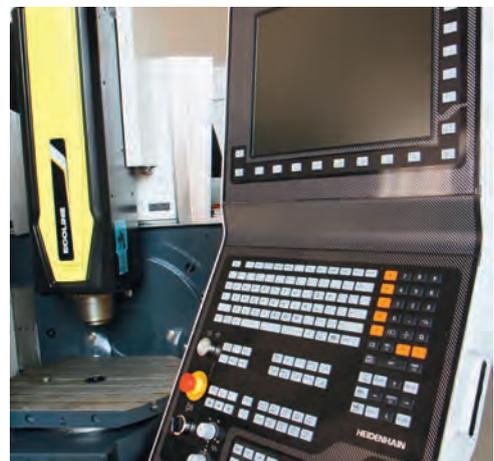


Stäubli TX40

DMG DMC 650 V



DMG DMU 50 ecoMill



VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE

2016

Apprich, S.; Wulle, F.; Lechler, A.; Pott, A.; Verl, A.:

Approach for a General Pose-dependent Model of the Dynamic Behavior of Large Lightweight Machine Tools for Vibration Reduction.

In: Procedia CIRP. Bd. 41 (2016), S. 812–817. – Research and Innovation in Manufacturing: Key Enabling Technologies for the Factories of the Future – Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems

Atmosudiro, A.; Verl, A.; Lechler, A.; Morán, X.:

An Interpolation Concept for Linear Blending Based on Cornu Spiral.

In: Procedia CIRP. Bd. 46, Elsevier (2016), S. 348–351

Braband, M.; Frick, F.; Lechler, A.; Verl, A.:

Process requirements-based adaptive PWM for improved efficiency of machine tool feed drives.

In: Proceedings of the International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, VDE Verlag, 2016, S. 256–263

Engelberth, T.:

Die Genauigkeit von Antriebssystemen steigern.

In: Media, V.B. (Hrsg.) MM Maschinenmarkt, (2016), Nr. 9, S. 56–57

Keinert, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

Concept of a Computerized Numerical Control Kernel for Execution on Multi-core Processors.

In: IEEE Advanced Motion Control, 2016, S. 599–604

Mottahedi, M.; Coupek, D.; Lechler, A.; Verl, A.:

Additive Manufacturing: Technology, Trends and Challenges.

In: The 6th International Conference on Economics, Management, Engineering Sciences and Art. Belgium, Brussels: International Center of Academic Communication, 2016

Tempel, Ph.; Verl, A.; Pott, A.:

On the Dynamics and Emergency Stop Behavior of Cable-Driven Parallel Robots.

*In: Parenti-Castelli, V.; Schiehlen, W. (Hrsg.); ROMANSY 21 – Robot Design, Dynamics and Control, Bd. 569. Switzerland: Springer Verlag and Springer International Publishing, 2016, S. 431–438
ISBN 978-3-319-33713-5*

Vieler, H.; Lechler, A.; Grimm, J.:

Online Calibration of Industrial Robots using Inertial Sensors.

In: ISR 2016: 47th International Symposium on Robotics Robotics in the era of digitalisation, VDE Verlag, 2016, S. 222–227

Vivanco, J. M.; Keinert, M.; Lechler, A.;

Verl, A.:

Analysis and Design of Computerized Numerical Controls for Execution on Multi-core Systems.

In: Procedia CIRP. Bd. 41 (2016), S. 864-869. – Research and Innovation in Manufacturing: Key Enabling Technologies for the Factories of the Future – Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems

Zahn, P.; Neubauer, M.; Lechler, A.:

Dynamiksteigerung von Vorschubantrieben.

In: Fortschritte in der Antriebs- und Automatisierungstechnik, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016, S. 194–203

2015

Akos, C.; Sommer, Ph.; Lechler, A.:

EcoBotics: Advantages and Challenges of building a Bamboo Robot Arm.

In: on Industrial Technology 2015 (ICIT), I.I.C. (Hrsg.). Seville, Spain, IEEE (2015)

Apprich, S.; Wulle, F.; Lechler, A.; Pott, A.;

Verl, A.:

Pose-Dependency of Machine Tool Structures: Appearance, Consequences and challenges for Lightweight Large-Scale Machines.

In: International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. Bd. 9 (2015), Nr. 10, S. 1763–1770

Birkhold, M.; Friedrich, Ch.; Lechler, A.:

Automation of the Casting Process using a model-based NC Architecture.

In: IFAC-PapersOnLine. Bd. 48 (2015b), Nr. 17, S. 195–200. – 4th IFAC Workshop on Mining, Mineral and Metal Processing MMM 2015Oulu, Finland, 25–27 August 2015

Birkhold, M.; Friedrich, Ch.; Lechler, A.:

A model-based CNC Architecture for Process Programming.
2015a

Colledani, M.; Yemane, A.; Coupek, D.;

Lechler, A.:

Quality-oriented Design of Rotor Assembly Strategies for Electric Drive Production Systems.

In: Procedia CIRP. Bd. 36 (2015), S. 141–146. – CIRP 25th Design Conference Innovative Product Creation

Coupek, D.; Gülec, A.; Lechler, A.; Verl, A.:

Selective rotor Assembly Using Fuzzy Logic in the Production of Electric Drives.

In: Procedia CIRP. Bd. 33 (2015), S. 550–555. – 9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering – CIRP ICME '14

Eberspächer, Ph.; Schlechtendahl, J.;

Colangelo, E. u.a.:

Modellbasierte, energieoptimale Produktionssteuerung – Die Reduktion des Energieverbrauchs über mehrere Ebenen der Steuerungshierarchie Teil 1

(2015a)

Eberspächer, Ph.; Lechler, A.; Verl, A.:

Control-integrated consumption graphbased optimisation method for energy reduction of machine tools with automated parameter optimisation:

(2015b)

Eberspächer, Ph.; Lechler, A.; Verl, A.:

Model-Learning for power consumption simulation through control signals:

San Diego, NAFEMS (2015)

Engelberth, T.:

Eigenschaften elektrisch verspannter Zahnstange-Ritzel-Antriebe.

In: Stuttgarter Innovationstage. (2015)

Engelberth, T.; Apprich, S.; Friedrich, J.;

Coupek, D.; Lechler, A.:

Properties of electrically preloaded rack-and-pinion drives.

In: roduction Engineering. Bd. 9 (2015), Nr. 2, S. 269–276

Francq, J.; Frick, F.:

Overview of hardware trojan detection and prevention methods.

*In: ECCTD : IEEE, 2015b, S. 1–4
ISBN 978-1-4799-9877-7*

Francq, J.; Frick, F.:

Introduction to hardware trojan detection methods.

In: Nebel, W.; Atienza, D. (Hrsg.): DATE, ACM, 2015a, S. 770–775
ISBN 978-3-9815370-4-8

Frey, S.; Lechler, A.; Zahn, P.:

Kugelgewindetrieb.
Patent,
DE 10 2015 000 487 B3 2016.02.18

Frick, F.; Zahn, P.; Lechler, A.; Verl, A.:

Modular Design Approach for Model-Based Drive Control Systems on Reconfigurable Logic.
In: Applied Mechanics and Materials. Bd. 704 (2015), S. 380–384

Friedrich, J.; Scheifele, St.; Verl, A.; Lechler, A.:

Flexible and Modular Control and Manufacturing System.
In: Procedia CIRP. Bd. 33 (2015c), S. 115–120. – 9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering – CIRP ICME '14

Friedrich, J.; Hinze, Ch.; Lechler, A.;

Renner, A.; Verl, A.:
Estimation of stability lobe diagrams in milling with continuous learning algorithms.
In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. (2015b)

Friedrich, J.; Gebele, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

Determining the width and depths of cut in milling on the basis of a multi-dexel model.
In: International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. Bd. 9 (2015a), Nr. 10, S. 1981–1986

Gerlach, O.; Lechler, A.; Verl, A.:

Time constant measurement for control of induction heating processes for thixoforming (2015)

Groche, P.; Schreiner, J.; Hohmann, J.;

Höhr, S.; Lechler, A.:
Qualität durch robuste Prozessketten steigern – Potentiale für die Umformtechnik mit Industrie 4.0 (2015)

Höhr, S.; Lechler, A.:

Datenverarbeitung in der Umformtechnik – ein Konzept für die Produktionstechnik von morgen.
Düsseldorf, VDI-Verlag GmbH (2015)

Höhr, S.:

Ereigniserkennung in Datenströmen – Vernetzung in der Umformtechnik
Stuttgarter Innovationstage,
Stuttgart, 21.–22.10.2015 (2015)

Kaiser, B.; Keinert, M.; Lechler, A.; Verl, A.:

CNC Tool Path Generation on Multi-Core Processors.
In: Applied Mechanics & Materials. Bd. 794. Switzerland, Trans Tech Publications (2015), S. 339–346

Keinert, M.; Lechler, A.:

OPC UA Informationsmodell für CNC-Datenschnittstellen: Standardisierte Schnittstelle für CNC-Werkzeugmaschinen.
In: Automation 2015, Benefits of Change – the Future of Automation : VDI Verlag, 2015

Keinert, M.:

OPC UA Informationsmodell für CNC-Datenschnittstellen.
Stuttgarter Innovationstage, Vorstellung von Innovationen aus Forschung und Industrie zur Steuerung und Regelung in der Fertigungstechnik, Stuttgart, 21.–22. Oktober 2015

Kübler, K.; Neyrinck, A.; Schlechtendahl, J.;

Lechler, A.; Verl, A.:
Approach for Manufacturer-independent Automated Machine Tool Control Software Test.
Hamburg, TTP Trans Tech Publications, Switzerland (2015)

Laptev, I.; Pritschow, G.; Zahn, P.:

Direct sliding mode current control of feed drives.
In: CIRP Annals – Manufacturing Technology 64 (2015). Kapstadt, Südafrika, Elsevier (2015), Nr. 1, S. 373–376

Lechler, A.; Neher, Ph.:

Using game physics engines for hardware-in-the-loop material flow simulations: benefits, requirements and experiences.
In: 2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2015, S. 1002–1007

Lechler, A.; Neyrinck, A.; Verl, A.:

Automatic Variant Configuration and Generation of Simulation Models for Comparison of Plant and Machinery Variants.
In: Procedia CIRP. Bd. 29, Elsevier (2015), S. 62–67

Lechler A.; Scheifele S.; VerIA.:

Automated Online Control System Configuration
In: Wolverhampton (UK): University of Wolverhampton, The Choir Press, 2015, S. 446–453
ISBN 978-1-910864-00-5

Lechler A.; Scheifele S.; Verl, A.:

Automatisierte Online-Steuerungs(re)konfiguration:
Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, 2015, S. 464–468

Abele E.; Eberspächer Ph.;

Schlechtendahl, J.; Schraml P.; Verl A.:
Multi-level energy demand optimizer system for machine tool controls
Ischia, Elsevier (2015)

Lechler, A.; Röhrle, O.; Schmitt, S.:

Modellierung und Simulation als Werkzeug für das Design von Mensch-Maschine-Systemen.
Berlin: Springer Vieweg, 2015, S. 178–184

Atmosudiro, A.; Schlechtendahl, J.;

Sommer, Ph.; Lechler, A.; Verl, A.:
iWindow – Concept of an intelligent window for machine tools using augmented reality.
In: 4th International Conference on Virtual Machining Process Technology (VMPT 2015) (Hrsg.) (2015)

Sommer, Ph.:

Intelligentes Maschinenfenster in Werkzeugmaschinen mit Hilfe von Augmented Reality.
In: ABS-Treffen, A. (Hrsg.) (2015)

Miermeister, Ph.; Pott, A.; Tempel, Ph.:

Kinematics and Dynamics Modeling for Real-Time Simulation of the Cable-Driven Parallel Robot IPAnema 3.
In: Proceedings of the 14th IFToMM World Congress, Proceedings of the 14th IFToMM World Congress., (2015b), Nr. 14th-2, S. 117–123

Tempel, Ph.:

SimTech Status Seminar 2015 – Status Update
Improved Modeling of Cables for Kinematics and Dynamics of Light-weight Robots.

Eberhard, P.; Pott, A.; Schnelle, F.; Tempel, Ph.:

Design and Programming for Cable-Driven Parallel Robots in the German Pavilion at the EXPO 2015.
In: Machines. Bd. 3 (2015c), Nr. 3, S. 223

Lechler, A.; Miermeister, Ph.; Pott, A.;

Tempel, Ph.:
Modelling of Kinematics and Dynamics of the IPAnema 3 Cable Robot for Simulative Analysis.
In: AMM. Bd. 794, Trans Tech Publications (2015a), S. 419–426

Tempel, Ph.:

SimTech Milestone Report
Improved Modeling of Cables for Kinematics and Dynamics of Cable-driven Parallel Robots, 2015a

Karim, A.; Lechler, A.; Vieler, H.:

Drive Based Damping for Robots with Secondary Encoders
(2015)

Lechler, A.; Vieler, H.:

Intelligente Schnittstellen für intelligente Werkzeuge.

In: wt Werkstattstechnik online. Bd. 105 (2015), Nr. 7/8, S. 520–524

Scheifele, Ch.; Stol, K. A.; Xie, L.; Xu, W.:

Heavy-duty omni-directional Mecanum-wheeled robot for autonomous navigation: System development and simulation realization.

In: 2015 IEEE International Conference on, S. 256–261

2014**Frey, S., Heinze, T.; Verl, A.:**

Double nut ball screw with improved operating characteristics.

Nantes, Elsevier (2014), S. 361–364

Abel, M.; Eger, U.; Frick, F.; Hoher, S.; Lechler, A.:

Systemkonzept für eine echtzeitfähige Kollisionsüberwachung von Werkzeugmaschinen unter Nutzung von Multicore-Architekturen.

Aachen, Apprimus Verlag (2014)

Atmosudiro, A.; Faller, M.; Verl, A.:

Durchgängige Datenintegration in die Cloud (2014a)

Atmosudiro, A.; Csizar, A.; Karim, A.;**Keinert, M.; Lechler, A.; Verl, A.:**

Productivity Increase through Joint Space Path Planning for Robot Machining.

In: Modelling Symposium EMS, 2014 European, 2014b, S. 257–262

Birkhold, M.; Lechler, A.:

Modellierung von Automatisierungssystemen nach Vorgaben des BSI Bundesministerium für Sicherheit in der Informationstechnik: Notwendigkeit, Modellkonzept, Vorteile.

Aichele, J.; Colledani, M.; Coupek, D.; Verl, A.; Yemane, A.:

Design and Evaluation of In-line Product Repair Strategies for Defect Reduction in the Production of Electric Drives.

In: Procedia CIRP, Bd. 21 (2014), S. 159–164. – 24th CIRP Design Conference

Coupek, D.; Verl, A.:

Ausschussreduzierung und Defektkompensation in mehrstufigen Produktionssystemen.

In: Düsseldorf: VDI Verlag, 2014, S. 82–91

Dripke, C.; Groh, F.; Keinert, M.; Verl, A.:

A New Approach to Interpolation of Tool Path Trajectories with Piecewise Defined Clothoids.

In: Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Proceedings of the 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production CARV 2013. München: Springer, 2014, S. 249–254

Frey, S.:

Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Vorschubantrieben durch semiaktive Dämpfung
PhD Dissertation, 2014

Frick, F.; Lechler, A.; Verl, A.:

Adaptable Control Systems Through User-Reconfigurable SOPC Architectures.

Keinert, M.:

Schnittstelle verbessert Kommunikation zwischen HMI und Steuerung.

In: VDW Branchenreport, (2014a), Nr. 02/2014, S. 23–24

Keinert, M.; Kretschmer, F.; Lechler, A.:

Testbench zur ganzheitlichen Abbildung und Validierung von OPC UA vernetzten Systemen.

In: Tagungsband SPS/IPC/Drives 2014, Internationale Fachmesse & Kongress, 25.–27. Nov. 2014, Nürnberg, Aachen: Apprimus Verlag, 2014b, S. 130–137

Keinert, M. ; Verl, A.:

OPC UA als Treiber flexibler Produktion.

In: Fortschritt-Berichte VDI, Effiziente Produktion. Düsseldorf: VDI Verlag, 2014, S. 1–10

Dadalau, A.; Lin, Y.; Sun, Zh.; Verl, A.:

Efficient Combination of Topology and Parameter Optimization.

In: OJOp, Bd. 03, Scientific Research Publishing, Inc, (2014), Nr. 03, S. 19–25

Neyrinck, A.:

Simulationsgestützte Berücksichtigung von Varianten bei der Konzeption von Maschinen und Anlagen.

Motek Anwenderforum (2014)

Neher, Ph.; Faller, M.; Verl, A.:

Prozessbegleitendes Abtrags-Monitoring bei der Fräsbearbeitung in der Cloud.

Aachen, Apprimus Verlag (2014)

Contreras, L.; Kretschmer, F.; Lechler, A.;**Schlechtendahl, J.:**

Cloudbasierte Steuerungen für teilautomatisierte Handarbeitsplätze.

Aachen, Apprimus Verlag (2014a)

Dadalau, A.; Sun, Z.; Verl, A.:

Generation of rotation matrix for assembly models with arbitrary angle constraints.

In: The international journal of advanced manufacturing technology, Bd. 47 (2014), Nr. 1, S. 563–568

Engel, H.-T.; Lechler, A.; Verl, A.:

Adaptive Friction Bearing for Reduction of Stick-Slip Effects.

WGP Annals (2014), S. 351–356

Voß, M.; Schnierle, M.; Verl, A.:

Automatisierte Energiemanagementsysteme für Hochregallager.

Tempel, Ph.:

Cable-Driven Parallel Robots – An Innovative Technology for Manufacturing Industry and Entertainment.

SRC SimTech Status Seminar, Bad Boll, 12.2014

Tempel, Ph.:

SimTech Status Seminar 2014 – Status Update: Improved Modeling of Cables for Kinematics and Dynamics of Light-weight Robots.

12.12.2014

WEITERBILDUNGSVERANSTALTUNGEN

Das ISW bietet zahlreiche Veranstaltungen und Weiterbildungen für Industrie und potentiellen Nachwuchs an. Einige davon stellen wir hier vor.

- Girlsday am ISW
- Blockvorlesungen am ISW
- Tag der Wissenschaft
- Innovationstage mit steuerungstechnischem Forum und Lageregelseminar
- SPA-Seminar „Virtuelle Inbetriebnahme“
- SPA-Seminar „OPC UA in der Steuerungs- und Automatisierungstechnik“
- SPA-Seminar „Grundlagen der Antriebsregelung“



Girlsday 2016: Weiblicher Nachwuchs erhält Einblick in die Arbeiten und Aufgaben des ISW



MechTrain Workshop – Engineering mit ISG-Virtuos



Blockvorlesungen am ISW



Tag der Wissenschaft



Innovationstage mit Vorträgen aus Lehre und Industrie



ANGEHÖRIGE DES INSTITUTS

GESCHÄFTSFÜHRENDER DIREKTOR:

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl

GESCHÄFTSFÜHRENDER OBERINGENIEUR:

Dr.-Ing. Armin Lechler

JUNIORPROFESSOR:

Juniorprofessor Dr.-Ing. Andreas Pott

BERATER:

Dr.-Ing. Karl-Heinz Wurst

STUDIENANGELEGENHEITEN:

Dipl.-Ing. Michael Seyfarth

NACHWUCHSGRUPPENLEITER GRADUIERTENSCHULE „GSAME“, CLUSTER „F2“:

Dr.-Ing. Akos Csiszar

GRUPPE 1:

Dipl.-Ing. Markus Birkhold

(Gruppenleiter)

Carsten Ellwein, M.Sc.

Christian Friedrich, M.Eng.

Florian Jaensch, M.Sc.

Timur Tasci, M.Sc.

Alexander Schmidt, M.Sc.

GRUPPE 2:

Dipl.-Ing. Matthias Keinert

(Gruppenleiter)

Dipl.-Ing. Agus Atmosudiro

Dipl.-Ing. Mihai Dragan

Caren Dripke, M.Sc.

Tobias Korb, M.Sc.

Dipl.-Ing. Felix Kretschmer

Dipl.-Ing. Karl Kübler

Dipl.-Ing. Philipp Neher

Christian Scheifele, M.Sc.

Philipp Sommer, M.Sc.

Matthias Strljic, M.Sc.

GRUPPE 3:

Dipl.-Ing. Peter Zahn

(Gruppenleiter)

Dipl.-Ing. Florian Frick

Dipl.-Ing. Oliver Gerlach

Ali Karim, M.Sc.

Johann Uphoff, M.Sc.

Dipl.-Ing. Hendrik Vieler

GRUPPE 4:

Dipl.-Ing. Peter Zahn

(Gruppenleiter)

Michael Neubauer, M.Sc.

Dipl.-Ing. Zheng Sun

GRUPPE 5:

Dipl.-Ing. Daniel Coupek

(Gruppenleiter)

Dipl.-Ing. Stefanie Apprich

Florian Eger, M.Sc.

Tim Engelberth, M.Sc.

Dipl.-Ing. Jens Friedrich

Dipl.-Ing. Stefan Scheifele

Dipl.-Ing. Philipp Tempel

Frederik Wulle, M.Sc.

MITARBEITERINNEN IM VERWALTUNGSBEREICH:

Frau Ingrid Albright

Frau Andrea Bauder

Frau Edith Schlenker

Frau Margrit Stephens

MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER IM TECHNISCHEN BEREICH:

Xenia Günther, techn. Zeichnerin

Inga Deines, Grafikdesignerin

Stefan Abel, Elektrotechniker

Arthur Wendland, Elektrotechniker

Volker Turowski, Mechanikermeister

Achim Ringler, Mechanikermeister

WISSENSCHAFTLICHE UNGEPRÜFTE HILFSKRÄFTE:

durchschnittlich 45 Damen und Herren



WEITERE ISW-EVENTS

Zur Förderung der Kommunikation zwischen aktiven, ehemaligen und zukünftigen ISW'lern finden über das Jahr verteilt zahlreiche Events statt.



Das verlorene alljährliche PROF-Spiel verpflichtet die Institutsleitung, ein gemeinsames Weißwurstfrühstück für alle ISW'ler und ISG'ler zu sponsern



Dr. J. Schlechtdahl und Dr. M. Abel mit der Prüfungskommission nach bestandener mündlicher Dr.-Prüfung



Hofffest und 50-jähriges Jubiläum des ISW



Einstandsgrillfest im Hof des ISW



WGP-Fußballturnier in Stuttgart



Institutsausflug zum Residenzschloss in Ludwigsburg



Weihnachtsfeier im Hotel Maritim gemeinsam mit der ISG



VEREIN DER FREUNDE UND EHEMALIGEN MITARBEITER DES ISW e.V.

Der Verein der Freunde des ISW bietet jedem ehemaligen ISW'ler, der sich mit dem Institut verbunden fühlt und auch speziellen Freunden die Möglichkeit, das ISW-Netzwerk zu pflegen durch persönliche Teilnahme am Weihnachtsfest, Hoffest mit Mitgliederversammlung oder dem Ausflugsprogramm der ISW Freunde.

Der Industrieausflug 2016 ging zur Firma Festo. 32 Mitglieder des Vereins waren der Einladung von Dr. W. Sperling gefolgt.



Unter anderem wurde der BionikKangaroo-Roboter in Bewegung vorgestellt.

Im Oktober 2015 führte uns die gemeinsame Wochenendexkursion nach Augsburg. Dort erfuhren wir bei Stadtführungen viel über die Fuggerstadt und das Leben von Bertolt Brecht. Die Firma Kuka öffnete ihre Tore für eine interessante Besichtigung.



Im Oktober 2014 führte uns die gemeinsame Reise nach Trier.



Interessante Führung durch den Dom und die Domgrabungen

„Römische“ Stadtführung

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.



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

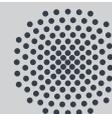
Erfahrungen, interdisziplinäres Fachwissen, Kreativität und Managementfähigkeiten im Mittelpunkt. Es handelt sich bei den Projekten sowohl um grundlagenorientierte, als auch industrienahen Themen. Außerdem wird die Möglichkeit zur Promotion an einer der weltweit bestangesehensten, wissenschaftlichen 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

Kontakt:

Dr.-Ing. A. Lechler (Armin.Lechler@isw.uni-stuttgart.de)
Institut für Steuerungstechnik, Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart



Universität Stuttgart



KONTAKT

**Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart**

Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart
Fon +49 711 685-82410
Fax +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 U24 (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 U24 (Richtung Hölderlinplatz) oder mit dem Bus 43 (Richtung Killesberg) bis Haltestelle Rosenberg-/Seidenstraße.



BESUCHEN SIE UNS

www.facebook.com/iswunistuttgart

facebook



ISW / Uni
Stuttgart
@iswunistuttgart



IMPRESSUM

ISSN: 1614-8185

Schutzgebühr: 5.00 Euro

Herausgeber:



Institut für Wissenschaftliche
Veröffentlichungen

in Zusammenarbeit mit
ALPHA Informationsgesellschaft mbH

Redaktionelle Zusammenarbeit:



Universität Stuttgart

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen



Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen
Universität Stuttgart
Seidenstraße 36
70174 Stuttgart

Xenia Günther
Tel.: +49 (0)711 685-82453
Fax: +49 (0)711 685-82808
E-Mail: Xenia.Guenther@isw.uni-stuttgart.de

Inga Deines
Tel.: +49 (0)711 685-83880
Fax: +49 (0)711 685-73880
E-Mail: Inga_Deines@isw.uni-stuttgart.de

www.isw.uni-stuttgart.de

Bildnachweis:

Quelle durch ISW der Universität Stuttgart

Anzeigenverwaltung/Gesamtherstellung:

ALPHA Informationsgesellschaft mbH
Finkenstraße 10
68623 Lampertheim
Tel.: +49 (0)6206 939-0
Fax: +49 (0)6206 939-232
www.alphapublic.de

Verkaufsleitung:

Peter Asel
E-Mail: peter.asel@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.

Expo Milano 2015 auf dem Titelbild:
© Jacopo Blanchini

Projekt-Nr. 3-322

© ALPHA Informationsgesellschaft mbH, Lampertheim und ISW

Fertigungsmesstechnik ist unsere Welt



Ihr globaler Partner für Fertigungsmesstechnik

Technologische Kompetenz, Kundenorientierung und Marktnähe bilden die wichtige Basis für unsere weltweit starke Marktposition. Unseren Ingenieuren und Technikern bietet sich ein breites Spektrum an Elektronik, Sensorik, Mechanik und Optik – durchweg interessante und spannende Aufgaben, die mit viel eigenständiger Verantwortung wahrnehmbar sind. Interessiert? Tel. 07151-2054-0 oder schauen Sie im Internet...

**Hochpräzise
Messtechnik für
industrielle
Anwendungen**

MARPOSS

MARPOSS GmbH • Mercedesstraße 10 • D-71384 Weinstadt
Telefon +49(0)7151/2054-0 • Fax +49(0)7151/2054-150

www.marposs.de

