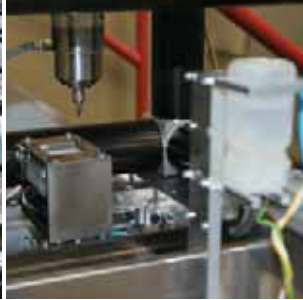


I M B L I C K P U N K T

ISSN 1614-8185

DEUTSCHLANDS  
**exzellenz-INSTITUTE**



**Universität Stuttgart**

Institut für Steuerungstechnik  
der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen



HERAUSGEGEBEN 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)**



## 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  
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

Prof. Dr. Klaus Palme  
Institutsleiter des Instituts für  
Wissenschaftliche Veröffentlichungen

**Verkaufsleitung:**

Peter Asele  
E-Mail: peter.asele@alphapublic.de

Die Informationen in diesem Heft sind sorgfältig ge-  
prüft worden, dennoch kann keine Garantie übernom-  
men werden. Eine Haftung für Personen-, Sach- und  
Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die da-  
durch 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, vorbehal-  
ten. Eine Vervielfältigung des Werkes oder von Teilen  
des Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen  
der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechts  
der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September  
1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist  
grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen  
unterliegen den Strafbestimmungen des  
Urheberrechts.

Projekt-Nr. 3-310

IMPRESSUM

© ALPHA Informationsgesellschaft mbH, Lampertheim und ISW

# 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 Fertigungstechnik. Am ISW werden seit nunmehr fast 50 Jahren neben grundlagenorientierten Forschungsaktivitäten auch herausforderungsvolle Aufgabenstellungen aus der Industrie erfolgreich bearbeitet.



Wir stellen uns täglich den unterschiedlichsten Herausforderungen auf dem Gebiet der Automatisierung in der Fertigungstechnik. Am ISW finden dazu Forschungen, begonnen bei der Planung und dem Engineering, über die Steuerung und Regelung, die industrielle Kommunikation bis hin zu Antrieben und Sensoren sowie den nachgeschalteten mechanischen Komponenten statt.

Diese Broschüre gibt einen Überblick über die Forschungs-kompetenzen und das Lehrangebot, aber auch über die Geschichte und das umfangreiche Netzwerk des Instituts. Beteiligt an beiden Stuttgarter Gewinnern der Exzellenzinitiative und dem Transregio 141 *Biological Design and Integrative Structures*, hat sich das ISW erneut als eines der besonders zukunftsorientierten und innovativen fertigungs-

technischen Institute aufgestellt. Zahlreiche internationale Kontakte, eine rege Publikationsaktivität, Industrienähe, der Fokus auf eine exzellente und nachhaltige Lehre, das Management der Studiengänge Mechatronik B.Sc. und M.Sc. und schließlich die Kooperation mit dem Fraunhofer IPA machen das ISW zu einem Institut mit besonderem Potential.

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

Mit besten Grüßen

Peter Klemm  
(Kommissarischer  
Institutsleiter)



# INHALTSVERZEICHNIS



## **VORWORT** ... 3

Vorwort Kommissarischer Institutsleiter Peter Klemm 3



## **1 INSTITUTSSTRUKTUR** ... 9

1.1 Gruppe 1: Planungssysteme und Engineeringmethoden	11
1.2 Gruppe 2: Industrielle Steuerungstechnik	12
1.3 Gruppe 3: Antriebs- und Regelungstechnik	14
1.4 Gruppe 4: Maschinentechnik	17
1.5 Gruppe 5: Mechatronische Systeme	18
1.6 Partnerinstitut Fraunhofer IPA	22



## **2 FORSCHUNG** ... 26

2.1 Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME)	26
2.2 Forschungsprojekte	29
2.3 Dienstleistungen für die Industrie	128
2.4 Auszeichnungen	129



## **3 LEHRE** ... 130

3.1 Vorlesungen, Übungen, Praktika und Kurse	130
3.2 Abgeschlossene studentische Arbeiten	131
3.3 Abgehaltene Prüfungen	137
3.4 Exkursionen für Studierende	138



# INHALTSVERZEICHNIS



3.5 Sonstige studentische Veranstaltungen	139
3.6 Auszeichnungen	141
3.7 Abgeschlossene Dissertationen	142
3.8 Hochschulkontakte	154



## **4 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT ... 155**

---

4.1 Mitgliedschaften	155
4.2 Mitarbeit an Selbstverwaltungsaufgaben der Universität	157
4.3 Ehrenamtliche Mitarbeit in Institutionen, Ausschüssen und Verbänden	158
4.4 Aktive Teilnahme an Messen und Ausstellungen	160



## **5 MASCHINENAUSSTATTUNG ... 161**

---

## **6 VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE ... 162**

---



## **7 WEITERBILDUNGSVERANSTALTUNGEN ... 168**

---



**8 ANGEHÖRIGE DES INSTITUTS** ... 170

---

8.1 Weitere ISW-Events 171



**9 VEREIN DER FREUNDE UND  
EHEMALIGE MITARBEITER DES ISW (VDF)** ... 176

---



**10 STELLENAUSSCHREIBUNG** ... 178

---



**11 KONTAKT** ... 179

---

**IMPRESSUM** ... 2

---

# 1 INSTITUTSSTRUKTUR



Das ISW an der Universität Stuttgart steht unter der kommissarischen Leitung von Herrn Prof. Peter Klemm. Oberingenieur Herr Dr. Armin Lechler ist weiterhin für die erfolgreiche Führung der Geschäfte am Institut verantwortlich. Zusätzlich leitet Herr Dipl.-Ing. Jan Schlechtendahl seit dem 1.11.2014 den Bereich „Forschungskoordination und Marketing“. Herr Prof. Verl ist seit dem 1.4.2014 beurlaubt und hat in den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft gewechselt. Er steht dem ISW nach wie vor beratend zur Seite.

Die am ISW seit nun mehreren Jahren bewährte Struktur der Forschungsgebiete gliedert sich in fünf Gruppen mit den folgenden Schwerpunkten auf:

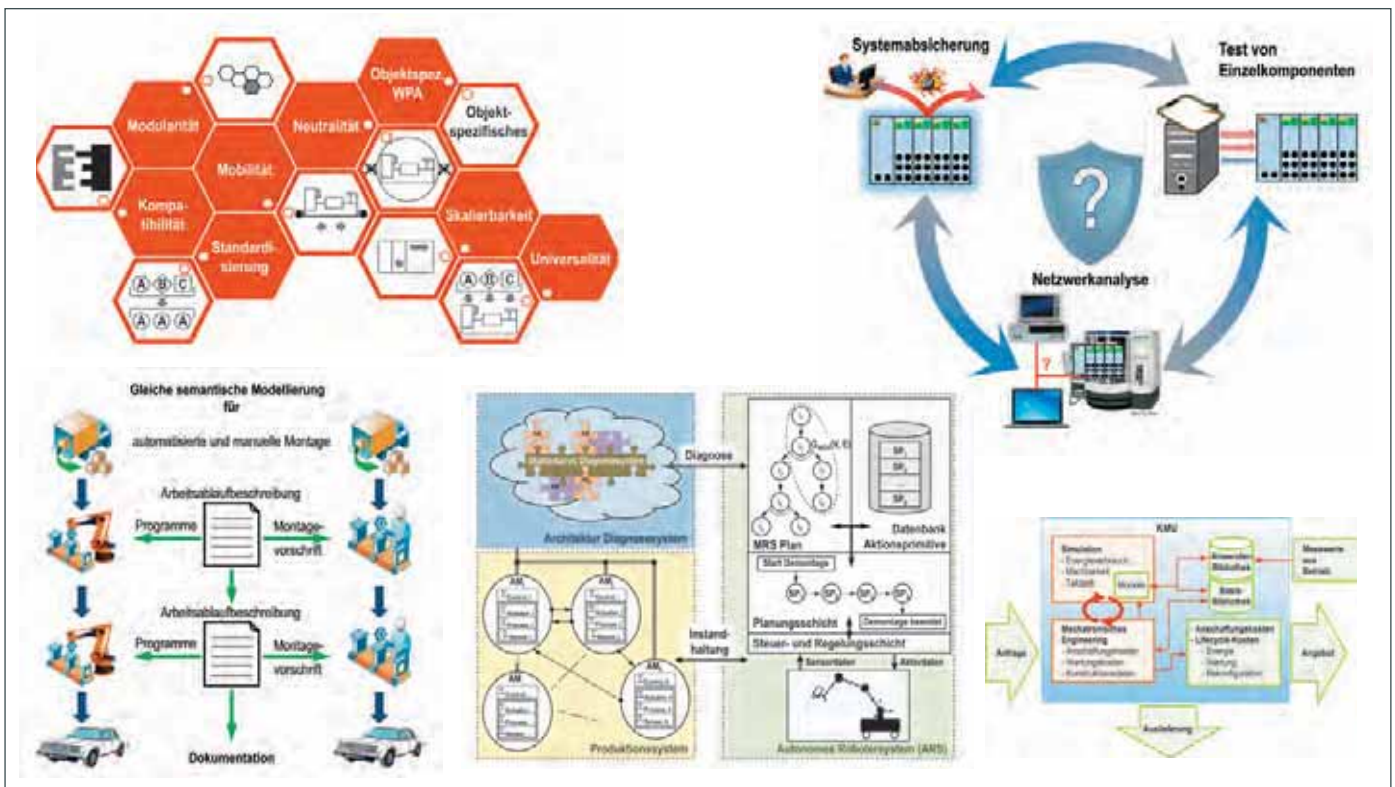
- » Planungssysteme und Engineeringmethoden
- » Industrielle Steuerungstechnik
- » Antriebs- und Regelungstechnik
- » Maschinentechnik
- » Mechatronische Systeme

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. Die zentralen Dienste unterstützen den Erfolg des Instituts durch Übernahme von administrativen Aufgaben bei der Studentbetreuung, Organisation der Lehre, dem Rechnungswesen

und dem Sekretariat sowie der Assistenz des Oberingenieurs. Im technischen Büro werden Veranstaltungen und Öffentlichkeitsarbeiten koordiniert. Die Werkstätten setzen sich am Institut für eine schnelle und zuverlässige Umsetzung von Versuchsständen, Prototypen, Praktikumsaufbauten und Funktionsmustern ein.



# 1.1 GRUPPE 1: PLANUNGSSYSTEME UND ENGINEERINGMETHODEN



## LEITUNG:

Dipl.-Ing. Michael Voß

## GRUPPENMITGLIEDER:

- » Dipl.-Ing. Markus Birkhold
- » M.Eng. Christian Friedrich
- » M.Sc. Sara Höhr
- » Dipl.-Ing. Adrian Neyrinck

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Michael Voß  
E-Mail: Michael.Voss@isw.uni-stuttgart.de

## FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE:

Entwicklungs- und Projektierungsmethoden auf Maschinen- und Leitebene

- » Innovative Entwicklungs- und Projektierungsmethoden (simulationsgestützt, energieeffizient, mechatronisch, wandlungsfähig, u. a.) für Fertigungseinrichtungen
- » Simulationsbasiertes Engineering (Hardware-in-the-Loop-Simulation für Fertigungseinrichtungen)
- » Funktionales/baukastenbasiertes Engineering

- » Konfigurierbarkeit offener Steuerungssysteme
- » Steuerungstechnische Konzepte für rekonfigurierbare Produktionssysteme
- » Schnittstellendefinitionen und Modellierungskonzepte auf Maschinen- und Leitebene

## Security

- » Security in der Automatisierungstechnik
- » Verwundbarkeitsuntersuchungen und -bewertungen
- » Penetration Tests und Security Bewertungen
- » Security Audits

## Bedienkonzepte

- » Entwicklung von Methoden zur intuitiven Bedienung
- » Innovative Bedienkonzepte für Maschinenbedienung
- » Lernende Algorithmen
- » Benutzerinteraktion und situativ, adaptive Elemente
- » Automatisierung in der Medizintechnik
- » Technische Dokumentation mit einem multimedialen Maschinen- und Anlageninformationssystem



# 1.2 GRUPPE 2: INDUSTRIELLE STEUERUNGSTECHNIK



**LEITUNG:**

Dipl.-Ing. Matthias Keinert

**FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE:**

*Simulation*

- » Echtzeitsimulation von Maschinen und Anlagen
- » Echtzeitfähige Materialflusssimulation
- » Emulation von Feldbusnetzen

*Steuerungsfunktionen*

- » Konzeption und Entwicklung von Steuerungssystemen und Benutzeroberflächen
- » Multicorefähige Steuerungstechnik

- » Erweiterung von NC-Kernfunktionalitäten
- » Cloudbasierte Steuerungen

*Kommunikationstechnik*

- » Test von (ethernetbasierten) Feldbussystemen
- » Kompetenzzentrum für sercos
- » Informationstechnische Schnittstellen für mechatronische Komponenten
- » Industrielle Powerline-Kommunikation (IPLC)
- » Middleware-systeme (OPC UA, SOAP, CORBA, ...)
- » Anbindung Anlage – Cloud

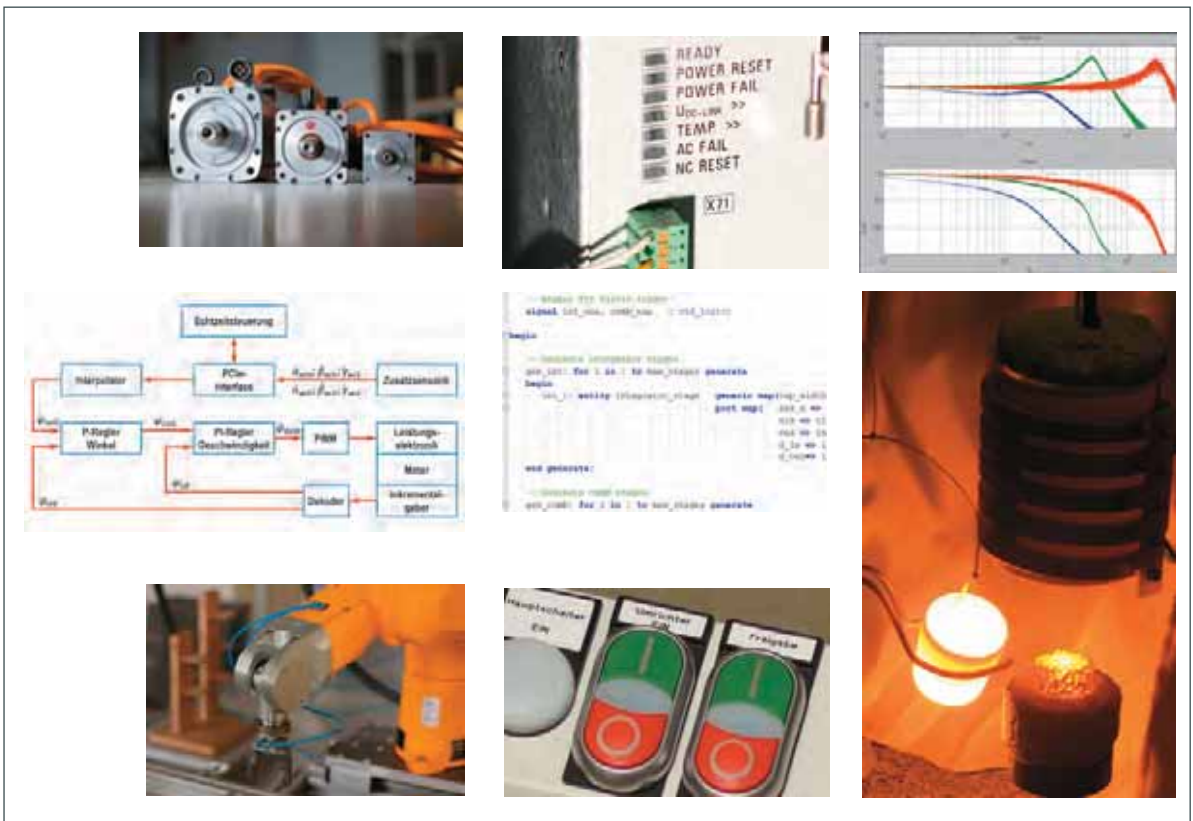
**GRUPPENMITGLIEDER:**

- » Dipl.-Ing. Agus Atmosudiro
- » B. Eng. Michael Fallner
- » Dipl.-Ing. Karl Kübler
- » Dipl.-Ing. Felix Kretschmer
- » Dipl.-Ing. Joao Daniel Lopes
- » Dipl.-Ing. Philipp Neher
- » M. Sc. Philipp Sommer
- » Dipl.-Math. Reinhold Zöllner

**KONTAKT**

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

# 1.3 GRUPPE 3: ANTRIEBS- UND REGELUNGSTECHNIK



**LEITUNG:**

Dipl.-Ing. Peter Zahn

**GRUPPENMITGLIEDER:**

- » Dipl.-Ing. Florian Frick
- » Dipl.-Ing. Oliver Gerlach
- » M. Sc. Ali Karim
- » Dipl.-Ing. Hendrik Vieler

**KONTAKT**

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

**FORSCHUNGS-SCHWERPUNKTE:**

*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

# Sicherheit für Mensch, Maschine und Prozesse

▲ Bild 1

**Bild 1**  
Das Hauptgebäude von EUCHNER in Leinfelden-Echterdingen

**Bild 2**  
Das umfangreiche Produktprogramm an industrieller Sicherheitstechnik von EUCHNER

Sicherheitsschalter und Sicherheitssysteme von EUCHNER überwachen Schutztüren und Klappen an Maschinen und Anlagen, helfen Gefahren und Risiken zu minimieren und schützen so zuverlässig Menschen und Prozesse. Der Spezialist aus Leinfelden-Echterdingen bietet darüber hinaus ein breit gefächertes Produktprogramm für die Mensch-Maschine-Schnittstelle und Schaltgeräte für die Automatisierung. Dazu gehören Reihengrenztafter und Steckverbinder ebenso wie elektronische Handräder, Handbediengeräte sowie elektronische Zugriffs- und Verwaltungssysteme.

## Hochwertige Lösungen für individuelle Anforderungen

„More than safety“ – das ist für EUCHNER Versprechen und Anspruch zugleich. Denn für die 600 Mitarbeiter weltweit geht es um ein gemeinsames Ziel: Kunden mit qualitativ hochwertigen Lösungen zu begeistern. Nah am Markt und Kunden stellen sich die Mitarbeiter jeder technischen Herausforderung und können individuelle Kundenwünsche jederzeit dank einer flexiblen und modernen Fertigung realisieren.

## Hoher Qualitätsstandard ist Erfolgsfaktor

Das nach DIN EN ISO 9001 zertifizierte Unternehmen kennt beim Thema Qualität keine Kompromisse. Schließlich machen die qualitativ hochwertigen Produkte den Erfolg von EUCHNER aus. Kein Produkt verlässt das Haus, ohne dass es vorher auf „Herz und Nieren“ geprüft wurde. Alle Produkte durchlaufen permanente Prüf- und Testverfahren. Neben umfangreichen

Funktionsprüfungen und Dauertests werden die Produkte auch in Klimakammern unter Extrembedingungen auf die Probe gestellt.

## Nachhaltigkeit bestimmt das tägliche Handeln

Auch der Umgang mit wertvollen Ressourcen hat einen hohen Stellenwert im Unternehmen. Die Zertifizierung nach DIN EN ISO 14001 hilft bei der stetigen Weiterentwicklung und Umsetzung von umweltfreundlichen Technologien, Verfahren und Produkten.

## Chancen für berufliche und persönliche Entfaltung

„More than safety“ – diesem Anspruch wird das Unternehmen auch als Arbeitgeber gerecht. Wer sich bei EUCHNER engagiert, findet mehr als ein sicheres Umfeld. Ein kollegialer Umgang, gegenseitige Unterstützung und ein verantwortungsvolles Miteinander sorgen für ein positives Klima. Flache Hierarchien und kurze Kommunikationswege ermöglichen schnelle Entscheidungen. Individuelle Möglichkeiten für die persönliche und fachliche Weiterentwicklung sowie

flexible Arbeitszeitmodelle bringen jedem Einzelnen bei seiner Karriere- und Lebensgestaltung weiter.

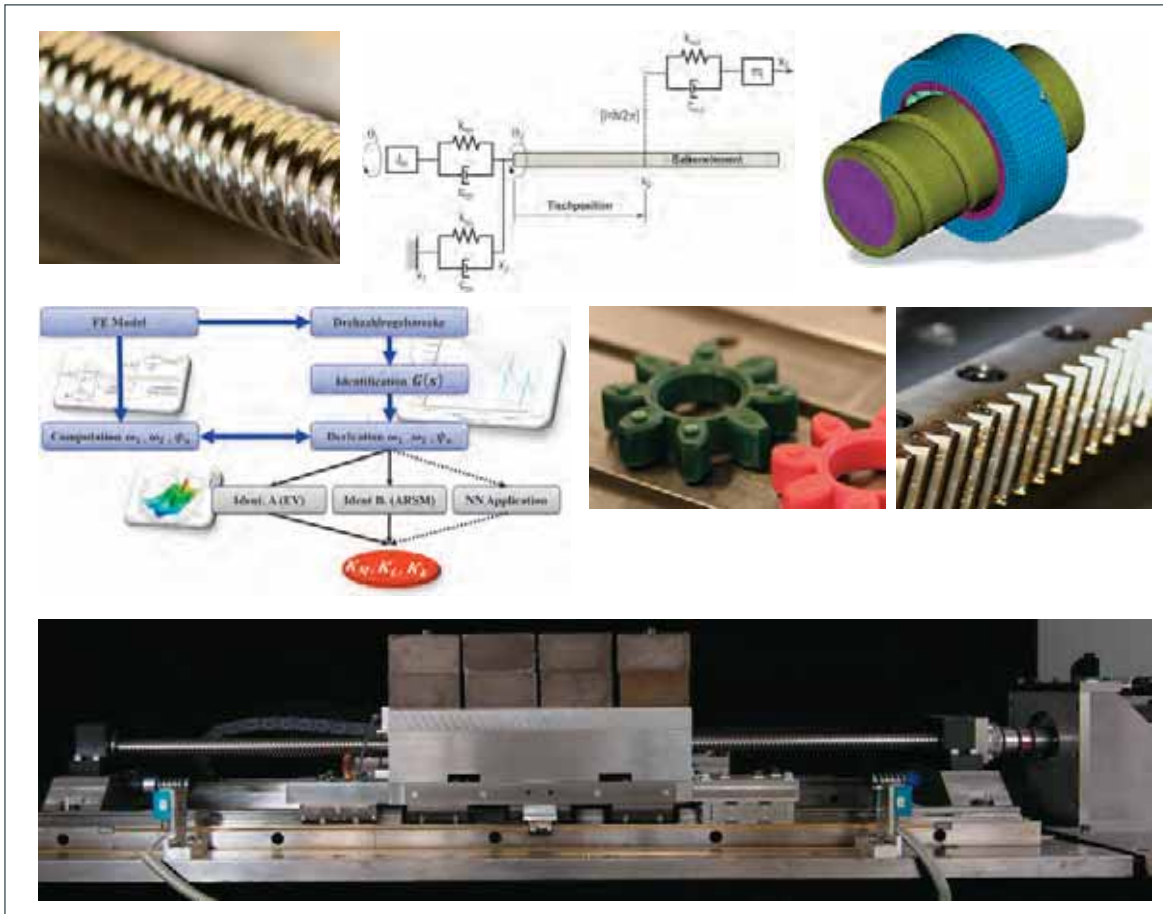
Für Stefan Euchner, der das Familienunternehmen in dritter Generation leitet, ist klar, dass Offenheit, Vertrauen und Wertschätzung die Voraussetzung dafür sind, sich beruflich zu entfalten, Ideen aktiv einzubringen und sich gerne langfristig zu engagieren. „Ich binde meine Mitarbeiter, indem ich ihnen Freiräume gebe, eine Diskussionskultur pflege, sie unabhängig arbeiten lasse, um in Abständen wieder zusammenzukommen.“ Die durchschnittliche Betriebszugehörigkeit der Mitarbeiter liegt heute bei 15 Jahren und das soll auch in Zukunft so bleiben. EUCHNER fördert Talente und tut viel dafür, dass Beruf und Familie im Einklang bleiben. Leistung wird anerkannt, deshalb partizipiert auch jeder Mitarbeiter am Unternehmenserfolg.

Wer will, kann bei EUCHNER viel bewegen, schnell Verantwortung übernehmen und sich mit Sicherheit in spannenden, vielseitigen Aufgabefeldern weiterentwickeln.



▲ Bild 2

# 1.4 GRUPPE 4: MASCHINENTECHNIK



**LEITUNG:**

Dipl.-Ing. Peter Zahn

**GRUPPENMITGLIEDER:**

- » M. Sc. Mahdi Mottahedi
- » Dipl.-Ing. Zheng Sun

**KONTAKT**

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

**FORSCHUNGS-  
SCHWERPUNKTE:**

*Maschinendynamik*

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

*Vorschubantriebe*

- » Betrachtung von Einzelkomponenten und Gesamtsystem

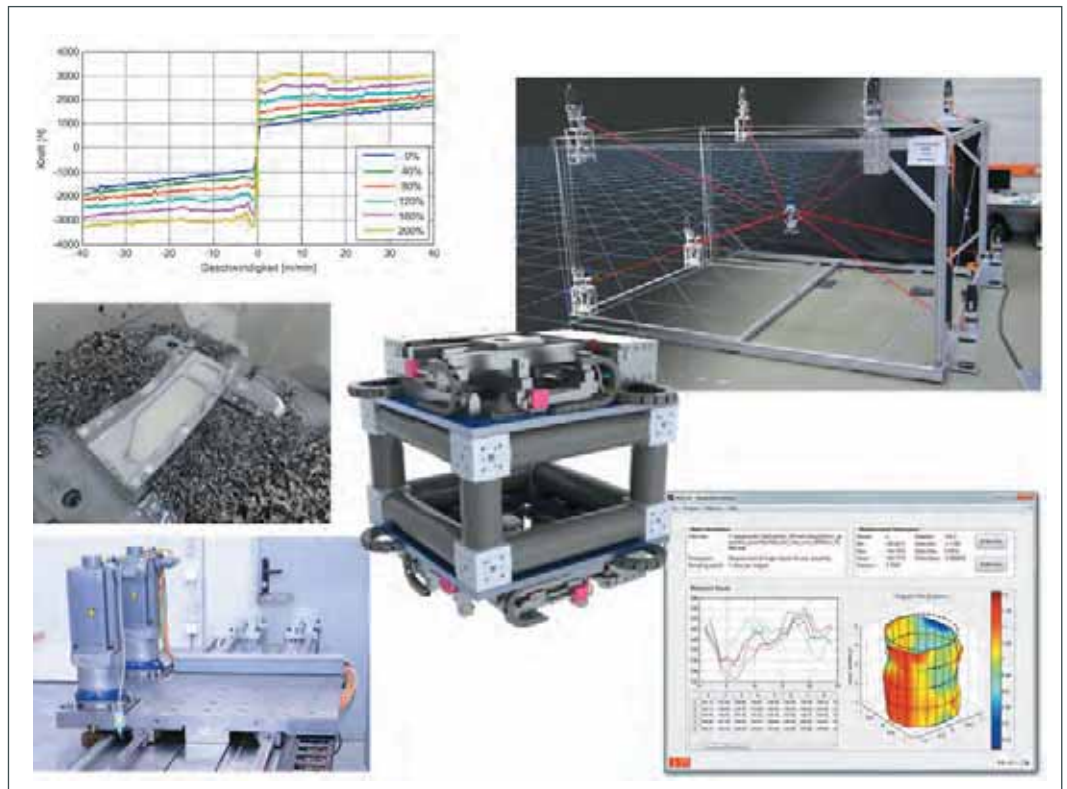
- » Auslegung und Inbetriebnahme
- » Numerische Optimierung (FEM, CACE, MKS)
- » Messtechnische Untersuchung und vergleichende Analysen

*Maschinenkomponenten*

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



# 1.5 GRUPPE 5: MECHATRONISCHE SYSTEME



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

**LEITUNG:**

Dipl.-Ing. Philipp Eberspächer

**GRUPPENMITGLIEDER:**

- » Dipl.-Ing. Stefanie Apprich
- » Dipl.-Ing. Christoph Batke
- » Dipl.-Ing. Daniel Coupek
- » Dipl.-Ing. Tobias Engel
- » M. Sc. Tim Engelberth
- » Dipl.-Ing. Jens Friedrich
- » Dipl.-Ing. Stefan Scheifele
- » Dipl.-Ing. Philipp Tempel

**KONTAKT**

Dipl.-Ing.  
Philipp Eberspächer  
E-Mail: philipp.eberspaecher@isw.uni-stuttgart.de

**FORSCHUNGS-  
SCHWERPUNKTE:**

*Analyse und Optimierung des  
Maschinenverhaltens*

- » Energieverbrauchsmodellierung für Produktionsmaschinen
- » Experimentelle Modalanalyse
- » Steuerungs- und Regelungsverfahren zur Schwingungsreduktion
- » Ausschussreduktion

*Entwicklung von  
Maschinenkonzepten*

- » Untersuchung und Entwicklung von

Gleitführungen mit adaptivem Reibverhalten

- » Rekonfigurierbare modulare Werkzeugmaschinen für die Mikrobearbeitung
- » Sonderkinematiken

*Angewandte Steuer- und  
Regelungsverfahren*

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



# 1.6 PARTNERINSTITUT



Bild 1: Automatisches Öffnen einer Spülmaschinentür durch mobilen Roboter (Quelle: Fraunhofer IPA)

Organisatorische und technologische Aufgabenstellungen insbesondere aus dem Produktionsbereich von Industrieunternehmen sind die Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. 14 Fachabteilungen arbeiten in den vier Bereichen Produktionsorganisation, Oberflächentechnologie, Automatisierung und Prozesstechnologie. Die fünf Geschäftsfelder Automotive, Maschinen- und Anlagenbau, Elektronik und Mikrosystemtechnik, Energiewirtschaft und Medizin- und Biotechnik arbeiten intensiv mit Industrieunternehmen dieser Zukunftsbranchen zusammen.

Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte des Fraunhofer IPA zielen auf verbesserte, kostengünstigere und umweltfreundlichere Produktionsabläufe und Produkte, indem Automatisierungs- und Rationalisierungsreserven in den Unternehmen identifiziert und spezifisch umgesetzt werden.

Dadurch wird die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen gestärkt.

### FORSCHUNGSNETZWERK DIENT ALLEN

Das Fraunhofer IPA und die Universitätsinstitute für Steue-

rungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), für Energieeffizienz in der Produktion (EEP), für Werkzeugmaschinen (IfW) sowie für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) bilden ein enges Netzwerk. Damit steht Kunden und Partnern aus der Industrie ein

breites Forschungsportfolio zur Verfügung.

Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler fassen verschiedene Technologien zu funktionalen und nachhaltigen

Wissenschaftler am Fraunhofer IPA einen Jahresumsatz von 58,4 Millionen Euro. Der Industrieanteil betrug 22,9 Millionen Euro. Für Investitionen wurden 3,5 Millionen Euro ausgegeben. Das Fraun-

gerückt. Er leitete von 2006 bis März 2014 das Fraunhofer IPA und das ISW der Universität Stuttgart. Seit dem 1. April kümmert Verl sich als Vorstand für Technologiemarketing und Geschäftsmodelle um wirt-



Bild 2: Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl leitet das Fraunhofer IPA (Quelle: Fraunhofer IPA)

Systemen zusammen. Dies ist eine unserer besonderen Stärken neben der Fachkompetenz jedes Einzelnen.

Die wachsende Globalisierung wirft heute für alle Unternehmen existentielle Fragen auf. Begleitet wird dieser Umbruch von einem Wertewandel in unserer Gesellschaft, der vor allem von Themen wie Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz, Sicherheit, lebenslangem Lernen und Flexibilität geprägt ist. Das Fraunhofer IPA trägt mit seinem breiten Portfolio in hohem Maß zur Klärung solcher Fragen bei.

In 2013 erwirtschafteten 435 Wissenschaftlerinnen und

hofer IPA ist nicht nur ein verlässlicher Partner für seine Kunden aus der Industrie, es hat auch einen hervorragenden Ruf in den Forschungsgemeinschaften.

Für das gute Renommee einer Forschungseinrichtung sind jedoch nicht nur Kennzahlen relevant, es zählen auch die Menschen, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, aber auch die Führungskräfte. Nachdem 1993 der ehemalige IPA-Institutsleiter Prof. Hans-Jürgen Warnecke zum Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft gewählt wurde, ist nun mit Prof. Alexander Verl ein weiterer IPA-Chef in den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft auf-

schaftliche Nachhaltigkeit durch neue Verwertungs- und Akquisitionsstrategien bei Fraunhofer.

Prof. Thomas Bauernhansl ist damit bis auf weiteres der alleinige Leiter des Fraunhofer IPA.

#### KONTAKT

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





# 2.1 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. Prof. Verl als Vorstandsvorsitzender und Prof. Klemm als Direktor des Clusters „Intelligente Produktionseinrichtungen“ haben leitende Funktionen in der GSaME übernommen. Doktoranden als Stipendiaten der GSaME forschen am ISW.

Zukünftige Spitzenkräfte müssen neben ausgeprägter Fachkompetenz und fachübergreifendem Wissen auch über Fähigkeiten zur systemati-

schen Weiterentwicklung und Anwendung von Problemlösungs-, Entscheidungs- und Handlungskompetenzen verfügen. Sie müssen offen sein

gegenüber neuen, möglicherweise fachfremden Ideen oder Lösungen. Die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Exzellenz-

initiative geförderte „Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME)“ bildet im Rahmen eines spezifisch entwickelten kooperativen, interdisziplinären Promotionsprogramms High Potentials aus, die über ein solches Profil verfügen. Das Ziel der Graduiertenschule besteht darin, optimale Voraussetzungen für Promotionen zum Dr.-Ing. und 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 von vier Jahren fördert und fordert.

Im Jahr 2007 mit durchaus experimentellem Charakter gestartet, ist die GSaME heute ein Erfolgsmodell. Dies zeigen unter anderem die Kooperationen mit mehr als zwanzig namhaften Firmen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik oder des Automobilsektors sowie mit weiteren Forschungspartnern. Mitte Juni 2012 wurde die weitere Förderung der GSaME im Rahmen der Exzellenzinitiative von Bund und Ländern beschlossen. Mehr als 90 Promovierende forschen derzeit in der GSaME, 35 Principal Investigators der GSaME sichern die Rahmenbedingungen für eine exzellente Promotion.

21 Nachwuchswissenschaftler haben promoviert und übernehmen anspruchsvolle Aufgaben in der Wirtschaft.

Produktionssysteme, die schnell und wirtschaftlich auf sich verändernde Anforderungen reagieren können, basieren auf intelligenten/wissensverarbeitenden, flexiblen und rekonfigurierbaren Produktionseinrichtungen. Das am ISW angesiedelte Cluster „Intelligente Produktionseinrichtungen“ (Cluster-Direktor: Prof. Klemm) der Graduiertenschule GSaME stellt sich diesen Herausforderungen.

Momentan promovieren sechs Doktoranden als Stipendiaten der GSaME am ISW. Hier werden Methoden für die effiziente Modellierung von Maschinenkomponenten mit Wälzkontakten mittels Finite Elemente Methode entwickelt, mit dem Ziel, die Simulationsmodelle von Kugelgewindetrieben zu verbessern. Vorbeugende und automatisierte Wartung und Instandhaltung und Verfahren zum Cloud-gestützten Engineering von Automatisierungslösungen für die Produktion sind weitere Beispiele für neu begonnene Forschungsthemen am ISW im Rahmen der GSaME. Aktuelle Methoden für verteilte Systeme zur Beherrschung der Informationstechnik in rekonfigurierbaren Maschinen werden eingesetzt, mit dem Ziel, die Rekonfiguration und Wiederinbetriebnahme zu unterstützen. Auch der Einfluss von Dämpfungsparametern in Simulationsmodellen, die Energieeffizienz am Beispiel der Kühlschmierstoffversorgung und die kollisionsfreie Bahnplanung von Industrierobotern sind Gegenstand der GSaME-Projekte am ISW. Genauer findet sich in den Einzelprojektbeschreibungen der Doktoranden.

### KONTAKT

Clusterdirektor Cluster F2:  
Prof. Dr.-Ing. Peter Klemm  
E-Mail: Peter.Klemm@  
isw.uni-stuttgart.de

## 2.2 FORSCHUNGSPROJEKTE

# SCHWINGFÜHRUNGEN FÜR VORSCHUBANTRIEBSSYSTEME

**GEFÖRDERT VON DER  
DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)**



Bild 1: Schwingführung für Profilschienen

**Das Reibverhalten von Gleitführungen wird mittels hochfrequenter Schwingungen im Führungswagen verändert und an die entsprechenden Anforderungen angepasst.**

In Werkzeugmaschinen werden Vorschubsysteme dazu eingesetzt, die Bewegung des Maschinentisches oder des Werkzeugs zu erzeugen. Dabei kommen auf die im Vorschubsystem integrierten Führungen zwei zentrale Anforderungen zu. Einerseits müssen diese Prozesskräfte aufnehmen und in das Maschinenfundament einleiten, andererseits sollen Antriebskräfte

möglichst unbeeinträchtigt in eine Bewegung umgesetzt werden. Ein wichtiges Merkmal von Führungen in Vorschubachsen ist daher deren Reibkraftverlauf. Die in den Führungsflächen auftretende Reibung charakterisiert das Dämpfungsverhalten einer Führung gegenüber äußeren Kräften. Bei Prozessen mit hohen Stoßbelastungen sowie solchen mit geringer Prozess-

stabilität spielen diese Dämpfungseigenschaften der Führungen eine wichtige Rolle. Gleitführungen haben durch ihre breit aufliegenden Kontaktflächen sehr gute Dämpfungseigenschaften, jedoch führen nichtlineare Reibereigenschaften wie Haft- und Stick-Slip-Effekt zu einer Beeinträchtigung der Bewegungsqualität.

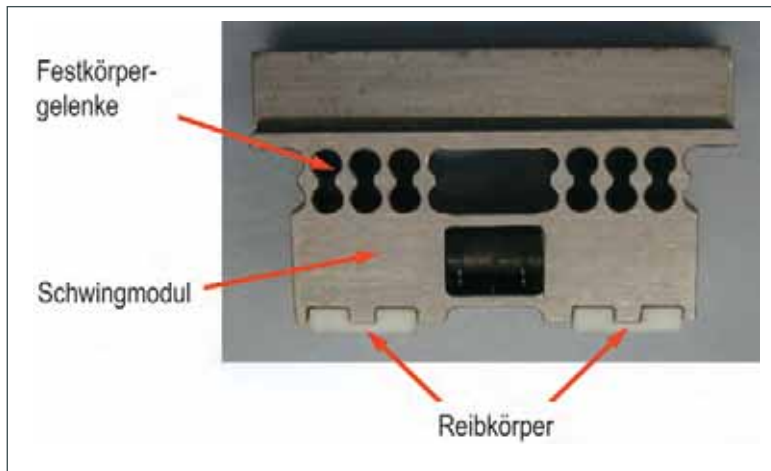


Bild 2: Prototyp eines Schwingmoduls

Um die Vorteile von Gleitreibung zu nutzen, jedoch die Nachteile einer Gleitführung zu reduzieren, wurde der Ansatz einer reibadaptiven Gleitführung, einer Schwingführung (siehe **Bild 1**), entwickelt. Um Reibungseigenschaften einzustellen, werden die Reibkörper des Schwingmoduls der Schwingführungen mit einem hochdynamischen Piezoaktor in Schwingung versetzt (**Bild 2**). Über Festkörpergelenke wird die Schwingung mechanisch von der Führung entkoppelt.

Durch die, der Vorschubbewegung überlagerte Schwingung, ändert sich das Reibverhalten. Es wird versucht, die Führung

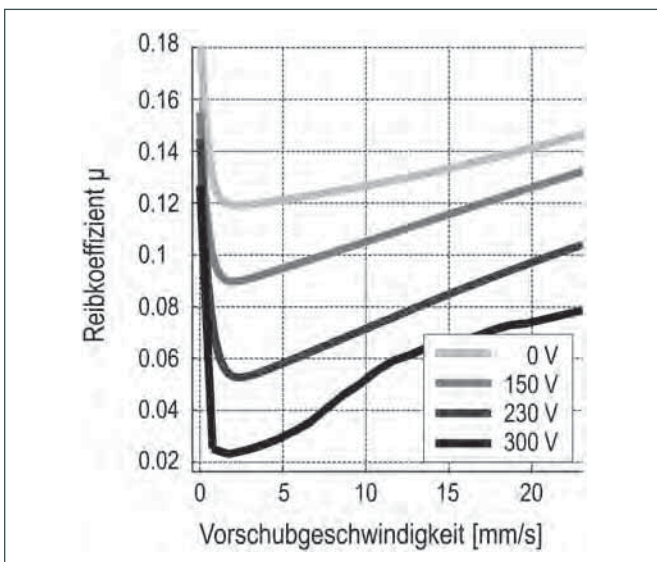
ständig im günstigeren Zustand der Gleitreibung zu betreiben. Über die Veränderung der Aktorspannung sowohl in Amplitude als auch in Frequenz kann die Schwingung gesteuert werden. Dies erlaubt eine aktive Veränderung der Reibkennlinie. Hierzu wurde ein Versuchsstand aufgebaut, an dem verschiedene Konstruktionskonzepte der Schwingführung aufgebaut, in Betrieb genommen und validiert und gleichzeitig unterschiedliche Ansteuerkonzepte und deren Regelung entworfen und untersucht werden können. In einem modularen Schwingführungenswagen (siehe **Bild 1**) lassen sich unterschiedlich gestaltete Schwingmodule (siehe **Bild 2**) einsetzen und bewerten.

**Bild 3** zeigt am Versuchsstand aufgenommene Reibkennlinien bei Variation der Aktorspannung. Zu sehen ist die Reduktion des Reibkoeffizienten um bis zu 83 %. Dies wirkt sich vor allem positiv auf verfahren bei niedrigen Geschwindigkeiten aus.

Durch die Integration von Schwingführungen in einen Maschinenschlitten kann das Reibverhalten und damit die Dämpfung des gesamten Vorschubantriebssystems direkt

beeinflusst werden. Durch das Vermindern der nichtlinearen Reibanteile kann das Auftreten von Stick-Slip verhindert und so die Bewegungsqualität von Vorschubantriebssystemen gesteigert werden. Die derzeitige Forschung beschäftigt sich mit der systematischen Gestaltung und Charakterisierung von Schwingführungen sowie deren Integration in die Steuerung des Vorschubantriebssystems.

Bild 3: Veränderung des Reibverhaltens durch Steuerung der Aktorspannung



**KONTAKT**  
 Dipl.-Ing. Tobias Engel  
 E-Mail: Tobias.Engel@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

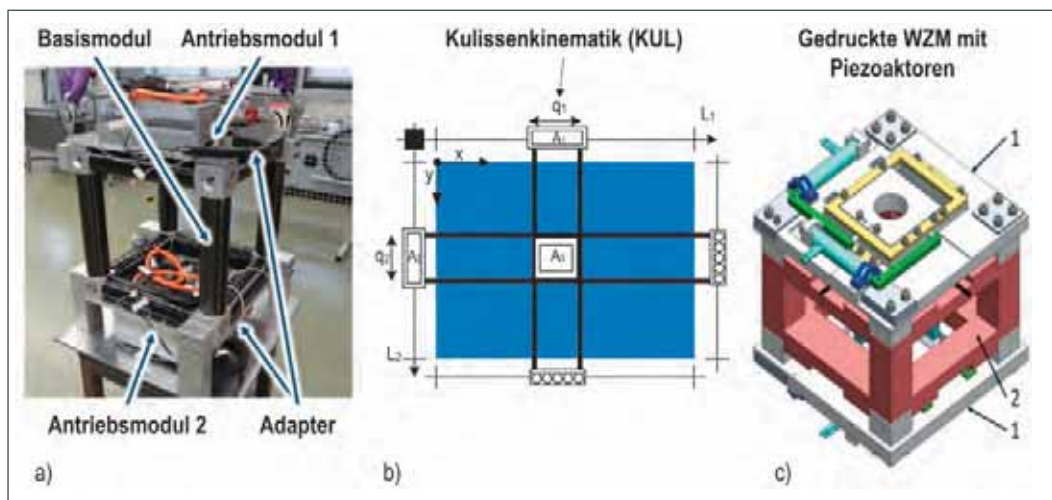


Bild 1: Konzepte von kleinen Werkzeugmaschinen

Durch gegenläufig angeordnete Bewegungsachsen für Werkstück und Werkzeug lassen sich Produktionsmaschinen durch generative Fertigungstechnologien modularer und kleiner aufbauen und mit alternativen Antriebstechnologien betreiben.

Derzeitige Werkzeugmaschinen in der Mikrofertigung weisen ein ungünstiges Verhältnis von Bauraum zu Arbeitsraum auf und sind unflexibel, wenn sich Prozessanforderungen ändern. Im ersten Projektzeit-

raum wurde ein Maschinenkonzept entwickelt, welches es erlaubt, Werkzeugmaschinen der Mikrofertigung kleiner als herkömmliche Maschinen zu bauen und an Prozesse anzupassen.

Dabei entstand ein sogenanntes *Production Cube Module (PCM)* (Bild 1a), 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 (**Bild 1b**). Für Untersuchungen des Fräsprozesses in der Mikrofertigung wurde eine luftgetriebene Turbinenspindel eingebaut. Dadurch ist es möglich, die erforderlichen Drehzahlen für die Bearbeitung mit Fräsern von einigen 10 µm Durchmesser zu erreichen.

In der zweiten Förderperiode mit einer Laufzeit von 3 Jahren wird die Verbesserung von Modularität, Energieeffizienz und ressourcenschonendem Aufbau und Nutzung vorangetrieben. Die weitere Miniaturisierung der Werkzeugmaschinen sowie Harmonisierung der Schnittstellen ist Forschungsaufgabe dieses Projektes.

Die Basis für eine Verkleinerung des Maschinensystems ist ein sogenanntes *monolithisches PCM*, das eine aus einem Teil hergestellte Werkzeugmaschine abbildet. Durch die Verringerung der Größe und Prozesskräfte gilt es zu untersuchen, ob die Struktur, Bewegungselemente und Führungen der Werkzeugmaschine mit Hilfe eines generativen Fertigungsverfahrens aus Kunststoff hergestellt werden können. Dadurch können Werkzeugmaschinen schnell und kostengünstig auf andere Prozesse oder Antriebe angepasst werden. Die Verkleinerung der Maschine und die Verwendung der kooperativen Bewegungserzeugung ermöglicht auch die Integration

neuer Antriebstechnologien, wie zum Beispiel einen Piezoaktor als hochdynamische Vorschubachse, da durch die kooperative Bewegung und eine Hebelkonstruktion ein Weg von 1 mm zurückgelegt werden kann. Ein erster Versuchsträger aus Kunststoff mit integrierten Piezoaktoren wird derzeit untersucht (**Bild 1c**). Diese gedruckte Werkzeugmaschine besteht, wie die Versuchsmaschine aus dem ersten Förderzeitraum aus einem Basismodul (**Bild 1c-2**) und 2 Antriebsmodulen (**Bild 1c-1**).

Die Erweiterung des PCM auf 5-Achs-Bearbeitung ist weiterhin Forschungsaufgabe dieses Projekts. Die Schwierigkeit zur Lösung dieser Aufgabe liegt darin, die Modularität nicht zu gefährden und den Effekt der Baugrößenverringern nicht wieder aufzuheben.

Um die Genauigkeit der kleinen Werkzeugmaschine mit wechselbaren Adapterplatten zu gewährleisten, wird ein geeignetes Kalibriersystem entwickelt. Dabei muss die Besonderheit der kooperativen Bewegungserzeugung berücksichtigt werden.

### KONTAKT

Dipl.-Ing. Christoph Batke  
E-Mail: Christoph.Batke@isw.uni-stuttgart.de

# ECOMATION

## ENERGIEEFFIZIENZ DURCH INTELLIGENTE AUTOMATISIERUNG



**GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG) IM RAHMEN DER FORSCHERGRUPPE 1088**

Nach wie vor ist das Thema der Energieeffizienz im Fokus der Industrie. Neben der positiven Außendarstellung sind mittlerweile auch die Energiekosten ein treibender Faktor um Energie einzusparen. Die einzelnen Maschinenkomponenten sind mittlerweile deutlich energieeffizienter als noch vor einigen Jahren, jedoch spielt im Betrieb vor allem das Zusammenspiel aller Komponenten eine große Rolle in Bezug auf den Energieverbrauch. Eine Vielzahl an Werkzeugmaschinen und anderen Fertigungseinrichtungen werden ständig unter wechselnden Anforderungen betrieben, so dass Maßnahmen gefordert sind, die situationsbezogen den Energieverbrauch von Maschinen und Anlagen abhängig von Prozessen und der tatsächlichen Auslastung optimieren.

Die Steuerung des Energieverbrauchs in der Fertigung und die kontinuierliche Steigerung der Energieeffizienz sind die Ziele der Forschergruppe ECOMATION. Dazu nutzt die Forschergruppe modellbasierte Methoden und die Automatisierungs- und Steuerungstechnik. Das Projekt unterteilt sich in fünf Teilprojekte, wo-

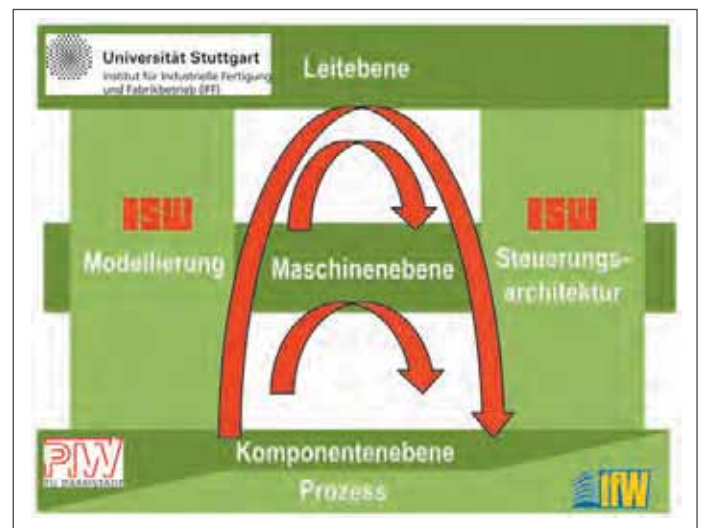


Bild 1: Projektstruktur ECOMATION

von Teilprojekt 1 „Prognosefähiges Energieverbrauchsmodell“ und Teilprojekt 2 „Maschinennaher Energieregelkreis in der Steuerung“ am ISW bearbeitet werden. Die Teilprojekte „Maschinenferner Energieregelkreis“, „Energieverbrauchsbeeinflussung auf Komponentenebene“ und „Energieverbrauchsbeeinflussung auf Prozess- und Verfahrensebene“ werden an der Universität Stuttgart vom Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), sowie vom Institut für Produktionsmanagement, Technolo-

gie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Universität Darmstadt und vom Institut für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart erforscht. Die Projektstruktur ist in **Bild 1** dargestellt.

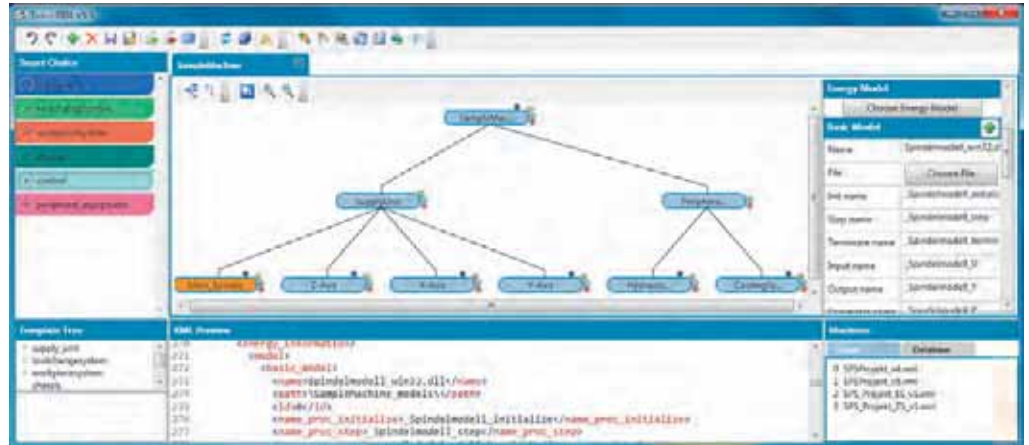
In den ersten beiden Projektphasen wurde der typische Energieverbrauch von Komponenten, Maschinen und den Fertigungsverfahren Drehen und Fräsen detailliert analysiert und in entsprechenden Modellen abgebildet. Dazu zählen neben Betriebszustandsmodellen, die die elektrische

Leistungsaufnahme der Werkzeugmaschinen in Abhängigkeit des Betriebszustands berechnen auch detaillierte Komponentenmodelle, die beispielsweise auf Basis von Drehzahl und Drehmoment die Leistung berechnen. Dies bildet die Grundlage für die weiteren Arbeiten innerhalb der Forschergruppe.

Die Modelle werden nun für die kontinuierliche Optimierung und damit Reduktion des Energieverbrauchs eingesetzt.

Um dies zu ermöglichen, wurde zunächst eine Energiebeschreibungssprache entwickelt, die verfügbare Energieinformationen für eine Maschine festhält und einem Monitoring- oder Optimierungssystem zur Verfügung stellt. Energieinformationen sind vorhandene Maschinenkomponenten, jeweils vorhandene Messsignale wie beispielsweise Drehzahl, Schaltzustände oder auch direkt der Energieverbrauch und für die Komponenten verfügbare Verbrauchsmodelle mit den notwendigen Modelleingängen und deren Modellausgänge. Die Beschreibungssprache ermöglicht zusätzlich die Verknüpfung von Maschinensignalen mit Modelleingängen. Zur Erstellung der Maschinenbeschreibung wurde ein Softwaresystem erstellt, in dem die Maschinenkomponenten hierarchisch angeordnet und die notwendigen Informationen verknüpft werden können (siehe **Bild 2**).

Um dem Maschinenbediener den Einfluss seiner Handlungen auf den Energieverbrauch an der Maschine deutlich darstellen zu können, wurde ein modellbasierter Verbrauchsmonitor entwickelt. Dieser stellt neben den Schaltsignalen der Steuerung und



*Bild 2: Erstellung der Energiebeschreibungssprache*

direkt verfügbarer Energiemesswerte auch die Ergebnisse der Simulation durch die Verbrauchsmodelle dar (siehe **Bild 3**).

Sind keine Energiemesswerte direkt vorhanden, werden die Modelle dazu eingesetzt den Verbrauch zu berechnen. Sind Energiemesswerte vorhanden, können die Modellberechnungen wiederum als Condition Monitoring System eingesetzt werden. Aus Abweichungen von der Modellberechnung könnte zum Beispiel auf möglichen Verschleiß der Komponenten geschlossen werden.

Durch die Modelle ist es zusätzlich möglich energieoptimale Schaltstrategien, zum Beispiel für das Einnehmen von Energiesparmodi, zu be-

stimmen. Hierzu werden mathematische Optimierungsmethoden so angepasst, dass sie auf die entwickelten Betriebszustandsmodelle angewendet werden können. Bild 4 zeigt den Vergleich einer im industriellen Einsatz erfassten Betriebszustandstrajektorie zu einer durch die Modelle optimierten.

Könnte durch eine mathematische Optimierung eine theoretische Reduktion des Energieverbrauchs ermittelt werden, dann muss diese durch Stellhebel in der Maschine oder Anlage umgesetzt werden. Hierfür wurden im Rahmen von ECOMATION am sercos-Energieprofil mitgearbeitet, über das Automatisierungskomponenten in Energiesparzustände überführt werden können. Das Energieprofil bil-

*Bild 3: Modellbasierter Verbrauchsmonitor*





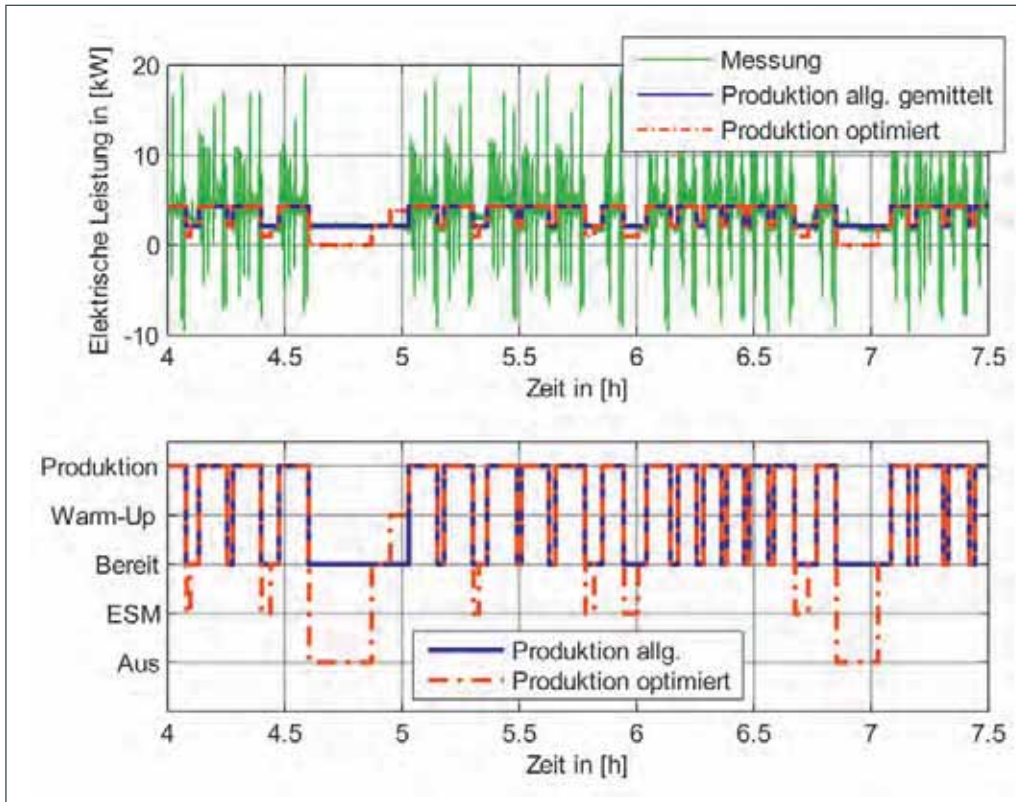


Bild 4: Modellbasierte Optimierung.

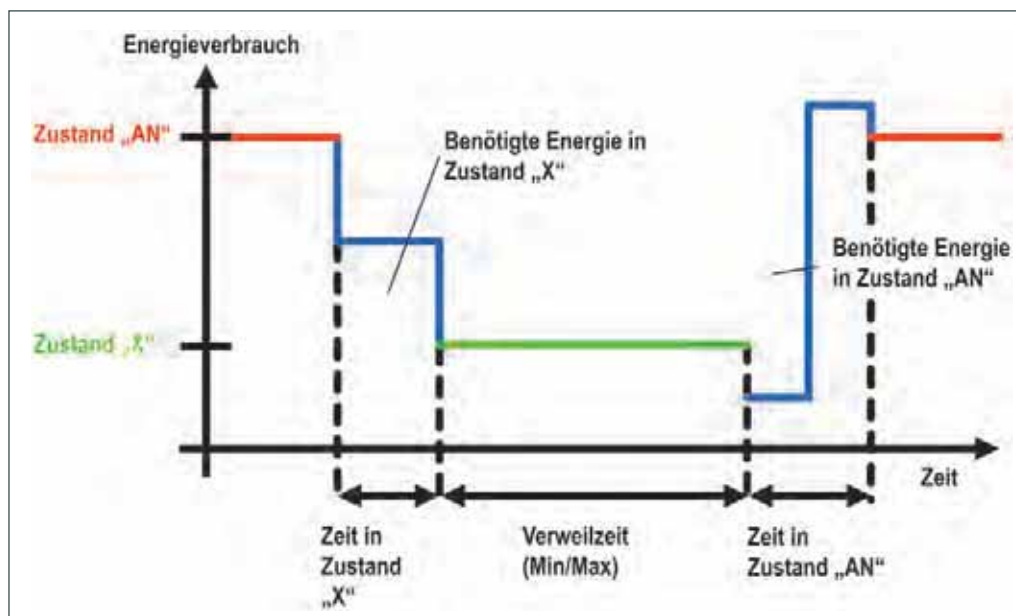
Zur prototypischen Umsetzung des Projektvorhabens ist am ISW eine 5-Achs-Hochgeschwindigkeitsfräsmaschine mit offener Steuerungsarchitektur vorhanden. Hierauf wird aktuell der ECOMATION-Gesamtdemonstrator erarbeitet, der auch die Entwicklungen der anderen drei Teilprojekte integriert und so die ganzheitliche mögliche Energieverbrauchsreduktion durch die Zusammenarbeit unterschiedlicher Maschinenbaudisziplinen darstellen wird.

det dabei wie in **Bild 5** dargestellt unterschiedliche energetisch relevante Informationen ab.

Weiterhin ist im Sercos-Energieprofil beschrieben, dass eine Automatisierungskomponente eigenständig entscheiden kann (lediglich durch

Übergabe der Pausenzeit), welche Energiesparzustand der optimale für sie ist. Der Optimierer ist dabei in der Komponente integriert. Durch die beiden, sich ergänzenden Ansätze soll Energieeinsparung in Maschinen einfach möglich werden.

Bild 5: Sercos-Energieprofil



**KONTAKT**

Dipl.-Ing. J. Schlechtendahl  
E-Mail: Jan.Schlechtendahl@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. P. Eberspächer  
E-Mail: Philipp.Eberspaecher@isw.uni-stuttgart.de

# 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

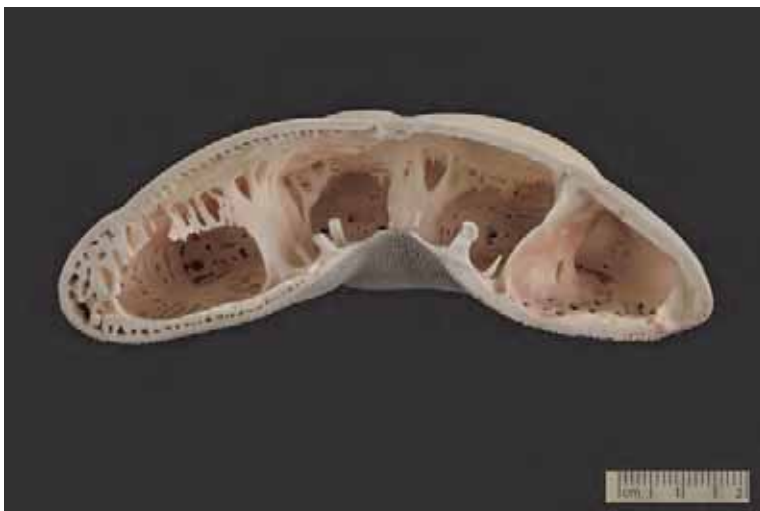


Bild 1: Panzer eines Sanddollars (Seeigel)

[Quelle: W. Gerber, Universität Tübingen]

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 (generative Verfahren) untersucht.

Lebewesen passen sich kontinuierlich durch Mutation, Rekombination und Selektion an sich ändernden Umgebungsbedingungen an. **Bild 1** zeigt das Ergebnis eines solchen Anpassungsprozesses

einer mechanischen Struktur. Bei diesem Vorgang ist der effiziente Einsatz von natürlichen Rohstoffen ein signifikanter evolutionstechnischer Vorteil. Dies führt zu Strukturen, welche nur aus einer

geringen Anzahl von chemischen Elementen und einfachen molekularen Strukturen bestehen, die direkt als Element aus dem natürlichen Stoffkreislauf gewonnen werden können.



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

Da das gesamte Forschungsprojekt als Dialog zwischen den Disziplinen Biologie, Fertigungstechnik und Architektur aufgebaut ist, werden die funktionell wichtigen Merkmale des biologischen Systems in einem Modell abstrahiert, welches die wesentlichen Eigenschaften, sowie die Designgrundlagen widerspiegelt. Dieses Modell dient als Grundlage für die Simulation der funktionellen Morphologie und Biomimetik sowie der technischen Implementierung.

Durch Abstraktion und methodisches Übertragen biologischer Eigenschaften und Phänomene werden die Grundlagen für zukünftige gebaute Strukturen

nach biologischem Vorbild geschaffen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird sowohl eine Systematik als auch eine konkrete Abbildung für die Herstellung solcher Strukturen abgeleitet. Dies gilt sowohl im kleinen Maßstab als auch im Maßstab des Bauwesens, was bedeutet, dass die Herstellung sowohl im biomimetischen Maßstab als auch skaliert auf reale Baugrößen betrachtet werden muss (siehe **Bild 2**).

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.

Das Teilprojekt „*Fabrication of biomimetic and biologically inspired (modular) structures for use in the construction industry*“ (B04) beschäftigt sich mit der Herstellung solcher biomi-

metischer 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 und bisher auch nicht-bauspezifischen Werkstoffen zu überführen. Methodisch ist geplant, die Herstellungsmethoden zunächst im kleinen Maßstab (Modell, Elementarzelle) zu überprüfen und zu verifizieren, um dann die Erkenntnisse in weiteren Forschungsabschnitten auf die Herstellung von Bauteilen im architektonischen Maßstab übertragen zu können. Eine bedeutende Randbedingung für die Weiterentwicklung von Herstellungsverfahren bildet die Tatsache, dass auch eine wirtschaftliche Herstellung von komplexen Bauteilstrukturen bei einer Ausführungszahl von eins gewährleistet sein soll.



Bild 3: FDM-Druckkopf an einem Roboter mit CFK-Faser [Quelle: Fhg-IPA]

Am ISW wird die Verwendung von Schichtenverfahren (generative Verfahren) untersucht, wobei in einem ersten Schritt die Herstellung mittels hochskaliertem *Fused Deposition Modeling* (FDM) (**Bild 3**) im Vordergrund steht. Allgemein eignet sich die Familie der schichtbasierten Fertigungsverfahren für den Aufbau komplexer Geometrien und Strukturen, die Funktionsintegration in Bauteile und somit für die Generierung von Leichtbaustrukturen nach dem Vorbild aus der Biologie.

Von wesentlicher Bedeutung wird die Bereitstellung prozessgekoppelter steuerungstechnischer Funktionen sein, da additive Fertigungsverfahren prozesstechnisch unbestimmte Ergebnisse liefern. Die sensorische Rückführung, die Bereitstellung von Zyklen zur Materialausbringung und die Ansteuerung der Prozessaggregate sind zu beherrschen. Mit neuen Funktionen zur Fertigung von sensorisch und aktorisch wirkenden Strukturen, sind weitere Herausforderungen zu erwarten.

Weitere Institute werden Untersuchungen zu Sprüh- und Gießverfahren (ILEK) zur Herstellung der inneren Strukturierung von Betonbauteilen/Elementarzellen sowie Pultrusionsverfahren (ITFT) zur Herstellung räumlicher, biomimetischer Strukturen durchführen. Inwieweit sich diese unterschiedlichen Herstellungsverfahren ergänzen können beziehungsweise zu einem hybriden Herstellungsverfahren in ein und derselben Anlage zur Anwendung kommen können, ist zu prüfen.

Da es ein Grundprinzip lastaufnehmender, lebender Materie ist, die Lastabtragung über matrixgebundene Fasern zu vollziehen, werden die verschiedenen makroskopischen Eigenschaften von Bauwerkstoffen durch die gezielte Einlagerung unterschiedlicher Fasermaterialien mit bevorzugter Faserausrichtung erreicht. Damit sollen sowohl mittels schichtbasierter Verfahren als auch räumlicher Pultrusion faserverstärkte Strukturen mit gradiertem Verhalten hergestellt werden und diese

auf ihre Eignung untersucht werden.

Neben der fertigungstechnischen Fragestellung wird herausgearbeitet, in wie weit durch Maßstabseffekte die biologischen Phänomene und Herstellungstechniken und Werkstoffeinsatz aufeinander einwirken und gegebenenfalls modifiziert werden müssen, um geforderte Eigenschaften und Funktionen im hochskalierten Zustand zu gewährleisten.

### PROJEKTPARTNER:



Universität Stuttgart



#### KONTAKT

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



# FOR 501 „TOPOLOGISCH OPTIMIERTE BAUTEILE FÜR GENERATIVE FERTIGUNGSVERFAHREN (TOPGEN)“

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)

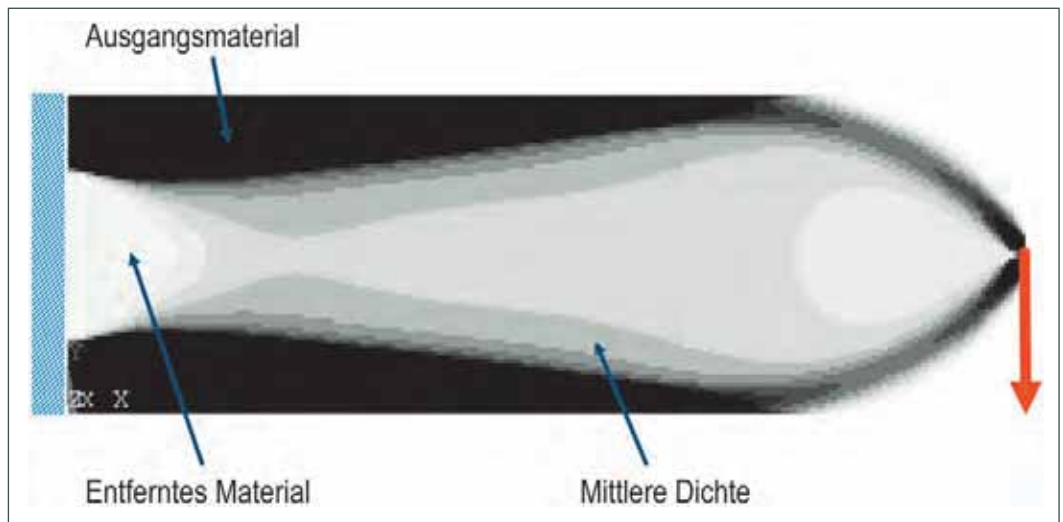


Bild 1: Topologieoptimierung ohne Fertigungsrestriktionen

In diesem Forschungsprojekt wird die Entwicklung und Erprobung einer Fertigungsmethode zur Verbesserung der Steifigkeit von massiven Werkzeugmaschinenkomponenten bei gleichzeitiger Minimierung der Masse und Erhöhung der Fertigungsflexibilität angestrebt. Dabei wird das Ergebnis einer kombinierten Parameter- und Topologieoptimierung zunächst auf ein FE-Modell (Finite Elemente Modell) der zu optimierenden Struktur angewandt und danach die resultierende Struktur durch „Laminated Object Manufacturing“ (LOM-Technik) hergestellt.

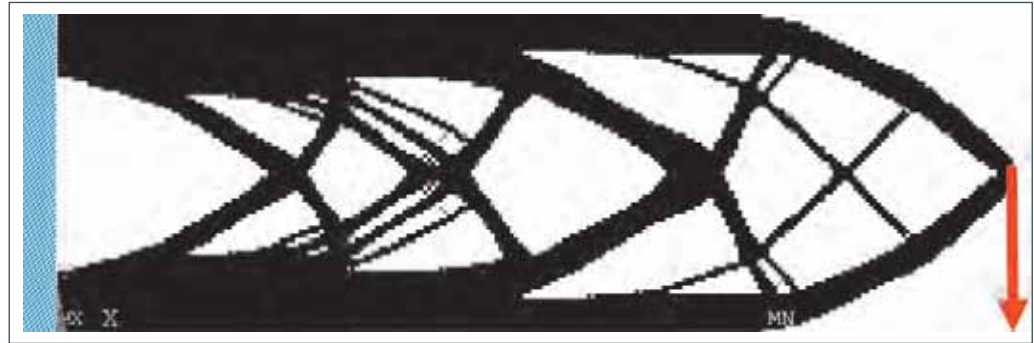
Aufgrund der gestiegenen Leistungs- und Genauigkeitsanforderungen im Bereich der Werkzeugmaschinen und Handhabungssysteme, spielt die Dynamik von Strukturen eine immer größere Rolle. Dies erfordert Entwürfe, welche die

Maschinenmasse minimieren, jedoch weiterhin die maximal erforderliche Steifigkeit gewährleisten. In der Konzeptfindungs- und Konstruktionsphase werden daher vorwiegend CAD-Programme, aber auch vermehrt numerische Optimierungs-

methoden eingesetzt, um die Designtopologie zu optimieren. Optimalität bedeutet, dass das Bauteil bei vorgegebener Masse und Randbedingungen eine minimale Dehnungsenergie besitzt.

Die natürliche und global optimale Lösung einer Topologieoptimierung erlaubt in jedem Punkt des Designraums eine an die lokale Belastung angepasste Dichte und ein angepasstes E-Modul. Dieses Ergebnis ist garantiert optimal, aber da Dichte und E-Modul im Designraum variieren, kann die resultierende Topologie nicht mit gängigen Fertigungsverfahren hergestellt werden. **Bild 1** stellt als Beispiel einen Balken dar, dessen Topologie nach dem globalen Optimierungsverfahren ohne Fertigungsrestriktionen optimiert wurde.

Durch die Einführung einer sogenannten Penalisierung des E-Moduls wird das Ergebnis der Topologieoptimierung zu einem Entweder-Oder-Ergebnis gezwungen, das mit den üblichen Fertigungsverfahren produzierbar ist. Dies geschieht jedoch auf Kosten der Steifigkeit, da jede Zwangsbedingung unmittelbar zu einer Verschlechterung der Objektivfunktion führt. Daraus folgend ist die Entwicklung von weiteren Korrekturmethode notwendig, die im Allgemeinen die Generierung von Ergebnissen aus Topologieoptimierungen erleichtern. Die bekannteste Methode ist der sogenannte SIMP-Ansatz (SIMP: Solid Isotropic Material with Penalisation). Auf diese Weise werden die grauen Gebiete (in **Bild 1**) strukturell ineffizient, da sie bezogen auf ihre Dichte viel nachgiebiger als die schwarzen Gebiete sind. Das Ergebnis der Topologieoptimierung mit dem SIMP-Ansatz ist in **Bild 2** dargestellt. Es ist zu erkennen, dass es in diesem Fall ausschließlich schwarze oder weiße Bereiche gibt, sodass ein fertigungsgerechtes Ergebnis möglich wäre. Aller-



dings sind die Ergebnisse um 20% schlechter als ohne Einschränkung der Dichte, wie in **Bild 1** zu sehen ist. Außerdem benötigt die Topologieoptimierung mit Fertigungsrestriktionen mehr Iterationen als ohne.

Mit jeder zusätzlichen Fertigungsrestriktion jedoch entfernt sich das Ergebnis immer mehr vom Optimum. Aus diesem Grund wären Methoden zur Herstellung von Ergebnissen der Topologieoptimierung ohne Fertigungsrestriktion besonders vorteilhaft. Es werden jedoch zwei Hauptprobleme identifiziert, die bei der Topologieoptimierung ohne Fertigungsrestriktion auftreten. Zum einen treten Hohlräume und Hinterschnitte auf, die durch die gängigen Fer-

tigungsverfahren wie Fräsen oder Gießen nicht herstellbar sind und zum anderen ist die variable, lokal einstellbare Materialdichte bzw. Materialsteifigkeit nicht ohne weiteres machbar.

Auf der Suche nach einer Fertigungsmethode für die Ergebnisse aus der Topologieoptimierung ohne Fertigungsrestriktionen erweisen sich die generativen Fertigungsverfahren als besonders geeignet. Hierbei ist das LOM-Verfahren (Laminated Object Manufacturing) für das Lösen der oben genannten Probleme im Fokus. Das LOM gehört zu den derzeit verwendeten Rapid-Prototyping-Verfahren und ist u. a. für die Anwendung im Sandgussbereich und aufgrund der geringen Ferti-

Bild 2: Topologieoptimierung mit Einschränkung der Dichte

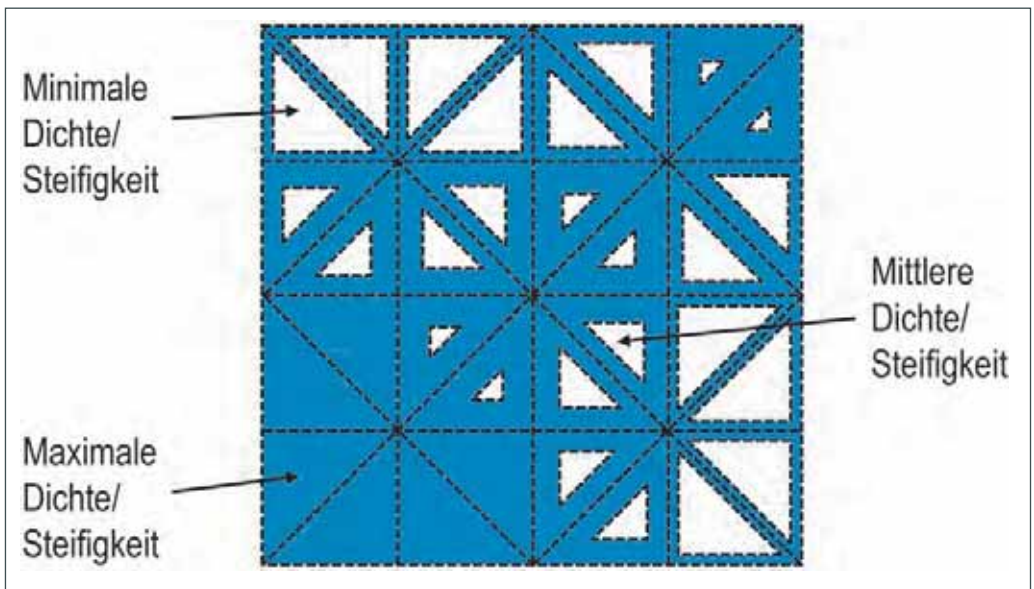


Bild 3: Mögliche Blechmikrostruktur mit Dreiecken

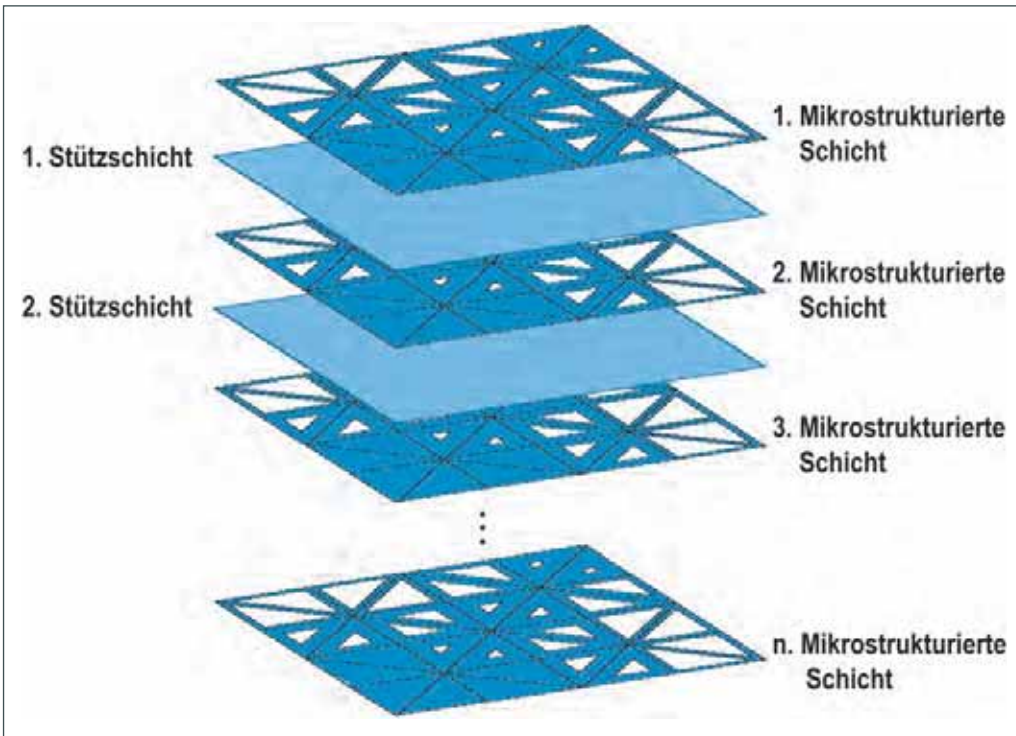


Bild 4: Aufbau von 3D-Strukturen aus Mikrostruktur- und Stützschichten

gungskosten bei massiven Bauteilen mit kleinen Stückzahlen vorteilhaft. Zur Herstellung von Bauteilen mit diesem Verfahren wird die Ausgangsgeometrie aus dünnen Blechen hergestellt, die für eine maximale Festigkeit mit Hilfe von Adhäsiven verbunden werden. Auf diese Weise können Hohlräume und Hinterschnitte hergestellt werden. Die Forderung nach einer lokal herstellbaren Dichte und Steifigkeit ist der Hauptgegenstand des Projektes. Hierbei wird

mit Hilfe einer im Millimeterbereich ausgeschnittenen Blechmikrostruktur eine lokale Anpassung des Materialeinsatzes angestrebt. Die Verwendung einer möglichen Dreiecksmikrostruktur zur lokalen Anpassung des Materialeinsatzes ist in **Bild 3** für eine einzige Blechschicht beispielhaft dargestellt.

Durch unterschiedliche Parametrisierung der einzelnen Dreiecke kann der Materialansatz variiert werden. Die

resultierende Materialdichte und Materialsteifigkeit wird durch Mittelung über mehrere Nachbarzellen der Mikrostruktur interpretiert. Da die Zellen der Mikrostruktur kinematisch nicht verformbare Dreiecke sind, ist eine hohe Stabilität der resultierenden Makrostruktur gewährleistet. Durch Aufeinanderstapeln von mehreren Mikrostrukturschichten (LOM-Verfahren) entstehen 3D-Strukturen mit lokal angepasster Dichte und Steifigkeit (**Bild 4**). Dadurch wird das Ergebnis einer Topologieoptimierung angenähert und Fertigungsrestriktionen können weitestgehend unberücksichtigt bleiben.

In diesem Projekt wird die Zusammenwirkung von Topologieoptimierung und LOM-Verfahren untersucht, aber auch, ob dabei höhere Gewichtersparnisse als bei klassisch ausgelegten Konstruktionen zu erwarten sind.

**KONTAKT**

M.Sc. Mahdi Mottahedi  
 E-Mail: Mahdi.Mottahedi@isw.uni-stuttgart.de

# UNTERSUCHUNG UND UMSETZUNG VON ALGORITHMEN FÜR DIE BERECHNUNG VON MODELLGLEICHUNGEN DER ELEKTRISCHEN ANTRIEBSTECHNIK AUF PROGRAMMIERBAREN LOGIKBAUSTEINEN

GEFÖRDERT VON DER  
DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)

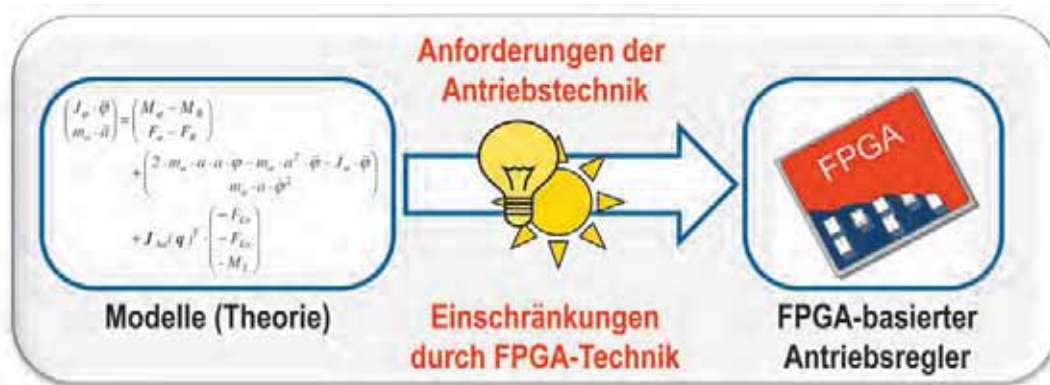


Bild 1: Darstellung der Projektidee

Modellbasierte Verfahren können in vielen Anwendungen bereits als „State-of-the-Art“ angesehen werden. Auch ist der Aufwand zur Erstellung entsprechender Modelle dank leistungsfähiger Werkzeuge stetig vereinfacht worden. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird untersucht, wie sich derartige Modelle effizient, unter Nutzung leistungsfähiger, programmierbarer Logik, in reale Reglersysteme integrieren lassen.

Heute ist es effizient möglich, mechanische oder elektrische Antriebssysteme, beispielsweise in *MATLAB/SIMULINK*, zu modellieren und zu untersuchen. Basierend darauf können verbesserte Regelverfahren genutzt werden, beispielsweise die *Modellprädik-*

*tive Regelung (MPC)*. Trotzdem ist der Transfer auf eine reale Steuerungsplattform mit einem Bruch der Beschreibungsform und Einschränkungen durch die Hardware verbunden. An dieser Stelle ist nach wie vor manuelle Implementierungsarbeit notwendig.

Gleichzeitig ist ein zunehmendes Interesse am Einsatz von Plattformen auf Basis von programmierbarer Logik (z. B. FPGA) zu beobachten. Diese können ihre wesentlichen Vorteile, nämlich die echt-parallele Arbeitsweise und die flexible Rekonfigurierbarkeit aber nur



#### KONTAKT

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



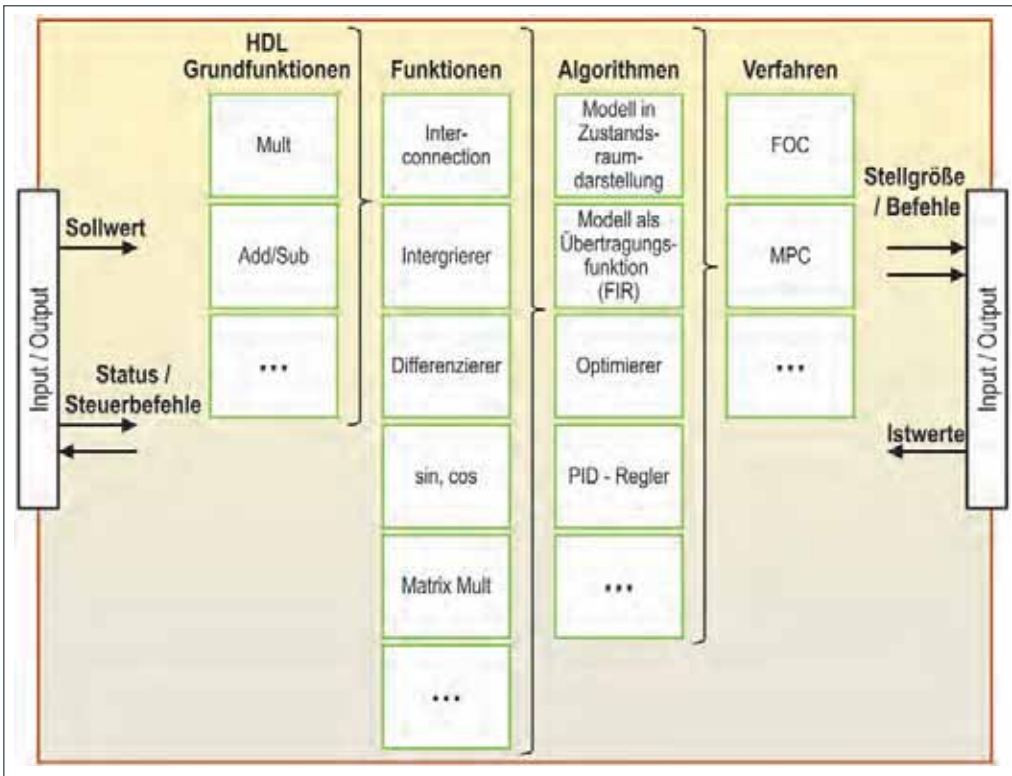


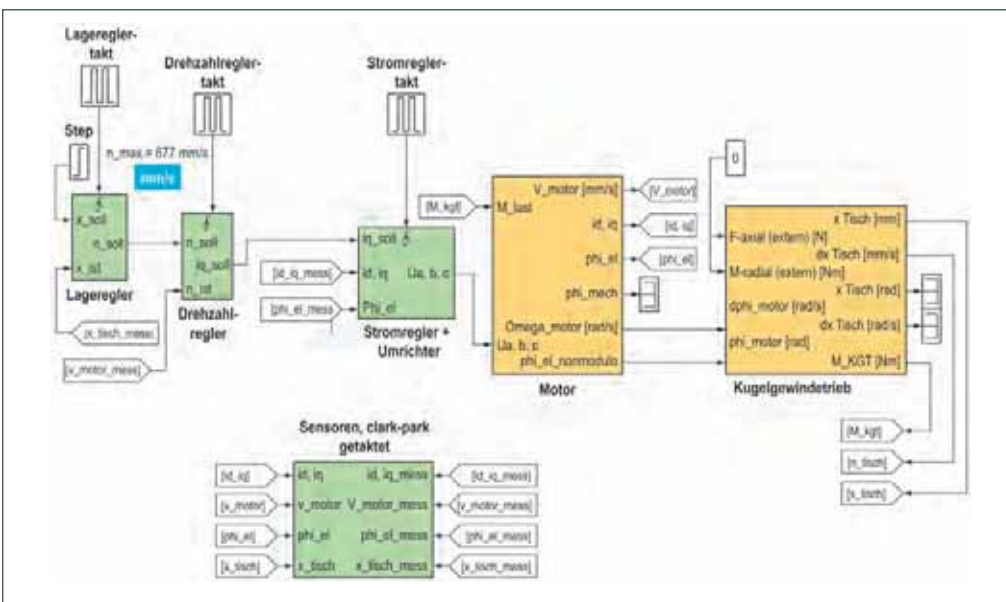
Bild 2: Untergliederung des Baukastens

ausspielen, wenn Architektur und Implementierung der Anwendung darauf abgestimmt sind.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, durch einen modularen Baukasten einer Vielzahl von für die Antriebstechnik relevanten Modulen eine durchgängige Umgebung für die Umsetzung anschau-

licher Beschreibungsformen bereitzustellen. Ziel ist dabei die Reduktion des Implementierungsaufwandes durch sinnvoll gewählte Funktionsblöcke und einheitliche Schnittstellen. **Bild 1** zeigt, dass dabei sowohl Anforderungen aus der Antriebstechnik als auch Einschränkungen bedingt durch die FPGA-Technologie berücksichtigt werden müssen.

Bild 3: Beispielhaftes Modell einer Vorschubachse



Innerhalb einer ersten Förderperiode wurden hierzu relevante, modellbasierte Verfahren analysiert und in die notwendigen Algorithmen und ihre Anforderungen identifiziert. Diese werden hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit und möglicher Optimierungsmöglichkeiten bewertet und auf einer bestehenden *Offenen Antriebsreglerplattform* exemplarisch umgesetzt.

Der Baukasten stellt Funktionen dabei auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen bereit. Entsprechend **Bild 2** reichen diese aufeinander aufbauend von einfachen arithmetischen Blöcken über die Darstellung von Übertragungsfunktionen oder Zustandsraumgleichungen bis hin zu generischen Regelverfahren, jeweils in einer für die zeitdiskrete Implementierung auf programmierbarer Logik optimierten Form. Mittels geeigneter Verschaltung der Signalverbindungen, sowie optional der Nutzung von partieller Rekonfiguration, besteht auch zur Laufzeit die Freiheit in der Wahl der Signalflüsse.

Um den Ansatz mit einer realen Anwendung abzugleichen, werden entsprechende Simulationsmodelle für einen Antriebsstrang basierend auf einem Kugelgewindtrieb (beispielhaft dargestellt in **Bild 3**) sowie einer Zahnriemenachse erstellt und mit Messungen verglichen. Dadurch kann nachgewiesen werden, dass das System hinreichend genau abgebildet wurde und sich das Modell für den Einsatz in einer modellbasierten Regelung eignet. Weiterhin wird die Umsetzung allgemeiner Funktionen wie beispielsweise der *Feldorientierten Regelung* anhand des erarbeiteten Baukastens, seiner Schnittstellen und Datentypen überprüft.

# INDUKTIVE ERWÄRMUNG VON TITAN FÜR DIE SEMI-SOLID-FORMGEBUNG

GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)



Bild 1: Versuchsanlage zur Induktionserwärmung

In vorherigen Projekten wurde am ISW in Zusammenarbeit mit dem IFU, welches Thixoschmiedeprozesse erforscht, 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 Prozessfenster bringt. Dadurch wird zum einen energieeffizient gearbeitet, zum anderen eine Degenerierung des Materialgefüges verhindert.

Vorzugsweise wird hierbei auf die induktive Erwärmung zurückgegriffen. Bei dieser erfolgt die Erwärmung jedoch auf Grund des Skineffekts

nicht homogen. Es muss daher sowohl eine Verflüssigung des Randbereichs verhindert als auch eine ausreichende Erwärmung des Kernmaterials sichergestellt werden. Um dies zu gewährleisten, wurden am ISW zwei Verfahren entworfen, auf einer dafür entworfenen Anlage erprobt (s. **Bild 1**) und zum Patent angemeldet. Für diese Verfahren wurden in bisherigen Projekten die mess- und regelungstechnischen Grundlagen gelegt, wobei bislang Aluminium als Werkstoff zum Einsatz kam.

Titan als Werkstoff ist nicht zuletzt auf Grund seiner hohen Kosten für eine materialschonende Umformung interessant. Es stellt jedoch wegen seiner geringen Wärmeleitfähigkeit und des sehr schmalen Prozessfensters hohe Anforderungen an die Mess- und Regelungstechnik. Außerdem ist die Prozesstemperatur mit

Titan ist ein teurer und schwierig zu bearbeitender Werkstoff. Gleichzeitig ist er aufgrund seiner Leichtigkeit und Biokompatibilität für viele Industrien ein interessanter Werkstoff. Im Rahmen dieses Projekts wird die Anwendbarkeit des Thixoschmiedens in Verbindung mit einer induktiven Erwärmung des Materials untersucht.

über 1600°C deutlich höher als bei Aluminium, was hohe Anforderungen an die Sicherheit und Anlagentechnik stellt (s. **Bild 2**).

Im Rahmen dieses Projekts wird die bestehende Anlagentechnik für die Handhabung von Titan modifiziert und die bestehende Messtechnik ebenso wie die Regelungstechnik für die neuen Anforderungen weiterentwickelt. Ziel ist eine prozesssichere Erwärmung für die Umformung.



Bild 2: Induktives Erwärmen von Titan (TiAl6V4)

## PROJEKTPARTNER:

- » Institut für Umformtechnik (Universität Stuttgart)



## KONTAKT

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

# FOR 639, TEILPROJEKT 4 „STEUERUNGSBASIERTE MASCHINENDIAGNOSE (STEMADI)“

**GEFÖRDERT VON DER DEUTSCHEN  
FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)**



Mit dem Ziel die Wartung an Maschinen basierend auf Zustandsbeobachtung („Condition Monitoring“) kosten- und zeiteffizient zu ermöglichen, wurden im Teilprojekt 4 „Steuerungsbasierte Maschinendiagnose“ der Forschergruppe „Gezielte vorbeugende Wartung durch automatisierte Zustandsbeobachtung“ die Funktionen entwickelt, die auf Steuerungsebene erforderlich sind (z. B. achsübergreifende Funktionen).

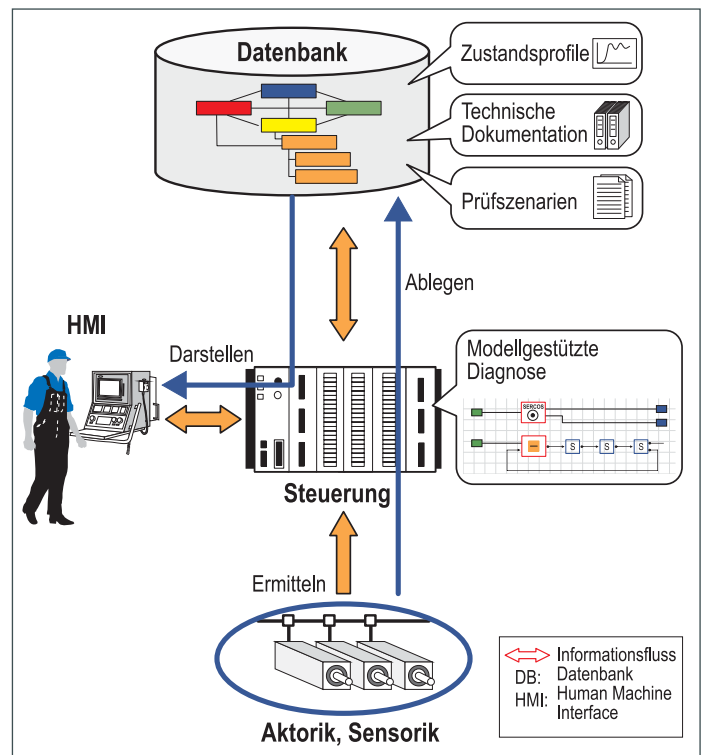


Bild 1: Konzept der steuerungsbasierten Maschinendiagnose

Im Wettbewerb des produzierenden Gewerbes steigen Kostendruck und Qualitätsansprüche stetig. Wichtige Maßnahmen für die Verkürzung von Stillstandszeiten der Werkzeugmaschinen sind dabei die Zustandsüberwachung und die Diagnose. Die bestehenden sensorbasierten Diagnosesysteme sind allerdings nicht direkt in die Steuerung

integriert und nutzen daher nicht die dort vorhandenen Daten als Referenz. Die Maschinendiagnose erfolgt derzeit nur spezifisch und an wenigen Komponenten, wobei die diagnoserelevanten Antriebssignale weitgehend ungenutzt bleiben. Die achs- oder aggregatübergreifenden Effekte werden in bestehenden Diagnosesystemen nicht betrachtet.

Das Ziel des Projektes stemadi war es, basierend auf diesen Informationen im laufenden Betrieb frühzeitig Maschinenfehler bzw. Verschleißzustände zu erkennen, welche sich nur bei Kenntnis des Verhaltens aller Achsen beobachten lassen. Hierbei sind insbesondere die Wechselwirkungen zwischen den Achsen zu betrachten. Dies kann nur sinn-

## KONTAKT

Dipl.-Ing. Michael Voß  
E-Mail: Michael.Voss@isw.uni-stuttgart.de

voll in der NC-Steuerung einer Maschine geschehen, da hier die Informationen der einzelnen Antriebe zusammenfließen (s. **Bild 1**).

Während der ersten Förderperiode des Vorhabens wurde am ISW das stemadi-Informationsmodell entwickelt. Diese Informationsinfrastruktur zur steuerungsinternen Signalerfassung und -aufbereitung ermöglicht die Aufzeichnung, die systematische Abspeicherung und die Aufbereitung der steuerungsinternen Signale der Maschine zum Zwecke der Maschinendiagnose.

Zur Langzeitüberwachung wurde das entwickelte Informationsmodell während der zweiten Förderperiode erweitert, um Fehler-, Maschinenzustand- und Verschleißhistorie zu speichern.

Ergebnisse der abgeschlossenen Arbeiten war der Entwurf eines automatisierten modellgestützten Verfahrens sowie der zugehörigen Steuerungsarchitektur zur Überwachung, Analyse und Diagnose von Maschinen und Fertigungsanlagen (s. **Bild 2**).

Das Verfahren basiert auf der Integration eines Maschinenmodells in die NC-Steuerung, einem sogenannten Diagnosemodell. Dadurch ist es möglich, dafür besonders geeignete, steuerungsinterne Signale als Eingangsgrößen für das Modell und zur Identifikationszwecken anzuwenden. Um den Modellierungsaufwand gering zu halten, sind Methoden zur weitestgehend automatisierten Identifikation der Modellparameter ein wichtiger Teil des Verfahrens. Diese sind in Form von einem Parameteridentifizierer umgesetzt. Schließlich werden Rück-

schlüsse auf den Maschinenzustand durch den Vergleich mit der realen Maschine im Zusammenhang mit einem Diagnoseverfahren und der Verschleiß- und Fehlerhistorie getroffen.

Der Modellierungsansatz beruht auf einem parametrischen Modell der Maschine (s. **Bild 3**). Es handelt sich dabei um ein analytisches Modell, welches durch Parameter beschrieben wird. Das heißt, die Modellparameter spiegeln die physikalischen Eigenschaften der Maschine wider. Deshalb können diese als Symptome für eine Diagnose verwendet werden, mit welcher die schadhafte Baugruppe der Maschine ermittelt werden kann.

Darüber hinaus ist die Aufbereitung der gewonnenen Informationen zu deren weiteren Verwertung bei der Instandhaltungsplanung ein wichtiges Ergebnis dieses Projekts. Deshalb werden für den Werker und die Instandhaltung situative Maschinen-

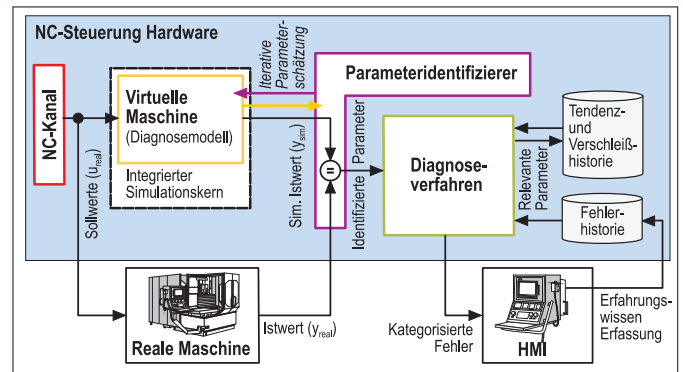
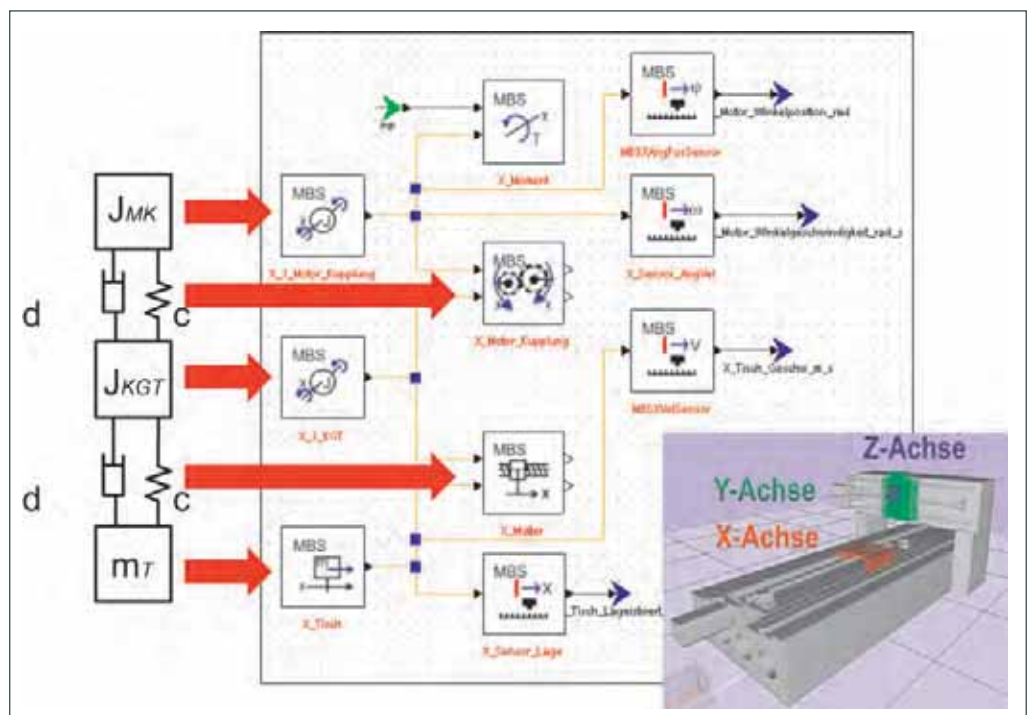


Bild 2: Verfahren zur automatisierten modellgestützten Maschinendiagnose

zustandsanzeigen sowie Handlungsmodelle für die geführte Störungsbeseitigung, Wartung und Instandsetzung basierend auf der technischen Dokumentation erarbeitet.

In der Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten der Forschergruppe wurden die wissenschaftlichen Voraussetzungen für eine gezielte vorbeugende Wartung durch automatisierte Zustandsbeobachtung umfassend erarbeitet.

Bild 3: Parametrisches Modell der Mechanik einer KGT-Achse





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

**GEFÖRDERT VON DER  
DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)**

Die Entwicklungen der Prozesortechnik 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.

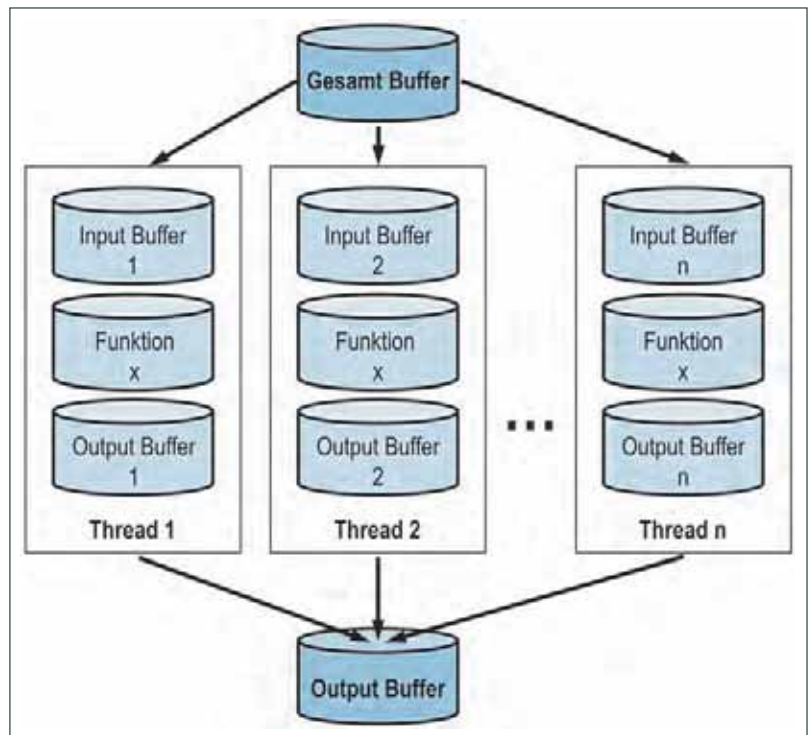


Bild 1: Erhöhung des Datendurchsatzes im NC-Kanal durch Datenparallelität

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 Werk-

stückqualität 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

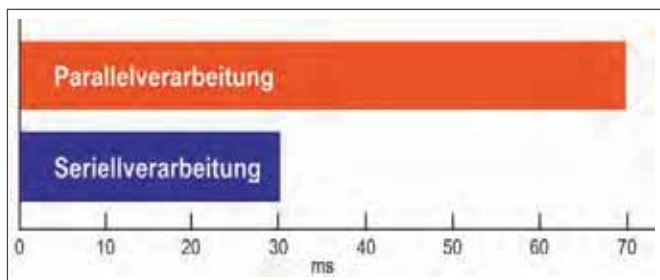


Bild 2: Vergleich von Ausführungszeiten (hier Look-Ahead) für gegebenen Datensatz

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 aus-

föhrbare 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 Bahnvor-

bereitung, 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 ein auslaufendes Modell sind, muss der Umstieg auf Multicore-Prozessoren erfolgen.

Ziel des Projektes PANAMA ist es aus diesem Grund, den NC-Kern softwaretechnisch zu partitionieren um den größtmöglichen Nutzen aus der Leistungssteigerung durch mehrere Kerne zu ziehen.

Der Fokus der aktuellen Arbeiten liegt auf der Partitionierung asynchroner Funktionen des NC-Kanals, also Funktionen mit weichen Echtzeitanforderungen. Der Ansatz besteht darin, die zu verarbeitenden Daten auf mehrere Instanzen einer Funktion aufzuteilen, um so durch Datenparallelität den Datendurchsatz im NC-Kanal zu erhöhen, siehe **Bild 1**. Hierbei ergeben sich unter anderem zwei Herausforderungen: Zum einen müssen bei der Aufteilung von Daten Abhängigkeiten zwischen den Daten berücksichtigt werden. Die Aufteilung der Daten darf nicht zum Informationsverlust an den Trennstellen führen. Zum anderen ist bei der Parallelverarbeitung nicht sichergestellt, dass die ein-

zelnen Instanzen einer Funktion gemäß der Reihenfolge der Daten terminieren. Aus diesem Grund muss die Möglichkeit geschaffen werden, die Daten dennoch wieder in ihrer ursprünglichen Reihenfolge an die nachgelagerte Funktion weiterzugeben.

Aktuelle Untersuchungsergebnisse sind vielversprechend, siehe **Bild 2** und **Bild 3**. Mit den parallel ausgeführten Funktionen lässt 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.

Aktuell werden die Funktionen losgelöst vom Gesamtsystem der NC-Steuerung betrachtet. Im Fortgang des Projekts zur Partitionierung der Funktionen des NC-Kanals sollen deshalb weitere Funktionen implementiert und partitioniert werden und in ein Gesamtsystem eingebettet werden. Die Validierung der Partitionierungskonzepte kann dann auch unter Berücksichtigung von Effekten erfolgen, die dadurch entstehen, dass mehrere Threads um die Hardware-Ressourcen konkurrieren. Weiter müssen Lösungen zur Partitionierung synchroner Funktionen mit harten Echtzeitanforderungen erforscht und validiert werden.

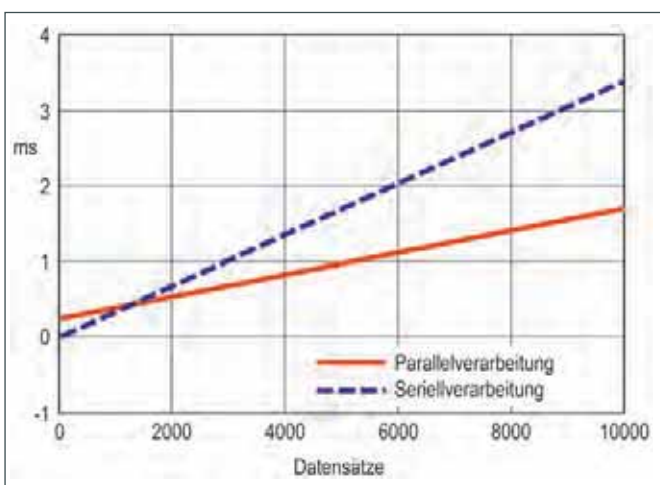


Bild 3: Vergleich von Ausführungszeiten (hier Look-Ahead) in Abhängigkeit vom Datenaufkommen

**KONTAKT**  
 Dipl.-Ing. Matthias Keinert  
 E-Mail: Matthias.Keinert@isw.uni-stuttgart.de



# INDUSTRIELLE POWERLINE-KOMMUNIKATION FÜR INDUSTRIEROBOTER UND FERTIGUNGSZELLEN

**GEFÖRDERT VON DER  
DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (DFG)**



Maschinen- sowie Komponentenhersteller stehen vor einer großen Herausforderung: Einerseits verlangen ihre Kunden niedrigere Preise, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, andererseits wünschen sich dieselben Kunden auch eine höhere Verfügbarkeit, d.h. weniger Fehleranfälligkeit, schnellere Inbetriebnahme und Modularität. Powerline Communication (PLC) erscheint hierfür eine vielversprechende Lösung zu sein, weil es eine geringere Anzahl an Schnittstellen und Kabeln, aber auch geringere Inbetriebnahme- und Wartungskosten verspricht.

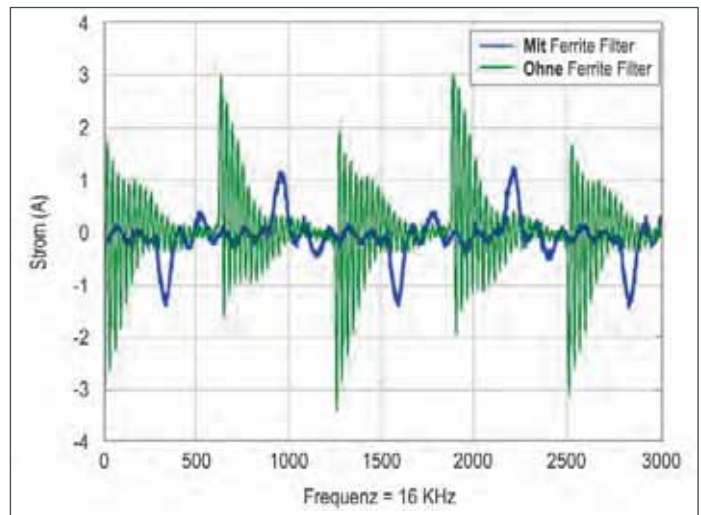


Bild 1: Zeitdomänenverlauf

Das erste Ziel dieses Projekts war es, die Möglichkeit der Anwendung eines passiven Ferritfilters in Powerline-Kabeln zu untersuchen, um Impulsstörungen der IGBTs in der Leistungsstufe des Antriebs

zu dämpfen. Das zweite Ziel dieses Projekts war es, nachdem die Powerline-Kabel mit Ferriten gefiltert sind, die Anwendbarkeit von PLC in der industriellen Feldbuskommunikation zu evaluieren sowie die benötigten Adaptionen zu definieren. Zur Erreichung dieser Ziele wurden folgende drei Schritte unternommen:

eine integrierte Leistungsversorgung und Kommunikationstechnik sowie Neustrukturierung bzw. Adaption des Zellenaufbaus, angepasst an die Erfordernisse eines IPLC-Systems. Diese Information war hilfreich bei der Ermittlung der minimalen Anforderungen an ein industrielles Powerline-Kommunikationssystem (siehe **Tabelle 1**).

1) Ermittlung geeigneter Systemgrenzen von Komponenten der Fertigungszelle für

2) Konzeption eines integrierten IPLC-Systems für mehrere

Tabelle 1:  
Anforderungen an ein IPLC-System

Parameter	Wert
Übertragungsrate	applikationsabhängig
Maximale Zykluszeit	10 ms
Maximaler Jitter	ca. 1 µs
Determinismus	Ja

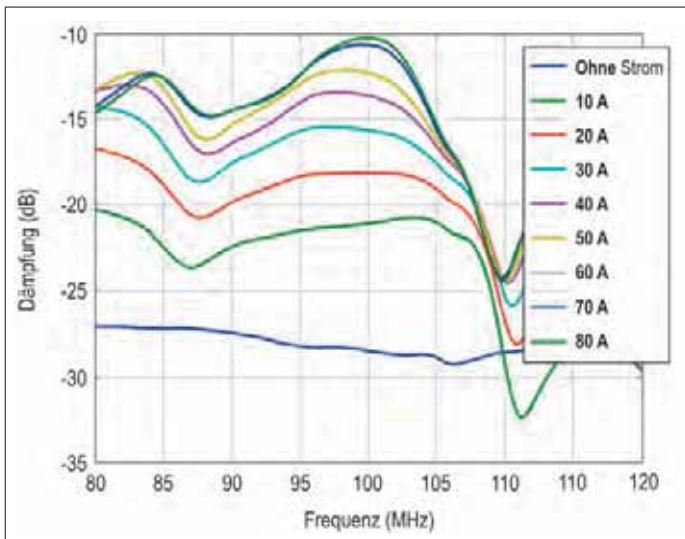


Bild 2: Verhalten zwischen Gleichstrom und Dämpfung

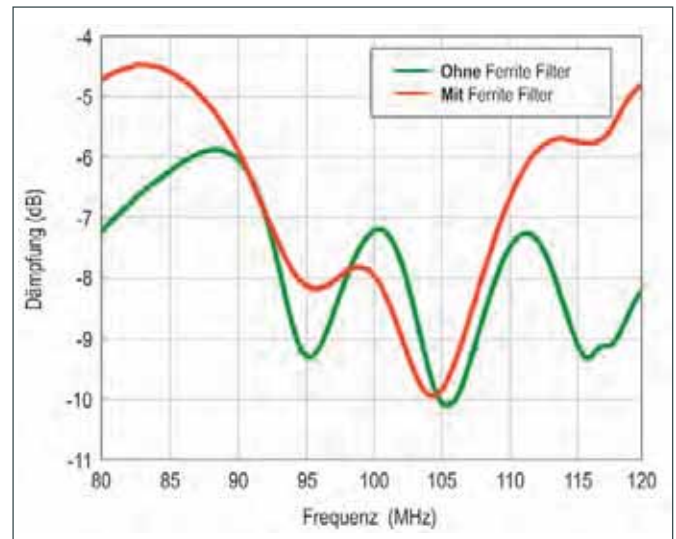


Bild 3: Kanal Übertragungsfunktion

Komponenten mit hohen Echtzeitanforderungen durch a) Auswahl und Untersuchung der Topologie, b) Untersuchung der angeschlossenen Impedanzen, c) Entwicklung geeigneter Ferrite und d) Entwicklung einer geeigneten Anpassungseinheit.

Es hat sich gezeigt, dass die Bustopologie die besseren Eigenschaften bezüglich praxistauglicher Randbedingungen besitzt. Weiterhin weisen die Systemkomponenten bei einer Frequenz zwischen 95 und 105 MHz die optimalen Eigenschaften für den Ferritfilter und die Kommunikation auf, d.h. ein konstanter Betragsverlauf sowie eine niedrige Impedanz. Als Ergebnis von Punkt c) und d) kann festgehalten werden, dass die Ferritfilterung zur Störungsfilterung nützlich sein kann, wie in **Bild 1** zu sehen ist.

Jedoch ist ihre Verwendbarkeit aktuell begrenzt. Tatsächlich ist der Einsatz von Ferriten per se sehr beschränkt, wenn keine Adaptionen vorgenommen werden, weil Ferrite von relativ niedrigen Gleichströmen gesättigt werden (s. **Bild 2**).

Außerdem war es offensichtlich, dass sich das Filterverhalten eines Ferrits mit verschiedenen Wicklungen um die Ferritperle verändert.

3) Aufbau einer Testeinrichtung zur Verifizierung der theoretischen Ergebnisse. Das dritte Arbeitspaket bestand aus der Entwicklung des IPLC-Modems und wurde in zwei Teile, Hardware und Software, aufgeteilt.

In Bezug auf die Hardwareimplementierung wurde eine Weiterentwicklung der bestehenden Hardware in Richtung bidirektionaler Kommunikation realisiert. Dazu wurden auch die entwickelten Anpassungseinheiten benutzt. Wie in **Bild 3** zu sehen ist, verändern die Ferritfilter die Transferfunktion des Kanals bei einer Kommunikationsfrequenz von 95-105 MHz nicht wesentlich.

Der Teil Software konnte in drei Abschnitte gegliedert werden: Der erste Schritt macht es möglich, bidirektional auf dem Versuchsstand zu kommunizieren. Im zweiten Schritt wurde ein industrielles Feldbusprotokoll, welches inner-

halb der gewählten Topologie kommunizieren kann, ausgewählt. Im dritten Schritt wurde

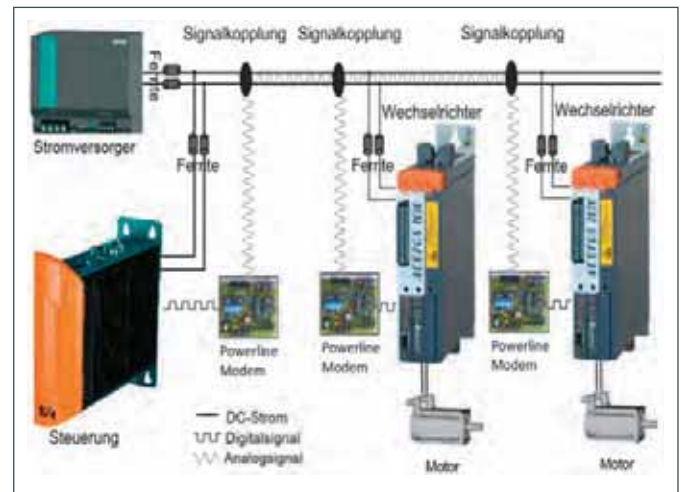


Bild 4: Existierender IPLC Versuchstand

ein Powerline-Modem, das dieses Feldbusprotokoll unterstützt, implementiert. Die durchgeführten Messungen belegen, dass das aktuelle Kommunikationssystem mit IPLC funktioniert, jedoch eine relativ hohe Latenz (420  $\mu$ s) aufweist, was im Fall von vielen Antrieben ein Problem darstellt. **Bild 4** stellt den Versuchstand schematisch dar.

**KONTAKT**

Dipl.-Ing. J. Lopes  
E-Mail: Joao.Lopes@isw.uni-stuttgart.de





# „VORBEUGENDE UND AUTOMATISIERTE WARTUNG UND INSTANDHALTUNG FÜR DIE PRODUKTION“

GEFÖRDERT VON DER GRADUATE SCHOOL ADVANCED MANUFACTURING ENGINEERING (GSAME)

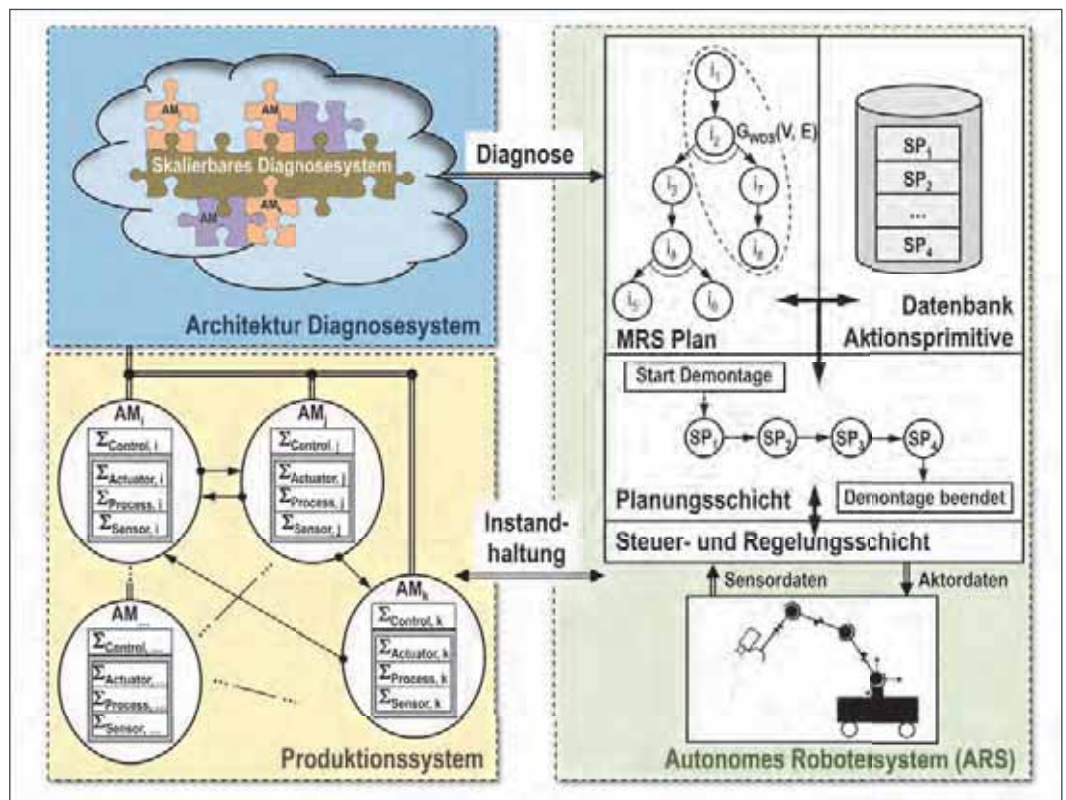


Bild 1: Instandhaltungsarchitektur für die automatisierte Instandhaltung

Mit dem Ziel die Wartung und Instandhaltung an Produktionseinrichtungen automatisch durchzuführen, werden im Projekt „Vorbeugende und automatisierte Wartung und Instandhaltung für die Produktion“ Konzepte und Lösungsstrategien erforscht, die eine automatisierte Instandhaltung durch ein autonomes Robotersystem ermöglichen.

In hochautomatisierten und dynamischen Produktionsprozessen spielt die Produktqua-

lität und Anlagenverfügbarkeit, vor allem im Hinblick auf ökonomische Ziele, eine entschei-

dende Rolle. Damit diese Faktoren berücksichtigt werden können, unterliegen heu-

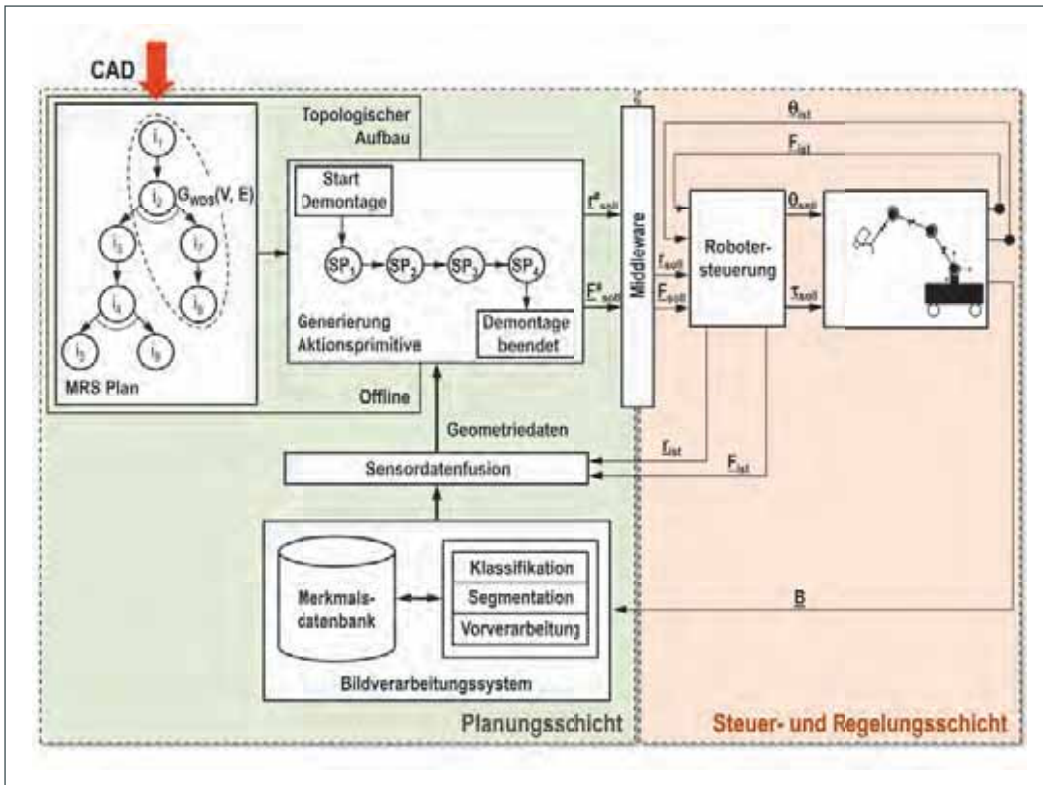


Bild 2: Steuerungsarchitektur ARS

tige Produktions-einrichtungen regelmäßigen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten. Die Instandhaltungsstrategie geht hierbei immer mehr in Richtung präventiver Methoden, wodurch Wartungs- und Ausfallzeiten minimiert werden können.

Heutige Fertigungs- und Produktionseinrichtungen sind bereits oftmals mit Diagnosesystemen (Condition Monitoring) ausgestattet. Diese ermöglichen die automatisierte Überwachung des Prozesszustands, die Ableitung von Anomalien gegenüber dem Sollverhalten, sowie die Fehlerklassifikation. Die anschließend notwendige Wartungs- oder Instandsetzungsaufgabe wird allerdings meist manuell durchgeführt.

Diese Forschungsarbeit konzentriert sich deshalb auf die Entwicklung von Methoden und Verfahren, welche eine Automatisierung dieser Auf-

gaben erlauben. Hierbei soll ausgehend von einem Diagnoseergebnis die Beeinträchtigung durch einen autonomen Instandhaltungsroboter (ARS) behoben werden (siehe Bild 1). Hierzu wurde ein geeignetes Informationsmodell entwickelt, welches die topologische Beschreibung der Produktionseinrichtung zulässt. Dies ermöglicht die Planung einer geeigneten Demontage- und Montagefolge. Auch können zyklisch wiederkehrende Wartungsaufgaben implementiert werden. Die geometrischen, als auch die Kontaktinformationen sollen online aus bildgebenden sowie einem Kraft-Momenten-Sensor extrahiert und geeignet fusioniert werden.

Die Steuerung des Robotersystems basiert auf Grundlage einer hybriden Architektur und nutzt hierbei das Paradigma der Aktionsprimitive. Hierdurch lassen sich verschiedene Sensor- und Aktorfunktionen

modular integrieren und an die erforderliche Situation anpassen (siehe Bild 2).

Durch das ganzheitliche Konzept ergeben sich neue Möglichkeiten für die Instandhaltung, welche die Verfügbarkeit in Produktionseinrichtungen maßgeblich steigern könnte.

Die gewonnenen Konzepte werden weitergehend auf definierte Anwendungsszenarien übertragen und auf ihre Funktionsfähigkeit hin untersucht.

**KONTAKT**  
 M. Eng. Christian Friedrich  
 E-Mail: Christian.Friedrich@isw.uni-stuttgart.de

# UNIVERSAL PLUG AND PRODUCE

## GEFÖRDERT VON DER GRADUATE SCHOOL ADVANCED MANUFACTURING ENGINEERING (GSAME)



Bild 1: Maschine aus mechatronischen Modulen

### Serviceorientierte Architektur für die Konfiguration und Inbetriebnahme von Produktionsmaschinen

In der modernen Fertigungstechnik spielen rekonfigurierbare Maschinen und Anlagen eine immer größer werdende Rolle. Die Anforderungen der variantenreichen Produktion verlangen dabei, dass Maschinen in kürzester Zeit für die Erschließung von neuen Anwendungsbereichen rekonfiguriert werden können. Eine rekonfigurierbare Maschine wird aus mehreren mechatronischen Modulen aufgebaut (siehe **Bild 1**).

Diese Module beherbergen Funktionalitäten aus den Bereichen Elektrotechnik, Mechanik und der Informationstechnik, die in Kombination die Gesamtfunktionalität der Maschine ergeben. Jedes dieser intelligenten mechatronischen

Module (MM) verfügt über eine eigene Rechenleistung sowie eigenen Speicherplatz. Die Datenübertragung erfolgt über Feldbusse auf Ethernet Basis.

Eine solche Produktionsmaschine ist aus Sicht der Informationstechnik ein System mit verteilter Funktionalität. Eine Methode zur Beherrschung von verteilter Funktionalität ist die Strukturierung des Systems nach den Paradigmen der Serviceorientierung. Als technologische Grundlage zum Aufbau einer Serviceorientierten Architektur (SOA) dient in der Regel eine Middleware. Die SOA Paradigmen erlauben dabei die Strukturierung und Nutzung von verteilter Funk-

tionalität innerhalb eines komplexen Systems.

Wird eine Produktionsmaschine neu aufgebaut oder rekonfiguriert so muss diese erstmalig oder erneut in Betrieb genommen werden. Die dabei notwendigen Schritte sind oft langwierig und kompliziert, daher können diese oft nur von Experten an einer realen und fertig aufgebauten Anlage durchgeführt werden. Dadurch entstehen hohe Kosten während der Inbetriebnahme.

Viele Aktivitäten, die während der Inbetriebnahme notwendig sind können automatisiert werden. Dazu gehört die Konfiguration von mechatronischen Modulen, Steuerungssystem und Feldbussystemen

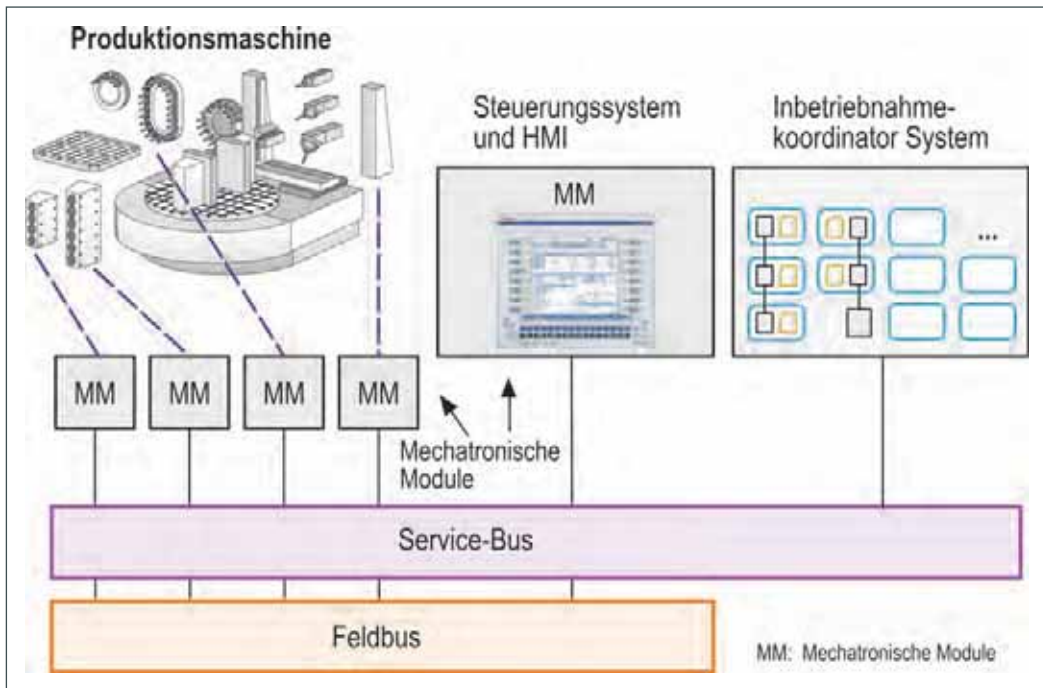


Bild 2: Überblick über das Gesamtsystem

aber auch der aufwändige Test von Einzelfunktionen.

In diesem Projekt wird daher erforscht, inwiefern die Inbetriebnahme und Parametrierung einer Produktionsmaschine mittels eines durchgängigen serviceorientierten Konzeptes automatisiert werden kann. Die Automatisierung der Inbetriebnahme erfolgt dabei durch ein in die Maschine eingebettetes Inbetriebnahmesystem. Ein neuartiger Ansatz zur Integration von deterministischer Kommunikation auf dem Feldbus „sercos III“ mit flexibler Middlewarekommunikation dient dabei als Basistechnologie (siehe **Bild 2**).

als SOA strukturierten Gesamtsystems an. Das Konzept wird derzeit anhand eines offenen Maschinensteuersystems mit PC-basierten Modulen umgesetzt. Im weiteren Verlauf werden die Konzepte anhand der Simulation eines rekonfigurierbaren Maschinenprototyps erprobt und validiert. Durch die Automatisierung der zur Inbetriebnahme notwendigen Schritte wird eine signifikante Reduktion der Inbetriebnahmezeit von rekonfigurierbaren Produktionsmaschinen ermöglicht.

**Bild 2** zeigt ein beispielhaftes Gesamtsystem bestehend aus einer, mit Hilfe von mechatronischen Modulen aufgebauten, Produktionsmaschine, einem Steuerungssystem, einem Middleware-System für die Kommunikation sowie dem Inbetriebnahmesystem. Letzteres bietet Basisdienste für die Automatisierung der Inbetriebnahme innerhalb des

#### KONTAKT

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

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

GEFÖRDERT IM RAHMEN DES EXZELLENZCLUSTERS SIMULATION TECHNOLOGY „SIMTECH“ (UNIVERSITÄT STUTTGART), PROJEKTNETZWERK 3: „DYNAMICAL SYSTEMS: MODEL REDUCTION, OPTIMIZATION AND CONTROL“

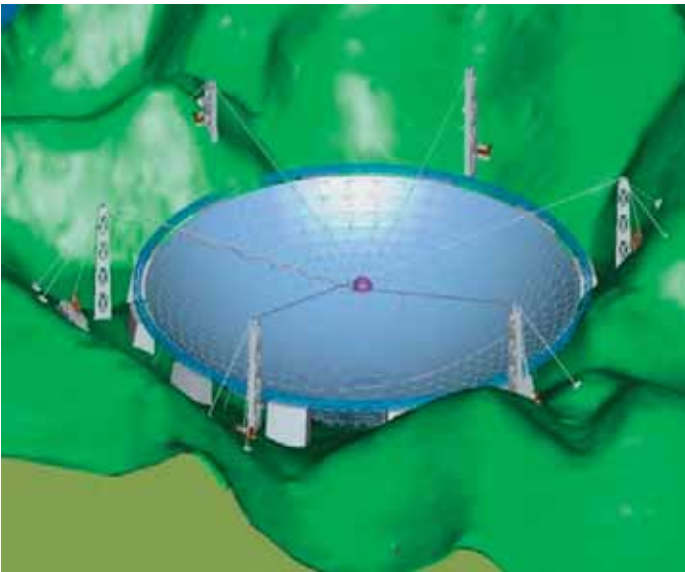


Bild 1: Konzeptuelles Rendering des 500m Teleskops FAST. Quelle: physicsworld.com

Das Ziel des hier vorgestellten Projekts ist ein verbessertes mathematisch-physikalisches Modell der bei Seilrobotern verwendeten Seile mit ihren vorherrschenden Eigenschaften wie Dehnbarkeit, Durchhang und Kriechen sowie dem Verhalten unter Eigengewicht.



## KONTAKT

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

Seilroboter sind eine spezielle Klasse von Parallelrobotern, bei denen die starren Verbindungsglieder durch flexible Seile ersetzt wurden. Diese einseitige Bindung stellt die wesentliche Eigenschaft dieses Robotertyps dar. Darüber hinaus ergibt sich eine Anforderung an die Anzahl der benötigten Seile: Diese muss größer als die Anzahl der zur Verfügung stehenden Freiheitsgrade sein. Als direkte Folge daraus ist das System

mechanisch überbestimmt und weist eine starke Kopplung aller Antriebe untereinander auf.

Der einfache mechanische Aufbau und die verwendbaren Leichtbaustrukturen der Seilroboter ermöglichen eine Vielzahl von Konfigurationen – von kleinen bis hin zu riesigen Arbeitsräumen. Dies ermöglicht bisher nicht bediente Anwendungsgebiete, wie zum Beispiel für die Positionierung

des Kollektors des 500m Teleskops FAST (*Five Hundred Meter Aperture Spherical Radio Telescope*) in Pingtang County im Südwesten der Volksrepublik China (siehe **Bild 1**).

Auch in der Forschung wurde bezüglich Seilrobotern und ihren Anwendungen ein wesentlicher Fortschritt erreicht, darunter eine verbesserte Modellierung der Kinematik und die Betrachtung massebehaf-

teter Seile. Seit den ersten Arbeiten an Seilrobotern in den 1980er-Jahren wurden viele wissenschaftliche Fragenstellungen beantwortet unter der Annahme masseloser, ideal verspannter und steifer Seile, die eine gerade Linie zwischen Plattform und Rahmen bilden. Basierend auf diesen Annahmen wurden mathematische Gleichungen und Methoden erstellt, um die direkte und inverse Kinematik zu berechnen, gegebene Posen auf ihre Gültigkeit bezüglich des Arbeitsraumes zu überprüfen, die Seilkraftverläufe zu berechnen und einen Seilroboter entsprechend den Anforderungen an den Arbeitsraum zu entwerfen.

Im letzten Jahrzehnt allerdings wurde das bisher angenommene Seilmodell hinsichtlich seiner Gültigkeit in Frage gestellt, nachdem Experimente gezeigt haben, dass Umlenkrollen einen hinreichend großen Radius aufweisen müssen, um übermäßigem Verschleiß der Seile vorzubeugen. Darüber hinaus zeigten Langzeituntersuchungen, dass Seile nichtlinearen elastischen Effekten, zum Beispiel Kriechen, unterliegen, was wiederum einen Einfluss auf Steifigkeit und Vibrationen des Gesamtsystems hat.

Vorangegangene Arbeiten auf dem Gebiet der Seilroboter beschäftigten sich darüber hinaus mit der Berechnung der Vorwärtskinematiken in Echtzeit mittels Optimierung, mit Modellierung der Kinematik der Umlenkrollen zur Verbesserung der Robotergenauigkeit sowie mit (Selbst-)Kalibrierung von Seilrobotern. Die logische Fortsetzung ist nun eine verbesserte Modellierung der Seile, um weitere Erkenntnisse über das Gesamtsystem „Seil-

roboter“ zu gewinnen und um bestehende Algorithmen zu verbessern.

Das Ziel des hier vorgestellten Projekts ist daher ein verbessertes mathematisch-physikalisches Modell der Seile mit ihren vorherrschenden Eigenschaften wie Dehnbarkeit, Durchhang und Kriechen sowie dem Verhalten unter Eigengewicht. Alle diese Phänomene haben einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf einen Seilroboter, von der Kinematik und Dynamik über Steifigkeit und Schwingungsverhalten bis hin zur Steuerung und Regelung. Aus den so gewonnenen Erkenntnissen und Modellen können die wesentlichen Effekte, die zu Abweichungen im realen System führen, besser identifiziert werden.

Aufbauend auf den Erkenntnissen von Riehl et al. 2010 in „*On the Determination of Cable Characteristics for Large Dimension Cable-Driven Parallel Mechanisms*“, welche einen Modellierungsansatz der Seile vorschlagen, durch den diese als massebehaftete und elastische Verbindung zweier Punkte angenommen werden, werden in diesem Projekt weitere Ansätze zur Modellierung des Seiles untersucht. Diese sind zum Beispiel Finite-Elemente-Analyse, Mehrkörper-Kettenmodelle oder geometrische Ansätze wie Kettenlinien (Katenoide). Das so entworfene, erweiterte Seilmodell soll darüber hinaus auch in den komplexen Antriebsstrang der IPAnema-Seilroboterfamilie (siehe **Bild 3**) integriert werden, um Mehrlagenwicklung, Umlenken des Seiles, sowie weitere, den Arbeitsvorgang beeinflussende Phänomene abzubilden.

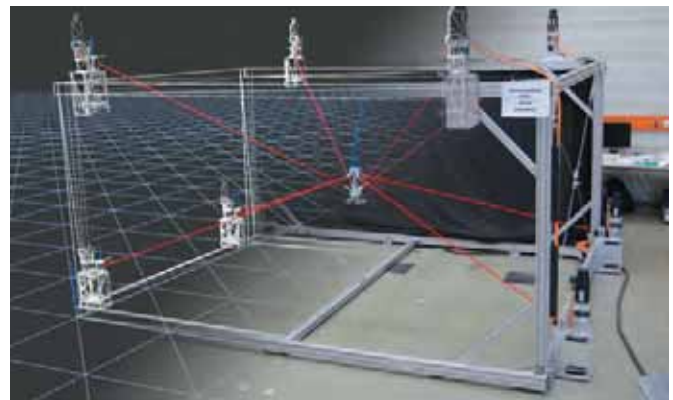


Bild 2: Simulation Technology – Verschmelzen von echter und virtueller Welt im Falle eines Seilroboters

Durch die Kooperation mit anderen Instituten im Exzellenzcluster „Simulation Technology“ der Universität Stuttgart sollen Wissen und Methodiken angewendet werden, um die entstandenen Modelle in ihrer Komplexität zu reduzieren um sie auch mit echter Hardware validieren zu können – zum Beispiel in einer Hardware-in-the-Loop Umgebung, die virtuelle und reale Welt verschmelzen lässt (siehe **Bild 2**).

Neben Seilrobotern kann das aus 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 ausgefeiltes Seilmodell einen besseren Reglerentwurf und den Entwurf und die Anwendung von Vorhersagefunktionen.

Bild 3: Mockup der aktuellen Version der IPAnema Seilantriebswinden mit integrierter Steuer- und Sensortechnik





# ONLINE-IDENTIFIKATION DES POSEN- ABHÄNGIGEN DYNAMISCHEN VERHALTENS VON LEICHTBAUWERKZEUGMASCHINEN- STRUKTUREN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DES BEARBEITUNGSPROZESSES

GEFÖRDERT IM RAHMEN DES EXZELLENZCLUSTERS  
SIMULATION TECHNOLOGY „SIMTECH“ (UNIVERSITÄT  
STUTT GART), PROJEKTNETZWERK 3: „DYNAMICAL SYSTEMS:  
MODEL REDUCTION, OPTIMIZATION AND CONTROL“

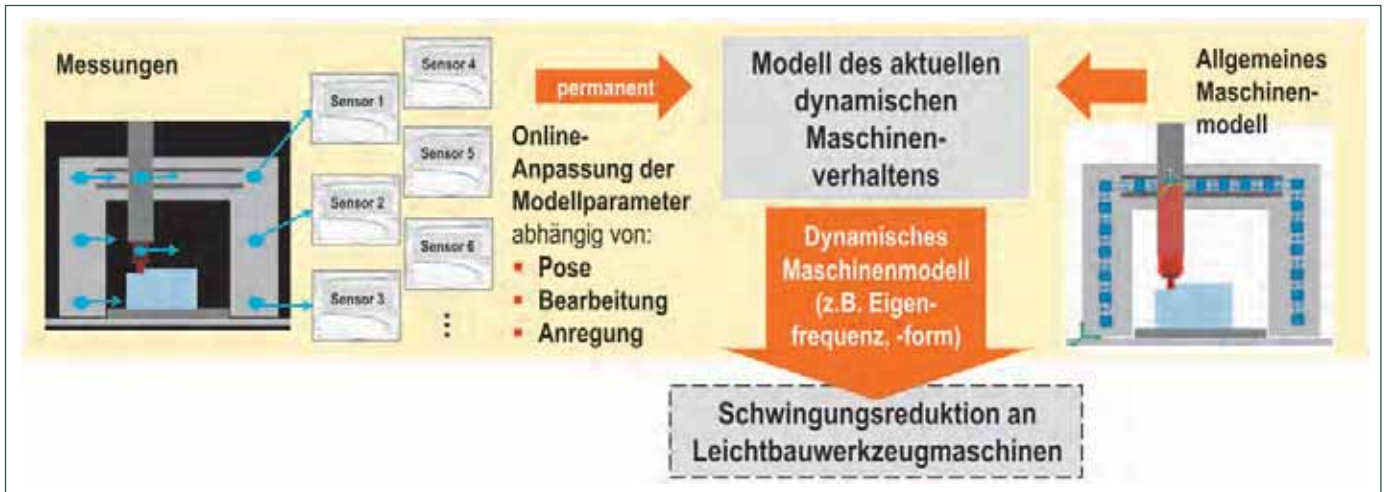


Bild 1: Vorgehensweise im Rahmen des Projektes

Ziel des Projektes ist die Online-Bereitstellung der posesabhängigen Eigenfrequenzen und Eigenformen von Leichtbauwerkzeugmaschinenstrukturen für die Anwendung von Schwingungsreduktionsmethoden an diesen Strukturen. Dafür wird ein allgemeines parametrisches Maschinenmodell erstellt, welches mithilfe vorhandener und zusätzlicher Sensorik an das momentane Maschinenverhalten angepasst wird. Der Einfluss des Bearbeitungsprozesses auf das dynamische Maschinenverhalten wird dabei mitberücksichtigt

Die Dynamik in herkömmlich, massiv gebauten Werkzeugmaschinen ist wirtschaftlich

nicht beliebig steigerbar. Eine höhere Dynamik erfordert leistungsstärkere und damit grö-

ßere Antriebe bei gleicher Strukturmasse. Weiterhin verlangt die Einwirkung größerer

Beschleunigungs- und Rückkräfte auf die Maschinenstruktur eine steifere, mehr massenbehaftete Bauweise, um unvermindert präzises Verhalten zu garantieren. Leichtbauwerkzeugmaschinen durchbrechen diesen Kreislauf. Durch die verringerten Massen sind mit kleineren Antrieben größere Beschleunigungen und Geschwindigkeiten erreichbar. Jedoch muss die reduzierte passive Steifigkeit der Struktur aktiv ausgeglichen werden. Forschungsvorhaben wie beispielsweise *DEMAT (EC 7th Framework Program)* haben aufgezeigt, dass zur Gewährleistung eines robusten und präzisen Verhaltens von Leichtbauwerkzeugmaschinen eine Kombination aktiver Schwingungsreduktionsmethoden benötigt wird. Die auftretenden Eigenfrequenzen variieren in einem weiten Bereich und fordern je nach Frequenz unterschiedliche Reduktionsmethoden. Eine Vielzahl der Methoden benötigt dabei Informationen über die zu bedämpfende Eigenfrequenz und Eigenform. Diese sind bei Leichtbauweise poseabhängig und variieren somit über den Arbeitsraum. Weiterhin werden sie durch den Bearbeitungsprozess beeinflusst.

Bisherige Lösungsansätze für die Bereitstellung der poseabhängigen Eigenfrequenzen und Eigenformen beschränken sich auf die Modellierung oder die Messung des Verhaltens der Werkzeugmaschine. Die Modellierung hat den Nachteil, dass sie sehr aufwändig ist, Expertenwissen benötigt sowie kein Abgleich zwischen modelliertem und realem Maschinenverhalten besteht. Die Messung verlangt ebenfalls Expertenwissen und kann unter realen Produktionsbedingungen nicht fortlaufend durch-

geführt werden. Weiterhin kann nicht ohne weiteres ein Modell aus einzelnen Messdaten abgeleitet werden.

Das Ziel dieses Projektes (siehe **Bild 1**) ist die Kombination beider Methoden, indem die Modellparameter eines allgemeinen parametrischen Maschinenmodells sensorgestützt an das aktuelle, reale Maschinenverhalten angepasst werden. Dafür werden sowohl maschineninterne Signale als auch zusätzlich an die Maschine angebrachte Beschleunigungssensoren verwendet.

Das allgemeine Maschinenmodell wird als (flexibles) Mehrkörpersystem modelliert, dessen Parameter durch die Maschinengeometrie vorkonfiguriert werden. Mittels Parameteridentifikation werden auf Basis der Messwerte die Modellparameter online an das poseabhängig vorherrschende dynamische Verhalten angepasst. Aus der angepassten Modellbeschreibung können schließlich die Informationen für die Schwingungskompensation abgeleitet werden. Alternativ kann das Modell als Ganzes für komplexe Regelungsverfahren wie beispielsweise *Model Predictive Control* verwendet werden.

### KONTAKT

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



# „SIMULATIONSBASIERTE PARAMETERIDENTIFIKATION FÜR ONLINE CONDITION MONITORING EINER SPINDELMUTTER (SIOCS)“

GEFÖRDERT IM RAHMEN DES EXZELLENZCLUSTERS  
SIMULATION TECHNOLOGY „SIMTECH“ (UNIVERSITÄT  
STUTT GART), PROJEKTNETZWERK 3: „DYNAMICAL SYSTEMS:  
MODEL REDUCTION, OPTIMIZATION AND CONTROL“



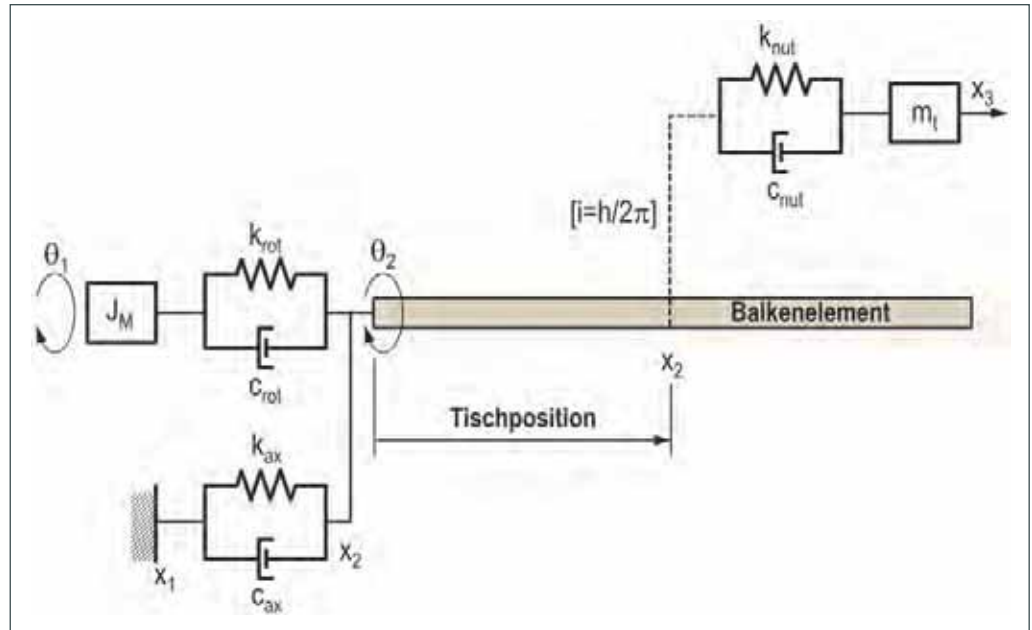
Bild 1: Kugelgewindevorschubantrieb

Um die Bearbeitungstoleranzen und die Qualität des Werkstücks über einen längeren Zeitraum zu gewährleisten, ist es notwendig den Status der Werkzeugmaschine während des Betriebs zu überwachen. Eine ständige Analyse des Verhaltens der Komponenten während ihrer Betriebszeit ist das Ziel des Projekts. In dem entwickelten Verfahren werden nach dem Aufbau des entsprechenden Modells der Maschine wichtige Systemparameter identifiziert und anschließend durch Aktualisierung dieser Parameter kann das Online-Condition-Monitoring durchgeführt werden. Aufgrund der hohen Relevanz im Bereich der Produktionseinheiten und Werkzeugmaschinen wird der Ansatz für einen Kugelgewindetrieb (KGT) angewandt.

Die Entwicklung eines geeigneten Algorithmus für die Zustandsüberwachung eines bestimmten Systems erfordert umfassende Kenntnisse über die verschiedenen Ausfallarten des Systems. Für den Fall eines Spindelmutterantriebs (siehe **Bild 1**) ist der Verschleiß der Rollbahn das am häufigsten auftretende Problem. Die Erosion des Laufbahnprofils ändert die tribologischen Eigenschaften der Kontaktfläche und verringert somit die Vorspannung zwischen Kugeln, Mutter und Spindel. Ein Verlust der Vorspannung reduziert wiederum die Gesamtsteifigkeit des Vorschubantriebssystems, was zu Veränderungen der natürlichen Eigenfrequenzen des Systems führt. Daher kann durch Analyse der Eigenfrequenzen eines Vorschubantriebs die Steifigkeit der unterschiedlichen Komponenten bestimmt werden.

Die Eigenfrequenzen des Systems können entweder an der realen Maschine gemessen werden, was ein zeitaufwendiges und teures Verfahren ist, oder sie können über ein umfassendes Modell eines Kugelgewindetriebs berechnet werden. In Bezug auf das SIOCS-Projekt wurden die Berechnungen der Eigenfrequenzen und die folgende Analyse der Komponentensteifigkeit anhand eines Finite-Elemente (FE)-Modells von Kugelgewindetriebs durchgeführt (siehe **Bild 2**). Dieses Modell besitzt weniger als 50 Freiheitsgrade und beschreibt das Verhalten des Kugelgewindesystems für die ersten zwei Eigenfrequenzen.

Die Beziehung zwischen den Steifigkeitsparametern und den berechneten ersten zwei Eigenfrequenzen des reduzierten Modells wurde in der nächsten Phase des Projektes analysiert



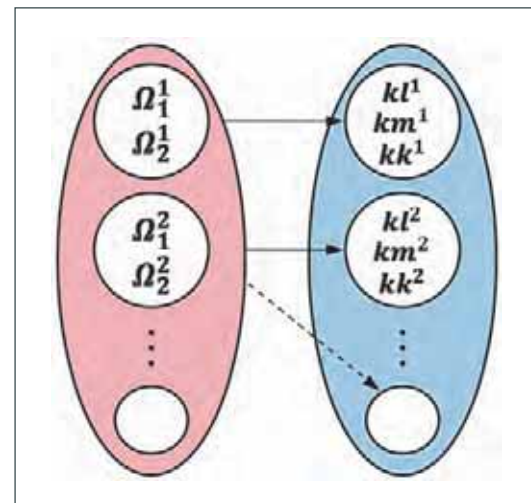
(siehe **Bild 3**). Basierend auf den gemessenen Eigenfrequenzen wurde die Identifizierung der Steifigkeitsparameter untersucht und zwei verschiedene Reverse-Engineering-Ansätze wurden vorgeschlagen. Die erste Methode verwendet die Verfahren der Modellkalibration, um die Differenz zwischen gemessenen und simulierten Eigenfrequenzen zu minimieren. Der zweite Ansatz verwendet ein neuronales Netz zum Aufbau der Beziehung zwischen Eingängen (Eigenfrequenzen) und Parameterausgängen (Steifigkeiten).

Die initiale Identifikation der Steifigkeitsparameter zeigte, dass basierend auf der Messung von nur zwei Eigenfrequenzen kein eindeutiger Steifigkeitswert für die Mutter ermittelt werden kann. Um die Input-Output-Abhängigkeit zu klären, wurde eine Sensitivitätsanalyse des Modells durchgeführt. In der Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss der verschiedenen Steifigkeitsparameter, der Tischmasse sowie der Tischposition auf die Eigenfrequenzen untersucht.

Dazu wurde ein Latin-Hypercube-Sampling-Algorithmus ausgewählt. Die Sensitivitätsanalyse ergab, dass weder die erste noch die zweite Eigenfrequenz überwiegend durch die Steifigkeit der Mutter beeinflusst werden. Die Durchführung dieser Analyse mit unterschiedlichen Massen und Tischpositionen sowohl mit gekoppeltem als auch entkoppeltem Steuerungssystem hat die Ergebnisse der Empfindlichkeitsanalyse nicht geändert. In einer weiteren Studie wurde die Wirkung der Muttersteifigkeit auf andere Parameter anstatt der Eigenfrequenzen

Bild 2: Das reduzierte Modell eines Kugelgewindetriebs

Bild 3: Ermittlung der Beziehung zwischen dem Eingang (erste zwei Eigenfrequenzen) und dem Ausgang (Steifigkeitsparameter)



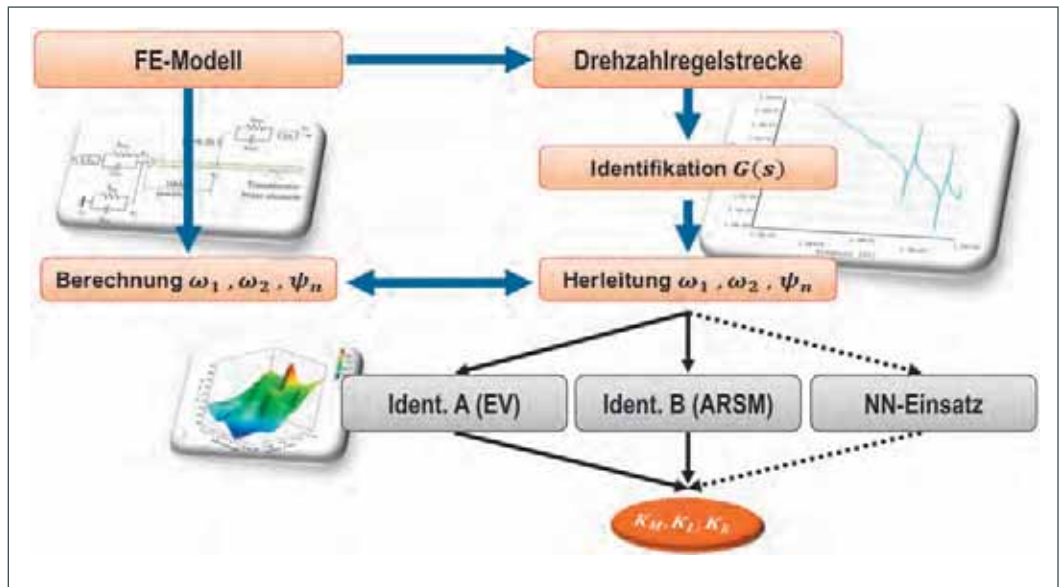


Bild 4: Workflow für die Ermittlung der Steifigkeitsparameter eines KGT-Systems, basierend auf berechneten Eigenfrequenzen und einem zweiten Eigenvektor

quenzen analysiert. Es wurde festgestellt, dass die erste Eigenmode (Maschinentischbewegung) überwiegend durch die Muttersteifigkeit beeinflusst wird, wenn die Systemsteuerung abgekoppelt und der Motor frei ist. Daher wurden am Ende der Empfindlichkeitsanalyse drei Ausgangsparameter aufgezeichnet, die für die Identifizierung der Steifigkeitsparameter des Kugelgewindetriebs notwendig sind.

Nach der Änderung der Zielfunktion durch das Hinzufügen der Eigenmode und die Umsetzung der entsprechenden Korrekturfaktoren wurde die Identifikation einerseits auf Basis der Antwortoberfläche und andererseits durch unmittelbare Anwendung des

Modells durchgeführt. Der angewandte modellbasierte Identifikationsalgorithmus war der Evolutionäre Algorithmus, mit dem die Steifigkeitsparameter nach 200 Iterationen eindeutig identifiziert werden konnten.

In einer parallelen Arbeit wurde die Anwendung von neuronalen Netzen basierend auf dem Levenberg-Marquardt-Backpropagation-Algorithmus untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass diese Methode die Schnellste unter den Identifikationsansätzen ist. Jedoch muss ihre Gültigkeit für die eindeutige Bestimmung der Steifigkeitsparameter basierend auf Eigenfrequenzen und Eigenvektoren noch in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

Der dargestellte Projektablauf in **Bild 4** zeigt, wie auf Basis von Simulationseingangsdaten der vorgeschlagene SIOCS-Ansatz verifiziert wurde.

**KONTAKT**

M.Sc. Mahdi Mottahedi  
 E-Mail: Mahdi.Mottahedi@isw.uni-stuttgart.de



# PARAMETERIZATION MODELS FOR SCALABLE, PREDICTIVE SIMULATION OF PRODUCTION MACHINES, PHASE 2 (PARADICMA II)

GEFÖRDERT IM RAHMEN DES EXZELLENZCLUSTERS SIMULATION TECHNOLOGY „SIMTECH“ (UNIVERSITÄT STUTTGART)

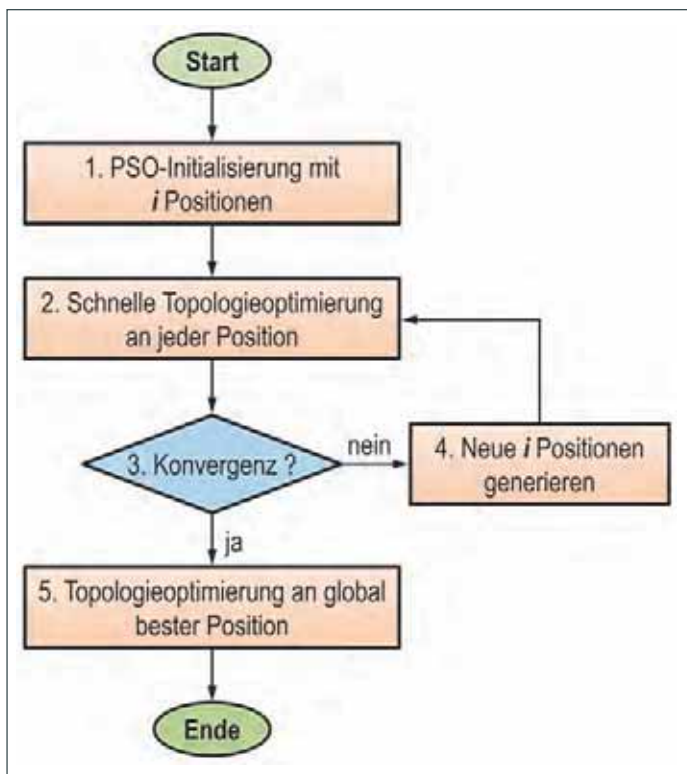


Bild 1: Ablaufdiagramm des Optimierungsverfahrens

Im Rahmen des entwickelten komponentenorientierten FE Modellierungsverfahrens sollen verschiedene Optimierungsverfahren für die Strukturoptimierung verwendet werden. Ein wichtiger Punkt ist die Kombination der verschiedenen Verfahren. Mit diesem Ziel wird ein neues Optimierungsverfahren in PARADICMA II entwickelt.

Parameter- und Topologieoptimierung sind zwei sinnvolle Werkzeuge, die die Form und die Eigenschaften der entwickelten Komponente bestimmen. Normalerweise wird die Komponente zuerst parametertoptimiert und danach topo-

logieoptimiert. Allerdings ist diese sequentielle Verwendung nachteilhaft. Die Form der Struktur, die in den meisten Fällen als die Domäne der Topologieoptimierung betrachtet wird, wird immer durch die Parameteroptimierung verän-

dert. Solche Veränderungen der geometrischen Größen haben einen negativen Einfluss auf die Vorbereitung der Topologieoptimierung.

In dieser Projektphase wird ein neues Optimierungs-

PROJEKTPARTNER:



verfahren entwickelt, das die PSO (Particle Swarm Optimization)-basierende Parameteroptimierung und die SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization)-basierende Topologieoptimierung kombiniert. Es erbt die Fähigkeit von PSO bei globaler Optimierung und eignet sich auch für die diskrete Designdomäne. Im Vergleich zum sequentiellen Verfahren kann das neue Verfahren ein besseres Optimierungsergebnis erreichen. Das Ablaufdiagramm des Verfahrens wird in **Bild 1** gezeigt.

Die allgemeine Idee des Kombinationsverfahrens basiert auf Parameteroptimierung. Die Topologieoptimierung wird für die Berechnung der Komplianz, die auch als die Zielfunktion der PSO betrachtet wird, verwendet. Um die Effizienz der Topologieoptimierungen zu erhöhen, werden viele Methoden eingesetzt, wie z. B. die passive-Elemente-Methode, der einheitliche Penalty-Faktor, die vereinfachten Konvergenzbedingungen, etc.

**Bild 2** zeigt eine zu optimierende Beispielstruktur. Die Länge der Struktur ist 130, die Höhe ist 100. Es gibt eine Lagerbohrung mit dem Radius 15. Ihre minimale Wanddicke ist 10. Die Position der Lagerbohrung wird in einem Rechteck auf die Größen 51x51

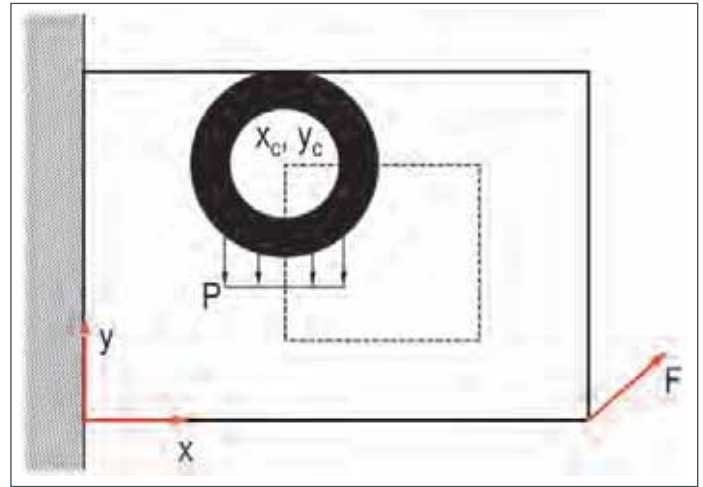


Bild 2: Eine zu optimierende Struktur mit Lagerbohrung

beschränkt. An der unteren Hälfte der Bohrung wird eine verteilte Kraft mit der Größe 3 in Y-Richtung geladen. An der unteren rechten Ecke sind zwei Kräfte mit dem Wert 1 in + X- und + Y-Richtung geladen. Die linke Grenze der Struktur wird in X- und Y-Richtung fixiert. Die Aufgabe ist, das Volumen um 50 % zu reduzieren und die Bohrung zu positionieren, so dass die Komplianz minimiert wird.

Das sequentielle Verfahren fand die optimierte Position der Lagerbohrung an (86, 73) und die Komplianz nach der Topologieoptimierung ist 71, 51. Dagegen fand das kombinierte Verfahren die optimale Position der Bohrung an (93, 40) mit dem Komplianz-Wert von 63, 64, der deutlich weniger als der des sequentiellen

Verfahrens ist. Die Struktur nach der Optimierung wird in **Bild 3** dargestellt.



Bild 3: Die Struktur nach der Optimierung

**KONTAKT**

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

# „GREEN-RBG“ – ENERGIEEFFIZIENTE STEUERUNG VON REGALBEDIENGERÄTEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER SYSTEMLEISTUNG

GEFÖRDERT VON DER BADEN WÜRTTEMBERG STIFTUNG

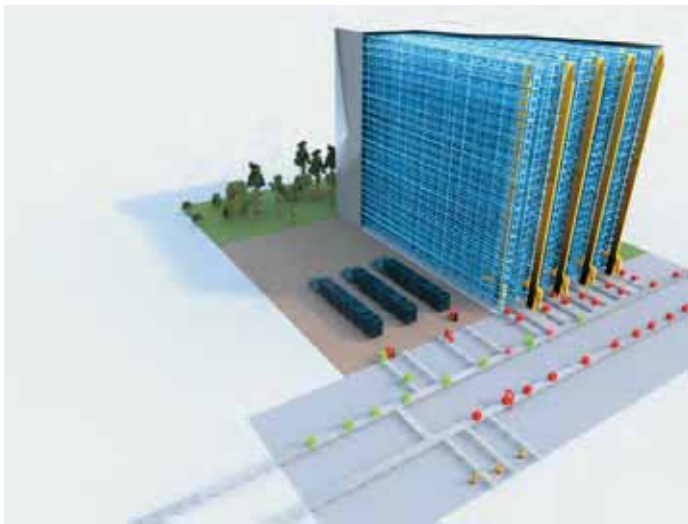


Bild 1: Hochregallager mit Vorzone

Der Energieverbrauch für den Betrieb von Hochregallagern wurde bislang zur Leistungserfüllung, unabhängig von den Energiebetriebskosten. Durch den intermittierenden Betrieb ergibt sich eine Leistungsaufnahme mit einer hohen Grundlast durch Regalbediengeräte und Transporteinrichtungen mit ausgeprägten Leistungsspitzen durch nicht verbrauchsoptimierte Bewegungen mit hohen Beschleunigungen und hohen bewegten Massen. Der Faktor Energie und die damit verknüpften Kosten blieben dabei bisher unberücksichtigt.

Ziel des Projekts ist es, Methoden zur energieeffizienten Steuerung von Intra-logistiksystemen und deren Auswirkungen auf die Leistungs- und Kostenparameter auf das System zu erforschen.

Dabei ist der Fokus auf Hochregallager mit mehreren Regalbediengeräten gelegt. **Bild 1**

zeigt das das Modell des Lagers, welches zur Validierung der Ergebnisse genutzt wird.

Die Kostenreduktion erfolgt durch einen mehrstufigen sequenziellen Ansatz zur Optimierung des spezifischen Energieverbrauchs und des Leistungsverlaufs (siehe **Bild 2**):

1. Modellierung des Lagers nach Konstruktionsdaten oder anhand von Messungen
2. Modellierung der Lagerungsszenarien
3. Parametrierung des Energieplaners (siehe **Bild 3**)

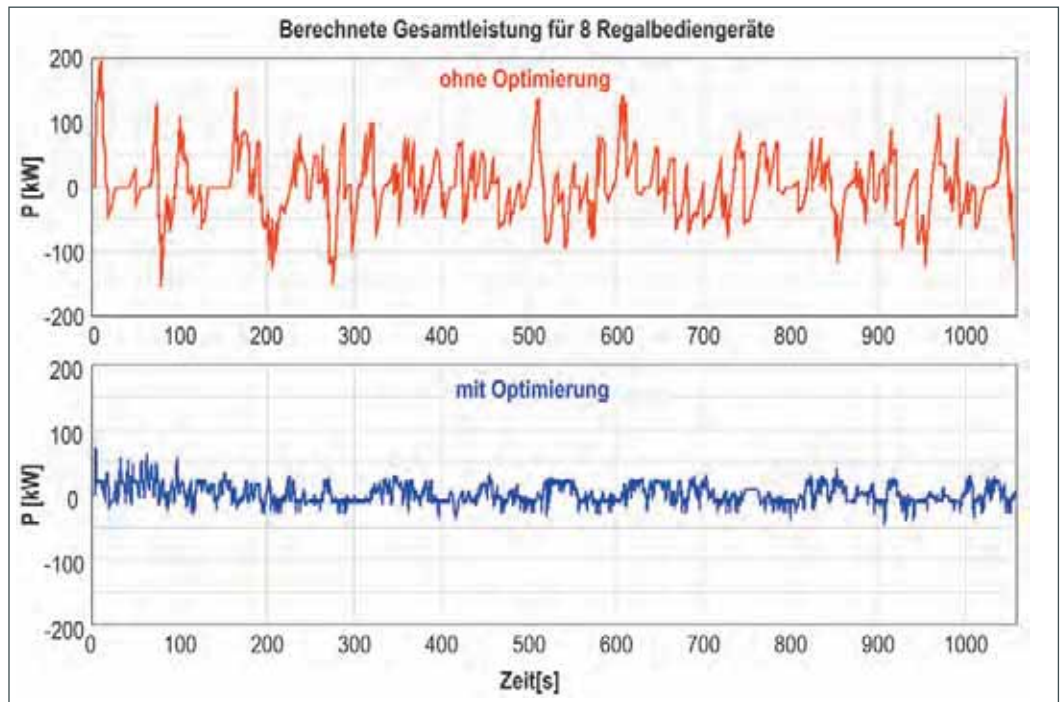


Bild 2: Leistungsspitzenvermeidung durch Energiemanagement

4. Parametrierung des Leistungsplaners (siehe **Bild 3**)
5. Optimierung und anschließende Evaluierung des Energiemanagementsystems am virtuellen Lager

tegrierte Kostenrechnung bewertet. Somit lassen sich Aussagen bezüglich der Realisierbarkeit und der Wirtschaftlichkeit eines energieeffizienten Fahrprofils treffen.

bedarf, unter Berücksichtigung aller definierten Zielgrößen, berechenbar macht.

Die Lagerleistungsparameter wie Durchsatz oder Durchlaufzeit in Abhängigkeit des Energieverbrauchs werden berechnet und durch eine in-

Ergebnis ist ein energie- und leistungsspitzenoptimiertes Lager, welches die logistischen Auswirkungen der energetischen Optimierungen messbar und somit den Energie-

**KONTAKT**  
Dipl.-Ing. Michael Voß  
E-Mail: Michael.Voss@isw.uni-stuttgart.de

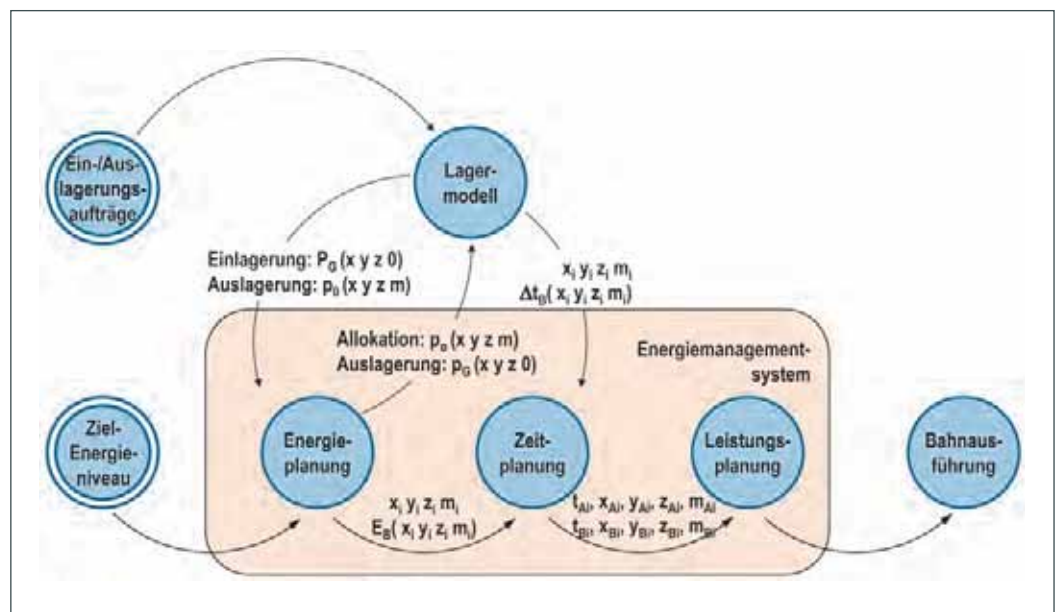


Bild 3: Energiemanagementsystem für Hochregallager



# SIMULATIONSGESTÜTZTE BERÜCKSICHTIGUNG VON VARIANTEN BEI DER KONZEPTION VON MASCHINEN UND ANLAGEN (SimVar)

**GEFÖRDERT VOM MINISTERIUM FÜR FINANZEN UND WIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG (BMWI)**

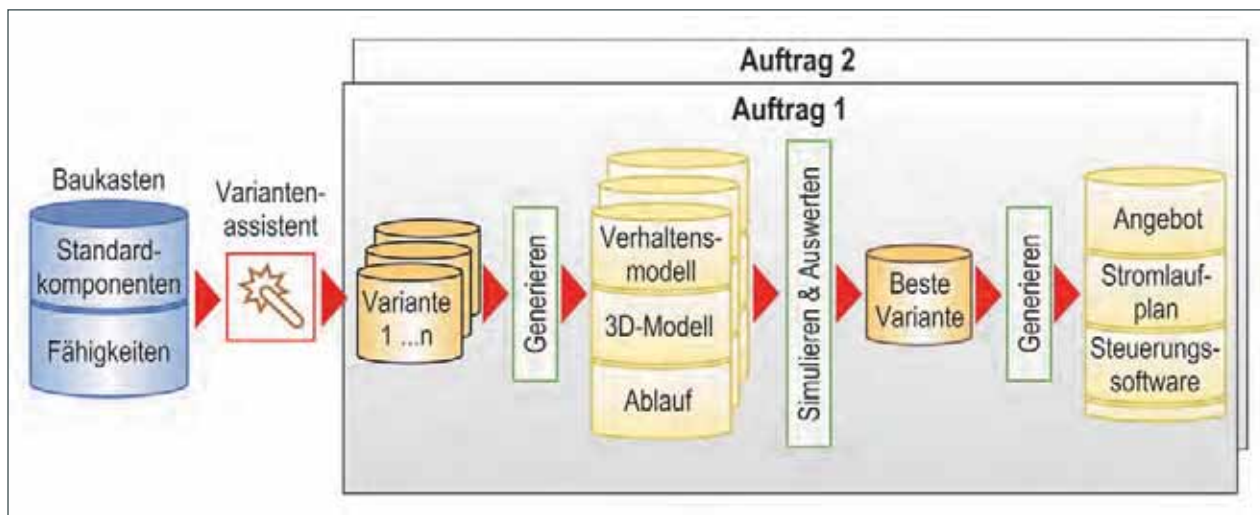


Bild 1: Baukastenbasierte Problembeschreibung, simulationsgestützter Variantenvergleich und Angebotserstellung

Kleine und mittlere Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus müssen in der Angebotsphase schnell und flexibel Lösungskonzepte erstellen, vergleichen und bewerten. Neben den erwarteten Anschaffungskosten spielen die Gesamtbetriebskosten (TCO) und die Energieeffizienz eine wachsende Rolle. Im Projekt SimVar wurden hierfür Methoden und Werkzeuge für die Variantenbildung und den simulationsgestützten Vergleich entwickelt.

Um in der heutigen Wettbewerbssituation auf dem Markt bestehen zu können, ist es gerade für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) wichtig, flexibel auf die Wünsche ihrer Kunden reagieren zu können. Bei der kunden-

spezifischen Erstellung von Maschinenvarianten ergibt sich jedoch die Herausforderung, die entstehende Variantenvielfalt zu beherrschen. Eine Variante kann mit verschiedensten Komponenten umgesetzt werden. Die Eigen-

schaften der Komponenten sind unter verschiedenen Gesichtspunkten gegeneinander abzuwägen. Ein reiner Vergleich der benötigten Einzelkomponenten ist dabei nicht zielführend, da immer das Zusammenspiel der Kompo-

#### KONTAKT

Dipl.-Ing. Adrian Neyrinck  
E-Mail: Adrian.Neyrinck@isw.uni-stuttgart.de



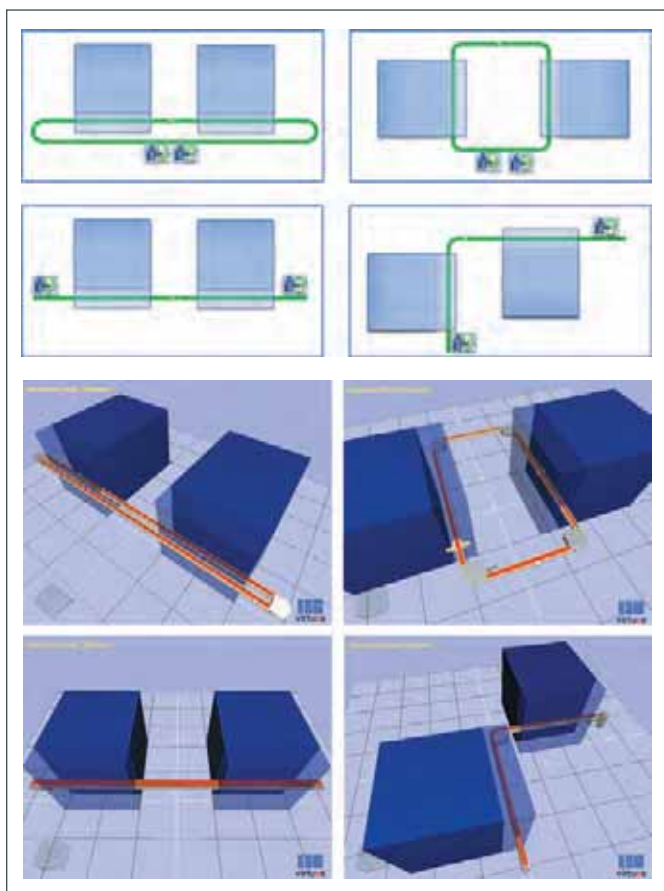


Bild 2: Varianten in der Problembeschreibung (oben) und Varianten in der Simulation (unten)

**PROJEKTLAUFZEIT:**  
 03.2011 – 05.2013

**PROJEKTPARTNER:**



nenten im Gesamtsystem und im jeweiligen Anwendungsfall entscheidend ist.

Ziel des Projektes war die Entwicklung einer toolgestützten Methode zur Anwenderunterstützung bei der Variantenbildung und Variantensimulation von Maschinen und Anlagen. Dabei wurde eine Bibliothek für Komponenten geschaffen, in der die jeweiligen Informationen über Anschaffungs-, Wartungskosten, Energieeffizienz, Taktzeiten etc. und zugehörige Simulationsmodelle der mechatronischen Modulen hinterlegt sind. Ausgehend von diesen Informationen können einfach und schnell Varianten erzeugt und simuliert werden, um sie hinsichtlich vorgegebener Kriterien miteinander zu vergleichen. Den KMUs wird ein Wettbewerbsvorteil verschafft, indem sie bei der Angebotserstellung

durch dieses Tool unterstützt werden.

Mit Hilfe des baukastenbasierten mechatronischen Engineerings ist es heute möglich, aus den in einem Unternehmen verwendeten Komponenten schnell individuelle Lösungen zu projektieren und zugehörige Daten und Dokumente automatisch zu generieren. Diese Baukästen mit konkreten Komponenten eignen sich jedoch nicht für die Konzeptfindungsphase, da hier noch nicht feststeht, mit welchen Komponenten die spätere Lösung realisiert werden soll. Für die Konzeptfindung ist es nötig, die Eigenschaften „vom Groben zum Feinen“ festzulegen. Benötigt werden deshalb Baukästen, welche eine Problembeschreibung anstatt einer Lösungsbeschreibung ermöglichen.

Im Projekt SimVar wurde deshalb eine Methode entwickelt, welche die Baukästen mit verfügbaren Standardkomponenten um Problembeschreibungsbibliotheken erweitert (Bild 1). Diese enthalten Module für die von Standardkomponenten unabhängige, abstrakte Beschreibung der gewünschten Fähigkeiten der Maschinen und Anlagen. Diese Fähigkeiten werden jeder verfügbaren Standardkomponente zugeordnet. Aus der abstrakten Beschreibung der Fähigkeiten werden durch einen Variantenassistenten automatisch Varianten mit konkreten Standardkomponenten erzeugt, indem aus dem Baukasten diejenigen Komponenten ausgewählt werden, welche die in der abstrakten Beschreibung geforderten Fähigkeiten enthalten. Da es für eine geforderte Fähigkeit meist verschiedene passende Komponenten gibt, entstehen bei der automati-

schen Lösungserzeugung anhand einer Problembeschreibung mehrere Varianten.

Die Zusammenstellung von Komponenten zu einer Anlage reicht noch nicht aus, um eine Simulation zu starten; benötigt werden auch Steuerungsabläufe und -logiken. Anwendungsfallsspezifische Teile der Steuerung sind u.U. nicht im Baukasten enthalten und müssen zum Zwecke der Simulation erstellt werden. Da Vertriebsmitarbeiter keine Programmierkenntnisse benötigen sollen, erfolgt die Erstellung einer tabellenbasierten Ablaufbeschreibung im grafischen Konfigurator der Problembeschreibung. Aus den konfigurierten Abläufen werden simulationsfähige Zustandsgraphen generiert.

Für jede Variante wird anschließend aus Modellfragmenten der Einzelkomponenten automatisch ein Simulationsmodell generiert, sodass ein Simulationslauf mit anschließender automatischer Auswertung der aufgezeichneten Größen und Angebotsgenerierung Aufschluss über Energieeffizienz, Taktzeiten etc. geben kann (Bild 2).

Die entwickelten Methoden wurden in einem Software-Demonstrator, basierend auf dem EPLAN EngineeringCenter, und ISG-Virtuos, umgesetzt und mit den Anwendern der Firma Schnaitthmann validiert.

Die beschriebene Methode erhöht demnach die Aussagekraft der Angebote und verringert den Aufwand für deren Erstellung. Schätzungen und Mutmaßungen werden nicht mehr benötigt; Alternativen können schnell und flexibel durchgespielt werden.

# FORMÄLEON – WANDLUNGSFÄHIGE BLECHUMFORMUNG DURCH EINSATZ VON SERVOTECHNOLOGIE BMBF RAHMENKONZEPT „FORSCHUNG FÜR DIE PRODUKTION VON MORGEN“

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG  
UND FORSCHUNG (BMBF)

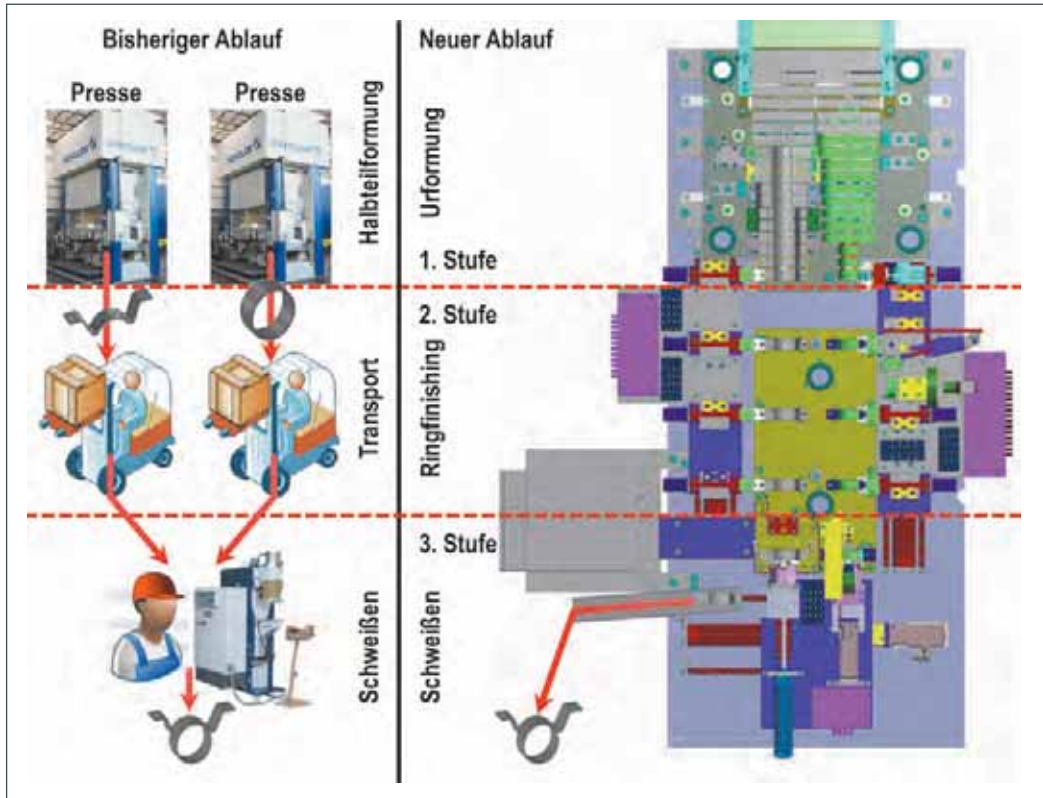


Bild 1: Gegenüberstellung bisheriger  
Prozessverlauf und neuer Prozessverlauf

Servopressen bieten ein bisher nicht ausgeschöpftes Potential in der Prozessintegration und -steuerung. Um dieses Potential nutzbar zu machen wurde am ISW eine modulare Steuerungsarchitektur entwickelt, die nicht nur eine exakte Steuerung des Pressvorgangs selbst ermöglicht, sondern auch die Integration von zusätzlichen Prozessen, wie dem Schweißen oder der Werkstücküberprüfung.

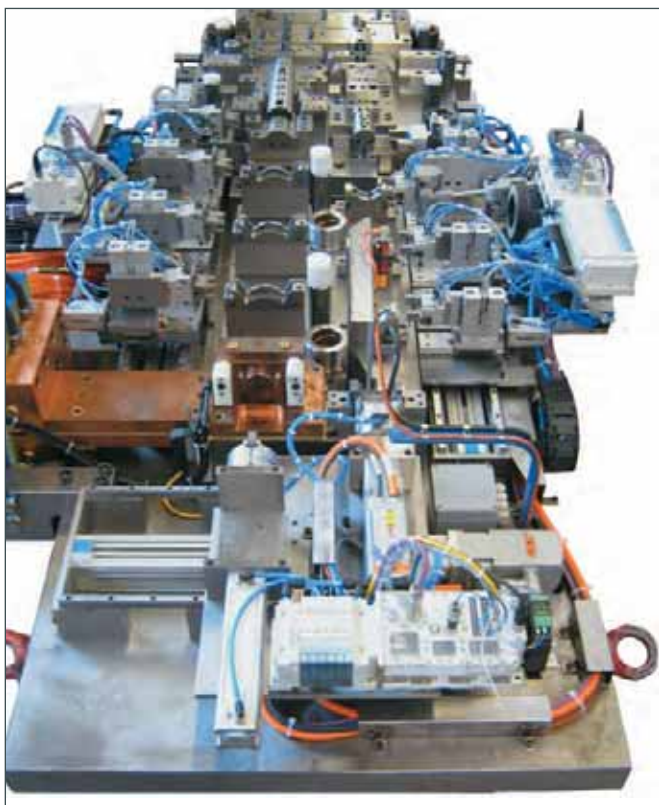


Bild 2: Prozessintegriertes Umformwerkzeug

Artikel erschienen  
 im Industrieanzeiger  
 Nummer 17, Jahrgang 135,  
 am 22.7.2013.

Die Umformtechnik befindet sich ständig vor großen Herausforderungen. Die stetig wachsende Anzahl von Derivaten im Bereich Automotive, bedingt eine immer größere Teilevielfalt bei sinkenden Losgrößen. Ein Umdenken ist notwendig, um sich dieser Situation zu stellen. Möglichst viele Teile in möglichst kurzer Zeit zu produzieren, ist überholt. Heute ist zeitnahe, flexible Fertigung mit dem Qualitätsanspruch „Null-Fehler“ Grundlage, um auf dem Markt bestehen zu können. In der Produktionsforschung heißt die Lösung hierfür Wandlungsfähigkeit.

Bild 3: Das Werkzeug in Aktion



Aber passen Umformtechnik und Wandlungsfähigkeit wirklich zusammen? Und ist dieser Ansatz auch wirtschaftlich? Um den Beweis anzutreten, dass Wandlungsfähigkeit auch in der Umformtechnik wirtschaftlich umsetzbar ist, haben sich Firmen aus der Branche und universitäre Einrichtungen zusammengetan, um in dem öffentlich geförderten Projekt „Formäleon“ Wandlungsfähigkeit und Umformtechnik zusammenzubringen.

Ein Teilergebnis des Forschungsprojekts ist die Entwicklung und Umsetzung eines Folgeverbundwerkzeuges, das den Anforderungen sich ständig wechselnder Märkte gerecht werden soll. Zielsetzung bei der Entwicklung war, die Produktionskette zur Fertigung einer Halterung für Wellen signifikant zu verkürzen und gleichzeitig die Teilequalität zu erhöhen (**Bild 1**).

Bisher wird die Halterung in drei Schritten gefertigt. Zuerst werden die Halbeile, bestehend aus einem Ring und einem Bügel, auf einer Presse nacheinander bzw. auf zwei Pressen parallel gefertigt. Die Teile werden anschließend von Hand in einer Schweißstation zusammengeführt und verschweißt. Die Schwachpunkte in dieser Produktionskette sind die Wiederholgenauigkeit des Werkers beim Einlegen der Teile und die daraus resultierende Varianz in der Güte der Verschweißung, die Notwendigkeit von Teilepuffern, sowie die hohe Bindung von Personal- und Fertigungskapazitäten. Zusätzlich fallen zwischen den Prozessschritten Zeit und Kosten für Transport an.

In dem entwickelten Folgeverbundwerkzeug wird die

Produktionskette, bisher auf mehreren Maschinen und in mehreren Arbeitsschritten ausgeführt, in einem Werkzeug auf einer Servopresse ausgeführt. Die Servopresse bietet hierfür aufgrund der frei programmierbaren Bewegung des Stößels die idealen Grundvoraussetzungen. Der Aufbau des Werkzeuges ist dreistufig und orientiert sich an dem bisherigen Prozess. Der erste Einschub ist ein klassisches Folgeverbundwerkzeug. In diesem werden Bügel und Ring beschnitten und umgeformt. Der Clou ist hierbei das ausgeklügelte Handlingsystem. Der Transfer ist mit Servoantrieben ausgeführt und nahtlos in das Folgeverbundwerkzeug integriert. Dies erlaubt es, Bewegungen auszuführen, die üblicherweise bei konventionellen Transfersystemen nicht möglich sind. So wird der Ring während des Transports in das Sichtfeld eines Kamerasystems gedreht, um Formabweichungen zu ermitteln. Sollten diese eine vorgegebene Toleranz überschreiten, wird der Ring zur Prozesslaufzeit kalibriert. Gleiches gilt für die Positionierung des Rings vor dem Schweißen. Optimal ist eine mittige Schlitzposition. Die Ist-Position wird durch ein zweites Kamerasystem ermittelt. Abweichungen zur Nulllage werden über Änderung des Drehwinkels von dem Spannfutter korrigiert.

In der letzten Prozessstufe werden Bügel und Ring zusammengeführt und verschweißt. Auch hier wurden neue Wege beschrritten. So wird – untypisch für Folgeverbundwerkzeuge – über einen Quertransport der Ring auf die Schweißstation gebracht, bevor der Bügel aus der zweiten Umformkette auf dem Ring

abgesetzt wird. Um möglichst hohe Taktzeiten zu erreichen, wurde Kondensatorentladungsschweißen als Fügeprozess ausgewählt (**Bild 2**).

Das Werkzeug ist fertiggestellt und in Betrieb genommen. Erste Tests zeigen, dass der Prozessablauf funktioniert (**Bild 3**).

Bei der Entwicklung eines solchen komplexen Werkzeuges zeigt es sich, dass einige Dinge zu beachten sind. Beim Schweißen ist es wichtig, die Stromquelle möglichst nahe an die Schweißstelle zu bringen. Die erforderlichen Transformatoren wurden daher in unmittelbarer Nähe positioniert.

Dies ist aber, aufgrund des beengten Bauraumes, nicht ohne weiteres machbar. Hier war eine teils unkonventionelle Positionierung von Komponenten notwendig. Darüber hinaus musste darauf geach-

tet werden, dass Aktuatoren und Sensoren, insbesondere das Kamerasystem, nicht durch Schweißrauch und Spritzer verunreinigt oder beschädigt werden. Auf Seite der Automatisierung musste die Systemkopplung sichergestellt sein. Es müssen Pressen-, Transfer-, Schweiß- und Messsystemsteuerung miteinander synchronisiert werden, wobei weder einheitliche Schnittstellen, ein einheitlicher Feldbus, noch Automatismen für die Verkopplung dieser Systeme zur Verfügung stehen. Im Projekt war es deshalb zwingend notwendig, so früh wie möglich alle an der Automatisierung beteiligte Partner an einen Tisch zu holen und die Schnittstellen abzuklären. Dabei wurden erste Ergebnisse für mögliche künftige Standards erarbeitet.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigen die komplexen Systeme neben den Investitionskosten aber auch

andere neu zu bewertende Probleme auf. Mitarbeiter müssen speziell für das Werkzeug und die integrierte Technik geschult werden. Hier sind neue Schulungskonzepte, die auch im Rahmen des Projektes entwickelt werden, Schlüsselement für den Erfolg. Darüber hinaus sind derzeit die Rüstzeiten noch unverhältnismäßig hoch. Dem gegenüber steht die Möglichkeit, bedeutend weniger Maschinen und Personal an die Fertigung eines Bauteiles zu binden. Auch die Wiederholgenauigkeit ist bedeutend höher als bei der konventionellen mehrstufigen Fertigung. Ob sich solche Werkzeuge mit Prozessintegration durchsetzen, werden die kommenden Jahre zeigen.

### KONTAKT

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

### PROJEKTPARTNER:





# „ENERGIEEFFIZIENTER BEARBEITUNGS-ROBOTER MIT SELBSTADAPTIERENDEM SYSTEMVERHALTEN FÜR SPANENDE ARBEITSVORGÄNGE AN INHOMOGENEN WERKSTOFFVERBUNDEN“

**GEFÖRDERT VOM BUNDEMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)**

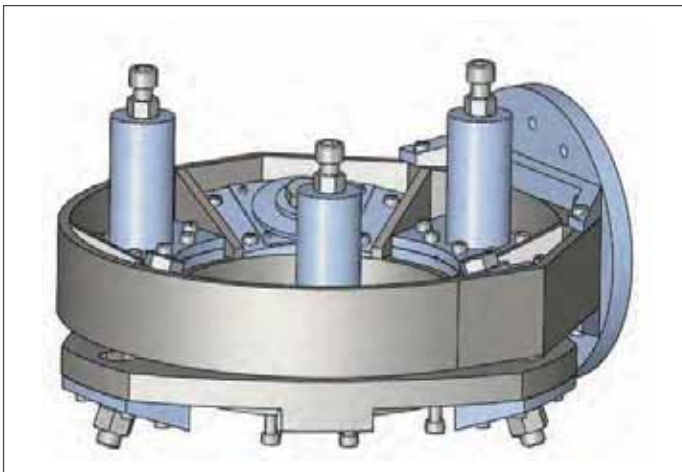


Bild 1: Schwingungskompensator des BosS-Projekts (ILK TU Dresden)

Dieses Vorhaben zielt darauf ab, konstruktive, messtechnische und informationstechnische Grundlagen für den Einsatz von Bearbeitungsrobotern zu entwickeln. Bearbeitungsroboter stellen, vor allem hinsichtlich der hohen Kosten einer Portalfräsmaschine, eine attraktive Alternative für die Bearbeitung von großvolumigen Bauteilen aus inhomogenen Werkstoffverbunden dar.

Die Bearbeitung von großvolumigen Bauteilen, wie zum Beispiel Rotorblättern von Windrädern aus glasverstärk-

tem Kunststoff (GFK), Tragstrukturen im Flugzeugbau oder großflächigen FKV-Bauteile im Fahrzeugbau, erfolgt momen-

tan noch auf mehrachsigen Portalfräsmaschinen. Der Einsatz von kosten- als auch energieeffizienteren Industrie-

Bild 2: Posenabhängige Eigenfrequenzen beim Bearbeitungsroboter



PROJEKTPARTNER:



robotern mit entsprechenden spindelgetriebenen Werkzeugköpfen, ist bisher an der mangelnden mechanischen Steifigkeit dieser Anlagensysteme gescheitert. Hierbei traten bislang unüberwindbare Probleme mit der Bearbeitungsungenauigkeit bzw. der erreichbaren Oberflächengüte auf.

Die Implementierung eines Schwingungskompensators, wie in **Bild 1** dargestellt, für den Einsatz energieeffizienter Robotersysteme zur spanenden Bearbeitung stellt einen möglichen Lösungsansatz dar. Ziel ist hierbei die Realisierung eines robotergeführten Bearbeitungssystems mit einem systemintegrierten Schwingungsausgleichssystem, das sich aus insgesamt drei Sensor-Aktor-Paaren und zugehöriger Leistungs- und Steuerungselektronik zusammensetzt.

Prozessinduzierte Schwingungen regen die Roboterstruktur breitbandig an. Diese Anregung führt zum Aufschwingen des Roboters in den ersten Eigenfrequenzen und es entstehen unerwünschte Rattermarken auf dem Werkstück. Da die Eigendynamik des Roboters stark von der Pose sowie der Anregungsrichtung abhängig ist, gilt es zunächst das Verhalten der Roboterstruktur mittels experimenteller Untersuchungen zu erfassen. Aus diesen poseabhängigen Informationen, wie sie beispielsweise in **Bild 2** dargestellt sind, werden unter anderem Regelparameter für ein angepasstes Bewegungsverhalten bei der spanenden Bearbeitung ermittelt.

In Kombination mit dem Schwingungskompensator wird eine entscheidende Verbesserung der Bearbeitungsqualität bei gleichzeitiger

Reduzierung des Energie- und Investitionsaufwandes erreicht. Dabei stellen die Untersuchungen des Forschungsvorhabens die genannte informationstechnische Grundlage für die Entwicklung späterer Generationen von Bearbeitungsrobotern dar.

**KONTAKT**

Ali Karim M.Sc.  
E-Mail: Ali.Karim@isw.uni-stuttgart.de

# „BAUTEILGERECHTE MASCHINEN-KONFIGURATION IN DER FERTIGUNG DURCH CYBER-PHYSISCHE ZUSATZMODULE (BAZMOD)“

GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)

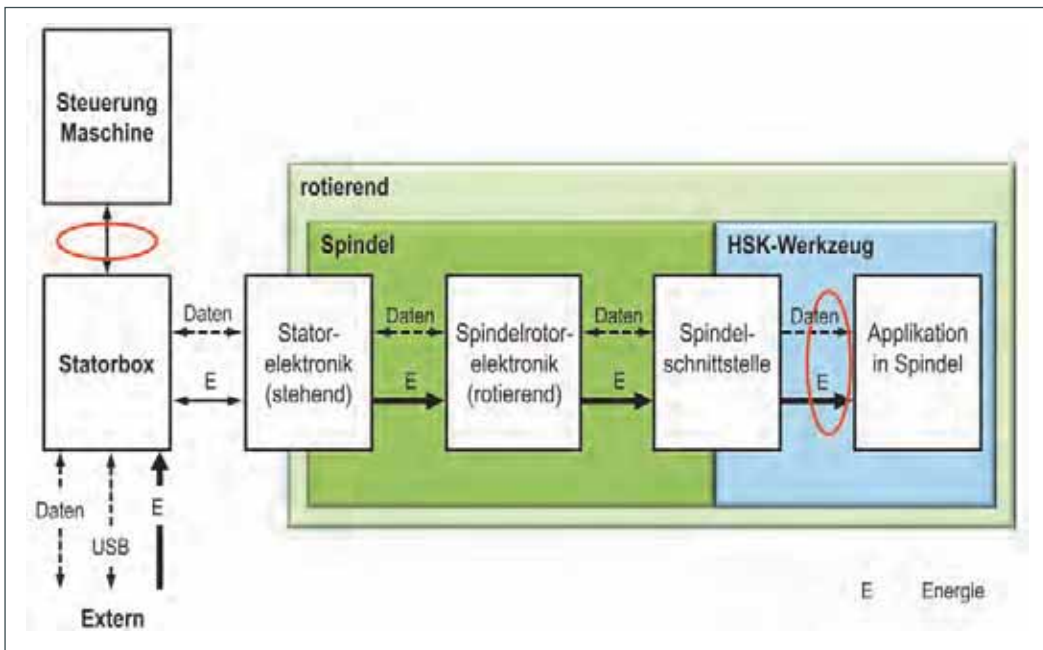


Bild 1: Schnittstellen am Beispiel rotierender Spindeln

Zur weiteren Steigerung der Qualität und zur Erweiterung der Bearbeitungsmöglichkeiten wird auf modernen Werkzeugmaschinen eine steigende Anzahl von Zusatzfunktionen integriert. Diese Zusatzfunktionen beinhalten Messmittel, aktorische Werkzeuge, Beschriftungsapparate und Werkzeuge mit Sensoren zur Prozessüberwachung. Allen diesen Optionen gemeinsam ist die Notwendigkeit, mit Energie und Daten versorgt zu werden. Dies geschieht heutzutage jedoch stets über herstellerabhängige Schnittstellen. Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, hier eine Vereinheitlichung zu schaffen.



**PROJEKTPARTNER:**

- » Komet Group GmbH



- » Mapal Dr. Kress KG



- » Blum-Novotest GmbH



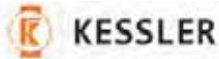
- » Renishaw GmbH



- » Schwäbische Werkzeugmaschinen GmbH



- » Franz Kessler GmbH



- » Röhm GmbH Sontheim



- » Hainbuch GmbH



- » Institut für Werkzeugmaschinen (Universität Stuttgart)



- » Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (TU München)



- » Fraunhofer Projektgruppe Ressourceneffiziente Mechatronische Verarbeitungsmaschinen



Durch diese herstellereigene Spezifizierung müssen diese Schnittstellen jeweils individuell installiert und in der Maschinensteuerung programmiert werden. Die Integration von Optionen wird dadurch eingeschränkt und der Kostenaufwand fällt jeweils individuell an. Durch eine einheitliche Gestaltung der Schnittstellen und durch die Realisierung dieser Optionen in Form von Cyber-Physischen Zusatzmodulen (CPS) lassen sich bestehende Anwendungen deutlich einfacher realisieren. Andererseits wird die Entwicklung für neue Anwendungen mit intelligenten Sensoren, Aktoren oder Verfahren ermöglicht, welche sich bisher wegen des hohen Integrationsaufwandes nicht umsetzen lassen.

Die Betrachtung heutiger Bearbeitungszentren zeigt, dass für den einheitlichen Betrieb Cyber-Physischer Zusatzmodule keine Kommunikationsstandards zwischen der NC-Steuerung und der Werkzeugmaschine vorhanden sind. Ausgehend von der Werkstückspannvorrichtung werden zwei Arten Cyber-Physischer Module unterschieden:

- » CPS mit rotierender Werkstückspannung (bspw. in Drehmaschinen)
- » CPS mit fester Werkstückspannung und rotierendem Werkzeug (bspw. Fräsmaschine)

Die Einbindung des Bearbeitungsprogrammes erfolgt für beide Betrachtungen über die CAD-CAM-Kette in Kombination mit den Werkzeugdaten und den Daten der Werkstückspannung. Im ersten Fall ist die Werkstückaufspannung das Cyber-Physische Modul, mit welchem beispiels-

weise die Klemmkraft abhängig von der Schnittkraft geregelt werden könnte. Im zweiten Fall besteht das CPS aus Spindel und Werkzeug, in welchem beispielsweise eine zusätzliche Achse geregelt betrieben werden könnte. Neben bisherigen Anwendungen, wie ansteuerbaren Achsen, soll diese Schnittstelle (dargestellt in **Bild 1**) zwischen Maschine, Spindel und Werkzeug auch die Basis für neue intelligente Sensoren, Aktoren und Verfahren schaffen, die bisher nur mit aufwendigen Zusatzaggregaten realisiert werden konnten. Das Hauptziel des Verbundprojekts BaZMod ist die Schaffung eines Schnittstellenstandards für Cyber-Physische Zusatzmodule im Bereich der spanenden Bearbeitung. Dazu ist die Entwicklung einer einfachen, wirtschaftlichen und standardisierten Schnittstelle zwischen Maschine und Cyber-Physischem Zusatzmodul notwendig. Diese muss herstellerneutral und dabei unkompliziert, schnell und kostengünstig in die Maschine integrierbar sein.

**KONTAKT**  
 Dipl.-Ing. Hendrik Vieler  
 E-Mail: Hendrik.Vieler@isw.uni-stuttgart.de



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

**GEFÖRDERT VOM BUNDESMINISTERIUM  
FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)**



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

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.

**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 Technologie

Die 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, wie in **Bild 1** dargestellt wird.



**KONTAKT**

Dipl.-Ing. Michael Voß  
E-Mail: Michael.Voss@  
isw.uni-stuttgart.de

PROJEKTPARTNER:

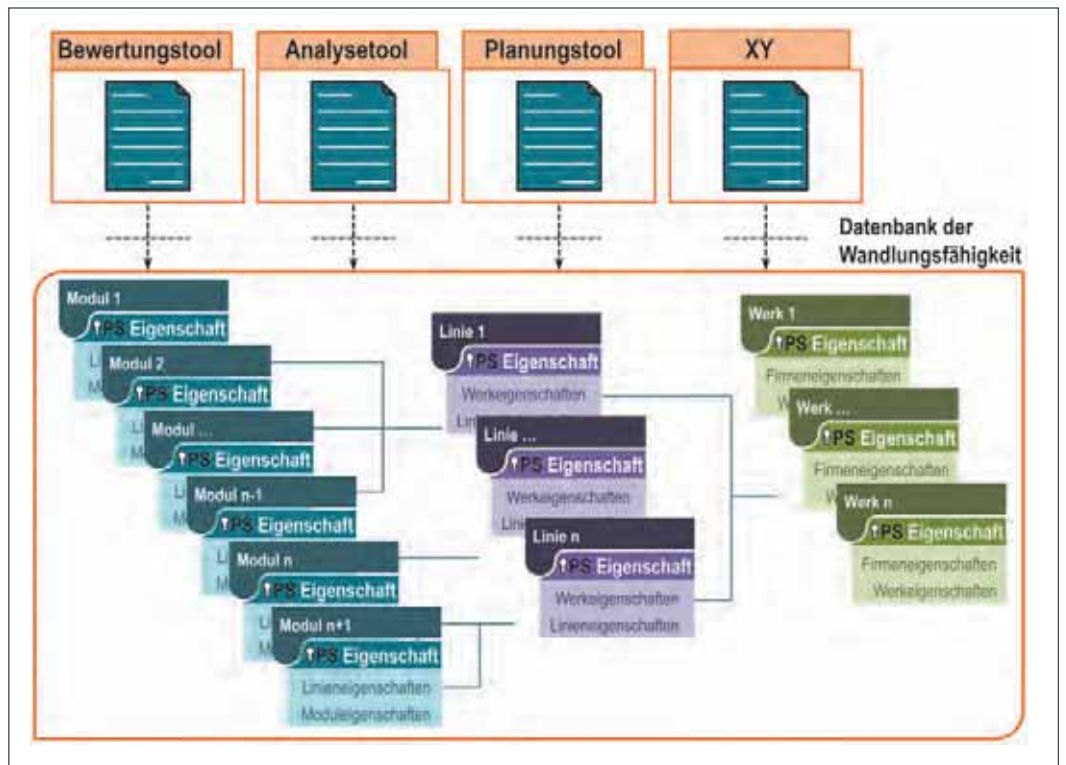
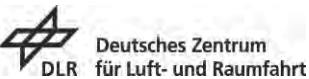


Bild 2: Informationsmodell der Forschungsfabrik

ZIELE DER FORSCHUNGSFABRIK

Als globales Ziel werden neue Produktionskonzepte gemäß zur Wandlungsfähigkeit in der

Fahrzeugproduktion entwickelt. Hierzu werden unter Anderem folgende Punkte weiterentwickelt:

» Methoden, Werkzeuge zur Planung/Konfigurierung/Betrieb wandlungsfähiger Produktionssysteme

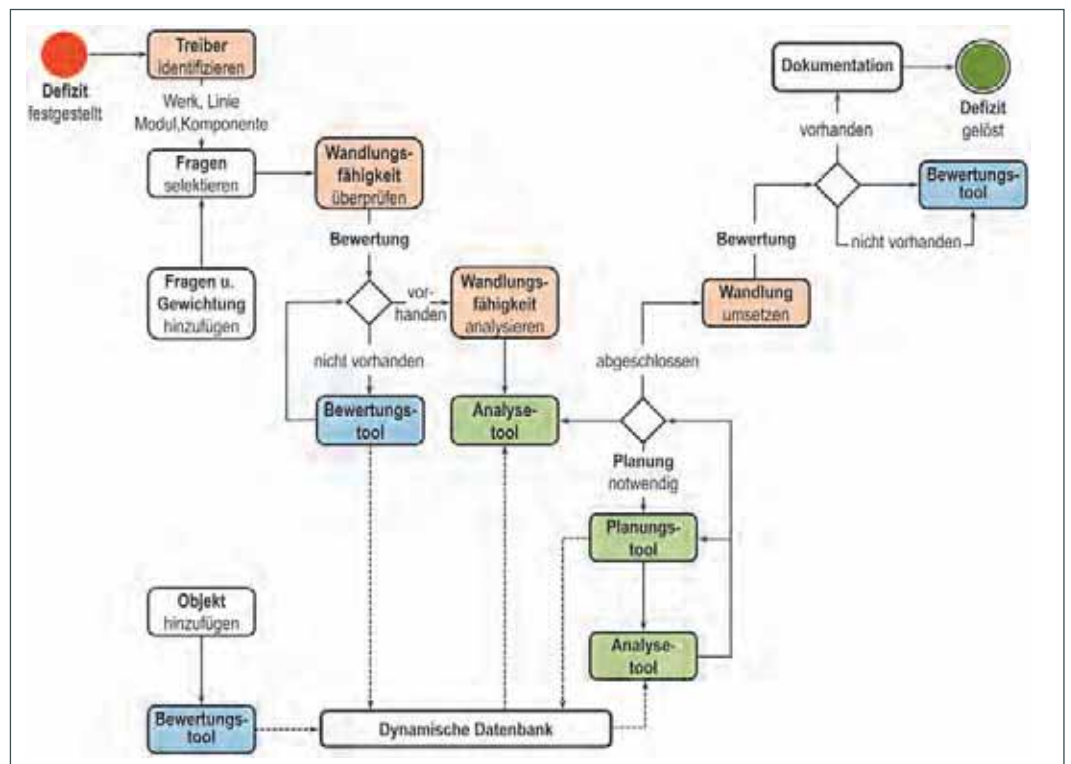


Bild 3: Ablauf zur Bewertung und Umsetzung wandlungsfähiger Montage

- » 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 die Weiterverarbeitung von Produktionsdaten und Information zu funktionierenden Ablaufprogrammen, Produktionsanweisungen und Informationsrückflüssen aus der Produktion. In **Bild 2** ist ein Teil des Informationsmodells der Arena2036 dargestellt.

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 und bewertet. Im **Bild 3** ist der Workflow zur Bewertung der Wandlungsfähigkeit und des Erfolgs der Wandlung dargestellt. Die Steuerungsalgorithmen und Datenhaltungs- und Verarbeitungssysteme werden entworfen und in der Arena2036 umgesetzt und erprobt. Die Serviceorientierung in der Produktionstechnik wird hierfür eingesetzt und weiterentwickelt.

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

Anzeige

LEADING IN PRODUCTION EFFICIENCY

## AUFTRAGSERFOLG EFFIZIENT LACKIEREN

Qualität generieren, Ressourcen schonen, Stückkosten senken: Dürr bietet mit dem **ECO EFFICIENCY** System innovative Produkte und Lösungen für die flexible und zukunftssichere Lackapplikation.

[www.durr.com](http://www.durr.com)

# ROBUSTHEIT DURCH INTEGRATION, INTERAKTION, INTERPRETATION & INTELLIGENZ (ROBIN 4.0)

GEFÖRDERT VOM BUNDEMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF)

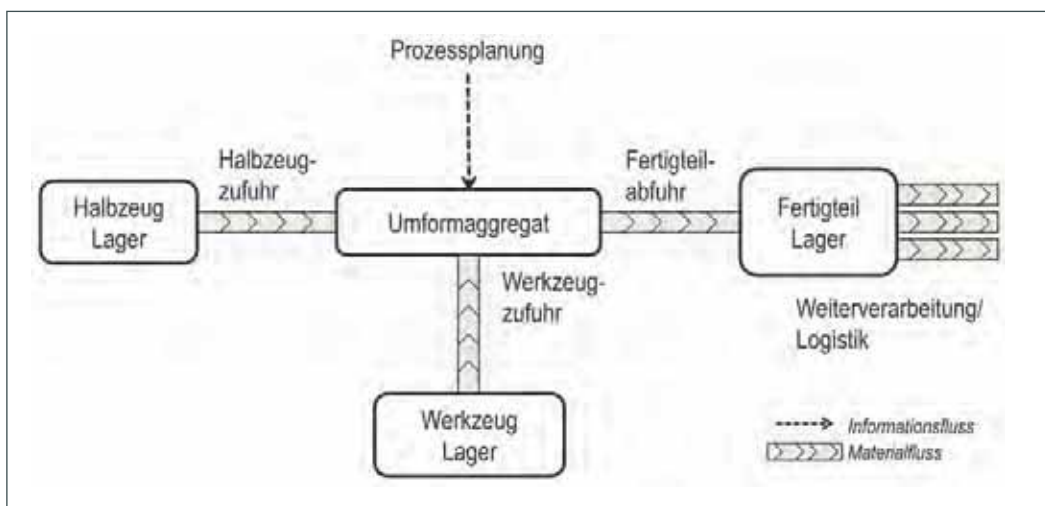


Bild 1: Entkopplung von Informations- und Materialfluss

Im Projekt RobIN 4.0 wird der Grundstein für Industrie 4.0 in der Umformtechnik gelegt. Durch die *Integration* von robusten Messschrauben in den Kraftfluss der Presse, die informationstechnische Vernetzung aufeinanderfolgender Wertschöpfungsschritte und die *intelligente Interpretation* der Mess- und Prozessdaten sollen eine adaptive Regelung der Presse und eine autonome Anpassung der einzelnen 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 ihre Prozesse flexibler und robuster gegenüber Störeinflüssen zu gestalten. Kerngedanke von Industrie 4.0 ist es zum einen einzelne Wertschöpfungsschritte miteinander zu vernetzen, zum anderen soll eine Kommunikation auch über die materielle Produktion hinaus ermöglicht

werden. Die Vernetzung schafft die Voraussetzung für eine autonome Anpassung einzelner Prozessschritte und den gezielten Austausch von Erfahrungen und das Erkennen von bisher unbekanntem Prozesszusammenhängen. Umformprozesse, die zu den produktivsten industriellen Fertigungsprozessen zählen, nutzen das Potential von In-

dustrie 4.0 bislang jedoch nicht. Im Verbundprojekt RobIN 4.0 haben sich daher Vertreter aus Industrieunternehmen, einem Schulungszentrum für Umformtechnik und Universitäten zusammengeschlossen, um den Grundstein für Industrie 4.0 in der Umformtechnik zu legen.

In der Umformtechnik werden die Teile zwischen den einzel-



PROJEKTPARTNER:

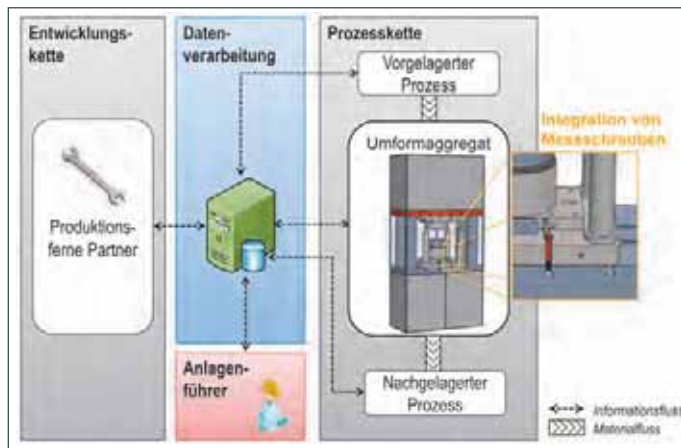


Bild 2: Konzept RobIN 4.0

nen Bearbeitungsschritten bislang meist eingelagert (vgl. **Bild 1**). Dabei werden allerdings keine Informationen über den bisherigen Verlauf der durchgeführten Bearbeitungsschritte gespeichert. Dies führt dazu, dass nachgelagerte Prozessschritte keine Informationen über vorher aufgetretene Prozessabweichungen erhalten. Folglich werden diese Abweichungen durch die gesamte Prozesskette getragen, ohne dass eine Reaktion auf diese Abweichungen erfolgen könnte.

Um dies zu verhindern, müssen zum einen Informationsquellen vorhanden sein, die die Abweichungen detektieren, zum anderen müssen die Abweichungen kommuniziert werden.

Bereits in der Vergangenheit bestand der Wunsch nach zusätzlichem Erkenntnisgewinn während des Produktionsbetriebs. Bislang blieb die erfolgreiche Nutzung zusätzlicher Informationsquellen jedoch aus. Durch die jüngste Entwicklung von robusten, kostengünstigen Sensoren, die in Form einer Messschraube in den Kraftfluss der Presse integriert werden, ist es nun möglich zusätzliche

Informationen über das aktuelle Prozessgeschehen zu erhalten.

Ziel des Projekts ist es daher, neben der Weiterentwicklung der Messschraube als industrietaugliches Produkt, Informationsflüsse parallel zu den unverändert produktiven Materialflüssen zu ermöglichen. Daraus ergibt sich eine höhere Produktivität und Produktionssicherheit, die sich durch die zusätzlichen Kommunikationswege prozessübergreifend nutzen lässt.

Um aus den Mess- und Prozessdaten Handlungsbedarf für Prozessanpassungen abzuleiten, müssen die Daten analysiert und in Steuergrößen bzw. Regelparameter umgesetzt werden. Neben der Kommunikation innerhalb der Prozesskette soll auch eine Kommunikation mit produktionsfernen Partnern, wie z.B. Werkzeugbauern, möglich sein. Dies gestattet eine ganzheitliche Optimierung des Umformprozesses. In **Bild 2** ist die Zielarchitektur des Projekts dargestellt.

Das ISW untersucht im Rahmen des Projekts geeignete Methoden zur Datenverarbeitung, -speicherung und -inter-

pretation und liefert die Infrastruktur zur prozessübergreifenden Kommunikation.

Zusätzlich sollen die Mess- und Prozessdaten für den intelligent geschulten Anlagenführer aufbereitet werden, damit er notwendige Prozessanpassungen effizienter erkennen und durchführen kann. Das ISW entwickelt zu diesem Zweck neuartige Visualisierungs- und Bedienkonzepte.

**KONTAKT**

M.Sc. Sara Höhr  
E-Mail: Sara.Hoehr@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. Markus Birkhold  
E-Mail: Markus.Birkhold@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 in die Cloud verlagert. Die strengen Anforderungen der Produktionstechnik im Bereich Echtzeitfähigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit werden berücksichtigt und beibehalten.

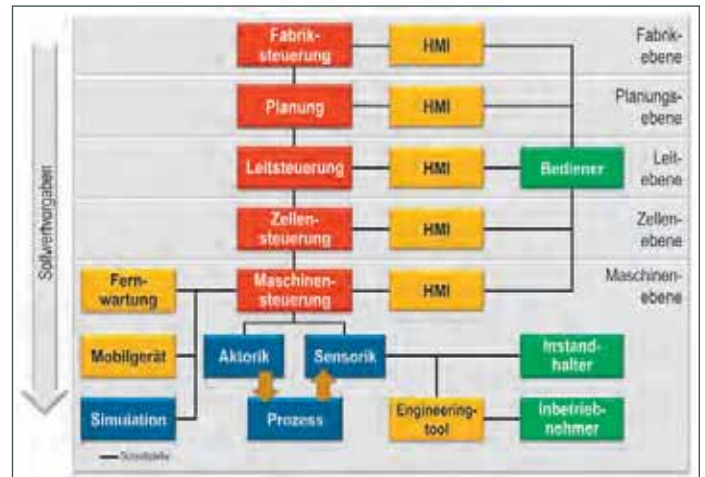


Bild 1: Hierarchische Trennung der heutigen Produktionssteuerung

In heutigen Produktionsanlagen herrscht bezüglich der Steuerungsarchitektur eine strikt hierarchische Trennung zwischen einzelnen Steuerungsebenen (siehe **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 Steuerungsplattform für cyber-physische Systeme in industriellen Produktionen. Eine solche Steuerungsplattform soll skalierbare Rechenleistung bieten, die abhängig



PROJEKTPARTNER:

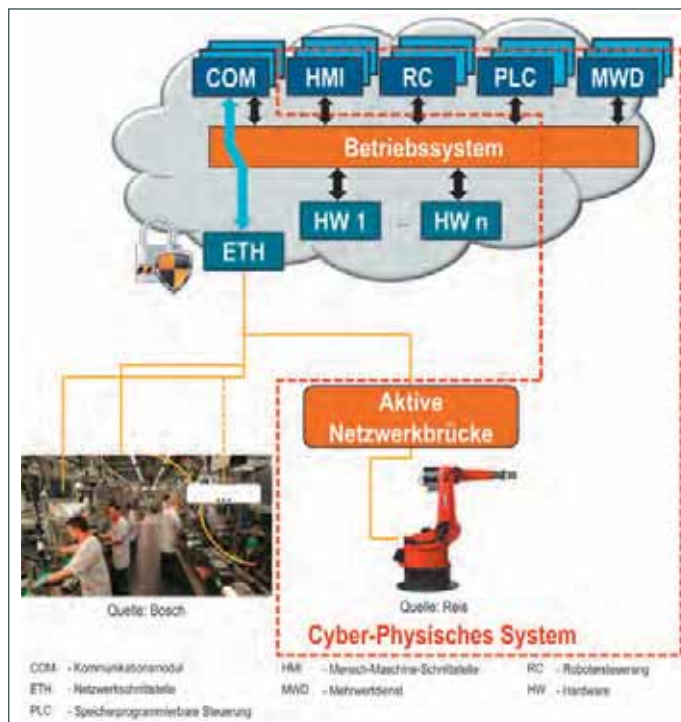


Bild 2: Systemgrenze für cyber-physisches System

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 (siehe 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. Die Erweiterung der Cloud

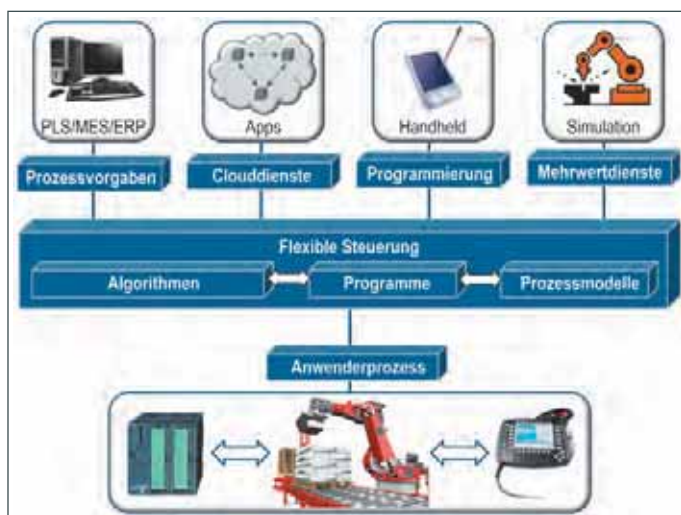


Bild 3: Cloudbasierte Steuerungsplattform für cyber-physische Systeme

durch intelligente Prozesse zur Wandelbarkeit erlaubt den Maschinen lernend auf ihr Umfeld und die Bediener zu reagieren. Sie kann sich selbstständig und schneller an sich ändernde Einflüsse von außen anpassen, ohne im Feld umkonfiguriert werden zu müssen.

Die vorhandene, monolithische Steuerungstechnik wird aufgebrochen, modularisiert und mit Mechanismen des Cloud-Computing, wie globale Datenverarbeitung und serviceorientierten Softwarearchitekturen, erweitert. Eine cloudbasierte Steuerung bietet eine einheitliche Plattform, welche zukunftsorientiert genutzt werden kann, um die Produktion bspw. um Algorithmen zur Auswertung oder mobile Endgeräte zu erweitern. Hierbei spielt die systemweite Vernetzung der Daten, welche durch jede Komponenten bei Bedarf genutzt werden können eine entscheidende Rolle (siehe Bild 3). Der Informationsaustausch zwischen cyber-physischen Systemen soll zukünftig ohne die Erweiterung um Schnittstellen und Protokolle erfolgen.

Während des ersten Halbjahres innerhalb 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 wurden mögliche Mehrwertdienste erfasst, welche innerhalb einer Produktion mit cyber-physischen Systemen eingesetzt werden können, um u.a. eine Effizienzsteigerung des Produktionsprozesses zu erzielen.

KONTAKT

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

# ENTWICKLUNG DES PROTOTYPS EINES AKTIVEN ANTRIEBSSYSTEMS FÜR PROTHESEN UND ORTHESEN

**PROJEKTRÄGER: ARBEITSGEMEINSCHAFT INDUSTRIELLER  
FORSCHUNGSVEREINIGUNGEN (AIF), GEFÖRDERT VOM  
BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE  
(BMWi)**

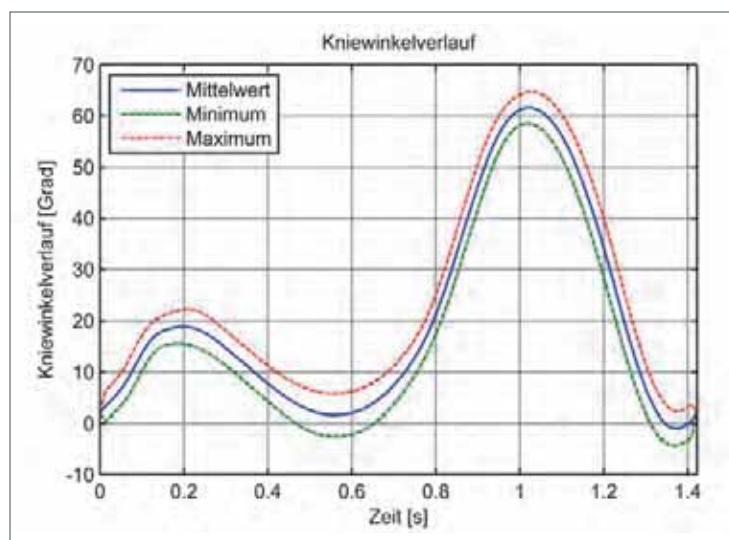


Bild 1: Nachzubildender Verlauf des Kniewinkels beim Gehen

Die Zunahme von Gefäß-  
erkrankungen führt zu einem  
wachsenden Bedarf an Pro-  
thesen um amputierte Extre-  
mitäten zu versorgen. Momen-  
tan sind dies vor allem passive  
Systeme, bei welchen der  
Träger die Energie für eine  
Bewegung (dargestellt in **Bild 1**  
ist ein beispielhafter Knie-  
winkelverlauf) selbst aufbrin-

gen muss. Um diese Belastung  
zu reduzieren wurde im Rah-  
men dieses Verbundprojekts  
ein aktiv angetriebenes Funk-  
tionsmuster einer Knieprothese  
entworfen. Hierbei kommt es  
besonders auf eine Adaption  
an unterschiedliche Situatio-  
nen und eine große Robustheit  
gegenüber Störungen an.

Das Teilprojekt am ISW be-  
fasste sich dabei vor allem mit  
der notwendigen Antriebsre-  
gelung, für welche ein neuarti-  
ges Reglersystem auf FPGA-  
Basis genutzt wurde. Dieses  
weist industrieübliche Schnitt-  
stellen auf und kann dadurch  
auch abseits dieser Anwen-  
dung vielseitig in der Antriebs-  
technik eingesetzt werden.

Im Rahmen eines Verbundprojektes wurde ein Funktionsmuster einer angetriebenen Knieprothese entworfen und getestet. Die sich hier umgesetzte Regelverfahren und Kommunikationsstrukturen erfordern ein großes Maß an Flexibilität, weshalb die Antriebsregelung auf einer FPGA-basierten offenen Plattform umgesetzt wurde.



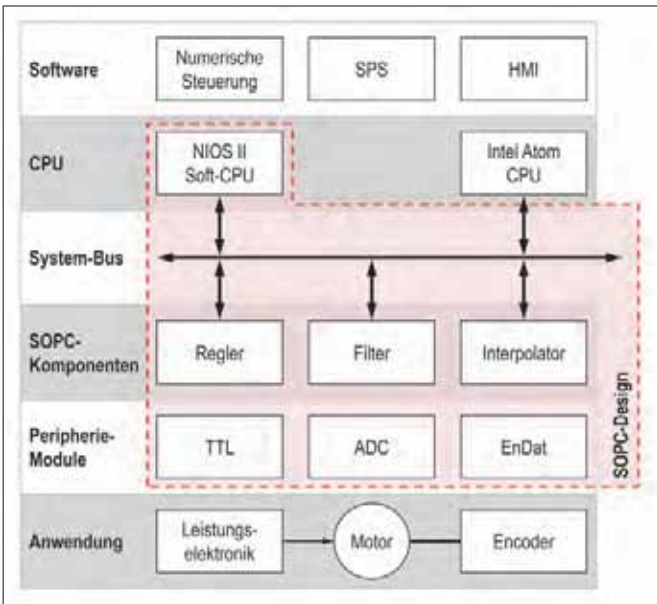


Bild 2: Ebenenmodell der Reglerarchitektur

Um im Projektverlauf größtmögliche Flexibilität hinsichtlich der Implementierung zu gewährleisten, wurde für die Antriebsregelung eine Plattform gewählt, welche einen FPGA sowie einen x86-Prozessor kombiniert. Hierfür wurden universell verwendbare Peripheriemodule entwickelt, welche in Form eines System On a Programmable Chip (SOPC) implementiert wurden. Einzelne Funktionen können innerhalb der Steuerung auf unterschiedlichen Ebenen implementiert werden. Das ent-



Bild 4: Funktionsmuster der angetriebenen Prothese

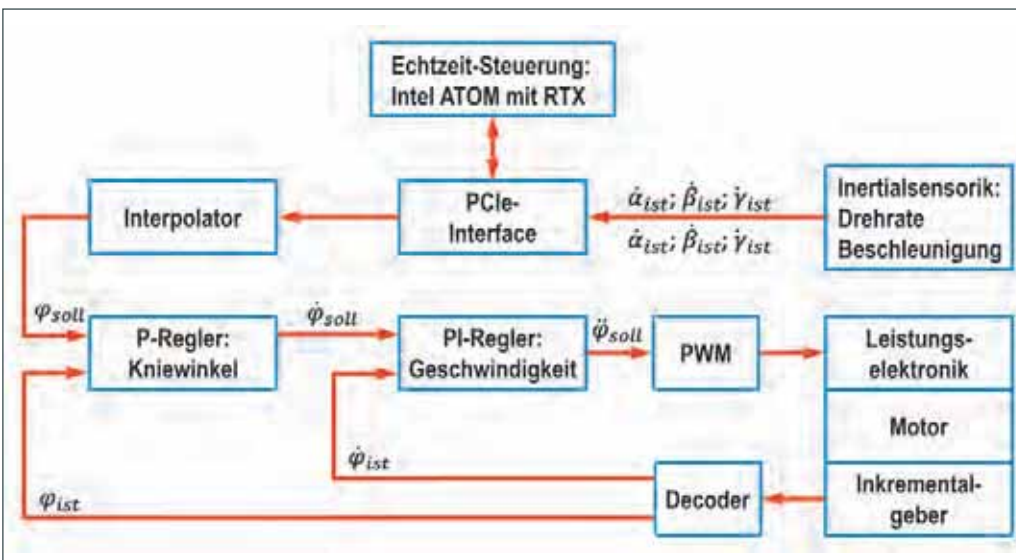
sprechende Schichtmodell der Architektur ist in **Bild 2** dargestellt. Die jeweils optimale Ebene ergibt sich in erster Linie aus den zeitlichen Anforderungen aber auch aus dem gewünschten Abstraktionsgrad.

Für die Erprobung der elektrischen und mechanischen Komponenten der Prothese wurde basierend auf dem

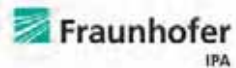
Ebenenmodell eine Reglerstruktur umgesetzt, welche in **Bild 3** abgebildet ist. Während die Regler mit hoher Taktrate auf FPGA-Ebene laufen, kommen für die Sollwerterzeugung und Verarbeitung der Sensordaten Software-basierte Funktionen innerhalb einer Echtzeitumgebung zum Einsatz.

Das Konzept konnte umgesetzt und anhand mehrerer Funktionsmuster seine Tauglichkeit im Ganglabor bewiesen. Eine solche Prothese ist in **Bild 4** dargestellt.

Bild 3: Reglerstruktur für die Prothesensteuerung



PROJEKTPARTNER:

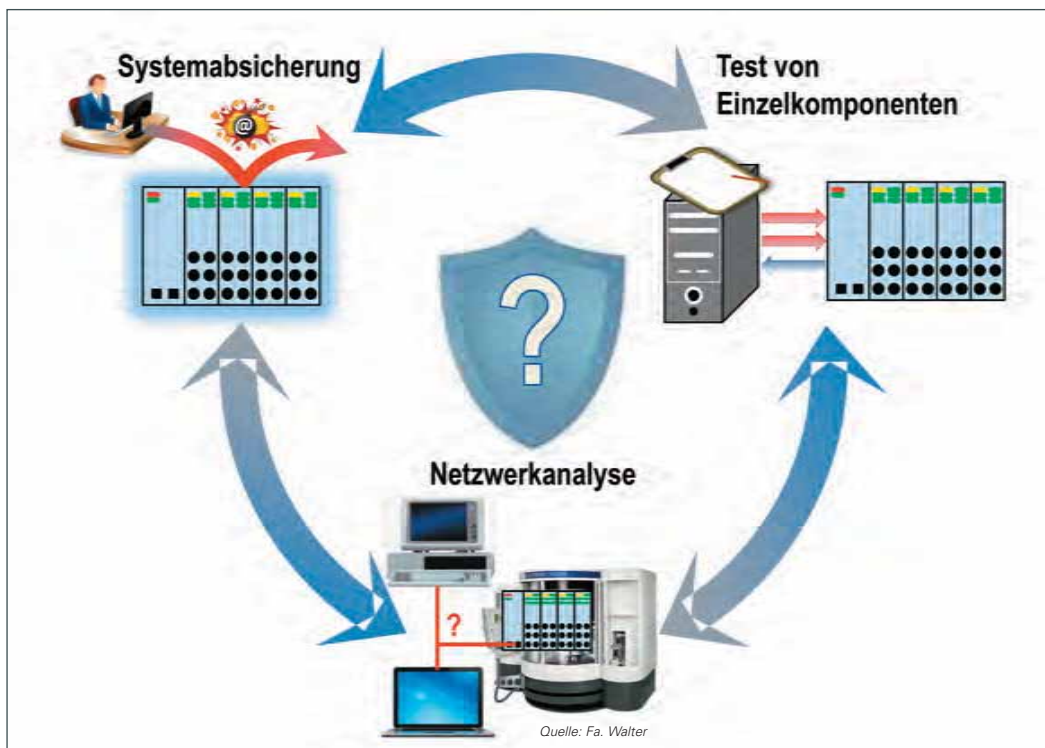


KONTAKT

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

# INDUSTRIAL CONTROL SYSTEMS – MINIMAL INVASIVE SYSTEM IDENTIFICATION SCAN (ICS-MISIS)

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



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Bild 1: Dienstleistungskonzept

Steuerungssysteme, insbesondere Altsysteme, sind unsicher und fragil. Deshalb müssen Kommunikationswege zwischen IT und Maschinen identifiziert und abgesichert werden. Da Identifikationsmethoden der IT oft zu einer Beeinflussung der Maschine führen und Sicherheitsmaßnahmen nicht kompatibel sind, ist die Aufgabe nicht trivial. Es werden deshalb in Kooperation mit einem IT-Sicherheitsdienstleister Maßnahmen für die Automatisierungstechnik abgestimmt.

In ICS MISIS (Industrial Control Systems Minimal Invasive System Identification Scan) wird eine Dienstleistung entwickelt, mit der Produktionsanlagen gegenüber Angriffen durch Schad-

programme oder böswilligen Nutzern über das Netzwerk abgesichert werden (siehe **Bild 1**). Teil der Dienstleistung ist die Modellierung des Netzwerks der Produktionsanlage

und dazugehöriger Verbindungspunkte zum Unternehmensnetzwerk. Basierend auf diesem Modell werden Schwachstellen und schützenswerte Komponenten identifiziert. Zur Ab-

**PROJEKTPARTNER:**



sicherung dieser Schwachstellen und schützenwerten Komponenten werden Maßnahmen entwickelt und Sicherheitskomponenten auf ihre Eignung zur Umsetzung der Maßnahmen analysiert. Für geeignete Komponenten wird eine Anpassung der Konfiguration der Komponenten an das gegebene Schutzziel durchgeführt. Daraus resultierend wird ein Komponenten- und Konfigurationskatalog aufgebaut.

Zur Validierung des Netzwerkmodells wird ein Analysegerät entwickelt, mit dem zur Produktionslaufzeit die Vollständigkeit des Modells überprüft werden kann. Das Analysegerät identifiziert dabei im Voraus einzelne Automatisierungskomponenten auf deren Verhalten während eines Netzwerkscans und speichert dieses in eine Datenbank.

Um eine sachgerechte Nutzung des Sicherheitskonzepts zu gewährleisten, wird ein Schulungskonzept erarbeitet, das anwenderspezifisch und prozessnah dem Nutzer den Umgang mit dem Sicherheitssystem lehrt. Das Schulungskonzept setzt dabei auf praktische Inhalte, durch Nutzung des Analysegeräts in einem realitätsnahen Testsystem.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Vorteile:

- » Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Angriffe auf das Produktionsnetzwerk aus dem Unternehmensnetzwerk oder Internet
- » Gesamtberatung für Sicherheit der Unternehmens- und Produktions-IT

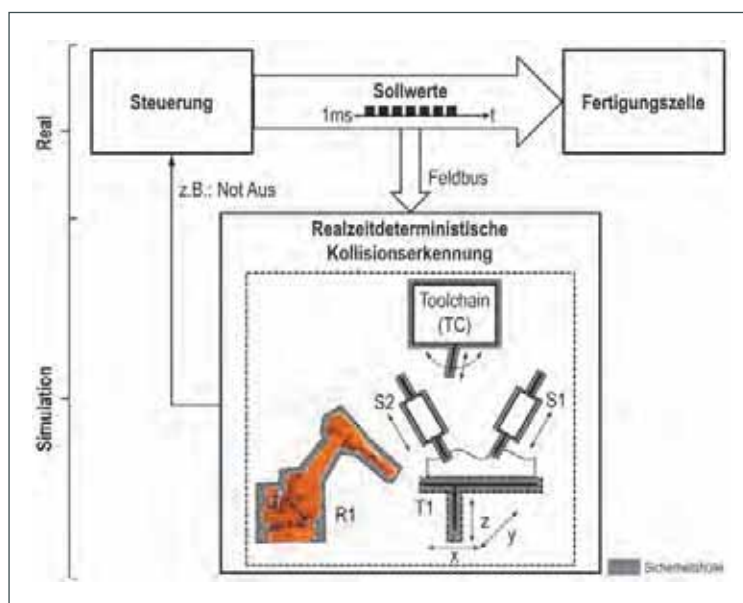
- » Nutzung von Synergieeffekten, durch Kombination von Sicherheitsstrategien für Unternehmens- und Produktions-IT
- » Möglichkeit der Evaluierung der Sicherheit zur Produktionslaufzeit
- » Spezifische Schulung der Mitarbeiter für das Sicherheitskonzept

**KONTAKT**

Dipl.-Ing. Markus Birkhold  
E-Mail: [Markus.Birkhold@isw.uni-stuttgart.de](mailto:Markus.Birkhold@isw.uni-stuttgart.de)

# PARALLELE BERECHNUNG AUF REALZEITSYSTEMEN

## REALZEITFÄHIGE MULTICORE KOLLISIONSÜBERWACHUNG VON WERKZEUGMASCHINEN IM AIF-PROJEKT „MULTIFLEX“ GEFÖRDERT VOM BUNDEMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNIK (BMWi)



Die Parallelisierung von komplexen Algorithmen auf Multi-Core-Prozessoren ist heute gängige Praxis. Die dabei genutzten Methoden eignen sich jedoch nicht für die Parallelisierung von rechenintensiven Algorithmen auf Realzeitsystemen. In diesem Projekt wird daher ein Konzept für die Berechnung von rechenintensiven Algorithmen auf Realzeitsystemen erstellt und anhand einer prozessbegleitenden Kollisionsüberwachung umgesetzt.

Bild 1: Konzept der prozessbegleitenden geometrischen Kollisionsüberwachung

Wird das Bearbeitungsprogramm auf einem Bearbeitungszentrum gewechselt, besteht die Gefahr von Kollisionen durch die geänderte Bewegungsreihenfolge. Nach einer Umstellung werden daher üblicherweise verlangsamte Probeläufe durchgeführt, um Kollisionen zwischen sich simultan bewegenden Maschinenteilen sowie zwischen Maschine und Werkstück zu erkennen. Ansonsten besteht die Gefahr der Beschädigung von Maschine, Werkstück oder Werkzeug. Damit in Zukunft keine aufwendigen Probeläufe mehr notwendig sind, wird in die-

sem Projekt ein Verfahren für eine prozessbegleitende Kollisionsüberwachung entwickelt. Der Lösungsansatz beruht auf einem Mehrkanal-Simulationsverfahren zur geometrischen Kollisionserkennung und Materialabtragsimulation in einem Realzeitsystem mit Feldbusanbindung. Dazu wird parallel zur Bewegung der realen Maschine eine prozessbegleitende Hardware-in-the-Loop-Simulation (HiLS) realisiert (virtuelle Maschine), welche die ausgeführte Bearbeitung prozessbegleitend und realzeitdeterministisch abbildet (siehe **Bild 1**).

Um die Maschinenelemente der virtuellen Maschine wird eine Sicherheitshülle gelegt, welche zur Erkennung einer Kollision dient. Dadurch kann die reale Maschine beim Erkennen einer Kollision noch rechtzeitig gestoppt werden. Zur Realisierung der prozessbegleitenden Kollisionsüberwachung müssen eine Maschinensimulation, eine Abtragsimulation sowie eine Kollisionserkennung simultan im Feldbustakt berechnet werden. Die Rechenleistung eines einzelnen Prozessors ist jedoch bei der zusätzlichen Berücksichtigung des Materialabtrags nicht mehr ausrei-

Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



chend, aus diesem Grund wird ein Multicore-System für die Ausführung benötigt.

Herausforderung ist, dass die geometrische Kollisionsüberwachung im Feldbustakt, der im Idealfall eine Millisekunde (ms) beträgt, berechnet wird, sonst wird der Realzeitdeterminismus verletzt. Traditionell eingesetzte Methoden für die Realisierung von parallelen Berechnungen können auf Realzeitsystemen nicht angewandt werden. Daher wird im Zuge der parallelen Berechnung im Steuerungstakt ein völlig neuartiges Systemkonzept zur Parallelisierung der realzeitdeterministischen Simulationsplattform entworfen (siehe **Bild 2**).

In der Systemplattform dienen gemeinsam genutzte Speicherbereiche (Shared Memory, SHM) zum Austausch von Daten zwischen den parallel ausgeführten Applikationen. Mit dieser Systemarchitektur können parallelisierte Echtzeitprozesse mit geringen Zykluszeiten ausgeführt werden, wobei ein Datenaustausch simultan zum Feldbus- und Simulationstakt möglich ist. Die Auswahl, in welcher Weise die Applikationen in einem Anwendungsfall auf verschiedene Prozessorkerne verteilt werden, ist von der genauen Anwendung abhängig. Je nachdem, wie viel Rechenlast benötigt wird, können diese Applikationen entsprechend auf Prozessoren verteilt werden. **Bild 3** zeigt ein exemplarisches Ausführungsmodell mit zwei Echtzeitsimulationen, drei Kollisionserkennungen und zwei Abtragsimulationen auf 7 Prozessoren (CPU) verteilt werden. Ein Prozessor verbleibt für das Betriebssystem. Jeweils zu Beginn eines Taktes müssen

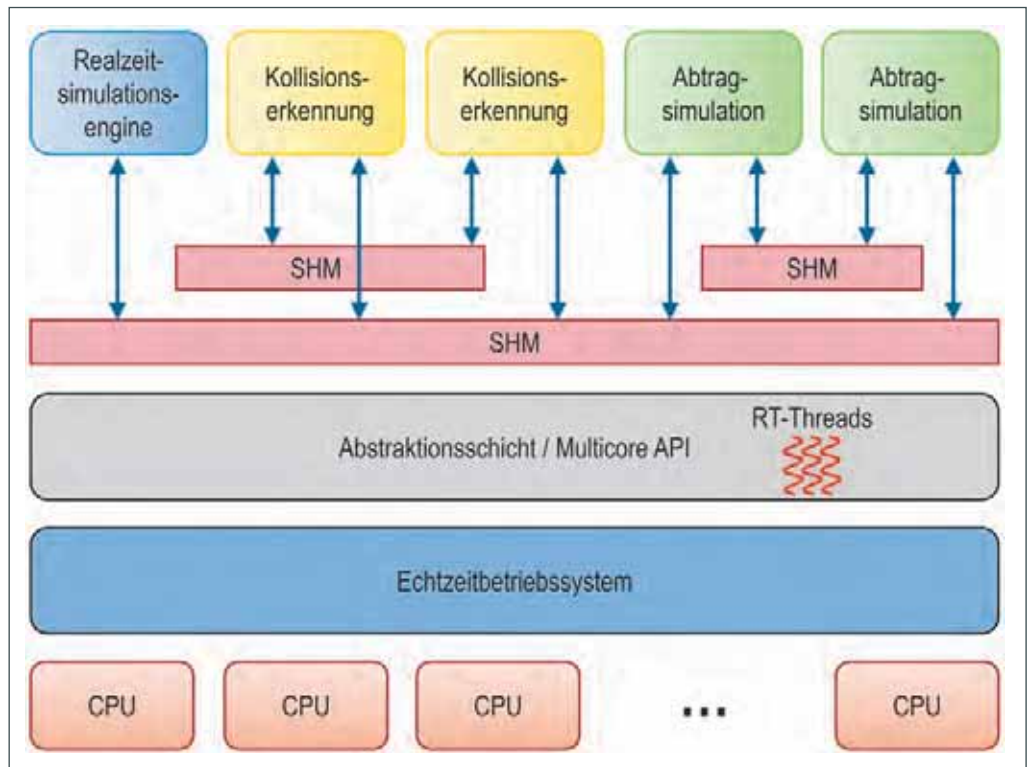


Bild 2: Harmonisierte Systemplattform

gemeinsam genutzte Datensätze zwischen den Prozessoren synchronisiert werden.

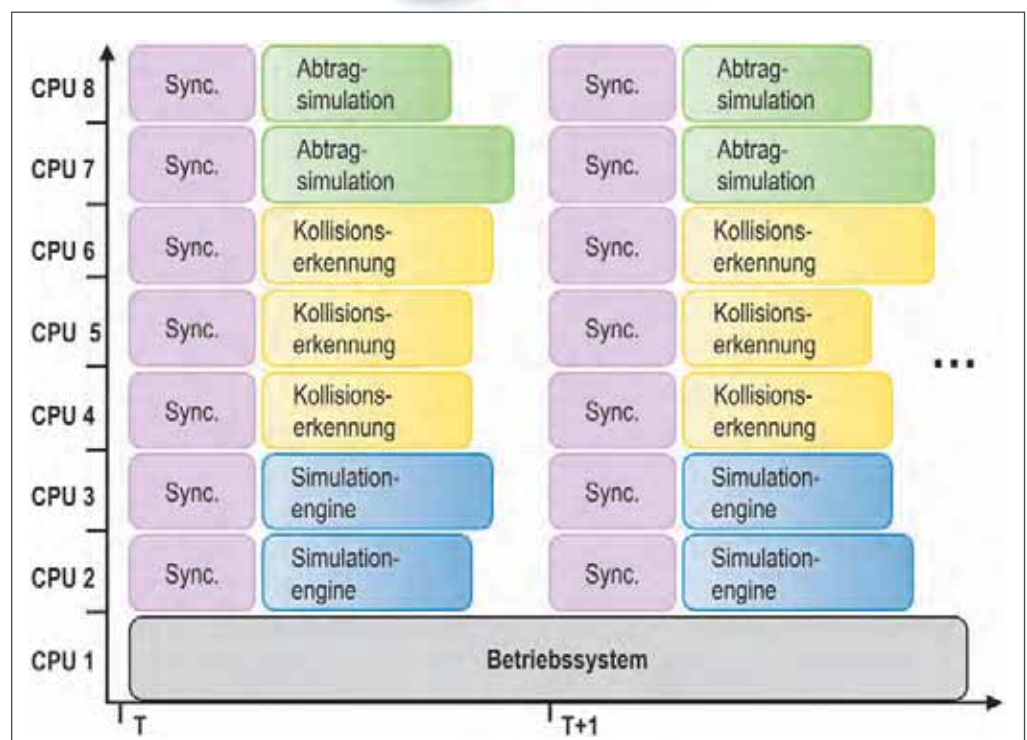


**KONTAKT**

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



Bild 3: Exemplarisches Gantt Diagramm der Prozessorauslastung für 8 Prozessoren



# SERCOS III MULTISLAVE: KONFIGURIERBARER NETZWERK- UND GERÄTE-EMULATOR

**Sercos**  
the automation bus

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

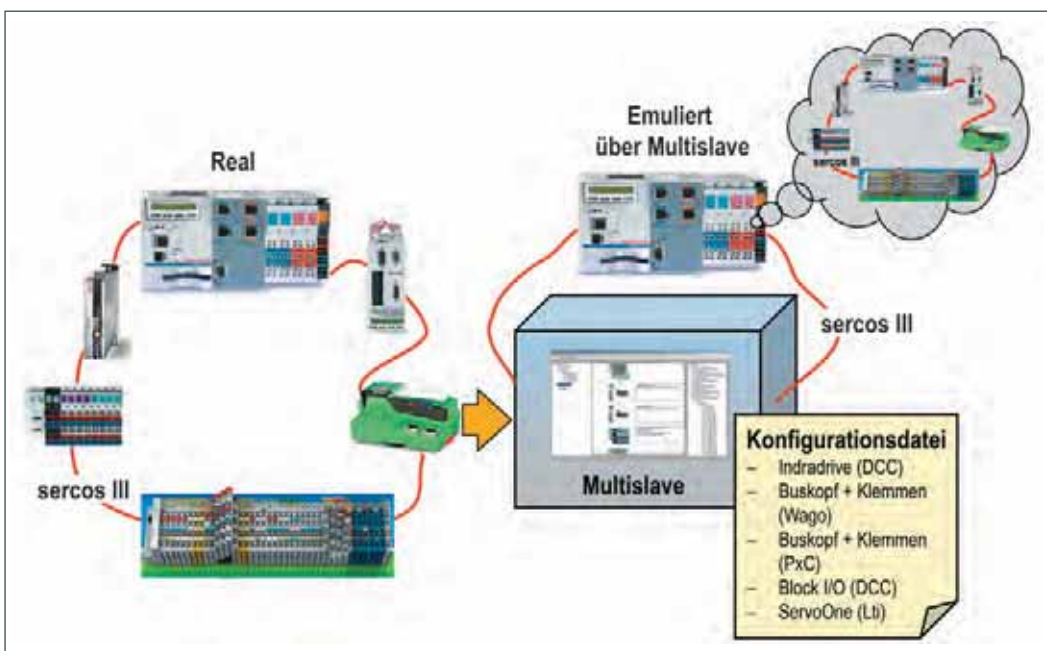


Bild 1: Abbildung von mehreren Kommunikationsteilnehmern

Das Anforderungsprofil von Steuerungssystemen und Feldgeräten wächst zunehmend. Die neuen Funktionalitäten müssen zusätzlich unter realen Einsatzbedingungen getestet werden. Der sercos III Multislave ermöglicht dieses durch die Emulation eines sercos III Netzwerkes mit konfigurierbaren Teilnehmern.

Der sercos III Multislave ermöglicht es mehrere Kommunikationsteilnehmer und deren Verhalten auf dem Automationsbus sercos III abzubilden. Die Abbildung der Kommunikationsteilnehmer ist dabei frei konfigurierbar und nicht an

bestehende Gerätetypen gebunden. Durch eine einfache Änderung der Konfiguration ist daher mit einem einzelnen Emulator beispielsweise der Wechsel von einer Emulation einer Werkzeugmaschine auf eine Verpackungsmaschine und

deren jeweilige Abbildung am Bus möglich.

Aus Sicht der Steuerung handelt es sich bei den Geräten um real existierende Kommunikationsteilnehmer, die jeweils physikalisch unterschiedlich



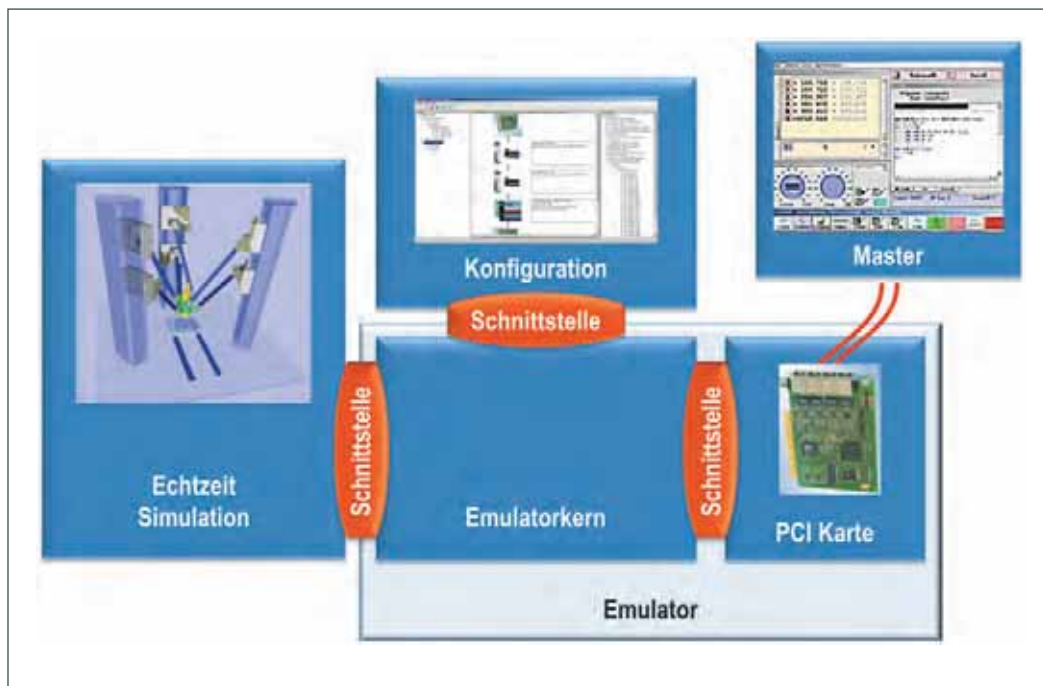


Bild 2: Kopplung des Emulators an eine Echtzeitsimulation

sind. Die Kommunikationsteilnehmer können von der Steuerung wie reale Komponenten konfiguriert und in Betrieb genommen werden (siehe **Bild 1**).

Die einzigartige Möglichkeit zur freien Konfiguration mit Hilfe einer graphischen Bedienoberfläche ermöglicht die Abbildung von real existierenden Geräten sowie von Geräten welche sich beispielsweise noch in der Entwicklung befinden. Eine mögliche Anwendung des Emulators stellt zudem die direkte Anbindung an weitere Anwendungen wie z. B. Testsysteme für den Test von Steuerungs- und Engineeringssystemen oder Echtzeitsimulationsumgebungen dar (siehe **Bild 2**).

Der Emulator erzeugt dazu die Abbildung eines Kommunikationsnetzes für die Steuerung. Nach der Konfiguration der Kommunikationsteilnehmer durch die Steuerung kann die Vorgabe von Sollwerten durch diese erfolgen. Der Emulator leitet dazu die Sollwerte an die

Simulationsumgebung weiter, die Simulation verarbeitet die Sollwerte und meldet die Istwerte wieder an den Emulator zurück, der diese dann an die Steuerung weiter gibt. Auch bei der Echtzeitsimulation wird vom Emulator der Anschein erzeugt, dass es sich um physikalisch unterschiedliche Kommunikationsteilnehmer handelt.

Neben der Emulation von Antriebssystemen können nach Bedarf für Testzwecke auch herstellerspezifische Protokolle und Anbindungen in den Multislave integriert werden.

**KONTAKT**

M. Sc. Philipp Sommer  
 E-Mail: Philipp.Sommer@isw.uni-stuttgart.de



# ENTWICKLUNG EINER LÖSUNG ZUR ANBINDUNG VON ANLAGEN MIT OPC UA SCHNITTSTELLE AN CLOUDRESSOURCEN („CLOUDPLUG“)

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

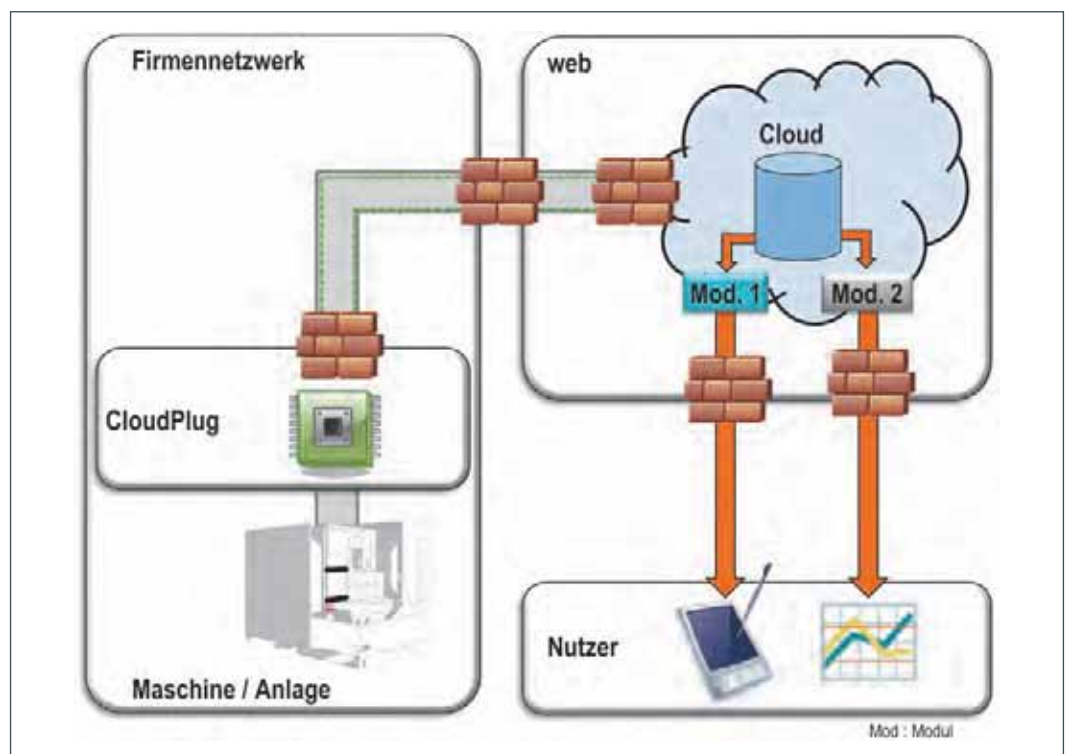


Bild 1: Konzept Cloudplug



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 (z.B. Speicherplatz, Auswertungssoftware und Entwicklungsplattform) durch Abstrahierung von über ein Netzwerk erreichbarer IT-Infrastruktur dar. Das Ziel von Clouddiensten 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 unterschiedlichste Anforderungen bezüglich Sicherheit, Effizienz, Integrität sowie Zuverlässigkeit. Um den Anforderungen der Industrie gerecht zu werden, bedarf es jedoch neuer Innovationen gegenüber der derzeitigen Datenübertragung in die Cloud, da diese heute paketweise erfolgt und kein kontinuierlicher Datenstrom genutzt wird. Weiterhin sind aufgrund des Cloud-Abrechnungssystems nach Datenaufkommen weitere Innovationen notwendig. Da die in der derzeitigen Praxis eingesetzten Protokolle (TCP/IP bzw. UDP/IP) gerade bei kleinen Datenmengen, die aber in

einem schnellen Takt anfallen, mit großem Overhead behaftet und somit ineffizient sind. Daher besteht ein großes Interesse an einer kostengünstigen Lösung zur Anlage-Cloud-Anbindung, die den Anforderungen der Industrie genügt. Da die Anforderungen bezüglich der Kommunikation in die Cloud je nach Anwendungsfall sehr variiert, muss die Kommunikation in die Cloud konfigurierbar sein. An dieser Stelle setzt das beschriebene FuE-Projekt an.

Im Rahmen dieses Projektes wird, wie in **Bild 1** dargestellt, über den Cloudplug eine Anlage mit der Cloud verbunden. Die Cloudplug Hardware wird über einen Einplatinencomputer realisiert. Auf der Cloudplug Hardware läuft ein OPC UA Client, der die Schnittstelle zur Anlage realisiert. Zur Kommunikation mit der Cloud wird ein Kommunikationstack implementiert. Dieser Kommunikationstack ermöglicht es die Kommunikation für nutzerspezifische Anforderungen bezüglich Sicherheit, Effizienz, Integrität sowie Zuverlässigkeit zu konfigurieren. Auf der Basis dieser Konfiguration ermittelt der Kommunikationstack den geeignetsten Kommunikationsmechanismus.

### PROJEKTPARTNER:



### KONTAKT

B.Eng. Michael Faller  
E-Mail: Michael.Faller@  
isw.uni-stuttgart.de



# ENTWICKLUNG EINES SOFTWAREBASIERTEN VERFAHRENS ZUR KOMBINIERTEN KINEMATISCH-DYNAMISCHEN MATERIALFLUSS-SIMULATION („UNIFLOW“)

**GEFÖRDERT VON DER ARBEITSGEMEINSCHAFT INDUSTRIELLER FORSCHUNGSVEREINIGUNGEN (AIF) UND DES BUNDEMINISTERIUMS FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWI) IM RAHMEN DES FÖRDERPROGRAMMS „ZENTRALES INNOVATIONSPROGRAMM MITTELSTAND“ (ZIM)**

Gefördert durch:

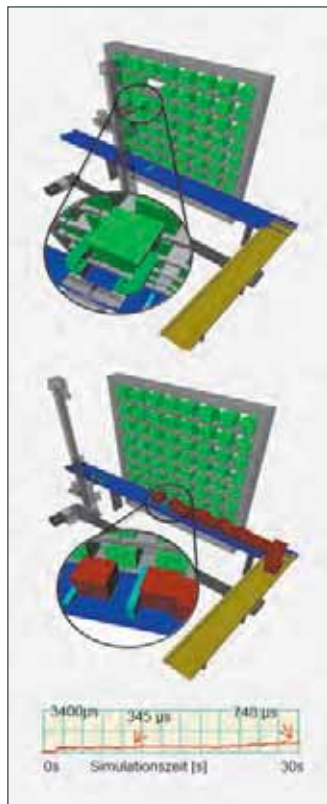


aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



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 Anlage-



steuerungen 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-Simulationen** 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 MFS-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  
E-Mail: Philipp.Neher@isw.uni-stuttgart.de



# DEMAT – DEMATERIALIZED MANUFACTURING SYSTEMS

GEFÖRDERT VON DER EUROPÄISCHEN UNION  
(EU FP7)

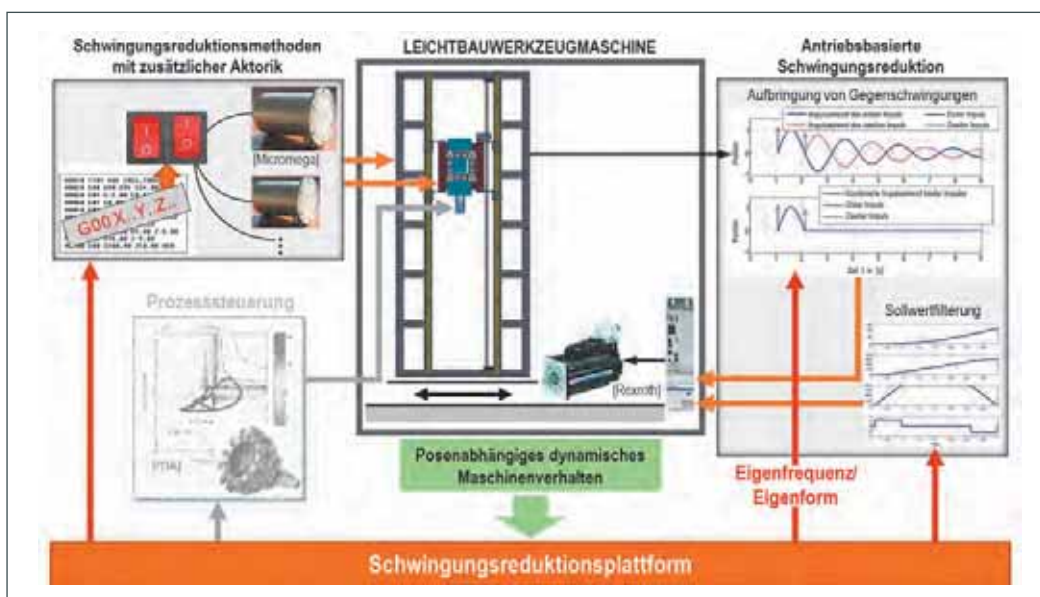


Bild 1: Prinzip der Schwingungsreduktionsplattform

A new way to design, build, use and sell European Machine Tools – damit zielt DEMAT auf die ganzheitliche, alle Lebenszyklusphasen betreffende Optimierung von modularen Leichtbauwerkzeugmaschinen und daraus aufgebauten Produktionsanlagen ab. Grundlage dafür ist die Entwicklung rekonfigurierbarer Werkzeugmaschinen aus modularen Leichtbaustrukturen. Für die Garantie eines robusten Maschinenverhaltens wird die reduzierte passive Steifigkeit aufgrund der verringerten Masse durch die Kombination aktiver Schwingungsreduktionsmethoden ausgeglichen.

DEMAT basiert auf dem Ansatz flexibler Fertigungsanlagen, bei welchen exakt diejenigen Funktionen (zum Beispiel Anzahl der Achsen, Bearbeitungskopf, Dimension, etc.) bereitgestellt werden, die für das Bearbeiten aktueller Bauteilvarianten notwendig sind. Dies spart Ressourcen jeder Art und damit auch

Kosten. Verändern sich die Produktionsanforderungen, so wird die Anlage rekonfiguriert. Dies kann sowohl auf System- als auch auf Maschinenebene geschehen und sich in Form von funktionalen Anpassungen und Skalierungen äußern. Voraussetzung dafür sind jedoch modulare, rekonfigurierbare Werkzeugmaschinen.

Für die Steigerung der Ressourceneffizienz werden innerhalb von DEMAT Werkzeugmaschinen aus Leichtbaustrukturelementen betrachtet. Bild 2 zeigt die Vision einer derartigen Maschine.

Neben der intelligenten Gestaltung der Module sowie ihrer Schnittstellen ist der ak-



tive Ausgleich der fehlenden Steifigkeit aufgrund der reduzierten Masse eine zentrale Herausforderung des Projekts. Ein Lösungsansatz dafür liegt in der Kombination verschiedener Schwingungsreduktionsmethoden.

Die auftretenden Eigenfrequenzen an Werkzeugmaschinenstrukturen bewegen sich innerhalb einer großen Bandbreite. Die Struktureigenfrequenzen, angeregt durch die Achsbeschleunigung, liegen in der Regel unter 100 Hz. Dabei treten große Amplituden auf. Die Eigenfrequenzen, hervorgerufen durch die Interaktion von Werkzeug und Werkstück (beispielsweise Rattern), bewegen sich dagegen im Bereich von mehreren Hundert bis zu wenigen Kilohertz. Kleine Amplituden müssen dabei kompensiert werden.

In der Literatur sind eine Vielzahl von Schwingungsreduktionsmethoden mit und ohne zusätzlicher Aktorik bekannt. Abhängig vom physikalischen Wirkprinzip sind diese jedoch auf bestimmte Frequenzbereiche beschränkt. Während sich beispielsweise antriebsbasierte Methoden für niedrige Eigenfrequenzen gut eignen, sind solche mit zusätzlicher Piezoaktorik im Bereich großer Frequenzen und kleiner Bewegungen sinnvoll. Für die Anwendung der Schwingungsreduktionsmethoden muss die zu kompensierende Eigenfrequenz und auch Eigenform der Maschinenstruktur zumeist genau bekannt sein. Da die Eigenfrequenzen und -formen von Leichtbauwerkzeugmaschinen poseabhängig sind und somit über den Arbeitsraum variieren, muss das Wissen um die aktuell zu kompensierenden Eigenfrequenzen an die verschiedenen



*Bild 2: Vision einer Werkzeugmaschine aus modularen Leichtbaustrukturelementen*

Schwingungsreduktionsmethoden übergeben werden.

In *DEMAT* erfolgt dies über die Schwingungsreduktionsplattform. Diese kombiniert das poseabhängige Maschinenverhalten mit den verschiedenen Schwingungsreduktionsmethoden (siehe **Bild 1**) und übergibt die aktuell zu kompensierenden Eigenfrequenzen und -formen. Weiterhin wird überwacht, dass die Methoden sich nicht gegenseitig negativ beeinflussen.

Zum Einsatz kommen antriebsbasierte und solche Methoden mit zusätzlicher Aktorik. Die Vermessung der kritischen Eigenfrequenzen und Eigenformen erfolgt im ersten Schritt offline. Verbesserungspotential der Schwingungsreduktionsplattform ist in der Online-Bereitstellung dieser Größen in Abhängigkeit von Pose und Bearbeitungsstatus der Leichtbauwerkzeugmaschine zu sehen.

### KONTAKT

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

# MUPROD – INNOVATIVE PROACTIVE QUALITY CONTROL SYSTEM FOR IN-PROCESS MULTI-STAGE DEFECT REDUCTION

GEFÖRDERT VON DER EUROPÄISCHEN UNION (EU FP7)

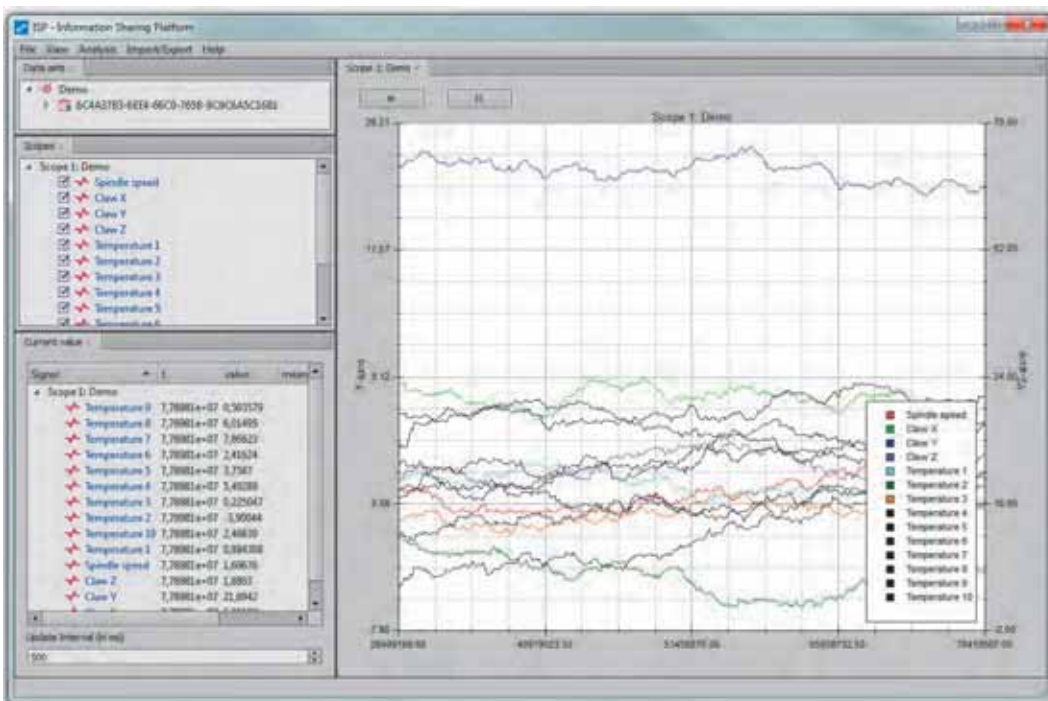


Bild 1: Software zum Aufzeichnen und Auswerten von Produktionsmesswerten (ISP)

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Qualitätsmanagement-Systems, das den Ausschuss in Fertigungssystemen minimiert und heutige Qualitätskontrollen ersetzt. Langfristig soll die europäische Industrie dadurch effizient und wettbewerbsfähig bleiben.

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 Prozesses 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), Mikrokathetern (Medizintechnik) und Getrieben für Windkraftanlagen (Energietechnik) sind die drei wichtigsten Sektoren der europäischen Industrie jeweils durch einen Anwen-



## KONTAKT

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



Bild 2: Anwendungsbeispiele innerhalb MuProD: Elektromotoren, Getriebe von Windkraftanlagen und Mikro-Kathetern (Quelle: MuProD)

dungsfall in MuProD vertreten (Bild 2).

In MuProD wurde die Integration zusätzlicher Sensorik in der Fertigung untersucht, sowie Algorithmen zur Wisensextraktion 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 1 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 Ausschuss zu reduzieren, wurde eine Kaskadenregler-Struktur entworfen, die auf

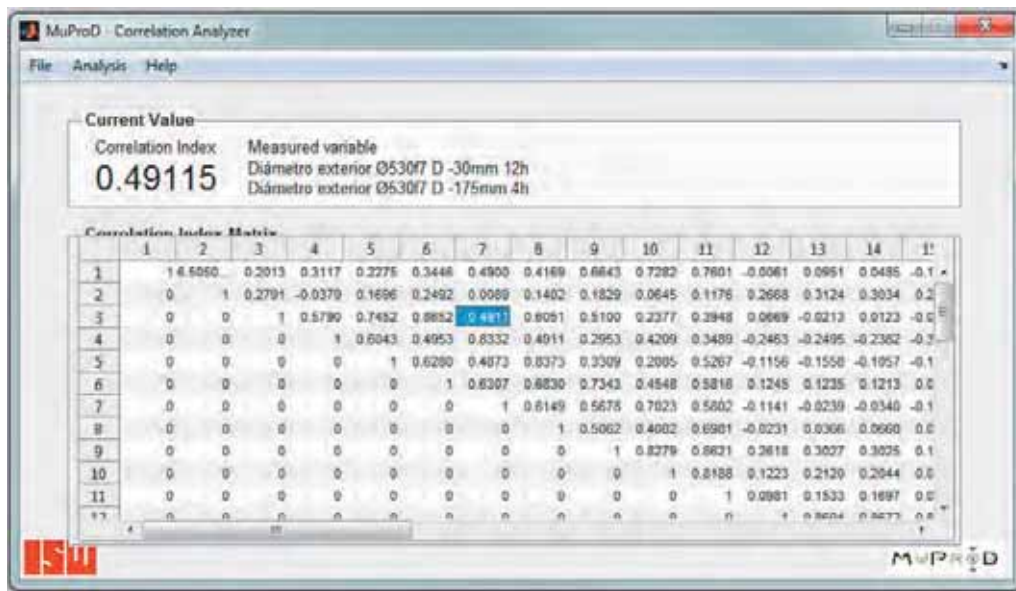
Messwerte der ISP zugreift. Für das Spritzguss-Verfahren zur Herstellung von Mikro-Kathetern wurden diese Regler auf einer TwinCAT-Steuerung implementiert und in die Fertigungslinie integriert. Die Reglerkaskade besteht aus einzelnen PID-PWM-Reglern. Über Heizwiderstände kann dann ein gleichmäßiges Temperaturprofil 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 der 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 Wiederholen 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.

Bild 3: Korrelations-Analyse von Messwerten aus der Fertigung 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

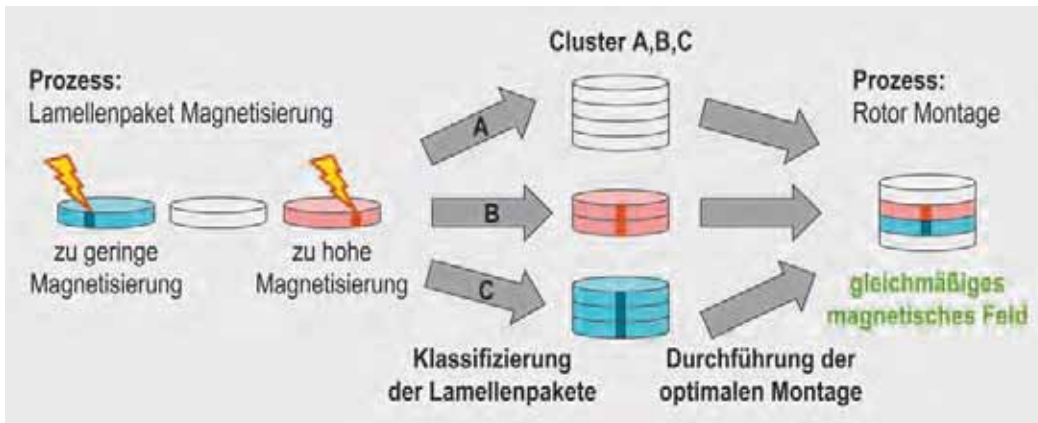


Bild 4: Selektive Montage eines Rotors bestehend aus vier Lamellenpaketen

die einzelnen Lamellenpakete (LP) des Rotors nacheinander magnetisiert, vermessen und klassifiziert (Bild 4). Die Klassifikation ordnet die Werkstücke 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.

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.

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.

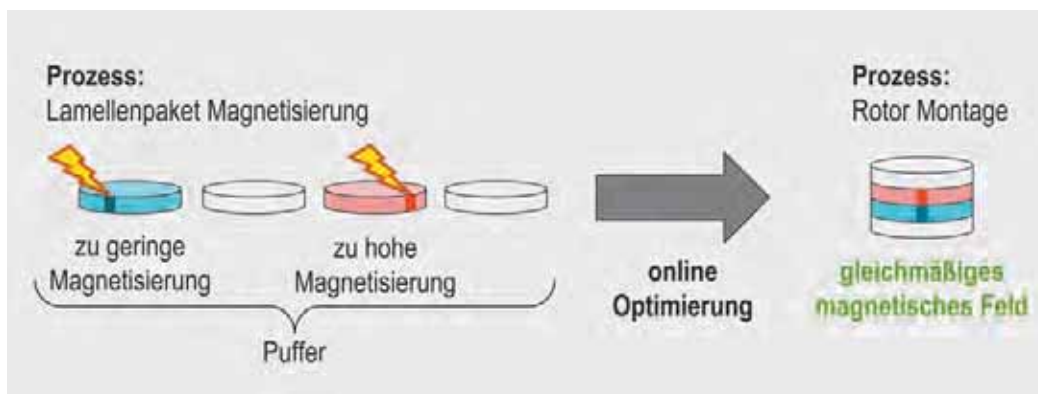


Bild 5: In der sequentiellen Montage werden die Lamellenpakete eines Rotors online kombiniert

PROJEKTPARTNER:



# CASSAMOBILE „MINI-FACTORIES FOR CUSTOMISED PRODUCTS USING LOCAL FLEXIBLE PRODUCTION“

GEFÖRDERT VON DER EUROPÄISCHEN UNION (EU FP7)

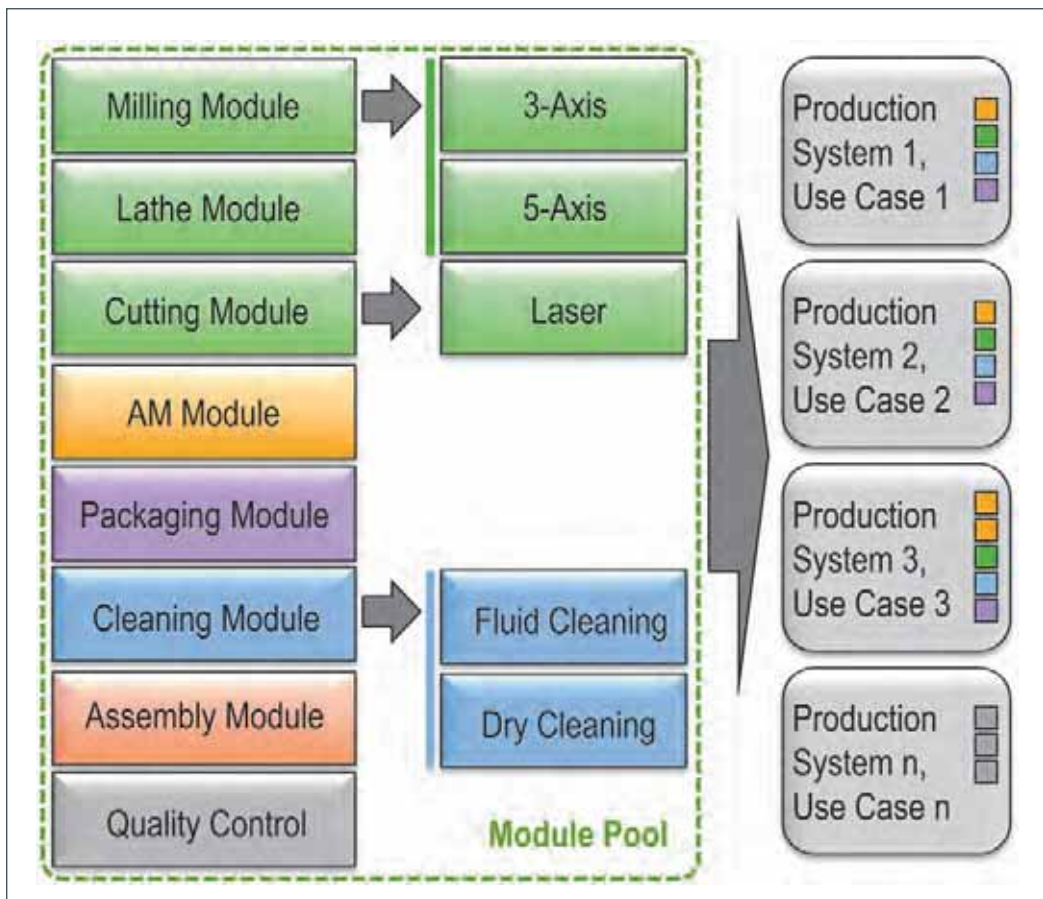
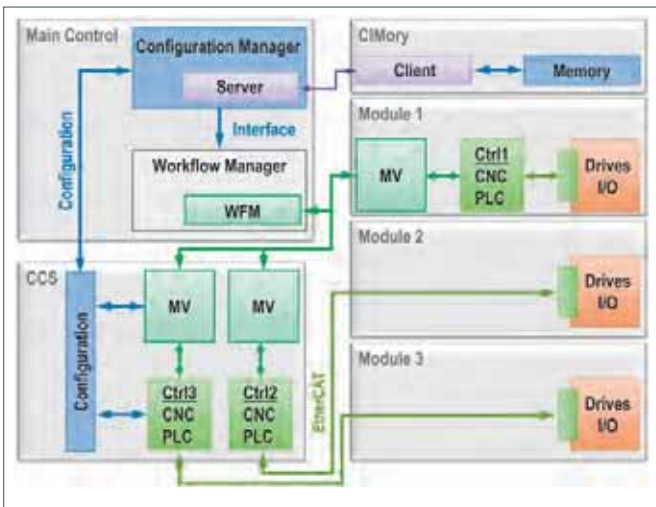


Bild 1: Kombination verschiedener Prozessmodule für einen speziellen Anwendungsfall

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 20'-ISO-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.





PROJEKTPARTNER:

Bild 2: Überblick Gesamtsystem

**AFT**

Automation & Feinwerktechnik

**COLANDIS**  
the clean air company

**CRITICAL**  
MANUFACTURING

**Fraunhofer**  
IPA

**Loughborough**  
University

**Materialise**  
Innovators you can count on

**PEACOCKS**

**SCIPROM**  
Scientific Project Management

**SCHUNK**

**TNO** innovation for life

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 20'-ISO-Container (**Bild 3a**) entwickelt. In dieses Produktionssystem sollen verschiedene austauschbare Produktions- und Prozessmodule flexibel kombiniert werden können. Dabei sollen sowohl die Hardware, als auch die Software und das Steuerungssystem einem modularen Ansatz folgen.

Die verschiedenen Prozessmodule (**Bild 3b und c, Bild 1**) werden von den jeweiligen Projektpartnern entwickelt und in das CassaMobile-Konzept

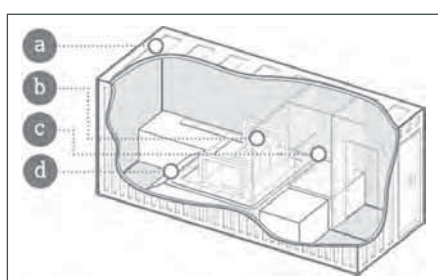


Bild 3: CassaMobile-Konzept

integriert. Unter anderem werden Prozessmodule für generative und spanende Fertigungsverfahren, zur Reinigung, Inspektion und Montage entwickelt.

Eine einfache Mensch-Maschinen-Schnittstelle (**Bild 3d**) 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 modulunabhängige Konfiguration des Produkts möglich ist.

Das CassaMobile-Konzept wird mittels drei unterschiedlichen Anwendungsfällen 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 1**).

Aufgabe des ISW im CassaMobile-Projekt ist die Entwicklung eines modularen Steuerungssystems, welches die Selbstkonfiguration ermöglicht. 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 beliebigem Steuerungssystem 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 2**, 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 automatisch basierend auf den im CIMory hinterlegten modulspezifischen Informationen.

Neben der Steuerungstechnik ist das ISW auch an der Entwicklung der Prozessmodule beteiligt. Hierbei wird ein auf das modulare CassaMobile-Konzept zugeschnittenes Modul für 5-Achs-Fräsbearbeitung entwickelt und aufgebaut.

**KONTAKT**

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

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



# ADVANCED INTELLIGENT MACHINE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM (AIMACS)

**GEFÖRDERT VON DER EUROPÄISCHEN UNION (EU FP7)**

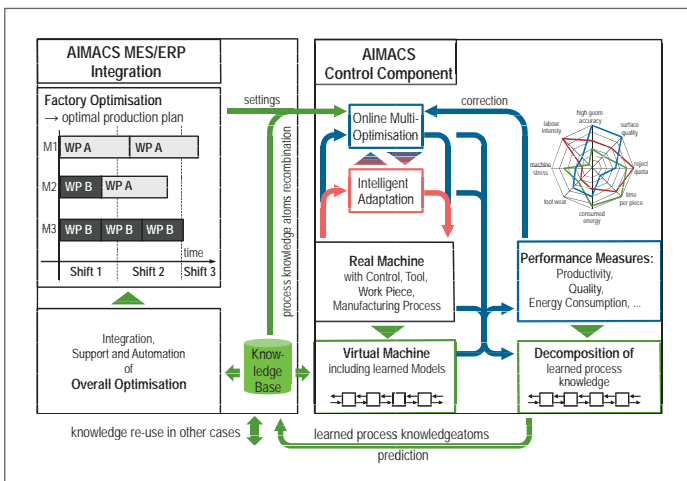


Bild 1: AIMACS Struktur

Im Wettbewerb des produzierenden Gewerbes steigen Kostendruck und Qualitätsansprüche stetig. Deswegen müssen die Prozessparameter für die Bearbeitung kontinuierlich optimiert werden. Allerdings muss auch bei sich ändernden Bedingungen die Prozessstabilität jederzeit gewährleistet sein, um eine Beeinträchtigung der Werkstückqualität zu vermeiden. Für eine optimale Produktion müssen allerdings nicht nur die Prozessparameter einer Maschine beeinflusst werden, sondern die gesamte Produktion. Beispielsweise muss die Verteilung der Werk-

stücke ganzheitlich optimiert werden. Um dies zu gewährleisten und eine Umplanung bei unerwarteten Störungen zu ermöglichen, müssen Prozessinformationen während der Bearbeitung gesammelt und aufbereitet und der Fertigungsplanung zur Verfügung gestellt werden.

Im Projekt AIMACS wurde eine selbst-optimierende, intelligente, adaptive Regelung entwickelt und sowohl in die Maschinensteuerung als auch in die Produktionsplanung integriert. Die Mehrgrößenregelung und -optimierung

Im EU-Projekt AIMACS wurde eine Methode zur ganzheitlichen Optimierung der Produktion entwickelt. Dabei werden verschiedene Optimierungskriterien (Produktivität, Qualität, Wirtschaftlichkeit, Ökologie) in einer Mehrgrößenoptimierung miteinander verbunden um immer die optimalen Prozessparameter zu bestimmen. Diese Optimierung basiert auf Modellen, welche während der Produktion durch maschinelle Lernverfahren erstellt und aktualisiert werden. Ein durchgängiges Informationskonzept ermöglicht die Verwendung der gelernten Daten von der Echtzeitanpassung der Prozessparameter einer Maschine bis zur Produktionsplanung und -optimierung auf Fabrikebene.

wurde somit auf mehreren Ebenen realisiert. Das Optimierungskriterium kann dabei flexibel an sich ändernde Bedingungen angepasst werden. Dazu kann die Gewichtung der Zielgrößen Produktivität, Qualität, Wirtschaftlichkeit und Ökologie variabel verändert werden. Zur Berechnung dieser Größen werden Faktoren wie Energieverbrauch, Prozesskraft, Vibrationen, Verschleiß,



**KONTAKT**

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

PROJEKTPARTNER:



Maschinenbelastung, Werkzeugnutzung, Rüst- und Bearbeitungszeiten mitbeberücksichtigt. Der Fokus im AIMACS Projekt liegt dabei auf spanenden Fertigungsverfahren, allerdings kann die Optimierung auch auf andere Fertigungsverfahren angewendet werden.

Die Struktur des AIMACS-Systems ist in **Bild 1** dargestellt. Dabei wird in allen Schichten mit dem gleichen Optimierungskriterium optimiert, allerdings werden unterschiedliche Veränderungen mit verschiedenem Zeithorizont vorgenommen. Eine Echtzeit-Adaption der Prozessparameter in der Maschinensteuerung sorgt für eine optimale Anpassung der Schnittparameter an die herrschenden Prozessbedingungen (**Bild 1, rot**). Durch eine Optimierung von Teil zu Teil werden kritische Bereiche im folgenden Teil vorab optimiert und somit vermieden (**Bild 1, blau**). Eine erweiterte Optimierung mit flexibler Zielgröße auf Fabrikplanungsebene ermöglicht die optimale Zuordnung der Werkstücke zu den verfügbaren Maschinen (**Bild 1, grün**).

Die Optimierung basiert auf Wissen, welches während der Bearbeitung gewonnen und aufbereitet wird. Der Einsatz von maschinellen Lernverfahren erlaubt den Aufbau einer Wissensdatenbank. Durch die Wiederverwendung und Rekombination dieses gelernten Wissens ist es möglich auch für unbekannte Werkstücke eine Vorhersage zu treffen und eine Optimierung durchzuführen. Ein durchgängiges Informationskonzept erlaubt die Verwendung dieses Wissens über die Maschinen- und Werkstückeigenschaften in allen Ebenen.



Bild 2: AIMACS-Testwerkstück

Die implementierte AIMACS-HMI kann sowohl auf der Maschinensteuerung, also auch auf einem Desktop-PC ausgeführt werden. Somit ist die Konfiguration des AIMACS-Systems sowohl an der Maschine, als auch am Arbeitsplatz möglich.

Das AIMACS-Konzept wurde im Rahmen des Projekts an einem Bauteil aus dem Flugzeugbau getestet und verifiziert (siehe **Bild 2**).

Zur Beurteilung der Optimierung wurden mehrere Testwerkstücke gefertigt. Dabei wurde sowohl die Konvergenz des Optimierungsalgorithmus getestet, als auch die Auswirkungen eines veränderten Zielkriteriums auf das Bearbeitungsergebnis. Das Optimierungsziel kann durch Vorgabe der Gewichtungen (0–1) der jeweiligen Optimierungsziele erfolgen (Wp: Produktivität,

Wq: Oberflächenqualität, Wc: Wirtschaftlichkeit, We: Ökologie). Es konnte gezeigt werden, dass die Maschinenparameter so angepasst werden, dass das gewünschte Zielkriterium erreicht wird. In **Tabelle 1** ist exemplarisch die Veränderung der Oberflächenqualität dargestellt.

Die Oberflächenqualität nimmt bei den Werkstücken 6 bis 8, mit starker Gewichtung der Qualität (Wq=1) von Teil zu Teil zu, wogegen bei den Teilen 3 bis 5 die Qualität nicht berücksichtigt wurde (Wq=0).

Im Projekt AIMACS konnte gezeigt werden, dass das im Produktionsprozess erlernte Wissen in allen Ebenen der Prozess- und Produktionsoptimierung eingesetzt werden kann und somit zu einer Verbesserung des Bearbeitungsergebnisses und der Bearbeitungszeit führt.

Quality Assessment				
Settings	Part No	D Ra [µm]	E Ra [µm]	F Ra [µm]
Wp=1 (Wq=0)	3	0,52	1,15	0,75
Wc=0,5	4	0,43	1,27	0,56
We=0,5	5	0,69	1,48	0,85
Wp=0 (Wq=1)	6	0,73	2,01	0,44
Wc=0,25	7	0,46	0,98	0,36
We=0,25	8	0,52	0,59	0,27

Tabelle 1: Verbesserung der Oberflächenqualität von Teil zu Teil

# HÖHENWINDNUTZUNG (HWN)



Bild 1: Konzept der Anlage (Quelle: NTS)



Bild 2: Konzept eines Kiteschlittens (Quelle: NTS)

Windenergie ist einer der größten Hoffnungsträger im Bereich der regenerativen Energien. Konventionelle Windkraftanlagen können jedoch das vorhandene Potential nicht voll ausschöpfen, da wirtschaftlich nur geringe Bauhöhen der Anlagen im Bereich un stetiger Winde erreicht werden können. Um die stetigen Höhenwinde nutzen zu können wurde im Rahmen einer Industriekooperation der Prototyp eines Kitekraftwerks entwickelt.

Konventionelle Windkraftanlagen, sogenannte Windränder haben das Problem, dass wirtschaftlich nur geringe Bauhöhen von bis zu 200m erreicht werden können. In diesen Höhen sind die Winde sehr unbeständig, sowohl in Richtung als auch Stärke. Dies führt dazu, dass diese Windkraftanlagen nicht als zuverlässige, eigenständige Energiequelle genutzt werden können.

Ist man jedoch in der Lage größere Höhen zu erreichen, werden die Windverhältnisse zunehmend besser. Neben den zunehmenden Windgeschwindigkeiten, weht der Wind gleichmäßiger in eine Richtung. In den im Projekt angestrebten Höhen zwischen 500 und 1000 m herrschen nahezu konstante Windverhältnisse, die eine gleichmäßige Energieproduktion ermöglichen.

Zur Nutzung dieser Höhenwinde gibt es verschiedene Konzepte. Eines der erfolgversprechendsten Konzepte wurde von der Firma NTS entwickelt und patentiert. Die Gesamtanlage besteht aus einem Rundkurs (siehe **Bild 1**), in dem sogenannte Kites einzelne Schlitten (siehe **Bild 2**) ziehen.

Die Kiteschlitten sind dabei autonome Systeme, die über eine zentrale Leitwarte Informationen und Kommandos erhalten. Die Ausführung des jeweiligen Kommandos wird von dem Kite selbstständig durchgeführt und überwacht. Sollte es zu einem Fehler oder einem im Kontext fehlerhaften Befehl kommen, ist der Kite in der Lage über ein Notfallprogramm in einen sicheren Zustand zu gelangen.

Die Energiegewinnung findet über ein ausgeklügeltes Seil-

system statt. Alle Kiteschlitten sind über ein Seil miteinander gekoppelt. Dieses Seil treibt einen zentralen Generator an. Die Kiteschlitten haben dadurch jeweils einen festen, definierten Abstand. Zusätzlich können sie sich gegenseitig durch den Gegenwind ziehen.

Im Rahmen einer Kooperation mit dem Fraunhofer IPA wurde vom ISW das Konzept der Steuerung des Kiteschlittens und der zentralen Leitwarte entwickelt und umgesetzt. Dies beinhaltet sowohl die elektromechanische Konstruktion des Schaltschranks und die Integration aller wesentlichen Komponenten, als auch die dazugehörige Softwareentwicklung.

Der Prototyp befindet sich aktuell in der Erprobungsphase auf einer Teststrecke in Norddeutschland.

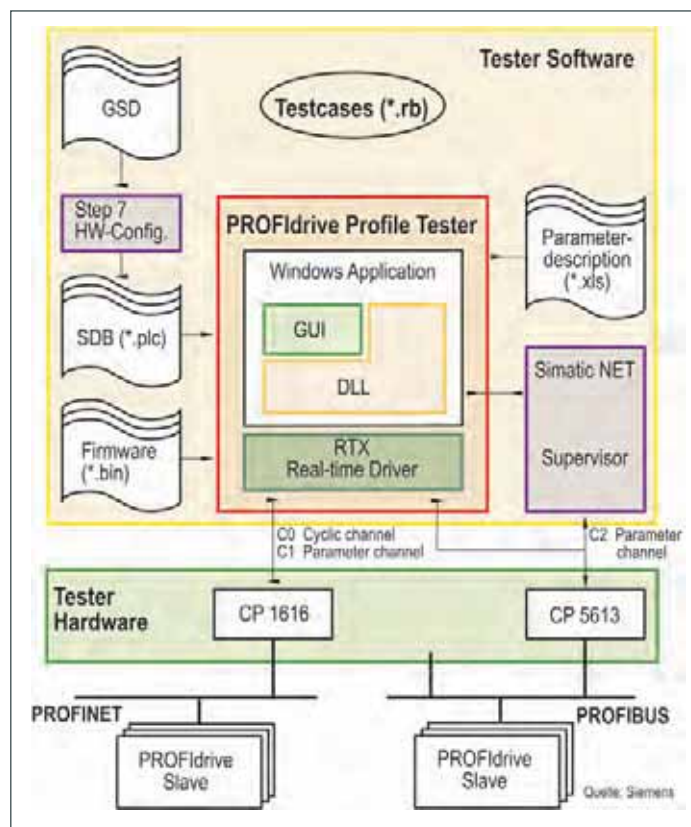


## KONTAKT

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

# PROFIBUS, PROFINET, PROFIDRIVE PROFILE PROFILE TESTER

Das Institut erstellt die Entwicklungswerkzeuge PROFIdrive PROFIBUS Profile Tester und PROFIdrive PROFINET Profile Tester, welche wertvolle Unterstützung für Antriebshersteller als Referenzwerkzeuge in der Entwicklungs-, Test- und Zertifizierungsphase bieten. Die Werkzeuge bestehen aus einer Prüfhardware, sowie einer Prüfsoftware und ermöglichen weitestgehend automatische Testabläufe.



**PROJEKTPARTNER:**



Der PROFIdrive PROFIBUS/PROFINET Profile Tester 3.1 ist in der Lage PROFIdrive Profile während der Entwicklung, gemäß dem aktuellen PROFIdrive Profilstand V4.1 zu testen. Er kann die Funktionen eines PROFIdrive Slaves mit einem Standard Master und die meisten PROFIdrive Profile Features abprüfen.

Zudem kann er eingesetzt werden um Zertifizierungstests vorzubereiten, indem Gerätefehler damit bereits im Vorfeld erkannt und behoben werden können. Der Einsatz als Zertifizierungstool und darüber hinaus als SPS oder anderer Control Master liegt außerhalb des Fokus dieses Tools.

PROFIdrive Profile sind als Zusatz zum PROFIBUS und PROFINET Standard, als einheitliches Geräteverhalten und Zugriffstechnik auf die Antriebsdaten, definiert. Durch die Profile ist sichergestellt, dass die unterschiedlichen Antriebe identisch auf Instruktionen reagieren und Standard-Programmierblöcke können verwendet werden. Dadurch entstehen für den Entwickler geringere Engineeringkosten.

Als Prüfhardware kommen PCI-Einsteckkarten zum Einsatz (siehe **Bild**). Bei PROFIBUS wird mit Hilfe des Echtzeit RTX-Treibers entweder über den C0/C1 Kanal oder mit Hilfe des Supervisors von SIMATIC.Net über den C2 Kanal mit dem PCI Board

CP5613 kommuniziert. Bei PROFINET wird die Verbindung über die PCI Karte CP1616 aufgebaut.

Der integrierte Ruby Interpreter beherrscht eine umfangreiche und mächtige Skriptsprache die es erlaubt, mit einer Menge an Funktionen das Verhalten des Controller und Supervisor Interface des Profile Testers zu kontrollieren.

Testfälle können über die Skriptsprache programmiert und automatisch abgearbeitet werden. Somit ist eine einfache Anpassung und Erweiterung sichergestellt. Die Testergebnisse werden in eine Protokolldatei ausgegeben und können nachträglich zur Analyse verwendet werden.

**KONTAKT**

Dipl.-Math.  
Reinhold Zöllner  
E-Mail:  
Reinhold.Zoellner@  
isw.uni-stuttgart.de

# PARAMETER-IDENTIFIKATIONS- VERFAHREN FÜR DIE END-OF-LINE PRÜFUNG VON HOCHLEISTUNGS- ELEKTROMOTOREN

INITIIERT UND FINANZIERT DURCH DIE ROBERT BOSCH GMBH

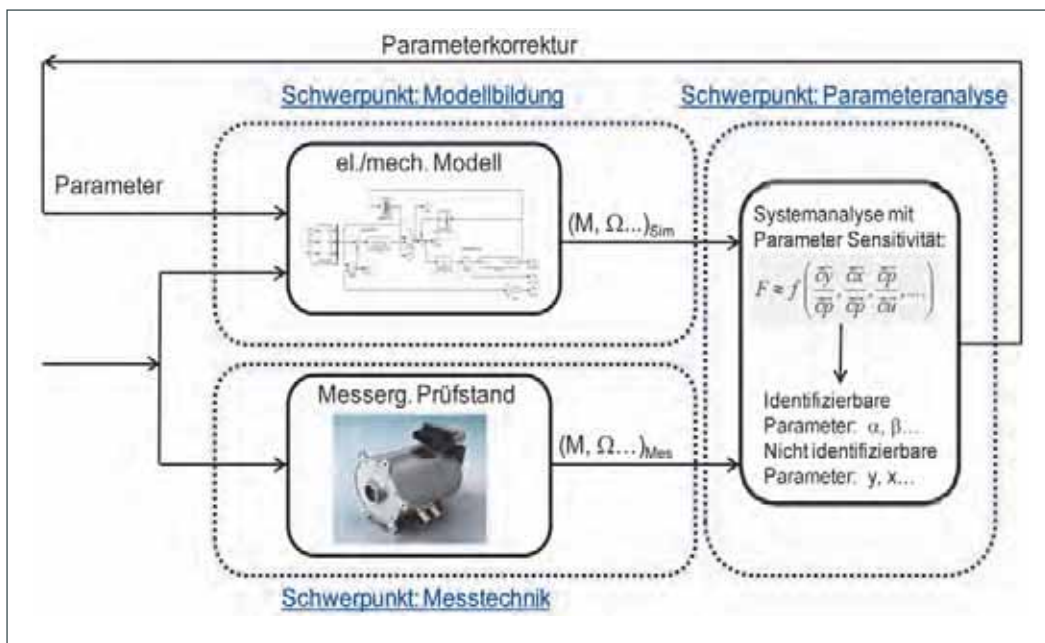


Bild 1: Konzept der Modell-basierten Prüfverfahren

Mit einem wachsenden Markt von Elektro- und Hybridautos wird das Produktionsvolumen von elektrischen Hochleistungsmotoren steigen. Die herkömmliche lastgebundene End-of-Line Prüfung muss wegen der langen Taktzeit und den hohen Investitionskosten verbessert werden. Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Parameteridentifikationsverfahrens (PI-Verfahren) und die Bereitstellung als End-of-Line Prüfung für die Fertigung von Elektromotoren.

In den vergangenen Jahren ist die E-Mobilität ein immer wichtigeres Thema für die Autohersteller und die Automobil-Zulieferer geworden. In 2020 sollen 1 Millionen Elek-

troautos auf Deutschlands Straßen fahren. Mit der zunehmenden Anzahl von Elektro-/Hybridautos ist natürlich das Produktionsvolumen von Elektromotoren gewachsen und

fordert neue Montage- und Prüftechnik in der Produktionslinien.

Die heutige End-of-Line Prüfung von großen Elektro-

maschinen wird mittels einer aktiven Lastmaschine durchgeführt. Der dafür notwendige Prüfstand erfordert sowohl erhebliche Investitionen als auch lange Prüfungszeit und bindet permanent Mitarbeiter in der Linie. Zusätzlich besteht die Gefahr ein einwandfreies Erzeugnis durch die Montage an die Lastmaschine an der Motorwelle zu beschädigen und unnötigen Ausschuss zu produzieren.

Ein neuer Lösungsansatz ist der Test der fertigen Elektromaschinen durch eine lastlose End-of-Line Prüfung. Das Grundprinzip ist ein Beschleunigungsvorgang des Prüflings gegen die eigene Trägheit mit anschließendem ungebremstem Auslauf. Die während der Bewegung gewonnenen Daten für Drehzahl, Phasenstrom, Phasenspannung können ausgewertet und damit Parameter für ein Modell des Prüflings gewonnen werden. Bei ausreichender Modellqualität können anschließend Aussagen zu den Eigenschaften des Prüflings gemacht werden. Dadurch wird die Montagequalität von den Produktionslinien beobachtet und kontrolliert.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung dieses Parameter-Identifikationsverfahrens für

die Hochleistungselektromotoren, wobei insbesondere folgende Aspekte vertieft untersucht werden (siehe **Bild 1**):

- » Entwicklung eines Prüfkonzepts für die modellgestützte Parameterbestimmung
- » Entwicklung der Elektromotormodellen von unterschiedlichen Motortypen
- » Analyse der Auswirkung von Produktionsfehlern auf verschiedenen Modellparameter
- » Analyse der Genauigkeit und der Toleranzen von den Messketten
- » Implementierung des Verfahrens für die Serienproduktion mit Berücksichtigung der zukünftigen Taktzeiten und Prüfprotokolle.

Schwerpunkt der aktuellen Arbeiten ist die Entwicklung der Motormodelle für einen Permanent Magnet Synchronmotor (PMSM) und die Analyse der Parametersensitivitäten auf die Montagefehler wie z.B. Magnetfehler, Exzentrizität und so weiter.

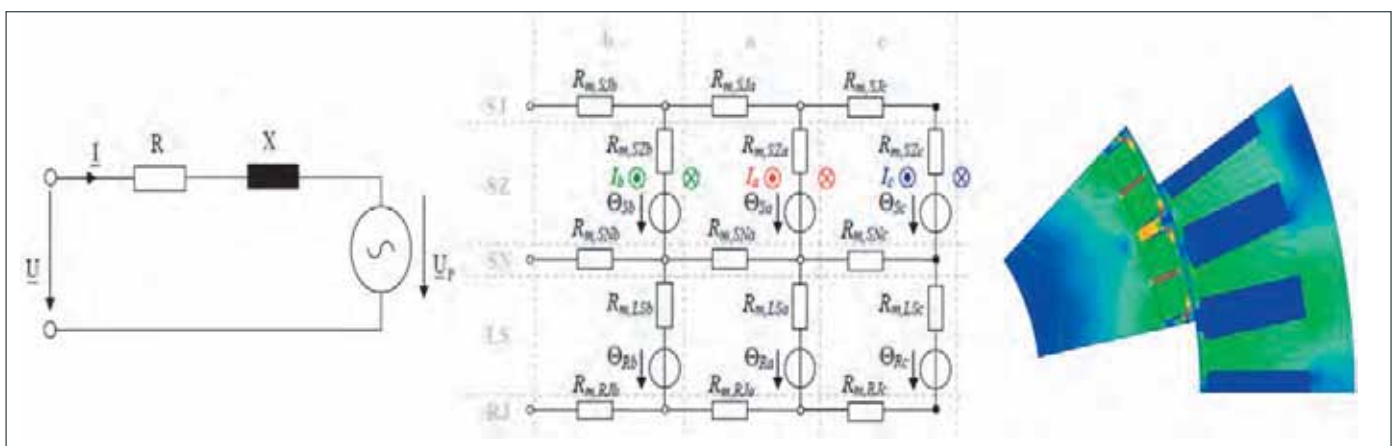
Die in dieser Arbeit für PMSM verwendeten Modellierungs-

methoden sind ein Spulenmodell, ein Reluktanz-Netzwerkmodell und ein FEM-Modell (siehe **Bild 2**).

Das Spulenmodell basiert auf der Vereinfachung der PMSM auf zusammenwirkende Spulen in Stator und Rotor. Zwei Varianten von diesem Modell werden im Rahmen dieser Arbeit betrachtet. Die eine Variante ist das dq-Modell, das mit einer Koordinatentransformation das 3 Phasensystem in ein Linearsystem vereinfacht. Die zweite Variante ist das Winding Function Modell, mit der der gesamte Motor in verschiedenen Funktionen gegliedert wird. Die Hauptparameter des Spulenmodells sind die Induktivitäten. Produktionsmodellfehler beeinflussen die Induktivitäten des Motors in unterschiedlicher Weise, die Exzentrizität z. B. beim dq-Modell wirkt stärker auf die Induktivität in der q-Achse als auf die in der d-Achse. Mit einer Sensitivitätsanalyse können die Fehlerursachen besser identifiziert werden.

Ein Nachteil des Spulenmodells ist, dass diese Modellierungsmethode die Nicht-Linearität von den Hochleistungsmotoren nicht gut berücksichtigen kann. Die Sättigung, Eisenverluste und harmonische Effekte werden vernachlässigt

Bild 2: Modellierungsverfahren für die PMSM



oder einfach durch Versuche bestimmt. Um eine bessere Genauigkeit der Motormodelle zu erreichen, werden FEM und Reluktanz-Netzwerkmodell genutzt.

Die Finite-Element-Methode kann die Eigenschaften von den Motoren bis zum kleinsten Elementen darstellen und simulieren und kann dadurch die beste Genauigkeit erreichen. Die Rechenzeit für die Simulation ist jedoch relativ lang und der Modellaufwand ist hoch. Das Reluktanz-Netzwerkmodell ist ein vereinfachtes Modell, wobei der gesamte Motor nur durch Reluktanzen und Quellen in Abhängigkeit der Geometrie dargestellt wird. Das Gleichungssystem

wird anhand der Magnetflüsse aufgestellt. Die Parameter des Modells sind dann die Magnetflüsse und die Magnetflusssdichte. Die Nicht-Linearität wird anhand der Materialeigenschaften des Blechpackets und der Magneten berechnet. Die Induktivitäten und Verlusten werden in Folge berechnet.

Als Diagnoseverfahren wird die Sensitivitätsanalyse bei allen Modellen durchgeführt, um die produktionsrelevanten Parameter zu identifizieren.

Darüber hinaus ist die Aufbereitung des Prüfverfahrens für die Anwendung in der Produktion als Teil dieser Arbeit geplant. Zur Freigabe

der PI-Prüfung wird ein Vergleich mit dem herkömmlichen Verfahren durchgeführt.

In der Zusammenarbeit mit anderen Projekten, wie z.B. dem ögP MuProD (Bosch Anteil: Magnetprüfung) wird die PI-Prüfung in der Zukunft noch einfacher anwendbar sein und soll auf andere Motorarten erweitert werden.

### KONTAKT

Dipl.-Ing. Chaoqiang Wu  
E-Mail: Chaoqiang.Wu@  
de.bosch.com



# OFFENE KOMMUNIKATIONSPLATTFORM FÜR CNC-STEUERUNGEN

**INITIIERT UND FINANZIERT DURCH DIE BOSCH REXROTH AG**

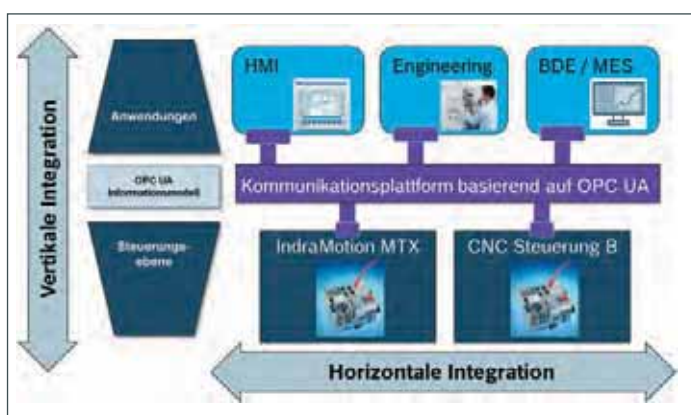


Bild 1: Konzept der Kommunikationsplattform

Auf dem Weg zur vernetzten Fabrik werden die Forderungen nach einer transparenten Werkzeugmaschine wieder größer. Dazu muss eine CNC-Steuerung eine Plattform zur Verfügung stellen, die eine einfache Anbindung von HMI-, MES- und Engineering-Lösungen ermöglicht. In einem Forschungsprojekt mit der Bosch Rexroth AG wird eine „offene Kommunikationsplattform für CNC Steuerungen“ erarbeitet und anhand der IndraMotion MTX erprobt.

**PARTNER**



Heutige am Markt erhältliche CNC-Steuerungen verfügen über eine Vielzahl von Schnittstellen. Die Anbindung von Steuerungen unterschiedlicher Hersteller an HMI-, BDE-, MES- und Engineering-Systeme ist jedoch immer noch mit großem Aufwand verbunden. Dies gilt auch für den Fall, dass dasselbe Protokoll unterstützt wird. Wesentlicher Grund hierfür ist die Nutzung von proprietärer Syntax, die sich zwischen den Herstellern stark unterscheidet. Diese Problematik wurde in der Vergangenheit durch mehrere Initiativen und Projekte aufgegriffen und es wurden daraus verschiedene Konzepte für offene Steuerungssysteme entwickelt. Dennoch konnte sich daraus bisher kein einheitliches, offenes Steuerungssystem entwickeln.

Auf dem Weg zur vernetzten Fabrik werden in jüngster Zeit die Forderungen nach einer offenen Schnittstelle wieder größer. Diese muss, neben der Offenheit, auch die Bedürfnisse für das zukünftige Fertigungsumfeld erfüllen. Daraus ergeben sich neue Anforderungen. Diese umfassen, neben standardisierten Schnittstellen und Informationsmodellen, sichere und möglichst deterministische Datenübertragungen über Standard-Netzwerkinfrastrukturen und Verbindungen über verschiedene und unterschiedlich gewichtete Kommunikationskanäle. Eine solche Schnittstelle könnte in Zukunft für eine Vielzahl von Anwendungsszenarien genutzt werden.

einer einheitlichen, offenen Kommunikationsplattform für CNC-Steuerungen entwickelt. Mit dieser soll es möglich sein eine transparente Automatisierungswelt zu schaffen, in der Geräte unterschiedlicher Hersteller im Umfeld der vernetzten Fabrik über unterschiedlich gewichtete Kommunikationskanäle miteinander kommunizieren können.

Schwerpunkte der Arbeit sind die Definition und Umsetzung der Kommunikationsplattform und deren Anbindung an eine CNC-Steuerung in einer Serviceorientierten Architektur. Bei der Definition werden verschiedene Konzepte für ein allumfassendes Informationsmodell vorgestellt. Es wird die Möglichkeit aufgezeigt, wie über diese Schnittstelle unterschiedlich gewichtete Kom-

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird ein Konzept

**KONTAKT**

Dipl.-Ing. Sebastian Müller  
 E-Mail: Sebastian.Mueller@boschrexroth.de

munikationskanäle genutzt werden können. Dies soll ermöglichen, dass Daten sowohl in Nichtzeit als auch in Echtzeit übertragen werden können.

Die Kommunikationsplattform soll die Kommunikation in vertikaler (zu HMI, BDE, MES und Engineering) und horizontaler (Querkommunikation) Richtung unterstützen (siehe **Bild 1**) und auf OPC UA basieren. OPC UA mit seiner serviceorientierten Architektur und seinem Informationsmodell bietet die Möglichkeit der Beschreibung der Schnittstelle über Dienste. Dessen Metamodel ist dabei unabhängig von der darunterliegenden Netzwerktechnik. Dieser Aspekt wird genutzt, um die Anbindung über verschiedene Netzwerkbusse zu realisieren und den Zugriff auf Applikationsebene davon unabhängig und einheitlich umzusetzen.

Um die Leistungsfähigkeit der offenen Kommunikationsplattform zu verifizieren, wurde, wie in **Bild 2** dargestellt, im Rahmen des Projekts eine CNC-Echtzeitsimulation per Tablet-PC an eine durch die CNC-Steuerung IndraMotion MTX betriebene Werkzeugmaschine über WLAN angebunden. Die Datenübertragung erfolgt über OPC UA mit dem Subscription-Dienst, der über eine interne Oversampling-Funktion implementiert wurde. Hierfür meldet sich der OPC-UA-Client über eine Subscription an die Achswerte an. Hierbei werden mehrere im 1-Millisekunden-Raster gesammelte Werte in einer Mitteilung übertragen. Die CNC-Echtzeitsimulation kann über diesen Mechanismus den Abtragprozess anhand realer Werte synchron zur realen Bearbeitung live simulieren.

In **Bild 3** wird der genutzte Kommunikationsmechanismus zur Anbindung der CNC-Echtzeitsimulation im Detail dargestellt. Die Sollwerte der Achsen werden im 1-ms-Takt interpoliert. Entsprechend des Sampling Intervals wird jeder berechnete Achssollwert in den Ringbuffer geschrieben. Aus diesem werden vorhandene Achssollwerte in die Monitored Items Queue eingetragen. Die Achssollwerte werden alle 100 ms zum Client übertragen, bevor die Monitored Items Queue wieder geleert wird. Falls sich die Übertragung der Werte verzögert, werden diese bis zur nächsten Übertragung dort belassen. Erwähnenswert ist hierbei, dass die Daten in einem echtzeitkritischen Task bereitgestellt werden, wohingegen die Datenübertragung über OPC UA mit Hilfe von nicht-echtzeitkritischen Tasks erfolgt. Ein Ringbuffer gleicht etwaige Verzögerungen in den nicht-echtzeitkritischen Tasks aus.

Die Anbindung der Echtzeitsimulation zeigt die Leistungsfähigkeit der offenen Kommunikationsplattform bei der Kommunikation über eine WLAN-Verbindung.

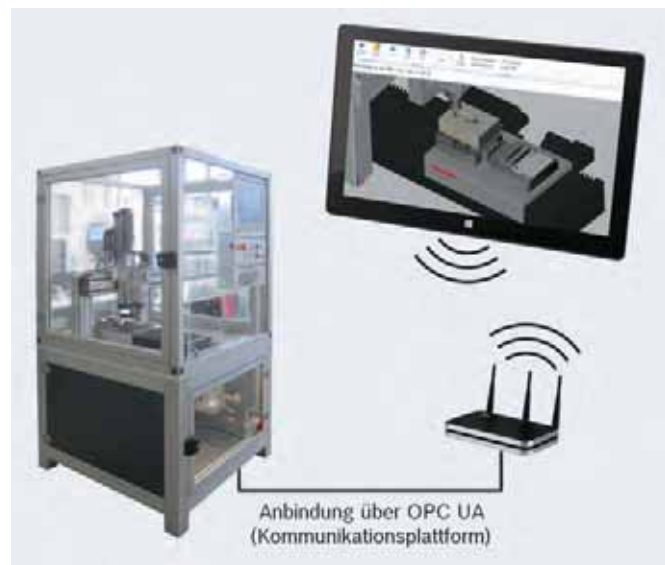
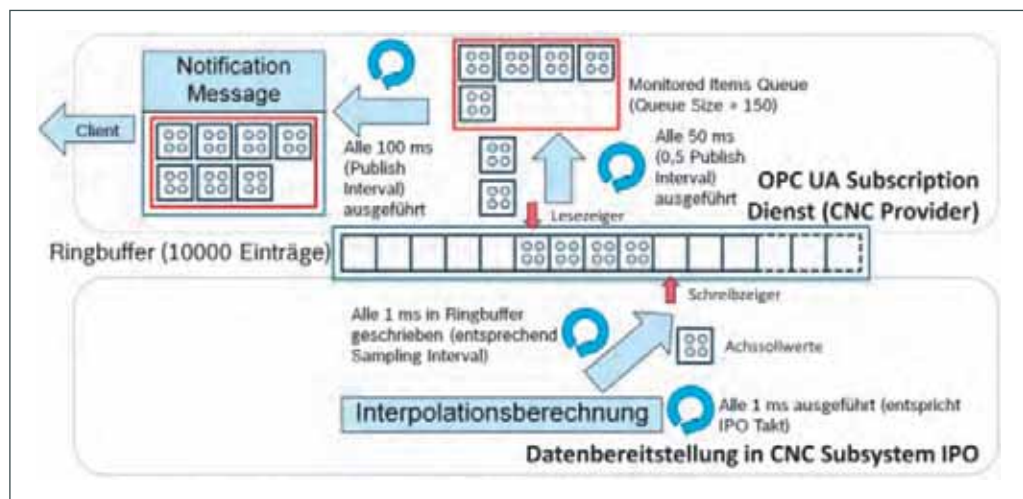


Bild 2: CNC-Echtzeitsimulation über die offene Kommunikationsplattform

Zukünftig ist zu prüfen, welcher Ansatz für eine Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (Querkommunikation auf Steuerungsebene) über Standard-Netzwerkinfrastrukturen genutzt werden kann. Außerdem gilt es die CNC-Kommunikationsplattform für den Zugriff auf weitere Informationen der Werkzeugmaschine zu erweitern und die Standardisierung der OPC UA Informationsmodelle für die CNC-Kommunikationsplattform voran zu treiben.

Bild 3: Mechanismus zur Anbindung der CNC-Echtzeitsimulation an die IndraMotion MTX über die Kommunikationsplattform



# IT-SICHERHEIT FÜR INDUSTRIELLE STEUERUNGEN

**INITIIERT UND FINANZIERT  
DURCH DIE ROBERT BOSCH GMBH**



Seit einigen Jahren ist eine zunehmende Vernetzung der industriellen Steuerungstechnik zu beobachten. Diese Entwicklung wird als Industrie 4.0 bezeichnet und wird sich in den kommenden Jahren verstärkt ausbreiten. Durch Vernetzung steigt jedoch die Gefahr eines Angriffs auf die industriellen Anlagen, die bisher nicht ausreichend gegen derartige Angriffe geschützt sind. Die Entwicklung von geeigneten Konzepten und Strategien zur Absicherung von industriellen Anlagen und Steuerungen ist das Ziel dieser Arbeit.

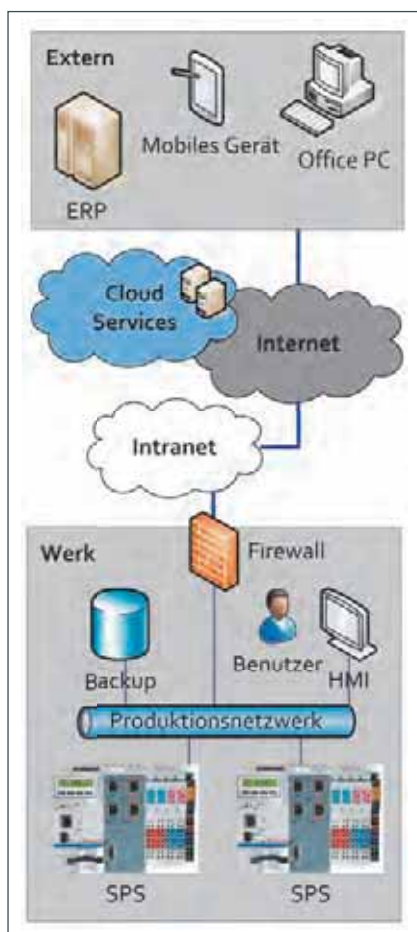


Bild 1: Zukünftige Vernetzung in der Fertigung

In den vergangenen Jahren ist der Vernetzungsgrad der industriellen Anlagen stark gestiegen. Zunehmend kommu-

nizieren immer mehr Steuerungen, Maschinenkomponenten und in Zukunft eventuell auch einzelne Werkstücke autonom untereinander. Dieser Trend wird als die vierte industrielle Revolution, als Industrie 4.0 bezeichnet. Dabei ist ebenfalls zu erwarten, dass bestimmte Dienste, die aktuell noch lokal betrieben werden in Zukunft durch Cloudbasierte Services ersetzt werden.

Dadurch wird es für eine Steuerung möglich und auch nötig sein, eine Kommunikation zu entfernten Instanzen z.B. über das Internet aufzubauen. Solche entfernten Instanzen können Datenbanken, Ausgabegeräte, Simulationsplattformen, Kommunikationsschnittstellen etc. sein. Eine mögliche Darstellung der zukünftigen Vernetzung ist in der **Bild 1** zu finden. Ein durchgehender Informationsaustausch wäre somit möglich und würde eine Vereinfachung des Fertigungsprozesses und erhebliche Kostensenkung im gesamten Fertigungsprozess mit sich bringen.

Diese steigende Vernetzung bringt jedoch auch neue Gefahren mit sich. Zum Einen können Daten, die ungeschützt über offene Netzwerke übertragen werden, von unbefugten Dritten gelesen und gegebenenfalls manipuliert werden. Zum Anderen kann ein Angreifer über die bereitgestellte Schnittstelle unbemerkt per Fernzugang auf die Anlage zugreifen, diese manipulieren, den Produktionsprozess stören und sogar die Anlage zu einem dauerhaften Stillstand bringen.

In den vergangenen Jahren ist zudem die Anzahl der gezielten Angriffe auf industrielle Anlagen stark gestiegen. Prominente Beispiele hierfür sind die Schadprogramme Stuxnet und Duqu.

Aus diesem Grund muss verstärkt an neuen Konzepten geforscht werden, wie die industriellen Anlagen in Zukunft unter den neuen Bedingungen gegen Angriffe von innen sowie von außen abgesichert werden können.

Das Ziel dieser Arbeit ist es ein Sicherheitskonzept für die IT-Absicherung von industriellen Steuerungsanlagen zu entwickeln, wobei insbesondere folgende Aspekte vertieft untersucht werden:

- » Entwicklung eines Sicherheitskonzepts für die Absicherung von industriellen Steuerungen mit Blick auf die zunehmende Vernetzung der Fertigungslandschaft.
- » Implementierung eines Prozesses für eine sichere Anlagenintegration von Steuerungen unterschiedlicher Hersteller.
- » Entwicklung eines IT-Rechtemanagements für die Fertigung.
- » Analyse der Auswirkung von Sicherheitsmechanismen auf Geschäftsprozesse der Fertigung.
- » Analyse und Bewertung der hierzu benötigten kryptografischen Algorithmen und Protokolle.

In einem ersten Schritt werden die Anforderungen an die industrielle IT-Sicherheit erfasst sowie durch eine Risikoanalyse die vorhandenen Schwachstellen einer typischen Fertigungslandschaft bewertet. Diese Analysen werden mit Hilfe von Umfragen, Interviews sowie Marktrecherchen durchgeführt.

Im zweiten Schritt erfolgt die eigentliche Entwicklung des Sicherheitskonzepts, wobei insbesondere die Übertragbarkeit von vorhandenen IT-Security Standards auf die Steuerungstechnik, untersucht wird. Die Ausarbeitung

eines Rechtemanagements für die industrielle Steuerungslandschaft bildet einen weiteren Schwerpunkt dieser Arbeit.

Nach der Erarbeitung des Grobkonzepts findet eine Untersuchung und Auswahl der einzusetzenden Algorithmen statt. Unterschiedliche Konzepte für Datenverschlüsselung, Prüfung der Integrität der Daten, Authentifizierung sowie Autorisierung werden bewertet und in das neuentwickelte Konzept integriert.

Durch die Definition und Anwendung von praxisrelevanten Use-Cases wird in einem weiteren Schritt das erarbeitete Sicherheitskonzept einer praktischen Prüfung unterzogen. Dabei werden zahlreiche Simulationen mit mehreren Steuerungen durchgeführt und Kommunikation mit entfernten Instanzen überprüft. Als Kommunikationsschnittstelle für die benötigten Untersuchungen wird OPC UA verwendet.

Die Ergebnisse der Dissertation werden neue Erkenntnisse bzgl. der sicheren Vernetzung von industriellen Steuerungen liefern und werden sowohl für Entwickler und Hersteller von neuen Anlagen, als auch für Betreiber von bestehenden Anlagen nützlich sein.

### KONTAKT

Dipl.-Inf. Alexander Borisov  
E-Mail: Alexander.Borisov@de.bosch.com

# MITARBEIT AM DEUTSCHEN PAVILLON DER EXPO 2015 IN MAILAND



Bild 1: Der in Stuttgart mitentworfene deutsche Pavillon der Expo 2015 in Mailand ist unter anderem den natürlichen Hängen Deutschlands nachempfunden. Foto: SCHMIDHUBER/Milla & Partner



Bild 2: Konzeptioneller Entwurf der fliegenden Bienenaugen im deutschen Pavillon. Foto: Milla & Partner/SCHMIDHUBER

Die EXPO 2015 in Mailand, mit dem Motto „Feeding the Planet, Energy for Life“ will Antworten geben auf die zukünftigen Herausforderungen der Welternährung. Deutschland nimmt dieses Thema ernst und leistet damit einen glaubwürdigen und authentischen Beitrag. Es schafft damit ein Bewusstsein für die Kräfte der Natur als wesentliche Quellen unserer Ernährung, die es in Zukunft besser zu schützen und intelligent zu nutzen gilt.

Den Besuchern des deutschen Pavillons wird eine Reise durch die üppige und grüne Landschaft Deutschlands geboten: Eine Strecke mit Ideen und Lösungen, die die Perspektiven eines achtsamen und respektvollen Umgangs mit der Natur darstellen.

Am Ende des Besuches gelangt der Besucher zur Ausstellung neuer Ideen für Lebensmittel, mit denen in einer innovativen Weise interagiert werden kann – durch ein Samenbord wie auch mit den Augen zweier Bienen.

Diese beiden Bienenaugen stellen eines der Highlights des deutschen Pavillons dar, welches auch für die Expo 2015 in Mailand wieder in Kooperation mit dem Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart entwickelt wird.

Zum Einsatz kommt hier die Technologie der parallelen Seilroboter, welche für die Bewegung und Rotation der Bienenaugen verwendet wird. Vor allem die Trajektorienge-

nerierung und -validierung ist hier wesentlicher Bestandteil der Aufgabengebiete am ISW.

#### KONTAKT

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

# ELEKTRISCHE VERSPANNUNG ZWEIER PARALLEL ANGEORDNETER ZAHNSTANGE-RITZEL-ANTRIEBE

## VERSUCHSSTAND ISW



Bild 1: Zahnstange-Ritzel-Versuchsstand

Der Zahnstange-Ritzel-Versuchsstand wurde speziell für die Untersuchung der elektrischen Verspannung zweier parallel angeordneter Zahnstange-Ritzel-Antriebe entworfen. Bisher wurden grundlegende Untersuchungen zum Umkehrspiel im Antriebsstrang, zu den Bestandteilen der mechanischen Reibung und zur Steifigkeit des Antriebsstrangs durchgeführt. Ziel ist es, eine Regelung der elektrischen Verspannung umzusetzen, die vom Betriebszustand der Maschine abhängt.

Zahnstange-Ritzel-Antriebe werden überwiegend im Bereich der großen Werkzeugmaschinen mit Vorschubwegen größer als 4 m eingesetzt. Hier werden sie den in den meisten Bereichen etablierten

Kugelgewindetrieben aus Gründen der Steifigkeit und Dynamik vorgezogen. Die Steifigkeit von Zahnstange-Ritzel-Antrieben ist unabhängig von der Länge des Vorschubwegs und der aktuellen

Position des Maschinenschlittens. Im Gegensatz dazu muss der Wellendurchmesser von Kugelgewindetrieben bei wachsendem Vorschubweg vergrößert werden, um die Steifigkeit konstant zu halten.



Bezeichnung	Spezifikation
Synchron-Motor	$n_{max} = 8000 \text{ 1/min}$ $M_{max} = 137,5 \text{ Nm}$
Linear-Direkt-Antrieb	$v_{max} = 196 \text{ m/min}$ $F_{max} = 7271 \text{ N}$
Planetengetriebe	$i = 1:16$ $c_{ges} = 106,52 \text{ N/}\mu\text{m}$
Antriebsritzel	$TK\phi = 84,88 \text{ mm}$ <i>schrägverzahnt</i>

Tabelle 1: Technische Spezifikation

Dadurch wird die Dynamik des Antriebsstrangs verschlechtert, sodass Zahnstange-Ritzel-Antriebe den Kugelgewindetrieben ab einem Vorschubweg größer als 4m vorzuziehen sind.

Um eine Positioniergenauigkeit von Zahnstange-Ritzel-Antrieben zu erreichen, die konkurrenzfähig zur Genauigkeit von Kugelgewindetrieben ist, ist das durch die Verzahnungsgeometrie bedingte Umkehrspiel im Antriebsstrang zu reduzieren. Das Umkehrspiel eines einfachen Zahnstange-Ritzel-Antriebs ist immer dann zu überwinden, wenn das Antriebsmoment einen Vorzeichenwechsel erfährt. Der am Institut aufgebaute Versuchsstand (**Bild 1**) verfügt über zwei parallel angeordnete Zahnstange-Ritzel-Antriebe, die steuerungsseitig beliebig gegeneinander verspannt werden können.

**Tabelle 1** fasst die wichtigsten Spezifikationen der einzelnen Komponenten des Versuchsstands zusammen. Die Antriebsritzel werden durch zwei Synchron-Maschinen angetrieben. Jeder Synchron-Motor verfügt über einen Geber mit einer Auflösung von 22 Bit zur Regelung der Antriebe innerhalb der Umrichter. Zwischen Ritzel und Motor befindet sich ein zweistufiges Planetenge-

triebe. Neben den Zahnstange-Ritzel-Antrieben verfügt der Versuchsstand zusätzlich über einen Linear-Direkt-Antrieb. Dieser wird für die Untersuchungen der Eigenschaften elektrisch verspannter Antriebe benötigt und kann bspw. Störkräfte in das System einbringen. Der Linear-Direkt-Antrieb ist nicht mit einem eigenen Messsystem zur Regelung des Antriebs ausgestattet. Aus diesem Grund wird auf eines der zwei Weg-Messsysteme, die in die Tischführungswagen integriert sind, zurückgegriffen. Diese Messsysteme haben eine Auflösung von 0,0977  $\mu\text{m/digit}$ .

Die bisherigen Untersuchungen am Versuchsstand lieferten erste Erkenntnisse in Bezug auf das Umkehrspiel im Antriebsstrang und auf die mechanische Reibung und Steifigkeit der einzelnen Komponenten in Abhängigkeit von der Verspannung. Zukünftig sind weitere Systemanalysen des Zahnstange-Ritzel-Antriebs, vor allem im Bereich der Verspannung geplant. Dafür werden die regelungstechnischen Konzepte für die Verspannungsregelung weiterentwickelt.

**KONTAKT**

M.Sc. Tim Engelberth  
E-Mail: Tim.Engelberth@isw.uni-stuttgart.de

# UNIVERSELLE BEDIENOBERFLÄCHEN FÜR MASCHINEN UND ANLAGEN (EVERGREEN)

## EIGENENTWICKLUNG ISW



Bild 1: Intuitive Maschinenbedienung

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 Bedienober-

flächen, welche im Allgemeinen an die Maschinensteuerungen angekoppelt 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 unver-

ändert 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 entsprechend Expertenwissen, wo die gewünschten Funktionen und Konfigurationseinstellungen zugreifbar sind.





Bild 2: Evergreen Systemarchitektur

Hinzu kommt, dass eine Austauschbarkeit von Bedienoberflächen nicht gegeben ist. Werkzeugmaschinen sind in der Regel mit den 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 unterschiedlichen Bedienung vertraut machen müssen.

Aus diesen Beobachtungen heraus wurde am ISW ein Studierendenprojekt des Studiengangs Softwaretechnik initiiert mit dem Ziel, Bedien-

oberflächen 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 der elektronischen 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.

**KONTAKT**  
 Dipl.-Ing. Matthias Keinert  
 E-Mail: Matthias.Keinert@isw.uni-stuttgart.de

# OPC UA WORKBENCH

## EIGENTWICKLUNG ISW

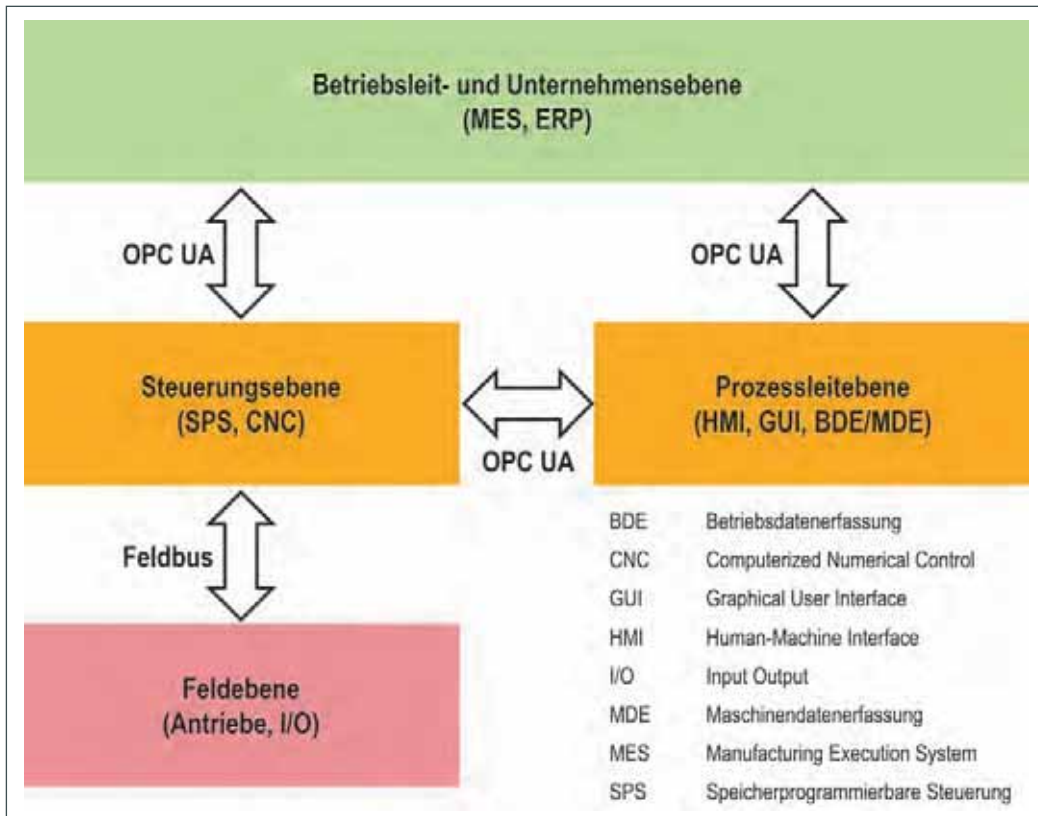


Bild 1: Stand der Technik von M2M Kommunikation

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 verschiedener 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 Unternehmens-

ebene 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.

### KONTAKT

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

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

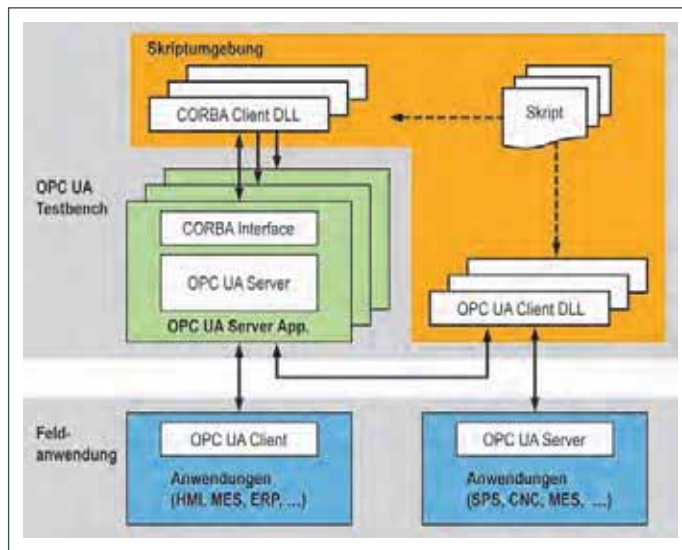


Bild 2: Systemarchitektur der OPC UA Workbench

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 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 Entwicklung 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 ganzheit-

lichen 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 möglich. 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 die Zusammenhänge zwischen OPC UA Workbench und zu testender Anwendung sind in Bild dargestellt und in die einzelnen Ebenen gegliedert.

# SERCOS SLAVE CONFORMIZER

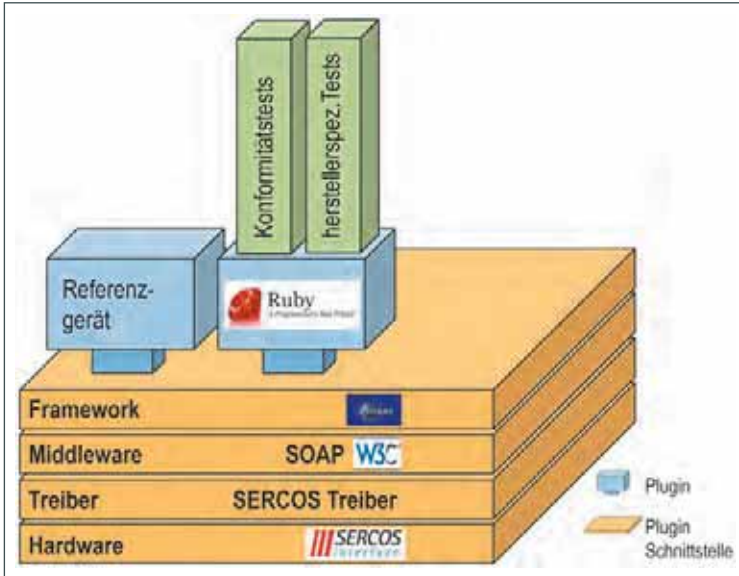


Bild 1: Slave Conformizer Architektur

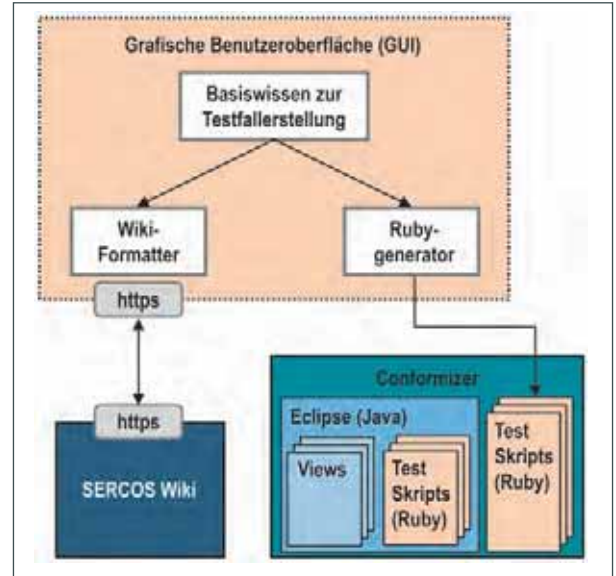


Bild 2: Aufbau des Testentwicklungstools

Der im Sercos Testlaboratorium & Kompetenzzentrum entwickelte Slave Conformizer wurde zur Zertifizierung von Sercos Slaves (Antrieben, E/A-Peripherie) entwickelt. Das Ziel des Slave Conformizers besteht einerseits darin, die Konformität der Sercos Slaves auf die Sercos Spezifikation zu überprüfen. Andererseits soll durch den Slave Conformizer die Entwicklung von Sercos Slaves optimiert werden, da dieser als Referenzgerät für die Geräteentwicklung dienen kann.

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 herstellerspezifische 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.

**sercos**  
the automation bus

## KONTAKT

Dipl.-Ing. A. Atmosudiro  
E-Mail: Agus.Atmosudiro@isw.uni-stuttgart.de

Dipl.-Ing. J. Lopes  
E-Mail: Joao.Lopes@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.



Bild 2: Aufbau des Demonstrators „Virtueller Tischkicker“

Vorlesungen wie Steuerungstechnik I/II, Simulation automatisierter Maschinen und Prozesse oder die Bachelor Projektarbeit werden jedes Jahr an der Universität Stuttgart von rund 300 Studierenden unterschiedlicher Studiengänge (Maschinenbau, Automatisierungstechnik/Mechatronik, Technische Kybernetik, Simulation Technology, u.v.m.) absolviert. In diesen Vorlesungen werden die Themengebiete SPS-Technik, CNC-Technik und deren Programmierung, Hard- und Software-in-the-Loop Simulation, Echtzeitsimulation und Bus-Topologie behandelt.



Bild 3: Prinzipskizze des virtuellen Tischkickers



Bild 1: Virtuelles Spielfeld in Virtuos

Im Hinblick auf die Verbesserung des Praxisbezuges und der Anwendbarkeit dieser theoretischen Lehrinhalte wurde ein virtueller Tischkicker mit simuliertem Spielfeld in der Echtzeitsimulationsumgebung Virtuos aufgebaut (siehe **Bild 1**). 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 2** und **3**). 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).

Der virtuelle Tischkicker wird in folgenden Bereichen als Lehrsystem genutzt:

ausgerichtet. Dabei sollen studentische Teams Spieler auf Basis von SPS- und MC-Steuerungsprogrammen entwickeln und diese gegeneinander antreten lassen. Sie erwerben im Laufe dieser Projektübung Wissen in den Bereichen Echtzeitsimulation, SPS/MC-Programmierung, Kommunikationstechnik und die Inbetriebnahme von Maschinensteuerungen.

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

- » Studien-, Bachelor- und Diplomarbeiten: Diese Arbeiten werden in den Bereichen Echtzeitsimulation, Steuerungstechnik und Konstruktion ausgeschrieben.
- » Hauptfachpraktika: Gleichzeitig dient das Lehrmodell als Basis für ein weiteres Hauptfachpraktikum in den Bereichen SPS/MC-Programmierung, Echtzeitsimulation und Kommunikation.

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

» Projektübung: Im Rahmen von Projektübungen im Bereich der Mechatronik wird jedes Jahr ein Wettbewerb

### KONTAKT

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

# 2.3 DIENSTLEISTUNGEN FÜR DIE INDUSTRIE



*Innovationstage am ISW, Hallenbesichtigung*



*Programmierung und Inbetriebnahme einer Ultraschallprüfanlage*

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
- » Regelungsverfahren, -parametrierung und -methoden
- » Kommunikationstechnik (sercos, ProfiNet, EtherCat, ...)
- » Sondermaschinen



*Analyse und Optimierung des Betriebsverhaltens von Kugelgewindtrieben*

- » Modellierung und Simulation
- » Baukastenbasiertes Engineering
- » FPGA-Lösungen
- » Maschinen- und komponentenoptimierung
- » Auslegung von Antrieben
- » Softwarearchitekturen
- » Technologieberatung
- » Steuerungstechnisches Forum
- » Industriearbeitskreis Simulationstechnik
- » Ethernet-basierte Kommunikation
- » Industriearbeitskreis „Security in der Automation“
- » Hardware-in-the-Loop

### SCHULUNGEN UND SEMINARE

- » Lageregelseminar
- » Stuttgarter Innovationstage

### KONTAKT

Dr.-Ing. Armin Lechler  
 E-Mail: [Armin.Lechler@isw.uni-stuttgart.de](mailto:Armin.Lechler@isw.uni-stuttgart.de)

## 2.4 AUSZEICHNUNGEN



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

### AWARD

Im September 2012 wurde Professor Verl mit dem „Julius von Haast Fellowship Award“ ausgezeichnet. Der neuseeländische Forschungspreis der Royal Society of New Zealand wird an international bedeutende deutsche Wissenschaftler in Anerkennung herausragender Leistungen und zur Vertiefung der Kooperation mit neuseeländischen Wissenschaftlern vergeben.

Herr Michael Abel erhielt den Best Paper Award der 23rd FAIM Conference, Porto, Portugal, Flexible SOA based Platform for Research on Start-up Procedures for Reconfigurable Production Machines, 2013.

Herr Prof. Klemm erhält den atp-Award als Co-Autor für den besten Beitrag von Frau Annika Kufner „Fortschritt bei Simulation von Montagemaschinen“ (atp edition 9/2011)

Herr Agus Atmosudiro erhält den Best Paper Award vom DET 2014 am IAO.

### EHRENPROFESSUR

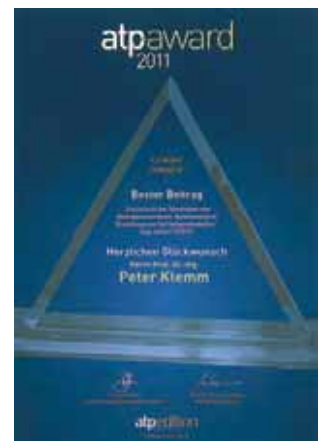
Gleichzeit erhielt Verl eine Ehrenprofessur der Universität Auckland und ist damit Mitglied der dortigen Ingenieurs-Fakultät. Im Rahmen eines Stipendiums wird Prof. Verl über drei Jahre hinweg immer wieder in Neuseeland lehren und forschen. Zur Zeit werden in diesem Zusammenhang auch Austauschprogramme für Studierende aus Stuttgart und Neuseeland aufgesetzt.

### EHRENDOKTORTITEL

Darüber hinaus wurde Alexander Verl Anfang Oktober 2012 ein Ehrendokortitel der Technischen Universität Cluj-Napoca verliehen. Seit vielen Jahren arbeiten die Universitäten in Cluj und Stuttgart eng zusammen. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit Rumänien wurde erst kürzlich eine duale Promotion zwischen der Universität Stuttgart und der TU Cluj vereinbart. Ein deutschsprachiger Studiengang in Cluj wird in weiten Teilen mit Dozenten aus Stuttgart durchgeführt.

Der Ehrendokortitel der TU Cluj ist bereits der zweite für Alexander Verl: Im November 2010 hatte er die Ehrendoktorwürde der Polytechnischen Universität Timisoara erhalten. „Ich freue mich natürlich, dass unsere gute und enge Zusammenarbeit mit Rumänien offenbar sehr geschätzt wird“, so ISW/IPA-Chef

Innovationspreis der Automatisierungsindustrie, SPS/IPC/DRIVE 2013 für Werner Kraus, Alexander Spiller und Andreas Pott



# 3 LEHRE

## 3.1 VORLESUNGEN, ÜBUNGEN, PRAKTIKA UND KURSE

Vorlesung	SS 12	WS 12/13	SS 13	WS 13/14
Steuerungstechnik mit Antriebstechnik	–	260	–	290
Zusätzliche Übungen zur Steuerungstechnik	–	150	–	160
Steuerungstechnik II	–	40	–	32
Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter	60	–	72	–
Angewandte Regelungstechnik in der Produktionstechnik	15	–	20	–
Softwaretechnik für Prozessplanung und Leitsysteme I	–	15	–	15
Grundlagen der Prozessrechentchnik und der Softwaretechnik	–	5	–	5
Softwaretechnik für Prozessplanung und Leitsysteme II	20	–	18	–
Robotersysteme – Auslegung und Einsatz (diese Vorlesung wird nicht mehr angeboten, da Dr. Wurst in den Ruhestand gegangen ist)	–	12	–	–
Modellierung, Analyse und Entwurf neuer Roboterkinematiken	11	–	13	–
Robotersysteme – Anwendungen aus Industrie und Servicerobotik	30	–	22	–
Robotersysteme – Anwendungen aus der Servicerobotik	–	30	–	18
Ölhydraulik und Pneumatik in der Steuerungstechnik	20	–	35	–
Automatisierung in der Montage- und Handhabungstechnik	35	–	40	–
Bionik	25	–	35	–
Mechatronische Systeme in der Medizin – Anwendungen aus der Rehabilitation und Orthopädie	–	60	–	70
Steuerungstechnisches Praktikum	60	120	55	130
APMB (Allg. Praktikum Maschinenbau)	80	70	85	73
C/C++ Kurs	35	15	40	13

Das ISW bietet ein umfangreiches Vorlesungs- und Praktikumsangebot in den Bereichen Steuerungs-, Antriebs-, Simulations- und Robotertechnik. Studierende des Maschinenbaus, der Automatisierungstechnik, 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 Program-

mieren von Werkzeugmaschinen und Industrierobotern oder die Einstellung von Achsreglern an Vorschubachsen.

Erfreulich ist der andauernd hohe Zuspruch der Studierenden an den Veranstaltungen,

der es dem ISW ermöglicht die Studierenden auch für studentische Arbeiten (Studien-, Bachelor-, Diplom-, Masterarbeiten, Beschäftigung als wissenschaftliche Hilfskraft) an das Institut zu gewinnen.



## 3.2 ABGESCHLOSSENE STUDENTISCHE ARBEITEN

Eine wertvolle Bereicherung für die Arbeiten des Instituts sind die zahlreichen studentischen Arbeiten. Die Studierenden können 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), Diplomarbeiten (DA), Bachelorarbeiten (BA) und Masterarbeiten (MA).

Die hohe Anzahl an abgeschlossenen Arbeiten zeigt, dass das Institut interessante und innovative Angebote an die Studierenden machen kann, die von diesen geschätzt und mit hohem Engagement umgesetzt werden.

2014

### **Brodbeck, Paul**

Stick-Slip in reibadaptiven Führungen

### **Neumann, Tobias**

Konzeption und prototypische Realisierung eines Kompensationsverfahrens zur Minimierung der thermischen Drift eines spanenden Industrieroboters in der automobilen Großserienfertigung

### **Esslinger, Dominik**

Texture Classification for Service Robotics

### **Rieble, Nikolas**

Machbarkeitsstudie: Nutzung von Technologien aus der Unterhaltungselektronik als Ersatz hochgenauer und teurer Sensoren zur 3D-Objekterkennung im Szenario „Sortiervorgang“

### **Kim, Christoph**

Entwicklung eines Verfahrens zur Sturzerkennung mit optischen Sensoren auf einem Mikrokontroller

### **Schwarz, Martina**

Bahnplanung synchroner Kinematiken

### **Siegler, Jonathan**

Virtuelle Inbetriebnahme eines Drehfräszentrums

### **Kretschmer, Felix**

Entwicklung eines Kommunikationsprotokolls zur Nutzung in einer cloud-basierten Steuerung

### **Sun, Qian**

Erkennung und Handhabung von Siliziumwafern in flüssiger Umgebung

### **Sommer, Philipp**

Konzept und Implementierung einer Echtzeitsimulation in eine Motionsteuerung

### **Yang, Qiming**

Optimierung und Untersuchung des Kugelgewindetriebe-Modells durch FEM

### **Boje, Timo**

Konzeption, Auslegung und Konstruktion eines 4-achsigen Manipulators

### **Vogel, Eric**

Verfahren zur Langzeitdatenspeicherung von beliebigen Ereignissen und Zuständen an einer (TRUMPF-) Werkzeugmaschine

### **van de Weyer, Matthias**

Entwicklung einer high-speed Pick and Place Anwendung mit Bildverarbeitung

### **Reinthal, Andreas**

Konzept eines Baukastensystems für Prozessmodule in modularen Mikromontageanlagen

### **Christoph, Sabrina**

Konzept eines variablen Elektromechanik-Dämpfer-Feder-Aktors auf Basis des Hillschen Muskelmodells

### **Abawi, Christian**

Entwicklung eines intelligenten Knochenbohrers mit autonomer Penetrationserkennung für die Wirbelsäulen Chirurgie

### **Hermann, Anton**

Machbarkeitsstudie: Nutzung von Technologien aus der Unterhaltungselektronik als Ersatz hochgenauer und teurer Sensoren zur 3D-Objektlagerkennung im Szenario „Griff in die Kiste“



## **Kaiser, Benjamin**

Konzeption und Umsetzung einer Look-Ahead- Funktion für NC-Steuerungen zur echt-parallelen Ausführung auf Multicore-Prozessoren

## **Bentele, Jonas**

Entwicklung eines Teststandes für den verbesserten Stofftransport in membrangekoppelten Systemen

## **Friman, Alfred**

Datengetriebene Parametrierung und Identifikation von Zustandsmodellen aus aufgezeichneten Verbrauchsdaten

## **Zimmermann, Tobias**

Auslegung, Erweiterung und Steuerung eines FDM-Baukastens in Kooperation mit Fischertechnik

## **Gao, Hong**

Aufbau einer Simulationsumgebung für die Auslegung der Steuerung von Hydraulik-Hybrid-Systemen

## **Weber, Stefan**

Anbindung eines FDM-Druckwerkes an eine KR C4 Robotersteuerung mit Kuka.CNC Steueroptionen

## **2013**

## **Claassen, Jörg**

Entwicklung eines Steuerungskonzepts für eine robotergestützte Prüfanlage

## **Nadale, Valentino**

Konzeption und Umsetzung einer Anwendung für mobile Endgeräte zur Diagnose von Werkzeugmaschinen

## **Rothfuss, Andreas**

Bewertung von Formgedächtnis-Aktoren im Hinblick auf Einsatzmöglichkeiten in der minimal-invasiven Chirurgie

## **Honold, Clemens**

Entwicklung einer kartesischen Kraftregelung für Seilroboter

## **Mall, Matthias**

Funktional einheitliche Modellierung und Simulation von Materialfluss-

systemen in der Feinplanungsphase mit Hilfe von echtzeitfähigen Physikmodellen

## **Jäcksch, Alexander**

Funktional einheitliche Modellierung und Simulation von Materialflusssystemen in der Konzeptphase mit Hilfe von ereignisbasierten Modellen

## **Vogel, Eric**

Entwicklung einer OPC UA Testbench

## **von Olnhause, Marcel**

Beschreibung und Modellierung von Inbetriebnahmeprozessen in Rekonfigurierbaren Maschinensystemen

## **Sun, Da**

Dynamisches Verhalten von Sintergleitlagern

## **Scheifele, Stefan**

Rekonfigurierbare FEM-Struktur-Simulation einer kleinen modularen Werkzeugmaschine

## **Huang, Yongpeng**

Konzipierung einer Steuerungsarchitektur für Servopressen

## **Paule, Alex**

FEM basierte Optimierung von Modulen für Schwinggleitführungen

## **Pacios, Cristina Cobo**

Evaluation geeigneter Reparaturmaßnahmen von fehlerhaften Werkstücken

## **Blas-Santibanez, Luis Pedro**

Design und Implementierung einer proaktiven Prozessregelung

## **Eberhardt, Anthony**

Virtuelle Inbetriebnahme einer Produktionslinie mit Fördertechnik, Handhabung und Lagertechnik

## **Proszuk, Laurentius**

Kollisionsüberwachung für einen ferngesteuerten Roboter

## **Graser, Christian**

Optimierung der Prozessparameter bei der NC Bearbeitung

## **Tröster, Mark**

Mechanischer Aufbau eines autonomen Meeresroboters nach dem bionischen Vorbild des Oktopus (Roboctopus)

## **Halim, Karim**

Konzeption und Realisierung einer Klaviaturprojektion und einer Schnittstelle zur Anbindung einer 3D-Erfassung an die Steuerung des Robotikband-Keyboards

## **Abawi, Christian**

Konstruktion eines Instrumentenantriebs für einen parallelkinematischen Chirurgieroboter

## **Grözinger, Alexander**

Inbetriebnahme und Programmierung einer Fräsmaschine

## **Janzen, Jascha**

Konzeption und Implementierung von SPS-Software für ein Hochregallager

## **van de Weyer, Matthias**

Entwicklung eines Demonstrators zur GSM basierten Datenübertragung

## **Knöller, Carl**

Konzeption einer Abfüllmaschine für Trockenfrüchte und Nüsse

## **Bauer, Nico**

Angewandte Optimierungsverfahren zur zustandsbasierten Verbrauchsreduktion von Werkzeugmaschinen

## **Jiawei, Xue**

Entwicklung einer Architektur zur steuerungsinternen Verbrauchsvorhersage in Verbindung mit TwinCAT 3

## **Siebert, Witalij**

Konzeption und Umsetzung einer Methode zur praktischen Evaluierung von Griffplanern in der Servicerobotik

## **Kett, Jannik**

Erstellung eines Frameworks zur automatisierten und kontinuierlichen Qualitätssicherung

## **Gröber, Jan**

Entwurf eines transportablen Vorlesungsdemonstrators in Form

eines modularen translatorischen Mehrmassenschwingers

## **Meyer, Hannes**

Entwicklung eines Verfahrens zur Konfiguration und automatischen Generierung von Steuerungsprototypen für Simulationsmodelle

## **Isaew, Alexander**

Konzeptionierung und Aufbau einer Prozessdatenerfassung für die induktive Wärmebehandlung mit Speicherung der Rohdaten

## **Ziegler, Patrick**

Konzeption und Implementierung eines Ruby-Skript-Interpreters in die Leitsteuerung einer Höhenwindnutzungsanlage

## **Garcia, Victor Daniel Erasó**

Commissioning and Enhancement of a Powerline Communication System

## **Speitelsbach, Samuel**

Kraft-Momenten-geregeltes Fügen von USB-Steckern

## **Zeeb, Anna**

Untersuchung und Entwicklung von Bildmerkmalen zur Objektlageerkennung in Produktionsumgebungen

## **Blaszczyk, Reiner**

Analyse und Reverse-Engineering eines Engineering-Protokolls

## **Rauch, Christian**

Automatische Generierung von Simulationsmodellen

## **Kohlhase, Markus**

Konzeption und Implementierung einer webbasierten Applikation zur zielgerichteten Informationsbeschaffung aus einer integrierten Produkt- und Montageontologie in der variantenreichen Serienfertigung

## **Höhr, Sara**

Umsetzung und Vergleich online-fähiger lastgangoptimierender Bewegungssteuerungen für Hochregallager

## **Slomian, Frank**

Erstellung und Analyse von Algorithmen zur kameragestützten Verkehrszeichenerkennung

## **Tsan, Ting**

Automatisierung eines Robotermodells

## **Niedballa, Dennis**

Konzept und Realisierung einer Maschinensteuerung in der Cloud

## **Zaiser, Matthias**

Konzeption und Entwicklung einer mobilen Anwendung (App) zur Steuerung einer SPS

## **Negele, Thomas**

Integration von Bewegungsalgorithmen zur autonomen Fortbewegung in eine kleine Werkzeugmaschine

## **Engelberth, Tim**

Konzeption, Konstruktion und Programmierung einer omnidirektional fahrenden Roboterplattform

## **Schäfer, Philipp**

Konzeption und Konstruktion eines Modellfördersystems

## **Grampp, Sebastian**

Visuelle Bewegungsverfolgung eines Kanalroboters mittels HDR-Stereokamera

## **Gaßmann, Felix**

Lastregelung synchron bewegter Regalbediengeräte durch Optimierung der Bahnplanung

## **Eric, Bojan**

Entwicklung eines mit Festo-Muskeln angetriebenen Handschuhs für den Einsatz bei der Rehabilitation nach Handlähmungen oder zur Kraftverstärkung in der Produktion

## **Ebner, Simon**

Aufbau eines Komponentenkatalogs und Entwicklung eines User Interfaces zur Konfiguration von automatisierten Tests

## **Schnierle, Marc**

Entwicklung eines Auftragsplaners zur Steuerung des Energieniveaus

## **Schmid, Sebastian**

Modellierung und Steuerung einer echtzeitfähigen Materialflusssimulation einer Lagervorzone

## **Hörner, Nadja**

Automatisierung eines Aufzugmodells

## **Bartole, Benjamin**

Entwicklung eines Trajektoriengenerators zur energieverbrauchsoptimierten Bewegung von Regalbediengeräten

## **Chen, Zhaowen**

Programmierung einer Leitebene zur Steuerung eines Hochregallagers

## **Eckard, Carolin**

Klassifizierung von Objektoberflächen in Punktwolkendaten für einen mobilen Serviceroboter

## **Maget, Fabiola**

Software zur energieoptimalen Ansteuerung von Werkzeugmaschinen

## **Rivas, Tomas Macias**

Model-Driven Validation Mechanism for Bus System Specification

## **Romer, Anne**

Entwicklung eines Verfahrens zur Stützung der optisch-inertialen Lageverfolgung in dynamischen Umgebungen

## **Nguyen, Phuc Lanh**

Automatisierte Validierung von Finite-Elemente-Modellen von Werkzeugmaschinenkomponenten

## **Martin, Christian**

Theoretische Reglerauslegung an einer Werkzeugmaschine im Vergleich mit praktischen Einstellverfahren

## **Weichel, Benedikt**

Einstellparameteroptimierung für Schwenkeinheiten durch Bewegungsanalyse mittels Smartphonesensoren

## **ElAtly, Mohamed Amin**

Development of different FEM ball models and investigation of their application in 3D model of Spindle nut drive



### **Laroussi, Rihab**

Entwurf und Validierung von Regelungskonzepten zur Schwingungsreduktion mittels Piezoaktoren bei Bearbeitungsrobotern

### **Held, Frederik**

Entwicklung und Realisierung einer Softwarelösung zur automatischen Erstellung von Schichtrasterdaten aus 3D-CAD-Modellen

### **Zhang, Yifeng**

FE-Modellierung und dynamische Analyse eines Kugelgewindetriebs

### **Petri, Dmitri**

Entwicklung eines Simulationsmodells für das Rapid-Prototyping eines Umformwerkzeuges mit integriertem Transfer für Servopressen

### **Sommer, Philipp**

Konzeption und Umsetzung einer soft- und hardwarebasierten Lösung zur durchgängig automatisierten Testdurchführung

### **Bergbauer, Florian**

Entwurf und Implementierung einer Testumgebung für FPGA-basierte Antriebsregler

### **Reiser, David**

Bestimmung von Lageabweichungen zusammengesetzter Bauteilgeometrien durch 3D-Objekterkennung in der Industrierobotik

### **Jemaa, Karim Ben**

Verbesserung der Prozessstabilität durch adaptive Drehzahlregelung

### **Trampusch, Max**

Entwicklung von Greiftechnik für Kleinstteile

### **Drescher, Marcel**

Untersuchung einzelner Einflussgrößen auf die Spalterzeugung beim Aufwälzprozess mit Robotern

### **Siegl, Sebastian**

Evolutionäre Bahnplanung synchroner Kinematiken

### **Rähitz, Christian**

Steigerung der Prozesssicherheit von 2D-Laserschneidanlagen durch regelwerksbasierte NC-Bahnmodifikationen

### **Hofmann, Ferdinand**

Konzeption und Umsetzung einer abstrakten Schnittstelle für den Zugriff auf Steuerungsdaten

### **Lan, Tian**

Modellbildung und Systemidentifikation des seilgetriebenen parallelen Roboters IP Anema

### **Marker, Michael**

Hochgenaue Regelung einer astronomischen Montierung mit Hilfe fehlerkompensierter Auswertung eines Sin/Cos Gebers

### **Krenz, Carsten**

Aufbau eines Versuchsstandes zur Bewertung verschiedener Luftlagergeometrien an einem Planarläufer

### **Wache, Jonathan**

Entwicklung eines Verfahrens zur Fehlerdetektion auf texturierten Oberflächen mit photometrischem Stereo

### **Schwaderer, Manuel**

Prozess- und Anforderungsanalyse an ein werkstückorientiertes Bedien-Assistenzsystem, zur Optimierung der Benutzerfreundlichkeit von Werkzeugmaschinen

### **Kummler, Sebastian**

Analyse der Leistungsgrenzen aktueller 3D-Drucker aus dem semiprofessionellen Bereich und Konzeption von Verbesserungen für die Maßhaltigkeit von gedruckten Objekten

## 2012

### **Classen, Jörg**

Entwerfen einer Testumgebung für „Pick und Place“ Roboter und Testen eines Referenzmodells

### **Vieler, Hendrik**

Berechnung energieoptimaler Trajektorien eines Regalbediengerätes

### **Lakhdhar, Barhim**

Konzeption und Realisierung einer Gesamtanlagensteuerung für einen roboter-basierten Simulator mit Zusatzachse

### **David, Mihai-Alexandru**

Entwicklung und Realisierung einer Druckereinheit für Inkjet-Drucksysteme auf Basis eines RTOS

### **Nieballa, Dennis**

Implementierung eines universellen Softwareformats zur Ablaufplanung und Steuerung von Inkjet-basierten 2D- und 3D Druckprozessen

### **Miermeister, Philipp**

An Auto Calibration Method for Cable-driven Parallel Robots

### **Koch, Stefan**

Konstruktion und Entwicklung einer Ultraschall-Schwinggleitführung

### **Nadale, Valentino**

Entwicklung eines vollautomatisierten Keyboardspielers

### **Wiek, Fabian**

Entwicklung eines Verfahrens zur automatischen Konfiguration von Bildverarbeitungsmodulen

### **Meyer, Hannes**

Schaltschrankkonzeptionierung eines Multiachsversuchsstandes

### **Slomian, Frank**

Neuaufbau und Inbetriebnahme eines Schaltschranks zur Ansteuerung von zwei Lineardirektantrieben

### **Grotz, Peter**

Aufbau eines flexiblen Mess- und Regelsystems

### **Kübler, Karl Simon**

Innovative Bedienphilosophie eines Leitsystems

### **Fleer, Michael**

Schnelle Abstandsbildrekonstruktion aus Stereokameras mit Musterprojektion zur 3D-Objektlageberechnung

**Schmidt, Philipp**

Entwicklung einer Software zur visuellen Lokalisierung und parallelen Kartierung der Umgebung eines monokularen mobilen Roboters

**Graap, Arne**

Entwurf, Analyse und Beurteilung von Regelungskonzepten für einen Zweimassenschwinger

**Hahmann, Konstantin**

Modellierung des Energieverbrauchs für die baukastenbasierte Generierung von Simulationsmodellen

**Weber, Sebastian**

Konzeption, Konstruktion und Inbetriebnahme einer Modell-Werkzeugmaschine

**Cha, Jianing**

Numerische Analyse des Kugelgewindetribs

**Köberlein, Max**

Regelung einer 2D-Kulissenkinematik

**Braham, Abir**

Study of Stewart platforms for machining of micro-molds

**Jin, Tao**

Implementierung von Datenfusionsalgorithmen zur Verbesserung der Positionsbestimmung von Werkzeugmaschinen

**Ulmer, Tobias**

Konzeption und Konstruktion eines seilbetriebenen Handhabungsroboters

**Shan, Xiaojian**

Modellierung eines Roboterszenarios „Kommissionieren“ in Virtuos und Anbindung an eine reale Steuerung

**Ma, Chihui**

Aufbau eines Mehrkörpermodells eines Achsprüfstandes

**Geißelmann, Hannes**

Entwicklung der 3D-Objekterkennung für das Kinect-geführte Keyboard der sercosIII-Robotik-Band (Development of a 3D-Objektdetection for the Kinect-based Keyboard of sercosIII-robotic-band)

**Zhang, Zhongquan**

Modellierung eines Roboterszenarios „Handhabung“ in Virtuos und Anbindung an eine reale Steuerung

**Zahn, Peter**

Architekturentwurf und Implementierung von Komponenten für eine universelle FPGA-basierte Regelungs- und Steuerungsplattform mit PCI-Express-Kopplung

**Li, Hanwei**

Modellbasierte Leistungsberechnung eines Regalbediengeräts zur Echtzeitsimulation

**Müller, Daniel**

Entwurf eines Kalman-Filters mit Störgrößenbeobachtung zur Rauschunterdrückung an einer permanenterregter Synchronmaschine

**Li, Zhe**

Erweiterung und Test eines Simulationsmodells für die Hardware-in-the-Loop-Simulation

**Cassetta, Tran Au Co**

Entwicklung eines handgeführten 3D-Scanners

**König, Alexander**

Analyse und Vergleich von Kollisionserkennungsbibliotheken hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit, Genauigkeit und Robustheit zum Einsatz in Materialflusssimulationen

**Huang, Lingyun**

Modellierung von Kühlschmierstoffanlagen der Ver-/Entsorgungstechnik zur Kapazitätsplanung

**Sommer, Philipp**

Entwicklung einer Energieüberwachungssoftware für Werkzeugmaschinen

**Jelitto, Michael**

Konzeption eines Sicherheitssensorsystem für die Mensch-Roboter-Kollaboration

**Pesch, Florian**

Konzeption, Aufbau und Inbetriebnahme eines mobilen Antriebssystems

**Neuffer, Linda**

Modellierung und Reglerentwurf für ein robotergestütztes diagnostisches Ultraschallsystem

**Salzehler, Andreas**

Online Aktive Set Ansatz für die Modelprädiktive Regelung einer Vorschubachse mit Kugelgewindtrieb

**Hönnige, Heiko**

Betrachtung dynamischer Objekte in der geometrischen 3-D Kartierung

**Erick, Bojan**

Studie zur Nutzung und Forschungsbedarf von „Augmented Reality“ in der Industrie

**Röttenbacher, Florian**

Optimierung der Zustandstrajektorien von Werkzeugmaschinen als energieeffizienzsteigernde Maßnahme

**Kummler, Stefan**

Steuerungstechnische Rekalibrierung von Werkzeugmaschinen (in Zusammenarbeit mit Siemens)

**Knauss, Daniel**

Konzeption und Entwicklung eines Röntgengerätes für die Integration in roboterbasierte Verpackungsprozesse

**Scheifele, Christian**

Systemanalyse von Hochregallagern und Realisierung eines funktional einheitlichen Hochregallagers für den Einsatz in der Echtzeitsimulationsumgebung Virtuos

**Müller, Bertram**

Solving the Forward Kinematics of a cable Robot Using Interval Algorithms

**Hackh, Patrick**

3D-Porositätsanalyse für Faserverbundbauteile mit Hilfe industrieller Computertomographie

**Chen, Jianfeng**

Erstellung einer Kommunikationsschnittstelle für die virtuelle Inbetriebnahme mit IndraWorks

**Heinze, Tobias**

Bahnregelung einer kooperativen 2D-Achse

**Pasler, Lukas**

Automatische Bestimmung und Überwachung der Maschineneigenschaften mit NC Programmen

**Panzer, Florian**

Untersuchung der Sensitivität eines KGT-Modells

**Behrens, Benjamin**

Entwicklung von Layout-Konzepten und Algorithmen zur komponentenneutralen Beschreibung von Materialflusssystemen

**Kahr, Christian**

Modellierung einer Förderstromregelung für Filteranlagen zur Bewertung des Betriebsverhaltens und der Energieeffizienz

**Bormann, Richard**

Efficient Object Categorization with the Surface-Approximation Polynomials Descriptor

**Kalthoum, Monzer**

Virtual Commissioning of a Micro Machine Tool with Cooperative Kinematics

**Dripke, Caren**

Untersuchungen zum Einsatz stückweise definierter Klotoiden-Kurven in der Steuerungstechnik

**Gässler, Gabriel**

Sicherheitsanalyse einer Leitsteuerungslösung mit ModbusTCP-Anbindung

**Frank, Helena**

Untersuchung von Sensorfusionsmethoden für die optisch-inertiale Navigation

**Steinfatt, Tim**

Experimentelle Überprüfung eines Transportkonzeptes für 3D Epidermismodelle

**Huber, Kerry**

Konzeption und Gestaltung von Handhabungsszenarien für einen Industrieroboter

**Wenzelburger, Philipp**

Konzeption, Konstruktion und Bau eines Modellaufzugs

**Strebel, Steffen**

Aufbau und Volumenstromregelung einer mikrofluidischen druckbasierten Pumpe für die zellfreie Biologie

**Rechkemmer, Sabrina**

Fernsteuerung eines Industrieroboters über eine Speicherprogrammierbare Steuerung

**Koller, Julian**

Entwicklung einer Seilkraftregelung für einen parallelen Seilroboter

**Legler, Philipp**

Konzeption, Konstruktion und Aufbau eines Modells eines Personenaufzugs

**Choubani, Hamdi**

Entwicklung einer Anbindung für Twincat 3 an sercos III

**Gao, Hong**

Sicherheitsanalyse eines Steuerungssystems und Ausarbeitung eines Sicherheitskonzeptes

**Mayenberger, Benedikt**

Entwicklung eines OPC UA Servers für Siemens-CNC-Steuerungen

**Hiller, Tobias**

Kraftregelung eines roboterbasierten Instrumentenführungssystems für die minimalinvasive Chirurgie

**de Jong, Denise**

Weiterentwicklung und Realisierung einer Regelung für die Nachbildung des Blutflusses in einem Blutgefäßmodell

**Schwegler, Moritz**

Identifikation von Reibmodellen am Beispiel eines Linearmotormoduls

**Klein, Steffen**

Konzeption, Auslegung und Konstruktion einer Antriebsplattform für einen Industrieroboter

**Hartmann, Henning**

Anwendung von maschinellen Lernverfahren zur Verbesserung des Fräsprozesses

**Wulle, Frederik**

Konstruktion, Modellierung und experimentelle Modalanalyse einer Werkzeugmaschinen-teststruktur

**Weber, Stefan**

Auslegung und Konstruktion eines Kunststoffextruders zur Einbettung von Endlosfasern in den Strang

## 3.3 ABGEHALTENE PRÜFUNGEN

	Frühjahr 2012	Herbst 2012	Frühjahr 2013	Herbst 2013	Frühjahr 2014
Steuerungstechnik mit Antriebstechnik	345	71	303	83	380
Steuerungstechnik II	31	–	35	–	35
Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter	13	62	8	63	20
Angewandte Regelungstechnik in Produktionsanlagen	–	11	–	18	–
Softwaretechnik für Prozessplanung und Leitsysteme I/II	–	15	12	18	12
Grundlagen der Prozessrechentchnik und der Softwaretechnik	2	–	11	–	6
Robotersysteme – Anwendungen aus der Industrie und Servicerobotik	–	22	–	21	–
Robotersysteme – Anwendungen aus der Servicerobotik	24	–	22	–	19
Automatisierung in der Montage- und Handhabungstechnik	14	10	12	45	4
Ölhydraulik und Pneumatik in der Steuerungstechnik	–	21	–	35	1
Modellierung, Analyse und Entwurf neuer Roboterkinematiken	–	5	–	8	–
Mechatronische Systeme in der Medizin – Anwendungen aus Orthopädie und Rehabilitation	51	–	41	–	63

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 viele Mitarbeiter in diese Tätigkeiten eingebunden.

## 3.4 EXKURSIONEN FÜR STUDIERENDE

Wir freuen uns, interessierten Studenten 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.

Exkursion zu Trumpf nach Ditzingen, ein Unternehmen mit Schwerpunkten in der Fertigungstechnik, Laser- und der Medizintechnik.



Werkzeugmaschinenfabrik Trumpf in Ditzingen wurde von interessierten Studierenden besucht.

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



AUTOMATICA, weltweit größte Messe für Robotik

Eintägige Exkursion zu KUKA, dem größten Roboterhersteller Deutschlands.



Firma Fischer im Waldachtal



Firma RotoFrank in Leinfelden

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



Produktionshalle der Firma Arburg in Loßburg

Eintägige Exkursion zu der Firma Artur Fischer GmbH & Co. KG in Waldachtal und zur Firma Arburg GmbH + Co KG in Loßburg im Schwarzwald. Fischer stellt unter anderem die weltbekannten Dübel her, Arburg Spritzgußmaschinen.



Daimlergelände Untertürkheim

Halbtägige Exkursion zum Motorenwerk der Firma Daimler nach Untertürkheim.

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



## 3.5 SONSTIGE STUDENTISCHE VERANSTALTUNGEN



Mentoring für Erstsemester am ISW



Besichtigung der ISW-Versuchsfelder mit gemütlichem Beisammensein in der Halle

Das Institut pflegt den Kontakt zu seinen Studenten durch vielfältige Veranstaltungen und Angebote. Auch die zahlreichen wissenschaftlichen Hilfskräfte tragen zum aktiven Institutsleben bei.

### MENTORING:

Zielgruppe sind 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.

Anlagen in der Halle beeindruckten viele Studierende und begeistern sie so für eine Mitarbeit am Institut.

### GRILLABENDE:

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

### 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

Studenten-Hocketse mit Grillen im Hof des ISW

### HALLENBESICHTIGUNGEN:

Besonders wichtig für die Studierenden ist der Einblick in die aktuellen Forschungs- und Arbeitsgebiete des Instituts. Die Maschinen und





Siegerehrung Virtuelle Tischkicker-WM.  
Das siegreiche Team erhält einen  
Gutschein zum Paintball spielen

einem gemeinsamen Event  
wie Paintball oder Kartfahren.



**AUTOMATISIERTER  
SPANFERKELGRILL:**

Bei der Projektarbeit „Auto-  
matisierter 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.

Schülerinnen aus  
Stuttgarter  
Gymnasien vorbereitet,  
um zu zeigen, dass  
Experimentieren,  
Forschen und Bauen  
nicht nur was für  
Jungs ist! 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  
Ingenieurwissen-  
schaftlerinnen  
sowie die seltene  
Chance geboten,  
auch selbst aktiv  
zu werden.



**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.



**GIRLSDAY-MÄDCHEN-  
ZUKUNFTSTAG AN DER  
UNI STUTTGART:**

Zahlreiche  
Institute und  
Einrichtungen  
hatten  
spannende  
und  
verblüffende  
Aktionen für

Am ISW fand  
eine  
Maschinen-  
hallenrallye  
statt und man  
konnte einen  
Schlüsselanhänger  
mit selbstentworfenem  
Motiv und dazu  
selbst  
geschriebenem  
NC-Programm  
herstellen.



# 3.6 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 Studienarbeiten verliehen.

Die feierliche Verleihung findet alljährlich an der Weihnachtsfeier des Instituts statt



Studierende aus dem 3. Semester entwickelten im Rahmen einer Projektarbeit am Institut einen Tischkicker-Spieler, der einen in Echtzeit simulierten Tischkicker steuerte. Als Höhepunkt der Veranstaltung traten die virtuellen Spieler der Studententeams am Ende des Semesters in einem Turnier gegeneinander an.



Die Siegermannschaft erhält einen Gutschein



# 3.7 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.

2014

### AUFGABENANGEPASSTE, KONTROLLIERTE OBERFLÄCHENEXTRAKTION AUS 3D-COMPUTER-TOMOGRAPHIEDATEN.

**Kroll, Julia**

Mit der industriellen Computertomographie (CT) steht der modernen Qualitätssicherung ein Instrument zur Verfügung, das die zerstörungsfreie und vollständige Erfassung von Bauteilen ermöglicht. Als Ergebnis liefert sie 3D-Volumendaten mit allen geometrischen und materialbezogenen Strukturen, welche die Basis für verschiedenste Anwendungsbereiche der Qualitätskontrolle darstellen. Deshalb wird die CT heutzutage bereits an vielen Stellen im Produktentstehungsprozess zur Qualitätsprüfung, aber auch zunehmend für die dimensionelle Messung von Bauteilen eingesetzt. Um derartige messtechnische Auswertungen durchführen zu können, bedarf es der Bestimmung von 3D-Oberflächendaten, welche die Materialgrenzen des zu untersuchenden Bauteils beschreiben. Aktuelle Standard-

verfahren hierzu weisen in der Praxis jedoch entscheidende Nachteile auf, die dazu führen, dass die CT als Messverfahren für viele Bauteiltypen und Mess- und Prüfaufgabenstellungen bislang nicht anwendbar ist oder einer Vielzahl zusätzlicher Bearbeitungsschritte bedarf, um speziellen Anforderungen gerecht zu werden.

In dieser Arbeit wird ein neuartiges Vorgehen zur Extraktion von 3D-Oberflächen aus CT-Daten entwickelt, welches es ermöglicht, regionsabhängig und an die jeweilige Mess- oder Prüfaufgabe angepasste Grenzflächen zu ermitteln. Ziel ist es, dass der Anwender nach Eingabe der für seine Messaufgabe relevanten Anforderungen direkt das passende Oberflächenmodell erhält. Sowohl Vor- als auch Nachbearbeitungsschritte werden hierbei überflüssig. Die Anzahl der Eingabeparameter soll gering und benutzerfreundlich gehalten und, wenn möglich, automatisiert werden.

Dieses Verfahren zur kontrollierten, aufgabenangepassten Oberflächenextraktion aus volumetrischen CT-Daten bietet die Möglichkeit zur Lösung

einer Vielzahl von messtechnischen Problemstellungen für verschiedene Bauteiltypen und stellt sich damit aktuellen und zukünftigen Herausforderungen an die industrielle CT-Technologie.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 27). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0672-8*

### VERFAHREN ZUR BEWERTUNG VON GREIFERN FÜR PHOTOVOLTAIK-WAFER.

**Fischmann, Christian**

Der enorme Ausbau der Produktionskapazitäten der Photovoltaik-Industrie in den vergangenen Jahren hat auch die Anforderungen an den Maschinen- und Anlagenbau erhöht. Die Automatisierung in der Fertigung von Solarzellen spielt dabei zur Sicherung von Qualität und Ausbeute und somit auch für die Kosten-

aus: Dissertation am Fraunhofer:  
<http://www.ipa.fraunhofer.de/Dissertationen.607.0.html>

reduktion eine entscheidende Rolle. Die sich erhöhenden Materialtransportintensitäten zwischen den einzelnen Prozessschritten stellen dabei eine nicht zu vernachlässigende Herausforderung dar: Die zunehmend dünneren und fragilen Substrate bei verkürzten Zykluszeiten bringen insbesondere die Handhabung an deren physikalische Grenzen.

Vor diesem Hintergrund gewinnt eine Bewertung der Leistungsfähigkeit von Handhabungskomponenten verstärkt an Bedeutung. Die Ausgangssituation zeigt, dass in der Zellfertigung aktueller Fertigungslinien insbesondere die greiferbasierte Handhabung mit Pick-and-Place-Charakter bereits parallel eingesetzt wird, um den hohen Durchsätzen gerecht zu werden. Hierbei muss der Aufnahme- und Ablagevorgang so schnell und schädigungsarm durchgeführt werden, dass sowohl der geforderte Durchsatz, wie auch die erforderliche Qualität erreicht werden können. Durch diese Randbedingungen sind neue und erhöhte Anforderungen an die Greiferauswahl und die optimale Parametereinstellung des eingesetzten Greifers zu stellen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein neues, angepasstes Verfahren für die Leistungsbewertung von Greifern für Silizium-Wafer. Im Vordergrund steht die Entwicklung eines objektiven und herstellerunabhängigen Bewertungsverfahrens für Greifer, die insbesondere in der Zell- und Modulfertigung eingesetzt werden. Das zu entwickelnde Verfahren kann sowohl von Zellherstellern, Anlagen- und Maschinenbauern, aber auch von Komponentenlieferanten eingesetzt

werden. Das daraus resultierende Ergebnis soll eine optimale Entscheidungshilfe für den Anwender darstellen aber auch eine adäquate, neutrale Klassifizierung der getesteten Greifer ermöglichen.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 26). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0666-7*

### **UNTERSTÜTZUNG DER WERKSTÜCKHANDHABUNG KOOPERIERENDER INDUSTRIEROBOTER DURCH KRAFTREGELUNG.**

**Spiller, Alexander**

Kooperierende Industrieroboter weisen Unzulänglichkeiten bei der Handhabung von gemeinsam getragenen, steifen Werkstücken auf. Werkstücke werden durch Kalibrierfehler, begrenzte Bahntreue und Werkstücktoleranzen beim lastteilenden Transport durch kooperierende Roboter unnötigen Verspannungen ausgesetzt. Darüber hinaus werden die Roboter über das erforderliche Maß hinaus belastet und sind einem größeren Verschleiß unterworfen. Durch Kraftregelung kann dieser Effekt reduziert werden.

In der Arbeit wird zunächst eine Analyse des Gesamtprozesses durchgeführt. Teilprozesse werden identifiziert und klassifiziert. Es erfolgt eine simulative Untersuchung des Einflusses von Kalibrierfehlern, Werkstücktoleranzen und Schleppfehlern auf den Hand-

habungsprozess. Anschließend wird ein flexibles Kraftregelungsmodul entwickelt, das während des Greifens, des Transports und des Ablegens eines Werkstücks eingesetzt werden kann. Die Arbeit schließt mit experimentellen Untersuchungen, in denen die Wirksamkeit der entwickelten Strategien bewiesen wird.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 33). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2014 ISBN 978-3-8396-0711-4*

### **3-D-UMGEBUNGS-ERFASSUNG FÜR TEIL-AUTONOME MOBILE ROBOTER.**

**Arbeiter, Georg**

Die Servicerobotik hat in den letzten Jahren sowohl durch kostengünstige Sensorik und Aktorik als auch durch verbesserte Algorithmen einen großen Schritt nach vorne gemacht. Dabei hat sich gerade die Wahrnehmung als eine Schlüsseltechnologie für eine erfolgreiche Weiterentwicklung herauskristallisiert. Leistungsfähige 3-D-Kameras und effiziente Verfahren zur Sensordatenverarbeitung ermöglichen es Robotern, ihre Umwelt wahrzunehmen, zu interpretieren und darauf basierend Handlungen abzuleiten. Trotz dieser Fortschritte ist ein voll-autonomer Betrieb von mobilen Robotern in für Menschen gemachten Umgebungen mittelfristig nicht möglich. Ein Hauptgrund dafür ist die Vielzahl nicht vorhersehbarer Aus-



nahmefälle, mit denen ein Roboter in einem nur teilweise bekannten und dynamischen Umfeld konfrontiert wird.

Diese Arbeit behandelt die Erfassung der Umwelt mit 3-D-Kameras im teil-autonomen Betrieb. Ziel ist es, ein Umgebungsmodell zu erzeugen, das sowohl für die autonomen Funktionen des Roboters wie Navigation oder Manipulation verwendet werden kann als auch eine Hilfe für einen menschlichen Teleoperator bietet. Dadurch stellen sich besondere Anforderungen an die verwendete Repräsentation. Diese muss sowohl vom Roboter als auch vom Bediener verstanden werden. Weiterhin ist die Umwandlung der Sensordaten in die Repräsentation durch ein geeignetes Verfahren ein Kernpunkt dieser Arbeit. Dieses Verfahren muss nicht nur ein Modell der Umwelt mit ausreichender Genauigkeit erzeugen, sondern auch eine entsprechende Verarbeitungsgeschwindigkeit für den Einsatz auf einem Roboter ermöglichen.

Nach der Aufstellung von Anforderungen wird ein Verfahren zur Umerf konzipiert und umgesetzt. Dieses erzeugt ein hybrides Umgebungsmodell, bestehend aus einer Punkte- und einer Geometriekarte. Die Punktrepräsentation kann vom Roboter für die Hindernisvermeidung während Navigation und Manipulation verwendet werden, besitzt jedoch ein großes Datenvolumen und lässt sich schwer visualisieren. Deswegen werden aus den Sensordaten geometrische Primitive abgeleitet und in einer Geometriekarte gespeichert. Dies führt zu einer hohen Datenkompression ohne den Verlust wichtiger Information. Diese Repräsentation

lässt sich gut zu einem menschlichen Bediener übertragen und dort anzeigen.

Die Ableitung geometrischer Basisformen wie Ebenen oder Zylinder nimmt einen Großteil dieser Arbeit ein. Zunächst werden Filter für die von den 3-D-Kameras ausgegebenen Punktwolken betrachtet. Diese können Rauschen eliminieren oder die Dichte der Punktwolke beeinflussen. Im nächsten Schritt werden die Sensordaten in einem gemeinsamen Koordinatensystem registriert. Dies ist notwendig, da sowohl die Sensordaten als auch die Roboterposition mit Fehlern behaftet sind. Die registrierten Punktwolken werden im nächsten Schritt segmentiert. Hierbei kommt ein Verfahren zum Flächenwachstum auf Basis von Normalenvektoren zum Einsatz. Die entstehenden Segmente können anhand geometrischer Eigenschaften in Basisgeometrien klassifiziert werden. Diese werden abschließend in einer Geometriekarte vereint.

Für alle Teilschritte erfolgt eine Evaluierung gegenüber Verfahren aus dem Stand der Technik hinsichtlich Genauigkeit und Rechengeschwindigkeit. Abschließend erfolgt die Validierung der Funktionsweise anhand typischer Innenraumszenen und die Veranschaulichung durch ein Anwendungsbeispiel.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 28). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0674-2*

### EINE WEBBASIERTER INTEGRATIONS- UND TESTPLATTFORM ZUR UNTERSTÜTZUNG DES VERTEILTEN ENTWICKLUNGSPROZESSES VON KOMPLEXEN SERVICE-ROBOTER-APPLIKATIONEN.

**Reiser, Ulrich**

Die Entwicklung von Robotersystemen zeichnet sich aus durch einen immer größeren Anteil der Integration bestehender Technologien unter anderem aus den Bereichen Automatisierungstechnik, Maschinenbau und Informatik. Insbesondere für komplexe Serviceroboter, die in dynamischen und unstrukturierten Umgebungen eingesetzt werden und daher mit einer Vielzahl von Soft- und Hardwarekomponenten ausgestattet sind, werden Methoden zur Vereinfachung der Systemintegration benötigt. Der Bedarf an Abstraktion der Komplexität besteht umso mehr, als diese Systeme in der Regel in multidisziplinären Teams an verteilten Standorten entwickelt werden.

In der vorliegenden Arbeit werden Methoden und Konzepte zur Vereinfachung des Entwicklungs- und Integrationsprozesses von komponenten-basierten Applikationen auf komplexen Servicerobotern mit verteilten Rechnerarchitekturen vorgestellt. Zur Identifikation der Besonderheiten der Roboterentwicklung werden typische Entwicklungsszenarien in der Servicerobotik-Forschung analysiert.

Neben der Konzeption eines Vorgehensmodells für die verteilte Entwicklung und Integration stehen Technologien zur Abstraktion der Deployment-Aktivitäten im Fokus, die die werkzeuggestützte Installation

und Aktualisierung, die Konfiguration für das Zielsystem, die Zielumgebung und eventuelle Nutzerpräferenzen sowie die Bedienung der Applikation umfassen. Durch diese Technologien und Konzepte soll eine Verbesserung der Rollentrennung von Komponentenentwicklern, Applikationsentwicklern und Systemintegratoren sowie die Effizienzsteigerung des Integrationsprozesses durch räumliche und zeitliche Entkopplung der Integrations- und Testaktivitäten erzielt werden.

Als Basis für die Konzeption der abstrakten Deployment-Werkzeuge wird unter anderem eine erweiterbare domänenspezifische Sprache zur Ressourcenmodellierung des Zielsystems „komplexer Serviceroboter“ und eine abstrakte Laufzeitumgebung zum hardwareunabhängigen Zugriff auf Robotersysteme entwickelt. Die einzelnen Deployment-Werkzeuge zur Planung, Installation, Konfiguration und Aktivierung werden in Form einer webbasierten Integrations- und Testplattform als geschlossene Deployment-Werkzeugkette integriert.

Zur quantitativen Evaluierung der entwickelten Werkzeuge wird zunächst eine mathematische Formulierung des Integrationsaufwands auf der Basis von Kostenschätzmodellen der Softwaretechnik erstellt. Mit Hilfe dieser Evaluierungsmethodik wird am Beispiel eines großen Verbundforschungsprojektes die Effektivität der entwickelten Werkzeuge nachgewiesen.

Die räumliche und zeitliche Entkopplung der Integrations- und Testaktivitäten sowie die damit einhergehende Verbesserung der Rollentrennung der

einzelnen Entwickler wird durch graphische Auswertungen anschaulich belegt.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 29). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0675-9*

### **AUTONOME SENSORSONDEN FÜR MOBILE ÜBERWACHUNGSROBOTER UND DEREN AUSBRINGSTRATEGIEN.**

**Pfeiffer, Kai**

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Erweiterung des Nutzens von mobilen Überwachungsrobotern. Durch den Einsatz von autonomen Sensorsonden wird die zeitgleich überwachte Fläche bzw. Grenzlinie von Überwachungsrobotern signifikant vergrößert.

Dieses System umfasst Sensorsonden, Ausbringeinheiten, mit denen Überwachungsroboter Sonden positionieren und nach dem Einsatz wieder aufnehmen können, sowie Algorithmen zur Bestimmung der optimalen Position der Sonden je nach Einsatzfall. Für die Sonden wurde eine Schnittstelle konzipiert, die es den Ausbringeinheiten ermöglicht, sowohl einen eventuellen Offset in horizontaler Richtung beim Aufnehmen der Sonden auszugleichen, als auch eine mögliche Verdrehung der Sonde ohne die Verwendung zusätzlicher Sensoren oder Aktoren zu korrigieren. Weiterhin wurden kommerziell verfügbare Kom-

ponenten für die Ausrüstung der Sensorsonden untersucht. Für die Ausbringeinheiten wurde ein effizientes Konzept zur Aufbewahrung und Handhabung der Sensorsonden entwickelt, das den Einsatz von Sensoren und Aktoren auf ein Minimum beschränkt und bei der Handhabung mit einem einzigen Freiheitsgrad auskommt.

Zur Steuerung der Ausbringeinheiten durch Überwachungsroboter wurde eine über Ethernet kommunizierende Ablaufsteuerung entwickelt. Für die effiziente Positionierung der Sonden wurden zwei Verfahren, Genetische Algorithmen und Gridmap mit Greedy-Algorithmus, ausgewählt und an das Problem angepasst. In einer eigens entwickelten Simulationsumgebung wurden die Parameter beider Verfahren optimiert und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Zur Quantifizierung des Mehrnutzens durch Sensorsonden für Überwachungsroboter wurde die Größe der mittleren Abdeckung eingeführt. Beim Vergleich zwischen dem Einsatz eines Überwachungsroboters alleine und mit Sensorsonden wurde eine Verbesserung der mittleren Abdeckung um das 4,3- bis 7,5-fache nachgewiesen. Somit wurde eine effiziente Erweiterung für mobile Überwachungsroboter entwickelt, welche deren Überwachungsleistung signifikant steigern kann.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 32). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und*



*Fertigungseinrichtungen,  
Diss. 2014  
ISBN 978-3-8396-0708-4*

### **ENTWICKLUNG EINES ROBUSTEN VERFAHRENS ZUR FARBBESTIMMUNG VON ZÄHNEN AUF BASIS SPEKTRALER DATEN.**

**Pflüger, Marius**

In der heutigen Gesellschaft hat das Aussehen einen immer größeren Stellenwert. Entsprechend kritisch werden deshalb unpassende Farbausprägungen beim Zahnersatz gesehen. In der Praxis wird die Zahnfarbe hierfür meist visuell mithilfe von Farbringen bestimmt, was jedoch fehleranfällig ist.

Diese Arbeit befasst sich deshalb mit der Entwicklung eines Verfahrens zur automatischen Bestimmung der Zahnfarbe mit Hilfe spektraler Messdaten sowie der Integration in den spektralen Smart-Sensor VITA Easyshade. Kernelement ist die Entwicklung eines mehrstufigen Prognosemodells für die Zahnfarbe auf Basis von künstlichen Neuronalen Netzen, welches anhand realer Messdaten trainiert wird. Als vorgelagertes Verfahren wurde ausserdem eine Methode entwickelt, um die realen Messdaten hinsichtlich Ihrer Tauglichkeit für das Modelltraining automatisch zu bewerten und inkonsistente Daten ausschleusen zu können. Zur Steigerung der Ergebnisqualität wurde für die Prognoseergebnisse zudem eine Plausibilitätsprüfung durch Nachbarschaften im Farbraum konzipiert und umgesetzt.

Zur Evaluierung der ausgewählten Lösungsansätze konnte im Rahmen der Arbeit

auf fast 4000 spektrale Messungen an Zähnen von Probanden zurückgegriffen werden. Die Validierung des Verfahrens zeigte, dass anhand definierter Kriterien die Prognosegüte im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren um knapp 40 % gesteigert werden konnte.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag,  
2014 (Stuttgarter Beiträge zur  
Produktionsforschung; 31).  
Stuttgart, Univ., Fak. Kon-  
struktions-, Produktions- und  
Fahrzeugtechnik, Inst. für  
Steuerungstechnik der  
Werkzeugmaschinen und  
Fertigungseinrichtungen,  
Diss. 2014  
ISBN 978-3-8396-0698-8*

### **SEMANTISCHE WIKI-SYSTEME IN DER WANDLUNGSFÄHIGEN PRODUKTION.**

**Zapp, Matthias**

Europäische Produktionsunternehmen nehmen weltweit eine führende Rolle bei der Herstellung von qualitativ hochwertigen und an Kundenanforderungen angepassten Gütern ein. Zur Erhaltung und zum Ausbau ihrer Wettbewerbsfähigkeit müssen diese Unternehmen die Attraktivität ihres Angebots und ihre Reaktionsfähigkeit auf die sich immer schneller ändernden Anforderungen und Marktbedingungen kontinuierlich verbessern. Hierzu müssen die eingesetzten Produktionssysteme, als soziotechnische Gesamtsysteme, über Wandlungsfähigkeit verfügen. Dies verlangt, zum einen, nach flexiblen und rekonfigurierbaren Maschinen in der Produktion und, zum anderen, nach leistungsfähigen und flexibel einsetzbaren Mitarbeitern. Diese benötigen für die Lösung von

immer komplexeren und schneller wechselnden Aufgabenstellungen ein gestiegenes Maß an Daten, Informationen und Wissen, welches in unterschiedlichen Kontexten anwendbar ist.

Als Folge steigt die Bedeutung von Methoden und Werkzeugen zur Verbesserung des Wissensmanagements in produzierenden Unternehmen. Am Markt existiert bereits eine Vielzahl von IT-Werkzeugen zum Wissensmanagement, die jedoch in der Produktion und insbesondere in KMU auf Grund ihrer fehlenden Flexibilität und Anpassbarkeit sowie wegen ihres hohen Ressourcenbedarfs nicht verbreitet sind. Für die Verbesserung des Wissensmanagements der Mitarbeiter in der Produktion sind Systeme zu entwickeln, welche die spezifischen Anforderungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen und in KMU erfüllen.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Lösungskonzept stellt einen Bauplan und einen Leitfaden für die Entwicklung organisationsspezifischer semantischer Wissensmanagementsysteme in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU dar. Die Systemarchitektur beschreibt die Systemkomponenten des Wissensmanagementsystems und ordnet diese anhand von drei funktionalen Ebenen an. In der Präsentations- und Anwendungsebene wird ein Semantisches Wiki-System eingesetzt. Dieses ermöglicht den Mitarbeitern die flexible Erfassung, die semantische Verknüpfung und die Anfrage von heterogenen Informationsobjekten. Für die Unterstützung komplexerer Arbeitsabläufe können zudem Anwendungsmodule als Web-



Anwendungen entwickelt und in das Wiki-System integriert werden. Die mit der Präsentations- und Anwendungsebene verbundene Integrations- und Auswertungsebene umfasst eine semantische Middleware, welche alle im System vorhandenen Informations- und Datenobjekte verknüpft und auswertet. Das System verwendet hierfür ein Wissensmodell. Dieses wird als Ontologie implementiert und umfasst die Metadaten der Systemdomäne, deren semantische Verknüpfungen sowie formalisiertes maschinenverständliches Expertenwissen in Form von Regeln. Die Extraktions- und Aggregationsebene als dritte Systemebene besteht aus verteilten semantischen Datenadaptern zur Übertragung und zur semantischen Annotation von Datenobjekten wie Rezepten und Reports aus den Informationssystemen in der Produktion.

Das in dieser Arbeit entwickelte Lösungskonzept wurde anhand von zwei praktischen Fallbeispielen erprobt. Zusätzlich wurde das Lösungskonzept anhand von Anforderungen bewertet, die in Wissenschaft und Praxis diskutiert werden. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die in dieser Arbeit entwickelte Systemarchitektur die Anforderungen in wandlungsfähigen Produktionssystemen bei KMU erfüllt. Insbesondere ist das System flexibel, durch Mitarbeiter in der Produktion anpassbar und hiermit für den Einsatz in turbulentem Umfeld geeignet. Für die Erfassung großer und komplexer Datenmengen aus der Produktions-IT ist das System jedoch in seiner hier vorgestellten Form nicht ausgelegt.

Das komplementäre Vorgehensmodell benennt die

notwendigen Aktivitäten für die Anwendung des Systemkonzeptes in produzierenden KMU. Hierbei stehen die Anpassung des erweiterbaren Wissensmodells und die Anwendung des semantischen Schnittstellenmoduls im Fokus. Die im Vorgehensmodell referenzierten Methoden und Werkzeuge sind für die Anwendung in KMU besonders geeignet und ermöglichen die Entwicklung und Nutzung des Systems mit geringem Ressourcenaufwand.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2014 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 30). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0678-0*

2013

### **KINEMATISCHE MODEL- LIERUNG UND REGELUNG OMNIDIREKTIONALER, NICHT-HOLONOMER FAHRWERKE.**

**Connette, Christian**

In den letzten Jahren verlassen Roboter mehr und mehr ihren Platz hinter Zäunen und Schutzeinrichtungen. Sie werden Teil des menschlichen Arbeitsumfeldes und Alltagsumfeldes. Zukünftige mobile Roboter müssen daher hinsichtlich Flexibilität, Manövrierbarkeit und Robustheit an die Anforderungen von Alltagsumgebungen angepasst sein. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Bewegungsapparat der Roboter. Nicht-holonome, omnidirektionale Fahrwerke, die aus unabhängig gelenkten

und unabhängig angetriebenen Standardrädern aufgebaut sind, bieten mittelfristig einen soliden Kompromiss zwischen diesen Anforderungen. Aufgrund der für solche Kinematiken typischen nicht-holonomen Bindungen und den daraus erwachsenden Zwangsbedingungen, kommt der koordinierten Ansteuerung der Aktoren bei solchen Fahrwerken eine besondere Bedeutung zu.

Diese Arbeit behandelt die kinematische Modellierung und Regelung der Klasse nicht-holonomer, omnidirektionaler Fahrwerke. Ausgehend von den grundlegenden Arbeiten Campions und Thuilots wird eine Zustandsraumdarstellung entwickelt, welche die aus den nicht-holonomen Bindungen erwachsenden Zwangsbedingungen implizit abbildet. Es wird gezeigt, dass die Repräsentation des Twistes in sphärischen Koordinaten die Basis eines solchen Zustandsraums bildet. Dazu wird gezeigt, dass der sphärische Twist ein lokaler Diffeomorphismus des Momentanpols ist. Es wird ferner gezeigt, dass sich die diesem Zustandsraum inhärenten Singularitäten in hebbare und wesentliche Singularitäten unterteilen lassen. Die hebbaren Singularitäten werden anschließend durch Erweiterung des Zustandsraums und den Entwurf eines Beobachters aufgelöst. Zur Behandlung der wesentlichen Singularitäten werden drei alternative Verfahren entwickelt. So wird ein potentialfeldbasierter und ein modellprädiktiver Regler entwickelt, welche die Vermeidung singularer Konfigurationen sicherstellen sollen. Dazu wird durch die Formulierung eines geeigneten Gütemaßes die Lage der Singularitäten in das Regelgesetz mit einbezogen. Diese



Verfahren implizieren jedoch eine Reduktion des zulässigen Arbeitsraums und damit eine Reduktion der Flexibilität des Systems. Um diese Einschränkungen zu vermeiden, wird ein dritter Ansatz auf Basis einer Reglerumschaltung entwickelt. Dazu wird zunächst gezeigt, dass es möglich ist, durch geeignete Koordinatentransformationen aus dem erweiterten Zustandsraum einen Atlas des vollständigen, zulässigen Konfigurationsraums abzuleiten. Dabei ist dieser Atlas lokal singularitätsfrei. Mit diesem Ansatz ist es erstmals möglich, die volle Flexibilität solcher nicht-holonomen, omnidirektionaler Fahrwerke unter Einhaltung der nicht-holonomen Bindungen zu nutzen.

Die drei vorgeschlagenen Verfahren werden hinsichtlich ihrer Stabilität bzw. der Lösbarkeit der zugrunde liegenden Optimierungsprobleme diskutiert. Abschließend erfolgt ein qualitativer und quantitativer Vergleich der Verfahren untereinander, sowie der Vergleich mit einem weiteren Referenzregler. Der Referenzregler ist dabei so ausgelegt, dass er die Einregelzeiten bzw. die Flexibilität der Plattform optimiert, wobei er eine Verletzung der nicht-holonomen Bindungen in Kauf nimmt. Um die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden alle Ansätze in einer gemeinsamen Simulationsumgebung implementiert. Als Zielsystem wird das Fahrwerk des bei Fraunhofer IPA entwickelten Serviceroboters Care-O-bot® 3 verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass alle drei Verfahren dem Referenzregler hinsichtlich Koordination der Aktoren und Einhaltung der aus den nicht-holonomen Bindungen erwachsenden Zwangsbedin-

gungen deutlich überlegen sind. Erwartungsgemäß zeigt sich ebenfalls, dass das Verfahren auf Basis der Reglerumschaltung das Passieren der singulären Bereiche ohne Verletzung der aus den nicht-holonomen Bindungen erwachsenden Zwangsbedingungen ermöglicht. Damit erlaubt es die volle Flexibilität des Fahrwerks zu nutzen. Erwartungsgemäß zeigt das Verfahren auf Basis der Reglerumschaltung das schnellste Einregelverhalten und kommt dem Referenzregler hier am Nächsten. Damit bietet dieses Verfahren die unter Einhaltung der Zwangsbedingungen höchstmögliche Flexibilität.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 12). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0564-6*

### **UNTERSUCHUNG VON ANTRIEBEN MIT KUNSTSTOFF-FASERSEILEN FÜR DEN EINSATZ IN LEICHTBAU-GELENKARMROBOTERN.**

**Rost, Arne**

Das erste Ziel dieser Arbeit ist die Bestimmung der Einsatztauglichkeit und Dauerhaltbarkeit von hochfesten Kunststoff-Faserseilen, z.B. aus High Modulus Polyethylene (HMPE), bei deren Einsatz mit engen Biegeradien in Seilzugantrieben wie dem DoHelix- oder Verdrill-Muskel (StMA). Aufbauend auf dieser Untersuchung und der Betrachtung ähnlicher Antriebskonzepte

soll als zweites Ziel ein neues Konzept für einen Seilzugantrieb mit für die Service-robotik geeigneten Charakteristika generiert werden. Dieser Antrieb soll als drittes Ziel der Arbeit prototypisch in einem Leichtbau-Gelenkarmroboter (LGR) zum Einsatz gebracht und validiert werden.

Die Analyse zeigt, dass hochfeste Kunststoff-Faserseile bis dato nicht mit engen Biegeradien zum Einsatz kommen. Weiterhin wird festgestellt, dass nur wenige Untersuchungen zu dünnen, hochfesten Kunststoff-Faserseilen mit Durchmessern zwischen 1 mm und 2 mm durchgeführt wurden. Der Bedarf für experimentelle Reihenuntersuchungen wird abgeleitet. Gleichzeitig wird verdeutlicht, dass viele verschiedene Ansätze für Leichtbau-Gelenkarmroboter und deren Antriebe existieren, diese aber zumeist kostenintensiv sind und somit einen Großteil der Hardwarekosten eines mobilen oder stationären Serviceroboters ausmachen. Auf diesen Analysen aufbauend kann ein bis dato nicht adressierter Bereich für die Entwicklung eines neuen, bidirektional-wirkenden Antriebskonzepts mit Seilzügen identifiziert werden. Im Rahmen der Generierung des auf dem DoHelix-Muskel aufbauenden, bidirektional wirkenden QuadHelix-Antriebskonzepts werden Grundlagen zur Auslegung angegeben und der CAD-Entwurf für einen rotatorischen Freiheitsgrad vorgestellt. Die Untersuchungen zur Praxistauglichkeit und Dauerhaltbarkeit des neu generierten QuadHelix-Antriebs und der bereits bestehenden DoHelix- und Verdrill-Muskel-Konzepte werden in einer geeigneten, eigens generierten Testumgebung angegangen. Es werden

nach der Erstellung eines Versuchsplans und einer Versuchsstrategie langlaufende Dauerhaltbarkeit-Versuche und kurzlaufende Belastungs-Versuche mit unterschiedlichen Seilmaterialien und Zuladungen durchgeführt und anschließend ausgewertet.

Für die abschließende Realisierung des Zielsystems eines Leichtbau-Gelenkarmroboters mit vier Freiheitsgraden wird aufbauend auf den hier gefundenen Ergebnissen ein biologisch-inspiriertes Antriebsmodul mit zwei Gelenkachsen entwickelt, das zwei parallel angeordnete QuadHelix-Antriebe zum Einsatz bringt. Wiederum zwei dieser Antriebsmodule, kombiniert mit einem Greifer, ergeben das Zielsystem, mit welchem eine Handhabungsoperation demonstriert wird. Final werden mögliche Ansätze für zukünftige Optimierungen des QuadHelix-Antriebs und des generierten LGRs „ISELLA 2“ dargestellt und mögliche Folgeprojekte erläutert.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 13). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0568-4*

### **VERBESSERUNG DES DYNAMISCHEN VERHALTENS VON VORSCHUBANTRIEBEN DURCH SEMIAKTIVE DÄMPFUNG.**

**Frey, Siegfried**

Die Arbeit stellt ein Verfahren zur Steigerung der Dynamik

von elektromechanischen Vorschubantrieben vor. Ein zusätzliches, semiaktives Dämpfungselement und dessen Einbindung in die Regelstruktur des Antriebssystems ermöglichen eine gezielte und bedarfsgerechte Anpassung der Systemdämpfung. Im Zusammenspiel mit der Vorschubachsregelung führt dies zu einer ganzheitlichen Verbesserung des dynamischen Verhaltens und entsprechend zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit von elektromechanischen Vorschubantrieben

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 24). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2013 ISBN 978-3-8396-0648-3*

### **MODELLE ZUR AUFGABENGEFÜHRTEN PRODUKTIONSAUSFÜHRUNG IN DER WANDLUNGSFÄHIGEN PRODUKTION.**

**Hoffmeister, Michael**

Der Produktionssektor in der Europäischen Gemeinschaft steht vor der Aufgabe, immer mehr kundenindividuelle Produkte steigender Komplexität bei gleich bleibenden Beschäftigungszahlen zu produzieren. Wandlungsfähige Produktionssysteme sollen preisgünstige Produkte hoher Qualität herstellen, sich aber auch schnell auf veränderte Gegebenheiten hinsichtlich Produktvarianten, Materialien und Fertigungsprozesse einstellen.

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, diese Veränderungs-

prozesse und damit die Zeit bis Markteintritt für neue Produktvarianten zu beschleunigen. Dazu wird die Veränderung als Fertigungsaufgabe begriffen, welche gegen das ganze Fertigungssystem gestellt wird und möglichst automatisiert abzarbeiten ist.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen wurde ein dezentraler Lösungsansatz gewählt, welcher sowohl notwendige Simulations- und Bewertungsinstrumente als auch die Parametrierung der Prozesse (Ableitung der Kontrollrezepte) auf die einzelnen Fertigungsanlagen verteilt. Produktionsplanung, -ausführung und die Einbindung der Anlagen werden mittels einem durchgängigen Daten- und Qualitätsmanagement verbunden. Ein Synchronisationsverfahren sichert die Aufrüstung des Fertigungssystems auf Basis universeller, modularer und kompatibler Anlagenteile.

Die erarbeiteten Konzepte werden durch drei Fallbeispiele aus Automobilbau, Luftfahrzeugbau und Elektroindustrie validiert. Eine beschleunigte Planung und Simulation neuer Produktvarianten, eine überlappende Produktion dieser Varianten und Operationen- und Routing-Flexibilität wird nachgewiesen. Die Rekonfigurierbarkeit der Gesamtsysteme und eine umfassende Qualitätserfassung werden demonstriert.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 8). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2012 ISBN 978-3-8396-0530-1*



2012

**NEURO-FUZZY-  
MODELLIERUNG ZUR  
UMFASSENDE  
PROZESSÜBERWACHUNG  
AM BEISPIEL DES  
ULTRASCHALLSCHWEISSENS  
VON KUNSTSTOFFTEILEN.**

**Neher, Joachim**

In Deutschland rechnet sich eine Fertigung oft nur noch für komplexe Produkte. Die benötigten Fertigungsprozesse sind zunehmend automatisiert und verkettet. In gleichem Maße steigt der Bedarf an Systemen zur Prozessüberwachung.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Aufbau eines Prozessüberwachungssystems auf der Basis von erfassten Sensordaten aus dem Fertigungsprozess. Einerseits ermöglicht das System eine Qualitätsprognose. Andererseits können geänderte oder unbekannte Zustände, die ihre Ursache in Veränderungen im überwachten Prozess oder in Prozessen der vorausgehenden Prozesskette haben können, erkannt werden.

Kernelement dabei ist die Prozessmodellierung auf Basis von „general regression neuro-fuzzy networks“ (GRNFN), welche klassische Neuronale Netze mit Elementen von Fuzzy-Systemen verbinden. Die Eigenschaften der Modellstruktur werden detailliert untersucht. Anschließend werden die GRNFN-Modelle um einige neue Fähigkeiten erweitert. So ist es möglich, neben dem sonst auf Versuchsdaten basierenden Trainingsprozess auch vorhandenes Expertenwissen in Form von Fuzzy-Regeln direkt zu integrieren. Des Weiteren werden Indika-

toren zum Erkennen unbekannter Zustände erarbeitet.

Durch systematische Versuchsreihen sowie die Analyse von Signalvarianzen können Kenngrößen abgeleitet werden, welche in Form der sogenannten Zustandsvektoren einen Fingerabdruck für jeden Fertigungszyklus bilden. Zudem werden verschiedene Methoden beschrieben, die der Optimierung der erzielbaren Modellgüte dienen.

Am Beispiel des Ultraschallschweißens wird das entwickelte System zur Prozessüberwachung sowohl an einem speziell entwickelten Probekörper als auch an Praxisbauteilen verifiziert und die Leistungsfähigkeit nachgewiesen. Neben der Prognose der Schweißnahtqualität können auch Änderungen des Werkstoffs, Variationen des vorgelagerten Spritzgießprozesses sowie Veränderungen des Feuchtegehalts, die auf eine veränderte Lagerung zurückzuführen sind, sicher erkannt werden.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2012 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 1). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2011 ISBN 978-3-8396-0424-3*

**PARTIKEL-SCHWARM-  
OPTIMIERUNG ZUR  
OBJEKTLAGERKENNUNG  
IN TIEFENDATEN.**

**Ledermann, Thomas**

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines flexiblen

und fehlertoleranten Systems zur Objektlageerkennung mit Tiefendaten für die Anwendung im Schmiede- und Gießereibereich. Das Erkennungssystem ermöglicht die automatisierte Entnahme von typischen Objekten aus dem Schmiede- und Gießereibereich, die sortenrein in einem Haufen angeliefert werden, mit einem Roboter. Hierzu wurde der Einsatz des noch jungen Forschungsgebiets der Partikel-Schwarm-Optimierung (PSO) untersucht und für den Einsatz zur Objektlageerkennung nutzbar gemacht werden.

Ausgehend vom Stand der Technik wurden typische Einsatzszenarien für die Entnahme von Objekten aus einer Kiste im Gießerei- und Schmiedebereich hinsichtlich ihrer Randbedingungen an ein System zur Objektlageerkennung analysiert. Als Objekte dienten hierbei Getriebewellen, Hohlringe und Getriebedeckel. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Genauigkeitsanforderungen bei der Lageerkennung und die Anforderungen an die Objektbeschreibung für den Einsatz mit der Partikel-Schwarm-Optimierung gelegt. Diese Analyse lieferte die Anforderungen an ein PSO-basiertes System zur Objektlageerkennung. Weiterhin wurden Teilsysteme definiert und der Einfluss der Anforderungen an die Teilsysteme diskutiert.

Auf Basis der erarbeiteten Anforderungen wurden grundlegende Lösungsansätze für die einzelnen Teilsysteme betrachtet und zu einer Gesamtkonzeptlösung zusammengeführt. Vorrangig erschien hier die grundlegende Untersuchung eines wissensbasierten Verfahrens zur histogramm-

basierten Bewertung eines Schwarmpartikels. Hierfür wurde der 3-D-Sensor modelliert und die geeignete Erstellung von Tiefen- und Normalenvektorhistogrammen erarbeitet. Um das Gesamtsystem an unterschiedliche Objekte anpassen zu können, wurde ein Tool zur Erstellung der benötigten Histogramme für die Wissensbasis erstellt.

Um die Praxistauglichkeit der Entwicklungen zu bestätigen, wurde zum Abschluss der Arbeit eine Roboterzelle mit einem Tiefensensor aufgebaut und das Verfahren zur Objektlageerkennung hinsichtlich seiner Zuverlässigkeit untersucht. Als Testobjekte kamen die Getriebewellen zum Einsatz, die aus einer Kiste entnommen und auf einer Prismaablage positioniert wurden.

*Heimsheim: Jost-Jetter, 2012 (IPA-IAO Forschung und Praxis; 523).  
Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2011  
ISBN 978-3-939890-97-3*

### **IDENTIFIKATION VON WILLKÜRSIGNALEN ZUR BEWEGUNGSKONTROLLE EINER BEINPROTHESE.**

**von Rosenberg, Harald**

Diese Arbeit stellt ein Verfahren zur adaptiven Steuerung und Regelung von Prothesen vor, wobei an einem Muskel eines Prothesenträgers eine Vielzahl von Muskelaktivitätssignalen gemessen wird.

Parallel sollen Zustandsinformationen aus der Bewegung

des Prothesenträgers ermittelt werden, aus denen der aktuelle Bewegungszustand bestimmt wird.

Mit diesen Informationen werden aus den Muskelaktivitätssignalen mit Hilfe eines Verfahrens zur Detektion von Signalmustern Muskelaktivitätsmerkmale extrahiert.

Anschließend wird aus den extrahierten Muskelaktivitätssignalen unter Berücksichtigung des aktuellen Bewegungszustandes das medizinische Willkürsignal, das einen Bewegungswunsch des Prothesenträgers repräsentiert, bestimmt. Es kann zur Ansteuerung oder für die Regelung einer aktiven Prothese verwendet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Erkennen und Unterscheiden der Bewegungszustände zu einer Steigerung der Genauigkeit des Erkennungssystems führt. Die Bewegungserkennung und Prädiktion ermöglicht eine zusätzliche Filterung und Plausibilisierung der Steuerkommandos, bevor diese an die Aktorik geleitet werden.

Der Signalraum der EMG-Merkmale aus der Muskelaktivität kann bewegungszustandsabhängig stark in seiner Dimension reduziert werden, und wenige Merkmale bilden den Haupteinfluss des Merkmalsvektors, der bei der Klassifikation verwendet wird. Der Klassifikator in Form einer Support-Vector-Machine liefert akkurate Erkennungsergebnisse, wenn dieser auf jeden Bewegungszustand angepasst wird. Ferner lässt sich ein Großteil der inneren und äußeren Merkmale des Erkennungssystems, das sich aus Bewegungszustandsdetektion

und Muskelsignalerfassung zusammensetzt, verallgemeinern.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2012 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 3).  
Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2012  
ISBN 978-3-8396-0435-9*

### **VERFAHREN ZUM FLÜSSIGKEITSBASIERTEM VEREINZELN KONTAMINIER- TER PHOTOVOLTAIKWAFER.**

**Reddig, Kevin**

Der Erfolg der Photovoltaik in Deutschland und der Welt basiert derzeit auf der indirekten Subventionierung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und vergleichbare Instrumente in anderen Regionen. Auch unter der Prämisse, dass der derzeitige Gestehungspreis für konventionell erzeugte Elektrizität die realen Kosten, bedingt durch mögliche zukünftige Umweltschäden und Ressourcenknappheit, nur unzureichend widerspiegelt, sind weitere Kostensenkungen in der Produktion unabdingbar. Durch den hohen Kostenanteil der Wafer am Modul liegt in der Waferfertigung das größte Kostensenkungspotential. Die Vereinzelung feuchter Siliziumwafer ist aus Durchsatz- und Qualitätsaspekten ein wichtiger Schritt in der Fertigung. Durch die hohe Bruchgefahr bei der Handhabung von Wafern kann die Vereinzelung auch wesentlich zur Kostenreduktion beitragen.

Die in Literatur und Patenten beschriebenen Verfahren sind



derzeit noch nicht in einem ausgereiften Zustand, um die Vereinzelung von Wafern sicher und zuverlässig durchzuführen. Daher sind weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung nötig, um die derzeitigen und zukünftigen Anforderungen zu erfüllen. Gleichzeitig muss das Verständnis über die Vorgänge bei der Vereinzelung sowie die Einflüsse auf den Wafer weiter vertieft werden. Insbesondere das Schädigungspotential der Vereinzelung auf den Wafer bestimmt die Auslegung eines solchen Systems in besonderem Maße.

Die vorliegende Arbeit analysiert zunächst die Ausgangssituation in der derzeitigen Waferproduktion. Die Umgebung in der Waferproduktion ist geprägt durch eine Vielzahl von Einflüssen, besonders durch flüssige Betriebsstoffe wie der Slurry oder auch den Reinigungsmedien. Die zu vereinzelnden Wafer sind fragile und spröde Substrate welche in dieser Umgebung verarbeitet werden müssen. Entsprechend vielseitig ist der derzeitige Stand der Technik zur Vereinzelung, welcher größtenteils in Patentschriften beschrieben ist. Zur weiteren Entwicklung eines Vereinzelungsverfahrens wird die Aufgabe weiter analysiert. Durch Versuche in einer realen Fertigungsumgebung erscheint die Vereinzelung vom Stapel als vielversprechender Ansatz. Die Fragilität des Substrats führt zu der Überlegung, Flüssigkeitsstrahlen zur Vereinzelung der Wafer einzusetzen. Damit soll eine schonende Handhabung der Wafer erzielt werden. Das Prinzip dieser Vereinzelung vom Stapel wird dann zunächst in einem Modell beschrieben und entsprechend berechnet.

Zur Überprüfung und Validierung des Modells wird zunächst ein Versuchsstand entwickelt an welchem die Einflüsse der Flüssigkeitsstrahlen auf den Wafer detailliert untersucht werden können. Die Erkenntnisse aus dem Betrieb des Versuchsstandes fließen in die Konstruktion eines Prototypen ein. Gleichzeitig können die Einstellungen des Prototypen anhand der Ergebnisse aus den Versuchsreihen initial eingestellt werden. Die Tests mit dem Prototypen zeigen eine prinzipielle Machbarkeit des Verfahrens. Weiterer Bedarf in Forschung und Entwicklung liegt in der Optimierung von Verfahren im industriellen Umfeld. Eine hohe Zuverlässigkeit bei der Vereinzelung bei gleichzeitig störungsunempfindlichem Betrieb sind dabei wichtige Indikatoren für den Erfolg von Vereinzelungsverfahren. Technologisch kommen weitere Anforderungen auf die Waferbehandlung zu. Der Trend zu dünneren Wafern (kleiner als 180–210  $\mu\text{m}$ ) ist derzeit durch die gesunkenen Kosten für das reine Silizium nicht mehr der zentrale Fokus der Entwicklung. Sobald jedoch weitere Kostensenkungspotentiale an anderer Stelle realisiert werden können, wird die Dicke der Wafer vermutlich wieder an Bedeutung zunehmen. Möglicherweise werden auch größere Waferformate (größer 200 mm Kantenlänge) in Zukunft in die Massenfertigung eingeführt werden.

Die Verfahren und Anlagen müssen dann entsprechend angepasst werden. Eine weitere einflussreiche Entwicklung kann die Umstellung Slurry-basierter Trennverfahren auf alternative Technologien darstellen. Insbesondere das Sägen mit Diamantdraht (mit

Industriediamanten besetzter Schneidendraht) wird die Vereinzelung vor neue Herausforderungen stellen, da sich die Oberflächeneigenschaften damit ändern.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2012 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 4). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2012 ISBN 978-3-8396-0441-0*

### **HANDHABUNG VON OBERFLÄCHENSENSITIVEN GLASOBJEKTTRÄGERN.**

**Teichert, Andreas**

Deutschland befindet sich neben den USA in einer Vorreiterrolle für technische Entwicklungen. Die Branchen der Biotechnologie und Medizintechnik erleben durch diesen Fortschritt zurzeit einen rasanten Wandel. Die technische Unterstützung im medizinischen Alltag steht im Mittelpunkt aktueller Forschungsarbeiten. Als Grundlage von mikroskopischen Untersuchungen werden beispielweise oberflächenfunktionalisierte Glasobjektträger verwendet. Um diese technischen Hilfen nutzen zu können, ist es zwingend erforderlich, dass die Glasobjektträger von sehr hoher Qualität sind. Sie müssen daher nach der Produktion hochrein und unversehrt sein, um die Ergebnisse der Untersuchungen nicht zu verfälschen.

Die heutige Produktion stößt dabei schnell an ihre Grenzen. Denn manuelle Arbeitsabläufe besitzen derzeit einen großen

Anteil an den Herstellungsprozessen und Handhabungsaufgaben. Der Mensch ist ein entscheidender Faktor bei der Herstellung von funktionalisierten Glasobjektträgern.

Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines automatisierbaren Verfahrens zur Handhabung oberflächensensitiver Glasobjektträger. Dieses sollte unter Beachtung der Anforderungen an Reinheit und Unversehrtheit, den Transport oberflächensensitiver Glasobjektträger zwischen und während den einzelnen Fertigungsschritten ermöglichen.

Das Hauptaugenmerk bei der Entwicklung dieses Transportsystems lag darauf, dass alle das Werkstück beeinflussende Kräfte ohne mechanischen Kontakt, also vollständig berührunglos, übertragen werden.

Das entwickelte Transport-Flow-Pipe-Verfahren entspricht diesen Anforderungen. Es bietet die Möglichkeit, in Kombination mit flexiblen und kontaktlosen Prozessen, die Produktion von oberflächensensitiven Werkstücken in einer eigenen Schutzatmosphäre außerhalb von Reinräumen zu automatisieren. Außerdem können durch einen anpassungsfähigen Aufbau auch Werkstücke und Bauteile anderer Formen und Ausprägungen transportiert werden. Diese können unregelmäßig oder sogar formlabil sein.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2012 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 7). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen,*

*Diss. 2012  
ISBN 978-3-8396-0488-5*

### **AUSLEGUNG VON MULTIDOMÄNEN-SYSTEMEN – ANALYSE, MODELLIERUNG UND REALISIERUNG VON MECHATRONISCHEN SYSTEMEN AM BEISPIEL EINER AKTIVEN KNIETPROTHESE.**

**Budaker, Bernhard**

In der vorliegenden Arbeit wird die Konzeption, Entwicklung und energetische Analyse einer aktiv angetriebenen Knieprothese beschrieben. Die Arbeit ist Teil der Forschungsaktivitäten „Aktive Antriebe für Prothesen und Orthesen“ am Fraunhofer IPA. Die Analyse und Auslegung des Antriebsstrangs einer aktiv angetriebenen Knieprothese wird betrachtet.

Die Ableitung der technischen Anforderungen an ein aktiv angetriebenes Prothesensystem wird am Beispiel des Knieprothesensystems durchgeführt. Das Erarbeiten von Parametern für das Antriebssystem im Prothesensystem wird in Anlehnung an Motorauslegungsmethoden durchgeführt. Es werden sogenannte charakteristische Kennlinienfelder für die Bewegung am Knie definiert. Verschiedene mechanische Konzepte für die kinematische Umsetzung der aktiven Bewegung am Knie werden erarbeitet. Die Umsetzung der aktiven Bewegung mit einem EC-Motor-Getriebe-Konzept wird beschrieben.

Es werden Ansätze zur Modellierung von Multidomänen-Systemen am Beispiel der aktiv angetriebenen Knieprothese diskutiert. Hierzu wird die Modellierung der

Knieprothese im Zustandsraum, mittels Bondgraphentheorie und Port-Hamilton-Methode, beschrieben. Die Simulation der aktiven Knieprothese wird anhand des Zustandsraummodells und des Port-Hamilton-Modells durchgeführt. Charakteristische Parameter des Gangzyklus werden mittels eines eigens für die Arbeit aufgebauten Prüfsystems abgeprüft und mit den Simulationsergebnissen verglichen.

Schließlich wird ein Ausblick für weitere Arbeiten auf dem Gebiet der aktiv angetriebenen Prothesensysteme gegeben.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2012 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 6). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2012  
ISBN 978-3-8396-0479-3*

### **VERFAHREN ZUM SEMANTISCH UNTERSTÜTZTEN ANLAGENANLAUF VON MONTAGESYSTEMEN.**

**Konrad, Konstantin**

Das entwickelte Verfahren enthält ein mit semantischen Technologien abgebildetes Modell der Montagedomäne (Anlage, Prozess, Produkt). Dabei werden die strukturellen Informationen modelliert, und zusätzlich heterogene Konfigurations- und Messdaten ‚online‘ erfasst und gespeichert. Als weiteres Teilmodell werden Erfahrungen verantwortlicher Mitarbeiter maschinenlesbar abgelegt. Diese Modellteile können in-

tegriert angefragt werden und stellen somit für den Anlagenanlauf hilfreiche Datensätze problemspezifisch zur Verfügung. Das dazugehörige Verfahren bietet eine schrittweise Handlungsanleitung zur Spezifikation, Erzeugung, Integration und nachhaltigen Nutzung eines solchen Systems.

*Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2012 (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung; 5). Stuttgart, Univ., Fak. Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik, Inst. für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Diss. 2012  
ISBN 978-3-8396-0455-7*



# 3.8 HOCHSCHULKONTAKTE

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



University of California in Berkeley, USA



Technical University of Cluj-Napoca, Rumänien



University of Michigan in Ann Arbor, USA



Katholieke Universiteit Leuven, Belgien



University of Utah in Salt Lake City, USA



Supélec Paris, Frankreich



Auckland University, Neuseeland



University of Bath, England



Massey University, Neuseeland



Hefei University of Technology, China



University of British Columbia in Vancouver, Kanada



Tongji University Shanghai, China



Lund University, Schweden



Technical University of Peking, China



Staatliche Technische Universität Moskau, Russland



ETH Zürich, Schweiz



Staatliche Technische Universität St. Petersburg, Russland

...



University of Wollongong, Australien

Stipendiatenprogramme mit ausländischen Hochschulen können durch die ISW-eigene Gottfried-Stute-Stiftung finanziert werden.



# 4 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

## 4.1 MITGLIEDSCHAFTEN

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



### **cecimo**

Comité de coopération des industries de la machine-outil



### **VDW**

Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.



### **IZST**

Interuniversitäres Zentrum für Medizinische Technologien  
Stuttgart – Tübingen (IZST)



### **CIRP**

College International pour la Recherche en Productique/  
The International Academy for Production Engineering



### **IFR**

International Federation of Robotics



### **EXAPT**

Verein zur Förderung des EXAPT  
(EXTended Subset of APT)-Systems e. V.



### **GI**

Gesellschaft für Informatik e.V.



### **VDE**

Verband der Elektrotechnik, Elektronik  
und Informationstechnik e.V.



**PI International**

Profibus (Process Field Bus) & Profinet (Process Field Network) International



**SI/SERCOS**

sercos international e. V./  
Serial Realtime Communication System



**VDMA**

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.



**VDI**

Verein Deutscher Ingenieure e.V.



**Kompetenznetzwerk Mechatronik**

Kompetenznetzwerk Mechatronik BW e.V.



**WGP**

Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik



**DFAM**

Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V.



**OPC Foundation**

Object Linking and Embedding for Process Control (OPC) Foundation



**TC Computational Kinematics**

IFTToMM Technical Committee of Computational Kinematics



**WGMHI**

Wissenschaftliche Gesellschaft Montage, Handhabung und Industrierobotik e. V.



## 4.2 MITARBEIT AN SELBSTVERWALTUNGS- AUFGABEN DER UNIVERSITÄT

### PROF. DR.-ING. A. VERL

- » Mitglied des Fakultätsrats (bis 4/14)
- » Studiendekan des Studiengangs „Mechatronik“ (bis 4/14)
- » Transfer Unit SimTech „Cluster of Excellence“

### PROF. DR.-ING. P. KLEMM

- » Mitglied des Fakultätsrats
- » Studiendekan der Studiengänge „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“ (ab 4/14)
- » Prüfungsausschussvorsitzender der Studiengänge „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“ und „Automatisierungstechnik in der Produktion (Dipl.-Ing.)“
- » Vorsitzender des Zulassungsausschusses des Studienganges „Mechatronik (M.Sc.)“
- » Mitglied der Stipendienkommission für das Deutschlandstipendium
- » Vorstand der Graduiertenschule GSaME und Clusterdirektor Cluster G (Intelligente Produktionseinrichtungen)

### DIPL.-ING. M. SEYFARTH

- » Mitglied der Studienkommissionen „Automatisierungstechnik in der Produktion“ und „Mechatronik (B.Sc./M.Sc.)“
- » Studiengangbeauftragter, Studiengang „Mechatronik“ und „Automatisierungstechnik in der Produktion“
- » Stundenplanbeauftragter, Studiengang „Mechatronik“ und „Automatisierungstechnik in der Produktion“
- » Mitglied des Zulassungsausschusses, Studiengang „Mechatronik“
- » Bafög-Beauftragter, Studiengang „Mechatronik“ und „Automatisierungstechnik in der Produktion“

# 4.3 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 – Vorstandsvorsitzender
- » DFG-Großgeräteausschuss – Gutachter
- » DFG-Fachkollegium „Produktion“ – Mitglied
- » Fraunhofer Gutachterausschuss für interne Programme – Mitglied
- » Fraunhofer-Verbund Produktion – Mitglied
- » FTK – Fertigungstechnisches Kolloquium – 2006, 2008 und 2010 – Konferenz-Vorsitzender
- » GfT – Gesellschaft für Fertigungstechnik, Stuttgart – Chairman

» GSaME – Graduate School of Excellence in advanced Manufacturing Engineering – Mitglied

» IFR – International Federation of Robotics – Chairman of Research Committee

» IMS – Institut für Mikroelektronik, Universität Stuttgart – Mitglied des Kuratoriums

» ISR – International Symposium on Robotics

» SERCOS International – Vorstandsmitglied

» SPS/IPC/DRIVES-Konferenz - Komitee-Vorsitzender

» SimTech – Industriekonsortium im Exzellenzcluster „Simulation Technology“ – Stellv. Vorstandsvorsitzender

» SimTech Cluster of Excellence – Stuttgart Research Centre for Simulation Technology – Principal Investigator

» VDI-Wissensforums Robotik 2008 und 2010 – Vorsitzender

» WGP – Wissenschaftlichen Gesellschaft Produktion – Mitglied

» WGP – Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktion – Fachgruppe Robotik und Montage – Gruppensprecher

**PROF. DR.-ING. P. KLEMM**

- » Beirat des EXAPT-Vereins
- » Vorstand der Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP)
- » Professor des Chinesisch-Deutschen Hochschulkollegs der Tongji-Universität, Shanghai

**PROF. DR.-ING. G. PRITSCHOW**

- » Stiftungsbeirat der Arthur-Fischer-Stiftung
- » Mitglied der CIRP (Internationale Forschungsgemeinschaft für mechanische Produktionstechnik)
- » Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP, früher HGF)
- » Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften

» Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

» Stellvertr. Vorstandsmitglied der Deutschen Akademie für Technikwissenschaften (acatech)

» Kuratoriumsvorsitzender der Eugen und Irmgard Hahn Stiftung (INDEX)

### **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

» Geschäftsfeldleiter Elektronik & Mikrosysteme

### **DIPL.-ING. J. SCHLECHTENDAHL**

» Mitarbeit in der TWG sercos III Communication

» Mitarbeit in der TWG sercos III IP-Communication

» TWG Communication, TWG Drive, sercos Steering Committee

» Leiter TWG sercos III Conformance

» Mitarbeit in der TWG sercos safety

» Mitarbeit in OPC Foundation

» Mitarbeit VDW Arbeitskreis

### **DIPL.-ING. MARKUS BIRKHOLO**

» Leiter des Arbeitskreises Security in Automation

### **DR.-ING. K.-H. WURST**

» Mitarbeit im Inter-universitären Zentrum IZST

### **DIPL.-ING. P. EBERSPÄCHER**

» Mitarbeit in IEC TC 65: Industrial-process measurement, control and automation

» Mitarbeit JWG 14: Energy Efficiency in Industrial Automation (EEIA)

» Mitarbeit Development of ISO 20140-5: Automation systems and integration – Evaluating energy efficiency and other factors of manufacturing systems that influence the environment – Part 5: Environmental influence evaluation data

» Mitarbeit Development of Technical Report: IEC/TR 62837: Energy efficiency through automation systems

» Mitarbeit VDI 4597 „Rahmenrichtlinie Ressourceneffizienz – Grundlagen Bewertungsmethoden“

### **DIPL.-ING. J. FRIEDRICH**

» Mitarbeit bei VDI/VDE-GMA FA 7.21 Industrie 4.0 – Begriffe, Referenzmodelle, Architekturkonzepte

### **JUNIORPROF. A. POTT**

» Mitglied im Technical Committee (TC) „Computational Kinematics“ bei IFTOMM



# 4.4 AKTIVE TEILNAHME AN MESSEN UND AUSSTELLUNGEN

## SPS/IPC/DRIVES, NÜRNBERG

- » Cloudplug
- » Institutsstand Industrie 4.0

## HMI HANNOVER MESSE, HANNOVER

- » SERCOS III Conformizer

## AUTOMATISIERUNGSTREFF, BÖBLINGEN

- » SERCOS Workshop



GEMEINSAMER MESSESTAND DES ISW MIT DEM FRAUNHOFER IPA UND DER ISG

# 5 MASCHINENAUSSTATTUNG

Das ISW verfügt über einen vielseitig einsetzbaren Maschinenpark.

## WERKZEUGMASCHINEN:

- » CNC Fräsmaschine Maho MH800E Arbeitsbereich: X800 Y450 Z500 mm<sup>3</sup>
- » DMG DMC 650V
- » Exeron Digma HSC600 5-Achs CNC Fräsmaschine Arbeitsbereich: X650 Y550 Z400 mm<sup>3</sup>
- » Hermle UWF 3-Achs CNC Fräsmaschine Arbeitsbereich: X850 Y630 Z500 mm<sup>3</sup>
- » Index V100 vertikale CNC Drehmaschine mit Parallelkinematik
- » 7-Achs CNC „Modellfräsmaschine“
- » Traub TNE300 CNC Drehmaschine
- » Universalfräsmaschine Deckel FP3A Arbeitsbereich: X500 Y300 Z400 mm<sup>3</sup>

## ROBOTER:

- » Kuka KR125
- » Kuka KR60
- » Stäubli TX40
- » 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 230 mm Spitzenweite 1000 mm
- » Horizontalflachschleifmaschine Blohm Schleiflänge 700 mm Schleifbreite 350 mm Schleifhöhe 425 mm

## SONSTIGE AUSSTATTUNG:

- » Koordinatenmessgerät Zeiss Prismo 7
- » Versuchsstände Kugelgewindetrieb
- » Versuchsstand Zahnstange-Ritzelantrieb
- » Versuchsstand „Kleine Werkzeugmaschine“



KUKA-Roboter-Bearbeitungszelle



Detailsicht Exeron-Maschine



Versuchsstand Zahnstange-Ritzel-Antrieb

# 6 VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE

## VERÖFFENTLICHUNGEN

2014

**Schlechtendahl, J.; Keinert, M.; Kretschmer, F.; Lechler, A.; Verl, A.:**  
*Making Existing Production Systems Industry 4.0-Ready.*  
*Production Engineering Research and Development. Berlin Heidelberg: Springer, 2014.*

**Batke, Ch.:**  
*Die gedruckte Werkzeugmaschine für die Mikrofertigung.*  
*WGP Jahreskongress, Erlangen, 09.–10.09.2014.*

**Mottahedi, M.; Lechler, A.:**  
*Modellbasiertes Condition Monitoring mit optiSLang: Ursache und Wirkung.*  
*CAD/FEM Journal (01.2014), S. 44–45.*

**Voß, M.; Lechler, A.:**  
*Serviceorientierung in der Automatisierungstechnik.*  
*Ingenieurspiegel (2014), Nr. 3, S. 8–9.*

**Pott, A. u. a.:**  
*Industrieroboter und Handhabungsgeräte.*  
*Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren.*  
*München: Hanser, 2014, 316–336*

**Friedrich, Ch.; Lechler, A.:**  
*Automatisierung von Instandhaltungsaufgaben- Höhere Verfügbarkeit durch den Einsatz von Servicerobotern.*  
*Ingenieurspiegel 2014.*

**Lapusan, C.; Fodor, F.; Csiszar, A.; Verl, A.; Brisan, C.:**  
*Aspects concerning the modeling of robots with increased dexterity.*  
*Proceedings of the joint conference of the 45th International Symposium on Robotics (ISR 2014) and the 8th German Conference on Robotics (ROBOTIK 2014). Munich: VDE, 2014, 1–6.*

**Brisan, C.; Boanta, C.; Csiszar, A.; Verl, A.:**  
*Aspects Concerning Kinetostatic Properties of Parallel Robots.*  
*Proceedings of the joint conference of the 45th International Symposium on Robotics (ISR 2014) and the 8th German Conference on Robotics (ROBOTIK 2014). Munich, Germany: VDE Verlag, 2014, 1–6.*

**Schlechtendahl, J.; Kretschmer, F.; Lechler, A.; Verl, A.:**  
*Communication Mechanisms for Cloud based Machine Controls.*  
*Variety Management in Manufacturing Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Elsevier: Procedia CIRP, 2014, Volume 17, Pages 830–834.*

**Keinert, M.; Lechler, A.; Verl, A.:**  
*Multicore-CNC. Partitionierung numerischer Steuerungen zur Ausführung auf Multicore-Processoren.*  
*VDI-Berichte 2231, Automation 2014, 01. + 02.07.2014, Baden-Baden, ISBN 978-3-18-098831-7. Düsseldorf: VDI Verlag, 2014, pp. 903–918.*

**Batke, Ch.; Wurst, K.-H.; Lechler, A.; Verl, A.:**  
*The printed machine tool for micro machining.*  
*WGP Congress 2014. Erlangen: Trans Tech Publications, ISBN: 978-3-03835-245-7, 2014, S. 433–440.*

**Coupek, D.; Verl, A.; Lechler, A.; Aichele, J.; Junker, S.:**  
*Defect Reduction in the Production of Electric Drives by Downstream Compensation and Space-Resolved Inspection.*  
*Proceedings of the 4th International Electric Drives Production Conference. Nürnberg: IEEE Catalog Number CFP1485P-PRT, 2014, 411–418.*

**Eberspächer, Ph.; Schraml, Ph.; Schlechtendahl, J.; Verl, A.; Abele, E.:**  
*A Model- and Signal-based Power Consumption Monitoring Concept for Energetic Optimization of Machine Tools.*  
*Procedia CIRP, 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering, DOI: 10.1016/j.procir.2014.06.020. Trondheim: Elsevier, 2014, 44–49.*

**Friedrich, Ch.; Stanicki, A.; Bröcker, M.; Lechler, A.; Verl, A.:**  
*A Robust Algorithm for Autotuning Controllers in Mechatronic Modules.*  
*Advanced Materials Research Vol. 1018. WGP Congress 2014 Erlangen: Trans Tech Publications TTP, 2014, pp. 451–458.*

**Friedrich, Ch.; Lechler, A.; Verl, A.:**  
*Autonomous systems for maintenance tasks-requirements and design of a control architecture.*  
*Procedia Technology, 2nd International Conference on System-Integrated Intelligence SysInt: Challenges for Product and Production Engineering. Bremen: Elsevier, 2014, pp. 745–754.*

**Birkhold, M.; Lechler, A. u. a.:**  
*Industrie 4.0 – Chance für die Umformtechnik.*  
*In: VDI-Z 156 (2014) Nr. 6 – Juni, S. 28–31.*

**Coupek, D.; Gülec, A.; Lechler, A.; Verl, A.:**  
*Selective rotor assembly using fuzzy logic in the production of electric drives.*  
*Procedia CIRP, 9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. Naples: Elsevier, 2014.*

**Friedrich, J.; Scheifele, S.; Verl, A.; Lechler, A.:**  
*Flexible and Modular Control and Manufacturing System.*  
*Procedia CIRP. Neapel: Elsevier, 2014.*



## 2013

**Coupek, D.; Friedrich, J.; Verl, A.;**

**Lechler, A.:**

*Modular Information Sharing Platform for Real-Time Data Processing and Knowledge Extraction in Modern Production Systems. In: Management of Technology Step to Sustainable Production (MOTSP). Bol, Croatia: -, 2014.*

**Friedrich, J.; Hartmann, H.; Verl, A.;**

**Lechler, A.:**

*Continuous Learning Support Vector Machine to estimate Stability Lobe Diagrams in Milling. Proceedings of the 24th International Conference on Flexible & Intelligent Manufacturing. San Antonio: DEStech Publications, 2014, 641–648.*

**Keinert, M.; Kaiser, B.; Lechler, A.;**

**Verl, A.:**

*Analysis of CNC Software Modules regarding Parallelization Capability. Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. Lancaster Pennsylvania: DEStech Publications, 2014, pp. 79–86.*

**Verl, A.; Lechler, A.:**

*Steuerung aus der Cloud. Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, 235–24.*

**Zahn, P.; Laptev, I.; Verl, A.:**

*Konzept offener Regler: FPGA in der Antriebstechnik. In: atp edition 56 (2014), Nr. 06, S. 26–33.*

**Lechler, A.; Eberspächer, Ph.;**

**Birkhold, M.:**

*Steuerungstechnische Methoden zur effizienten Produktion. Liewald, Mathias (Hrsg.): Neuere Entwicklungen in der Blechumformung, 13.–14.05.2014, Fellbach. Frankfurt: Werkstoff-Informationsgesellschaft mbH, 2014, 73–88.*

**Lechler, A.; Eberspächer, Ph.;**

**Birkhold, M.:**

*Control based methods for an efficient production. New Developments in Sheet Metal Forming. Frankfurt: Werkstoff-Informationsgesellschaft mbH, 2014, 73–87.*

**Karim, A.; Verl, A.:**

*Challenges and obstacles in robot-machining ISR 2013: The 44th International Symposium on Robotics, Seoul, Korea Oct. 24–26, 2013. Taipei, Taiwan: International Federation of Robotics u. a., 2013, Paper FP3-6, 4 S.*

**Lechler, A.:**

*Open Architecture Laperrière L., Reinhart G. (Ed.) CIRP Encyclopedia of Production Engineering: SpringerReference (www.springerreference.com); Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2013*

**Frey, S.; Verl, A.:**

*Selective Friction Damping of High Performance Feed Drives ICPR 22*

**Neyrinck, A.; Verl, A.:**

*Methode zum simulationsbasierten Effizienzvergleich im baukastenbasierten Engineering Brecher, Christian (Hrsg.): Effiziente Produktion; Düsseldorf: VDI Verlag.*

**Schlechtendahl, J.; Lechler, A.;**

**Verl, A.:**

*Steuern aus der Cloud Computer und Automation 11-2013*

**Neyrinck, A.; Verl, A.:**

*Effiziente Erzeugung von Simulationsmodellen für den Variantenvergleich von Maschinen und Anlagen Georg Frey, Walter Schumacher und Alexander Verl (Hg.): Elektrische Automatisierung – Systeme und Komponenten; Internationale Fachmesse und Kongress. SPS IPC Drives. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag*

**Reboredo, P.; Keinert, M.:**

*Integration of Discrete Manufacturing Field Device Data and Service based on OPC UA Proceedings of the IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IEEE Industrial Electronics Society, pp. 4474-4479, 2013*

**Friedrich, J.; Verl, A.:**

*In-process Control for Adaptive Spindle Speed Variation and Selection Proceedings of International Conference on Advance Manufacturing Engineering and Technologies NEWTECH 2013, pp. 117–126, Stockholm, Schweden, 2013*

**Dripke, C.; Friedemann, G.;**

**Keinert, M.; Verl, A.:**

*A New Approach to Interpolation of Tool Path Trajectories with Piecewise Defined Clothoids M.F. Zaeh (ed.), 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2013), Munich, Germany 2013, Springer International Publishing Switzerland 2014, DOI: 10.1007/978-3-319-02054-9\_42*

**Abel, M.; Heinze, T.:**

*Die rekonfigurierbare Maschine Computer und Automation*

**Hoffmeister, H.-W.; Gerdas, A.;**

**Verl, A.; Wurst, K.-H.; Heinze, T.;**

**Batke, C.:**

*Investigations of a small Machine Tool with CFRP-frame Euspen*

**Hoffmeister, H.-W.; Gerdas, A.;**

**Wurst, K.-H.; Verl, A.; Heinze, T.:**

*Entwicklung eines Leichtbau-Werkzeugmaschinenstells aus CFK mit Hilfe der Finiten-Elemente*

**Schlechtendahl, J.; Lechler, A.;**

**Verl, A.:**

*Skalierbare Rechenleistung für die Automation IT & Production 09-2013*

**Coupek, D.; Verl, A.; Aichele, J.;**

**Colledani, M.:**

*Proactive Quality Control System for Defect Reduction in the Production of Electric Drives. Proceedings of the 3rd International Electric Drives Production Conference; Nürnberg: IEEE Catalog Number CFP1385P-PRT, 2013, 440–445*

**Birkhold, M.; Pauli F.-B.; Lechler, A.;**

**Verl, A.:**

*Zündende Ideen in der Umformtechnik www.bbr.de*

**Friedrich, J.; Verl, A.:**

*Adaptive spindle speed variation to improve process stability Proceedings of the 22th International Conference in Production Research (ICPR 22), Foz Do Iguacu, Brasilien, 2013*

**Wulfsberg, J.-P.; Verl, A.; Wurst, K.-H.;**

**Grimske, S.; Batke, C.; Heinze, T.:**

*Modularity in small machine tools Production Engineering Special Issue 2013*

**Birkhold, M.; Pauli, F.-B.:**

*Vom Blech zum Halter in einem Tool*  
*Industrieanzeiger 17-2013, S. 34–35*

**Birkhold, M.; Lechler, A.:**

*Steuerungskonzept ohne Sicherheitslücken*  
*messtec drives Automation 5-2013*

**Birkhold, M.; Abel, M.; Verl, A.:**

*Introducing an automated reconfiguration mechanism for flexible metal forming systems using a web service-based architecture approach*  
*22nd International Conference on Production Research*

**Birkhold, M.; Verl, A.:**

*Reducing the Development Time of Flexible Metal Forming Tools using Hardware-in-the-loop Simulation*  
*CARV 2013 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*

**Birkhold, M.; Pauli, F.-B.; Lechler, A.; Verl, A.:**

*On The Development Of Transformable Sheet Metal Forming Tools*  
*15th IFAC symposium on Control, Optimization and Automation in Mining, Mineral and Metal Processing*

**Abel, M.; Klemm, P.:**

*Flexible SOA based Platform for Research on Start-up Procedures for Reconfigurable Production Machines*  
*Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems, 493–505, Springer Verlag, ISBN: 978-3-319-00556-0*

**Eberspächer, P.; Verl, A.:**

*Realizing Energy Reduction of Machine Tools Through a Control-integrated Consumption Graph-based Optimization Method*  
*Procedia CIRP, Volume 7, 2013, Pages 640645; Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013; <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.046>*

**Verl, A.; Lechler, A.; Wesner, S.; Kirstädter, A.; Schlechtendahl, J.; Schubert, L.; Meier, S.:**

*An Approach for a Cloud-based Machine Tool Control*  
*Procedia CIRP, Volume 7, 2013, Pages 682–687, ISSN 2212-8271*

**Eberspächer, P.; Verl, A.:**

*ECOMATION Energieeffiziente Steuerung von Werkzeugmaschinen*  
*Tagungsband des VDI Wissensforum 02FO079004 Energieeffizienz in der Produktion vom 19.03.13 bis 20.03.13 in Stuttgart*

**Haag, H.; Eberspächer, P.; Siegert, J.; Bauernhansl, T.; Verl, A.:**

*Energieoptimierung in der spanenden Fertigung -Energieverbrauch von der Planung bis zur optimalen Steuerung reduzieren*  
*wt Werkstattstechnik online 103 (2013), Nr. 5, S. 410–415*

**Abel M.; Klemm P.:**

*Flexible Plattform für die Erforschung von automatisierten Inbetriebnahmeprozessen für rekonfigurierbare Produktionsmaschinen nach dem Konzept Universal Plug and Produce*  
*AALE Konferenz 2013 Stralsund*

**Keinert, M.:**

*OPC UA – eine Positionsbestimmung*  
*Computer und Automation 5-2013, S. 46–49.*

**Neyrinck, A.; Kaupp, M.; Verl, A.:**

*Fähigkeitenbasierte Variantenerzeugung für den simulativen Anlagenvergleich*  
*wt Werkstattstechnik online 103 (2013), Nr. 5, S. 444–448*

**Lechler, A.; Keinert, M.; Eberspächer, P.; Batke, C.; Schlechtendahl, J.:**

*Analyse von Anwendungsfällen für OPC-UA als einheitliche Schnittstelle für Maschinendaten (OPC-UA)*  
*Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V. (DFAM), Studie Nr. 9/2013, Frankfurt 2013, ISBN: 978-3-8163-0645-0.*

**Zahn, P.; Laptev, I.; Verl, A.:**

*FPGA in der Antriebstechnik – Konzepte für offene Reglersysteme am Beispieleiner aktiv angetriebenen Knieprothese*  
*10. AALE-Konferenz, Stralsund, 28.02–1.03.2013: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, 2013 (Tagungsband 10. Fachkonferenz)*

**2012**

**Mottahedi, M.; Roeck, S.; Verl, A.:**

*Simulation-based Parameter Identification for Online Condition Monitoring of Spindle Nut Drive*  
*ISDT 2012, Mallorca*

**Mottahedi, A. A., Mottahedi, M.:**

*Simulation of Metal Flat Strip in Rolling Technology,*  
*ICIII 2012, Singapore*

**Mottahedi, A. A., Mottahedi, M.:**

*Effect of Melt Temperature in Aluminum Foam Process on Decomposition of Titanium Hydride*  
*ICAMAME 2011, Tokyo*

**Verl, A.; Krüger, J.; Lechler, A.;**

**Apprich, S.:**  
*Mensch-Maschine-Kooperation*  
*CDFK 2012 Chinesisch-Deutsches Fertigungstechnisches Kolloquium, China, Shanghai, 16.–17. Oktober, 2012.*

**Birkhold, M.; Schlechtendahl, J.:**

*Sicherheit in der cloud-basierten Steuerungstechnik*  
*interaktiv – Das Kundenmagazin des Fraunhofer IPA 2.2012*

**Birkhold, M.; Verl, A.:**

*Research Approaches Enabling Transformability for the Metal Forming Industry*  
*Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, Volume 2 Part 1, 146-150, DOI: 10.3182/20120910-3-JP-4023.00034*

**Reuß, M.; Dadalau, A.; Verl, A.:**

*Friction Variances of Linear Machine Tool Axes*  
*3rd CIRP Conference on Process Machine Interactions*

**Schlechtendahl, J.; Sommer, P.;**

**Eberspächer, P.; Verl, A.:**  
*Automated Linkage of Consumption Models and Control Information in Control Systems*  
*Leveraging Technology for a Sustainable World 2012, Proceedings of the 19th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, University of California at Berkeley*

**Rahäuser, R.; Eberspächer P.;**

**Schlechtendahl, J.; Klemm, P.;**  
**Verl, A.; Meier, M.:**  
*Total energy saving analysis method for coolant supply systems*  
*10th Global Conference on Sustainable Manufacturing GCSM, Turkey, Istanbul, 21. Oktober, 2012*

**Rahäuser, R.; Meier, M.; Klemm, P.:**

*Offene Potentiale im Kühlschmierstoffkreislauf*  
*wt Werkstattstechnik online, Ausgabe Mai 2012, Seite 299–305*

**Salinas, L.; Klemm, P.:**

Methode zur automatisierten modellgestützten Maschinendiagnose.  
wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 102 (2012) H.5

**Neyrinck, A.:**

Simulationsgestützte Berücksichtigung von Varianten bei der Konzeption von Maschinen und Anlagen – SimVar  
Newsletter des Kompetenznetzwerk Mechatronik BW, Feb./März 2012

**Buck, R.; Lewek, J.; Verl, A.:**

Funktionales Engineering: Unterstützung firmenübergreifender Engineeringprozesse  
Internationales Forum Mechatronik 2012, Tagungsband S. 95–114, Tiroler Zukunftsstiftung, Innsbruck, 2012

**Buck, R.; Litto, M.:**

Durchgängige Auftragsbearbeitungsprozesse für Maschinen und Anlagen vom Vertrieb bis zur Inbetriebnahme  
Fertigungstechnisches Kolloquium FTK 2012, Produktionstechnik für den Wandel S. 205–226, Gesellschaft für Fertigungstechnik, Stuttgart, 2012

**Keinert, M.; Verl, A.:**

Smartphone-Anwendungen im Bereich der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter  
Frey, G.; Schumacher, W.; Verl, A. (Hrsg.): SPS/IPC/Drives 2012, Internationale Fachmesse und Kongress 27.–29. Nov. 2012, Nürnberg, Berlin: VDE Verlag GmbH, 2012, S. 187–195

**Hoher, S., Verl, A.:**

Multi-Simulator-Materialflussimulation für die virtuelle Inbetriebnahme  
Frey, G.; Schumacher, W.; Verl, A.: SPS/PCDRIVES 2012 Tagungsband, S. 387–396, VDE Verlag

**Gerlach, O.; Borrelli, D.; Verl, A.:**

Steuerung und Regelung mit konventionellem Ethernet

**Verl, A.; Lechler, A.;****Schlechtendahl, J.:**

Glocalized cyber physical production systems  
Production Engineering Research and Development, Springer, December 2012, Volume 6, pp. 643–649

**Verl, A.; Krüger, J.; Lechler, A.;****Hägele, M.:**

Mensch-Maschine-Kooperation

Fertigungstechnisches Kolloquium FTK 2012,

Produktionstechnik für den Wandel  
S. 103–154, Gesellschaft für Fertigungstechnik, Stuttgart, 2012

**Lechler, A.; Schlechtendahl, J.;****Leurs, L.; Verl, A.:**

Make CIP Safety Your Safety Protocol  
Industry Conference & 15th Annual Meeting of ODVA, October 16-18 2012, Stone Mountain, Georgia, USA

**Schlechtendahl, J.; Eberspächer, P.;****Verl, A.:**

Model based consumption monitoring and control  
FAIM2012 Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Helsinki, Finnland, 06.2012

**Verl, A.; Frey, S.:**

Improvement of Feed Drive Dynamics by Means of Semi-active Damping  
Annals of CIRP Vol. 61/1

**Verl, A.; Frey, S.:**

Electromagnetic Friction Damper for the Use in Linear Motion Systems  
Actuator

**Frey, S.; Groh, K.; Verl, A.:**

Semi-active Damping of Drive Systems  
Journal of Vibration and Control

**Frey, S.; Dadalau, A.; Verl, A.:**

Expedient Modelling of Ball Screw Feed Drives  
Production Engineering WGP Vol. 6/2

**Schlechtendahl, J.; Eberspächer, P.;****Haag, H.; Verl, A.; Westkämper, E.:**

Framework for Controlling Energy Consumption of Machine Tools  
EcoProduction and Logistics, EcoProduction, (Golinska, P.) DOI: 10.1007/978-3-642-23553-5\_10, pp. 155–168, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013

**Verl, A.; Wurst, K.-H.; Hoffmeister,****H.-W.; Heinze, T.; Gerdas, A.:**

Kleine Werkzeugmaschinen für kleine Werkstücke - Neuer Gestaltungsansatz durchkooperative Bewegung  
wt Werkstattstechnik online, 11/12

**Verl, A.; Hoffmeister, H.-W.;****Gerdas, A.; Heinze, T.:**

Kompakte Maschinenmodule für kleine Werkzeugmaschinen  
VDI-Z, Ausgabe 9/12, Springer-VDI-Verlag

**Heinze, T.; Koch, S.; Verl, A.:**

Adaptive Friction Bearings  
Actuator 2012, 13th International Conference on New Actuators, p. 166-169, WFB Wirtschaftsförderung Bremen, Juni 2012

**Apprich, S.; Huf, A.; Verl, A.:**

Steigerung der Ressourceneffizienz durch die ganzheitliche Betrachtung von flexiblen Produktionsanlagen  
Ressourceneffiziente Produktion S. 7–21, ISBN 978-3-18-368402-1, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2012

**Keinert, M.; Verl, A.:**

System Platform Requirements for High Performance CNCs  
Proceedings of the FAIM 2012 22nd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, June 10th-13th, 2012, Helsinki, Finland

**Schlechtendahl, J.; Sommer, P.;****Eberspächer, P.; Verl, A.:**

Automated Linkage of Consumption Models and Control Information in Control Systems  
Leveraging Technology for a Sustainable World 2012, Proceedings of the 19th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, University of California at Berkeley, Berkeley, USA, May 23–25, pp. 387-391, Springer-Verlag, DOI: 10.1007/978-3-642-29069-5

**Eberspächer, P.; Haag, H.; Rahäuser,****R.; Schlechtendahl, J.; Verl, A.;****Bauernhansl, T.; Westkämper, E.:**

Automated Provision and Exchange of Energy Information throughout the Production Process  
Leveraging Technology for a Sustainable World 2012, Proceedings of the 19th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, University of California at Berkeley, Berkeley, USA, May 23–25, pp. 381-386, Springer-Verlag, DOI: 10.1007/978-3-642-29069-5

**Dadalau, A.; Verl, A.:**

Modeling linear guide systems with CoFEM – experimental validation  
Production Engineering Research and Development (WGP), DOI: 10.1007/s11740-012-0377-7

**Voß, M.; Verl, A.:**

Konzept zur energieeffizienten Steuerung von Regalbediengeräten  
VDI Fortschrittsbericht, 2012

**Voss, V.; Verl, A.:**

Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz von Roboteranwendungen  
Ressourceneffiziente Produktion. In: Brecher, C. (Hrsg.): Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 684, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2012; S. 22–33

**Neyrinck, A.; Verl, A.:**

Optimale Maschinen und Anlagen durch Simulation von Varianten in der Konzeptionsphase.  
In: Automation 2012: 13. Branchentreff der Mess- und Automatisierungstechnik, 13. und 14. Juni 2012, Baden-Baden. Düsseldorf: VDI Verlag, 2012

# VORTRÄGE

## 2014

**Scheifele, S.; Friedrich, J.; Lechler, A.; Verl, A.:**

*Modular Production System for Flexible and Localized Production.*  
MOTSP2014, Croatia, 2014.

**Scheifele, S.; Friedrich, J.; Lechler, A.; Verl, A.:**

*Flexible, self-configuring control system for a modular production system.*  
SysInt2014, Bremen, 2014.

**Jens Friedrich:**

*Flexible and Modular Control and Manufacturing System.*  
9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering – CIRP ICME 14.

**Friedrich, J.:**

*Modular Information Sharing Platform for Real-Time Data Processing and Knowledge Extraction in Modern Production Systems.*  
Management of Technology – Steps to Sustainable Production (MOTSP).

**Friedrich, J.:**

*Continuous Learning Support Vector Machine to estimate Stability Lobe Diagrams in Milling.*  
24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM), San Antonio.

**Christian, F.:**

*Ein robustes Verfahren zum Autotuning von Reglern in mechatronischen Modulen.*  
WGP Congress 2014 Erlangen, 09. – 10.09.2014.

**Mottahedi, M., Lechler, A.:**

*Topologisch optimierte Bauteile für generative Fertigungsverfahren.*  
ANSYS Conference, Zürich, 18.9.2014.

**Coupek, D.:**

*Selective rotor assembly using fuzzy logic in the production of electric drives.*  
9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Naples, 22.07. – 25.07.2014.

**Friedrich, Ch.:**

*Autonomous systems for maintenance tasks-requirements and design of a control architecture.*  
SysInt 2014, Bremen, 02.07. – 04.07.2014.

**Höhr, S.:**

*Datenverarbeitung in der Umformtechnik – Ein Konzept für die Produktionstechnik von morgen.*  
ABS-Treffen 2014, Stuttgart, 27.06.2014.

**Kretschmer, F.:**

*Teilnehmerverwaltung und -zuordnung innerhalb einer cloudbasierten Steuerungsplattform.*  
ABS-Treffen 2014, Stuttgart, 27.06.2014.

**Mottahedi, M., Verl, A., Lechler, A.:**

*Simulationsbasierte Condition Monitoring durch Modellkalibration, Nürnberg, Juni 2014. ACUM, Nürnberg, 06.2014.*

**Schlechtendahl, J.; Zhiqian, S.;**

**Kretschmer, F.; Xu, X.; Lechler, A.:**  
*Study of network capability for cloud based control systems*  
24th International Conference on FAIM, San Antonio, 20. – 23.05.2014

**Mottahedi, M.:**

*Modellkalibration in optiSlang.*  
CADFEM-Infotag, Stuttgart, 8.5.2014.

**Keinert, M.:**

*Untersuchung von NC-Steuerungen auf Parallelisierbarkeit.*  
Parallel 2014, Karlsruhe, 5. – 7.05.2014.

**Schlechtendahl, J.; Kretschmer, F.;**

**Lechler, A.; Verl, A.:**  
*Communication mechanisms for cloud based machine controls*  
47th CIRP CMS, Windsor, 28. – 30.04.2014.

**Atmosudiro, A.; Lechler, A.; Verl, A.;**

**Macias, T.:**  
*Automatic Conformance Test Generation based on a Verified Model of a Bus System Standard*  
Stuttgart 25. – 28.03.2014, Fraunhofer Verlag, 2014 (The 8th International Conference on Digital Enterprise Technology.)

**Schlechtendahl, J.:**

*Funktionsweise und Zertifizierung CIP Safety on Sercos*

*Automatisierungstreff – IT&Automation 2014, Böblingen, 26.03.2014.*

**Birkhold, M.; Bauer, J.:**

*Sicherheit in der Automatisierungstechnik nach BSI IT – Grundschatz, geht das?*  
1. IT-Grundschatz-Tag 2014, Berlin, 13.02.2014.

## 2013

**Schlechtendahl, J.:**

*Cloudbasierte Maschinen- und Anlagensteuerung*  
SPS/IPC/Drives 2013, Internationale Fachmesse und Kongress; Nürnberg, 26. – 28.11.2013

**Lechler, A.:**

*Cloud-based Control Mechanisms for Manufacturing*  
Auckland-Fraunhofer Workshop; Auckland, New Zealand, 29. – 31.10.2013

**Zahn, P.:**

*FPGA-basiertes offenes Reglersystem mit hybrider Architektur*  
Lageregelseminar 2013; Stuttgart, 16.10.2013

**Schlechtendahl, J.:**

*Automatisieren mit der Cloud – zwei Anwendungsbeispiele*  
Steuerungstechnisches Forum;  
ISW – Universität Stuttgart, 15. – 16.10.2013

**Keinert, M.:**

*Vernetzung von Steuerung und HMI-Anwendungen durch OPC UA*  
Innovationstage 2013, Steuerungstechnisches Forum STF (ISW); Stuttgart 15.10.2013

**Batke, C.; Wurst, K.-H.; Verl, A.:**

*Die gedruckte Werkzeugmaschine*  
6. Kolloquium Mikroproduktion;  
Braunschweig, 08.10.2013  
Shaker Verlag Aachen 2013,  
ISBN 978-3-8440-2243-8

**Keinert, M.; Pruscek, P.:**

*Aufwertung von HMI-Systemen durch Design, Austauschbarkeit und Intelligenz*  
marcus evans, Innovative Systemtechnologie  
HMI; Sindelfingen 24. – 25.09.2013

**Coupek, D.:**

Ausschussreduzierung und Defektkompensation in mehrstufigen Produktionssystemen  
ABS; Berlin, 12.07.2013

**Lechler, A.:**

Industrie 4.0: Maschinensteuerung in der Cloud  
wvib-Chefsache: Industrie 4.0 – die Fabrik der Zukunft; Stuttgart, 27.06.2013

**Schlechtendahl, J.:**

An Approach for a Cloud-based Machine Tool Control  
Proceedings of the 46th CIRP conference on Manufacturing System; Setubal, Portugal, 28.–31.05.2013

**Lechler, A.:**

Trends in der Steuerungstechnik der Fertigungseinrichtungen – Potentiale in der Intralogistik  
Viastore; Stuttgart, 28.05.2013

**Rahäuser, R.:**

Energieeffizienzsteigerung der Kühlschmierstoffversorgung in der spanenden Fertigung  
GSaME Jahrestagung 2013; Stuttgart, 27.03.2013

**Zahn, P.; Laptev, I.; Verl, A.:**

FPGA in der Antriebstechnik – Konzepte für offene Reglersysteme am Beispiel einer aktiv angetriebenen Knieprothese  
10. AALE-Konferenz;  
Stralsund, 28.02.–01.03.2013

**Zahn, P.:**

Open architecture for controlling an active propelled knee prosthesis.  
Medtec Innovation Forum; Stuttgart, 26.02.2013

**Atmosudiro, A.:**

Test und Zertifizierung von Sercos  
Sercos Anwender-Seminar; Bablingen, 2013

**Mottahedi, M.; Verl, A.:**

Online Condition Monitoring mittels simulationsbasierter Parameteridentifikation  
LRS 2013; Stuttgart, 2013

**Neyrinck, A.:**

Methode zum simulationsbasierten Effizienzvergleich im baukastenbasierten Engineering  
ABS-Treffen 2013 Treffen der Hochschulinstiute IPK Berlin, ISW Stuttgart und dem WZL der RWTH Aachen; Berlin, 2013

**Neyrinck, A.:**

Effiziente Erzeugung von Simulationsmodellen für den Variantenvergleich von Maschinen und Anlagen  
SPS IPC Drives 2013 – Elektrische Automatisierung – Systeme und Komponenten. Internationale Fachmesse und Kongress; 2013

**Mottahedi, M.; Verl, A.; Roeck, S.:**

Numerische Berechnung der Hertzschen Pressung von wälzenden Komponenten  
ACUM2013; Mannheim, 2013

**Friedrich, J.:**

In-process Control for Adaptive Spindle Speed Variation and Selection  
International Conference on Advance Manufacturing Engineering and Technologies  
NEWTECH 2013, pp. 117–126; Stockholm, Schweden, 2013

**Friedrich, J.:**

Adaptive spindle speed variation to improve process stability.  
22th International Conference in Production Research (ICPR 22); Foz Do Iguacu, Brasilien, 2013

**Lopes, J.; Wurst, K.-H.; Verl, A.:**

Industrial Powerline Communication for Machine-tools and Industrial Robots  
International Symposium on Powerline Communication and its Applications, ISPLC 2013; Johannesburg, Südafrika, 2013

**Keinert, M.:**

Smartphone-Anwendungen für den Einsatz im Bereich der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter  
Maschinenbauforum,  
Automation Schweiz 2013; Winterthur, 2013

**Schlechtendahl, J.:**

Energieeinsparung durch intelligente Automatisierung  
SPS/IPC/Drives 2012, Internationale Fachmesse und Kongress; Nürnberg, 27.–29.11.2012

**Buck, R.; Lewek, J.; Verl, A.:**

Dezentrale Konfiguration von Maschinen und Anlagen  
SPS/IPC/Drives 2012, Internationale Fachmesse und Kongress; Nürnberg, 27.–29.11.2012

**Buck, R.:**

Mehr Konfiguration weniger Engineering: Naheliegende Optimierungspotenziale im Maschinen- und Anlagenbau am Beispiel der Harro Höfliger Verpackungsmaschinen GmbH  
SPS/IPC/Drives 2012, Internationale Fachmesse und Kongress; Nürnberg, 27.–29.11.2012

**Eberspächer, P.:**

Eficiencia Energética na Industria- Energieeffizienz in der Industrie  
Fórum Internacional de Energia – SENAI/SP Internationales Energie Forum; Sao Paulo, Brasilien, 17.–19.10.2012

**Eberspächer, P.:**

Eficiencia energética na Produção Industrial- Energieeffizienz bei Fertigungsprozessen  
Fórum Internacional de Energia – SENAI/SP Internationales Energie Forum; Sao Paulo, Brasilien, 17.–19.10.2012

**Verl, A.; Krüger, J.; Lechler, A.;**

**Apprich, S.:**  
Mensch-Maschine-Kooperation  
CDFK 2012 Chinesisch-Deutsches Fertigungstechnisches Kolloquium; China, Shanghai, 16.–17.10.2012

**Neyrinck, A.:**

Steuerungstechniklabor als virtuelle Forschungsplattform  
FTK 2012 – Fertigungstechnisches Kolloquium  
Stuttgart; Stuttgart, 25.–26.09.2012

**Neyrinck, A.:**

Optimale Maschinen und Anlagen durch Simulation von Varianten in der Konzeptionsphase  
Automation 2012: 13. Branchentreff der Mess- und Automatisierungstechnik; Baden-Baden, 13.–14.06.2012

**Voss, V.; Voß, M.:**

Simulationen zur Steigerung der Energieeffizienz  
SimTech Working Committee Manufacturing, 7. Arbeitstreffen, SRC SimTech; 27.04.2012

**Eberspächer, P.:**

Zustandsmodell-basierte Energieverbrauchs-optimierung von Werkzeugmaschinen durch Steuerungstechnik  
Seminar Nichtlineare Optimierung und Inverse Probleme, Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik; Berlin, 24.04.2012

**Verl, A.; Eberspächer, P.;**

**Schlechtendahl, J.:**  
ECOMATION – Energieeffiziente Steuerung von Werkzeugmaschinen  
VDI Wissensforum, Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion; Stuttgart, 08.–09.02.2012

**Mottahedi, M., Verl, A.:**

Numerische Berechnung der Hertzschen Pressung von wälzenden Komponenten  
SimTech WCM2012; Stuttgart, 2012

**Lopes, J.; Wurst, K.H.; Verl, A.:**

Industrielle Powerline Kommunikation für Werkzeugmaschine, Industrieroboter und Fertigungszellen  
Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung, AALE 2012; Aachen, 2012

**Lechler, A.; Schlechtendahl, J.;**

**Leurs, L.; Verl, A.:**  
Make CIP Safety Your Safety Protocol  
Industry Conference & 15th Annual Meeting of ODVA, 2012

**Schlechtendahl, J.:**

Test und Zertifizierung von SERCOS III  
SERCOS Anwender-Seminar; 2012

## 2012



# 7 WEITERBILDUNGS- VERANSTALTUNGEN

Das ISW bietet zahlreiche Veranstaltungen und Weiterbildungen für Industrie und potentiellen Nachwuchs an. Einige davon stellen wir hier vor.

- » MHI-Mitgliederversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft Montage, Handhabung und Industrierobotik e.V.
- » Girlsday am ISW
- » sercos-Plugfest
- » ABS-Treffen mit den Partnerinstituten der Universitäten Berlin und Aachen
- » Blockvorlesung am ISW
- » Tag der Wissenschaft
- » SimTech Working Committee „Manufacturing“ Arbeitstreffen
- » Innovationstage mit Steuerungstechnischem Forum und Lageregelseminar
- » Soft Robotics-Treffen am ISW
- » SPA-Seminar „Virtuelle Inbetriebnahme“
- » Workshop mit der University of Auckland, Neuseeland



Interessante Forschungsergebnisse beim SimTech-Treffen



MHI-Mitglieder am ISW und beim gemeinsamen herstellen von schwäbischen Schupfnudeln





Sercos-Plugfest im Seminarraum des ISW



Interessante Gespräche in der Kaffeepause



Uni-übergreifender Ausflug nach Tübingen



Innovationstage mit Vorträgen aus Lehre und Industrie



Weiblicher Nachwuchs erhält Einblick in die Arbeiten und Aufgaben des ISW



Aus Industrie und Forschung traf man sich zum Thema „Soft Robotics“



Das ISW präsentiert neue Versuchseinrichtungen in der Maschinenhalle



Das ISW präsentiert neue Versuchseinrichtungen in der Maschinenhalle

# 8 ANGEHÖRIGE DES INSTITUTS

## GESCHÄFTSFÜHRENDER DIREKTOR (BIS 31.3.14):

- » Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c.  
mult. Alexander Verl

## DIREKTOR (KOMMISSA- RISCH SEIT 1.4.14):

- » Prof. Dr.-Ing. Peter  
Klemm

## GESCHÄFTSFÜHRENDER OBERINGENIEUR:

- » Dr.-Ing. Armin Lechler

## FORSCHUNGS- KOORDINATION:

- » Dipl.-Ing. Jan  
Schlechtendahl

## JUNIORPROFESSOR:

- » Juniorprofessor Dr.-Ing.  
Andreas Pott

## IM RUHESTAND:

- » Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c.  
mult. Dr.-Ing. E.h. Günter.  
Pritschow
- » Prof. Dr.-Ing. Alfred Storr

## BERATER:

- » Dr.-Ing. Karl-Heinz Wurst

## STUDIENANGELEGENHEITEN:

- » Dipl.-Ing. Michael Seyfarth

## NACHWUCHS- GRUPPENLEITER GRADUIERTENSCHULE „GSAME“, CLUSTER „F2“:

- » Dr.-Ing. Akos Csiszar

## GRUPPE 1:

- » **Dipl.-Ing. Michael Voß**  
(Gruppenleiter)

- » Dipl.-Ing. Markus Birkhold

- » M.Eng. Christian Friedrich

- » M.Sc. Sara Höhr

- » Dipl.-Ing. Adrian Neyrinck

## GRUPPE 2:

- » **Dipl.-Ing. Matthias Keinert**  
(Gruppenleiter)

- » Dipl.-Ing. Agus Atmosudiro

- » B.Eng. Michael Faller

- » Dipl.-Ing. Felix Kretschmer

- » Dipl.-Ing. Karl Kübler

- » Dipl.-Ing. Joao Daniel Lopes

- » Dipl.-Ing. Philipp Neher

- » M.Sc. Philipp Sommer

- » Dipl.-Math. Reinhold Zöllner

## GRUPPE 3:

- » **Dipl.-Ing. Peter Zahn**  
(Gruppenleiter)

- » Dipl.-Ing. Florian Frick

- » Dipl.-Ing. Oliver Gerlach

- » M.Sc. Ali Karim

- » Dipl.-Ing. Hendrik Vieler

## GRUPPE 4:

- » **Dipl.-Ing. Peter Zahn**  
(Gruppenleiter)

- » M.Sc. Mahdi Mottahedi

- » Dipl.-Ing. Zheng Sun

## GRUPPE 5:

- » **Dipl.-Ing. Philipp  
Eberspächer**  
(Gruppenleiter)

- » Dipl.-Ing. Stefanie Apprich

- » Dipl.-Ing. Christoph Batke

- » Dipl.-Ing. Daniel Coupek

- » Dipl.-Ing. Tobias Engel

- » M.Sc. Tim Engelberth

- » Dipl.-Ing. Jens Friedrich

- » Dipl.-Ing. Stefan Scheifele

- » Dipl.-Ing. Philipp Tempel

## MITARBEITERINNEN IM VERWALTUNGSBEREICH:

- » Frau Ingrid Albricht

- » Frau Andrea Bauder

- » Frau Edith Schlenker

- » Frau Margrit Stephens

- » Frau Dipl.-Volksw. Susanne  
Schumeckers

## MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER IM TECHNI- SCHEN BEREICH:

- » Frau Xenia Günther, techn.  
Zeichnerin

- » Frau Elfriede Fink, techn.  
Zeichnerin

- » Stefan Abel,  
Elektrotechniker

- » Volker Turowski,  
Mechanikermeister

- » Achim Ringler,  
Mechanikermeister

## WISSENSCHAFTLICHE UNGE- PRÜFTE HILFSKRÄFTE:

- » durchschnittlich 33 Damen  
und Herren



## 8.1 WEITERE ISW-EVENTS

Zur Förderung der Kommunikation zwischen aktiven, ehemaligen und zukünftigen ISW'lern finden über das Jahr verteilt zahlreiche Events statt.



*Einstandsgrillfest im Hof des ISW*



*Team-Spiele*



*Einladung zum Weißwurstfrühstück nach verlorenem Prof.-Spiel an der vergangenen Weihnachtsfeier*



Aufbruch zum WGP – Fußballturnier in Hannover



Urkunde Fußballturnier



Hier wird die Weihnachtsfrau ernannt.



Führung durch das Museum Ritter, zeitgenössische Kunst im Quadrat



Besuch des Rittermuseums in Waldenbuch anlässlich des alljährlichen Institutsausflugs



Institutsausflug: Wandern durch das Siebenmühlental, Vesper in der Eselsmühle



Teilnehmer des ISW am Firmenlauf in Stuttgart



Am Hoffest wird gegrillt



Hoffestbesuch mit der ganzen Familie



Hoffest, bei Kindern sehr beliebt



Hoffest mit Public Viewing zur WM 2014





Gutachter der Forschergruppe Ecomotion in der Maschinenhalle



Vorstellung der Forschungsarbeiten



Empfang zum 75. Geburtstag von Prof. Pritschow in den Räumen der ISG



Waldheimkinder erfahren am ISW etwas über Technik, Steuerung und Roboter



Ausgelassene Feier nach bestandener Dr.-Prüfung.



„Gaudemus Igitur“ darf als Gesangseinlage bei einer Dr.-Feier am ISW nicht fehlen



Weihnachtsfeier im Hotel Maritim gemeinsam mit der ISG



Weihnachtsfeier mit dem berühmten Prof.-Spiel



# 9 VEREIN DER FREUNDE UND EHEMALIGE MITARBEITER DES ISW (VDF)



Prof. Dr.-Ing. Heinz Wörn, Institutsleiter des IPR am KIT und ehemaliger ISW'ler

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.





Im September 2013 führte uns die gemeinsame Reise nach Karlsruhe.

Es waren 29 Personen mit von der Partie. Die Wochenendexkursion führte die Teilnehmer an das Institut für Prozessrechenstechnik, Automation und Robotik (IPR) der Uni Karlsruhe, wo uns Prof. Heinz Wörn interessante Einblicke in die Tätigkeitsfelder des Institutes gab.

Kulturell wurde wieder ein abwechslungsreiches zusammengestelltes Programm geboten, von einer Stadtführung, Besuch des Badischen Landesmuseums und des Karlsruher Schlosses, einem Sinfoniekonzert bis zum Besuch des ZKM, Zentrum für Kunst und Medientechnologie, einer welt-

weit einzigartigen Kulturinstitution. Doch auch die kulinarischen Genüsse kamen nicht zu kurz. Es wurden Badische Köstlichkeiten in gemütlicher und entspannter Runde genossen und viele alte und neue Institutsgeschichten machten die Runde.

Der alljährliche Industrieausflug führte die Teilnehmer im Mai zur Firma Teamtechnik nach Freiberg am Neckar.

Dort wurde die Gruppe von Herrn Dr. Frager, einem ehemaligen ISW'ler und Mitglied im Verein der Freunde, empfangen. Nach der Begrüßung und Vorstellung der Firma durch die Geschäftsleitung und mehreren Fachvorträgen, wurden bei einem Hallenrundgang neueste Produktions-

anlagen gezeigt. Es folgte ein gemeinsamer Ausklang im Forum.

Herr Dr. Frager ermöglichte uns einen sehr interessanten Einblick in das Unternehmen und schrieb uns folgende Worte:

**Liebe Freunde des ISW,**

**es hat mich sehr gefreut, dass der Verein der Freunde dieses Jahr das Unternehmen teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH für den Industrieausflug ausgewählt hat. Im Namen der Geschäftsführung und meiner Kollegen möchte ich mich recht herzlich für den Besuch und das Interesse der Freunde des ISW sowie für die interessanten Gespräche bedanken.**

**Viele Grüße an alle Mitarbeiter und Freunde des ISW**

**Oliver Frager**





# 10 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 digitalen Feldbus- und Antriebsbussysteme. Wissenschaftliche Forschung, Beratung industrieller Kunden sowie aktive Mitarbeit in Standardisierungsgremien bestimmen in diesem Themengebiet unsere Tätigkeit.

Um im Bereich Kommunikationstechnik weiter zu wachsen suchen wir:

» **Dipl.-Ing. Elektrotechnik (m/w)**

» **Dipl.-Informatiker (m/w)**

» **Dipl.-Mechatroniker (m/w)**

mit Hochschulabschluss.

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. Die Möglichkeit zur Promotion ist gegeben. Frauen werden ausdrücklich zur Bewerbung aufgefordert. Vollzeitstellen sind grundsätzlich teilbar. Schwerbehinderte werden bei gleicher Eignung vorrangig eingestellt.

Die Einstellung erfolgt durch die Zentrale Verwaltung der Universität Stuttgart. Anstellung, Vergütung und Sozialleistungen richten sich nach dem Tarifvertrag für den öffentlichen Dienst (TV-L E13).

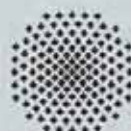
**HABEN WIR IHR INTERESSE  
GEWECKT?  
DANN FREUEN WIR UNS AUF  
IHRE BEWERBUNG**

**Weitere Stellen finden Sie  
unter**

[www.isw.uni-stuttgart.de](http://www.isw.uni-stuttgart.de)

### KONTAKT

Dr.-Ing. A. Lechler  
(Armin.Lechler@isw.uni-stuttgart.de)



Universität Stuttgart  
**ISW**

Institut für Steuerungstechnik, Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart



# 11 KONTAKT

**Institut für Steuerungstechnik der  
Werkzeugmaschinen und  
Fertigungseinrichtungen (ISW)  
Universität Stuttgart**

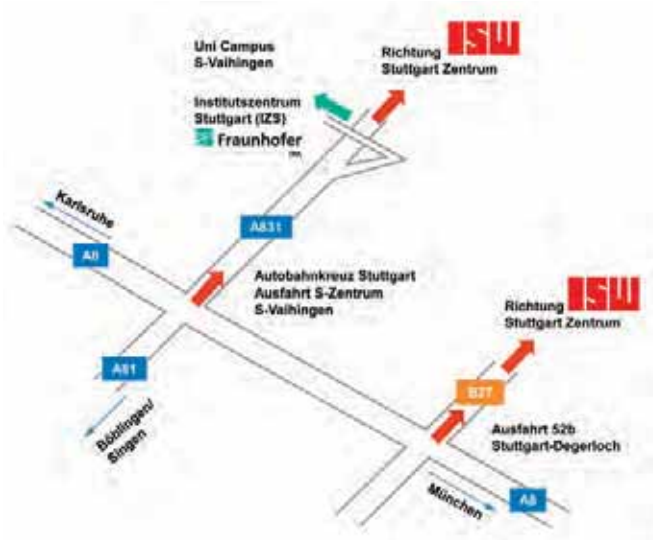
Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart

Telefon: +49 (0)711/685-82410

Telefax: +49 (0)711/685-82808

E-Mail: [info@isw.uni-stuttgart.de](mailto:info@isw.uni-stuttgart.de)

[www.isw.uni-stuttgart.de](http://www.isw.uni-stuttgart.de)



## 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 Schlosstraße 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 mit der U14 (Richtung Heselach) oder der U9 (Richtung Vogelsang) bis Haltestelle Berliner Platz (Liederhalle).

**Standort Vaihingen am IPA,  
Fraunhofer Institutszentrum  
IZS**

Nobelstr. 12  
70569 Stuttgart

Telefon: +49 (0)711/970-1201

Telefax: +49 (0)711/970-1012

