



TUM



Jahresbericht 2014



Lehrstuhl für
Automatisierung und
Informationssysteme

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

liebe Freunde des Lehrstuhls für Automatisierung und Informationssysteme,

es ist soweit, unser erster Jahresbericht für das Jahr 2014 liegt vor.

Wir hoffen, Ihnen hiermit einen Überblick über die Aktivitäten am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme geben zu können, über die aktuellen Themen in der Lehre und Forschung, ebenso, wie über Veranstaltungen und Highlights des Jahres 2014.

Es war einmal wieder ein turbulentes Jahr, insbesondere zu den Themen Industrie 4.0, Softwareevolution, Zyklusmanagement von Innovationen, aber ebenso zu unseren Forschungsschwerpunkten *Intelligente, rekonfigurierbare, verteilte Cyber-physische Produktionssysteme, Modellbasiertes Engineering variantenreicher, interdisziplinärer Fertigungssysteme* und *Mensch-Maschine Interaktion, Datenintegration und -verarbeitung zur Unterstützung des Menschen*.

Wir haben sicherlich nicht alles erreicht, was wir uns am Anfang des Jahres vorgenommen haben, aber wir sind unserem Forschungsziel wieder ein Stückchen näher gekommen, nämlich das Engineering und den Betrieb von automatisierten Systemen, seien es nun Produkte oder Produktionsanlagen, zu verbessern.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Ihnen, unseren Forschungspartnern und unseren Freunden, aber natürlich auch beim Team des AIS für die Unterstützung und das permanente Engagement bedanken und freue mich auf die Zusammenarbeit im nächsten Jahr.

Mit freundlichen Grüßen

Ihre

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Inhalt

Forschung	7
Intelligente, rekonfigurierbare, verteilte Cyber-physische Produktionssysteme	3
Forschungsschwerpunkt wiederverwendbarer Diagnosemethoden durch Analyse aggregierter Anlagendaten für Anlagen- und Maschinenfamilien	5
MyJoghurt-Industrie-4.0-Demonstrator.....	12
Industrie 4.0 und Roboter – Robot Integrated Agent Network (RIAN).....	16
OR.NET – Sichere dynamische Vernetzung in Operationssaal und Klinik.....	19
CAR@TUM Energiemanagement III	21
Modellbasiertes Engineering variantenreicher, interdisziplinärer Fertigungssysteme.....	23
Sonderforschungsbereich SFB 768.....	25
SFB 768 – Modul integriertes Graduiertenkolleg	26
SFB 768 – Teilprojekt A6: „Disziplinübergreifendes Modulmanagement von IT-Zyklen in Innovations-prozessen“ ...	27
SPP 1593 – Design for Future – Managed Software Evolution ..	29
SPP 1593 – Model-Driven Evolution Management Framework for Automation Systems (MoDEMAs)	30

Artemis – Anforderungsbasierte Testfallentwicklung	32
ZuMaTra – Steigerung der Zuverlässigkeit von Maschinen und Anlagen durch automatisiertes Testen von Fehlerbehandlungsroutinen in der Steuerungssoftware.....	33
AutoMES – Automatische Generierung von Fertigungsmanagementsystemen.....	36
MoBaTeSt – Modell-basiertes Testen von SPS-Steuerungs- softwarevarianten für den Sondermaschinenbau.....	38
Mensch-Maschine Interaktion, Datenintegration und -verarbeitung zur Unterstützung des Menschen	41
BauFlott – Entwicklung eines Flottenmanagementsystems für Baumaschinen.....	43
ProMES – Prozesszustands-basiertes Energiemonitoring von Produktionsanlagen durch MES	45
Lehre.....	47
Bachelor Maschinenwesen	51
Grundlagen der modernen Informationstechnik 1 und 2.....	52
Automatisierungstechnik 1	58
Modellbildung und Simulation	62
Industrielle Softwareentwicklung für Ingenieure	66
Master Mechatronik und Informationstechnik	71
Automatisierungstechnik 2	72
Entwicklung intelligenter verteilter eingebetteter Systeme in der Mechatronik	74
Externe Lehrveranstaltungen.....	77
Vorlesung Prozessleitsysteme in der verarbeitenden Industrie	78

Laboranlagen.....	79
Hybrides Prozessmodell	80
Neutralisierungsanlage – Testbett für Forschung im Bereich prozesstechnischer Anlagen	83
Modulare produktionstechnische Schulungsanlagen.....	86
Pick and Place Unit – Benchmark für die Automatisierungstechnik	88
Veranstaltungen	91
Messen, Workshops und Foren	93
Deutsch-Amerikanischer Workshop “Predictive Analytics, Cyber-Physical Systems, and Industrie 4.0 in Big Data Environments”	94
Internationaler Workshop zum Thema „Model-Driven Engineering in Automation“	98
VDI/VDE GMA FA 5.15 Expertenforum „Agenten im Umfeld von Industrie 4.0“	100
AIS auf der AUTOMATICA.....	103
Internationale Gäste am AIS	107
Professor Kleanthis Thramboulidis.....	108
Abgeschlossene und laufende Promotionen.....	109
Doktorandenförderung am AIS.....	110
Promotionen.....	112
Öffentliche Veranstaltungen.....	115
Herbstuniversität am Lehrstuhl AIS	116
Mädchen machen Technik am Lehrstuhl AIS	117
Tag der offenen Tür.....	119

Tag der Studenten.....	121
Informationen.....	123
Liste der Abschlussarbeiten am AIS.....	124
Liste der Veröffentlichungen	126
Personen.....	133

Forschung

Forschung

The focus of the Institute of Automation and Information Systems (AIS) in 2013/14 was to establish novel methods, approaches and tools to cope with the challenges that result from the increasing demand to produce customer-specific, individual products in the machine and plant manufacturing domain. Therein, innovative approaches for Industrie 4.0-capable systems have been developed to support both the engineering and the operation of Cyber-Physical Production Systems. Among others, technologies and methods applied at AIS are agent-based and service-oriented approaches as well as modeling approaches – both semi-formal and formal – to provide novel concepts for designing and operating intelligent, reconfigurable, distributed Cyber-Physical Production Systems. Especially methods and technologies from the computer science domain are used and adapted to address the challenges in automation and in the machine and plant manufacturing domain. Moreover, taking the interaction with humans and machines into account, the methods and approaches developed at AIS are analyzed and evaluated in real-world scenarios and together with experts from industry.

Intelligente, rekonfigurierbare, verteilte Cyber-physische Produktionssysteme

Intelligente, rekonfigurierbare, verteilte Cyber-physische Produktionssysteme

Due to the ever-increasing complexity and dimensions in industrial automation, the distribution of intelligence and automation tasks among system components is necessary. The research topic's main challenge is to explore the advantages of distributed systems such as enhanced reliability, reusability and modularity contrary to the main disadvantages e.g. the extended need of communication. Current researches deal with the implementation and optimization of distributed systems itself regarding functional and non-functional requirements. Several aspects of distributed systems are addressed.

At AIS, notations, methods and tools are developed for the design of agent-oriented automation software for machines and production plants in both the manufacturing and process automation domain. By that, the design, implementation and operation of distributed, intelligent cyber-physical production systems can be simplified, comprehensibility can be increased and, thus, acceptance in industry can be enhanced.

In 2014, AIS was able to establish a joined demonstrator "myJoghurt" that shows the capabilities of agent-based approaches in the context of Industrie 4.0. In collaboration with 5 German institutes, this open research demonstrator has been developed and established. Together with international robot companies the same architecture and platform was applied for a collaborative production. Using simple scenarios, the coupling of locally distributed production systems in an automatic and dynamic manner can be demonstrated.

Forschungsschwerpunkt wiederverwendbarer Diagnosemethoden durch Analyse aggregierter Anlagendaten für Anlagen- und Maschinenfamilien

Bearbeiter: Birgit Vogel-Heuser, Dorothea Pantförder, Daniel Schütz, Jens Folmer

Die Verfügbarkeit von Anlagen ist eines der höchsten Ziele jedes Anlagenbetreibers. Verfügbarkeitssteigerung bedeutet, den aktuellen Zustand von jedem Sensor und Aktor, über das Produkt bis hin zur gesamten Anlage einzuschätzen und, vor oder auch im Fehlerfall, Fehlerkompensationsmaßnahmen durchzuführen, um den Anlagenbetrieb aufrecht zu erhalten. Gleichzeitig soll in allen Situationen die geforderte Produktqualität erreicht werden. Das ist weit mehr, als Diagnosesysteme oder Asset Management Systeme (AMS) heutzutage leisten und erfordert neue und innovative Methoden, basierend auf aktuellen und zukünftigen Technologietrends.

Der Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme erforscht neue und innovative Methoden für wissensbasierte Asset Management Systeme, datengetriebene Diagnosemethoden im Kontext von Industrie 4.0 und Cyber-Physical-Production Systems (CPPS) im kompletten Anlagen-Lifecycle und unter Berücksichtigung von menschlichen Einflussfaktoren bei Einsatz von Mensch-Maschine Schnittstellen.

Informationsgewinn durch Datenaggregation aus anlagenweiten Datenquellen – Weg von den Datengravern hin zur Wertschöpfung

Jedes Unternehmen besitzt eine Flut von Daten aus verschiedensten interdisziplinären Bereichen und verschiedenen Phasen des Anlagenlebenszyklus, wie zum Beispiel Dokumente aus den Entwicklungsphasen der Anlage oder auch Daten die während des Betriebs der Anlage, zu Gewährleistungszwecken, aufgezeichnet werden (Meldungs- und Prozessdaten). In beiden Datenquellen steckt viel menschliches

Know-how und Informationen über Störungen und Störbeseitigungen. Beide Datenquellen werden oft zu Datengräbern und die Informationen über Störungen nicht durch Analysemethoden extrahiert oder gar zum Informationsgewinn für ein AMS aggregiert.

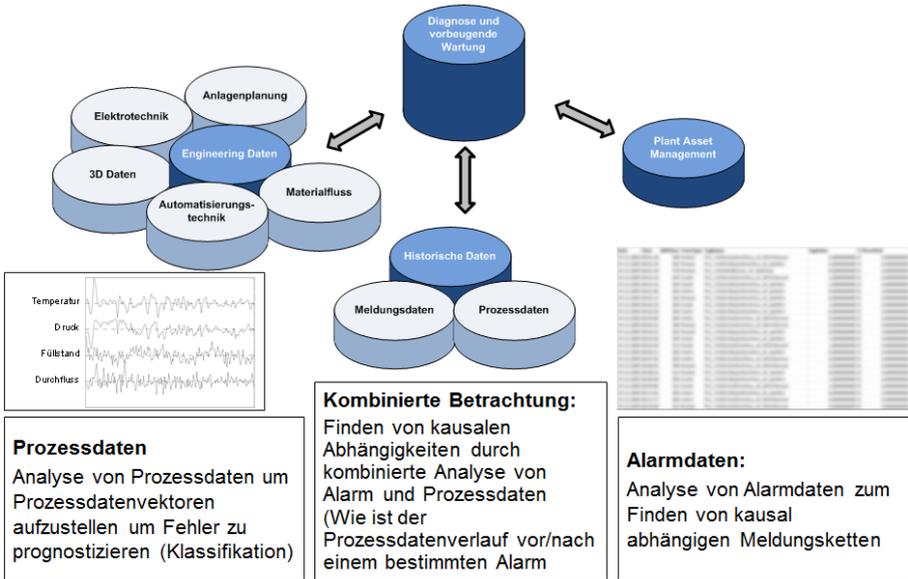


Abbildung 1: Vernetzung von Produktionseinheiten durch Industrie 4.0 für die Übertragung von Diagnoseinformationen an Maschinen- und Anlagenfamilien¹

Ein Forschungsziel der Lehrstuhls im Bereich wissensbasiertes Asset Management System ist es, neue Diagnosemethoden im Bereich der oben beschriebenen Datenaggregation zu erforschen und das mit neuen datengetriebenen Analysetechniken. Dabei werden aus den Daten Störungscharakteristiken analysiert. Störungscharakteristiken sind nicht nur Merkmale die eine Störung beschreiben, sondern beinhalten

¹ Folmer, J.; Meyer, H.; Weißenberger, B.; Vogel-Heuser, B.. Diagnosis of Automation Devices based on Engineering and Historical Data. In: IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 2012. DOI: 10.1109/ETFA.2012.6489688

auch die Symptome einer Störung, die Auswirkung einer Störung auf vor- und nachgelagerte Prozesse und ebenfalls die Störbeseitigungsmaßnahmen, durch Beobachtung der Eingaben des Anlagenbedieners im Fehlerfall. Die analysierten Störungscharakteristiken werden dem Wissensbasierten Asset Management System übertragen und während des Anlagenbetriebs eingesetzt, um automatisch Störungen frühzeitig zu erkennen und im Sinne der Self-Healing Machine® automatisch Kompensationsstrategien durchzuführen, um die Betriebszeiten der Anlage zu erhöhen.

Der Lehrstuhl hat bereits einige der oben genannten Aspekte in verschiedenen Projekten realisiert und gezeigt, welche Zusatzinformationen für ein wissensbasiertes Asset Management System notwendig sind und wie die Anlagenverfügbarkeit mit diesen Ergebnissen gesteigert werden kann – das alles mit minimalem Mehraufwand:

- Steigerung der Anlagenverfügbarkeit
- Statistische Identifikation von Störcharakteristika
- Datenintegration und statistische Analyse zur Identifikation kausaler Störcharakteristika
- Entwicklung von Agentensystemen zur Steigerung der Anlagenverfügbarkeit, S. 16
- Forschungsfeld: Datenintegration und -verarbeitung zur Unterstützung des Menschen, S. 42 ff.

M2M-Kommunikation von Diagnosemethoden und Störungscharakteristika – Eine Anlage warnt die andere

Im Sinne der Wertschöpfungskette eines Unternehmens sollen wissensbasierte Asset Management Systeme und die erforschten datengetriebenen Diagnosemethoden nicht nur an einer Anlage eingesetzt werden. Durch CPPS und Industrie 4.0 werden zukünftig Maschinen und Anlagen weltweit miteinander vernetzt und werden Diagnoseinformationen austauschen. Zukünftig werden Maschinen und Anlagen sich über Störungscharakteristiken unterhalten, um wissensbasierte

Asset Management Informationen auf Maschinen- und Anlagenfamilien zu übertragen. Einmal gewonnene Störungscharakteristika werden anlagenübergreifend eingesetzt, und das bevor eine Störung in einer benachbarten Anlagen eingetreten ist. Somit warnt eine Maschine eine andere Maschine der gleichen Maschinenfamilie.

Wir als Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme sind einer der Enabler und Treiber von CPPS und Industrie 4.0. Wir sind Mitinitiatoren des Forschungsnetz MyJoghurt (siehe S. 12) für die Demonstration von CPPS und Industrie 4.0. Verschiedene Anlagen im universitären Umfeld wurden miteinander vernetzt und werden in Kooperation miteinander betrieben. Dieses Forschungsnetz demonstriert den Unternehmen Chancen und Nutzen im Kontext vernetzter und autonom kommunizierender Anlagen. Die Anlagen im Forschungsnetz werden durch künstliche Intelligenzen vernetzt und können sich dynamisch zur Laufzeit rekonfigurieren, damit Kundenaufträge termingerecht bearbeitet sind - und das auch im Fehlerfall. Sollte Anlagen komplett ausfallen, übernehmen andere Anlagen die Aufträge (auch im verteilten Anlagenverbund), sofern die Anlagen die geforderten Funktionalitäten zur Produktion realisieren können.

- Industrie 4.0 Demonstrator: MyJoghurt, S. 12
- Multi-Agent-Systeme zur Verfügbarkeitssteigerung, S. 16
- Forschungsfeld: Intelligente, rekonfigurierbare, verteilte Cyber-physische Produktionssysteme, S. 4 ff.

Außerdem ist Frau Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser Vorsitzende des VDI/VDE-GMA Fachausschuss 5.15. „Agentensysteme in der Automatisierungstechnik“, welcher das diesjährige Expertenforum „Agenten im Umfeld von Industrie 4.0“ (siehe S. 100) organisiert hat. Somit sind wir im ständigen Kontakt mit Unternehmen und Forschungsinstituten, um gemeinsam agentenorientierte Ansätze in der Forschung zu verbessern und industriell zu etablieren.

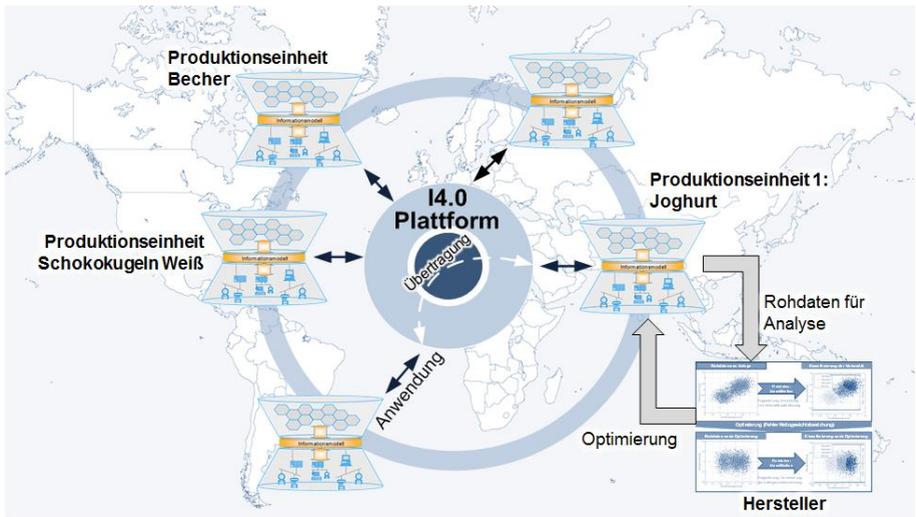
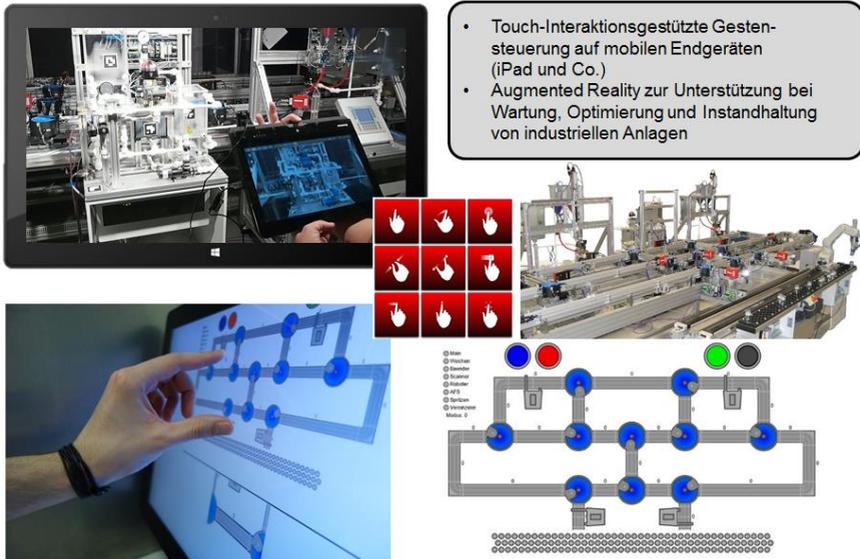


Abbildung 2: Vernetzung von Produktionseinheiten durch Industrie 4.0 für die Übertragung von Diagnoseinformationen an Maschinen- und Anlagenfamilien²

Visuelle Unterstützung von Anlagenbedienern im Kontext von Industrie 4.0 – Der menschliche Aspekt ist nicht zu unterschätzen

Der Trend geht verstärkt dahin, die klassische 2D Anlagenbeobachtung und -bedienung durch mobile Endgeräte und anwendungsabhängige 3D Visualisierungen abzulösen. Die Leistungsfähigkeit der mobilen Anzeigekomponenten stellt kein Hindernis mehr dar. Die Anlagenvernetzung und Datenaggregation hingegen führt zwar zu einer Informationsgewinnung, führt jedoch zu der Herausforderung den Anlagenbediener eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Verfügung zu stellen, um die aus den verschiedenen Datenquellen gewonnenen Informationen anzuzeigen. Hierbei sind auch die Usability und die Akzeptanz von neuartigen Bedienelementen zu betrachten.

² Pötter, T.; Folmer, J.; Vogel-Heuser, B.: Enabling Industrie 4.0 – Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in der Produktion, Automatisierung und Logistik, 2014, S. 159-171. DOI: 10.1007/978-3-658-04682-8_8



- Touch-Interaktionsgestützte Gesteuerung auf mobilen Endgeräten (iPad und Co.)
- Augmented Reality zur Unterstützung bei Wartung, Optimierung und Instandhaltung von industriellen Anlagen

Abbildung 3: Touchinteraktion – Zukünftige Generation von Visualisierungen für die Operatorunterstützung und Instandhaltung

Unser interdisziplinäres und transdisziplinäres Team - bestehend aus dem Maschinenbau, der Informatik, der Elektrotechnik, Mechatronik und Psychologie - überzeugt durch Anwendung und Forschung von neuen Visualisierungsmöglichkeiten. Unterstützt durch unsere Ingenieurspsychologen der Arbeitswissenschaften zeigen wir nicht nur die grundsätzliche ingenieurmäßige Anwendbarkeit von neuen Visualisierungsmedien und -techniken, sondern beweisen durch empirische Studien den Nutzen neuer Technologien für den Endanwender und das unter Einbezug von menschlichen Einflussfaktoren mit unterschiedlichen fachlichen Ausbildungsstand. Diese Kompetenz haben wir bereits in einigen Forschungsprojekten unter Beweis gestellt:

- Augmented Reality zur Operatorunterstützung und Instandhaltung
- Interaktive 3D Visualisierung zu Operatorunterstützung
- Industrie 4.0 Demonstrator: MyJoghurt, S. 12
- Forschungsfeld: Mensch-Maschine Interaktion, S. 42 ff.

Forschung und Praxis – Echte industrielle Anwendungen sind das Ziel

Herausforderungen bestehen nicht nur bei der Erforschung neuer Methoden innerhalb der Forschungsschwerpunkte des Lehrstuhls und der Anwendung an (sterilen) Laboranlagen, sondern auch in der Machbarkeit im realen und rauen industriellen Umfeld. Hierbei unterstützen uns langjährige und vertrauensvolle Kooperationen von mehr als 30 namenhaften Unternehmen, sowohl national als auch international - von fertigungstechnischen, über verfahrenstechnischen, bis hin zu hybriden Prozessen.

MyJoghurt-Industrie-4.0-Demonstrator

Bearbeiter: Felix Mayer, Dorothea Pantförder,
Birgit Vogel-Heuser

Projektpartner: IAS – Universität Stuttgart, IFAT – Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, ifak - Institut für Automation und Kommunikation Magdeburg

Projektlaufzeit: seit März 2013

Der Industrie-4.0-Demonstrator *MyJoghurt* ist ein Zusammenschluss deutscher Automatisierungs-Forschungsinstitute, um das Verständnis von Industrie 4.0 und die daraus resultierenden Herausforderungen auf einfache Art und Weise anschaulich begreiflich zu machen. Der Demonstrator wurde vom AIS gemeinschaftlich mit dem IFAT und ifak in Magdeburg und dem Lehrstuhl IAS der Universität Stuttgart initiiert. Er soll *eine* Möglichkeit aufzeigen, wie Industrie 4.0 in der Automatisierungstechnik umgesetzt werden kann.



Abbildung 4: Initiatoren des Demonstrators

Durch den *myJoghurt*-Demonstrator soll die Kopplung und Vernetzung räumlich getrennter Produktionsanlagen exemplarisch gezeigt und verdeutlicht werden. Diese Kopplung soll weitestgehend automatisch geschehen und sowohl dynamisch, wie auch skalierbar sein. Parallel werden die Szenarien *Produktion, Diagnose, Optimierung* und

Rekonfiguration entwickelt, die neue Anwendungsfälle von Industrie 4.0 definieren und bereits bekannten Anwendungsfällen auf neue Art und Weise begegnen.

Alle Szenarien werden vollautomatisch, ohne direkten manuellen Eingriff während des Betriebs, selbstständig durch das Anlagennetzwerk ausgeführt. In einem ersten Schritt wurde die vollautomatische Produktion mit räumlich getrennten Produktionsanlagen realisiert. Die Realisierung der Informationsflüsse und ihre Darstellung ist dabei entscheidend. Ein Transport realer Güter, zum Beispiel der Flaschen, zwischen den Anlagen oder die Herstellung realen Joghurts ist dabei letztlich nicht nötig. Insbesondere die Schaffung dieses verteilten Systems und damit die informationstechnische Kopplung der beteiligten Anlagen, ist für die erfolgreiche Realisierung des Demonstrators wichtig. Dazu ist ein einheitlicher Kommunikationsstandard zwischen den Anlagen notwendig, damit Daten ausgetauscht werden können und die Funktion des Gesamtsystems ermöglicht wird.

Als Grundlage zur Kommunikation wurde ein agentenbasierter Ansatz gewählt, da die selbstständige und prinzipiell verteilte Natur von Agenten dem Konzept des Demonstrators und Industrie 4.0 sehr entgegenkommen. Agenten sind intelligente und selbstständige Softwarebausteine, die dynamisch auf ihre Umwelt reagieren können. Um einen leichten Einstieg und eine aufwandsarme Teilnahme am Demonstrator für Andere zu ermöglichen, wurde in diesem Zusammenhang ein Agenten-

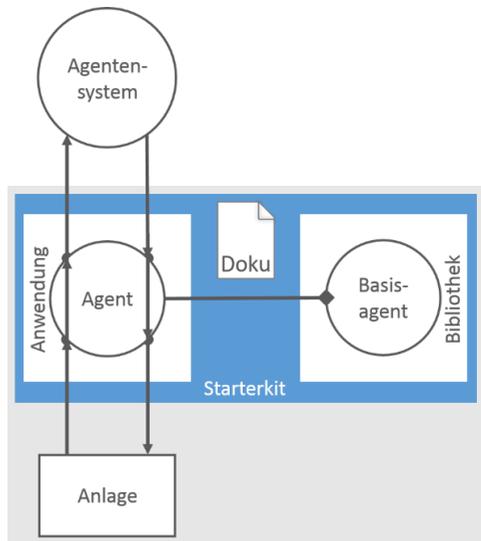


Abbildung 5: Anbindung des Starterkits

Starterkit entwickelt und implementiert, das die vollständige Implementierung aller Basisfunktionalitäten enthält und lediglich um die anwendungsspezifischen Aspekte erweitert werden muss. Das Starterkit ist frei unter <http://i40d.ais.mw.tum.de> verfügbar.

Durch die Einbindung des Starterkits in eigene Projekte können diese in Richtung Industrie 4.0 migriert werden, was zusätzlich durch eine Dokumentation erleichtert wird. Das entwickelte Agentensystem wurde in Hinblick auf Ressourcenverbrauch optimiert und kann aufgrund der Umsetzung in C und IEC 61131-3 auf einer großen Anzahl von Geräten eingesetzt werden. Insgesamt kann das Agentensystem so auf unterschiedlichen Ebenen der klassischen Automatisierungspyramide eingesetzt werden, vom Sensor bis zum MES. Diese breite Einsetzbarkeit ist Voraussetzung für die Möglichkeit möglichst viele unterschiedliche Szenarien abdecken zu können.

Somit ist es möglich auf einfache Art und Weise einen für den spezifischen Anwendungsfall zugeschnittenen Agenten zu erstellen, der sich

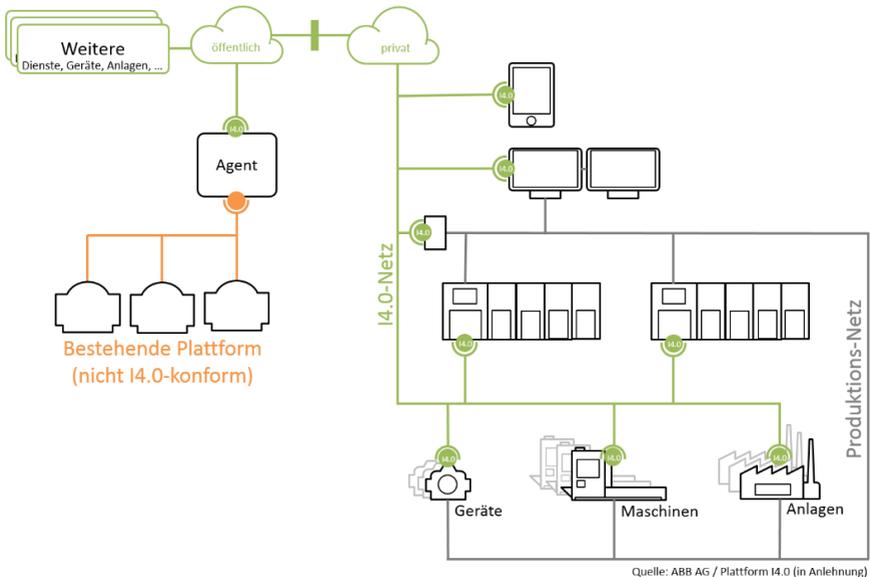


Abbildung 6: Anbindung an bestehende Plattform

anschließend selbstständig mit dem Agentennetzwerk verbindet und diesem neben dem eigenen Namen auch die eigenen Fähigkeiten mitteilt. Hierdurch ist es insgesamt möglich, bereits existierende Anlagen schrittweise für Industrie 4.0 fit zu machen und diese so zu migrieren, indem zum Beispiel Kapazitäten je nach Bedarf und Verfügbarkeit angefragt werden.

Die Anwendbarkeit des Agentensystems ist selbstverständlich nicht nur im Umfeld von myJoghurt möglich, sondern ebenso in vielen weiteren Industriebranchen. Ein Beispiel hierfür ist die erfolgreiche Verwendung des hier angesprochenen Agentennetzwerks im Jahr 2014 im Rahmen der Demonstration einer verteilten Produktion auf der Automatica in München (siehe S. 94).

Industrie 4.0 und Roboter – Robot Integrated Agent Network (RIAN)

Bearbeiter: Daniel Regulin, Michael Schneider

Projektpartner: BTU Cottbus-Senftenberg, Reis GmbH, FANUC Deutschland GmbH, Beckhoff Automation GmbH, SCHUNK GmbH & Co. KG, MartinMechanic, Ortner GmbH, Messe München GmbH

Projektlaufzeit: Dezember 2013 - Juni 2014

Das Robot Integrated Agent Network (RIAN) des Lehrstuhls AIS bietet die Möglichkeit, Anlagen und Roboter auf Steuerungsebene zu vernetzen. Der Nutzen dieser Kompetenz liegt in der Verknüpfung verschiedener unternehmensinterner sowie unternehmensexterner Produktionsschritte auf informationstechnischer und physikalischer Ebene.

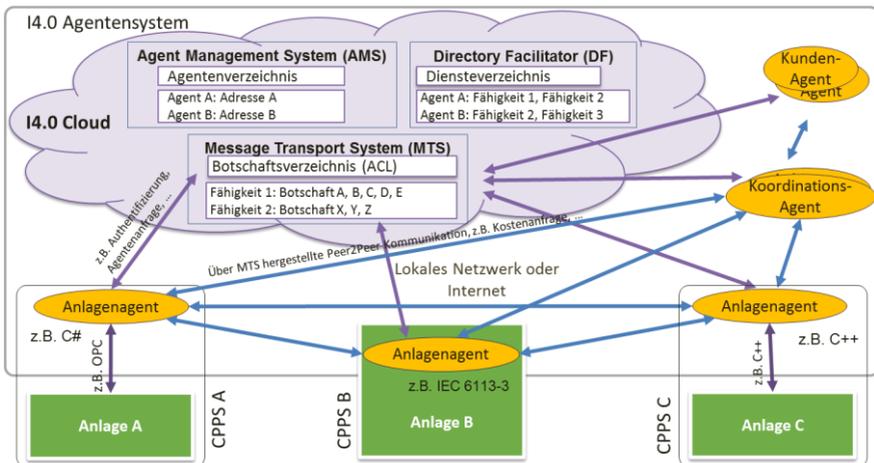


Abbildung 7: Architektur des Industrie 4.0-Agentensystems

Die Grundlage der Vernetzung bilden sogenannte Agenten, intelligente Softwarebausteine, welche eine Wissensbasis (z.B. Status, Funktionen, Auslastung, Preis) über eine Anlage bzw. einen Anlagenteil oder

Roboter besitzen und diesen im Netzwerk repräsentieren. Ein Handlungsspielraum ermöglicht Eingriffe in die Steuerung von Produktionsmaschinen zur Echtzeit.

Die Anbindung der Anlagensteuerungen an die Industrie 4.0 Agentenplattform wird analog zu der Forschungsplattform „MyJoghurt“ durch ein Automatisierungsgerät mit einem Basisagenten realisiert. Die proprietäre Steuerung bleibt somit erhalten und getrennt vom Industrie 4.0 Zugang. Als Schnittstelle dienen beispielsweise Standards wie OPC oder Eigenentwicklungen. Alternativ kann der Basisagent auch auf der proprietären Steuerung implementiert werden. Diese Flexibilität schafft die Voraussetzungen für die Migration neuer oder bestehender Anlagen und Roboter in das Agentennetzwerk und somit eine schrittweise Einführung von Industrie 4.0 in das industrielle Umfeld.

Auf Grundlage von Maschinenprozessdaten, einer auftragsbezogenen Produktkonfiguration, sowie dem aktuellen Auftragsstatus wird somit zur Laufzeit eine Optimierung der Produktionsprozesse durchgeführt, um das Produkt nach geforderten Kriterien (z.B. Energie, Zeit) optimal zu fertigen.

Welche Funktionen bzw. Produktkonfigurationen für den Produktionsprozess zur Verfügung stehen, hängt von den im Netzwerk angemeldeten Produktionseinheiten ab und ist in einem Dienstverzeichnis in der Industrie 4.0-Cloud abgelegt.

Zur Kommunikation ist eine einheitliche Sprache der Agenten erforderlich. Diese definierten Botschaften, welche im Message Transport System hinterlegt sind, ermöglichen den Austausch über das Internet in der I4.0-Cloud. Ergänzend zu den Anlagen- und Roboteragenten unterstützt ein Koordinationsagent die Ausführung der korrekten Arbeitsschritte im Produktionsablauf. Kundenagenten initiieren individuelle Aufträge mit der Mindestlosgröße 1 und stellen gleichzeitig eine Verfolgung sowie Benachrichtigung des Endkunden sicher.

Während des Produktionsprozesses sind die Informationen zur Bearbeitung und Montage logisch an das Werkstück geknüpft. Auf diese Weise sucht sich das Produkt den optimalen Weg durch die Fertigungsstationen. Bei Ausfall oder geänderten Anforderungen an Produkt bzw. Prozess kann ein Agent Anlagenaktivitäten neu anordnen – bis hin zur Laufzeitrekonfiguration auf der Steuerung in der Feldebene. Eine Kapselung der Prozessinformationen im jeweiligen Anlagenagenten sorgt für die Sicherheit der Daten und den Schutz des Firmen-Knowhows.

Die Zeitabhängigkeit als Randbedingung aller Produktionsprozesse zwingt zur Überwachung der botschaftenbasierten Kommunikation und Einhaltung einer maximalen Latenz, um einen kontinuierlichen Produktionsprozess zu gewährleisten. Das Engineering der Kommunikation, insbesondere die Spezifikation der ausgetauschten Informationen, wird dabei durch ein modellbasiertes Vorgehen unterstützt.

Das Management der Aufträge sowie die Optimierung der Fertigungsabläufe konnten auf der AUTOMATICA beispielhaft demonstriert werden.

OR.NET – Sichere dynamische Vernetzung in Operationssaal und Klinik



Bearbeiter: Alberto Streit, Johann Hufnagel

Gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektträger: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Projektpartner: über 40 Projektpartner: Anbieter integrierter Operationssäle, Hersteller von Medizingeräten und Medizintechnik-Komponenten, (IT-) Dienstleister, Fachkliniken Klinik-IT-Abteilungen und Betreiber

Projektlaufzeit: 01.09.2012 – 01.09.2015

Projektbeschreibung:

Die steigende Zahl von computergestützten Geräten und Instrumenten in Operationssälen bzw. Kliniken führt aktuell zu dem Bedarf, Systeme und Softwarelösungen in eine gesamtheitliche IT-Infrastruktur zu integrieren. Bisher können nur größere internationale Hersteller monolithische Gesamtlösungen anbieten. Ein etablierter herstellerübergreifender Standard zur Vernetzung von Medizingeräten existiert bisher nicht.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung von zertifizierbaren, herstellerunabhängigen Vernetzungsmöglichkeiten für Geräte und IT-Systemen im medizinischen Umfeld. Dazu wird ein einheitliches Datenmodell zur gernerischen Beschreibung von Medizingeräten auf Basis der DIN EN ISO 11073 entwickelt, welches eine Plug&Play-fähige Vernetzung ermöglicht. Die Kommunikation erfolgt über eine Serviceorientierte Architektur (SOA) mittels Medical Device Profile for Web Services (MDPWS). Besondere Herausforderung ist, dass die Übertragung von Steuerungsinformationen zwischen Medizingeräten im höchsten Maß

sicherheitskritisch ist, da die Gesundheit des Patienten bei einer Fehlfunktion unmittelbar gefährdet ist. Die Informationsübertragung muss innerhalb von Zeitschranken, die von der jeweiligen Operation abhängig sind, gewährleistet werden (Echtzeit). Spezifikationen, Test – und Zertifizierungsmaßnahmen zur Einhaltung der durch eine Befragung von Kliniken und Medizingeräteherstellern ermittelten Quality of Service (Qos) werden entwickelt.

CAR@TUM

Energiemanagement III



Bearbeiter: Sebastian Rehberger, Daniel Regulin, Michael Schneider

Gefördert durch: BMW AG

Projektträger: BMW AG

Projektpartner: BMW AG, Lehrstuhl für Produktentwicklung, Lehrstuhl für Ergonomie, Fachgebiet für Energiewandlungstechnik

Projektlautzeit: 01.04.2011 - 31.03.2014

Projektbeschreibung:

Im Rahmen der Kooperationsvorhaben Energiemanagement im Kraftfahrzeug (EM) I + II zwischen der BMW Forschung und Technik GmbH und der Technischen Universität München konnten in den Jahren 2003 bis 2010 zukunftsweisende Forschungsergebnisse zu Themen des Energiehaushaltes und -verbrauches im Kraftfahrzeug gewonnen werden. Die Erkenntnisse, Modelle sowie eine verteilte Optimierung aus diesen Projekten bildeten eine hervorragende Ausgangsbasis für eine dritte Projektphase.

Die Forschungsthemen in den Bereichen Antriebsstrang, Betriebsstrategie, Kundenwahrnehmung und Powermanagement wurden über eine Laufzeit von 3 Jahren durch die Lehrstühle für Automatisierung und Informationssysteme, Ergonomie sowie das Fachgebiet für Energiewandlungstechnik bearbeitet. Zusätzlich wurde das Projekt von 2011-2013 vom Lehrstuhl für Produktentwicklung unterstützt.

Unser Forschungsschwerpunkt bestand während des Projekts zum einen in der Absicherung und Einordnung von elektrischen Komponentenverbräuchen im Antriebsstrang. Es wurde eine Methode zur automatisierten Erstellung physikalischer Modelle entwickelt, welche auf Basis von validen Messdaten eine automatische Parametrierung der

Modellkomponenten ermöglicht. Auf Basis dieser Modelle können fahrzeugspezifische Vorhersagen getroffen und Auswirkungen von Komponentenänderungen getroffen werden. Die Ergebnisse wurden auf dem IFAC World Congress 2014 in Kapstadt veröffentlicht³. In einem zweiten Schritt wurde eine Methode zur Plausibilisierung entwickelt, welche eine Evaluation von Ergebnissen der Messfahrten hinsichtlich ihrer Realitätstreue ermöglicht. Die Anwendung der Methode versetzt die Fachabteilung in die Lage, Messergebnisse anhand von Vertrauensmaßen auf ihre Qualität zu beurteilen und Fehlverhalten (z.B. Defekt) einer Komponente zu detektieren, ohne eine detaillierte manuelle Auswertung durchzuführen.

Im zweiten Schwerpunkt wurde eine Gesamtfahrzeugsimulation (GFS) erstellt, welche ein Fahrzeug hinsichtlich mechanischem und elektrischem Verhalten abbildet. Hierzu wurden Optimierungs-Algorithmen verwendet, um die Modellparameter im Fahrzeug zu variieren, bis sich eine optimale Konfiguration hinsichtlich Verbrauch und Kundenwahrnehmung ergibt. Zur Beschleunigung dieses Vorgangs wurden Methoden zur Parallelisierung der Optimierungsvorgänge entwickelt und eingesetzt.

Auf Grundlage dieser GFS stand im dritten Projektjahr die Entwicklung einer alternativen Betriebsstrategie im Fokus. Der Transfer eines aus der Automatisierungstechnik bekannten Ansatzes, basierend auf Agenten, wurde adaptiert und in einem ersten Schritt simulativ in MATLAB/Simulink umgesetzt. Aufgrund der Verteilung der Rechenknoten im Fahrzeug fand die Evaluation des entwickelten Multi-Agent-System exemplarisch durch eine Hardware-in-the-Loop Implementierung auf vernetzten Einplatinenrechnern statt. Hierdurch konnte die Machbarkeit des Agenten-Ansatzes unter realen Echtzeit-Anforderungen nachgewiesen werden.

³ Regulín, D.; Schneider, M.; Rehberger, S.; Vogel-Heuser, B.: Automated model generation in the electrical automotive driveline components. In: 19th IFAC World Congress, Kapstadt, Südafrika, 2014. S. 4499-4504.

**Modellbasiertes Engineering
variantenreicher, interdisziplinärer
Fertigungssysteme**

Modellbasiertes Engineering variantenreicher, interdisziplinärer Fertigungssysteme

In this field of research, the institute AIS investigates concepts and methods that address the model-based development of industrial production automation systems of different domains such as discrete manufacturing processes as well as continuous (chemical) production processes. A special focus is put on the interdisciplinary character of the design of industrial automation systems as well as on increasing the transparency and handling the complexity throughout the workflow of automation systems' design and operation. In addition, concepts for the integration of energy aspects with the modeling of the operating performance (behavior) of production systems and automotive systems are explored. Therefore, different modeling languages are investigated and adapted for these different classes of mechatronic systems and corresponding editors and tool environments have been developed. For the coupling and synchronization of heterogeneous models model transformations as well as formal methods for consistency checking have been successfully investigated. Concerning the transfer of research results into industrial applications, a major outcome of this field of research is the successful realization of approaches for model-based automation software development, code generation, and model-based debugging as well as software testing inside a development environment for automation software that is widely used in industry.

Sonderforschungsbereich SFB 768



Sprecherin: Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Der Sonderforschungsbereich 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen – verzahnte Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte“ hat die transdisziplinäre Entwicklung von Modellen, Methoden und Werkzeugen für die Erstellung von innovativen Produkt-Service Systemen (PSS) zum Ziel. Die wesentlichen Zielgrößen sind dabei die Verbesserung der Effektivität und Effizienz der Innovationsprozesse von PSS.

Die Betrachtung von Zyklen integriert die disziplinspezifischen Perspektiven auf Innovationsprozesse und berücksichtigt unternehmensexterne und -interne Veränderungen. Im Fokus der Untersuchungen stehen wiederkehrende Verlaufsmuster und deren inhaltlichen sowie temporalen Abhängigkeiten der unterschiedlichen Disziplinen in Unternehmen der produzierenden Industrie.

Die Vorgehensweise des Sonderforschungsbereichs orientiert sich an dem Dreischritt des „Verstehens – Modellierens – Gestaltens“ von Innovationsprozessen. Die wesentliche Prämisse ist die transdisziplinäre Herangehensweise in der Ergebniserarbeitung über die enge Verzahnung der beteiligten Fachdisziplinen.

Im November 2013 übernahm Frau Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser vom Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme die Sprecherschaft des SFB 768. Zudem ist sie Teilprojektleiterin der Projekte A6 „Disziplinübergreifendes Modulmanagement von IT-Zyklen in Innovationsprozessen“ und MGK „Modul Integriertes Graduiertenkolleg“.

Im Oktober 2014 ist außerdem das Buch „Innovationsprozesse zyklusorientiert managen - Verzahnte Entwicklung von Produkt-Service Systemen“ im Springer-Verlag erschienen, welches die bisherigen Ergebnisse des SFB 768 industrienah zusammenfasst.

SFB 768 – Modul integriertes Graduiertenkolleg



*Abbildung 8: Teilnehmer der Summerschool
beim Vortrag von Prof. Thramboulidis*

Im Rahmen der Exzellenzinitiative ist im Jahr 2009 die TUM Graduate School der Technischen Universität München gestartet. Mit dieser Graduiertenschule fördert die Technische Universität München eine strukturierte Promotion mit fachlichen, wissenschaftlichen, internationalen und

überfachlichen Qualifizierungsmaßnahmen.

Als Teil dieses Konzeptes besteht im Sonderforschungsbereich 768 das „Modul Integriertes Graduiertenkolleg“ (MGK) als eigenständiges Teilprojekt, welches von Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser geleitet wird.

Das MGK des SFB 768 zeichnet sich entsprechend der Gesamtprojektstruktur durch seine transdisziplinäre Ausrichtung aus. Besonders zu Beginn der Promotion sollen die Doktorandinnen und Doktoranden in kollegenspezifischen Veranstaltungen für die Arbeit in transdisziplinären Forschungsumfeldern qualifiziert werden. Dazu zählen z.B. Seminare zur transdisziplinären Forschung oder Modellierung komplexer Systeme. Um die verschiedenen Themen aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten, konnten zu den angebotenen Veranstaltungen auch in diesem Jahr hochkarätige Gäste aus Wissenschaft und Industrie als Gastredner gewonnen werden. Zu den durchgeführten Veranstaltungen im Jahr 2014 zählten Kamingespräche, Aufenthalte von Gastwissenschaftlern, eine Summerschool, sowie Seminare z.B. zum Ergebnistransfer.

SFB 768 – Teilprojekt A6: „Disziplinübergreifendes Modulmanagement von IT-Zyklen in Innovations-prozessen“



Bearbeiter: Konstantin Kernschmidt

In modernen mechatronischen Systemen trägt die IT zu einem stetig steigenden Anteil zur Funktionserfüllung bei. Bei der Entwicklung solcher Systeme müssen deshalb die Abhängigkeiten der IT-Komponenten zu Komponenten aus anderen Disziplinen in Betracht gezogen werden, um einerseits die Gesamtfunktionalität des Systems zu gewährleisten und andererseits bei einer interdisziplinären Modularisierung optimale Modulgrenzen für alle Gewerke zu definieren. Durch die kürzeren Zyklen sowohl der Software als auch der Elektrik/Elektronik kommt es in späteren Lebenszyklusphasen häufig zu Änderungen oder Updates deren Änderungsauswirkungen vor Integration in das reale System im Modell analysiert werden müssen.

Aufgrund dieser Problemstellung wurde *SysML4Mechatronics* als Modellierungsansatz entwickelt, der es ermöglicht die Zusammenhänge und Interaktionen der Komponenten der verschiedenen beteiligten Disziplinen mechatronischer Systeme (Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software) zu modellieren. Der Modellierungsansatz basiert auf der standardisierten Systems Modeling Language (SysML), welche sich aus der weit verbreiteten Modellierungssprache der Software Entwicklung, der Unified Modeling Language (UML), entwickelt hat und um Nicht-Software bezogene Aspekte zur ganzheitlichen Systementwicklung erweitert wurde. Da SysML für die Entwicklung unterschiedlichster Systeme geschaffen wurde, muss sie jedoch für den spezifischen Anwendungsfall angepasst werden.

SysML4Mechatronics bietet deshalb die Möglichkeit die Komponentenschnittstellen (Ports), welche disziplinspezifisch oder interdisziplinär sein können, zu spezifizieren und zu modellieren. Beispielsweise ist ein Sensor einerseits physisch in ein System integriert, besitzt eine

Verbindung zur Kommunikation mit der Steuerung, und ist ebenso in der Software repräsentiert; dementsprechend sind Schnittstellen in unterschiedlichen Disziplinen notwendig.

Der Modellierungsansatz ermöglicht es zudem die disziplinspezifischen Komponenten zu funktionsorientierten interdisziplinären Modulen zusammenzufügen. Insbesondere im Bereich kundenspezifischer Maschinen und Anlagen ist dabei eine 1:1:1 Modularisierung (gleiche Modulgrenzen in allen Disziplinen) oft nicht möglich bzw. rentabel. Um dieser Anforderung gerecht zu werden stellt SysML4Mechatronics die Möglichkeit zur Verfügung, in den unterschiedlichen Disziplinen obligatorische Schnittstellen an den Modulgrenzen zu definieren, welche durch Elemente außerhalb des Moduls erfüllt werden. Durch Integration der benötigten Komponenten und Module lässt sich so das Gesamtsystem interdisziplinär modellieren.

Untenstehende Abbildung zeigt den beschriebenen Ansatz am Beispiel der Demonstrationsanlage Pick-and-Place Unit.

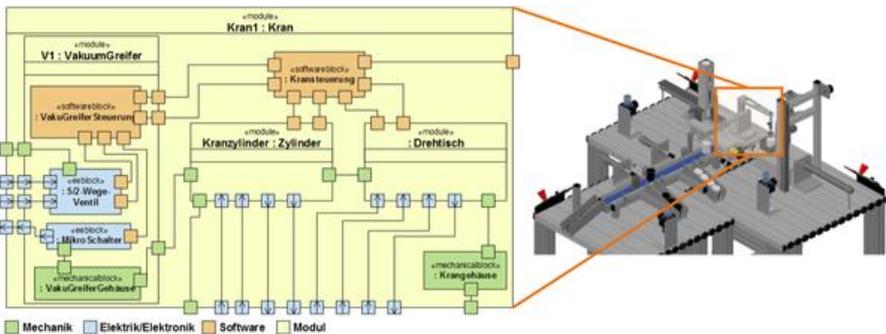


Abbildung 9: Modellierung der Pick-and-Place Unit in SysML4Mechatronics

SPP 1593 – Design for Future – Managed Software Evolution

Design For
FUTURE

Coordination Board: Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms SPP 1593 „Design for Future – Managed Software Evolution“ werden neue Ansätze in der Softwareentwicklung langlebiger Systeme untersucht. Hierbei untersuchen 13 Forschungsprojekte unterschiedliche Aspekte der Evolution. Die Evolution der Software steht im Mittelpunkt, aber auch deren Abhängigkeiten und Wechselwirkung zu anderen Disziplinen, wie beispielsweise Mechanik und Elektrotechnik/Elektronik, sowie der Evolution automatisierungstechnischer Hardware wird untersucht. Forschungsschwerpunkte sind dabei neue Methoden und Prozesse, um die kontinuierliche Veränderung von Software, sich verändernde Anforderungen, neuen Technologien und deren Integration in neue Software-, Hardware- und Systemkomponenten zu untersuchen. Alle Projekte innerhalb des Schwerpunktprogramms SPP 1593 erproben und evaluieren entwickelte Konzepte auf Basis zweier, zentraler Demonstratoren. Der Demonstrator „Produktionsautomatisierung“ wird vom Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme bereitgestellt:

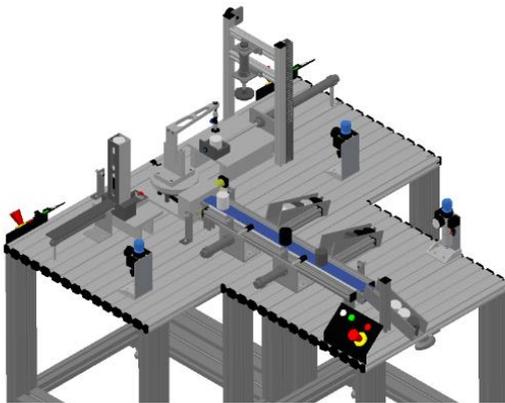


Abbildung 10: Beispielhaftes Szenario Sc10
der PPU

Die Pick and Place Unit, siehe S. 88. Auf Basis der Arbeiten an diesem Demonstrator findet ein enger Austausch von Ergebnissen zwischen den Forschungsprojekten statt, sowohl bilateral als auch im Rahmen regelmäßiger Telefon-, Webkonferenzen sowie Workshops, die vom Lehrstuhl AIS veranstaltet werden.

SPP 1593 – Model-Driven Evolution Management Framework for Automation Systems (MoDEMAS)



Bearbeiter: Christoph Legat, Jens Folmer

Im Rahmen des Forschungsprojektes MoDEMAS werden Methoden untersucht, um die Evolution von Automatisierungssystemen während des modelgetriebenen Engineerings zu verbessern. Ziel ist die Entwicklung eines Frameworks, um die Evolution von Automatisierungssystemen von der Anforderungsermittlung bis zum interdisziplinären Feinentwurf des Systems zu unterstützen. Hierbei wird ein modellbasierter Ansatz verfolgt, der durch die Anwendung formaler Methoden – insbesondere der automatischen Modellprüfung – die Korrektheit der Modelle über die Evolution hinweg sicherstellt.

Die Besonderheiten des Ansatzes lassen sich wie folgt zusammenfassen: Innerhalb des entwickelten Konzeptes wird ein vollständiger Durchstich von der Anforderungsermittlung bis zum Feinentwurf in einem geschlossenen, einheitlichen Formalismus realisiert. Durch diesen entwicklungsphasenübergreifenden Ansatz und der strikt formalen Grundlage der Modellierung können völlig neuartige Anwendungen zur Unterstützung der Evolution von Automatisierungssystemen realisiert werden. So können beispielsweise einmal spezifizierte, funktionale Anforderungen einerseits genutzt werden, um automatisiert zu überprüfen, ob der spezifizierte, technische Prozess den Anforderungen genügt. Andererseits können Anforderungen und die Spezifikation des technischen Prozesses dazu genutzt werden, im Falle von Veränderungen der Anlage einerseits zu prüfen, ob der Feinentwurf ebenfalls den Anforderungen bzw. dem geforderten technischen Prozess entspricht, aber andererseits auch, ob innerhalb des Feinentwurfs Seiteneffekte vermieden wurden, d.h. unveränderte Anforderungen evolutions-schrittübergreifend erfüllt sind.

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Software and Systems Engineering der Technischen Universität München erarbeitet und im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1593 gefördert. Die wissenschaftliche Leitung erfolgt durch Prof. Dr.-Ing. Bigit Vogel-Heuser sowie Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy.

Artemis – Anforderungsbasierte Testfallentwicklung



Bearbeiter: Susanne Rösch, Stefan Feldmann

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Projektträger: AiF – Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen, Deutsche Forschungsgesellschaft für Automatisierung und Mikroelektronik e.V. (DFAM)

Projektpartner: ca. 12 Projektpartner: Gerätehersteller (intelligente Feldgeräte), (IT-) Dienstleister

Projektlaufzeit: 01.09.2011 - 28.02.2014

Projektbeschreibung:

Mechatronische Produkte der Automatisierungstechnik erfordern wegen der zunehmenden Funktionalität sowie der kürzeren Produktlebenszyklen neue spezifische Entwicklungsmethoden zur Sicherstellung der geforderten Produktqualität. Die Aufgabe des systematischen Entwurfs von Testfällen mit hoher Testabdeckung bei möglichst geringem Aufwand ist heute in der Mechatronik wenig systematisiert. Viele Unternehmen fordern deshalb eine auf die Bedürfnisse ihrer Branche zugeschnittene Lösung, um Testfälle unter Berücksichtigung von Aufwand, Nutzen und Akzeptanz zielsicher ableiten zu können.

Als Ergebnis des Projekts Artemis wurde eine Methode samt entsprechender Werkzeugunterstützung erarbeitet, welche die kombinierte und sich wechselseitig vervollständigende Anforderungs- und Testfallentwicklung (Anforderungs-/Testfall-Codesign) unterstützt. Als Grundlage wurde dafür eine universell verständliche und gerade für KMU anwendbare semi-formale Beschreibungsform gewählt. Die Ergebnisse wurden durch die Projektpartner als so vielversprechend bewertet, dass eine Fortführung des Projektes mit dem Fokus auf Varianten und Versionen geplant ist.

ZuMaTra – Steigerung der Zuverlässigkeit von Maschinen und Anlagen durch automatisiertes Testen von Fehlerbehandlungsroutinen in der Steuerungssoftware



Bearbeiter: Susanne Rösch

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Projektträger: AiF – Industrielle Gemeinschaftsforschung,
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e.V.

Projektpartner: 10 Mitglieder aus der Produktionsautomatisierung
mit Plattformanbietern und Anwendern

Projektlaufzeit: 01.01.2012 - 30.09.2014

Projektbeschreibung:

Die Zuverlässigkeit von Maschinen und Anlagen wird wesentlich von deren Steuerungssoftware bestimmt, da diese Ausnahmesituationen behandelt, die z.B. in Folge von Sensor-/ Aktorausfällen eintreten können. Die fehlerbehandelnden Softwareanteile bilden einen Großteil der Steuerungssoftware, werden jedoch aufgrund mangelnder Zeit bzw. fehlender Werkzeuge und Verfahren oft nur unzureichend getestet. Ob diese für die Zuverlässigkeit der Maschine oder Anlage notwendigen Funktionen korrekt funktionieren, wird dadurch erst bei Eintritt der jeweiligen Ausnahmesituationen im laufenden Betrieb festgestellt. Um hohe Ausfallkosten und Schäden infolge fehlerhafter Ausnahmebehandlungen zu vermeiden, ist jedoch ein Funktionsnachweis bereits vor oder während der Inbetriebnahme anzustreben.

Eine Lösung hierfür ist ein Verfahren, welches die notwendigen Testfälle zur Überprüfung der Ausnahmebehandlungen automatisiert aus vorhandenen oder leicht zu modifizierenden Spezifikationen erzeugt.

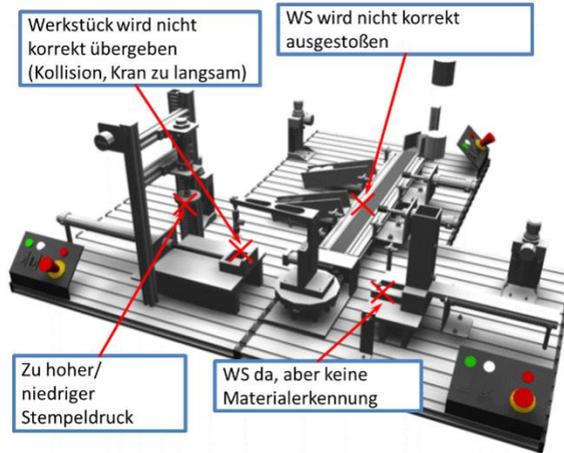


Abbildung 11: Beispielanwendung an Stempelanlage

In dem Projekt „Steigerung der **Zuverlässigkeit** von **Maschinen** und Anlagen durch **automatisiertes Testen** von Fehlerbehandlungsroutinen in der **Steuerungssoftware**“ (ZuMaTra) wurde eine Vorgehensweise für die modellbasierte Testfallgenerierung für die Überprüfung der Ausnahmebehandlungen auf Basis von Weg-Zeit-Diagrammen entwickelt. Im Idealfall müssen so keine zusätzlichen Spezifikationen erstellt werden, da die Weg-Zeit-Diagramme schon in der ursprünglichen Vorgehensweise der Unternehmen integriert sind. Die Vorgehensweise umfasst die Erstellung dieser Diagramme, die Testfallgenerierung und den Import der Testfälle in Programmierumgebungen für Speicherprogrammierbare Steuerungen. Der Import in diese Programmierumgebungen erfolgt mit Hilfe von PLCopen XML und ermöglicht die automatisierte Durchführung der Testfälle.

Die Anwendbarkeit des Konzepts konnte anhand einer prototypischen Umsetzung eines Editors bei verschiedenen Anwendungen gezeigt werden. Das Projekt konnte außerdem mit einer positiven Evaluation

der Industrieexperten, die bei einem Workshop die Vorgehensweise mit dem Editor erproben konnten, beendet werden.

Die Ergebnisse bieten die Möglichkeiten für weitere Werkzeugentwicklungen, die eine langfristige Basis für eine Steigerung der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Maschinen und Anlagen bieten und somit einen Wettbewerbsvorteil ermöglichen.

AutoMES – Automatische Generierung von Fertigungsmanagementsystemen



Bearbeiter: **Benedikt Weißenberger**

Gefördert durch: *Bundesministerium für Bildung und Forschung
– KMU-innovativ Verbundprojekt*

Projekträger: *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
(DLR)*

Projektpartner: *ProLeiT AG
Artschwager und Kohl GmbH
TUM – Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungs-
technik
riha WeserGold Getränke GmbH & Co. KG*

Projektlaufzeit: *01.07.2013 - 31.12.2015*

Projektbeschreibung:

Die industrielle Lebensmittelherstellung erfolgt in komplexen Prozessen, in denen die Transparenz aller Prozessschritte notwendig ist, um Qualität, Effizienz und Ressourcenverbrauch kontrollieren zu können. Hierfür werden „Manufacturing Execution Systeme“ (MES), Fertigungsmanagementsysteme, eingesetzt. Da diese Systeme jedoch individuell auf jede Produktionsanlage angepasst werden müssen, sind sie durch hohe Personalkosten bei der Programmierung in Anschaffung und Wartung sehr teuer. Sie werden deshalb von KMU bisher nicht bzw. nur als Insellösung eingesetzt.

Im Projekt AutoMES wird eine kostengünstigere Vorgehensweise für die Vernetzung der Lebensmittelproduktion angestrebt. Der Aufwand zur Programmierung, Inbetriebnahme und Wartung von MES-Lösungen soll deutlich reduziert werden.

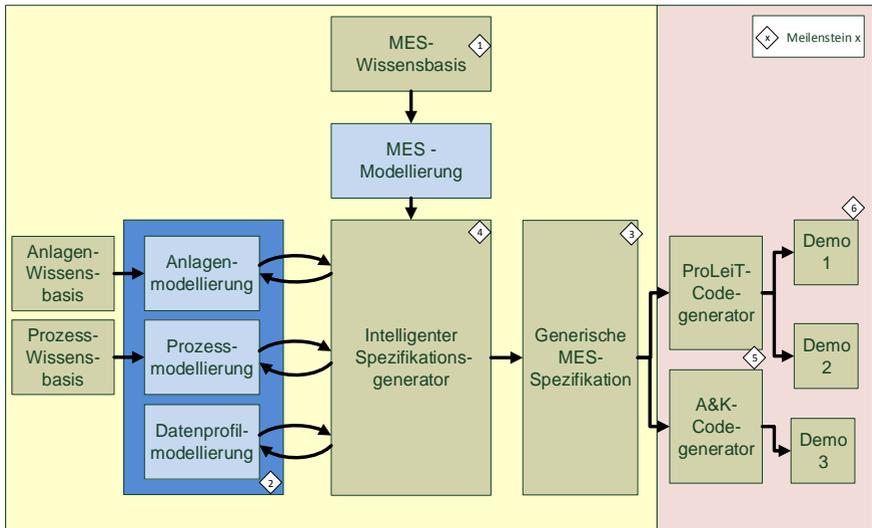


Abbildung 12: Beispiel Projekt AutoMES

Dazu wird ein Ansatz entwickelt, mit welchem die Modellierung eines MES unterstützt wird. Es erlaubt dem Benutzer seine Produktion mit Hilfe von Komponenten aus einer Bibliothek abzubilden und eine generische Beschreibung seines gewünschten Systems zu erzeugen. Die Beschreibung wird in einer neuen, offenen Beschreibungssprache erfolgen, die dann zur automatischen Erzeugung des fertigen MES verwendet wird. Dies geschieht durch sogenannte Codegeneratoren.

Zur Evaluation der Projektergebnisse werden die automatisch erzeugten MES an drei Produktionsanlagen validiert. Alle Ergebnisse des Projekts sollen in Branchenstandards einfließen und können dann von IT-Anbietern für neue MES-Produkte genutzt werden. Die Kosten sollen damit um ca. 50% reduziert werden. Auf diese Weise können sehr viel mehr der ca. 5800 Lebensmittelbetriebe in Deutschland, bei einem KMU-Anteil von mehr als 90 %, ein solches System einsetzen und von einer Vernetzung ihrer Produktion profitieren.

**MoBaTeSt – Modell-
basiertes Testen von
SPS-Steuerungs-
softwarevarianten für den Sondermaschinenbau**

MoBaTeSt

Bearbeiter: Sebastian Ulewicz

Gefördert durch: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft
und Medien, Energie und Technologie

Projektträger: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Projektpartner: 3S – Smart System Solutions GmbH
Bosch Rexroth AG
Robert Bosch GmbH

Projektlaufzeit: 01.10.2012 - 31.01.2015

Projektbeschreibung:

Hohe Flexibilität und Anpassbarkeit moderner Produktionsanlagen werden immer mehr durch die Steuerungssoftware unterstützt. Die dadurch bedingte wachsende Komplexität der Steuerungssoftware zusammen mit der gleichzeitigen Verschärfung der Qualitätsanforderungen an die Produktionsprozesse, wie z.B. deren schneller Anlauf, resultiert in hohen Anforderungen an die Softwarequalität. Eine der bedeutendsten Maßnahmen zur Sicherung der Softwarequalität stellt das systematische Testen der Steuerungssoftware in allen Phasen dar. Bei Änderungen können häufig nur die unmittelbar geänderten Softwareteile getestet werden und nicht deren Integration in die restliche Software. Diese Beschränkung führt zu Fehlern an den Schnittstellen und zu Ausfällen bzw. Verspätungen in der Inbetriebnahme.

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines modellbasierten Ansatzes und eines Werkzeugprototypen zum Testen der Steuerungssoftware für Sondermaschinen mit besonderem Fokus auf dem Test

von Softwareversionen nach Änderungen für die Optimierung des Betriebs oder aufgrund von Änderungskonstruktionen. Die Evaluation erfolgt im Bereich Handling/Montagetechnik.

Dazu ist das Ziel zum einen effiziente Tests an Anlagen – auch über die reine Software hinaus – zu erstellen und durchzuführen. Dazu mussten neuartige Konzepte entwickelt werden, um für den Sondermaschinenbau relevante, echtzeitfähige Tests aus der Kombination der echten Hard- und angepassten Software zu ermöglichen.

Zum anderen wurden Konzepte entwickelt, welche die Selektion relevanter Tests auf Basis von Programmänderungen und vorangegangenen Testergebnissen unterstützen.

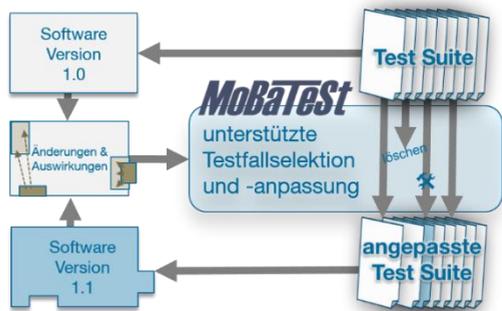


Abbildung 13: MoBaTeSt Schema

Die Umsetzung der Konzepte erfolgt in Form eines prototypischen Programms, welches sich in die CODESYS Programmierplattform für Speicherprogrammierbare Steuerungen integriert. Mit Hilfe dieses Plugins sollen die Ansätze in einer Evaluation mit Experten aus der Industrie auf ihre Anwendbarkeit und Vor- und Nachteile überprüft werden.

Durch entwickelte Ansätze werden Testvorgänge vom Unit- bis hin zum Systemtest unterstützt, um den Herausforderungen des Sondermaschinenbaus zu begegnen.

**Mensch-Maschine Interaktion,
Datenintegration und -verarbeitung zur
Unterstützung des Menschen**

Mensch-Maschine Interaktion, Datenintegration und -verarbeitung zur Unterstützung des Menschen

This field of research addresses the design and evaluation of Human-Machine-Interfaces (HMI) for operators as well as engineering support systems.

The research field concerns supporting the operating personnel in training, commissioning, process monitoring, process optimizing, and diagnosis by means of appropriate visualization methods of process and message data during the operation phase of technical plants. The current trend in industry is to replace the classical 2D visualization systems in control rooms for process monitoring and operation by new visualization technologies such as 3D visualization as well as augmented reality and their visualization on mobile devices.

Today's challenges cover the extraction of beneficial information from the rising flood of process data to e.g. detect faults. This information is collected by data aggregation and data analysis from many different data sources. Fault characteristics are not only characteristics indicating a fault, but also symptoms that indicate causal impact of a fault within a system. Based on this analysis the system can provide recommendations to the operator on how he has to intervene in the process.

BauFlott – Entwicklung eines Flottenmanagementsystems für Baumaschinen



Bearbeiter: Sebastian Rehberger

Gefördert durch: Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

Projekträger: AiF- Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen

Projektpartner: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss und Logistik (FML),
VDBUM Verband der Baubranche,
Umwelt- und Maschinenteknik e. V.,
Industriepartner (AK-Telematik des VDBUM)

Projektlautzeit: 01.04.2014 - 31.03.2016

Projektbeschreibung:

Zur Steuerung der Transportlogistik sind Telematik- und Flottenmanagementsysteme (FMS) in der Nutzfahrzeugbranche weit verbreitet. Auch in der Bauwirtschaft werden derartige Systeme eingesetzt – allerdings beschränken sich diese auf LKW-Transporte. Ein ganzheitliches Flottenmanagementsystem für alle Baumaschinen existiert bisher nicht. Von einzelnen Baumaschinenherstellern werden nur Flottenmanagementsysteme speziell zugeschnitten für die eigene Marke angeboten (z.B. Caterpillar). Der amerikanische AEMP-Standard, seit 10/2010 in Kraft, mit seinen vier Betriebswerten ist für die Betreiber nicht ausreichend. Das Problem liegt hierbei an der Unterschiedlichkeit der Baumaschinen und deren Einsatzarten. Kenndaten für weiterführende logistische Funktionalitäten (z. B. Baumaschinenleistung, Stillstandszeit, Dieserverbrauch, etc.) können vom Betreiber bisher noch nicht aus den Betriebsdaten der Baumaschine erfasst und weiter

verarbeitet werden. Daher wurde in 2013 ein erweiterter AEMP-Standard (Version 2) mit 19 Betriebswerten entwickelt. Im Rahmen von Bauflott soll nun der erweiterte AEMP-Standard auf praktische Umsetzbarkeit geprüft werden und ein baumaschinenübergreifendes Flottenmanagement realisiert werden. Weiterhin wird untersucht welche neuartigen Telematik-Funktionen durch Kennzahlensysteme eingeschränkt sind und wie ein zukünftiges Datenmodell für deren Umsetzung gestaltet sein muss.

Hauptziel solche Funktionen ist es, Baumaschinen hinsichtlich ihrer Bauleistung und den spezifischen Betriebsdaten zu erfassen, um diese logistisch auswerten zu können. Zur Darstellung des prototypischen Flottenmanagements sind daher drei Bestandteile notwendig. Ein System zur Datenaquisition vor Ort, welches über eine drahtlose Netzwerktechnologie (Mobilfunk, WLAN) an einen Server bzw. einen Cloud-Dienst angeschlossen ist. Diese Verbindung ermöglicht die Datenspeicherung der unterschiedlichen Baumaschinen, soll jedoch gleichzeitig effiziente Algorithmen zur Datenaggregation bereitstellen. Für einen Zugriff welcher unabhängig vom Endgerätetyp ist, wird auf ein Front-End mittels Webtechnologien gesetzt. Dieses Front-End bereitet entsprechende Daten auf und bietet Abfragemöglichkeiten über den aktuellen Zustand einer Baumaschine oder einer Baustelle. Für die Entwicklung wird einerseits auf eine Baustellensimulation gesetzt um entsprechende Vorgänge auf einer Baustelle abbilden zu können. Weiterhin wird in Bauflott untersucht, wie Modelle zusammen mit gesammelten Daten verknüpft werden können, um eine Analyse über den Zustand von Baustellenabschnitten erstellen zu können.

In Zusammenarbeit mit Baufirmen bzw. Betreibern von Baumaschinen aus dem AK-Telematik, werden onboard aufgezeichnete Daten (z.B. CAN-Bus) gesammelt und nach Aufbau eines Prototyps mittels HiL evaluiert. In einer abschließenden Evaluation wird geprüft, welche Daten notwendig sind, um entsprechende Flottenmanagement-Funktionen zu realisieren und wie eine modellgestützte Vorgehensweise den Erkenntnisgewinn über die Baustelle effizient unterstützen können.

ProMES – Prozesszustands-basiertes Energiemonitoring von Produktionsanlagen durch MES



Bearbeiter: Felix Mayer, Johann Hufnagel, Ulrich Bühner

Gefördert durch: KME – Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH

Projektträger: KME – Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH

Assoziierte Projektpartner:

BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, DATA AHEAD GmbH, DE software & control GmbH, LIBA Maschinenfabrik GmbH, SPANGLER GmbH

Projektlaufzeit: 01.04.2014 - 31.03.2016

Projektbeschreibung:

Energieoptimierung wird für produzierende Unternehmen immer wichtiger. Neben gesetzlichen Vorgaben spielt der finanzielle Aspekt eine immer stärkere Rolle beim Betrieb von Anlagen. Strenge Regulierungen bezüglich Emissionswerten und Energieverbräuchen des produzierenden Gewerbes zwingen Unternehmen zu qualitativ hochwertigen Prozessen mit hoher Energieeffizienz. Eines der Probleme für Anlagenbetreiber und Dienstleistungs- und Softwareanbieter ist die mangelnde Transparenz der energetischen Zusammenhänge innerhalb einzelner Maschinen sowie einer gesamten Anlage.

Im Rahmen des Projekts soll ein fundierter wissenschaftlicher Ansatz für die Erstellung mathematischer Wirkmodelle zwischen Prozess- und Produktionsparametern sowie dem Energieverbrauch erstellt werden. Darauf aufbauend soll ein Konzept für eine anwenderspezifische Visualisierung des aktuellen energetischen Zustands einer Maschine oder Anlage erstellt werden, welches dank eingebetteter Simulationsmodelle Vorschläge für eine energetisch optimierte Betriebsweise bei gleichbleibendem Durchsatz aufzeigen kann.

Lehre

Lehre



Mit den angebotenen Lehrveranstaltungen leistet der Lehrstuhl einen entscheidenden Beitrag zum Bachelor Maschinenwesen, sowie zu den verschiedenen Master-Studiengängen, insbesondere dem Master für Mechatronik. Der steigende Einfluss von automatisierten Produkten, sowie Automatisierung in der Produktion, stärkt die Rolle der Themen des Lehrstuhls für die Ingenieurs-Ausbildung in den letzten Jahren. Hierbei sieht sich der Lehrstuhl für Automatisierungstechnik als zentrale Plattform für die Themenbereiche der Software-Entwicklung, sowie Entwicklung von Embedded Systemen und Module in allen Anwendungsbereichen im Maschinenbau (Automatisierungstechnik, Produktion, Sondermaschinenbau, Fahrzeug- sowie auch Luft-/Raumfahrttechnik).

Für unsere Lehrveranstaltungen haben wir den Anspruch, dass eine hohe Qualität der Lehre nur durch ständige Veränderung und Anpassung an das Industrieumfeld, sowie an neues aus der Forschung erlangtes Wissen erreicht werden kann. Ferner versuchen wir stets durch

neue Lehrmethoden (Blended-Learning, E-Learning-System PIT) und einen stetigen Prozess der Evaluation mit eigenen Maßnahmen (Live-Evaluation im Hörsaal) eine kontinuierliche Verbesserung und Anpassung an die Bedürfnisse unserer Studenten zu erreichen.

Unsere Lehrveranstaltungen sind in den Studiengängen Maschinenwesen, Chemieingenieurwesen, Elektrotechnik, Informatik, TUM-BWL enthalten, woraus sich bis zu 1500 Teilnehmer pro Semester ergeben. Die angebotenen Vorlesungen gliedern sich dabei in folgendes Angebot.

Bachelor-Pflichtveranstaltungen im Maschinenwesen:

- Informationstechnik 1 – Grundlagen
- Informationstechnik 2 – Software-Engineering

Weiterführende Bachelor-Lehrveranstaltungen:

- Automatisierungstechnik 1
- Software-Entwicklung für Ingenieure 1
- Modellbildung und Simulation

Lehrveranstaltungen in den Master-Studiengängen:

- Automatisierungstechnik 2 (ab WS14/15)
- Software-Entwicklung für Ingenieure 2 (ab SS15)
- Entwicklung intelligenter verteilter eingebetteter Systeme

Die Lehrveranstaltung „Informationstechnik“ wird als eine der größten Grundlagenvorlesungen Deutschlands jedes Jahr von ca. 800 Studenten besucht und vermittelt Themen von den Grundlagen der Informationstechnik wie digitale Schaltungstechnik, Prozessorarchitekturen und Echtzeitbetriebssystemen, bis hin zum Programmieren in der Programmiersprache C. Zur Verbesserung der Lehrmöglichkeiten und wegen der hohen Anzahl von Studenten hat der AIS das webbasierte E-Learning-Tool PIT entwickelt, welches auch die oben genannte Live-Evaluations-Möglichkeit enthält.

Seit Mai 2013 können mit PIT auch reale Hardware-Systeme in Form von Industrieanlagen programmiert werden. Je eine von 48 modularen Festo-Anlagen wird im begleitenden Pflichtpraktikum von jedem Studenten in Betrieb genommen. Zusätzlich bietet der Lehrstuhl im fortgeschrittenen Studium weitere freiwillige Hochschulpraktika an, um die theoretischen Inhalte unserer Vorlesungen durch direktes Umsetzen an Hard- und Software zu vertiefen.

Hochschulpraktika:

- C++/Software-Entwicklung für Ingenieure (seit WS13/14)
- Simulationstechnik mit Matlab/Simulink
- Automatisierungstechnik-Praktikum (seit SS13)

So wurden die Praktika Automatisierungstechnik und Software-Entwicklung seit Anfang 2013 neu ausgerichtet und stark überarbeitet. Das Praktikum Automatisierungstechnik kann nun statt 8 bis zu 48 Teilnehmer aufnehmen und beschäftigt sich vor dem eigentlichen praktischen Anlagenteil nun auch mit simulativer Auslegung der Steuerungssoftware unter Einsatz von CoDeSys. Das Praktikum Software-Entwicklung für Ingenieure ermöglicht nun den Studenten das Programmieren einer kleinen fahrbaren Roboterplattform durch den Einsatz des Einplatinencomputer Raspberry Pi.

Einige der hierdurch an unsere Inhalte herangeführten Studenten finden sich auch am AIS als wissenschaftliche Hilfskräfte wieder und bringen sich so zur Unterstützung unserer Forschungsaktivitäten ein. Viele der Aktivitäten zur Weiterentwicklung der Lehre fließen daher auch wieder in den Forschungsalltag ein und stellen auch in Zukunft eine hohe Qualität im wissenschaftlichen Betrieb sicher.

Bachelor Maschinenwesen

Grundlagen der modernen Informationstechnik 1 und 2

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Sebastian Rehberger

Die Informationstechnik ist Innovationstreiber in nahezu allen technischen Disziplinen und Produkten. Damit prägt sie wesentlich das Berufsbild des modernen Ingenieurs. Die zweisemestrige Lehrveranstaltung Grundlagen der modernen Informationstechnik stellt daher einen fundamentalen Baustein in der Ingenieur-Ausbildung dar.

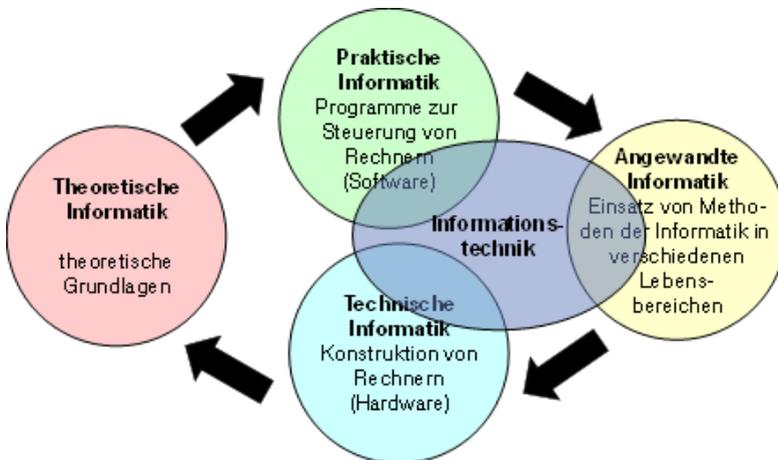


Abbildung 14: Einordnung der Vorlesung Grundlagen der modernen Informationstechnik

Vorlesung

Die Lehrveranstaltung gliedert sich in zwei Module: Grundlagen und Programmierung. Das erste Modul widmet sich den Grundlagen der Informationstechnik. Es soll ein umfassendes Verständnis für Zusammenhänge zwischen Transistor und Echtzeitrechner wie auch zwischen Funktion und Produktionsanlage entwickelt werden. Der Inhalt

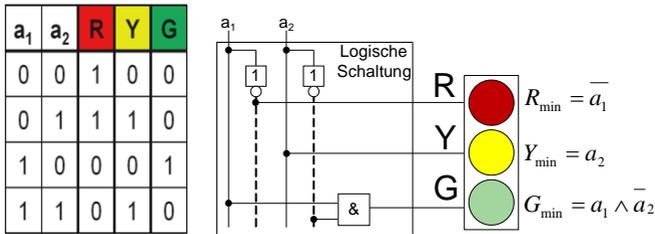


Abbildung 15: Wahrheitstabelle und logische Schaltung einer Verkehrsampel umfasst die Bereiche boolesche Algebra, Digitaltechnik, Rechnerarchitektur, Betriebssysteme, Anlagenprogrammierung und Modellierung.

Im zweiten Modul werden dem Hörer die Grundlagen der Hochsprache "C" vermittelt. Dabei werden zum einen der Umgang mit grundlegenden Aufgabenstellungen der Informationstechnik und zum anderen das Grundkonzept der strukturierten Programmierung vermittelt. Das Stoffgebiet erstreckt sich von Datentypen über Operatoren und Zeiger bis hin zu Funktionen und dynamischen Datenstrukturen.

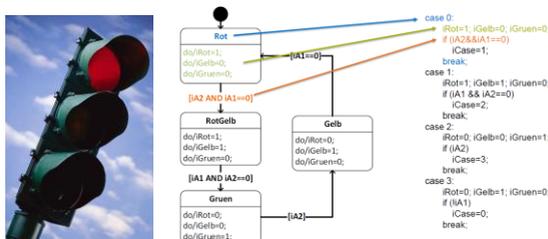


Abbildung 16: Zustandsautomat und Programmierung einer Verkehrsampel

Zentralübung

Ergänzend zu den Vorlesungen werden Zentralübungen abgehalten, in denen der Vorlesungsstoff anwendungsorientiert vertieft wird. Zur Festigung der Inhalte aus Vorlesung und Zentralübung werden freiwillige webbasierte Heimarbeiten angeboten und zur Kontrolle semesterbegleitende Pflichttestate abgehalten. Als weitere Hilfestellung wird

den Studierenden eine Tutorsprechstunde angeboten, wodurch mehrmals wöchentlich die Möglichkeit gegeben ist, Fragen zum Stoff und zu den Heimarbeiten zu stellen. Seit dem Sommersemester 2013 konnte der Praxisbezug noch stärker durch die Einführung eines verpflichtenden Anlagenpraktikums herausgestellt werden. In Dreierteams muss das erlernte Wissen an industrieüblichen Anlagen umgesetzt werden. Nach der individuellen Programmierung eines einzelnen Anlagenteils erfolgt die Inbetriebnahme und Abnahme des gesamten Anlagenverbundes.

Durch vorlesungsbegleitende bzw. Live-Umfragen, welche durch eigene Smartphone-Apps und über das durch den Lehrstuhl entwickelte E-Learning-Portal PIT aus dem Hörsaal erreichbar sind, haben die Teilnehmer die Möglichkeit, die Aufbereitung, Vertiefungen und Wiederholungen von Vorlesungsinhalten selbst mitzubestimmen.

Anlagenprogrammierung

Sebastian Ulewicz

Im Rahmen der Vorlesung „Grundlagen der modernen Informationstechnik“ werden umfassende Kenntnisse zur Programmierung in C vermittelt, die zur Festigung und Erlangung zusätzlicher interdisziplinärer



Abbildung 17: Anlagenpraktikum mit Festo-Anlagen

Erfahrungen zwischen Mechanik, Elektrotechnik und Software mittels praktischer Programmierung von Industrieanlagen erweitert wurde. Dazu wurde bereits zum zweiten Mal ein Testat durchgeführt, bei dem

jeder Student die Aufgabe hat, eine automatisierungstechnische Schulungsanlage selbstständig auf Basis einer Dokumentation mit einem eigenen Steuerungsprogramm in Betrieb zu nehmen.

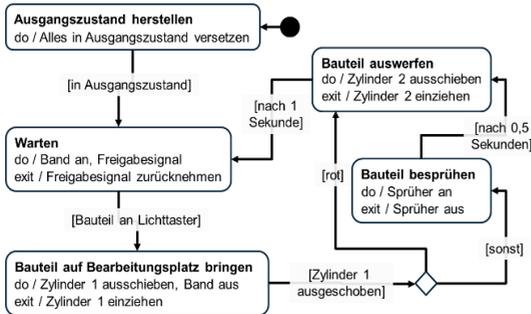


Abbildung 18: Modelliertes Verhalten einer Übungsanlage

Eine Einführung in das Themengebiet erhielten die ca. 750 Studenten des Jahrgangs in Form von zwei Zentralübungen, bei denen zusammengefasste Grundlagen der Automatisierungstechnik, Verhaltensmodellierung und zyklischen Programmierung (wie

in der Automatisierungstechnik üblich) vermittelt wurden.

In Form einer ca. vierstündigen Inbetriebnahme war es dann die Aufgabe der Studenten, je eine der 48 am Lehrstuhl vorhandenen Schulungsanlagen mit Hilfe des am AIS entwickelten e-Learning Systems PIT in der Programmiersprache C zu programmieren. Anhand einer textuellen Ablaufbeschreibung und Hardwareokumentation mussten dafür Abläufe, angelehnt an verfügbare Sensoren und Aktoren, in Form von Ablaufmodellen geplant und programmieretechnisch umgesetzt werden.



Abbildung 19: Eine der 48 Teilanlagen (Quelle: Festo Didactic)

Die in Dreiergruppen aufgestellten Anlagen konnten zur Erlangung von einem

Teambonus zusätzlich von den jeweiligen Studenten im Verbund geschaltet werden. Dazu mussten die Studenten eng zusammenarbeiten um mögliche Kollisionen der Anlagenteile zu vermeiden und eine gemeinsame Funktionalität herzustellen.

Unterstützt wurden die Studenten dabei von insgesamt 15 Tutoren (je vier pro 24 Anlagen), welche bei Problemen halfen, sodass die Testate reibungslos stattfinden konnten. Wie im letzten Jahr war zu erkennen, dass die praktische Umsetzung eines Programmes mit einem bewegten Ablauf die Studenten besonders zum Programmieren motiviert. Weiterhin konnten sie so auch erste Erfahrungen bezüglich der verschiedenen Facetten der Automatisierungstechnik erlangen und blieben nicht, wie zuvor, auf der reinen Softwareebene.

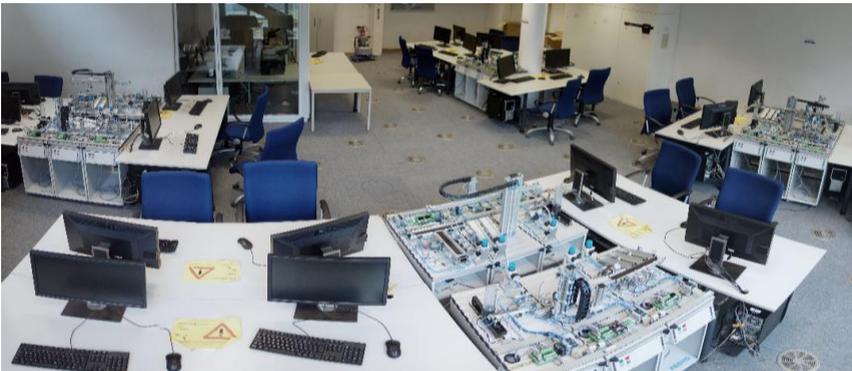


Abbildung 20: Einer der zwei Praktikumsräume mit insgesamt 48 Teilanlagen

Für die Weiterentwicklung des Praktikums ist geplant vor allem den Anteil an Modellierung zu erhöhen. Dies soll den Studenten die Vorteile eines strukturierten und modellbasierten Vorgehens bei der Softwareentwicklung nahe bringen. Weiterhin ist es das Ziel die Anlagenaufgaben auch mittels simulierter Systeme außerhalb der Laborräume zur Verfügung zu stellen. So kann die Vorbereitung auf das Anlagenpraktikum effizienter erfolgen und eine größere Vielfalt an Steuerungsaufgaben in den Stoff der Lehrveranstaltung integriert werden.

PIT – Prüfungstool Informationstechnik

Timo Frank

Wie bereits beschrieben werden die Vorlesungen des AIS von einer hohen Anzahl an Studenten besucht. Der Lernfortschritt wird durch eine selbstentwickelte E-Learning-Plattform unterstützt und überprüft. Diese Plattform ermöglicht unter anderem das Erstellen, Ausführen und Debuggen von C-Programmen.

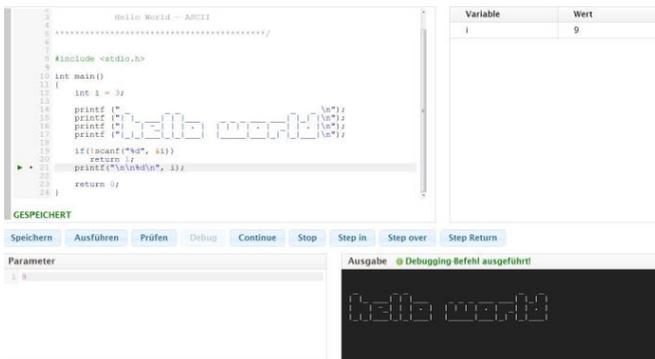


Abbildung 21: PIT Oberfläche zum Ausführen von Programmen

Aufgrund sehr hoher Studentenzahlen und gleichzeitig limitierter Personalressourcen sowie der guten Eignung einer E-Learning-Plattform, wird seit dem Jahr 2010 ein webbasiertes Programmierungs- und Prüfungssystem eingesetzt. Über PIT können den Studenten verschiedenartige Aufgaben gestellt werden, unter anderem Multiple-Choice-Fragebögen, graphische Modellierungsaufgaben oder Programmierprobleme. Die Aufgaben können durch die Studenten online bearbeitet und die resultierenden Lösungsvorschläge durch PIT im Folgenden vollautomatisch ausgewertet und beurteilt werden. Das System wurde bisher erfolgreich lehrstuhlintern sowie bei anderen Lehrstühlen im Maschinenwesen eingesetzt und wird kontinuierlich weiterentwickelt. Das System wird außerdem eingesetzt um Zusammenhänge bei der Wissensvermittlung wissenschaftlich zu verstehen sowie die Prüfungsplanung und Durchführung von schriftlichen Prüfungen zu unterstützen.

Automatisierungstechnik 1

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Daniel Regulin, Daniel Schütz, Benedikt Weißenberger, Felix Mayer, Susanne Rösch, Johann Hufnagel, Alberto Streit

Vorlesung

Die Vorlesung mit Fokus auf Bachelorstudierende technischer Studiengänge behandelt die zur Automatisierung von Maschinen und Anlagen eingesetzten informationstechnischen Komponenten. Sie gibt dazu zunächst einen Überblick über die Automatisierungstechnik, bei dem Automatisierungsgeräte und -strukturen gezeigt werden. Weitere Inhalte sind die Schnittstellen zwischen dem Automatisierungssystem, Engineeringtools und dem physikalischen Prozess in Form von Aktoren und Sensoren sowie zwischen Mensch und Maschine. Behandelt

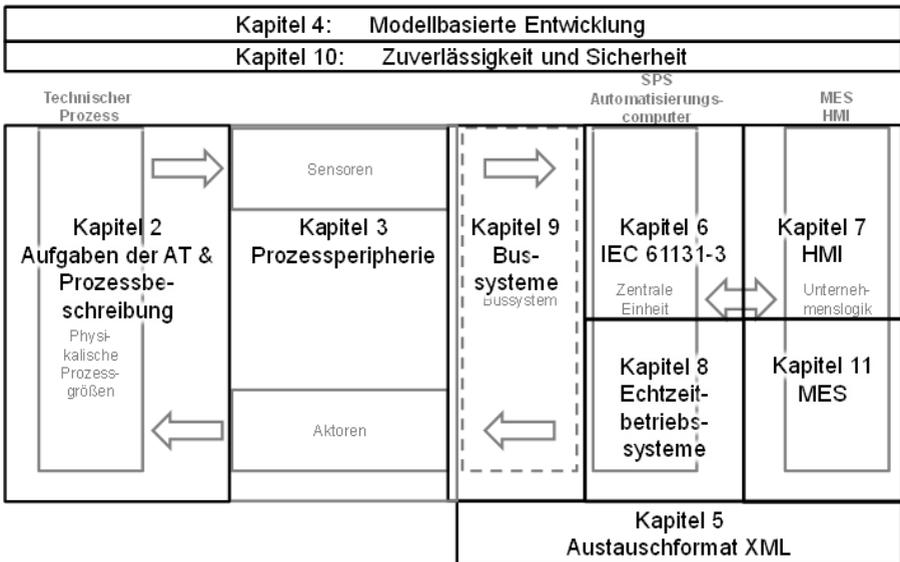


Abbildung 22: Inhalt der Vorlesung Automatisierungstechnik – Orientiert an der Übertragung von Prozesssignalen zwischen Automatisierungsgerät und technischem Prozess

werden zudem die Themengebiete industrielle Kommunikation (z.B. Feldbussysteme) und die Steuerung von Maschinen mittels der Sprachen der IEC 61131-3. Wichtiger Bestandteil der Vorlesung ist das Zusammenwirken der verschiedenen Automatisierungsbausteine im Gesamtsystem. Hierzu wird das methodische Vorgehen bei der Konzeption, Realisierung, Test und Inbetriebnahme von Automatisierungssystemen behandelt. Abgerundet wird die Vorlesung durch eine Einführung in Manufacturing Execution Systems (MES).

Zentralübung

Ergänzend zu den Vorlesungen werden Zentralübungen abgehalten, in welchen der Vorlesungsstoff anwendungsorientiert, unter anderem mittels eines Demonstrators zur Prozessautomatisierung, eingeübt wird. Zusätzlich wurde eine freiwillige, praktische Übung an den FESTO-Anlagen des AIS durchgeführt, um den Studierenden eine realitätsnahe Programmierung von Anlagen zu ermöglichen. Die bevorzugte Programmiersprache war hierbei die Ablaufsprache, die aufgrund des Aufbaus der Anlagen gut geeignet ist und ein anschauliches Debugging ermöglicht. Somit konnten die meisten Studententeams die Anlagen zum fehlerfreien Laufen bringen.

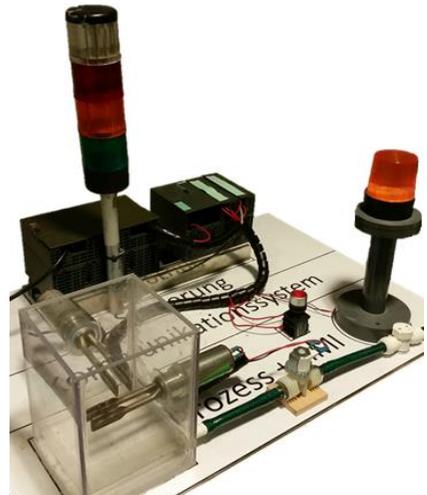


Abbildung 23: Versuchsaufbau

Die besonders praxisorientierte Ausrichtung der Vorlesung Automatisierungstechnik soll den Studenten den Transfer des Gelernten auf ein reales System erleichtern.

Praktikum Automatisierungstechnik

Alberto Streit

Das Praktikum Automatisierungstechnik hat zum Ziel, die theoretischen Inhalte der Vorlesung Automatisierungstechnik zu vertiefen und deren Anwendung in der Praxis zu veranschaulichen. Im Mittelpunkt der Veranstaltung steht das Erlernen der Programmiersprachen nach IEC 61131-3. Als Praktikumsanlage wird eine modulare Getränkeabfüllstraße bestehend aus vier Stationen verwendet. Die abzufüllenden Flaschen durchlaufen die Stationen sequentiell.



Abbildung 24: Station 2 in der Praktikumsanlage

Die Aufgaben der einzelnen Stationen sind:

- Station 1: Sortieren der unterschiedlichen Flaschentypen
- Station 2: Befüllen der Flaschen (Abbildung 24)
- Station 3: Verschließen der Flaschen mit Schraubdeckeln
- Station 4: Palettierung

Die Studenten arbeiten während des fünftägigen Blockpraktikums in Zweierteams zusammen. Die zu erstellende Automatisierungslösung umfasst die Ansteuerung des Bedienpults, Initialisierung, Automatikbetrieb, Fehler- und Notausbehandlung. Innerhalb des letzten Semesters wurde innerhalb der Programmierumgebung Codesys eine Simulation erstellt, die den Test der kompletten Automatisierungslösung oder deren Teile offline ohne Verbindung zur realen Anlage ermöglicht. Abbildung 25 zeigt die Simulationsumgebung für Station 2. Der Übertrag des erstellten Programmcodes auf die reale Anlage erfolgt am letzten Tag des Praktikums während der Inbetriebnahme. Durch die

Einführung der Simulationsumgebung konnte die Zahl der Praktikumsplätze von 8 auf 48 Teilnehmer erhöht werden, welches der steigenden Bedeutung des Bereichs Automatisierungstechnik für den Industriestandort Deutschland Rechnung trägt.

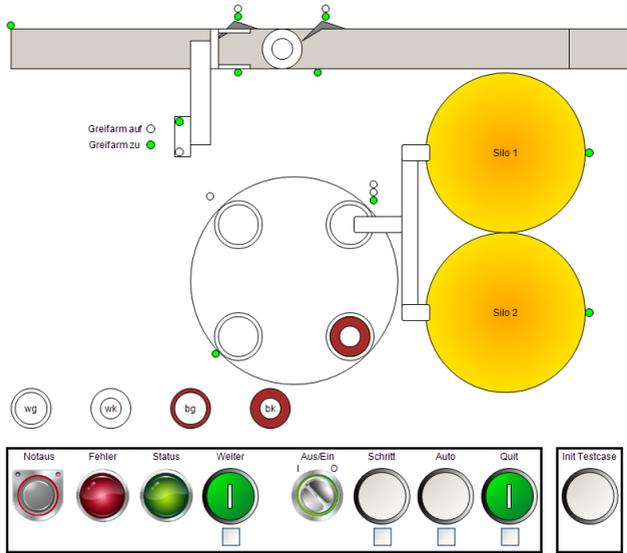


Abbildung 25: Station 2 in der Simulationsumgebung

Modellbildung und Simulation

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Thomas Aicher

Experimente am realen Objekt kosten Zeit und Geld und sind oftmals überhaupt nicht durchführbar. Die Modellbildung und Simulation hat aus diesem Grund in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen, gerade auch im Maschinenbau.

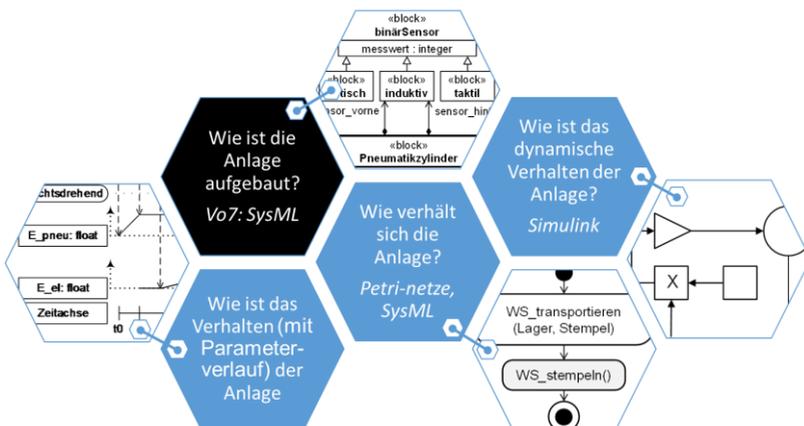


Abbildung 26: Inhalte der Vorlesung

Die Vorlesung Modellbildung und Simulation in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Produktentwicklung (PE) und dem Lehrstuhl für Leichtbau (LLB) verschafft aus diesem Grund zunächst einen allgemeinen Überblick zum Thema Modellbildung und Simulation. Darauf aufbauend wird vom Lehrstuhl AIS die spezielle Bedeutung der Modellbildung und Simulation in der Produktionsautomatisierung aufgezeigt.

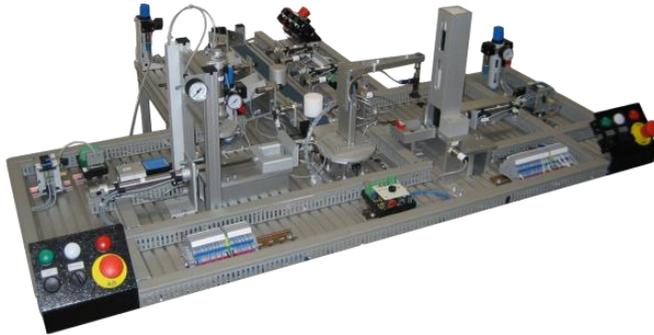


Abbildung 27: Darstellung der Demonstrationsanlage PPU

Am Beispiel der Demonstrationsanlage Pick and Place Unit (PPU), siehe Abbildung 27, wird das prinzipielle Vorgehen beim Erstellen eines Modells und der Durchführung einer Simulation in allgemeiner Form gezeigt und exemplarisch erläutert. Neben der strukturellen Modellierung physikalischer Systeme mit Systems Modeling Language (SysML) Strukturdiagrammen, erlernen die Studenten ebenfalls die Modellierung des Verhaltens mit SysML-Diagrammen und der Petri-Netz-Notation.

Praktikum Simulationstechnik

Johann Hufnagel

Simulation, die Nachbildung von realen oder prototypischen Systemen sowie der virtuelle Betrieb, ist ein immer wichtiger werdender Bereich in den Ingenieurwissenschaften. Es existiert kaum mehr ein Bereich, in dem Modellbildung und Simulation keine Rolle spielt.

Das Praktikum Simulationstechnik vermittelt praktische Erfahrungen bei der Modellierung und Simulation von technischen Produkten und Prozessen. Mit Hilfe des Simulationswerkzeugs *Matlab/Simulink* und der auf Zustandsautomaten basierenden Toolbox *Stateflow* lernen die Teilnehmer, kontinuierliche und ereignisorientierte Prozesse in einem Simulationsmodell abzubilden und mit Hilfe geeigneter Methoden zu optimieren.

Als Modellierungsobjekt dient eine automatisierungstechnische Laboranlage, wie sie in der Prozessindustrie eingesetzt wird. Schrittweise werden die kontinuierlichen Simulationsanteile Hardware und Mechanik in *Matlab* umgesetzt, sowie die ereignisorientierte Steuerung mit der Toolbox *Stateflow* nachgebildet. Die erstellten Einzelmodelle werden zu einem hybriden System verknüpft.

Das Praktikum findet zweimal pro Semester als einwöchige Blockveranstaltung in der vorlesungsfreien Zeit statt. Die bis zu neunzig Teilnehmer arbeiten in Zweierteams. Um die geforderte hohe Eigenleistung und den großen inhaltlichen Umfang erbringen zu können, stehen ein Team von je einem Tutor pro acht Teilnehmer zur Verfügung.

Aufgebaut ist das Praktikum in vier Einheiten. Der erste Tag startet mit einführenden Fragestellungen zu *Matlab*, *Simulink* und *Stateflow*. Am folgenden Tag muss bereits ein erstes vollständiges System, eine Kaffeemaschine, nachgebildet werden. Die kontinuierlichen Zusammenhänge werden in *Simulink*, die zustandsbasierte Steuerung mit *Stateflow* modelliert. In den beiden darauffolgenden Tagen muss die in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellte Abfüllanlage, wieder aufgeteilt in kontinuierlichen und ereignisgesteuerten Teil, nachgebildet werden. Am letzten Tag sollen der Betrieb der nun als Modell vorliegenden Systeme optimiert werden. Hierfür müssen entsprechende



Abbildung 28: Abzubildende verfahrenstechnische Anlage

Algorithmen als *Matlab*-Skripte umgesetzt und der Betrieb der *Simu-link*-/*Stateflow*-Modelle unter unterschiedlichen Betriebsparametern analysiert werden.

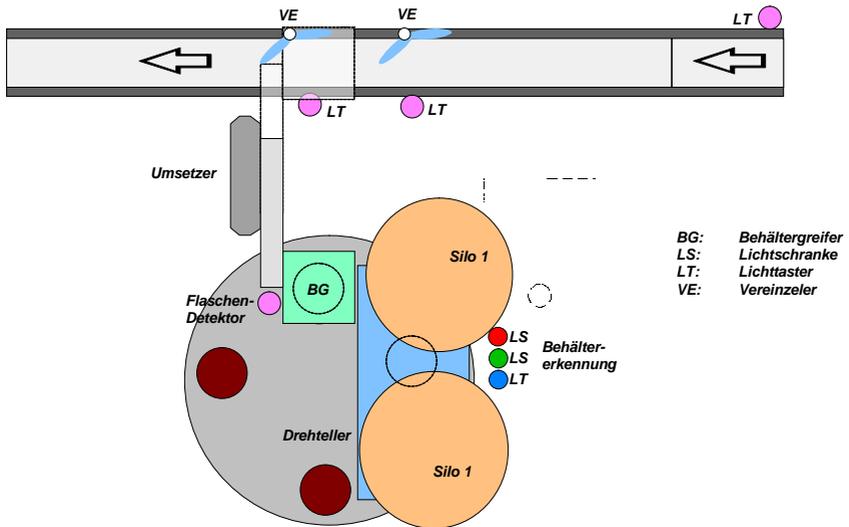


Abbildung 29: Schematische Darstellung der verfahrenstechnischen Anlage

Industrielle Softwareentwicklung für Ingenieure

Prof. Dr.-Ing. B. Vogel-Heuser

Michael Schneider, Jens Folmer

Die Softwareentwicklung stellt einen wesentlichen Anteil der Aufgaben des Ingenieurs in Wissenschaft und industrieller Praxis. Daher ist über alle Spezialisierungsgebiete hinweg ein tieferes Verständnis für die Softwareentwicklung notwendig, sei es für Simulation, Auslegung oder die Steuerungsprogrammierung.

Die Lehrveranstaltung „Industrielle Softwareentwicklung für Ingenieure“ baut auf den Grundlagenvorlesungen „Grundlagen der modernen Informationstechnik I und II“ (Seite 52) auf und erweitert das Wissen der Studierenden um folgende Inhalte:

1. Allgemeine Grundlagen der Softwareentwicklung
2. Spezifikation und Modellierung von Anforderungen
3. Modellierung von mechatronischen Systemen mit der Unified Modeling Language
4. Modularität und deren Varianten / Versionen und Schnittstellen
5. Softwagemetriken für Softwarebewertung
6. System- und Integrationstests von mechatronischen Systemen

Die Vorlesung behandelt sämtliche Elemente, die zur Durchführung eines Softwareprojektes benötigt werden. Ein großes Softwareprojekt wurde derzeit für die AUTOMATICA 2014 (Seite 94) durchgeführt - die Agentenplattform „RIAN“. Um den Studenten die Durchführung eines realen Softwareprojekts zu demonstrieren, wurde eine Exkursion zur AUTOMATICA unternommen. Hier erläuterte Frau Professor Vogel-Heuser das Vorgehen beim Projekt, welche Vorgehensmodelle Anwendung fanden, welche unerwarteten Schwierigkeiten auftraten und wie diese effizient gelöst werden konnten. Vom erfolgreichen Abschluss des Projekts konnten sich die Studenten im Anschluss selbst überzeugen und den Messe-Demonstrator testen.



Abbildung 30: Exkursion zur AUTOMATICA 2014

Am 06.05.2014 hielt Frau Professor Elisabeth Estévez der Universität Jaén in Spanien einen Gastvortrag im Rahmen der Vorlesung zum Thema „Model Based Techniques as applied to generating tool-independent Automation projects“, welcher einen authentischen Einblick in die aktuelle Forschung gegeben hat. Die Studierenden zeigten großes Interesse am Thema und stellten angeregt Fragen.

Die in der Vorlesung erlernten Theorien und Erläuterungen werden durch praktische Übungseinheiten gefestigt, wie bspw. die Modellierung mit UML und der anschließenden Programmierung in C++.

Praktikum industrielle Softwareentwicklung für Ingenieure / C++

Thomas Aicher, Michael Schneider

Das Praktikum „Industrielle Softwareentwicklung für Ingenieure / C++“ vermittelt grundlegende Fertigkeiten im Umgang mit Software für eingebettete Systeme. Hierfür sollen die Kenntnisse aus dem Grundstudium in C-Programmierung aufgefrischt und auf die objektorientierten Paradigmen der Programmiersprache C++ angewendet werden. Dafür wurde das Praktikum in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt,

mit einer Gesamtdauer von 3 Tagen, erlernen die Studenten die Grundlagen der Programmiersprache C++, die Sie anhand zahlreicher praktischen Programmieraufgaben vertiefen. Inhalte des ersten Abschnittes sind unter anderem folgenden Themen:

- Klassen als zentrale Datenstruktur
- Umgang mit objektorientierten Methoden
- Rekursive Programmierung
- Polymorphie



Abbildung 31: Einplatinencomputer Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation)

Im zweiten Teil des Praktikums, der ebenfalls 3 Tage dauert, werden die erworbenen Kenntnisse bei der Steuerungsentwicklung für den Roboter *FORBOT A4* (Fa. Roboterwerk) auf Basis eines *Raspberry Pi* angewendet (Abbildung 31). Dabei sollen grundlegende Strategien und Fertigkeiten zur Anbindung von Sensorik, wie

Hallsensoren, die Ansteuerung von Aktorik, wie Motorcontrollern, aber auch die Anbindung von Peripheriegeräten, wie Tastatur, den Studenten praktisch gelehrt werden.

Ziel im zweiten Teil des Praktikums ist die Programmierung einer Robotersteuerung über die Tastatur sowie die automatisierte Fahrt vorkonfigurierter Manöver, wie einen Kreis oder eine Acht, des Roboters. Dabei müssen die Studenten neben der Programmierung des Prädiktors, zur Schätzung des Ortes, auch die während des Manövers anzufahrenden Punkte berechnen. Die Erprobung des Steuerungscode erfolgt an einer Simulationsumgebung inklusive Visualisierung des Roboters (Abbildung 32) sowie anschließend in Teams auf der entsprechenden Hardware-Plattform.

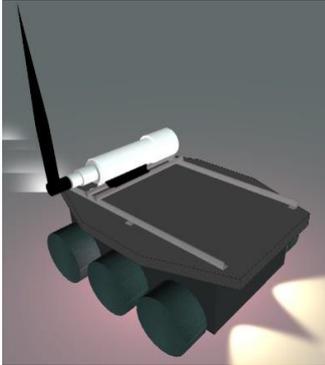


Abbildung 32: Visualisierte Simulation des FORBOT A4

Das Praktikum findet jedes Semester als einwöchige Blockveranstaltung plus einen weiteren Tag in der Folgewoche statt. Die Teilnehmer arbeiten die erste Woche alleine. Die Inbetriebnahme der Hardware-Plattform in der zweiten Woche erfolgt in Zweiertteams.

Master Mechatronik und Informationstechnik

Automatisierungstechnik 2

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Dorothea Pantförder

Die Vorlesung *Automatisierungstechnik 2* im Masterstudiengang vertieft die Themen der Veranstaltung *Automatisierungstechnik 1* und wird im Wintersemester 2014/2015 erstmalig angeboten. Die Veranstaltung gibt einen tiefen Einblick in aktuelle Forschungsinhalte des Lehrstuhls rund um die heute viel diskutierten Themen Industrie 4.0, Cyber-Physical-Systems (CPS) und Big Data.

Neben dem Entwurf verteilter Automatisierungssysteme und deren Programmierung werden die neuesten Entwicklungen heutiger intelligenter Automatisierungssysteme vorgestellt, wie z.B. Agentensysteme, SOA (Service Oriented Architectures) und CPPS (Cyber-Physical Production Systems) sowie die Modellierung von Wissensbasen mittels Ontologien. Die modellbasierte Systementwicklung und Koppelung von IT-Systemen sind ebenso Inhalt wie Kommunikationsstandards (OPC-UA). Es werden die Methoden und Ansätze von BigData zur Analyse großer Datenmengen vermittelt und deren Visualisierung mittels moderner Visualisierungsmethoden, wie Augmented Reality und 3D-Visualisierung, vorgestellt. Diese Methoden sollen den Menschen dabei unterstützen, die immer komplexer werdenden Systeme zu verstehen und zu bedienen.

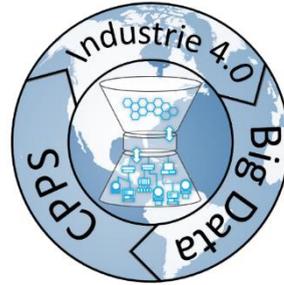


Abbildung 33: Demonstrator Prozessautomatisierung für die Zentralübung Automatisierungstechnik mit HMI, Kommunikationssystem, technischem Prozess und Steuerung

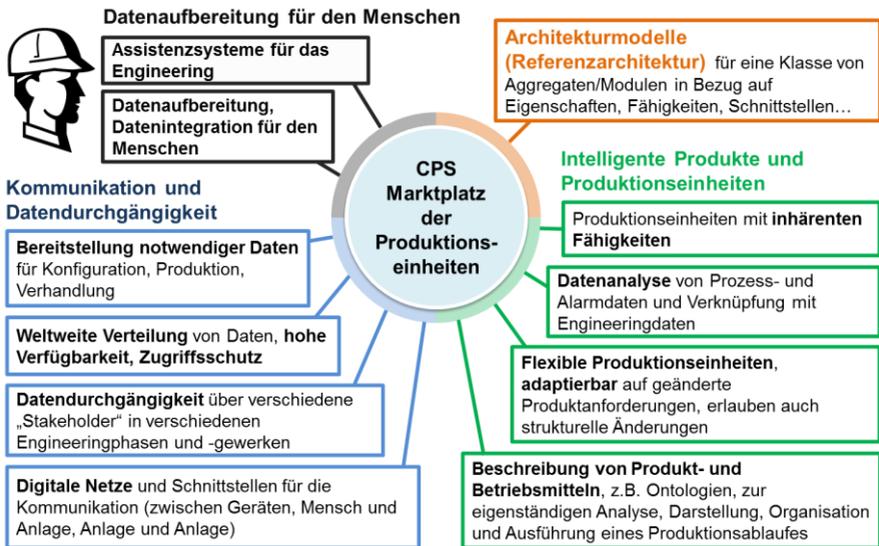


Abbildung 34: Technische Merkmale von CPS (In Anlehnung: B. Vogel-Heuser, G. Bayrak, U. Frank: Forschungsfragen in "Produktautomatisierung der Zukunft". acatech Materialien. 2012)

Neben der Vorlesung und der Zentralübung wird den Studierenden in Praxisblöcken die Möglichkeit gegeben, die Themen anwendungsnahe mit den entsprechenden Tools und direkt an einer Laboranlage umzusetzen und zu vertiefen.

Abgerundet wird die Vorlesung durch Gastvorträge von Forschungspartnern aus der Industrie. In diesem Semester konnten wir für diese Gastvorträge Vertreter der Continental Automotive und der IBM Deutschland gewinnen. Diese Vorträge sollen einen Einblick geben, wie die bearbeiteten Forschungsthemen in der Industrie umgesetzt werden können.

Entwicklung intelligenter verteilter eingebetteter Systeme in der Mechatronik

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Stefan Feldmann, Ulrich Bühner

Die Vorlesung Entwicklung intelligenter verteilter eingebetteter Systeme in der Mechatronik (EiveSiM) ist für Studenten ab dem fünften Fachsemester vorgesehen. Ziel der Veranstaltung ist die Vermittlung von Kenntnissen, die es ermöglichen, intelligente, technische Systeme strukturiert entwickeln und implementieren zu können.

Die Vorlesung im Sommersemester 2014 wurde von ca. 55 Studenten besucht. Pro Woche fanden eine 90-minütige Vorlesung sowie eine 45-minütige Zentralübung statt. Die Vorlesungsinhalte wurden in acht Vorlesungseinheiten gelehrt, in denen aktuelle Themen des Lehrstuhls eingeführt und anhand von am Lehrstuhl entwickelten Software-Prototypen verdeutlicht wurden. Zur Stärkung des Forschungsfokus konnten für zwei Vorlesungseinheiten ausgewiesene Experten des jeweiligen Fachgebiets gewonnen werden. Die Zentralübungen unterstützten die Vorlesung durch die gemeinsame Bearbeitung von Übungsaufgaben sowie Beispielaufgaben. Darüber hinaus wurden drei Blockveranstaltungen angeboten, in denen den Studenten die Gelegenheit gegeben wurde, Problemstellungen anhand der Demonstratoren und Werkzeuge des Lehrstuhls selbstständig zu bearbeiten.

Die Evaluation der Lehrveranstaltung im SS 2014 zeigte auf, dass die Studierenden großes Interesse an forschungsnahen Themen haben und das Potential zur interaktiven Gestaltung der Lehrveranstaltung durch die vergleichsweise geringe Teilnehmerzahl erkannten.

Vorlesung

Innerhalb der Vorlesung wurden den Studenten Kenntnisse über die

strukturierte Entwicklung intelligenter, verteilter, eingebetteter Systeme unter Verwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz vermittelt. Zu diesem Zweck wurden die formale Ablaufmodellierung mittels Petrinetzen sowie die Systemmodellierung mittels UML und SysML eingeführt. Mittels OCL wurde den Studenten die Möglichkeit gegeben, Modelleigenschaften zu verifizieren und Modelltransformationen durchzuführen, was eine automatische Codegenerierung aus vorhandenen Modellen erlaubt. Auf diesen Grundlagen aufbauend, befasste sich die Veranstaltung zum Thema Intelligenz in der Automatisierungstechnik mit bestehenden Ansätzen flexibler Produktionssysteme, u.a. Agenten, Serviceorientierten Architekturen und Cyber-Physical Production Systems. Um das für diese Systeme erforderliche Wissen beschreiben zu können, wurde zusätzlich die Modellierung von Wissensbasen mittels Ontologien eingeführt.

Gastvorträge

Zur Stärkung des Forschungsfokus gelang es, ausgewiesene internationale Experten einzelner Forschungsfelder für Vorträge im Rahmen der Vorlesung zu gewinnen. So gab Prof. Marga Marcos mit ihrem Vortrag „UML based Model Driven Engineering“ aufschlussreiche Einblicke in den Stand der Forschung der Domänen-Modellierung, welche es erlaubt, die fachrichtungsbezogenen Sichtweisen unterschiedlicher Entwickler auf ein mechatronisches System zu unterstützen. In seiner Vorlesung „System and Software Engineering in Industrial Automation Systems: The case of SysML“, stellte Prof. Kleanthis Thramboulidis die Einschränkungen aktueller Softwareengineering Methoden für die Automatisierungstechnik dar und gab einen Überblick über die aktuellen Fortschritte der Systemmodellierung in interdisziplinären Teams.

Interaktive und Praktische Übungen

Im Rahmen der Übung sollten gemeinsam mit den Studierenden die vermittelten Kenntnisse auf Demonstratoren des Lehrstuhls ange-

wandt werden. Hierzu waren z.B. Modell-zu-Modell-Transformationen, Modell-zu-Text-Transformationen und formale Wissensrepräsentationen im Rahmen von Übungsaufgaben zu erstellen.

Darüber hinaus wurde insbesondere der Grad der Interaktivität gesteigert, um die vorgestellten Problematiken im Anschluss an ihre theoretische Bearbeitung auch anhand prototypischer Implementierungen verifizieren zu können. Dies wurde den Studenten in praktischen Übungen, die als Blockveranstaltungen abgehalten wurden, ermöglicht. Im Rahmen dieser Übungseinheiten wurde in kleinen Gruppen (2-3 Studenten) an praktischen Lösungen zu aktuellen Forschungsproblematiken aus den Gebieten der formalen Wissensrepräsentation, Modellierung, Modelltransformationen und automatisierten Steuerungscode-Generierung gearbeitet. Ansprechpartner waren dabei zu jeder Zeit zur Anleitung der Studenten verfügbar. Um den Studierenden die Möglichkeit zu geben, ihre Ergebnisse auch auf ihrem privaten PC nachvollziehen zu können, wurde auf den Einsatz von Open-Source-Werkzeugen geachtet.

Evaluation

Zur Sicherstellung der Qualität der Lehrveranstaltung kamen verschiedene Evaluationsmechanismen zum Einsatz. Zum einen ließ sich aus dem interaktiven Kontakt mit den Studenten ein reges Interesse an den Vorlesungs- und Übungsinhalten erkennen. Zum anderen wurden schriftliche Erfolgskontrollen durch die Bewertung der Prüfungsleistungen in den schriftlichen Prüfungen sowie durch die Evaluation mittels des fakultätseigenen Evaluationssystems durchgeführt. Diese Evaluationsmechanismen konnten die positive Resonanz bei den Studierenden bezüglich der Inhalte und den didaktischen Methoden der Lehrveranstaltung bestätigen.

Externe Lehrveranstaltungen

Vorlesung Prozessleitsysteme in der verarbeitenden Industrie



Dr.-Ing. Heiko Meyer

Die derzeit am Markt befindlichen produktionsnahen IT-Systeme sind aus ihrem jeweiligen Anwendungsbereich heraus entstanden, gewachsen und heute aus der Produktion nicht mehr wegzudenken. Zu den ursprünglich spezifizierten Kernfunktionen ist jeweils eine Vielzahl weiterer Funktionen hinzugekommen, die teilweise durch andere am Markt befindliche Systeme auch abgedeckt



Abbildung 35: Beispiel einer web-basierten Darstellung eines MES Systems

werden. Dies hat zur Folge, dass sich die Systeme bezüglich ihrer Eigenschaften überschneiden. Die verschiedenen Insellösungen mit ihren individuellen Datenstrukturen und eigenen Bedienphilosophien verschmelzen zunehmend. Ein ganzheitlicher Lösungsansatz besteht auf Basis eines integrierten Prozessleitsystems.

Die Vorlesung "Prozessleitsysteme in der verarbeitenden Industrie" widmet sich diesem Thema und gibt detaillierte Einblicke in die Software- und Datenbank-Architektur, in die vertikalen Kommunikationsmechanismen (z. B. OPC) und Herausforderungen bei der Realisierung entsprechender, hochkomplexer Systeme (z. B. Anbindung von 1.500 Steuerungen an ein Leitsystem). Die Inhalte der Lehrveranstaltung werden durch konkrete Beispiele aus der verarbeitenden Industrie (BMW, Oetker, tesa etc.) ergänzt.

Laboranlagen

Hybrides Prozessmodell

Für die Umsetzung und Evaluation der am AIS entwickelten Forschungsansätze steht neben anderen Demonstratoren auch das Hybride Prozessmodell zur Verfügung. Dieses besteht aus einem verfahrenstechnischen und einem logistischen Anlagenteil. Ein Netz aus Transportbändern und Weichen (im Bild blau) sowie ein Flaschenlager und ein 5-Achs-Roboter zur Kommissionierung der Flaschen (im Bild orange) sind Bestandteil der Logistik.

Der verfahrenstechnische Anlagenteil besteht aus einer Workstation und zwei Abfüllstationen (im Bild grün).

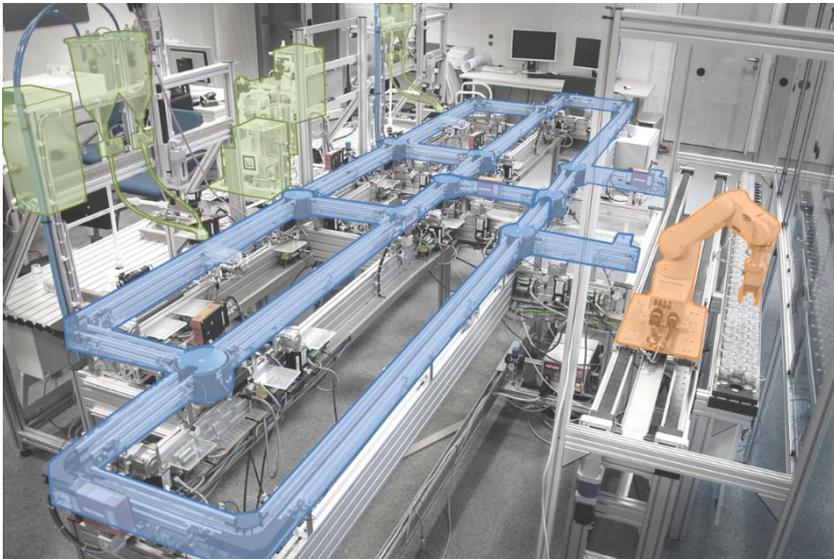


Abbildung 36: Hybrides Prozessmodell

Der Modellprozess sieht vor, dass der Roboter je nach Auftrag Flaschen aus dem Flaschenlager entnimmt und sie an das Logistiknetz übergibt. Durch dieses werden die Flaschen mit Hilfe mehrerer Barcode-scanner zu den jeweiligen Abfüllstationen transportiert, an denen sie mit einem rezeptspezifischen Gemisch aus behandelter Flüssigkeit

und Kunststoffgranulat befüllt werden. Anschließend werden die Flaschen durch das Logistiknetz zurück zum Roboter transportiert, der diese wieder in das Flaschenlager einsortiert.

Die Abfüllstationen bestehen aus zwei identischen Modulen an unterschiedlichen Standorten, mit deren Hilfe sich verschiedenfarbige Kunststoffkugeln und Flüssigkeit in exakt definierter Menge in die Flaschen füllen lassen. Die Flüssigkeit kann dabei zunächst in der Workstation vorbereitet werden. Diese besteht aus mehreren Tanks, in denen verschiedene Verfahrensschritte (Erhitzen, Umwälzen etc.) durchgeführt werden können. Zusätzlich ist hier das Fahren verschiedener Regelungen (Temperatur, Durchfluss, Druck) möglich. Von der Workstation aus kann die Flüssigkeit zu den Abfüllstationen gepumpt werden. Aufgrund des Aufbaus der Workstation wäre es theoretisch möglich in der Workstation Joghurt zu produzieren.

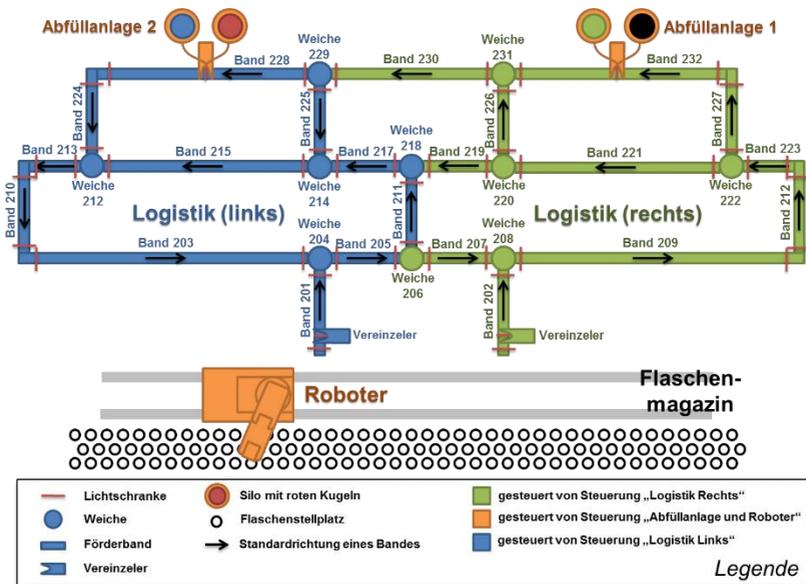


Abbildung 37: Schema des Hybriden Prozessmodells

Gesteuert wird das hybride Prozessmodell über Steuerungen verschiedener Hersteller, die je nach Bedarf zu- oder abgeschaltet werden können. Die Sensor- und Aktorsignale werden dabei über eine Mischung aus PROFIBUS und ProfiNET übertragen.

Die Eingabe neuer Aufträge und Rezepte sowie die Überwachung der Anlage erfolgt über eine web- und touchbasierte Prozessdatenvisualisierung, oder über den myJoghurt-Demonstrator (siehe Seite 12).

Das hybride Prozessmodell ist durchgängig mit hochwertigen industriellen Komponenten ausgerüstet und ermöglicht aufgrund des Aufbaus vielfältige Betriebsweisen. Hierdurch ist es hervorragend möglich eine Vielzahl unterschiedlicher Forschungsansätze zu evaluieren, zum Beispiel im Bereich verteilter Systeme, künstliche Intelligenz, Optimierung und Zuverlässigkeit. Die einfach wechselbare Steuerungstechnik ermöglicht es außerdem, Steuerungen verschiedener Hersteller aufwandsarm einzusetzen und Ansätze somit noch umfangreicher zu prüfen.

Neutralisierungsanlage – Testbett für Forschung im Bereich prozesstechnischer Anlagen

Die Verfügbarkeit von Anlagen ist eines der höchsten Ziele jedes Anlagenbetreibers. Eine Verfügbarkeitssteigerung ist möglich, wenn der aktuelle Zustand jedes Sensors, Aktors und des Produkts bis hin zur gesamten Anlage eingeschätzt werden kann und Fehlerkompensationsmaßnahmen vor oder auch im Fehlerfall durchgeführt werden, um den Anlagenbetrieb aufrecht zu erhalten. Gleichzeitig soll in allen Situationen die geforderte Produktqualität erreicht werden. Diese Anforderungen übersteigen die Leistungsfähigkeit heutiger Diagnosesysteme oder Asset Management Systeme (AMS) und erfordern neue und innovative Methoden, basierend auf aktuellen und zukünftigen Technologietrends, wie Datenaggregation, -auswertung, Machine-to-Machine Kommunikation und Visualisierungskonzepte.

Ein Forschungsziel des Lehrstuhls im Bereich Wissensbasiertes Asset Management System ist es, neue Diagnosemethoden zur oben beschriebenen Datenaggregation zu erforschen. Neue datengetriebene Analysetechniken werden entwickelt, die aus den Daten Störungscharakteristiken ermitteln können. Störungscharakteristiken sind nicht nur Merkmale, die eine Störung beschreiben, sondern beinhalten auch die Symptome einer Störung, die Auswirkung einer Störung auf vor- und nachgelagerte Prozesse und ebenfalls die Störbeseitigungsmaßnahmen durch Beobachtung der Eingaben des Anlagenbedieners im Fehlerfall. Die analysierten Störungscharakteristiken werden in das Wissensbasierte Asset Management System übertragen und während des Anlagenbetriebs eingesetzt, um Störungen frühzeitig und automatisiert zu erkennen. Im Sinne der Self-Healing Machine[®] werden automatisch Kompensationsstrategien eingeleitet, um die Betriebszeiten der Anlage zu erhöhen.

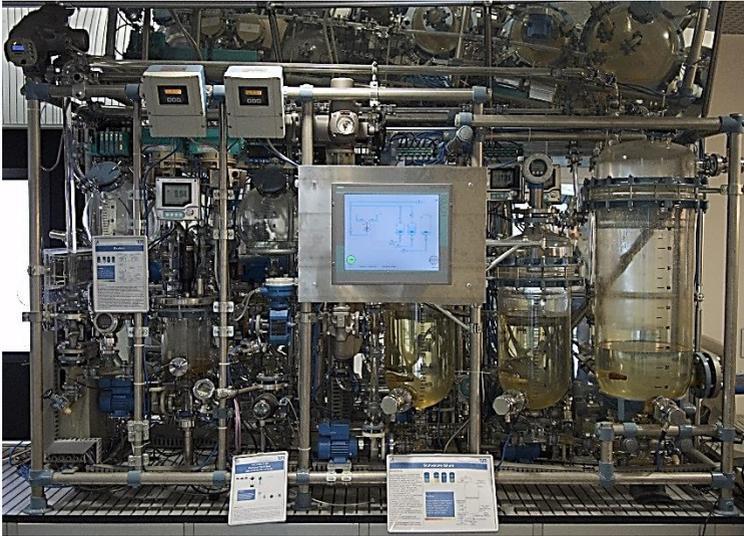


Abbildung 38: Neutralisierungsanlage als Testbett für die Forschung und Entwicklung am Lehrstuhl im Bereich wiederverwendbarer Diagnosemethoden in der Prozessindustrie

Um die Forschungsmethoden zu entwickeln, zu testen und zu verbessern wird ein verfahrenstechnischer Demonstrator am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme genutzt. Der Demonstrator neutralisiert Säuren und Basen, die in einem Reaktor gemischt werden. Im Gegensatz zu Laboranlagen verfügt die Neutralisierungsanlage über reale und industrierelevante Feldkomponenten, wie Pumpen, Ventile, Temperatur-, Füllstand-, Durchfluss- und pH-Wertsensoren, die auch in der verfahrenstechnischen Industrie eingesetzt werden. Zusätzlich verfügt die Anlage über eine Siemens Steuerung mit PCS7. Die Neutralisierungsanlage wird aktuell für die Anwendung von DeltaV® von Emerson Process Management und zusätzlicher Diagnosepakete erweitert. Als Feldbus wird aktuell Profibus DP/PA eingesetzt. Das derzeit durchgeführte Retrofit sieht eine heterogene Architektur vor. Zukünftig werden Feldbussysteme wie Foundation Fieldbus und Wireless HART ebenfalls zur Verfügung stehen. Zudem werden Feldgeräte ausgetauscht, um eine heterogene Struktur intelligenter Feldgeräte zu

schaffen, die die Neutralisierungsanlage noch realistischer gegenüber Industrieanlagen gestaltet.

Ziel ist es, die Neutralisierungsanlage als Testbett für den prozesstechnischen Forschungsbereich im Rahmen der CPPS Aktivitäten des Lehrstuhls (<http://www.ais.mw.tum.de/cpps-diagnose-und-visualisierung/>) zu nutzen.

Forschung und Praxis – Echte industrielle Anwendungen sind das Ziel

Herausforderungen bestehen nicht nur bei der Erforschung neuer Methoden innerhalb der Forschungsschwerpunkte des Lehrstuhls und der Anwendung an (sterilen) Laboranlagen, sondern auch in der Machbarkeit im realen und rauen industriellen Umfeld. Hierbei unterstützen uns langjährige und vertrauensvolle Kooperationen mit mehr als 30 namenhaften nationalen wie internationalen Unternehmen – von der Fertigungstechnik, über die Verfahrenstechnik, bis hin zu hybriden Prozessen. Besonders im Zusammenhang mit dem aktuellen Retrofit der Anlage wollen wir uns bei der Samson AG, der Bayer Technology Services GmbH und der Emerson Process Management GmbH & Co. OHG für die Bereitstellung von Komponenten, Ideen, Wissen und Zeit herzlich bedanken.

Modulare produktionstechnische Schulungsanlagen

Für den Einstieg in die automatisierungstechnische Programmierung stehen am Lehrstuhl AIS 48 produktionstechnische Schulungsanlagen zur Verfügung. Diese können fünf verschiedenen, vom Schwierigkeitsgrad der Programmierung vergleichbaren Anlagentypen zugeordnet werden. Die Einzelanlagen sind zu Dreiergruppen zusammengefasst, die gemeinsam zwei verschiedene Gesamtprozesse einer modularen Produktion darstellen.

Die Funktionen der Einzelanlagen vermitteln grundlegende Abläufe in der Automatisierungstechnik, wie Vereinzeln, einfaches Handling, Fördern und Sortieren von Werkstücken. Des Weiteren können durch die unabhängige Programmierung in einem Gesamtprozess Freigabefunktionen zwischen Anlagen zu Kollisionsvermeidung gelehrt werden.

Die Anlagen besitzen in erster Linie einfache Sensoren und Aktoren, wie Lichtschranken, Anschlagssensoren, Ventilschalter und Bandmotor-schalter, die über boolesche Variablen abgefragt oder angesteuert werden können. Die Schnittstellen sind entsprechend einfach gehalten und bestehen pro Anlage aus jeweils bis zu acht booleschen Sensor-Eingängen und acht booleschen Aktor-Ausgängen. Zusätzlich ist an jeder Anlage ein Bedien-Panel verbaut, welches nochmals so viele Ein- (z.B. Knöpfe, Schalter) und Ausgänge (z.B. Lampen) bietet.

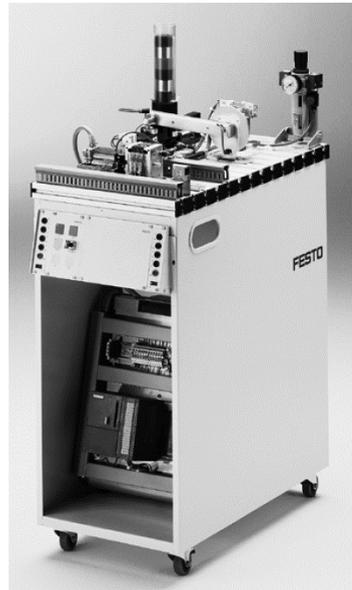


Abbildung 39: Eine der 48 automatisierungstechnischen Schulungsanlagen (Quelle: Festo Didactic)



Abbildung 40: Einer der zwei Schulungsräume mit 24 Anlagen

Die Anlagen können in den Programmiersprachen C (über die PIT E-Learning Plattform) oder denen des Standards IEC 61131-3 (über CODESYS V2) programmiert werden. Sowohl die Ansteuerung als auch die Programmierung geschehen über jeweils einen PC, der über die USB-Schnittstelle an je eine Anlage angebunden ist.

Zukünftig ist geplant, jede Anlage mit je einer Steuerung zu vereinen, um Echtzeitbedingungen bei der Ansteuerung zu ermöglichen, was über die bisherige Schnittstelle nicht möglich ist.

Pick and Place Unit – Benchmark für die Automatisierungstechnik

Einer der zentralen Demonstratoren von Forschungsprojekten ist die sog. Pick and Place Unit. Sie realisiert einen fertigungstechnischen Prozess mit den Funktionalitäten Transport, Verarbeitung und Sortierung für zylindrische Werkstücke unterschiedlichen Materials. Unter anderem wird die Pick and Place Unit im Rahmen von Forschungsprojekten wie dem modellbasierten Testen und dem SPP1593 verwendet, um Methoden und Techniken zu erforschen, zu evaluieren und zu erweitern. Mehr als die Hälfte der Projekte des Schwerpunktprogramms SPP 1593 nutzen die Pick and Place Unit zu Demonstrations- und Evaluationszwecken. Um unterschiedliche Facetten der Veränderung automatisierungstechnischer Anlagen zu repräsentieren wurden über 15 verschiedene Entwicklungsstufen der Pick and Place Unit definiert. Es wurden jeweils Dokumentationen, Steuerungscode und Simulationen

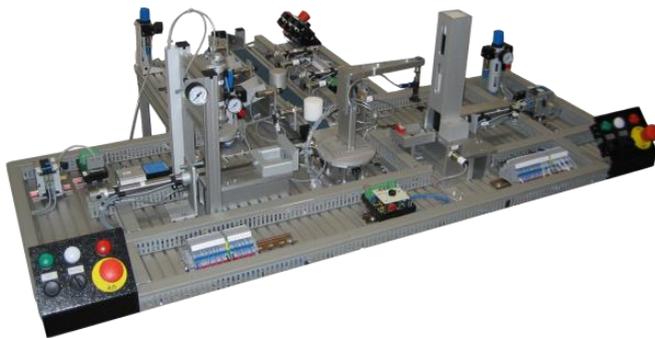


Abbildung 41: Pick and Place Unit: Demonstrator zur Erforschung der Evolution in der Produktionsautomatisierung im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1593

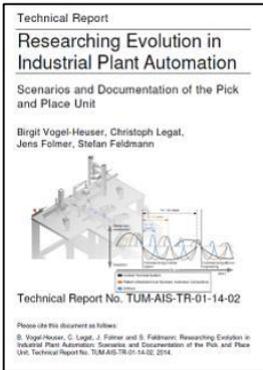


Abbildung 42: Dokumentation der PPU

für jede der Entwicklungsstufen erstellt. Ein Großteil der Dokumentation ist öffentlich frei verfügbar⁴, so dass die Pick and Place Unit mittlerweile über die Grenzen des SPP 1593 hinaus in der internationalen Forschung Interesse geweckt hat. Außerdem wird die Pick and Place Unit derzeit erweitert, um beispielsweise für Forschungszwecke des modellbasierten Testens, des Machine in the Loop-Testes und der evolutionären Diagnosemethoden weitere Herausforderungen zu bieten.

⁴ <https://mediatum.ub.tum.de/node?id=1208973>, zuletzt aufgerufen am 03.12.2014.

Veranstaltungen

Messen, Workshops und Foren

Deutsch-Amerikanischer Workshop “Predictive Analytics, Cyber-Physical Systems, and Industrie 4.0 in Big Data Environments”

Die Dynamik globaler Märkte erfordert von Unternehmen zusehends, ihre Produktivität zu steigern. Durch künftige Anwendungen im Rahmen von Industrie 4.0 und Cyber-Physical Systems müssen die Herausforderungen großer Datenmengen durch intelligente Analysemechanismen adressiert werden. Deren erfolgreiche Anwendung ist momentan jedoch noch offen.

Im Rahmen des ersten deutsch-amerikanischen Workshop „Predictive Analytics, Cyber-Physical Systems, and Industrie 4.0 in Big Data Environments“ am 17. und 18. November 2014 wurden diese Herausforderungen und die Potentiale neuer Technologien und Ansätze zwischen Industrievertretern und Wissenschaftlern aus aller Welt an der Technischen Universität München diskutiert.

Mit wachsender Produktkomplexität wächst auch die Menge an Daten, die von produzierenden Unternehmen verarbeitet werden muss. Innovative Methoden, Ansätze und Technologien, die derzeit im Rahmen von Industrie 4.0, CPS und Big Data entstehen, wurden auf dem von der Technischen Universität München (Birgit Vogel-Heuser) und University of Cincinnati (Jay Lee) organisierten Workshop vorgestellt und diskutiert.

Neben Kundenwünschen nach detaillierter Analyse von Produktionsprozessen und kundenindividuellen Produkten bis hin zur Mass Customization wollen auch Anlagenbetreiber ihre Daten untersuchen

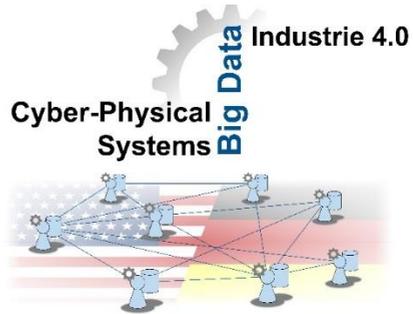


Abbildung 43: Agenten als vernetzte Technologie

und somit Wissen über ihre Infrastruktur ableiten. Hierzu bedarf es Methoden zum effizienten Datenmanagement. Klassischerweise werden solche Daten durch Beobachtung von Sensordaten gewonnen. Mit neuartigen Technologien versuchen Unternehmen möglichst exakte Voraussagen über zukünftige Zustände zu treffen, wie zum Beispiel über Kundenwünsche und Energiepreise, um Produktionsprozesse zu optimieren. Die zu lösenden Herausforderungen sind vielfältig: Neben der Interoperabilität zwischen verschiedensten Systemen, um Informationen nutzergerecht bereitzustellen, müssen sichere Vernetzungsmechanismen und Cloud-Technologien bereitgestellt und die Nutzungsrechte von Daten geklärt werden.

Dass die Forschung allerdings nicht mehr nur in den Kinderschuhen steckt, zeigten die Vorträge der Forschungsinstitute: Von Watchdog Agents[®], die eine Voraussage des Maschinenzustands ermöglichen (Lee) bis hin zu hochvernetzten Systemen, die dynamisch gekoppelt werden können (Vogel-Heuser) entstehen heutzutage innovative Anwendungen. Insbesondere durch intelligente Softwarekonzepte wie dem agentenbasierten Ansatz, in dem Softwareagenten hardwarenah Daten sammeln und auswerten, kann Industrie 4.0 und CPS ermöglicht werden. Der deutschlandweite Industrie 4.0-Demonstrator *myJoghurt* (<http://i40d.ais.mw.tum.de/>) konnte deren Anwendbarkeit bereits zeigen. Mögliche Applikationen dieser Konzepte sind dabei vielfältig: Intelligente, dynamische Rekonfiguration von Produktionsanlagen, Optimierung von Lieferantennetzwerken bis hin zur Voraussage zukünftiger Maschinen sind nur einige, wie diese von Prof. Jun Ni (University of Michigan) vorgestellt wurden.

Nichtsdestotrotz haben Industrie 4.0 und CPS bisher noch keinen flächendeckenden Einzug in die Industrie gefunden: Wesentliche Herausforderungen im Allgemeinen aber auch bezogen auf die Industrieanwendungen und die Aus- und Weiterbildung wurden von den Teilnehmern identifiziert, unter denen nicht nur Vertreter von nationalen und internationalen Unternehmen wie National Instruments, FORCAM, Siemens AG, Samsung Electromechanics und iSiD waren, sondern

auch Forscher und Forschungsorganisationen wie die NSF, DFG und der ZVEI e.V. Insbesondere die Überwindung von Disziplinengrenzen und die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams wurde als Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz von Industrie 4.0 bzw. CPS gesehen (siehe Abbildung 44). Eine gemeinsame Modellierungsnotation (Common Design Language) wurde von den Industrieteilnehmern als ein Lösungsansatz angesehen, um Missverständnisse beim gemeinsamen Entwurf eines CPS zu vermeiden. Als eine weitere Kernherausforderung wurde die Unterstützung der Evolution von Systemen identifiziert: Die Anforderung, zusätzliche Anlagenfunktionalitäten während des Betriebs zu ermöglichen, erfordert Ansätze zur Verwaltung und Handhabung der Vielfalt an Systemkomponenten sowie deren Varianten und Versionen – insbesondere zur Laufzeit solcher Systeme. Eine konsistente Datenbasis für die verschiedenen im Engineering, Betrieb und Wartung beteiligten Stakeholder ist dazu eine Voraussetzung.

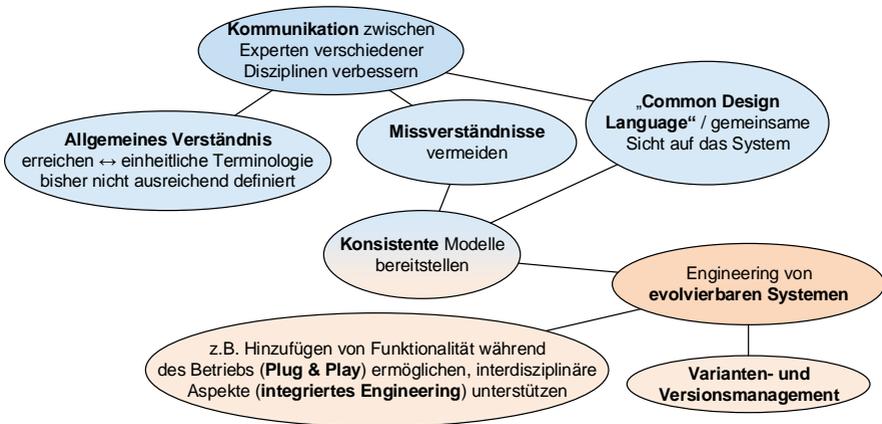


Abbildung 44: Wesentliche Herausforderungen und ihre Beziehungen

Die Zugänglichkeit von Daten aus bis zu 100 verschiedenen IT-Systemen in einer einzigen chemischen Anlage wurde als eine weitere Herausforderung angesehen.

Bei der Aus- und Weiterbildung herrschte Einigkeit, dass interdisziplinäre Angebote ebenso wie systemische Ansätze an den Universitäten und Hochschulen angeboten werden, aber häufig weniger Zuspruch erhalten, weil die Relevanz für die Industrie für die Studierenden im Vergleich zum zusätzlichen Aufwand oft nicht erkennbar ist.

Um Industrie 4.0 und CPS in vielen auch kleineren und mittelständischen Unternehmen einzuführen, sind an verschiedensten Stellen gemeinsame Aktivitäten erforderlich: Standards müssen etabliert, Security-Bedenken adressiert und die Vorteile der Technologien detailliert erläutert und festgehalten werden. Es muss sich ein konkreter berechenbarer Nutzen kalkulieren lassen.

Vernetzung ist also nicht nur zwischen Unternehmensebenen und verschiedenen Unternehmen notwendig, sondern auch in der Kommunikation zwischen Experten in Forschung und Industrie. Der Workshop war ein Erfolg, weil er nationale und internationale Forscher und Industrieexperten zur gemeinsamen Diskussion zusammengeführt und damit für ein tieferes Verständnis des unterschiedlichen nationalen Zugangs geschaffen hat.

Internationaler Workshop zum Thema „Model-Driven Engineering in Automation“

Im Rahmen des ersten Internationalen Workshops zum Thema “Model-Driven Engineering” konnte das Thema der modellgetriebenen Entwicklung mechatronischer Systeme unter Professorinnen und Professoren internationaler Universitäten diskutiert werden. Der Workshop fand am 9. Mai am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme der TU München statt.

Neben der Anwendung von Modellierungssprachen wie Unified Modeling Language (UML), die sich für die Modellierung von Software und Steuerungsapplikationen eignen, wurde insbesondere die interdisziplinäre Modellierung mechatronischer Systeme mit Modellierungssprachen wie Systems Modeling Language (SysML) diskutiert. Weitere Aspekte, wie beispielsweise die Anwendung aufstrebender Standards wie IEC 61499 und AutomationML, wurden vorgestellt und betrachtet.

Die internationalen Professorinnen und Professoren einigten sich auf eine langfristige intensive Kooperation im Bereich der modellbasierten Entwicklung interdisziplinärer Systeme, um Synergieeffekte zwischen den einzelnen Instituten zu erzielen. Insbesondere sollen wesentliche Forschungsaspekte wie die Integration der am Entwicklungsprozess beteiligten Software-Werkzeuge unter Berücksichtigung von Standard-Austauschformaten gemeinsam adressiert werden. Mit einer solchen internationalen Kooperation zwischen den Forschungsinstituten kann das langfristige Ziel der Verbesserung des Engineerings langlebiger, variantenreicher, interdisziplinärer Systeme kollaborativ erreicht werden.



Abbildung 45: Vier Professorinnen der Automatisierungstechnik diskutieren beim Workshop „Model-Driven Engineering“, von links nach rechts: Prof. Elisabet Estévez Estévez (Universität Jaén), Prof. Birgit Vogel-Heuser (TU München), Prof. Sabina Jeschke (RWTH Aachen), Prof. Marga Marcos(Universität Bilbao)

VDI/VDE GMA FA 5.15 Expertenforum „Agenten im Umfeld von Industrie 4.0“

Die Komplexität der Produktion im Maschinen- und Anlagenbau nimmt stetig zu. Daher muss auch die Automatisierungssoftware flexibel und ohne großen Aufwand anpassbar sein. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, hat sich der Einsatz des agentenorientierten Paradigmas als geeignet erwiesen. Mit seiner Hilfe kann der erste Schritt in Richtung Industrie 4.0 vollzogen werden.

Im Rahmen des Expertenforums „Agenten im Umfeld von Industrie 4.0“, das in diesem Jahr am 7. und 8. Mai am Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme der TU München stattfand, wurde das Thema Softwareagenten insbesondere im Umfeld von Industrie 4.0 stark diskutiert.

Im Raum stand die Forderung nach flexiblen und einfach anpassbaren Automatisierungssystemen. Diese Forderungen verlangen dabei völlig neue mechatronische Ansätze, wie von Johannes Hoos (Festo AG & Co. KG) vorgestellt. Aber auch bestehende Produktionsanlagen müssen aufgrund ihrer Langlebigkeit von bis zu 20 Jahren für Industrie 4.0 ertüchtigt werden. Dabei gilt es starre, wenig flexible Lösungen durch flexible Softwarestrukturen, beispielsweise flexible Kopplungen zwischen Produktionsanlagen, zu ersetzen, wie von Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner (Universität Stuttgart) aufgezeigt wurde.

Hierfür stellen agentenbasierte Kopplungsansätze einen guten Lösungsansatz dar, erläuterte Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser (TU München). „Durch ihre Lernfähigkeit und ihre Fähigkeit der Selbstadaptation und Selbstorganisation sind Agenten ideal geeignet. In unserer verteilten Joghurtproduktion *myJoghurt*⁵ bieten sie den verschiedenen Produktionsstandorten in München, Stuttgart und Magdeburg

⁵ <http://i40d.ais.mw.tum.de>, zuletzt aufgerufen am 07.01.2015.

die Möglichkeit, die verschiedenen historisch gewachsenen Automatisierungssysteme über einen Basisagenten anzubinden. Dabei können verschiedene Steuerungslösungen verwendet werden – bis hin zu hybriden Plattformen, die Anwendungen in verschiedensten Sprachen wie C oder IEC 61131-3 beinhalten. Wir bieten ein Starter-Kit für die verschiedenen Programmiersprachen an, das den Anwendern der Agentenplattform eine Basis für die Einbindung ihrer Systeme ermöglicht.“

Welche Methoden und Werkzeuge für die Analyse von großen Datenmengen notwendig sind und welche Schlüsse daraus gezogen werden können, schilderten Prof. Dr. Oliver Niggemann (Hochschule Ostwestfalen-Lippe) und Dr. Mark Mattingley-Scott (IBM Deutschland). Verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Industrie 4.0 wurden auf dem Expertenforum vorgestellt – vom Internet of Things in der Produktion (Prof. Dr. Sabina Jeschke, RWTH Aachen) bis hin zu konkreten industriellen Anwendungsfällen (Dr.-Ing. Rainer Drath, ABB AG, und Dr. Jochen Schlick, Wittenstein AG). Höhepunkte der Veranstaltung waren die Vorträge der internationalen Wissenschaftler: Prof. Paulo Leitão, (Universität Bragança, Portugal) und Prof. Dr.-Ing. Armando W. Colombo (Schneider Electric Automation GmbH und Hochschule Emden/Leer) berichteten über die Potenziale von dienstbasierten Architekturen und Agenten für künftige Anwendungen.

Welchen Nutzen solche Konzepte für Entwickler von Steuerungssoftware darstellen erläuterte Prof. Paulo Leitão (Universität Bragança, Portugal) folgendermaßen: „Agenten und dienstbasierte Architekturen ermöglichen – kombiniert mit weiteren Mechanismen wie Cloud-Technologien und Selbstorganisation – modulare, interoperable und erweiterbare Cyber-Physische Systeme. Systeme werden somit intelligenter, flexibler, skalierbarer und wandelbarer.“ Prof. Jay Lee (Universität Cincinnati, Ohio) – einer der Verfechter Cyber-Physischer Systeme in den Vereinigten Staaten – ergänzte diese Vorteile und stellte Anwendungsmöglichkeiten für Agenten im Bereich Big Data vor: „Eines der Potenziale von Agenten liegt darin, Daten über die Laufzeit von Cyber-

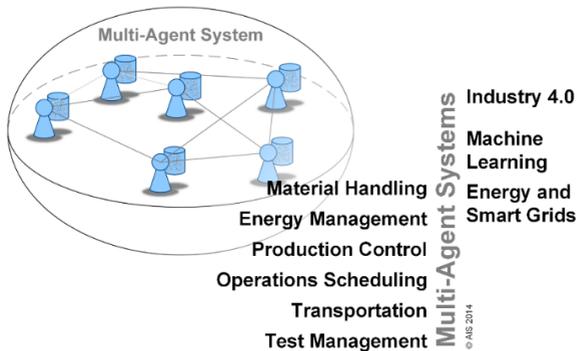


Abbildung 46: Multi-Agent System

Physischen Systemen zu sammeln und auszuwerten. In Zukunft werden die Maschinen automatisch durch Sensoren beobachtet und diese Daten fortlaufend erfasst und analysiert. Die intelligente Auswertung

der Daten bewirkt Kosteneinsparungen, höhere Betriebseffizienz und verbesserte Produktqualität.“

Das Expertenforum bot sowohl für nationale und internationale Forscher als auch nationale Industrieexperten für zwei Tage eine gute Möglichkeit zum Austausch über das Thema. Auch junge internationale Wissenschaftler konnten an den Diskussionen teilnehmen und mittels Vorträgen in einer Young Researchers Session sich weiter vernetzen.

Die in einem Abstand von zwei Jahren stattfindenden Expertenforen rund um das Thema Agentensysteme stehen unter der fachlichen Trägerschaft des Fachausschusses 5.15 „Agentensysteme“ der VDI/VDE-GMA. Die Beiträge des Expertenforums 2014 wurden in einem Tagungsband⁶ veröffentlicht. Ein vollständiger Bericht des Expertenforums kann der openautomation 3/2014 entnommen werden⁷.

⁶ Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Agenten im Umfeld von Industrie 4.0. Tagungsband zum Expertenforum am 7. und 8. Mai 2014. Göttingen: Sierke-Verlag, 2014.

⁷ Feldmann, S.: Ertüchtigen Agenten Produktionsanlagen für Industrie 4.0? In: openautomation, Nr. 3, 2014, S. 22-23.

AIS auf der AUTOMATICA

Der Begriff Industrie 4.0 hat derzeit viele Definitionen, umso schwerer fällt Unternehmen die Ausrichtung der Entwicklung sowie eine Analyse der aktuellen Marktstellung im Rahmen dieses Themas. Dieser Eindruck konnte aufgrund des Feedbacks der Fachbesucher auf der Messe AUTOMATICA gewonnen werden.

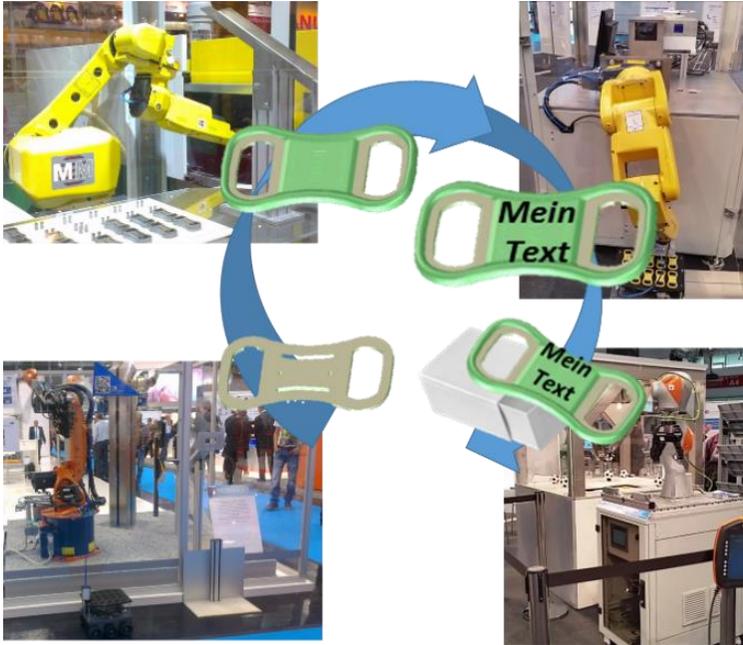


Abbildung 47: Demonstrator RIAN auf der AUTOMATICA 2014

Einen Ansatz, wie das Thema Industrie 4.0 in der Realität eines Produktionsprozesses umgesetzt werden kann, zeigten die Unternehmen FANUC, Reis, Schunk, Ortner, Beckhoff, MartinMechanic sowie der Lehrstuhl AIS und die BTU Cottbus-Senftenberg mit dem Demonstrator RIAN.

Das Leitmotiv „Robot Integrated Agent Network“ beschreibt die Produktionslinie eines individualisierten Flaschenöffners, bestehend aus

Lager, Laserschneiden (Simulation), Spritzgießen, Lasergravieren, Verpacken und Kundenübergabe. Zwischen den über das Messegelände verteilten Produktionsstätten verkehrten autonome sowie operatorgeführte mobile Transportroboter.

Das Robot Integrated Agent Network (RIAN) bietet die Möglichkeit, der Vernetzung von Anlagen und Robotern Steuerungsebene durch intelligente Softwarebausteine, sogenannte Agenten. Die Verknüpfung verschiedener unternehmensinterner sowie unternehmensexterner Produktionsschritte unter Berücksichtigung der jeweiligen Hard- und Softwareschnittstellen sind besonders bei dem Einsatz automatisierter Transportroboter von Bedeutung. Das Management der Aufträge sowie die Optimierung der Fertigungsabläufe konnten auf der AUTOMATICA beispielhaft demonstriert werden.

Das Ziel ist Industrie 4.0 schrittweise in die Produktion einzuführen, da Anlagenlaufzeiten häufig 10 bis 20 Jahre betragen. Der vorgestellte agentenbasierte Ansatz ermöglicht die Migration bestehender Anlagen und Roboter zum Industrie 4.0- Netzwerk, für die Verkettung von Anlagen, aber auch für die Realisierung von für die Unternehmen besonders nützlichen Teilaspekten von Industrie 4.0, wie Predictive Maintenance oder Predictive Analytics mit Hilfe von Smart Devices (z.B.: Tablets oder Smartphones).

Im Rahmen des Messedemonstrators RIAN wurde eine App entwickelt, welche die Steuerung der verschiedenen Anlagen und Transportroboter durch eine einheitliche Bedienoberfläche auf einem Tablet ermöglichte. Statusmeldungen über den Produktionsfortschritt standen den Nutzern ebenfalls online abrufbar über eigene Endgeräte zur Verfügung.

Weiterführend stehen Funktionen wie Argumented Reality, Prozessdatenvisualisierung sowie Fehlersuche und Dokumentation als effiziente Helfer für den effizienten Wartungs- und Produktionsprozess zur Verfügung.

Die Vernetzung von Unternehmen mit verschiedenen Kernkompetenzen auf der agentenbasierten Plattform ermöglicht die domänenübergreifende kollaborative Fertigung komplexer Produkte und stellt somit eine zukunftsgerichtete Ausrichtung der Produktion sicher, an der steuerungs- und betriebssystemunabhängig jedes Unternehmen partizipieren kann.

Internationale Gäste am AIS

Professor Kleanthis Thramboulidis

Im Zeitraum vom 15. März bis 15. Juli 2014 arbeitete der international renommierte Wissenschaftler Herr Professor Kleanthis Thramboulidis von der Universität Patras, Griechenland, als Gastprofessor an unserem Lehrstuhl. Herr Professor Thramboulidis präsentierte seine Arbeiten zum 3+1 SysML-View Model, welches auf einen integrierten



Abbildung 48: Professor Kleanthis Thramboulidis

Entwicklungsprozess von mechatronischen Systemen abzielt. Die Gewerke Hardware, Elektronik und Software sollen nach diesem Ansatz nicht mehr wie bisher getrennt und sequentiell entwickelt werden, sondern ganzheitlich innerhalb des Engineering kombiniert werden. Dies zielt auf die Überwindung der Schnittstellenproblematik und erleichterte Wiederverwendung von Komponenten durch eine konsistente Datenbasis und synergetische Kombination der Gewerke ab.

Die Forschungsaktivitäten von Professor Thramboulidis konzentrierten sich auf das Thema „Towards a Mechatronic Systems Development Process for Industrial Automation Systems based on IEC 61131 Programming Languages“. Ziel des Vorhabens war die Integration der in Automatisierungstechnik etablierten Programmiersprachen nach IEC 61131 in den ganzheitlichen Entwurf von mechatronischen Komponenten. Neben Forschungsarbeiten fand ein wissenschaftlicher Austausch mit Doktoranden des Lehrstuhls statt. Außerdem stellte Professor Thramboulidis seine Forschungsergebnisse den Studenten der TU München in Gastvorlesungen vor.

Die Arbeiten von Herrn Professor Thramboulidis wurden von der bayrischen Forschungstiftung und dem Sonderforschungsbereich 768 „Zyklusmanagement von Innovationsprozessen – verzahnte Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte“ finanziell unterstützt. Einen herzlichen Dank hierfür!

Abgeschlossene und laufende Promotionen

Doktorandenförderung am AIS

Zur Förderung der Doktoranden finden am AIS Veranstaltungen in verschiedenen Formaten statt: Doktorandenseminare und Dissertationstage. Beide Formate dienen in erster Linie der intensiven Beschäftigung mit der eigenen Dissertation aber auch zur Ausrichtung des Lehrstuhls bei Forschungsschwerpunktthemen.

Im Jahr 2014 fanden am AIS ein Frühjahrs- und ein Herbstseminar sowie mehrere Dissertationstage statt.

Der erste Tag des zweitägigen Frühjahrseminars diente gerade für die jüngeren Doktoranden dem Coaching in wichtigen „handwerklichen“ Grundlagen wie zum Beispiel Recherche und Kriterienbildung. In individuellen Einzelgesprächen mit fortgeschrittenen Doktoranden sowie mit Frau Professor Vogel-Heuser konnten die Themen der Dissertation eingegrenzt werden. Für die fortgeschrittenen Doktoranden bestand zudem die Gelegenheit mit Frau Professor Vogel-Heuser spezifische Problemstellungen der eigenen Dissertation und nächste Schritte zu besprechen.

Am zweiten Tag standen in diesem Jahr die Themen Testen in der Automatisierungstechnik und Agententechnologien im Mittelpunkt. In Workshops wurden neue Ideen entwickelt und die Ausrichtung der zukünftigen Arbeiten in den beiden Schwerpunktthemen fixiert.

Fernab von Telefon, Email und dem Tagesgeschäft konnten die Doktoranden an den Dissertationstagen in Klausur gehen um sich ungestört und intensiv mit der Dissertation zu beschäftigen. Diese Tage wurden zur Recherche, zur inhaltlichen Bearbeitung oder auch zum Schreiben der Dissertation genutzt. Auch für den vertieften inhaltlichen Austausch mit Kollegen zur gemeinsamen Diskussion themenverwandter Arbeiten blieb an diesen Tagen ausreichend Zeit.

Im eintägigen Herbstseminar haben alle Doktoranden in 5-10 minütigen Präsentationen den Fortschritt der Dissertation und die zukünftigen Schritte vorgestellt. Auch die Probleme die während der Bearbeitung der Dissertation aufgetreten sind, wurden thematisiert. Im Anschluss daran wurden die angesprochenen Themen in der Gruppe diskutiert. Die Doktoranden erhielten Feedback zu ihrer Themenpräsentation und Anregungen zur weiteren Bearbeitung.

Die vorgestellten Formate sollen die Doktoranden anleiten und dazu anhalten sich stetig mit der eigenen Dissertation zu beschäftigen.

Promotionen

Nach vielen Jahren Forschungs- und Projektarbeit, Lehr- und Verwaltungstätigkeiten beschließt die Disputation die Ausbildung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters. In diesem Jahr konnte der Lehrstuhl drei langjährige Mitarbeiter zum Abschluss ihres Promotionsvorhabens begleiten. Die vorgestellten Forschungsarbeiten legten ihren Schwerpunkt auf die Unterstützung von Entwicklern und Anlagenbedienern im Automatisierungstechnischen Umfeld. Hierbei wurden folgende Fragestellungen näher betrachtet: Wie können statische und dynamische Zusammenhänge geeignet modellbasiert dargestellt werden? Wie kann die Komplexität von Beschreibungssprachen reduziert werden ohne Einschränkung in den Beschreibungsmöglichkeiten vorzunehmen? Wie können große Mengen vieldimensionaler Prozesswerte geeigneter visualisiert werden? Die Forschungsarbeiten geben einen Einblick in diese Forschungsgebiete und stellen ermittelte Lösungen vor.

Dr.-Ing. Gülden Bayrak, Disputation am 25.03.2014

Frau Dr.-Ing. Bayrak untersucht in ihrer Arbeit mit dem Titel „*Vergleich und Evaluation von Beschreibungsmitteln für die Automatisierung hybrider Prozesse*“ die Eignung und Benutzerbarkeit gängiger Modellierungssprachen für die unterschiedlichen Einsatzgebiete der Automatisierungstechnik. Die flexible und sprachenübergreifende Nutzung unterschiedlicher Sprachenteile in einem gemeinsamen Modellierungsszenario gewährleistet Sie dabei durch die Einführung hierfür entwickelter Modell-zu-Modell-Transformatoren.





Dr.-Ing. Timo Frank, Disputation am 17.06.2014

In der Zusammenarbeit mit zwei weiteren Lehrstühlen entstand ein Konzept zur Modellierung verteilter Automatisierungsanlagen. Herr Dr.-Ing. Frank stellt in seiner Arbeit „*Entwicklung und Evaluation einer Modellierungssprache für den Architekturf Entwurf von verteilten Automatisierungsanlagen auf Basis der Systems Modeling Language (SysML)*“ die hierfür von ihm entwickelte Modellierungs-

sprache vor, welche die Beschreibung von Automatisierungsanlagen mit wenigen abstrakten Notationsobjekten möglich macht.

Dr.-Ing. Dorothea Pantförder, Disputation am 14.10.2014

In ihrer Arbeit „*Entwicklung und Evaluation interaktiver Informationsdarstellungen zur Unterstützung des Anlagenbedieners in der Prozessführung*“ beschreibt Frau Dr.-Ing. Pantförder, wie die Informationsflut moderner Industrieunternehmen so aufbereitet werden kann, dass der Anlagenbediener kritische Situationen schnell und gezielt erkennen kann. Das entwickelte Darstellungskonzept bietet hierfür situationspezifische Vorschläge, wie Produktionsparameter intuitiv und interaktiv als 3D-Visualisierung dargestellt werden können.



Öffentliche Veranstaltungen

Herbstuniversität am Lehrstuhl AIS

Bei der Herbstuniversität durften am 28. Oktober 6 Mädchen zwischen 16 und 18 Jahren die Welt der Automatisierungstechnik am Lehrstuhl AIS kennenlernen. Die Herbstuniversität ist ebenso wie „Mädchen machen Technik“ ein Ferienprogramm der TU München an bayerischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Die Mädchen sollen Gelegenheit haben Kontakte zu Lehrenden und Studierenden an der TUM zu knüpfen um sich über ein zukünftiges Studium und berufliche Perspektiven zu informieren.

Nach einer Einführung in die Welt der Automatisierungstechnik bei einer Lehrstuhlführung und den ersten Diskussionen, was eigentlich die Mechatronik und Automatisierungstechnik ausmacht, durften die Mädchen in



Abbildung 49: Lego Mindstorms Sortieranlage

Teams selbst LEGO Sortieranlagen programmieren. Nachdem ein erster Einblick, wie Softwareentwicklung für echte Hardware aussehen kann gegeben war, wurde auch noch ein Einblick in die Welt der Produktionsautomatisierung gegeben. Neben einem Einblick in die IEC 61131-3 wurde die Sortier- und Stempelanlage auf Ihre Funktionsweise untersucht.

Am Ende des Tages war das Ziel erreicht. Die Mädchen waren begeistert, dass man im Maschinenbaustudium nicht nur Maschinenbau, sondern auch viele weitere Inhalte wie Softwaretechnik oder Elektrotechnik lernen kann.

Mädchen machen Technik am Lehrstuhl AIS

Nach dem Motto „Alles automatisch – doch wie funktioniert das eigentlich?“ nahmen zwölf Mädchen zwischen 12 und 14 Jahren am 12. und 13. August am zweitägigen Ferienprojekt des Lehrstuhls AIS teil. „Alles automatisch – doch wie funktioniert das eigentlich?“ ist ein Projekt im Rahmen von Mädchen machen Technik Ferienprogramm der TU München an bayerischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen.

Nach einer Einführung in die Welt der Automatisierungstechnik durften die Mädchen in Teams selbst an je eine der fünf unterschiedlichen Anlagen. Zunächst galt es herauszufinden welche Sensoren und Aktoren in den Anlagen verbaut sind und welche Aufgaben sich damit lösen lassen. Dann ging es ans Programmieren: die Mädchen durften die Steuerung der Anlagen mit den IEC 61131-3 Programmiersprachen in einer Programmierumgebung implementieren, die auch in der Industrie zum Einsatz kommt. Dass es gar nicht so einfach ist, die Anlage dazu zu bringen, das zu tun, was man gerne möchte, zeigte sich bald, jedoch konnten mit Unterstützung der Bertreuer die Fehler rasch gefunden werden.

„Es war toll, dass sich dann wirklich etwas bewegt hat und man gleich sehen konnte, was man noch nicht richtig gemacht hat“

Neben den praktischen Aufgaben gab es Zeit die Roboter des AIS (Seite 16) kennenzulernen und mit diesen einen kleinen Parcours gegeneinander zu fahren. Auch das hybride Prozessmodell (Seite 80), die große Laboranlage am AIS, beeindruckte mächtig, da die Mädchen inzwischen wussten, wie schwierig es ist, eine Anlage zu programmieren.

Zum Abschluss liefen alle Anlagen der Mädchen, auch wenn sie zusammengeschaltet waren, so dass nun alle sagen konnten: Alles automatisch – so funktioniert das also!



„Am Anfang sah es kompliziert aus, aber als man die Sprache verstanden hat, hat es richtig Spaß gemacht.“



Abbildung 50: Mädchen machen Technik – Impressionen

Tag der offenen Tür

Auch in diesem Jahr stießen die Angebote des AIS zum Tag der offenen Tür am 11.10.2014 auf breites Interesse und sorgten für regen Besucherandrang. Dies lag nicht zuletzt an den spannenden Forschungsthemen des Lehrstuhls, sondern auch an der Interaktivität zwischen Besuchern und Wissenschaftlern sowie einem Programm für die gesamte Familie.

Im Rahmen der angebotenen Lehrstuhlführungen wurde ein Teil der am AIS vorhandenen Versuchsanlagen vorgeführt, welche in aktuellen Forschungsprojekten zum Einsatz kommen und weiter entwickelt werden. Zu diesem Zweck liefen die Anlagen jeweils in einem Demonstrationsmodus, welcher die aktuellen Problemstellungen veranschaulichen sollte. Gezeigt wurden u.a. die verfahrenstechnische Anlage, das hybride Prozessmodell und die Pick and Place Unit. Außerdem wurden die modularen Produktionsanlagen präsentiert, die zusätzlich in der Lehre zum Einsatz kommen. Diese Anlagen lassen sich von den Studenten über ein vom AIS entwickeltes Webinterface programmieren und ansteuern.

Die Lehrstuhlführungen gaben Anlass zu angeregten Diskussionen bezüglich der Industrienähe der Versuchsanlagen sowie zu aktuellen Forschungsthemen. Insbesondere bezüglich der Themen Industrie 4.0 und der zunehmenden Komplexität der Produktionsprozesse wurden zahlreiche Fragen gestellt. Im Fokus stand dabei, wie der Mensch künftig den steigenden Anforderungen im Anlagenbetrieb gewachsen sein kann und ggf. unterstützt werden muss. Aus aktuellem Anlass wurde auch die Gewährleistung der Datensicherheit im Cloud-Zeitalter hinterfragt. Die Präsentation des Webinterfaces zum Programmieren der Modularen Produktionseinheiten bot eine Grundlage für Fragen bezüglich der Lehraktivitäten des Lehrstuhls im Umfeld der multidisziplinären Ausbildung des modernen Ingenieurs.

Der interaktive Teil des Programms fand im Foyer des AIS statt. Hier konnten die Besucher selbst Kontrolle über kleine Transportroboter übernehmen und diese mit Hilfe von berührungsempfindlichen Tablets steuern. Diese Roboter wurden als Teil des Industrie 4.0 Demonstrators entwickelt und bereits auf der Messe Automatica im Einsatz gezeigt. Für unsere jungen Nachwuchswissenschaftler wurden darüber hinaus Lego Mindstorms Roboter bereitgestellt. Durch betreute Programmierung kleiner Beispielprogramme konnte spielerisch Begeisterung für die Robotik geweckt werden. Für bereits versiertere Roboter-Programmierer ermöglichte dieses Umfeld einen Erfahrungsaustausch unter Gleichgesinnten.

Von diesem Tag werden die vielen interessanten Diskussionen, die positive Resonanz auf die vorgestellten Forschungsthemen und die strahlenden Gesichter der künftigen Wissenschaftlergeneration in Erinnerung bleiben.

Tag der Studenten

Am 02. Juli 2014 wurde am jährlich statt findenden Tag der Studenten in der Magistrale der Fakultät Maschinenwesen Einblick in die aktuellen Tätigkeiten in Forschung und Lehre gegeben. Der Lehrstuhl AIS lud beim diesjährigen Tag der Studenten zum Gespräch mit wissenschaftlichen Mitarbeitern und wissenschaftlichen Hilfskräften im Bereich der Lehre und der Forschung ein. Der Tag ermöglichte den Studierenden eine Übersicht über aktuelle Bachelor- und Masterarbeiten am Lehrstuhl zu gewinnen. Im Zentrum standen dieses Jahr die Aktivitäten im Bereich Industrie 4.0. Neben einigen Postern zu den Forschungsthemen konnten sich die Studenten auch selbst an der Steuerung der auf der Automatica zum Einsatz gekommenen Roboter versuchen.



Abbildung 51: Studenten bei der Steuerung der mobilen Roboter

Informationen

Liste der Abschlussarbeiten am AIS

Auch im Jahr 2014 haben wieder Studentinnen/en ihre Bachelorarbeit, Semesterarbeit oder Masterarbeit mit großem Erfolg am AIS geschrieben. Der AIS gratuliert allen Absolventen herzlich!

	Autor/in	Titel
Semesterarbeiten	Alder, Florian	Konzeptentwicklung und Implementierung eines modularen, wiederverwendbaren Steuerungsprogrammes zur flexiblen Prozessführung einer kerntechnischen Beschichtungsanlage
	Frei, Thomas	Evaluierung zur Echtzeitfähigkeit von Einplatinen PCs und zur Kompatibilität mit openPOWERLINK
	Krooß, Christopher	Entwicklung einer Methode zur diskreten physikalischen Simulation von automatisierten Produktionsanlagen in Dymola
	Latka, Oliver	Variantenmodellierung und Automatisierung eines prototypischen Selbstbedienungsautomaten unter Berücksichtigung von modularen Ansätzen
	Lebert, Lucas	Entwicklung und Evaluation eines echtzeitfähigen Modells zur Simulation des SOC von Lithium-Ionen-Batterien
	Maul, Christian	Recherche, Analyse und Bewertung ausgewählter Modelle zur Darstellung von Variabilität in automatisierten Produkten, Maschinen und Anlagen
	Noller, Matthias	Entwicklung und Evaluierung einer Methode zur Parameteroptimierung von Functional Mock-Up Units in Matlab
Bachelorarbeiten	Thumm, Michael	Inbetriebnahme einer Roboter-Fertigungszelle und Kommunikation zur Interaktion mit einem Industrie 4.0 Agentennetzwerk
	Ballauf, Maximilian	Konzeption und Implementierung eines Längsdynamikfahrermodells unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Fahrertypen
	Bernhard, Lukas	Integration eines IEC 61131-3 basierten Agentensystems in einen Verbund Cyber-Physischer Produktionssysteme
	Bömer, Maximilian	Konzeption eines Demonstrators und Evaluation der Anwendbarkeit von Reinforcement Learning für eine intelligente Aufzugsteuerung
	Dieterich, Vincent	Vorschlag eines modularen Ansatzes zur Beschreibung verfahrenstechnischer Anlagen als Grundlage für die automatische Codesynthese
	Fischer, Stefan	Mensch-Maschine-Interaktion - Entwicklung eines gestengesteuerten Infoscreens
	Mayer, Michael	Untersuchung der Anwendbarkeit von Serviceorientierte Architektur Aspekten für IEC 61131-3 basierte Speicherprogrammierbare Steuerungen
Obermaier, Julia	Prototypische Java Frontend-Entwicklung zum modellgestützten Energiemanagement eines Produktionsleitsystems auf Basis einer Oracle Datenbank	
Ocker, Felix	Entwicklung und Evaluation eines Konzepts zur Anforderungsspezifikation variantenreicher Systeme und Konsistenzprüfung mittels semantischer Technologien (Abgabe am 15.11.)	

	Quoc, Anh Nguyen	Konzept und Realisierung eines Prototypensystems zur Validierung von automotiven Steuerungssystemen mit CAN-Interface basierend auf Raspberry Pi
	Rehr, Anna	Generierung einer ereignisorientierten Simulation auf Basis von Betriebsdaten eines diskreten Prozesses
	Schröffer, Andreas	Entwicklung eines Demonstrators „Parkhaus“ und Konzeption der Optimierung mittels Reinforcement Learning (Abgabe am 15.11.)
	Shu, Anton	Konzeption und Implementierung einer Abbildungsvorschrift von SysML4Mechatronics nach OWL zur Kompatibilitätsprüfung von Cyber-Physical Production Systems (Abgabe am 15.11.)
	Sielaff, Markus	Entwicklung und Evaluation eines Konzepts zur visuellen Ortserfassung von Quadrocoptern
	Spreiter, Lucas	Entwicklung eines Frameworks zur hybriden Simulation von ereignisdiskreten Verkehrssituationen und kontinuierlichen Gesamtfahrzeugmodellen
	Wankmiller, German	Disziplinübergreifende Modellierung einer Produktionsanlage
	Wokusch, Lorenz	Konzeption eines Demonstrators und Evaluation der Anwendbarkeit von Case-Based Reasoning für ein "Smart Office"
Masterarbeiten/ Diplomarbeiten	De Felipe-Larrea, David-Tomas	Entwicklung eines Multivariaten Prozessfähigkeitsindex zur Bestimmung der erwarteten Nacharbeitsquote in Produktionsprozessen
	Mack, Alexander	Development of an agent-based simulation framework for Smart Grids
	Özeren, Cihan	Konzeption und Entwicklung einer plattformunabhängigen Umgebung für die Ausführung, Parametrierung und Visualisierung von Anlagensimulationen
	Schlegel, Bernhard	Entwicklung einer Hard- und Software-Umgebung zur hochmobilen Diagnosedatenmessung

Liste der Veröffentlichungen

Dissertationen

No.	Beitrag
[1]	T. Frank, "Entwicklung und Evaluation einer Modellierungssprache für den Architektorentwurf von verteilten Automatisierungsanlagen auf Basis der Systems-Modeling-Language (SysML)," Dissertation, Göttingen, Sierke, 2014.
[2]	S. Braun, „Anpassung und praxisnahe Evaluation gebrauchstauglicher Notationen zur modularen, objektorientierten Programmierung von Steuerungstechnik im Maschinen- und Anlagenbau,“ Dissertation, Göttingen, Sierke, 2014.

Journalbeiträge

No.	Beitrag
[1]	B. Vogel-Heuser, C. Diedrich, A. Fay, S. Jeschke, S. Kowalewski, M. Wollschläger, and P. Göhner, "Challenges for software engineering in automation," Journal of Software Engineering and Applications, vol. 7, no. 5, pp. 1–12, May 2014.
[2]	B. Vogel-Heuser, D. Schütz, T. Frank, and C. Legat, "Model-driven engineering of manufacturing automation software projects - a sysml-based approach," Mechatronics, vol. 24, no. 7, pp. 883–897, 2014.
[3]	G. Bayrak and B. Vogel-Heuser, "Evaluation of programming languages for a flexible programming of thermo-mechanical processes by means of cognitive effectiveness," IEEE, 2014.
[4]	A. Fay, B. Vogel-Heuser, T. Frank, K. Eckert, T. Hadlich, and C. Diedrich, "Enhancing a model-based engineering approach for distributed manufacturing automation systems with characteristics and design patterns," Journal of Systems and Software (JSS), 2014.
[5]	B. Vogel-Heuser, J. Folmer, and C. Legat, "Anforderungen an die Softwareevolution in der Automatisierung des Maschinen- und Anlagenbaus," Automatisierungstechnik (at), vol. 62, no. 3, pp. 163–174, 2014.
[6]	K. Zhu and B. Vogel-Heuser, "Sparse representation and its applications in micro-milling condition monitoring: noise separation and tool condition monitoring," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 70, no. 1–4, pp. 185–199, 2014.
[7]	F. Li, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, "Extension of electronic device description language for analysing change impacts in modular automation in manufacturing plants," Journal of Engineering Design, vol. 25, no. 1–3, pp. 125–149, May 2014.
[8]	M. Obermeier, S. Braun, and B. Vogel-Heuser, "A model driven approach on object oriented plc programming for manufacturing systems with regard to usability," IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014.
[9]	K. Duschl, D. Gramß, M. Obermeier, and B. Vogel-Heuser, "Towards a taxonomy of errors in plc programming," Cognition, Technology Work, 2014.

[10]	B. Vogel-Heuser, C. Legat, J. Folmer, and S. Rösch, "Challenges of parallel evolution in production automation focusing on requirements specification and fault handling," <i>Automatisierungstechnik (at)</i> , no. 11, 2014.
[11]	M. Weyrich, C. Diedrich, A. Fay, M. Wollschläger, S. Kowalewski, P. Göhner, and B. Vogel-Heuser, "Industrie 4.0 am Beispiel einer Verbundanlage," <i>Automatisierungstechnische Praxis (atp)</i> , vol. 56, no. 7, pp. 52–61, 2014.
[12]	C. Legat, D. Schütz, S. Feldmann, S. Lamparter, C. Seitz, and B. Vogel-Heuser, "Wandlungsfähige Automation auf Knopfdruck," <i>gaswärme international (gwi)</i> , vol. 63, no. 2, pp. 63–72, 2014.
[13]	S. Rösch, S. Feldmann, D. Förster, and B. Vogel-Heuser, "Anforderungs- und Testfall-Codesign. Formalisierung und Testfall-Generierung in der Praxis," <i>Automatisierungstechnische Praxis (atp)</i> , vol. 56, no. 9, pp. 38–46, 2014.
[14]	C. Legat, J. Mund, A. Campetelli, G. Hackenberg, J. Folmer, D. Schütz, M. Broy, and B. Vogel-Heuser, "Interface behavior modeling for automatic verification of industrial automation systems' functional conformance," <i>Automatisierungstechnik (at)</i> , vol. 62, no. 11, 2014.
[15]	M. Lochau, J. Bürdek, S. Lity, M. Hagner, C. Legat, U. Golz, and A. Schürr, "Applying model-based software product line testing approaches to the automation engineering domain," <i>Automatisierungstechnik (at)</i> , vol. 62, no. 11, 2014.
[16]	B. Vogel-Heuser and R. Reussner, "Zukunftsorientiertes design-geplante und gemanagte softwareevolution," <i>Automatisierungstechnik (at)</i> , vol. 62, no. 11, 2014.
[17]	B. Vogel-Heuser, "Usability experiments to evaluate uml/sysml-based model driven software engineering notations for logic control in manufacturing automation," <i>Journal of Software Engineering and Applications</i> , 2014
[18]	B. Vogel-Heuser, "Usability experiments to evaluate UML/SysML-based Model driven Software Engineering Notations for logic control in Manufacturing Automation," in <i>Journal of Software Engineering and Applications</i> , 2014, 07, 11, pp. 943-973.

Bücher und Buchbeiträge

No.	Beitrag
[1]	T. Pötter, B. Vogel-Heuser, and D. Pantförder, <i>Vorteile von Industrie 4.0 für die Prozessindustrie</i> . Munich, Germany: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, Munich, Germany, 2014.
[2]	F. Mayer and D. Pantförder, <i>Unterstützung des Menschen in Cyber-Physical-Production-Systems</i> . Berlin, Germany: Springer, Berlin, Germany, 2014, pp. 481–491.
[3]	D. Pantförder, F. Mayer, C. Diedrich, P. Göhner, M. Weyrich, and B. Vogel-Heuser, <i>Agentenbasierte dynamische Rekonfiguration von vernetzten intelligenten Produktionsanlagen – Evolution statt Revolution</i> . Berlin, Germany: Springer, Berlin, Germany, 2014, pp. 145–158.
[4]	B. Vogel-Heuser and S. Rösch, <i>Integrated Modeling of Complex Production Automation Systems to Increase Dependability</i> . Berlin, Germany: Springer, Berlin, Germany, 2014, ch. 13, pp. 363–385.

[5]	T. Pötter, J. Folmer, and B. Vogel-Heuser, Enabling Industrie 4.0 - Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie. Berlin, Germany: Springer, Berlin, Germany, 2014, pp. 159–171.
[6]	B. Vogel-Heuser, P. Göhner, and A. Lüder, Agent based control of production systems - and its architectural challenges. Munich, Germany: Elsevier, Munich, Germany, 2014.
[7]	B. Vogel-Heuser, D. Schütz, J. Folmer, and C. Legat, Potentials and challenges in future approaches for field-level production automation software. Berlin, Germany: Springer, Berlin, Germany, 2014.
[8]	T. Bauernhansl, M. ten Hompel, and B. Vogel-Heuser, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer, Berlin, Germany, May 2014.
[9]	A. Lüder, B. Vogel-Heuser, and P. Göhner, „Y 4 Elektronische Datenverarbeitung - Agentenbasiertes Steuern,“ in Dubbel-Taschenbuch für den Maschinenbau: Springer, Berlin, Germany, 2014.
[10]	B. Vogel-Heuser, Agenten im Umfeld von Industrie 4.0. Tagungsband des Expertenforums 2014. Sierke Verlag, Göttingen, Germany, May 2014

Konferenzbeiträge

No.	Beitrag
[1]	M. Weyrich, P. Göhner, C. Dietrich, B. Vogel-Heuser, A. Fay, M. Wollschläger, and S. Kowalewski, “Flexibles management einer dezentralen automatisierungsverbundanlage als beispiel für Industrie 4.0,“ in VDI-Kongress Automation (VDI KA 2014), Baden-Baden, Germany, 2014, pp. 385–401.
[2]	H. Meyer, J. Plossnig, B. Weißenberger, and B. Vogel-Heuser, “Modeling of power consumption in manufacturing,“ in IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2014), Busan, Korea, 2014, pp. 659–663.
[3]	K. Zhu and B. Vogel-Heuser, “Sparse representation and its applications in micro-milling condition monitoring: noise separation and tool condition monitoring,“ International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 70, no. 1–4, pp. 185–199, 2014.
[4]	B. Vogel-Heuser, T. Frank, S. Rehberger, and T. Aicher, “Quality despite quantity - teaching large heterogenous classes in c programming and fundamentals in computer science,“ in IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2014), Istanbul, Turkey, 2014, pp.367–372.
[5]	J. Folmer, F. Schuricht, and B. Vogel-Heuser, “Detection of temporal dependencies in alarm time series of industrial plants,“ in 19th IFAC World Congress (IFAC 2014), Cape Town, South Africa, 2014, pp. 1802–1807.
[6]	M. Kowal, C. Legat, D. Lorefice, C. Prehofer, I. Schäfer, and B. Vogel-Heuser, “Delta modeling for variant-rich and evolving manufacturing systems,“ in 36th International Conference on Software Engineering Workshops (ICSE Workshops 2014), Hyderabad, India, May 2014, pp.32–41.
[7]	T. Aicher, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, “Einheitliche Parameterverwaltung mechatronischer Komponenten im Software-Engineering des Maschinen- und Anlagenbaus“ in 13. Fachtagung: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme (EKA 2014), Magdeburg, Germany, May 2014.

[8]	C. Legat, C. Seitz, S. Lamparter, and S. Feldmann, "Semantics to the shop floor: Towards ontology modularization and reuse in the automation domain," in 19th IFAC World Congress (IFAC 2014), Cape Town, South Africa, 2014.
[9]	S. Feldmann, S. Rösch, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, "Keeping requirements and test cases consistent: Towards an ontology-based approach," in 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto Alegre, Brazil, 2014, pp. 732–738.
[10]	M. Schneider, G. Bayrak, J. Reinschke, A. Al-Hage Ali, A. Zindler, M. Mettenleiter, and B. Vogel-Heuser, "Prototypical automatic code generation from simulink to sppa-t3000," in 19th IFAC World Congress (IFAC 2014), Cape Town, South Africa, 2014
[11]	S. Ulewicz, D. Schütz, B. Vogel-Heuser, B. Korajda, and D. Hess, "Modellbasierte Auswirkungsbewertung von Änderungen und Testanpassung für SPS-Steuerungssoftware im Maschinen- und Anlagenbau," in VDI-Kongress Automation (VDI KA 2014), Baden-Baden, Germany, 2014, pp. 1–14.
[12]	J. Fuchs, C. Legat, K. Kernschmidt, T. Frank, and B. Vogel-Heuser, "Interdisziplinärer Produktlinienansatz zur Unterstützung der Wiederverwendbarkeit im Maschinen- und Anlagenbau" in 13. Fachtagung: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme (EKA 2014), Magdeburg, Germany, May 2014.
[13]	S. Feldmann, C. Legat, K. Kernschmidt, and B. Vogel-Heuser, "Compatibility and coalition formation: Towards the vision of an automatic synthesis of manufacturing system designs," in 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2014), Istanbul, Turkey, 2014, pp. 1712–1717.
[14]	K. Kernschmidt, F. Behncke, N. Chucholowski, M. Wickel, G. Bayrak, U. Lindemann, and B. Vogel-Heuser, "An integrated approach to analyze change-situations in the development of production systems," in 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS 2014), Windsor, Canada, 2014, pp. 148–153.
[15]	S. Feldmann, K. Kernschmidt, and B. Vogel-Heuser, "Combining a SysML-based modeling approach and semantic technologies for analyzing change influences in manufacturing plant models," in 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS 2014), Windsor, Canada, 2014, pp. 451–456.
[16]	K. Kernschmidt, S. Feldmann, and B. Vogel-Heuser, "Analyse von Änderungsauswirkungen in langlebigen Automatisierungssystemen." In 1st Collaborative Workshop on Evolution and Maintenance of Long-Living Systems (EMLS 2014), Kiel, Germany, 2014, pp. 10–11.
[17]	S. Rehberger, T. Frank, F. Mayer, and B. Vogel-Heuser, "Benefit of an elearning environment including real and simulated plants for teaching mechanical engineering freshman in programming c," in 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2014), Istanbul, Turkey, 2014, pp. 2196–2201.
[18]	K. Duschl, M. Obermeier, and B. Vogel-Heuser, "An experimental study on uml modeling errors and their causes in the education of model driven plc programming," in IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2014), Istanbul, Turkey, 2014, pp. 119–128.
[19]	J. Fuchs, S. Feldmann, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, "Identification of design patterns for IEC 61131-3 in machine and plant manufacturing," in 19th IFAC World Congress (IFAC 2014), Cape Town, South Africa, 2014, pp. 6092–6097.
[20]	G. Barbieri, K. Kernschmidt, C. Fantuzzi, and B. Vogel-Heuser, "A sysml based design pattern for the high-level development of mechatronic systems

	to enhance re-usability,” in 19th IFAC World Congress (IFAC 2014), Cape Town, South Africa, 2014, pp. 3431–3437.
[21]	D. Regulín, M. Schneider, S. Rehberger, and B. Vogel-Heuser, “Automated model generation in the electrical automotive driveline components,” in 19th IFAC World Congress (IFAC 2014), Cape Town, South Africa, 2014, pp. 4499–4504.
[22]	S. Rösch, D. Tikhonov, D. Schütz, and B. Vogel-Heuser, “Model-based testing of plc software: test of plants’ reliability by using fault injection on component level,” in 19th IFAC World Congress (IFAC 2014), Cape Town, South Africa, 2014, pp. 3509–3515.
[23]	C. Haubeck, J. Ladiges, J. Fuchs, C. Legat, W. Lammersdorf, A. Fay, and B. Vogel-Heuser, “Interaction of model-driven engineering and signal-based online monitoring of production systems,” in 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, USA, 2014.
[24]	T. Aicher and D. Schütz, “Consistent engineering information model for mechatronic components in production automation engineering,” in 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, USA, 2014.
[25]	D. Tikhonov, D. Schütz, S. Ulewicz, and B. Vogel-Heuser, “Towards industrial application of model-driven platform-independent plc programming using uml,” in 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, USA, 2014, pp. 1–6.
[26]	D. Schütz, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, “Mde of manufacturing automation software - integrating sysml and standard development tools,” in 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto Alegre, Brazil, 2014, pp. 267–273.
[27]	S. Holthusen, D. Wille, C. Legat, S. Beddig, I. Schaefer, and B. Vogel-Heuser, “Family model mining for function block diagrams in automation software,” in 2nd International Workshop on Reverse Variability Engineering (REVE 2014), Florence, Italy, 2014, pp. 36–43
[28]	G. Hackenberg, A. Campetelli, C. Legat, J. Mund, S. Teufel, and B. Vogel-Heuser, “Formal technical process specification and verification for automated production systems,” in 8th System Analysis and Modelling Conference (SAM 2014), Valencia, Spain, 2014.
[29]	C. Legat and B. Vogel-Heuser, “An orchestration engine for service-oriented field level automation software,” in 4th Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing (Sohoma 2014), Nancy, France, 2014.
[30]	S. Feldmann, M. Schneider, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, “Visualisierungsansatz zur Identifikation von Verbesserungspotentialen in Embedded C-Projekten,” in Embedded Software Engineering Kongress (ESE 2014), Sindelfingen, Germany, 2014.
[31]	F. Mayer, C. Legat, and B. Vogel-Heuser, “Towards a lightweight platform for realizing agent-based cyber-physical production systems,” in 6. Expertenforum “Agenten im Umfeld von Industrie 4.0” (2014), Munich, Germany, May 2014, pp. 31–38.
[32]	C. Legat, U. Bühner, S. Feldmann, and B. Vogel-Heuser, “An approach for discovering and analyzing implicit architectural designs in field level automation software,” in 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, USA, 2014.

[33]	C. Legat, F. Steden, S. Feldmann, M. Weyrich, and B. Vogel-Heuser, "Co-evolution and reuse of automation control and simulation software: Identification and definition of modification actions and strategies," in 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, USA, 2014.
[34]	J. Fuchs and B. Vogel-Heuser, "Variantenmodellierung von Automatisierungssystemen unter Berücksichtigung von Evolution," in 1st Collaborative Workshop on Evolution and Maintenance of Long-Living Systems (EMLS 2014), Kiel, Germany, 2014, pp. 12–13.
[35]	K. Kernschmidt, B. Vogel-Heuser, G. Barbieri, and C. Fantuzzi, "Interdisziplinäre modellbasierte Entwicklung mechatronischer Systeme basierend auf sysml zur Steigerung der Wiederverwendung," in VDI-Kongress Automation (VDI KA 2014), Baden-Baden, Germany, 2014, pp. 1–13.
[36]	B. Vogel-Heuser, C. Diedrich, D. Pantförder, and P. Göhner, "Coupling heterogeneous production systems by a multi-agent based cyber-physical production system," in 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto Alegre, Brazil, 2014, pp. 719–725.
[37]	A. Streit, S. Rösch, and B. Vogel-Heuser, "Redeployment of control software during runtime for modular automation systems taking real-time and distributed i/o into consideration," in 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2014), Barcelona, Spain, 2014.
[38]	D. Gramß, T. Frank, S. Rehberger, and B. Vogel-Heuser, "Consideration of personal factors of freshmen in mechanical engineering modeling and programming tasks in an e-learning environment," in NETS2014, Singapur, 2014, p. 14.
[39]	S. Ulewicz, D. Schütz, and B. Vogel-Heuser, "Integration of distributed hybrid multi-agent systems into an industrial it environment," in 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto Alegre, Brazil, 2014, pp. 525–531.
[40]	S. Ulewicz, D. Schütz, and B. Vogel-Heuser, "Software changes in factory automation - towards automatic change based regression testing," in 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2014), Dallas, USA, 2014, pp. 1–7.
[41]	T. Wolfenstetter, K. Kernschmidt, C. Münzberg, D. Kammerl, S. Goswami, U. Lindemann, B. Vogel-Heuser, and H. Krcmar, "Supporting the cross-disciplinary development of product-service systems through model transformations," in IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2014), Kuala Lumpur, Malaysia, 2014.
[42]	T. Kindsmüller, F. Behncke, B. Stahl, K. Diepold, M. Wickel, D. Kammerl, and K. Kernschmidt, "Mitigating the effort for engineering changes in product," in IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2014), Kuala Lumpur, Malaysia, 2014.

Magazine

No.	Beitrag
[1]	D. Regulin and B. Vogel-Heuser, "Industrie 4.0 für die Roboterkooperation," <i>elektronik automation (etz)</i> , no. 6, pp. 50–51, 2014.
[2]	S. Feldmann, "Ertüchtigen Agenten Produktionsanlagen für Industrie 4.0?" <i>openautomation</i> , vol. 16, no. 3, pp. 22–23, 2014.

Forschungsberichte

No.	Beitrag
[1]	B. Vogel-Heuser, C. Legat, J. Folmer, and S. Feldmann, "Researching Evolution in Industrial Plant Automation: Scenarios and Documentation of the Pick and Place Unit," Technical Report No. TUM-AIS-TR-01-14-02, 2014.

Personen

Ordinaria

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Tel: +49-89-289-16400

Fax: +49-89-289-16410

Post-Doktorand

Dr.-Ing. Timo Frank

Dr. Dmitry Tikhonov

Dr.-Ing. Dorothea Pantförder

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Thomas Aicher

Felix Mayer

Ulrich Bühner

Daniel Regulin

Manuela Engels

Sebastian Rehberger

Stefan Feldmann

Susanne Rösch

Jens Folmer

Michael Schneider

Denise Gramß

Daniel Schütz

Johann Hufnagel

Alberto Streit

Konstantin Kernschmidt

Sebastian Ulewicz

Christoph Legat

Benedikt Weißenberger

Sekretariat

Michaela Franke

Irene Goros

Patrizia Trostl

Labor und Technik

Karina Grimm

Patrick Luxenburger

Thomas Mikschl

Andor Nagy

Johannes Werner

David Wottawa

Auszubildende

Christian Gmeinwieser

Tom Kaden

Julian Schachermeier

Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser

Boltzmannstraße 15
85748 Garching bei München
Tel.: 089/289-16400
Fax: 089/289-16410
E-Mail: info@ais.mw.tum.de

