

# INSTITUT FÜR AUTOMATISIERUNGSTECHNIK

Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg  
Tel. 0391 67-18589, Fax. 0391 67-11186  
Email: Annett.Bartels@ovgu.de

## 1. Leitung

Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich (Geschäftsführender Leiter)  
Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen  
Prof. Dr.-Ing. Achim Kienle  
Hon. Prof. Dr.-Ing. Ulrich Jumar

## 2. Hochschullehrer

Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich  
Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen  
Prof. Dr.-Ing. Achim Kienle  
Hon. Prof. Dr.-Ing. Ulrich Jumar

## 3. Forschungsprofil

### 1. Professur Automatisierungstechnik/Modellbildung (Prof. Achim Kienle)

Die Forschungsarbeiten der Arbeitsgruppe von Prof. Kienle am Lehrstuhl für Automatisierungstechnik/Modellbildung der Otto-von-Guericke-Universität und dem Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg beschäftigen sich mit der Analyse, Synthese und Regelung komplexer Systeme. Dazu werden Methoden und Werkzeuge für die rechnergestützte Modellierung und Simulation, die nichtlineare Analyse, die optimale Prozessgestaltung und die Prozessführung entwickelt. Die Hauptanwendungsgebiete betreffen neben chemischen Prozessen in zunehmendem Maße auch Energiesysteme und ausgewählte Fragestellungen aus dem Bereich der Systembiologie. Aktuelle Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der chemischen Prozesse sind: Partikelbildende Prozesse (Kristallisation und Wirbelschichtsprühgranulation), chromatographische Prozesse sowie kombinierte Reaktions- und Stofftrennprozesse (Reaktion und Destillation oder Reaktion und chromatographische Trennprozesse). Aktuelle Anwendungsbeispiele aus dem Gebiet der Energiesysteme betreffen Brennstoffzellensysteme sowie das optimale Energiemanagement in Produktionssystemen. Aktuelle Fragestellungen aus dem Bereich der Systembiologie betreffen Untersuchungen zur Modellierung der Influenza Virusreplikation in Säugerzellen und zur nichtlinearen Dynamik zellulärer Systeme.

### 2. Professur Integrierte Automation (Prof. Christian Diedrich)

Ein Ganzes ist mehr als die Summe seiner Komponenten. Der Entstehungsprozess von automatisierungstechnischen Systemen ist Gegenstand des Lehrstuhls mit folgenden Schwerpunkten:

- Prozessleittechnik
  - Verteilte Systeme
  - Informationsmanagement
  - Integrationstechnologien
  - Inbetriebnahme
  - Diagnose
- Industrielle Kommunikation
  - Heterogene Netzwerke

- Protokollspezifikationen
- Feldgeräteintegration
- Engineering von Automatisierungssystemen
  - Requirement Engineering
  - Feldgeräteintegration in die Planung
  - Merkmalleisten
  - Informationsmanagement
- Automatisierungssysteme der funktionalen Sicherheit
  - Sicherheitstechniken
  - Vorgehensmodelle
- Formale und formalisierte Beschreibungstechniken
  - UML
  - Testfolgenberechnung für zustandsbasierte Verhaltensbeschreibungen
  - Funktionsbausteintechnik

### 3. Professur Systemtheorie/Regelungstechnik (Prof. Rolf Findeisen)

- Methodenentwicklung
  - Regelung und Beobachtung nichtlinearer Systeme mit Beschränkungen
  - Optimale und prädiktive Regelung
  - Ausgangsregelung
  - Tracking- und Trajektorienfolgeregelung
  - Regelung und Beobachtung über Informationsnetzwerke
  - Parameterschätzung
  - Sensitivitätsanalyse
  - Systemtheoretische Methodenentwicklung für die Systembiologie und Biomedizin
- Anwendungen
  - Regelung schneller mechatronischer Systeme
  - Regelung und Überwachung chemischer Prozesse
  - Modellierung, Analyse und Therapieentwurf des kraftinduzierten Knochenwachstums

## 4. Forschungsprojekte

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

**Projektbearbeiter:** Dipl.-Ing. Franziska Wolf

**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt); 01.04.2010 - 31.03.2013

### **ASIMOF**

Das Gesamtziel des vom Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt geförderten Projektes ASIMOF (**A**ltersgerechte und **s**ichere **M**obilität in der **F**läche) besteht in der Konzeption eines im Hinblick auf den demographischen Wandel zukunftsfähigen und qualitativ hochwertigen Mobilitätsmanagements in Sachsen-Anhalt. Dafür werden Anforderungen relevanter Zielgruppen mit technischen und organisatorischen Voraussetzungen von Mobilitätsdienstleistern abgestimmt. Ziel ist die diskriminierungsfreie und personalisierte Bereitstellung von intermodalen Verkehrsinformationen im Rahmen eines integrierten Informations- und Kommunikationskonzeptes auf verschiedenen Endgeräten.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

**Projektbearbeiter:** Christoph Engel

**Förderer:** BMWi/AIF; 01.11.2011 - 31.10.2013

### **AutomatiSch – Automation an der**

Die informationstechnische Vernetzung der verschiedenen Akteure im Verkehrsbereich gewinnt nicht zuletzt aufgrund politische Vorgaben zunehmend an Bedeutung. Dabei spielt auch die intermodale Vernetzung des Individualverkehrs (IV) und des Öffentlichen Verkehrs (ÖV) eine immer größere Rolle. Der Zugang zu den derzeit eingesetzten Systemen bildet jedoch nach wie vor für die angestrebte Vernetzung auf verschiedenen Ebenen eine Hürde, die es zu überwinden gilt. So verwenden die verschiedenen Systeme des IV und ÖV unterschiedliche Modelle zur internen Repräsentation und Verarbeitung der Daten, die nicht zueinander kompatibel sind.

Ziel des vorgeschlagenen Projektes ist es daher ein System zu entwickeln, dass die Modelle der einzelnen zu verbindenden Systeme aufeinander abbildet und damit ineinander überführbar macht, ohne das die Systeme selbst angepasst werden müssen. Durch den Einsatz semantischer Technologien zum Auffinden relevanter Daten anhand ihrer Bedeutung, zur Optimierung von Datenströmen bis hin zur Generierung neuer Daten anhand von implizit vorhandenem Wissen soll dabei auch ein über die Transformation der einzelnen Systemmodelle hinausgehender Mehrwert geschaffen werden.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

**Projektbearbeiter:** Holger Zipper

**Förderer:** BMWi/AIF; 01.01.2011 - 31.03.2013

### **ConTest - ConTest - Verteiltes Testsystem für Automatisierungsanlagen**

Ziel des beantragten Projektes ist die Entwicklung eines verteilten Testsystems zur Überprüfung der System-Konformität von Automatisierungsanlagen. Die Testung auf Geräte-Konformität kann dabei als Spezialfall der Testung auf System-Konformität angesehen werden, d.h. das zu entwickelnde Testsystem kann auch für diesen Einsatz genutzt werden. Basis des Tests ist eine formalisierte Spezifikation des Systemverhaltens.

Die Darstellung des zeitlichen Ablaufes und der auszutauschenden Signale werden über Sequenzdiagramme beschrieben. Das Verhalten einer Systemkomponente wird mittels eines Zustandsdiagramms dargestellt. Das Testsystem besteht aus den Komponenten TestSuite Generator, TestShell und TestAdapter. Aus der Spezifikation werden mittels des TestSuite Generators die TTCN-3 Beschreibungen der Testfälle der einzelnen Systemkomponenten (TestSuite Part 1 - Part N) sowie eine Beschreibung des erwarteten Systemverhaltens (TestSuite Part Evaluation) erzeugt. Der Testadapter dient sowohl der Ankopplung an das Kommunikationssystem als auch der Ausführung zeitkritischer Bestandteile der Testsuite.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

**Förderer:** BMWi/AIF; 01.11.2011 - 30.10.2013

### **Feldbusmediator - FEMA**

Hauptziel des Vorhabens ist die Entwicklung der Hard- und Software einer feldnahen modularen Automatisierungskomponente (Parametrierserver) mit Feldbusanschluss, welche die bewährte Geräte- und Produktdatenbeschreibungstechnologie EDD (Electronic Device Description) und das weiterentwickelte Konzept Field Device Integration (FDI) mit dieser neuen Informationsvorverarbeitung (CEP, ESP) in der Automatisierungskomponente kombiniert. Die Erweiterung der Vorverarbeitung in die Feldebene ermöglicht insbesondere den heute auch in der Automatisierungstechnik gewünschten Einsatz mobiler "Thin-Clients" (z.B. Handheld, Smartphone, iPad), die vornehmlich der Informationspräsentation dienen. Dies wird durch dieses Projekt ermöglicht, indem auf dem Parametrierserver die modernen IT Kommunikationsprotokollen wie Ethernet-basierte Web-Services zum Einsatz kommen. Außerdem wird auch die Durchgängigkeit der Informationen vom Feldgerät zu den Standard-Client-Anwendungen wie z.B. zu den Wartungs- und Instandhaltungswerkzeuge, den Produktions-prozessüberwachungs- und -steuerungssysteme oder zu MES-Systeme verbessert.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

**Projektbearbeiter:** Dipl.-Ing. Thomas Hadlich

**Förderer:** DFG; 01.10.2010 - 31.03.2013

### **Funktionaler Anwendungsentwurf für verteilte Automatisierungssysteme FAVA**

Der Wunsch, komplexe automatisierte Systeme und Anlagen (z.B. Produktionsanlagen) gesamtheitlich optimal zu betreiben, führt zu einer Zunahme der informationstechnischen Kopplungen zwischen vormals getrennten Regelungs- und Steuerungsaufgaben.

Bedingt durch die räumliche Ausdehnung der Anlagen führt dies zu verteilten Automatisierungssystemen, in denen

verschiedene Komponenten Automatisierungsaufgaben ausführen und miteinander über Kommunikationssysteme vernetzt sind.

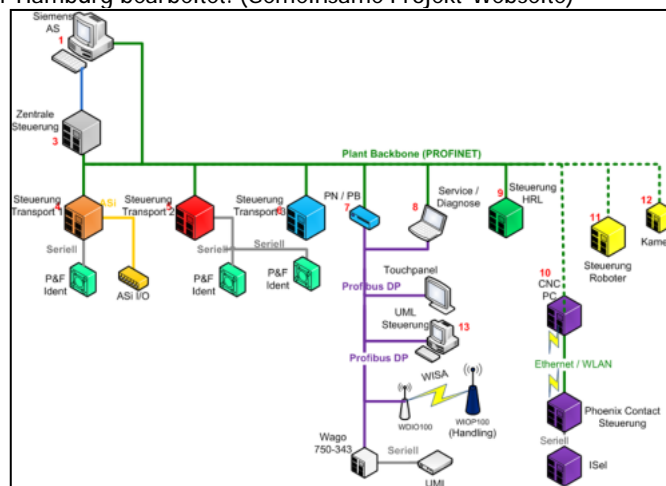
Herkömmliche Entwurfsmethoden für Automatisierungssysteme fokussieren im Allgemeinen auf zentralistische Strukturen. Auch wenn es inzwischen erste Beschreibungsmittel für verteilte Automatisierungssysteme gibt, so fehlt es an einer Methodik für den systematischen Entwurf solcher verteilter Automatisierungssysteme.

"Systematisch" bedeutet dabei, einerseits die besonderen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen, die sich aus der Verteilung und den Kommunikationserfordernissen ergeben, zu berücksichtigen und andererseits Wiederverwendung von guten Lösungen zu fördern. In diesem Forschungsvorhaben soll eine solche Methodik entwickelt und evaluiert werden. Dafür werden die Systemelemente "Komponente", "Struktur" und "Kommunikation" durch Merkmale beschrieben.

Diese werden mit funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen, die in geeignet erweiterten Beschreibungsmitteln dokumentiert werden, in Beziehung gesetzt.

Dem Ziel der Wiederverwendung soll dadurch Rechnung getragen werden, dass mögliche Automatisierungslösungen in Form von Entwurfsmustern dargestellt werden, die einerseits auf diese Merkmale referenzieren und andererseits diese erweiterten Beschreibungsmittel verwenden.

Die Eignung dieses Ansatzes, den Entwurfsprozess zielgerichtet zu leiten und zu unterstützen, soll in diesem Vorhaben erforscht werden. Die Schwerpunkte des Instituts für Automatisierungstechnik (IFAT) im Projekt sind Engineeringmethoden für Automatisierungssysteme, Kommunikationstechnik, Softwareentwicklungsprozesse für automatisierungstechnische Anwendungen und Informationsmanagement, insbesondere formalisierte Beschreibungen sowie Geräte- und Produktdatenbeschreibungen. Das Projekt wird gemeinschaftlich mit dem Lehrstuhl für Informationstechnik im Maschinenwesen der TU München und der Professur für Automatisierungstechnik der Universität der Bundeswehr Hamburg bearbeitet. (Gemeinsame Projekt-Webseite)



**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

**Projektbearbeiter:** Jens Grützner

**Förderer:** BMWi/AIF; 01.02.2012 - 31.03.2013

### **Intelligente Rehabilitationsschiene für motorisch geschädigte Patienten**

Schlaganfallpatienten mit einseitigen Lähmungserscheinungen kann man behandeln, indem mit dem gelähmten Bein sehr oft wiederholend die Gehbewegungen durchgeführt werden. Ziel ist es, diese Bewegungen wieder anzulernen. Nach sind dafür neben den durch die Bewegung ausgelösten Nervenreizen auch eine Stimulierung der Mechanorezeptoren in der Fußsohle durch Belastung erforderlich. Daher ist Durchführung der Behandlung in aufrechter Haltung erforderlich. Aufgrund der Lähmung ist es dem Patienten jedoch nicht möglich, sein Körpergewicht selbst zu tragen, so dass ein entsprechendes Trainingsgerät neben der Bewegungsfunktionalität auch einen dynamischen Ausgleich des Gewichts realisieren. Entsprechende medizinische Systeme sind sehr groß und nur stationär zu betreiben.

Ziel dieses Projektes ist es, eine mobile Bewegungsschiene zu entwickeln, die vom Pflegepersonal und den Therapeuten zum Patienten gebracht werden kann und erheblich preiswerter als bisherige Lösungen ist. Dadurch können sich Krankenhäuser und therapeutische Einrichtungen eher entscheiden, auf diese Behandlungsmethode zurückzugreifen.

Dies ist zum Wohle des Patienten und erhöht auch die Chance auf eine Rückkehr in ein selbstbestimmtes Leben.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich

**Projektbearbeiter:** Zheng Liu

**Förderer:** BMWi/AIF; 01.08.2012 - 31.07.2014

#### **VIVA - Virtualisierung & Validierung von automatisierten Anlagen und Maschinen**

Eine schnelle und reibungslose Abwicklung des gesamten Engineeringprozesses ist immer das gewünschte Ziel aller Projektteilnehmer, das leider noch nicht erreicht ist. Ein bedeutender Flaschenhals liegt in der Phase der Inbetriebnahme, die zwischen der Planung und dem eigentlichen Produktionsbetrieb liegt. Dafür findet die Methode der Virtuellen Inbetriebnahme (VIBN) Anwendung. Trotz der großen Fortschritte, die es in dieser Thematik in den letzten Jahren gegeben hat, gibt es immer noch einige Aspekte, die einem durchgängigen, flächendeckenden Produktiveinsatz in der Automobilindustrie und anderen Produktionsbereichen entgegenwirken. Viele der oben gelisteten Defizite sind auf eine mangelnde Validierungsmethode zurückzuführen. Deswegen setzt das Projekt aufs Ziel, eine methodische Unterstützung zur weiteren Verbesserung der Planung und Entwicklung von Automatisierungssystemen durch projektbegleitende Validierungsschritte während der Projektabwicklung. Zwei wesentliche Funktionalitäten, die Funktionale Virtualisierung und die Funktionale Validierung, sollen die zu erarbeitende Lösung vom Stand der Technik abheben. Dies wird als eine Projektassistenz implementiert.

---

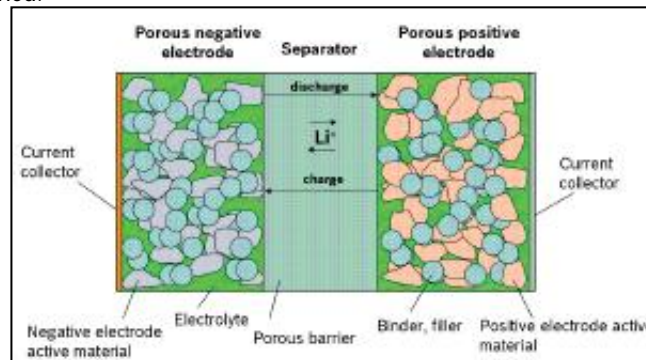
**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Robert Bosch LLC Research and Technology Center North America, Palo Alto

**Förderer:** Industrie; 01.06.2009 - 31.12.2013

#### **Modellierung, Analyse und optimale Ladestrategien für Lithium Ionen Batterien**

Today s Li-ion batteries for hybrid and electric vehicles face serious challenges in meeting lifetime requirements. The objective of this project is to develop new electrochemical models that describe the dynamic behavior and aging of Li-ion batteries. Based on these models observers are designed that allow to estimate the state of charge, as well as the aging state of the batterie. Utilizing the derived models and observers, furthermore, optimal charging strategies for the batterie should be obtained.



**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Dr. Ronald Bronsaer, Dr. Alexander Götz, Dr. Sandrine Sanchez, CellMade SAS, Archamps, France; Prof. Dr. Heike Mertsching, Dipl. Ing. Jan Hansmann, Dep. Tissue Engineering, Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering, Stuttgart; Prof. Dr.-Ing. Frank Allgöwer, Universität Stuttgart; Prof. Joachim Spatz, Dr. Ralf Kemkemer, Dr. Frauke Gräter, Department of New Materials and Biosystems, Max-Planck-Institute for Metals Research, Stuttgart; Prof. Klaus Pfizenmaier, Dr. Angelika Hausser, Dr. Oliver Schlicker Institute of Cell Biology and Immunology and Central Microscopy Facility, Center Systems Biology (CSB), Universität Stuttgart

**Förderer:** Bund; 01.07.2009 - 30.06.2012

**Systems Biology for tissue engineering of mesenchymal stem cells: Integrating novel experimental methods and mathematical models. Subproject**

The project addresses the development and integration of new experimental and theoretical tools to elucidate and consequently predict quantitatively mechanisms of adult stem cell differentiation subject to mechanical, biochemical and physical stimuli of the matrix. The ultimate aim is to apply the generated knowledge and established tools for tissue engineering of human mesenchymal stem cells (MSC) as a source for cartilage and bone replacement in regenerative medicine.

The project will combine High Throughput Screen (HTS) quantitative experimental methods, advanced material science technologies and high end tissue engineering with systems theory, mathematical modelling, continuum biomechanics and molecular simulation. The mathematical models of the signal pathways and the advanced continuum models that render the anisotropic mechanical force distributions impacting on the differentiating cells during tissue formation will provide a basis to guide and complement the experimental strategies. For this purpose new experimental methods will be developed for delivering the large data sets which will correlate defined extracellular biochemical and mechanical signals presented to MSC with responses of MSC in a quantitative manner. Therefore, a particular focus will be on the design of an extracellular environment which mimics the physiological context of stem cell renewal and differentiation systematically on the basis of cell biochips. The Biochips will be combined with optical microscopy for automated High-Throughput-Screens (HTS) of cell responses to systematic variation in presentation of biochemical and mechanical signals to cells. The obtained data sets will be the bases for identifying and finally predicting cell signalling pathways for MSC differentiation with the help of systems theory. Altogether, with the techniques developed, methods to determine optimum conditions for MSC proliferation and differentiation, respectively, should become available. In a more general perspective, the HTS quantitative experimental tools and mathematical models established will be of broad applicability for basic cell biology research and systems biology approaches on questions relating to, but not only, cell adhesion and differentiation. Moreover, as a further innovation, the project will provide both experimental and mathematical tools to assess the impact of mechanical forces on cell differentiation and their integration into models describing conventional, i.e. ligand induced signaling cascades. In this regard, systems biology acts as a key player in bridging the gap between the subcellular scale and the continuum approaches on cell/tissue level. As a long term goal, we plan to exploit the results for large scale osteogenic and chondrogenic precursor cell production suited for clinical application.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Siemens AG

**Förderer:** Industrie; 01.10.2012 - 30.09.2015

#### **Advanced Factory Control**

Für eine nachhaltige und signifikante Steigerung der Produktivität und Flexibilität in Produktionsprozessen ist zwingend die Repräsentation von Modellen, Unsicherheiten und Störungen notwendig. Basierend auf diesen Repräsentationen kann dann eine Adaptation an aktuelle Fertigungsbedingungen und Störungen, sowie eine Prozessoptimierung durchgeführt werden. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden optimierungs- und mengenbasierten Verfahren und Software zur Repräsentation von Modellen, Unsicherheiten und Störungen sowie zur Prozessoptimierung und Erkennung von Fehlern für Produktionsprozesse entwickelt, welche garantierte Aussagen erlauben und echtzeitfähig sind.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Projektbearbeiter:** Development of asynchrone predictive control methods for network controlled systems

**Kooperationen:** Prof. Frank Allgöwer, Universität Stuttgart; Prof. Lars Grüne, Universität Bayreuth; Universität Bayreuth, Mathematisches Institut, Prof. L. Grüne; Universität Stuttgart, Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik, Prof. F. Allgöwer

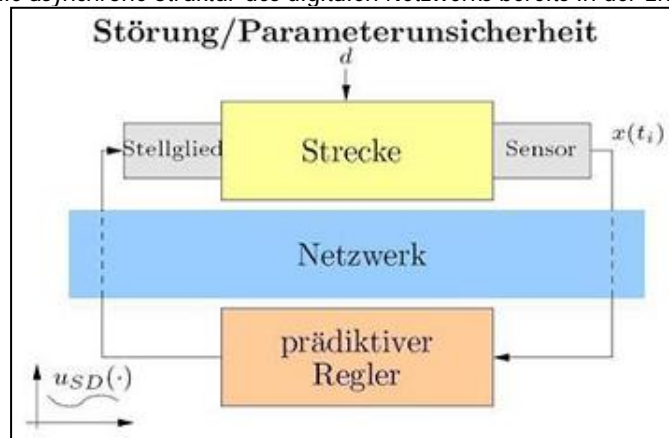
**Förderer:** Sonstige; 01.12.2009 - 01.11.2013

#### **Entwicklung asynchroner prädikativer Regelungsverfahren für digital vernetzte Systeme**

Ziel des vorliegenden interdisziplinären Kooperationsprojekts ist die Entwicklung innovativer asynchroner prädiktiver Regelungsverfahren für nichtlineare Systeme unter direkter Berücksichtigung nichtdeterministischer Netzwerke zur Informationsübertragung. Insbesondere sollen Verfahren entwickelt und analysiert werden, mit denen Stabilität des geschlossenen Kreises trotz auftretender variabler Verzögerungen und möglicher Paketverluste rigoros garantiert werden kann. Daneben soll untersucht werden, wie mit Hilfe prädiktiver Methoden der Datenaustausch zwischen Regler, Sensor und Stellglied minimiert werden kann. Prädiktive Regelungsverfahren sind für die Betrachtung von Verzögerungen und Paketverlusten hervorragend geeignet, da sie, wie in diesem Antrag vorgeschlagen a) eine explizite



Betrachtung der auftretenden asynchronen Strukturen erlauben und b) eine "Kompensation" der auftretenden Verzögerungen/Paketverluste im Rahmen der durchgeführten Prädiktion zur Stellsignalbestimmung erlauben. Die zu entwickelnden Regelungsverfahren sollen ähnlich universell einsetzbar sein wie traditionelle prädiktive Regelungsverfahren, und die asynchrone Struktur des digitalen Netzwerks bereits in der Entwurfsphase einbeziehen.

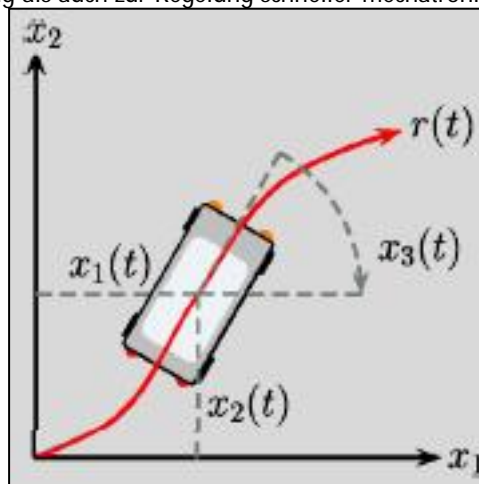


**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Förderer:** Haushalt; 01.12.2009 - 30.12.2013

**Pfadverfolgung und Optimierende Regelung Nichtlinearer Systeme**

Viele praktische Regelungsaufgaben verlangen nicht die Stabilisierung eines festen (vorgegebenen) Arbeitspunkts, sondern den Entwurf einer Regelung, welcher eine gegebene Gütefunktion optimiert oder das System einer zeitlich oder räumlich vorgegebenen Trajektorie folgen lässt. Erschwerend kommt oftmals hinzu, dass Beschränkungen an die auftretenden Prozessgrößen strikt eingehalten werden müssen, und dass oftmals erhebliche Störungen auf das System einwirken. Im Augenblick gibt es kaum geeigneten Regelungsverfahren zur strukturierten Lösung dieser Problemstellung. Daneben sind Fragen der Art der zu betrachtenden Stabilität sowie Robustheit bei sich ständig ändernden Regelzielen bisher nur wenig betrachtet worden. Im Rahmen dieser Arbeit sollen geeignete Verfahren und Methoden zur Lösung dieser Fragestellung mit Hilfe optimierungsbasierter Regelungsverfahren entwickelt und sowohl auf Probleme aus der Prozessführung als auch zur Regelung schneller mechatronischer Systeme angewendet werden.



Pfadfolgeproblem für einen Mobilroboter

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Bosch Batterie Systems; BOSCH RTC

**Förderer:** Industrie; 01.01.2010 - 31.12.2014

### **Advanced Battery Control and Estimation**

There is a strong need for advanced control methods in battery management systems, especially in the plug-in hybrid and electric vehicles sector, due to cost and safety issues of new high-power battery packs and high-energy cell design. Limitations in computational speed and available memory require the use of very simple battery models and basic control algorithms, which in turn result in suboptimal utilization of the battery. This work investigates the possible use of optimal control and estimation strategies for Li-Ion batteries using first principle models.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt/ohne Gutachtersystem); 01.12.2008 - 30.06.2013

### **Analysis and Modeling of Multisite Phosphorylation Processes**

Multisite phosphorylation is an important process in cellular information processing. It is known that mathematical models derived from this process can exhibit all sorts of complex dynamical behaviour (bistability, limit cycles, . . .), where, in the context of information processing, bistability is arguably of greatest importance. In the frame of this project the bistability of multisite phosphorylation is modeled, examined, and experimentally verified.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Prof. Dr. Dr. h.c Hans Georg Bock, Universität Heidelberg; Prof. Dr.-Ing. Frank Allgöwer, Universität Stuttgart; Prof. Dr.-Ing. Sebastian Engell, Universität Dortmund; Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Marquardt, RWTH Aachen

**Förderer:** DFG; 01.01.2012 - 31.12.2014

### **Effiziente robuste nichtlineare prädiktive Regelung mit Stabilitäts- und Lösbarkeitsgarantie unter Betrachtung verschiedener Zeitintervalle**

In den letzten Jahrzehnten gab es außergewöhnliche Fortschritte sowohl in theoretischen als auch in anwendungsbezogenen Fragestellungen im Bereich der prädiktiven Regelung. Zum jetzigen Zeitpunkt gilt die prädiktive Regelung als eines der vielversprechendsten Verfahren um komplexe, nichtlineare Prozesse unter Berücksichtigung von Beschränkungen zu regeln. Jedoch gibt es bis heute noch keine befriedigenden, theoretisch fundierten prädiktiven Regelungen die robust Stabilität garantieren und praktisch einsetzbar sind. Die Gründe hierfür sind zahlreich, oftmals ist die Lösung des resultierenden Optimierungsproblems in Echtzeit nicht möglich, oder die Ansätze führen zu einem erheblich konservativem Verhalten.

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, neuartige Methoden für den Entwurf von robusten, nichtlinearen prädiktiven Reglern zu entwickeln, die sowohl Stabilität garantieren als auch vorhandene Beschränkungen explizit berücksichtigen können. Weiterhin sollen die Verfahren keinen zu hohen Rechenaufwand aufweisen und nicht zu konservativ sein. Basis zur Lösung dieser Fragestellungen ist ein innovativer Lösungsansatz, in dem das ursprüngliche robuste Optimierungsproblem in über die Zeitachse verteilte, leichter zu lösende robuste Teilprobleme zerlegt wird. Aufgrund der Struktur der Teilprobleme, ist es möglich, diese zu jedem Zeitpunkt effizient und parallel zu lösen. Stabilität und die Erfüllung der Beschränkungen, sowie das Erreichen einer möglichst optimalen Lösung wird durch geeignete Koppelbedingungen garantiert. Möglichen Einschränkungen in der Regelgüte soll mit Hilfe verschiedener Störgrößenbeschreibungen und durch die Betrachtung von Ereignisbäumen entgegengewirkt werden.

Das resultierende prädiktive Regelungsverfahren wird effizient implementierbar sein, sowie einen guten Kompromiss aus Effizienz, Störgrößenunterdrückung und dem notwendigen Rechenaufwand aufweisen. Somit hat das entwickelte prädiktive Regelungsverfahren das Potential heutige robuste prädiktive Regelungsverfahren, die sich nicht praktisch einsetzen lassen, zu ersetzen.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Bayer Technology Services GmbH, BTS, Leverkusen; Celonic GmbH, Jülich; Prof. Dr. Bernd J. Pichler, Universität Stuttgart; Prof. Dr. Klaus Pfizenmaier, Universität Stuttgart; Prof. Dr. med. Matthias Schwab, Dr. Margarete Fischer-Bosch-Institut für Klinische Pharmakologie; Prof. Dr. Peter Scheurich, Universität Stuttgart; Prof. Dr. Rainer Helmig, Universität Stuttgart; Prof. Dr.-Ing. Frank Allgöwer, Universität Stuttgart; Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Matthias Reuss, Universität Stuttgart

**Förderer:** Bund; 01.07.2008 - 30.04.2012



### **Ein Systembiologischer Ansatz zur prädiktive Krebstherapie: Entwicklung systemtheoretischer Methoden zur Unterstützung der Modellierung und Modellanalyse intrazellulärer und physiologischer Vorgänge**

Immuntherapeutische Ansätze mit rekombinanten Proteinwirkstoffen gelten als sehr aussichtsreiche Strategien zur wirksamen Bekämpfung von zur Zeit nicht oder nur ungenügend behandelbaren Erkrankungen. Proteintherapeutika haben dementsprechend einen exponentiell wachsenden Markt mit jährlichen Milliardenumsätzen allein der wenigen zugelassenen Medikamente. Dutzende von neuen Proteinwirkstoffen befinden sich z.Z. in der prä-/ klinischen Erprobung, wobei Voraussagen über grundsätzliche Wirksamkeit und optimale Behandlungsverfahren nicht gemacht werden können. Es ist das langfristige Ziel dieses Verbundprojektes, mit einem prädiktiven mathematischen Modell diesen Engpass zu beheben und dazu beizutragen, die klinische Erprobung neuer, potentiell tumorselektiver Proteintherapeutika zu verbessern und zu beschleunigen.

Im Rahmen dieses Projekts sollen neue Modellierungs- und Analysemethoden für Vorgänge auf der zellulären und physiologischen Ebene entwickelt und angewendet werden.

Methodisch stehen hierbei Fragestellungen der (optimalen) Bestimmung von Modellparametern, der Validierung von Modellhypothesen, der Untersuchung des Einflusses von Unsicherheiten und Parameterveränderungen im Vordergrund. Aufgrund der Komplexität der betrachteten Vorgänge ist es notwendig, Methoden zu entwickeln, die die auftretenden inhärenten Struktureigenschaften auf den einzelnen Modellierungsebenen explizit zu berücksichtigen und auszunutzen. Neben der Methodenentwicklung werden Modellierungsaufgaben auf der physiologischen und intrazellulären Ebene verfolgt. Hierbei werden die neu entwickelten Methoden und Verfahren eingesetzt und erprobt.

Das Projekt ist Teil der BMBF-Förderinitiative "Partner der Forschungseinheiten Systembiologie FORSYS Partner"

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Universität Bayreuth, Mathematisches Institut, Prof. L. Grüne; Universität Stuttgart, Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik, Prof. F. Allgöwer

**Förderer:** DFG; 01.01.2011 - 31.12.2013

#### **Entwicklung dezentraler asynchroner prädiktiver Regelungsverfahren für digital vernetzte Systeme (ASYPRED-DEZYPRED)**

Aufgrund der Fortschritte im Bereich der Informationstechnologie bestehen heutige Regelungsstrukturen für komplexe Systeme oftmals aus einer Reihe von Einzelregelkreisen, welche durch Informationsnetzwerke verkoppelt sind. Beispiele hierfür sind komplexe chemische Anlagen, deren Anlagenkomponenten oftmals getrennt geregelt und betrieben werden, aber über ein Kommunikationsnetz Informationen austauschen können; Schwärme von Mobilfunkrobotern oder autonomen Objekten (Fahrzeugen, Drohnen), die - obwohl einzeln geregelt - ein gemeinsames Ziel erreichen sollen; Windparks, bei denen die Windturbinen getrennt geregelt und zugleich miteinander vernetzt werden, um auf Störungen schneller reagieren zu können. Diesen vielfältigen anwendungsgetriebenen Herausforderungen steht nur eine überschaubare Anzahl existierender, methodisch fundierter Strategien für den Reglerentwurf und die Analyse komplexer, gekoppelter und über Informationsnetzwerke interagierender Systeme gegenüber.

Ziel des vorliegenden interdisziplinären Kooperationsprojektes ist es, basierend auf den Ergebnissen der ersten Antragsperiode neue dezentrale, prädiktive Regelungsverfahren zu entwerfen. Die einzelnen Regelkreise sollen hierbei nur Informationen ihres eigenen Teilsystems sowie Informationen ihrer "Nachbarsysteme" verwenden. Im Mittelpunkt steht, neben garantierter Stabilität und möglichst hoher Regelgüte, die Abschätzung des für das Erreichen der Regelziele notwendigen Informationsaustauschs. Weiterhin soll untersucht werden, ob und wie es möglich ist, ohne Verlust der Stabilität und bei garantierter Erreichung des Gesamtziels auf Beschränkungen und Änderungen in der Informations- und Verkopplungsstruktur zwischen den einzelnen Subsystemen zu reagieren.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Förderer:** Industrie; 01.06.2011 - 30.05.2014

#### **Fault Detection of Hydraulic Systems**

In technischen Prozessen sind Parameter, wie zum Beispiel Reibkoeffizienten mechanischer Baugruppen oft nicht exakt bekannt, sondern durch die Angabe eines Bereiches beschrieben, in dem die Werte der Parameter liegen. Für die modellbasierte Regelung und die Fehlerdiagnose ist eine möglichst exakte Modellierung von grundlegender Bedeutung. Dafür ist, neben dem qualitativen Wissen der physikalischen Systemzusammenhänge auch die Kenntnis über reale Parameterwerte notwendig. Zur Ermittlung von Parametern aus Messwerten dienen Methoden der

Parameterschätzung (oder auch Systemidentifikation), wie zum Beispiel optimierungsbasierte oder mengenbasierte Verfahren. Im Rahmen des Forschungsprojekts sollen Methodik zur Parameterschätzung und Fehlerdetektion für hydraulische Axialkolbenmaschinen entwickelt werden.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

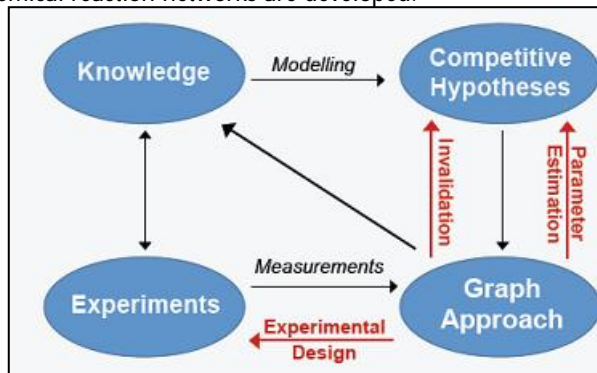
**Kooperationen:** Dr. Eric Bullinger, Glasgow University; Dr. Sandro Bosio; Prof. Robert Weismantel

**Förderer:** Haushalt; 01.12.2009 - 31.12.2013

**Parameteridentifikation, Modellverifikation und Experiment Design biochemischer Reaktionsnetzwerke**

Current approaches to parameter estimation and model invalidation are often inappropriate for biochemical reaction networks. This is because often only noisy measurements and sparse experimental data is available, and since this does not take the special structure of biochemical reaction networks into account.

In the frame of this project net theoretical methods for model invalidity and parameter estimation, as well as experimental design for biochemical reaction networks are developed.



**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Kooperationen:** Prof. Georg Schitter, Delft University; Robert Bosch AG, Stuttgart

**Förderer:** Haushalt; 01.12.2008 - 01.12.2013

**Regelung schneller mechatronischer Systeme unter Beschränkungen**

Viele mechatronische Systeme sind stark nichtlinear und unterliegen Begrenzungen an die Zustands- und Eingangsgrößen. Im Rahmen dieses Projekts werden optimierungsbasierte Regelungsverfahren und Methoden entwickelt, welche sich auf schnelle mechatronische Systeme anwenden lassen und diese Beschränkungen berücksichtigen. Hierbei werden systemtheoretische Ansätze mit geeigneten numerischen Methoden kombiniert.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen

**Förderer:** Industrie; 01.01.2012 - 30.12.2014

**Set-Based Approaches for Battery Systems**

There is a strong need for advanced control methods in battery management systems, especially in the plug-in hybrid and electric vehicles sector, due to cost and safety issues of new high-power battery packs and high-energy cell design. Limitations in computational speed and available memory require the use of very simple battery models and basic control algorithms, which in turn result in suboptimal utilization of the battery. This work investigates the possible use of set-based approaches for state estimation and the surveillance of the state of health of Li-Ion batteries.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle

**Projektbearbeiter:** Christian Kunde

**Förderer:** DFG; 01.01.2010 - 31.12.2013

**Globale Optimierung von integrierten flüssigen Mehrphasensystemen**

Das optimale Design integrierter flüssiger Mehrphasensysteme führt auf gemischt-ganzzahlige nichtlineare Optimierungsprobleme. In diesem Projekt sollen in Kooperation zwischen Ingenieuren und Mathematikern neue Verfahren zur globalen Optimierung solcher Probleme entwickelt werden. Dazu sind zunächst problemangepasste Unter- und Überschätzer für die betrachteten nichtlinearen Funktionsbausteine zu entwickeln. Zur globalen Lösung der

resultierenden konvexen Relaxierungen sollen anschließend neue leistungsfähige Algorithmen entwickelt werden. Als Anwendungsbeispiele werden zunächst die hybriden Trennprozesse aus dem Teilprojekt B3 des SFB/TR 63 (Kreis/Rüther/Górák) betrachtet.

Die Leitung des Projektes erfolgt in Kooperation mit Prof. Dr. Robert Weismantel (ETHZ).

Dieses Projekt ist Teil des Sonderforschungsbereichs/Transregio 63 - Integrierte chemische Prozesse in flüssigen Mehrphasensystemen.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle

**Kooperationen:** IPF Beteiligungsgesellschaft Reilingen; MTU CFC Solutions München; Prof. Sundmacher, MPI Magdeburg; VW Isenbüttel

**Förderer:** Haushalt; 01.01.2008 - 31.12.2012

**Modellierung und Regelung von Brennstoffzellensystemen**

Ausgangspunkt der Untersuchungen sind rigorose mathematische Modelle von Brennstoffzellensystemen auf der Basis der physikalischen Grundgesetze. Diese sind jedoch häufig zu komplex für die modellgestützte Prozessführung. Weitere Forschungsaktivitäten betreffen deshalb die Entwicklung reduzierter dynamischer Modelle, sowie die Entwicklung moderner Methoden für die modellgestützte Prozessüberwachung, -steuerung und -regelung. Als Anwendungsbeispiele werden Hochtemperaturbrennstoffzellen für die stationäre Energieerzeugung sowie PEM Brennstoffzellen für stationäre und mobile Anwendungen betrachtet.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle

**Kooperationen:** IIT Madras (Indien), Prof. Pushpavanam; Prof. Gilles, Dr. Kremmling, Dr. Grammel, MPI Magdeburg; Purdue University/USA, Prof. Ramkrishna

**Förderer:** Bund; 01.05.2008 - 31.12.2012

**Nichtlineare Dynamik zellulärer Systeme**

Eine charakteristische Eigenschaft zellulärer Systeme besteht in ihrer Fähigkeit durch interne Regulationsmechanismen auf veränderte Umgebungsbedingungen zu reagieren und dadurch ihr Überleben zu sichern. Während einzelne Regulationsmechanismen heute gut verstanden sind, fehlt noch ein grundlegendes Verständnis der Regulationsvorgänge im Gesamtzusammenhang. Zentrale Zielsetzung des geplanten Projektes ist ein verbessertes Verständnis des komplexen Verhaltens zellulärer Systeme. Dazu sollen die theoretischen Konzepte aus der nichtlinearen Dynamik - insbesondere der Bifurkations- und Stabilitätstheorie - eingesetzt werden. Als biologisches Modellsystem wird u.a. E. coli betrachtet. Experimentelle Beobachtungen zeigen, dass infolge der o.g. Regulationsmechanismen sowohl mehrfache stationäre Zustände als auch nichtlineare Oszillationen auftreten können. Die Ursachen dieser Phänomene sind heute nur unzureichend verstanden und sollen im Rahmen des geplanten Projektes näher untersucht werden. Ein grundlegendes Verständnis und die quantitative Vorhersage solcher Phänomene auf der Basis geeigneter mathematischer Modelle wird als wesentliche Grundlage für die Optimierung biotechnologischer Produktionsprozesse gesehen. Das Projekt ist Teil des Magdeburger Zentrums für Systembiologie (MaCS), welches vom BMBF im Rahmen der FORSYS Initiative unterstützt wird.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle

**Kooperationen:** MPI Magdeburg, Prof. Reichel

**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt); 01.07.2007 - 30.06.2012

**Populationsdynamische Modellierung von Infektionsvorgängen in Zellkulturen bei der Impfstoffproduktion**

Das vorliegende Projekt beschäftigt sich mit der populationsdynamischen Modellierung biotechnologischer Prozesse zur Produktion von Impfstoffen in Säuger-Zellkulturen. Als Anwendungsbeispiel wird die Produktion von Influenza A Viren in MDCK Zellen betrachtet. Mit Hilfe der populationsdynamischen Modellierung ist eine differenzierte Betrachtung der Zellpopulation möglich. Neben nichtinfizierten und infizierten Zellen, können letztere beispielsweise hinsichtlich des Infektionsgrades oder anderer zellinterner Größen unterschieden werden. Die entwickelten Modelle dienen einem verbesserten biologischen Verständnis und sollen längerfristig zur rechnergestützten Optimierung der Impfstoffproduktion eingesetzt werden. Experimentelle Untersuchungen zur Validierung der entwickelten

mathematischen Modelle werden in der Gruppe von Prof. Reichl am MPI durchgeführt. Das Projekt ist Teil des vom Land Sachsen-Anhalt geförderten Exzellenzschwerpunktes 'Dynamische Systeme in Biologie/Medizin und Prozesstechnik'.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Förderer:** Haushalt; 01.10.2007 - 30.09.2012

**Regelung von kontinuierlichen chromatographischen Prozessen**

Chromatographische Prozesse sind Stofftrennverfahren, die beispielsweise zur Herstellung von hochreinen Wirkstoffen in der pharmazeutischen Industrie eingesetzt werden. Neben der klassischen diskontinuierlichen Betriebsweise mit Einzelsäulen kommen in zunehmendem Maße auch kontinuierliche Prozesse insbesondere sogenannte Simulated Moving Bed (SMB) Prozesse zum Einsatz. Dazu werden mehrere Säulen zu einem Ring verschaltet, wobei die Positionierung der Zu- und Abläufe zyklisch geändert wird. Meist werden diese SMB-Anlagen ungeregelt betrieben. Eine Änderung in der Konzentration des Ausgangsstoffgemisches führt somit zu einer Änderung der Reinheiten der Endprodukte. Um dieses Defizit zu beheben, soll eine praxistaugliche Regelstrategie entwickelt werden,

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Kooperationen:** Prof. Findeisen, IFAT; Prof. Seidel-Morgenstern, MPI Magdeburg; Prof. Tsotsas, Jun. Prof. Peglow, Prof. Mörl, FVST  
**Förderer:** Haushalt; 01.08.2007 - 31.07.2012

**Regelung von Partikelsystemen**

Partikelbildende Prozesse spielen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie sowie in der Lebensmitteltechnologie eine wichtige Rolle. Typische Beispiele sind die Kristallisation und die Wirbelschichtsprühgranulation. Wichtige Aufgabenstellungen aus regelungstechnischer Sicht betreffen die Stabilisierung instabiler Betriebszustände und die gezielte Einstellung der gewünschten Produkteigenschaften. Dazu werden moderne modellgestützte Mess- und Regelverfahren entwickelt.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Förderer:** Haushalt; 01.01.2008 - 31.12.2012

**Regelung von Reaktivdestillationsprozessen**

In einer Reaktivdestillationskolonne werden Reaktion und Stofftrennung kombiniert. Dies ist in vielen Fällen sehr wirtschaftlich im Vergleich zu konventionellen Prozessen, bei denen Stofftrennung und Reaktion separat durchgeführt werden. Das dynamische Verhalten von Reaktivdestillationsprozessen ist aber sehr komplex, gerade während des Anfahrvorganges, da sich alle Prozessvariablen zeitlich ändern. Der Anfahrprozess ist von ökologischer und wirtschaftlicher Bedeutung, da das Produkt während dieser Betriebsphase entsorgt werden muss. Innerhalb dieses Projektes soll das Anfahrproblem von Reaktivdestillationskolonnen mit Hilfe geeigneter Regelungsstrategien gelöst werden. Weitere Aufgabenstellungen betreffen das Autotuning von Arbeitspunktreglern und die Reglerstruktursynthese.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Kooperationen:** BASF AG-Ludwigshafen-Germany; Prof. Hackbusch, MPI Leipzig; Prof. John, Universität Saarbrücken; Prof. Sundmacher, Lehrstuhl für Prozesstechnik (Uni Magdeburg) und Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme  
**Förderer:** Bund; 01.11.2007 - 30.06.2012

**Simulation of Particle Populations in Turbulent Flows**

The interaction of crystal formation and fluid dynamics is considered. An industrial crystallizer for urea production is used as an application example. The project's objectives are the development of reduced models for process control purposes.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Kooperationen:** TU Donezk, Prof. Svjatnyj  
**Förderer:** Sonstige; 01.01.2008 - 31.12.2012

### **Simulationsumgebung ProMoT / DIANA**

Es wird eine Modellierungs- und Simulationsumgebung für verfahrenstechnische Prozessmodelle hoher Ordnung entwickelt. Das Programmsystem besteht aus dem Modellierungswerkzeug ProMoT und dem Simulator DIANA. ProMoT erlaubt die objektorientierte symbolische Formulierung der Modellgleichungen in graphischer Form oder mit Hilfe der Modellierungssprache MDL. ProMoT verarbeitet die symbolische Modellinformation zu Simulationscode für den Simulator DIANA. Die Modelle werden in C++ implementiert, wobei die standardisierte Schnittstelle CAPE-ESO genutzt wird. In DIANA stehen numerische Methoden zur dynamischen Simulation, nichtlinearen Analyse und Optimierung der Modelle zur Verfügung.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle

**Kooperationen:** J. Böhm, Rothenseer Generatorenfertigung GmbH, Magdeburg

**Förderer:** Haushalt; 01.01.2008 - 31.12.2012

### **Energie-Management in der Produktion**

Ziel des Projektes ist die Entwicklung von Strategien zur Energiekostenminimierung in Produktionsbetrieben. Viele Produktionsprozesse besitzen eine große Anzahl von Haupt- und Nebenverbrauchern. Diese sollen so beziehungsweise abgeschaltet werden, dass sich minimale Energiekosten ergeben. Zusätzlich müssen Nebenbedingungen bezüglich des Produktionsablaufes, der Temperatur, der Lüftung, der Beleuchtung, etc. eingehalten werden. Zur Lösung dieser Aufgabenstellung werden mathematische Modelle der betrachteten Produktionsprozesse erstellt und mit Hilfe von Methoden der gemischt-ganzzahligen Optimierung kostenoptimale Produktionsabläufe berechnet. Schwerpunkte zur Lösung der Problemstellung sind die mathematische Modellierung und Optimierung des vollständigen Produktionsprozesses sowie die reale Umsetzung des gewonnenen Energie-Management-Systems.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle

**Kooperationen:** NCL Punai/Indien, Dr. A. Kulkarni; Uni Magdeburg, Prof. Hauptmann

**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt); 01.01.2008 - 31.12.2012

### **Untersuchung von gekoppelten Transport- und Reaktionsprozessen in Mikrokanälen**

Miniaturisierte Prozesssysteme spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der chemischen, pharmazeutischen und biomedizinischen Industrie. Im Rahmen dieses Teilprojektes werden neue Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie für die schnelle und kostengünstige Entwicklung neuer chemischer Prozesse untersucht. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine flexible Versuchsanlage zur Untersuchung der gekoppelten Transport- und Reaktionsprozesse in Mikrokanälen aufgebaut. Die Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf eine heterogen katalysierte Flüssigphasenreaktion. Obwohl diese Klasse von Reaktionen ein hohes Anwendungspotential hat, wurde sie bisher kaum untersucht. Parallel zu den experimentellen Untersuchungen werden geeignete mathematische Modelle entwickelt und anhand von Messdaten validiert. In Kooperation mit dem Lehrstuhl für Mess- und Sensortechnik werden neue Sensoren für die online-Messung des Reaktionsfortschrittes erprobt.

---

**Projektleiter:** Jun.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Waldherr

**Förderer:** DFG; 06.01.2012 - 05.01.2015

### **Rechnerbasierte Modellierung, Sensitivitätsanalyse und Parameterschätzung für heterogene Zellpopulationen**

Ziel des Projektes ist die Entwicklung neuer rechnerbasierter Methoden zur Modellierung und Analyse von großen Populationen strukturell identischer Systeme mit heterogenen Parametern und Populationsdynamik. Solche Populationen treten in biologischen Systemen auf, beispielsweise im Gewebe höherer Organismen, oder in Kolonien von Mikroorganismen. In diesen Fällen sind Zellen desselben Zelltyps strukturell ähnlich, können aber beispielsweise wegen Unterschieden in Proteinmengen oder Genaktivitäten dennoch unterschiedliches Verhalten zeigen. In mathematischen Modellen können diese Unterschiede durch Variationen in den Parameterwerten für einzelne Zellen abgebildet werden. Das Projekt strebt eine Modellierungsstruktur an, bei der heterogene Populationen durch eine Zustandsdichtefunktion beschrieben werden, und bei der die Dynamik auf der Ebene des individuellen Systems zur Populationsebene hin extrapoliert wird. Die vorgeschlagene Struktur basiert auf etablierten Einzelzell-Modellierungsansätzen für zelluläre Systeme, und zielt auf Populationsmodelle ab, die durch eine Erweiterung bestehender Einzelzellmodelle konstruiert werden. Dieser Ansatz soll realisiert werden durch die Formulierung einer Zustandsdichtefunktion, welche die Population charakterisiert, und deren Dynamik durch eine partielle Differentialgleichung beschrieben ist, die aus intrazellulären Mechanismen und der Zellpopulationsdynamik, d.h. Zellteilung und Zelltod, hergeleitet wird. Die Betrachtung der Zellpopulationsebene ist beispielsweise erforderlich, um

dynamische physiologische Prozesse in biologischem Gewebe oder metabolische Prozesse in einem Bioreaktor von der zellulären Ebene ausgehend zu verstehen. Zur Verwendung der vorgeschlagenen Modellklasse müssen auch geeignete Analysemethoden entwickelt werden, die rechentechnisch effizient verwendet werden können. Der Fokus des Projekts liegt dabei auf der Sensitivitätsanalyse, Parameterschätzung und Unsicherheitsanalyse für die hier entwickelte Klasse von Populationsmodellen. Eine Anwendung des vorgeschlagenen Modellierungsansatzes und der Analysemethoden soll im Bereich der Zellbiologie realisiert werden, und zwar für den Prozess des programmierten Zelltods aufgrund eines extrazellulären biochemischen Stimulus. In diesem System tritt Heterogenität in der Zellpopulation dadurch auf, dass ein Teil der Zellen einer Population bei einem gegebenen Stimulus stirbt, während der übrige Teil überlebt. Auf Basis existierender Einzelzellmodelle für diesen Prozess wird der hier entwickelte Ansatz eingesetzt, um in Zusammenarbeit mit dem Kooperationsprojekt von Prof. Scheurich die dieser Heterogenität zugrunde liegenden Mechanismen besser zu verstehen.

## 5. Veröffentlichungen

### **Begutachtete Zeitschriftenaufsätze**

**Cannon, Mark; Cheng, Qifeng; Kouvaritakis, Basil; Rakovi, Saša V.**

Stochastic tube MPC with state estimation

In: Automatica. - Oxford [u.a.]: Elsevier Science, Bd. 48.2012, 3, S. 536-541; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 2,172]

**Disli, Ilknur; Kienle, Achim**

Systematic evaluation of models of different complexity for a low-density polyethylene plant

In: Mathematical and computer modelling of dynamical systems. - London [u.a.]: Taylor & Francis, Bd. 18.2012, 4, S. 397-412;

... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 0,406]

**Franz, Andre; Rehner, R.; Kienle, Achim; Grammel, H.**

Rapid selection of glucose-utilizing variants of the polyhydroxyalkanoate producer *Ralstonia eutropha* H16 by incubation with high substrate levels

In: Letters in applied microbiology. - Oxford: Wiley-Blackwell, Bd. 54.2012, 1, S. 45-51; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 1,622]

**Kaspereit, Malte; Swernath, Subramanian; Kienle, Achim**

Evaluation of competing process concepts for the production of pure enantiomers

In: Organic process research & development. - Washington, DC: American Chemical Society, Bd. 16.2012, 2, S. 353-363;

... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 2,207]

**Krauss, Markus; Schaller, Stephan; Borchers, Steffen; Findeisen, Rolf; Lippert, Jörg; Kuepfer, Lars**

Integrating cellular metabolism into a multiscale whole-body model

In: PLoS Computational Biology. - San Francisco, Calif: Public Library of Science, Bd. 8.2012, 10; ... [weitere Infos](#); 2012

**Kreysing, Moritz; Pusch, Roland; Haverkate, Dorothee; Landsberger, Meik; Engelmann, Jacob; Ruiter, Janina; Mora-Ferrer, Carlos; Ulbricht, Elke; Grosche, Jens; Franze, Kristian; Streif, Stefan; Schumacher, Sarah; Makarov, Felix; Kacza, Johannes; Guck, Jochen; Wolburg, Hartwig; Bowmaker, James K.; Emde, Gerhard von der; Schuster, Stefan; Wagner, Hans-Joachim; Reichenbach, Andreas; Francke, Mike**

Photonic crystal light collectors in fish retina improve vision in turbid water

In: Science. - Washington, DC [u.a.]: American Association for the Advancement of Science, Bd. 336.2012, 6089, S. 1700-1703;

... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 31,201]

**Langermann, Jan von; Kaspereit, Malte; Shakeri, Mozaffar; Lorenz, Heike; Hedberg, Martin; Jones, Matthew J.; Larson, Kerstin;**



**Herschend, Björn; Arnell, Robert; Temmel, Erik; Bäckvall, Jan-Erling; Kienle, Achim; Seidel-Morgenstern, Andreas**

Design of an integrated process of chromatography, crystallization and racemization for the resolution of 2',6'-pipecoloxylidide (PPX)

In: Organic process research & development. - Washington, DC: American Chemical Society, Bd. 16.2012, 2, S. 343-352;

... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 2,391]

**Ma, Miaomiao; Chen, Hong; Findeisen, Rolf; Allgower, Frank**

Nonlinear receding horizon control of quadruple-tank system and real-time implementation

In: International journal of innovative computing, information & control. - Kumamoto: ICIC International, Bd. 8.2012, 10, S. 7083-7094;

... [weitere Infos](#); 2012

**Palis, Stefan; Kienle, Achim**

Diskrepanzbasierte Regelung der kontinuierlichen Kristallisation

In: Automatisierungstechnik. - München: Oldenbourg, Bd. 60.2012, 3, S. 145-154; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 0,298]

**Palis, Stefan; Kienle, Achim**

Stabilization of continuous fluidized bed spray granulation with external product classification

In: Chemical engineering science. - Amsterdam: Elsevier, Bd. 70.2012, S. 200-209; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 2,379]

**Paramasivan, Ganesh; Kienle, Achim**

Decentralized control system design for a ternary reactive distillation with inert using mixed integer optimization

In: Chemical engineering & technology. - Weinheim: Wiley-VCH Verl.-Ges, Bd. 35.2012, 9, S. 1609-1616; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 1,394]

**Paramasivan, Ganesh; Kienle, Achim**

Decentralized control system design under uncertainty using mixed-integer optimization

In: Chemical engineering & technology. - Weinheim: Wiley-VCH, Bd. 35.2012, 2, S. 261-271; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 1,394]

**Rakovic, Saša; Kouvaritakis, Basil; Cannon, Mark; Panos, C.; Findeisen, Rolf**

Parameterized tube model predictive control

In: IEEE transactions on automatic control. - New York, NY: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Bd. 57.2012, 11, S. 2746-2761; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 2,110]

**Rakovic, Saša; Kouvaritakis, Basil; Findeisen, Rolf; Cannon, Mark**

Homothetic tube model predictive control

In: Automatica. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Pergamon Press, Bd. 48.2012, 8, S. 1631-1638; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 3,128]

**Rumschinski, Philipp; Streif, Stefan; Findeisen, Rolf**

Combining qualitative information and semi-quantitative data for guaranteed invalidation of biochemical network models

In: International journal of robust and nonlinear control. - New York, NY [u.a.]: Wiley, Bd. 22.2012, 10, S. 1157-1173; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 1,554]

**Sokolov, Sergiy; Fichtner, Hans-Peter; Cihlar, Zbynek; Kaiser, Michael; Diedrich, Christian**

Vorgehensmodellierung im Anlagen-Engineering

In: Atp-Edition. - München: Oldenbourg Industrieverl, Bd. 54.2012, 7/8, S. 50-59; 2012

**Sommer, Steffen; Kienle, Achim**

Auto-tuning of multivariable PID controllers using iterative feedback tuning

In: Automatisierungstechnik. - München: Oldenbourg, Bd. 60.2012, 1, S. 20-27; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 0,419]

**Streif, Stefan; Savchenko, Anton; Rumschinski, Philipp; Borchers, Steffen; Findeisen, Rolf**

ADMIT - a toolbox for guaranteed model invalidation, estimation and qualitative/quantitative modeling

In: Bioinformatics. - Oxford: Oxford Univ. Press, Bd. 28.2012, 9, S. 1290-1291; ... [weitere Infos](#); 2012

[Imp.fact.: 4,877]

### **Buchbeiträge**

**Engel, Christoph; Wolf, Franziska; Diedrich, Christian**

Altersgerechte und sichere Mobilität in der Fläche

In: Demographischer Wandel als Querschnittsaufgabe. - Halle an der Saale: Univ.-Verl. Halle-Wittenberg, S. 113-132, 2012; 2012

**Hadlich, Thomas; Engel, Christoph; Diedrich, Christian; Mühlhause, Mathias**

Konzept und Erfahrungen beim Abgleich mehrerer Domain-Ontologien

In: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme. - Magdeburg: ifak, S. 81-90, 2012

Kongress: Fachtagung EKA; 12 (Magdeburg): 2012.05.09-10; 2012

**Hast, Daniel; Gottfried, Markus; Findeisen, Rolf**

A method for the interpretation of parametric faults in model based condition monitoring

In: 8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision, and Safety for Technical Processes. - Elsevier, S. 618-623, 2012;

... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision, and Safety for Technical Processes; 8 (Mexico City): 2012.08.29-31; 2012

**Kögel, Markus; Findeisen, Rolf**

Cooperative distributed MPC using the alternating direction multiplier method

In: 8th IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes 2012. - Elsevier, S. 445-450; ... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes; 8 (Singapore): 2012.07.10-13; 2012

**Kögel, Markus; Findeisen, Rolf**

Parallel solutions of model predictive control using the alternating direction method of multipliers

In: 4th IFAC Nonlinear Model Predictive Control Conference. - Elsevier, S. 369-374, 2012; ... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC Nonlinear Model Predictive Control Conference; 4 (Leeuwenhorst, Netherlands): 2012.08.23-27; 2012

**Liu, Zheng; Diedrich, Christian**

Validierungskonzept für virtuelle Anlagen

In: Automation 2012. - Düsseldorf: VDI-Verl., S. 367-370 - (VDI-Berichte; 2171)

Kongress: Kongress "Automation 2012"; 13 (Baden-Baden): 2011.06.13-14; 2012

**Liu, Zheng; Suchold, Nico; Diedrich, Christian**

Virtual commissioning of automated systems

In: Automation. - Rijeka: InTech, S. 131-148, 2012; 2012

**Palis, Stefan; Bück, Andreas; Kienle, Achim**

Low order controller design for continuous fluidized bed spray granulation with internal product classification by robust control methods

In: 7th IFAC Symposium on Robust Control Design. - Elsevier, S. 701-706, 2012; ... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC Symposium on Robust Control Design; 7 (Aalborg, Denmark): 2012.06.20-22; 2012

**Palis, Stefan; Kienle, Achim**

Discrepancy based control of continuous fluidized bed spray granulation with internal product classification

In: 8th IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes 2012. - Elsevier, S. 756-761; ... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes; 8 (Singapore): 2012.07.10-13; 2012

**Savchenko, Anton; Rumschinski, Philipp; Streif, Stefan; Findeisen, Rolf**

Complete diagnosability of abrupt faults using set-based sensitivities

In: 8th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision, and Safety for Technical Processes. - Elsevier, S. 860-865, 2012;

... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision, and Safety for Technical Processes; 8 (Mexico City): 2012.08.29-31; 2012

**Schliemann, Monica; Findeisen, Rolf; Bullinger, Eric**

Robustness-based model validation of an apoptosis signalling network model

In: 16th IFAC Symposium on System Identification. - Elsevier, S. 930-935, 2012; ... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC Symposium on System Identification; 16 (Brüssel, Belgium): 2012.07.11-13; 2012

**Sokolov, Sergiy; Diedrich, Christian; Fichtner, Hans-Peter; Cihar, Zbynek; Kaiser, Michael**

Ein prozessorientiertes Vorgehensmodell zur Unterstützung wissensintensiver Planungsaufgaben im Anlagenengineering

In: Automation 2012. - Düsseldorf: VDI-Verl., S. 205-208 - (VDI-Berichte; 2171)

Kongress: Kongress "Automation 2012"; 13 (Baden-Baden): 2011.06.13-14; 2012

**Sokolov, Sergiy; Liu, Zheng; Diedrich, Christian**

Semi-automatisierte Modellgenerierung für virtuelle Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen

In: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme. - Magdeburg: ifak, S. 227-238, 2012

Kongress: Fachtagung EKA; 12 (Magdeburg): 2012.05.09-10; 2012

**Suvarov, Paul; Vande Wouwer, Alain; Kienle, Achim**

A simple robust control for simulated moving bed chromatographic separation

In: 8th IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes 2012. - Elsevier, S. 137-142; ... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes; 8 (Singapore): 2012.07.10-13; 2012

**Varutti, Paolo; Kern, Benjamin; Findeisen, Rolf**

Dissipativity-based distributed nonlinear predictive control for cascaded systems advanced control of chemical processes

In: 8th IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes 2012. - Elsevier, S. 439-444; ... [weitere Infos](#)

Kongress: IFAC International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes; 8 (Singapore): 2012.07.10-13; 2012

**Zometa, Pablo; Kögel, Markus; Faulwasser, Timm; Findeisen, Rolf**

Implementation aspects of model predictive control for embedded systems

In: American Control Conference (ACC), 2012. - Piscataway, NJ: IEEE, S. 1205-1210; ... [weitere Infos](#)

Kongress: ACC; (Montreal, QC, Canada): 2012.06.27-29; 2012

### **Herausgeberschaften**

**Jumar, Ulrich; Schnieder, Eckehard; Diedrich, Christian**

Entwurf komplexer Automatisierungssysteme - EKA 2012; Beschreibungsmittel, Methoden, Werkzeuge und Anwendungen; 12.

Fachtagung mit Tutorium und Toolausstellung, 09. bis 10. Mai 2012 in Magdeburg, Denkfabrik im Wissenschaftshafen. - Magdeburg:

ifak, 2012; VII, 332 S.: Ill., graph. Darst., ISBN 978-3-940961-72-

Kongress: Fachtagung EKA; 12 (Magdeburg): 2012.05.09-10

Tagung EKA, Entwurf komplexer Automatisierungssysteme; 12 (Magdeburg): 2012.05.09-10; 2012

### **Artikel in Kongressbänden**

**Dürr, Robert; Müller, Thomas; Isken, Britta; Schulze-Horstel, Josef; Reichl, Udo; Kienle, Achim**

Distributed modeling and parameter estimation of influenza virus replication during vaccine production authors

In: MATHMOD 2012. - Vienna: ARGESIM, ARGE Simulation News, Vienna Univ. of Technology, insges. 6 S. - (ARGESIM report; 38);

... [weitere Infos](#)

Kongress: MATHMOD; 7 (Vienna): 2012.02.15-17; 2012

**Franz, Andre; Grammel, Hardy; Rehner, Ruxandra; Paetzold, Philipp; Kienle, Achim**

Multiscale modeling of biopolymer production in multicellular systems

In: MATHMOD 2012. - Vienna: ARGESIM, ARGE Simulation News, Vienna Univ. of Technology, insges. 5 S. - (ARGESIM report; 38);

... [weitere Infos](#)

Kongress: MATHMOD; 7 (Vienna): 2012.02.15-17; 2012

### **Abstracts**

**Höme, Stephan; Diedrich, Christian**

Analyse des Zeitverhaltens von Steuerungssystemen mit zyklischer Kommunikation

In: Kommunikation in der Automation. - Lemgo, S. 7, 2012

Kongress: KOMMA; 3 (Lemgo): 2012.11.14; 2012

### **Dissertationen**

**Bück, Andreas; Tsotsas, Evangelos [Gutachter]; Kienle, Achim [Gutachter]; Peglow, Mirko [Gutachter]**

Model-based measurement and control of fluidised bed spray granulation processes. - Magdeburg, Univ., Fak. für Verfahrens- und Systemtechnik, Diss., 2012; XII, 190 S.: graph. Darst.; 2012

**Krause, Jan; Diedrich, Christian [Gutachter]**

Testfallgenerierung aus modellbasierten Systemspezifikationen auf der Basis von Petrinetzentfaltungen. - Zugl.: Magdeburg, Otto-von-Guericke-Univ., Fak. für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diss., 2011; Aachen: Shaker, 2012, 1. Aufl.; XI, 211 S.: 135 graph. Darst.; 210 mm x 148 mm, 338 g - (Berichte aus der Automatisierungstechnik), ISBN 978-3-8440-0719-0; 2012

**Maldonado Torres, Solvey; Findeisen, Rolf [Gutachter]; Schaper, Fred [Gutachter]**

Force-induced bone adaptation - a systems biology perspective towards therapy design. - Zugl.: Magdeburg, Univ., Fak. für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diss., 2011; Aachen: Shaker, 2012, 1. Aufl.; VIII, 137 S.: graph. Darst.; 21 cm, 221 g - (Contributions in systems theory and automatic control; 2), ISBN 978-3-8440-0779-4; 2012

**Palis, Stefan; Kienle, Achim [Gutachter]**

Control of fluidized bed spray granulation processes. - Magdeburg, Univ., Fak. für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diss., 2012; IX, 134 S.: graph. Darst.; 2012

**Paramasivan, Ganesh; Kienle, Achim [Gutachter]**

Synthesis of plantwide control strategies using mixed integer optimization. - Magdeburg, Univ., Fak. für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diss., 2012; XVIII, 96 Bl.: graph. Darst.; 2012

**Steyer, Christiane; Sundmacher, Kai [Gutachter]; Tomas, Jürgen [Gutachter]; Mangold, Michael [Gutachter]**

Precipitation of barium sulfate in a semi-batch stirred tank reactor - influence of feeding policy on particle size and morphology. - Magdeburg, Univ., Fak. für Verfahrens- und Systemtechnik, Diss., 2012; X, 172 S.: graph. Darst.; 2012