



Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen



WIR STEuern ZUKUNFT
INNOVATIV
INTERDISZIPLINÄR
WISSENSCHAFTLICH

stuttgarter
maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig



Wir stellen Sie ein

HIGH PERFORMANCE AUTOMATISIERUNG

Das Institut für Steuerungstechnik (ISW) der Universität Stuttgart ist eines der führenden Forschungsinstitute auf dem Gebiet der Steuerungs- und Antriebstechnik.

Das ISW bietet einen Arbeitsplatz mit interessanten und technisch innovativen Aufgabengebieten in unterschiedlichen Teilbereichen auf höchstem internationalem Niveau. Unsere Absolventen findet man in den Spitzenpositionen des nationalen und internationalen Maschinenbaus.

Für Absolventen/-innen der Mechatronik, Kybernetik und angrenzender Disziplinen wie Informatik, Maschinen- und Anlagenbau und Elektrotechnik bietet das ISW ein ausgezeichnetes Umfeld. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter entwickeln und bearbeiten Sie selbstständig äußerst anspruchsvolle Projekte mit gleichzeitig höchster Entfaltungsmöglichkeit. In den Projekten stehen wissenschaftliche Erfahrungen, interdisziplinäres Fachwissen, Kreativität und Managementfähigkeiten im Mittelpunkt. Es handelt sich bei den Projekten sowohl um grundlagenorientierte, als auch industriennahe Themen. Außerdem wird die Möglichkeit zur Promotion an einer weltweit angesehenen, wissenschaftlichen Einrichtung im Bereich der Steuerungs- und Antriebstechnik gegeben.

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann freuen wir uns auf Ihre Bewerbung.



Dr.-Ing.
Armin Lechler
Stellvertretende Institutsleitung
Geschäftsführender Oberingenieur

+49 711 685-82462
armin.lechler@isw.uni-stuttgart.de

Aktuelle Stellenangebote
finden Sie unter
www.isw.uni-stuttgart.de



Vorwort

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

Die Kernkompetenzen des ISW im Bereich der industriellen Steuerungs-, Regelungs- und Antriebstechnik sowie der Produktions-IT auf dem Shopfloor und der Produktionssteuerung werden kontinuierlich durch neue innovative Methoden aus der Mathematik, Softwaretechnik sowie Verarbeitung großer Datenmengen und Künstlicher Intelligenz erweitert. Zur Mission der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gehören Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu neuartigen Steuerungs- und Regelungskonzepten, deren Umsetzungen vom miniaturisierten embedded computing bis hin zu cloudbasierten Lösungen reichen.

Diese Broschüre gibt einen Überblick über die aktuellen Forschungsaktivitäten, die Angebote für die Industrie und das Lehrangebot, aber auch über das umfangreiche Netzwerk in Wissenschaft und Industrie des Instituts: Wir steuern Zukunft!

Zahlreiche internationale Kontakte, eine anhaltend rege Publikationsaktivität, exzellente Industrienähe, eine gefragte und nachhaltige Lehrtätigkeit sowie das Management der Studiengänge Mechatronik B.Sc. und M.Sc. verleihen dem ISW besondere Bedeutung und Stärke.

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



Prof. Dr.-Ing.
Alexander Verl
Institutsleiter

T: +49 711 685-82410
E: alexander.verl@isw.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl



Prof. Dr.-Ing.
Oliver Riedel
Institutsleiter

T: +49 711 685-82466
E: oliver.riedel@isw.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel

Meilensteine

1965

Gründung des Institutes am 1. September durch Prof. Gottfried Stute

1974-1986

Konzeption und Untersuchung von „Flexiblen Fertigungssystemen“ (FFS) und Aufbau des ersten DNC-gesteuerten Systems

1977-1982

Geregelte Asynchronantriebe für Werkzeugmaschinenachsen

1987-1990

Lineardirektantriebstechnik mit digitaler Regelung auf Basis von Signalprozessoren

1990-1997

Hardwareunabhängiges, modulares und offenes Steuerungssystem (OSACA)

1994-2001

Beschleunigungssensoren für rotatorische und lineare Bewegungen (Ferraris-Sensor) für den Einsatz an hochdynamischen Antrieben

1999-2005

Multimediales Maschineninformationssystem (mumasy)

2001

Zertifizierungswerkzeuge und Zertifizierungsstelle für SERCOS

1967-1975

EXAPT, Adaptive Control für die 5-achsige CNC-Fräsbearbeitung

1975-1980

Erstes offenes modulares Mehrprozessor-CNC-System (MPST)

1984-1990

Modulare Robotertechnik, Gelenke mit integriertem Antrieb und integrierter Steuerung

1992-2001

Erste ebene Parallelkinematik für eine CO₂-Laserbearbeitungsmaschine

1998-2001

Kinematik und Steuerungstechnik für räumliche Parallelkinematiken

2000

Gründungsmitglied Kompetenzzentrum Minimalinvasiver Chirurgie, MITT

ab 2002

Adaptronische Komponenten für WZM, Adaptive Kugelrollspindel, Schwingführung

ab 2006

Echtzeitsimulation mit VIRTUOS

ab 2007

Interdisziplinäres Forschungszentrum IZST Stuttgart/Tübingen

ab 2010

FPGA-Technologie in der Antriebsregelung

Pendel für den Deutschen Pavillon auf der EXPO in Shanghai

ab 2013

Dynamiksteigerung von Vorschubantrieben mittels Aktuatorik

ab 2016

Initiative im Bereich Time-Sensitive Networking

Vorstellung des ersten mehrachsigen 3D Druckers auf der SPS Drives in Nürnberg

ab 2018

Aktives Mitglied der OPC UATSN Field Level Communication

ab 2020

Umstellung auf rein virtuelle Lehrveranstaltungen

ab 2022

Umsetzung der Vision für die Produktionsumgebung der Zukunft: „Stuttgarter Maschinenfabrik“

2002

Sonderforschungsbereich SFB 467: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen

ab 2005

TFB 59: Wandlungsfähige Systeme: Rekonfigurierbare Maschinen

ab 2007

GSaME, Graduate School of Excellence, Exzellenzcluster SimTech

2008

Energieeffiziente Produktion durch Automatisierung – ECOMATION

ab 2012

Regelungsverfahren für die induktive Erwärmung

ab 2015

Produktivitätssteigerung beim Bearbeiten mit Industrierobotern

Seilkinematik auf der Expo in Mailand im Deutschen Pavillon

ab 2017

Internationales Graduiertenkolleg mit Neuseeland im Bereich „Soft Tissue Robotics“

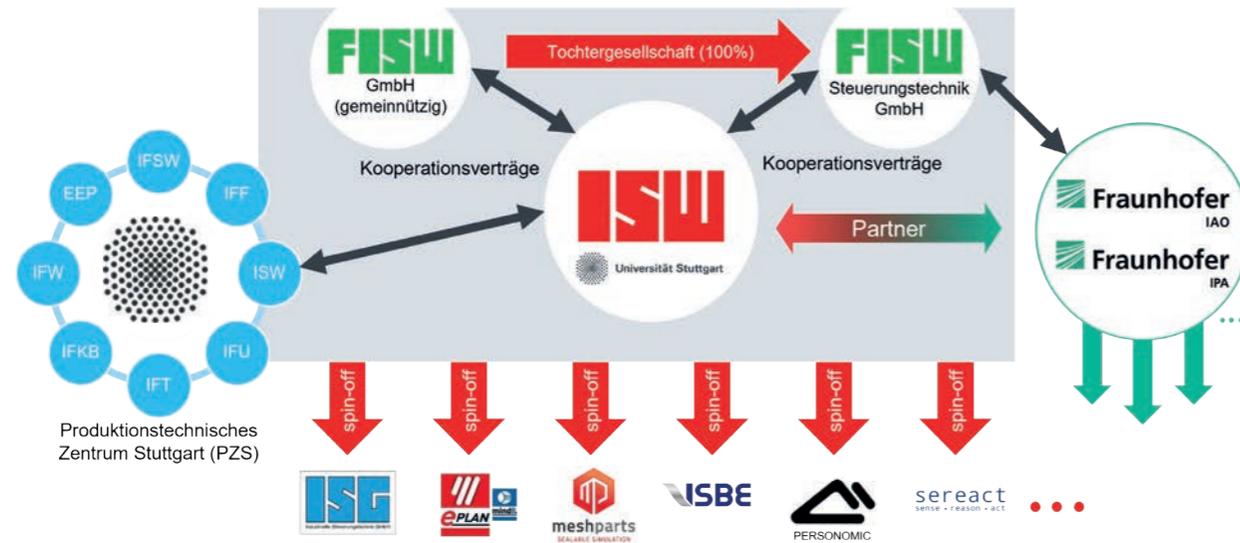
ab 2019

Exzellenzcluster IntCDC und SimTech

ab 2021

Leuchtturmprojekt SDM4FZI zu Software-defined Manufacturing

Finanzierung



Das ISW finanziert seine Forschungsarbeiten über unterschiedliche Forschungsträger wie z.B. DFG, BMBF und bearbeitet industrieorientierte Entwicklungen in enger Kooperation mit der FISW GmbH und der FISW Steuerungstechnik GmbH.

Die notwendigen Mittel für die wissenschaftlichen Mitarbeiter und die Angestellten in den Bereichen Technik und Verwaltung werden durch Haushaltsmittel der Universität, öffentlich geförderte Grundlagenforschung, industrielle Gemeinschaftsforschung und direkte Aufträge aus der Industrie gedeckt.

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

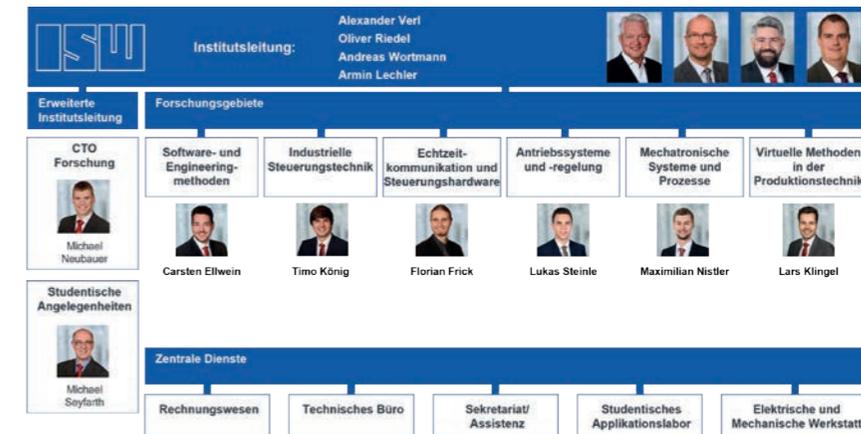
Im näheren lokalen Umfeld besteht eine enge technische Zusammenarbeit mit den prozessorientierten Instituten des

Produktionstechnischen Zentrums Stuttgart (PZS) und auf der Anwendungsseite mit Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft am Standort Stuttgart. Insbesondere durch die Personalunion von Prof. Riedel als Institutsleiter des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation ergeben sich sehr gute Synergien bei der Bearbeitung komplexer Projekte im Umfeld der Kopplung von Produktentstehung und Produktionsprozessen.

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

ISW-Team

Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl leitet das ISW seit 2005. Seit 2015 ist Oberingenieur Dr.-Ing. Armin Lechler stellvertretender, geschäftsführender Institutsleiter. Seit 2016 gehört Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel als Inhaber des neu geschaffenen Lehrstuhls „Produktionstechnische Informationstechnologie“ als Doppelspitze gemeinsam mit Prof. Alexander Verl zur Leitung des Instituts. Prof. Dr. rer. nat. Andreas Wortmann zählt seit dem Januar 2021 ebenfalls zur Leitung. Durch Herrn Prof. Dr. Andreas Wortmann werden die Kompetenzfelder des ISW in der modellgetriebenen Systementwicklung und der systematischen Konzeption neuer Modellierungstechniken für die Produktionstechnik weiter gestärkt. Seit 2021 unterstützt Michael Neubauer die Institutsleitung des ISW. Er koordiniert als CTO die Forschungsaktivitäten des Instituts.



Das ISW gliedert sich in folgende sechs Gruppen mit den Schwerpunkten:

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

In den einzelnen Gruppen werden die jeweiligen Forschungsthemen und Industrieprojekte zu den einzelnen Schwerpunkten bearbeitet und durch innovative Ideen

stetig ausgebaut. Das ISW ist darüber hinaus für die wissenschaftliche Betreuung der Graduiertenschule GSaME für das Cluster G an der Universität Stuttgart verantwortlich. Zentrale Dienste unterstützen den Erfolg des Instituts durch Übernahme von administrativen Aufgaben bei der Studierendenbetreuung, Organisation der Lehre, dem Rechnungswesen und dem Sekretariat sowie der Assistenz der Institutsleitung. Im technischen Büro werden erfolgreich Veranstaltungen und Marketingmaßnahmen koordiniert. Die elektrische und mechanische Werkstatt garantieren am Institut eine schnelle und zuverlässige Umsetzung von Versuchständen, Prototypen, Praktikumsaufbauten und Funktionsmustern.

Lehre am ISW

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

Das ISW arbeitet zu etwa gleichen Anteilen in der grundlagenorientierten Forschung und der praxisorientierten Entwicklung. Letztere wird in enger Zusammenarbeit mit der Industrie durchgeführt. Dies ermöglicht Ihnen als Studierende spannende studentische Arbeiten, die „am Puls der Zeit“ liegen. Sie erwerben neben dem tiefen fachlichen Wissen auch wertvolle Qualifikationen in der Projektbearbeitung, der wissenschaftlichen Arbeitsweise und direkten Kontakt zu Industrieunternehmen im Bereich der Automatisierungstechnik. Ihnen stehen damit vielfältige Möglichkeiten für einen erfolgreichen Berufseinstieg offen.

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



Wir gehören zum ...

stuttgarter
maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig



persönliche Eindrücke und Kontakte besser vorzubereiten.

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

In unserem vielfältigen Vorlesungs-, Praktikums- und Seminarangebot finden Sie als Studierende des Maschinenbaus, der Mechatronik, der Technischen Kybernetik, des Technologiemanagements oder der Medizintechnik sicher die passenden Veranstaltungen:

- Steuerungstechnik mit Antriebstechnik
- Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter
- Angewandte Regelungstechnik in Produktionsanlagen
- Robotersysteme – Anwendungen aus der Industrie- und Servicerobotik
- Automatisierung in der Montage und Handhabungstechnik
- Modellierung, Analyse und Entwurf neuer Roboterkinematiken
- Modeling Software-Intensive Systems
- Planung von Robotersystemen
- Produktionstechnische Informationstechnologien
- IT-Architekturen in der Produktion
- Simulationsgestützte Auslegung und Planung von Produktionssystemen
- Data Science in der Produktion
- Steuerungsarchitekturen und Kommunikationstechnik
- Modellgetriebene Softwareentwicklung
- Ölhydraulik und Pneumatik in der Steuerungstechnik
- Mechatronische Systeme in der Medizin
- Bionik

Forschung

Wir forschen interdisziplinär an Technologien für die Produktion und Automatisierung von Übermorgen. Die industrielle Anwendbarkeit steht dabei immer im Fokus. Unsere Forschungsaktivität umfasst dabei die folgenden Themenschwerpunkte.

SOFTWARE- UND ENGINEERINGMETHODEN

Getrieben durch die zunehmende Digitalisierung der Prozesskette gewinnt Software, deren Vernetzung und Verteilung im Unternehmen immer mehr an Bedeutung. Insbesondere in der Fertigung verschwimmen die Grenzen zwischen verschiedenen Automatisierungs- und Unternehmensebenen. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen, adaptiert das ISW Methoden, Konzepte und Technologien aus dem Software Engineering auf die Steuerungstechnik. Mit dem Ziel einer flexiblen Produktion werden serviceorientierte Architekturen und Containertechnologien auf die Steuerungstechnik übertragen und angepasst.

Darüber hinaus forscht das ISW an modellbasierten und datengetriebenen Engineering-Methoden sowie unter dem Schlagwort Cloud Manufacturing an der Einbeziehung unterschiedlicher Unternehmen in den Fertigungsprozess. Die Forschung richtet sich dabei an industriellen Prozessen aus und versucht, bekannte Defizite zu beheben.

Softwaremethoden

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

Engineeringmethoden

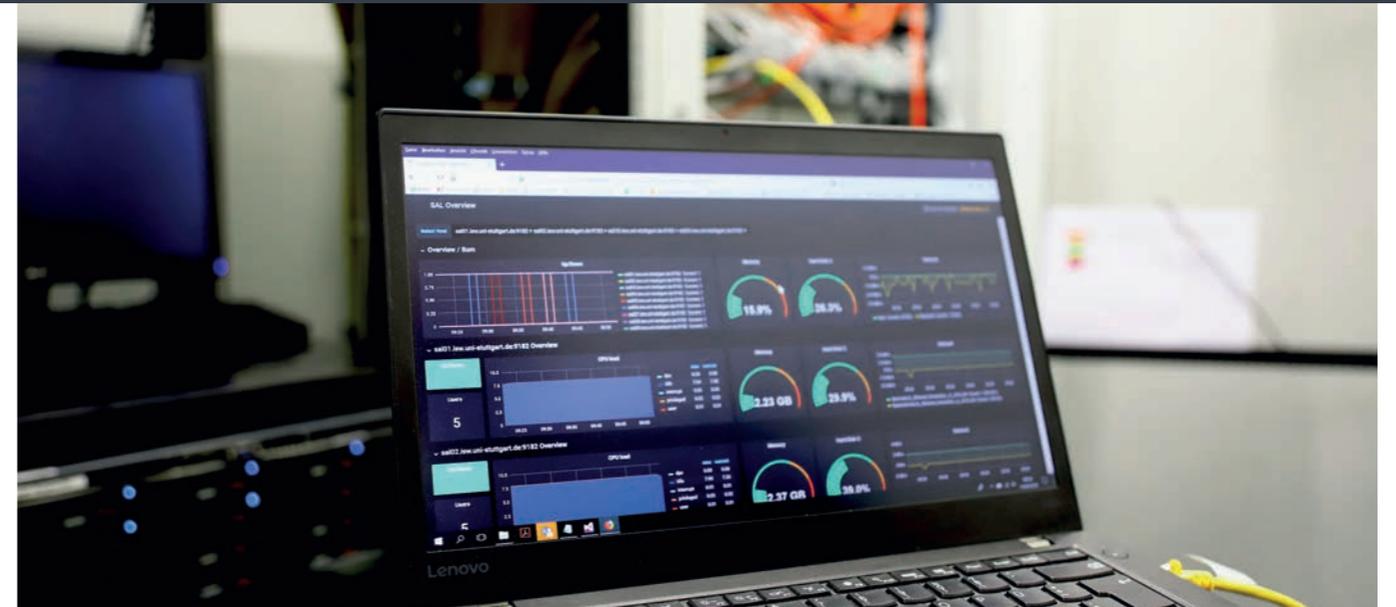
- Modellbasierte Prozess- und Bahnplanung
- Aufgaben- und Ablaufplanung hybrider Fertigungsprozesse (additiv und subtraktiv)
- Deploymentstrategien von Software für Produktionstechnik

Systemanalyse und -optimierung

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

Projekte:

- **DAsCloud:** Integration cloud-nativer Ansätzen in die Anlagensteuerung
- **ESIC:** Erweiterung der Steuerungsfunktionalität durch die Integration von Containertechnologien
- **FluPro ARENA2036:** Fluide Fahrzeugproduktion für die Mobilität der Zukunft
- **LiBo:** Prozesssteuerung beim Lichtbogenschweißen
- **SCOLAR:** Systematische komponentenorientierte Wiederverwendung von Softwaresprachen
- **SDM4FZI Teilprojekt 2:** Entwicklung eines Referenzmodells zur Abbildung bestehender und zukünftiger Zuliefernetzwerke



- **SDM4FZI Teilprojekt 3:** Konfiguration und Deployment durch den Einsatz von Echtzeitcontainern
- **SDMFlex:** Erweiterung digitaler Prozessabbilder um selbstlernende Fähigkeitsmodelle
- **Software Defined Car:** Entwicklung von Methoden zur semantischen Integration digitaler Zwillinge
- **Tandem:** Forschungsk Kooperation im Bereich der Prozesssimulation in Numerischen Steuerungen mit der Industriellen Steuerungstechnik GmbH
- **ViSa:** Virtualisierung von Safety



Carsten Ellwein, M.Sc.
Gruppenleiter Software- und Engineeringmethoden

+49 711 685-82424
carsten.ellwein@isw.uni-stuttgart.de

INDUSTRIELLE STEUERUNGSTECHNIK

Die Steuerungstechnik profitiert in starkem Maße von den Entwicklungen der IT. Steigende Rechenperformance durch Multicore-, GPU und Cloud-Systemen in Kombination mit innovativen Softwarelösungen ermöglichen eine Weiterentwicklung der klassischen Steuerungstechnik. Die Gruppe „Industrielle Steuerungstechnik“ greift diese Möglichkeiten auf, um einerseits neue Lösungen für die NC-Kernfunktionalität zu erarbeiten, andererseits wird die Kommunikation zwischen cyberphysischen Systemen sowie über Unternehmensgrenzen hinweg optimiert und standardisiert.

Die Kommunikationstechnik spielt für den Maschinen- und Anlagenbau eine wichtige Rolle. Im Rahmen der Initiativen zu Industrie 4.0 und IoT hat die Bedeutung der Kommunikationstechnik noch weiter zugenommen. Das ISW treibt in diesem Zusammenhang Innovationen im Bereich der echtzeitfähigen und nicht-echtzeitfähigen Kommunikation voran. Neben der Spezifikation von Kommunikationsprotokollen und -profilen zählen hierzu auch Validierung und Test. Aktivitäten im Bereich industrielle Steuerungstechnik fokussieren sich hierbei stark auf die Standardisierung der OPC UA Nutzung. Koordination und aktive Mitarbeit unterschiedlicher Fachgruppen, geleitet durch VDW und VDMA, bilden die Grundlage Forschungsprojekte, die sich mit dem Einsatz der entwickelten Standards beschäftigen. Von automatisiertem Erstellen von OPC UA Servern, über ein im Deployment-Prozess integriertes Testen von umgesetzten OPC UA Companion Spezifikationen, bis zum Ermöglichen von rekonfigurierbaren Netzwerken für den deterministische Datenaustausch mit OPC UA werden sämtliche Layer im Bereich Kommunikation betrachtet.

Neben der Machine-2-Machine Kommunikation wird zusätzlich der Datenaustausch zwischen Hallenböden betrachtet, um neue Geschäftsmodelle zu ermöglichen. Themen wie Cloud Manufacturing und nutzungsbasiertes Maschinenleasing haben die Vernetzung im Wertschöpfungsnetz als zwingende Voraussetzung. Mit den einhergehenden Herausforderungen in diesem Bereich beschäftigen sich unterschiedliche Forschungsprojekte am ISW. Daten- und Kommunikationsmodelle für den Austausch von Informationen zur verteilten Produktion von Gütern sowie ein durchgängig nachvollziehbarer und manipulationssicherer Austausch von Sensordaten über Firmengrenzen hinweg sind zwei Beispiele von Forschungsthematiken.

Zusätzlich zur anwendungsbasierten Kommunikation spielt die Grundlagenforschung zu Algorithmen für die Steuerungs- und Regelungstechnik im Kontext des Werkzeugmaschinen- und Anlagenbaus eine große Rolle in diesem Fachbereich. Klassische Strukturen wie monolithische Steuerungsarchitekturen werden aufgebrochen und durch neue Ansätze ergänzt. KI basierte Algorithmen zur kollisionsfreien Bahnplanung sowie Klothoiden-basierte Interpolationsverfahren für Werkzeugmaschinen sind Beispiele hierfür.

Industrielle Kommunikation

- Kommunikation in und zwischen Produktionsnetzwerken
- TSN-basierte Kommunikation
- Einsatz und Erstellung branchenweiter Spezifikationen von OPC UA Informationsmodellen



Steuerungstechnik

- NC-Kernfunktionalität
- Herstellerspezifische und übergreifende Steuerungsschnittstellen
- Technologietransfer aktueller Technologien (KI, Containerisierung, ...)

Projekte:

- **Cornuspline 2:** G2-stetiges Überschleifverfahren für NC-Steuerungen mittels stückweise definierter Klothoide
- **FabOS:** Vision für ein offenes, verteiltes, echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem für die Produktion
- **ICM NWG AM:** Konzeption der Steuerungstechnik einer laserbasierten Universalmaschine, die alle Fertigungshauptgruppen nach DIN 8580 unterstützt
- **ICM-SDSeq:** Software-definierte Modell- und Funktionssequenzierung für die Nutzung modularer Produktionssysteme
- **IntCDC:** Entwicklung einer modularen Fertigungsplattform für die Herstellung von Holzbauteilen
- **IntCDC RP14:** Additive cyber-physische Fertigungsplattform für multifunktionelle, belastungsoptimierte Bauelemente aus Faserverbundkunststoffen
- **KOSMoS:** Nachvollziehbarer und sicherer Daten-

austausch vom Sensor in die Cloud für kollaborative Wertschöpfungsnetzwerke

- **SDM4FZI Teilprojekt 4:** Software defined Manufacturing für die Automobilindustrie – Generierung von OPC UA Server auf Basis von Maschinenmodellen



Timo König, M.Sc.

Gruppenleiter Industrielle Steuerungstechnik

+49 711 685-82434

timo.koenig@isw.uni-stuttgart.de

ECHTZEITKOMMUNIKATION UND STEUERUNGSHARDWARE

Die Digitalisierung der Produktion erfordert ein zunehmendes Maß an Vernetzung und eine neue Generation an Plattformen für die Automatisierung. In beiden Bereichen verschmelzen zunehmend Technologien aus dem IT-Bereich mit OT-Systemen, wobei Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit und Zuverlässigkeit erfüllt werden müssen.

Im Bereich der Kommunikationstechnik verlagert sich der Forschungsschwerpunkt zunehmend auf interoperable konvergente Kommunikationssysteme, welche eine direkte Kopplung von IT und OT ermöglichen. Hierzu zählen kabelgebundene und drahtlose Technologien aber auch traditionelle Feldbusse werden weiterhin unterstützt. Neben Sercos, EtherCAT und Sensordatenprotokollen stehen TSN, DetNet, WiFi, 5G und OPC UA im Fokus. Die Anforderungen an die Rechenleistung von Steuerungssystemen steigen stetig an. Die Entwicklung von IIoT schafft eine Nachfrage nach maßgeschneiderten Hardwareplattformen. In der Forschung erfüllen Standardplattformen oft nicht die Anforderungen an Leistung, Flexibilität und Schnittstellen. Daher werden neben der Nutzung bestehender Plattformen auch eigene Hardwareplattformen unter Verwendung von Multi-core-Architekturen, GPUs und FPGAs entwickelt, aber auch Leiterplatten und Leistungselektronik. Schwerpunkte sind das Co-Design von Hardware und Software einschließlich des Engineering-Prozesses, woraus Entwicklungen wie die FPGA-basierte Open Automation Platform (OAP) resultieren. Anwendungen sind Antriebssteuerungssysteme, hardwarebeschleunigte Simulationsmotoren, Antriebs- und Prozesssteuerungssysteme sowie innovative Sensorlösungen.

Echtzeitkommunikation

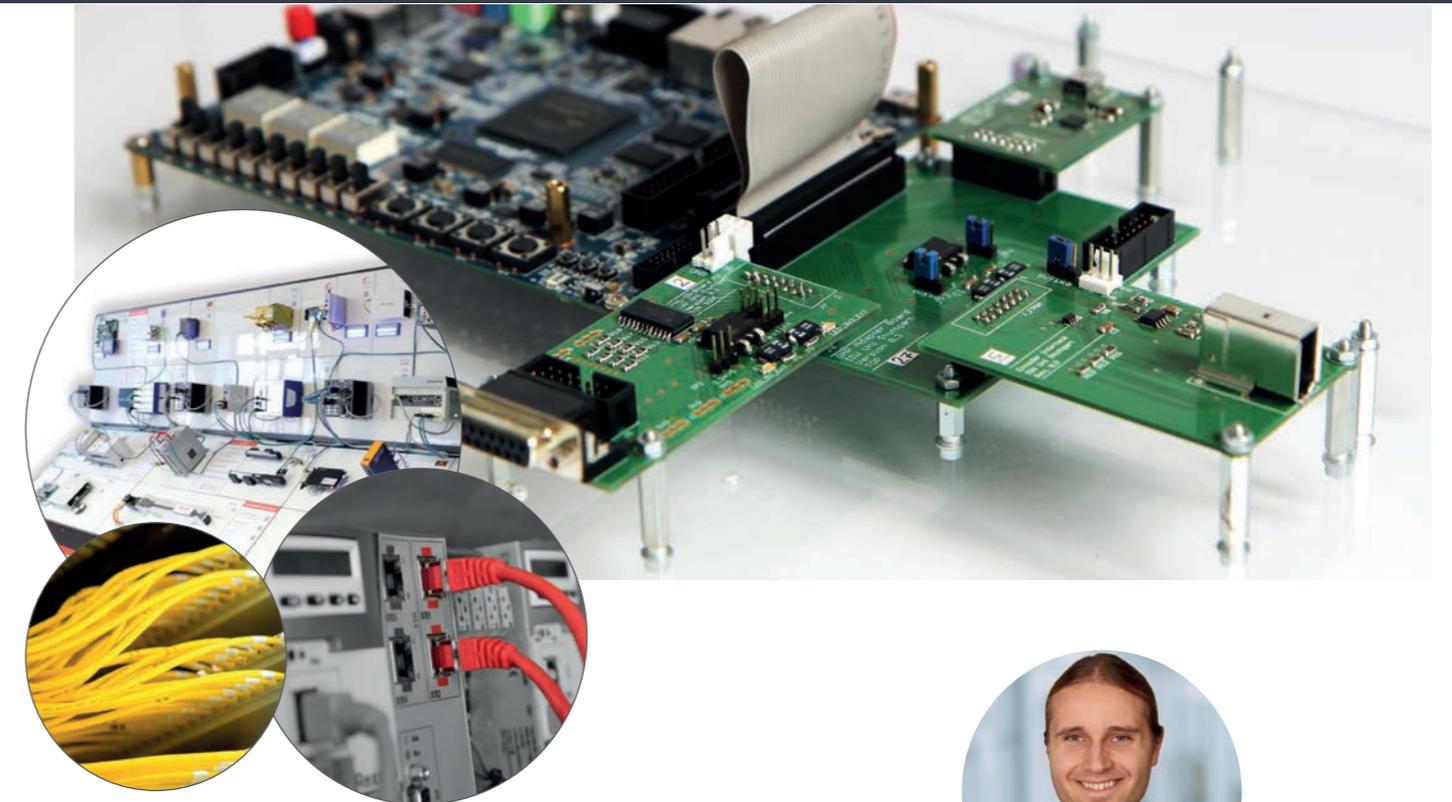
- Time Sensitive Networking (TSN)
- OPC UA bis zur Feldebene
- Konvergente Netze
- Feldbusse
- Drahtloskommunikation
- Open-Source-Lösungen
- Hardwareimplementierungen
- Interoperabilität und Testing

Steuerungshardware & Architekturkonzepte

- CPU- und Embedded-Plattformen
- Offene Steuerungs- und Regelungsplattformen
- FPGA-basierte Lösungen
- Hardwareentwicklung
- Sensordatenerfassung und -aufbereitung
- Regelungskonzepte für Servoantriebe und Sonderanwendungen
- Leistungselektronik und Umrichtertechnik

Projekte:

- **Adaptive PWM:** Steigerung der Energieeffizienz von Antrieben durch bedarfsgerechte Schaltfrequenz der Umrichter
- **BrownfieldTSN:** Integration TSN-basierter konvergenter Netzwerke und Feldbussysteme
- **ControlTSN:** Modulare Open-Source Lösung für das Engineering und den Betrieb von verteilten Echtzeit-Anwendungen auf TSN-Basis
- **EDK:** Echtzeitfähige, synchrone Drahtloskommunikation für die Produktion mittels LTE



- **GAIA-X4ICM:** Infrastruktur für eine durchgängige Digitalisierung der Produktion auf Basis von Gaia-X
- **Open Automation Platform (OAP):** Flexible und schnittstellenoffene FPGA-basierte Echtzeitplattform
- **SDM4FZI Teilprojekt 5:** Umsetzung der SDM Infrastruktur
- **TSN4KMU:** Modulare TSN-Routerplattform mit anpassbaren Hardwarebeschleunigern
- **TSN Testbed:** Interoperability Testbed für TSN-Geräte mit regelmäßigen Plugfests und Dauerinstallationen



Dipl.-Ing. Florian Frick
Gruppenleiter Echtzeitkommunikation und
Steuerungshardware

+49 711 685-84528
florian.frick@isw.uni-stuttgart.de

ANTRIEBSSYSTEME UND -REGELUNG

Das dynamische Verhalten von Maschinen und Robotern entscheidet über Qualität und Kosten der damit gefertigten Erzeugnisse. Das Gesamtverhalten ergibt sich aus dem gekoppelten Zusammenspiel mechanischer Komponenten und geregelter Antriebssysteme. Um den steigenden Anforderungen aus dem Maschinen- und Anlagenbau gerecht zu werden, forschen wir auf den Gebieten Antriebsregelung und Maschinentechnik.

Im Bereich der Antriebsregelung stellt die präzise und dynamische Einstellung von Position und Geschwindigkeit bewegter Maschinenkomponenten eine wesentliche Anforderung dar. Geregelt elektromechanische Antriebssysteme müssen vorgegebenen Bahnen exakt folgen und dabei einwirkende Störgrößen effektiv ausregeln. Dies erfordert eine dynamische Regelung mit hoher Robustheit. Daher untersuchen wir neuartige Regelungs- und Kompensationsverfahren zur Steigerung von Genauigkeit und Dynamik linearer und rotatorischer Antriebssysteme.

Im Bereich der Maschinentechnik forschen wir an innovativen Vorschubantriebskonzepten sowie an der Weiterentwicklung gängiger Antriebssysteme (Kugelgewindetriebe, Zahnstange-Ritzel-Antriebe, Direktantriebe). Dies umfasst neben Auslegung, Montage und Inbetriebnahme auch Simulationstechniken unterschiedlicher Detailgrade sowie messtechnische Analysen.

Wir verfügen über eine Reihe an Prüfständen mit unterschiedlichen Antriebssystemen sowie verschiedene Maschinen und Industrieroboter. Daher können eine Vielzahl an experimentellen Untersuchungen durchgeführt und

neue Ansätze anwendungsnah validiert werden. Darüber hinaus arbeiten wir mit abgeglichenen Dynamikmodellen von gängigen Antriebssystemen und Industrierobotern zur zeiteffizienten Validierung entwickelter Verfahren und neuer Ansätze.

Antriebsregelung

- Systemdynamik und neuartige Regelungsstrukturen
- Modellbasierte und lernende Kompensationsverfahren zur Steigerung der Genauigkeit

Maschinentechnik

- Konstruktive Optimierung von Antriebssystemkomponenten
- Alternative Vorschubantriebssysteme und Nutzung zusätzlicher Sensorik sowie Aktorik

Industrierobotik

- Posenabhängige Systemdynamik und modellbasierte, adaptive Regelungsverfahren
- Zerspanende Bearbeitung verschiedener Werkstoffe & komplexe Handhabung biegeschlaffer Bauteile

Projekte:

- **Adaptive Verspannung 2:** Adaptive Verspannung zur Effizienzsteigerung elektrisch verspannter Zahnstange-Ritzel-Antriebe
- **AdaVos:** Adaptive Vorspannung von Robotergetrieben bei Bearbeitungsaufgaben
- **CO2-HyChain:** CO2-Einsparung durch Reifegradsteigerung der Wertschöpfungskette hybrider Hochleistungsbauteile für den funktionalen Leichtbau



- **DataCon:** Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie zur industriellen Anwendung von Lernen und Echtzeit-Simulation
- **HyComp:** Hysteresekompensation am Industrieroboter mittels Koppelkraftbeobachter
- **IMPULS 2:** Verbesserte Bahnführung von Vorschubachsen durch Impulsaktorik am Maschinentisch
- **Master-Switch:** Neuartige Positionsregelung für elektrisch verspannte Zahnstange-Ritzel-Antriebssysteme zur Steigerung der Genauigkeit
- **RCAL-IMS:** Statische, arbeitsraumübergreifende Online-Kalibrierung an Knickarmrobotern mit Inertialsensorik
- **SDaR 2:** Antriebsbasierte Schwingungsdämpfung an Industrierobotern zur Fräsbearbeitung
- **SDM4FZI Teilprojekt 6:** Prozessadaptive Regelung zur Genauigkeitssteigerung der hybriden Fertigung mit Industrierobotern
- **SliMoReK:** Sliding-Mode-Maschinentischregelung zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Vorschubachsen mit Kugelgewindetrieb

- **TopGen3:** Leichtbaukomponenten durch innere Optimierung und schichtweise LLM-Fertigung
- **VoKuMe:** Vorspannungsnachstellung an Kugelgewindetriebe mittels passiver Mechanik
- **ZRA-Gleichlauf:** Steigerung der Genauigkeit von Zahnstange-Ritzel-Antrieben durch modellbasierte Kompensation des Gleichlauffehlers



Lukas Steinle, M.Sc.
Gruppenleiter Antriebssysteme und -regelung

+49 711 685-82545
lukas.steinle@isw.uni-stuttgart.de

MECHATRONISCHE SYSTEME UND PROZESSE

Wir betrachten Fertigungseinrichtungen und deren Maschinen als mechatronische Systeme. Unsere anwendungsorientierte Forschung garantiert die Prozesssicherheit, steigert die Effizienz, verbessert die Qualität der zu fertigenden Produkte und erschließt neue innovative Technologien.

Von einzelnen Prozessen bis hin zu industrietauglichen Gesamtsystemen bieten wir Lösungen für die vernetzten und vollautomatisierten Fertigungseinrichtungen der Zukunft durch den Einsatz neuester Forschungserkenntnisse. Dabei steigern wir beispielsweise die Genauigkeit von CNC-Maschinen durch intelligente Bahnplanungsalgorithmen oder reduzieren Ausschuss in mehrstufigen Produktionssystemen durch datengetriebene Optimierungen.

Unsere Expertise in der Modellierung und Steuerung von der einzelnen Komponente bis hin zum Gesamtsystem nutzen wir beispielsweise für Entwicklungen im Bereich der Additiven Fertigung. Wir betrachten dabei die vollständige Prozesskette, von der Prozessplanung, über das CAD-Modell, der Bahnplanung, der Steuerung bis zum fertigen Endprodukt. Neben neuartigen Mehrachskinematiken für den 3D-Druck und Laseranwendungen entwickeln wir prozessorientierte Offline- und Online-Bahnplanungssysteme sowie Regelungsalgorithmen mittels Echtzeitsimulation.

Seilgetriebene Parallelroboter werden in Zukunft durch die Kombination der Vorteile serieller und paralleler Kinematiken an Bedeutung gewinnen: ein großer Arbeitsraum, hohe Nutzlast und hohe Dynamiken. Wir untersuchen die Elastodynamik und Regelung von Seilrobotern sowie deren

Rekonfigurierbarkeit bei veränderlichen Anforderungen. Mit unseren Werkzeugen zur Konstruktion von Seilrobotern entwickeln wir Systeme mit endloser Rotation für Handhabungsaufgaben und für die Additive Fertigung.

Dynamik mechatronischer Systeme

- Optimierung und Neuentwicklung mechatronischer Systeme sowie moderner Softwareapplikationen
- Modellierung, Simulation und Systemidentifikation
- Methoden zur Datenerfassung und -auswertung für die Optimierung von ein- und mehrstufigen Produktionssystemen
- Flexible Prozessplanung zur Kompensation fehlerhafter Bauteile während des Fertigungsablaufs
- Autonomes Verlegen von Kabelsträngen für den Mobilitätssektor

Additive Fertigung

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

Seilrobotik

- Rekonfiguration veränderlicher Roboterkinematiken
- Erweiterung des Einsatzgebietes durch Erforschung neuer Roboterkinematiken
- Spezialanwendung: z.B. Additive Fertigung



Projekte:

- **Biobeton:** Grundlagen und Verfahrensprinzipien für die Herstellung CO2-neutraler und ressourceneffizienter Bauteile
- **ICM-Nachwuchsgruppe:** Grey-Box-Modellierung und Identifikation mechatronischer Gesamtsysteme am Digitalen Zwilling:
 - Steigerung der dynamischen Genauigkeit durch exakte Modelle
 - Anwendung auf fertigungstechnische Systeme
 - Erweiterung des Digitalen Zwillings um Dynamikmodelle
- **IKEPa:** Identifikation und Kompensation elektromechanischer Eigenschaften von Seiltrieben für parallele Seilroboter
- **InnovationsCampus "Mobilität der Zukunft" (ICM):**
 - Zukunftslabor für universelle Laserbearbeitung
 - Femtosekunden 5D Druck auf Freiformflächen mit Submikrometer-Präzision für optische Sensoren
 - Self Learning Functional Laser Micromachining
 - Easy Metal Printer
- **IntCDC RP27:** Cyber-Physical, Large-Scale Manipulation with Highly Reconfigurable and Multi-Functional Cable Robots for Construction in Existing Structures
- **SDM4FZI Teilprojekt 7:** Maschineneübergreifende Prozessoptimierung
- **SoftTissue Robotics:** Steuerung und Regelung der Handhabung weicher Materialien mittels Industrieroboter
- **SPP2187:** Entwicklung eines adaptierbaren Fertigungsverfahrens für modulare leichte Betonbauteile mittels voll-rezyklierbaren Schalungssystemen
- **UpFill:** Upcycling-Filamente aus Thermoformproduktionsabfällen



Maximilian Nistler, M.Sc.
Gruppenleiter Mechatronische Systeme und Prozesse

+49 711 685-84515
maximilian.nistler@isw.uni-stuttgart.de

VIRTUELLE METHODEN IN DER PRODUKTIONSTECHNIK

Das ISW forscht in diesem Bereich an Technologien für das digitale Engineering von morgen: Im Lebenszyklus von Maschinen und Anlagen etablieren sich zunehmend simulationsbasierte Methoden und Werkzeuge. Um die steigende Komplexität künftiger Produktionssysteme beherrschbar zu machen, braucht es weitere innovative Ansätze, welche die Simulationstechnik breiter und tiefer im digitalen Engineering verankern. Neue Technologien wie der Digitale Zwilling und die Künstliche Intelligenz, in Verbindung mit der etablierten Methode der Virtuellen Inbetriebnahme, ermöglichen es einen sehr breiten Werkzeugkasten über das gesamte Engineering bis hin zur betriebsbegleitenden Optimierung zu entwickeln.

Digitaler Zwilling

- Zusammenführung der simulativen Abbilder von Produkt, Prozess und Ressource
- Simulationsmodelle und Simulationsarchitekturen zur Abbildung von Materialflusssystemen, Tiefzieh- und Abtragsprozessen
- Generierung von Digitalen Zwillingen für die Montageauslegung und -optimierung
- Zusammenführung von Realdaten aus der Produktion und Simulationsmodellen

Virtuelle Inbetriebnahme

- Durchgängige X-in-the-Loop Simulationsmodelle für die Absicherung des Engineerings
- Hybride Inbetriebnahme mit realen und virtuellen Komponenten
- Erweiterung der Simulation um Mixed-Reality Ansätze für Schulungen

Künstliche Intelligenz

- Virtuelle Produktionsabbilder als Trainingsumgebung für lernende Steuerungssysteme
- Testen von KI-basierter Steuerungstechnik mithilfe des Digitalen Zwillinges
- Intelligentes, sprachbasiertes Requirements Engineering mithilfe der Simulation

Projekte:

- **AMDZ:** Entwicklung einer entwurfsbasierten Sprache zur Montageprozessbeschreibung für automatisierte Auslegungsplanung von Montagelinien
- **KI-Steuerung:** Überführung von X-in-the-Loop Simulationsumgebungen in Lernumgebungen zum automatisierten Entwickeln und Optimieren von Steuerungsprozessen
- **MRiLS:** Mixed-Reality-in-the-Loop Simulation als immersive Schulungsumgebung für Maschinen- und Anlagenbediener
- **R2D2Twin:** Requirements Engineering mithilfe der Simulation auf Basis von semantischen Netzen
- **SDM4FZI Teilprojekt 8:** Der Digitale Zwilling als Test- und Optimierungsplattform im Kontext von Software-Defined-Manufacturing generierter Steuerungslösungen
- **SF-Twin - Digitaler Zwilling:** Durchgängige Digitalisierung unternehmensinterner Prozesse mit Hilfe digitaler Typenschilder und des Digitalen Zwillinges
- **SISI:** Steuerungsintegrierter Digitaler Zwilling zur Online-Optimierung von Umformprozessen



- **Soft Tissue Robotics:** Machine Learning für die Handhabung von weichen Materialien für biomedizinische Anwendungen
- **v2r-IBN:** Entwicklung einer modularen Entwicklungs- und Serviceplattform zur Implementierung eines fließenden Übergangs von der virtuellen zur realen Inbetriebnahme von Fertigungsanlagen
- **Virtueller Tischkicker:** Studentischer Wettbewerb zur SPS Programmierung am HiL-System



Lars Klingel, M.Sc.
Gruppenleiter
Virtuelle Methoden in der Produktionstechnik

+49 711 685-82393
lars.klingel@isw.uni-stuttgart.de

Dienstleistungen für die Industrie

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

Beratung und Entwicklung:

- Steuerungskonzepte, -architekturen und -algorithmen
- Kommunikationstechnik (OPC UA, TSN, Ethernet-basierte Bussysteme)
- Sondermaschinen und -Kinematiken
- Modellierung und Simulation
- Baukastenbasiertes Engineering
- FPGA-Lösungen
- Maschinen- und Komponentenoptimierung
- Auslegung von Antrieben
- Softwarearchitekturen
- Technologieberatung
- Regelungsverfahren, -parametrierung und -methoden
- Additive Fertigungstechnik
- Positioniergenauigkeitsuntersuchungen an Antriebssystemen



Schulungen und Seminare:

- Stuttgarter Innovationstage
- Lageregelseminar
- Industriearbeitskreis Simulationstechnik
- Ethernet-basierte Kommunikation (OPC UA in der Steuerungs- und Automatisierungstechnik)
- Industriearbeitskreis „TSN for Automation“
- TSN Testbed + Plugfest
- Hardware-in-the-Loop-Simulation
- OPC UA Workshops zu Companion Specifications
- Einführung in OPC UA - Grundlagen zu OPC UA



Dr.-Ing. Armin Lechler
Stellvertretende Institutsleitung
Geschäftsführender Obergeringenieur

+49 711 685-82462
armin.lechler@isw.uni-stuttgart.de

Stuttgarter Innovationstage

Im Rahmen unserer Veranstaltungsreihe „Stuttgarter Innovationstage“ sollen die heutigen Möglichkeiten und Lösungen einem Reality-Check unterzogen werden. Die Veranstaltung dient als Schnittstelle und Networking-Plattform zwischen Forschung und Industrie und soll einen Austausch und die Inspiration interdisziplinärer Lösungen und Ideen fördern. Informationen zur nächsten Veranstaltung finden Sie unter:

www.stuttgarter-innovationstage.de

Lageregelseminar

Unsere Veranstaltungsreihe „Lageregelseminar“ dient Technologieexperten aus verschiedenen Teildisziplinen der Mechatronik, Additiven Fertigung, Antriebstechnik und Industrie- und Seilrobotik als Plattform für einen aktiven Austausch. Referenten aus Industrie und Wissenschaft geben in Fachvorträgen einen Einblick in aktuelle Forschungs- und Entwicklungsthemen. Für weiterführende Diskussionen bieten Pausen und eine gemeinsame Abendveranstaltung ausreichend Möglichkeiten.

Mehr Informationen finden Sie unter:

www.lageregelseminar-stuttgart.de



Lageregelseminar 2023, Führung ISW-Halle



Stuttgarter Innovationstage 2022 in der Alten Reithalle, Maritim Hotel Stuttgart

IIC-TSN-TESTBED

Time Sensitive Networking (TSN) hat in der Industrie bereits eine breite Anerkennung als Enabling-Technologie für die Produktion der Zukunft gefunden. Entscheidende Voraussetzung hierfür ist die Interoperabilität zwischen Geräten verschiedener Hersteller. Um parallelen Entwicklungen und verschiedenen Interpretationen der Standards vorzubeugen, besteht großes Interesse an frühzeitigen Tests verschiedener Geräte in einem gemeinsamen Netz. Den entsprechenden Rahmen hierfür bietet das TSN-Testbed des IICs, welches vom ISW gehostet und betreut wird. Weitere Informationen finden Sie auch unter:

www.iiconsortium.org/time-sensitive-networks.htm



IIC TSN Testbed Plugfest 2023 am ISW

Messen und Ausstellungen

SPS Smart Production Solutions



HANNOVER MESSE



Manufacturing-X

- Datenräume
- Eclipse Dataspace Connector



Laserbearbeitung

- CNC-basierte Steuerung
- Redundante Achsen



Virtualisierung

- Echtzeitsteuerung aus der Cloud
- Orchestrierung von Echtzeitanwendungen



Digitaler Zwilling

- Echtzeitsimulation
- Verwaltungsschalen und OPC UA

Das Institut präsentierte auf der **SPS Messe 2023** in Nürnberg seine aktuellsten Forschungsthemen:

Grey-Box Modellierung

- Genauigkeitssteigerung
- Verbindung analytischer Modelle und maschinellem Lernen



Robotik

- Adaptive Roboterregelung
- Regelung aus der Cloud



Echtzeitkommunikation

- Rekonfiguration von TSN
- Energie-Monitoring mit F



Mixed Reality

- Echtzeitsimulation und M
- Visualisierung von Betriebsdaten



Das ISW präsentierte bei der **auto-matica 2022** einen Demonstrator zur Handhabung von biegeschlaffen Leitungssätzen:



Maschinenausstattung



Das ISW verfügt über einen vielseitig einsetzbaren Maschinenpark

Werkzeugmaschinen:

- **Maho MH800E**, CNC Fräsmaschine, Arbeitsbereich: X800Y450 Z500 mm
- **DMG DMC 650V**, Arbeitsbereich: X650Y520 Z475 mm
- **DMG DMU 50 ecoMill**, 5-Achs CNC Fräsmaschine, Arbeitsbereich: X500Y450 Z400 mm
- **Exeron Digma HSC600**, 5-Achs CNC Fräsmaschine, Arbeitsbereich: X650Y550 Z400 mm
- **7-Achs CNC** „Modellfräsmaschine“
- **Deckel FP3A**, Universalfräsmaschine, Arbeitsbereich: X500Y300 Z400 mm

Roboter:

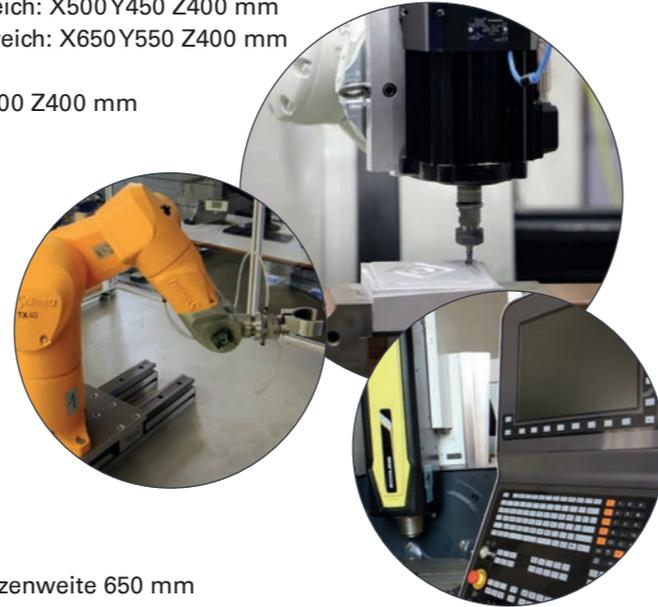
- **Kuka KR210** mit offener Steuerung
- **Stäubli TX40**, 2 Stück
- **Franka Emika Panda**
- 7-Achs **KUKA KR500**-Roboter-Bearbeitungszelle
- Räumlicher **Seilroboter** COPacabana
- **ABB IRB4400**

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:

- Versuchsstände Kugelgewindetrieb
- Versuchsstand Zahnstange-Ritzelantrieb
- Versuchsstand „Kleine Werkzeugmaschine“
- Versuchsstand Mehrachsdemonstrator zur verteilten Interpolation
- Versuchsstand Lasermaschine mit redundanten Achsen
- Linapod Stabkinematik als 3D-Drucker
- 7-Achs-Druckanlage
- Steuerungslabor
- Antriebslabor
- Studentisches Applikationslabor



Kontakt

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen (ISW)
Universität Stuttgart

Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart
Fon +49 711 685-82410
Fax +49 711 685-82808

info@isw.uni-stuttgart.de
www.isw.uni-stuttgart.de



Das ISW im Web:



ANFAHRT

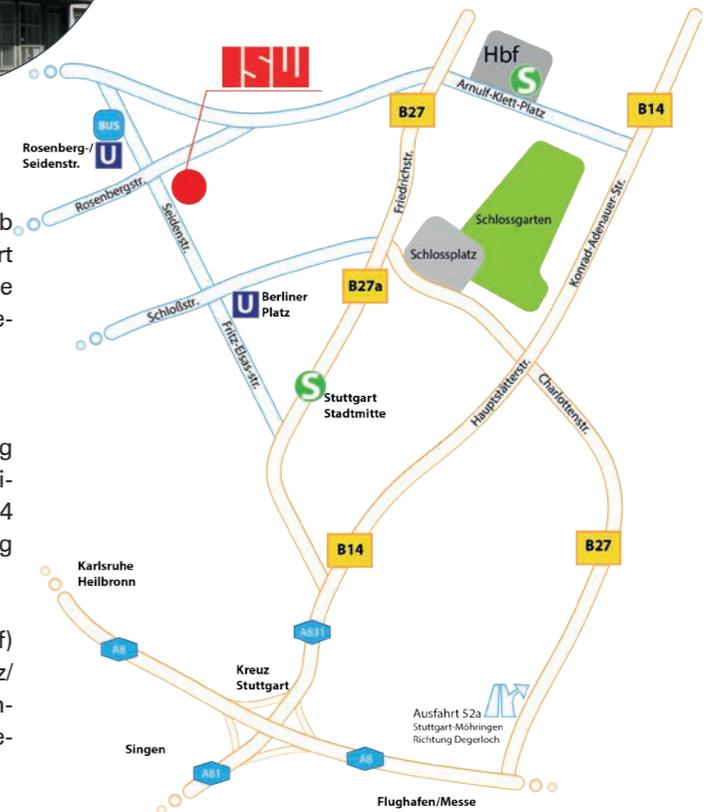
Mit dem Auto:

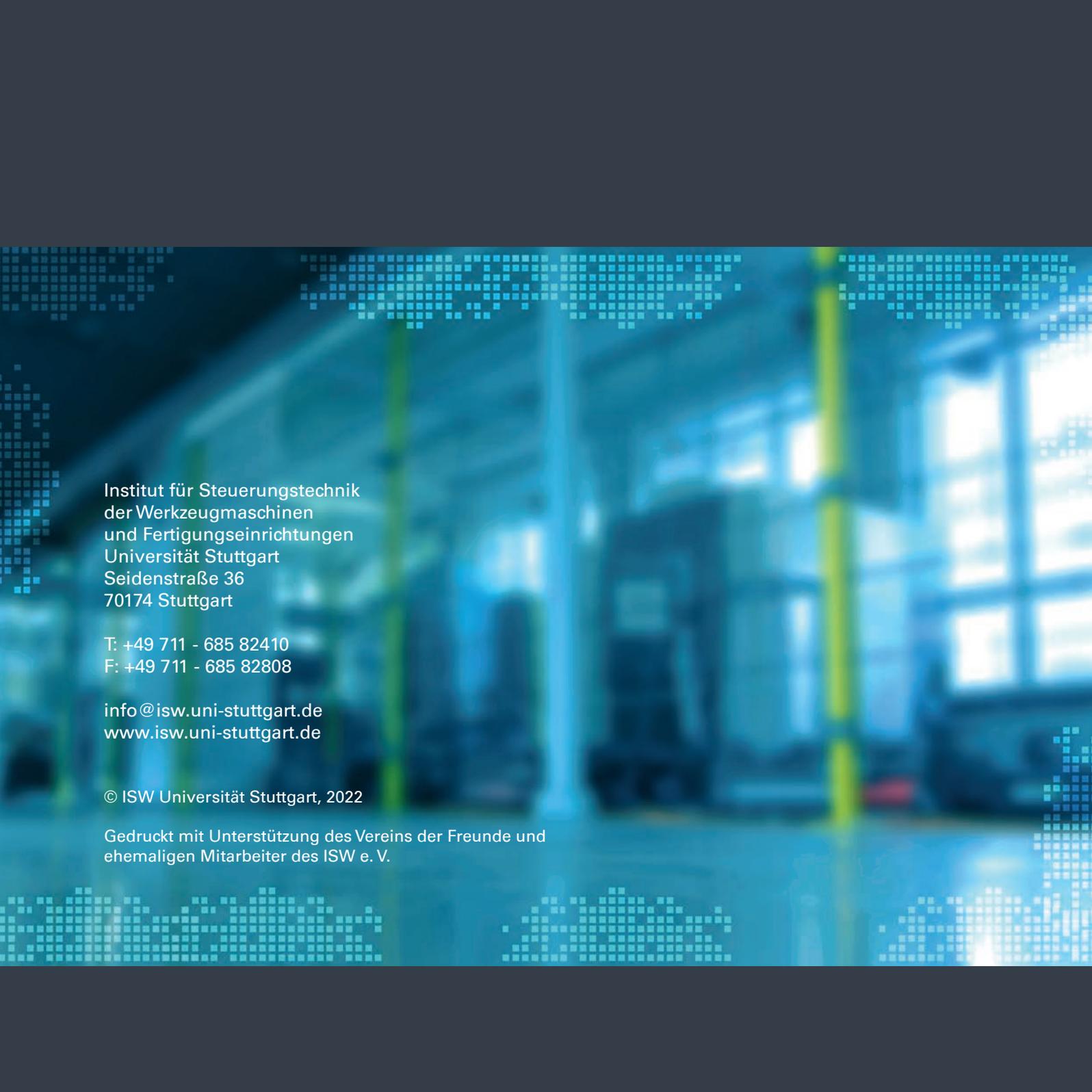
Aus Richtung München oder Karlsruhe A8, Ausfahrt 52b Stuttgart-Degerloch. Der B27 folgen in Richtung Stuttgart Zentrum. Ab Charlottenplatz weiter auf der Schlossstraße bis Berliner Platz, dann rechts in die Seidenstraße abbiegen.

Öffentliche Verkehrsmittel:

Ab **Stuttgart-Hauptbahnhof** mit dem Bus 42 (Richtung Erwin-Schoettle-Platz) bis Haltestelle Rosenberg-/Seidenstraße oder vom Rotenbühlplatz/Stadtmitte mit der U4 (Richtung Hölderlinplatz) oder mit dem Bus 43 (Richtung Killesberg) bis Haltestelle Rosenberg-/Seidenstraße.

Ab **Stuttgart-Flughafen** mit der S2 (Richtung Schorndorf) oder S3 (Richtung Backnang) bis Haltestelle Rotenbühlplatz/Stadtmitte, dann Stadtbahn Linie U4 (Richtung Hölderlinplatz) oder mit dem Bus 43 (Richtung Killesberg) bis Haltestelle Rosenberg-/Seidenstraße.





Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen
Universität Stuttgart
Seidenstraße 36
70174 Stuttgart

T: +49 711 - 685 82410
F: +49 711 - 685 82808

info@isw.uni-stuttgart.de
www.isw.uni-stuttgart.de

© ISW Universität Stuttgart, 2022

Gedruckt mit Unterstützung des Vereins der Freunde und
ehemaligen Mitarbeiter des ISW e. V.