

# **Forschungsbericht 2007**

**Institut für Automatisierungstechnik**



**Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg**

**Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik**

## 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)
  - Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur rechnergestützten Analyse, Synthese und Automatisierung komplexer chemischer Prozesse in enger Zusammenarbeit mit der Fachgruppe Prozesssynthese und -dynamik des Max-Planck-Institutes Magdeburg
  - Synthese, Dynamik und Regelung von Reaktivdestillationsprozessen
  - Neue Betriebsweisen und Regelung von kontinuierlichen chromatographischen Trennprozessen
  - Optimierte Prozessführung von Brennstoffzellensystemen
  - Anlagenweite Prozessführung
  - Steuerung und Regelung diskontinuierlicher Mehrproduktanlagen
2. Professur Integrierte Automation (Prof. Christian Diedrich)
  - 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 oSensitivitätsanalyse
    - 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

**Förderer:** Industrie; 01.10.2006 - 31.07.2008

##### **Mechatronische Bibliothek für virtuelle Inbetriebnahme**

Das Konzept der digitalen Fabrik stellt

neue Anforderungen an die Investitionsmittelindustrie, indem alle beteiligten Betriebsmittel durch eine vollständige digitale und semantische eindeutige Repräsentation verfügbar sein müssen. In der Praxis fokussiert die digitale Fabrik heute im wesentlichen auf die Integration der geometrischen und mechanischen Eigenschaften und Beziehungen zwischen den an der Produktion beteiligten Objekten, den Produkten und Ressourcen. Der durchgängige digitale Planungsprozess von der Produktidee bis hin zur Produktion des Produkts auf der virtuellen Anlage ist auf dieser Basis nicht durchführbar. Ziel des Projekts ist, die Auflösung der Systembrüche zwischen kinematischer Simulation und elektro-/automatisierungstechnischer Inbetriebnahme vor allem für die virtuelle Inbetriebnahme. ... [mehr](#)

---

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

**Förderer:** EU - Forschungsrahmenprogramm; 01.09.2006 - 31.08.2009

##### **Service Oriented Cross layer infRAstructure for Distributed smart Embedded devices (SOCRADES)**

Das Ziel vom SOCRADES Projekt ist die Entwicklung neuartiger Methoden, Technologien und Werkzeuge für die Modellierung, den Entwurf, die Implementierung und den Betrieb von eingebetteten Systemen, die mit Netzwerken verbunden sind und eigene Informationsverarbeitung besitzen. Diese sogenannten intelligenten Geräte werden in perceptiven und Steuerungssystemen und in intelligenten Umgebungen eingesetzt, die durch Kooperation gemeinsame Ziele lösen. Als Grundlage der Zusammenarbeit der intelligenten Geräte wird das Service Oriented Architecture (SOA) Konzept angewendet.

Das Projekt wird am ifak e.V. Magdeburg bearbeitet. Im Rahmen der engen Kooperation zwischen dem Lehrstuhl Integrierte Automation und dem ifak wird vor allem das Arbeitspaket Trend screening, requirements, state-of-the-art, technology assessment des SOCRADES Projektes durch Mitarbeiter des Lehrstuhl unterstützt. ... [mehr](#)

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

**Förderer:** Haushalt; 01.01.2005 - 31.05.2008

**UML basierte Profile für PROFINET IO für Schienenfahrzeuge**

Züge und Wagen verwenden digitale Kommunikationssysteme für den Datenaustausch zwischen den Wagen und innerhalb der Wagen. Die Subsysteme in den Wagen und die automatisierungstechnischen Geräte sind an industrielle Kommunikationssysteme angeschlossen. Interoperabilität zwischen den Subsystemen und den Geräten erfordert zusätzlich zu den Kommunikationsdiensten und protokollen Festlegungen, die die Funktionen und deren Parameter syntaktisch und semantisch in sogenannten Profilen spezifizieren. In diesem Projekt sind die Profile für das Kommunikationssystem PROFINET IO zu erstellen. Als Spezifikationsmethode wird durchgängig UML verwendet.

---

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

**Förderer:** EU - Forschungsrahmenprogramm; 01.09.2005 - 01.08.2009

**Virtual Automation Networks (VAN)**

Virtual Automation Networks (VAN) bilden die Kommunikation in heterogenen Netzen unter Einbindung von Weitverkehrsnetzen in industrieller Umgebung. Diese neue Thematik wird in dem gleichnamigen Integrated Project zusammen mit namhaften europäischen Automatisierungsherstellern untersucht. In dem 2005 begonnenen Projekt wurde zunächst der State-of-the-Art der industriellen Kommunikation, vorrangig ethernetbasierte Lösungen, umfassend analysiert. Weiterhin wurden Anforderungen für eine zukünftige VAN-Architektur formuliert.

Das Projekt wird am ifak e.V. Magdeburg bearbeitet. Im Rahmen der engen Kooperation zwischen dem Lehrstuhl Integrierte Automation und dem ifak wird vor allem das Arbeitspaket Engineering des VAN Projektes durch Mitarbeiter des Lehrstuhl unterstützt.

---

**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; 01.12.2007 - 01.12.2010

**Entwicklung asynchroner prädiktiver 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. ... [mehr](#)

---

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

**Förderer:** Haushalt; 01.12.2007 - 01.12.2011

**Parameter- und Strukturidentifikation Nichtlinearer Systeme**

Bei der Modellierung nichtlinearer Systeme treten oftmals viele unbekannte Systemparameter auf oder die Struktur der Modellgleichungen sind teilweise vollständig unbekannt. Im Rahmen dieses Projekts sollen neue Parameter- und Strukturidentifikationsverfahren entwickelt werden, die sich insbesondere auf Probleme aus der Systembiologie und Biomedizin anwenden lassen und die auftretenden, speziellen Systemeigenschaften und -strukturen berücksichtigen.

---

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

**Förderer:** Haushalt; 01.12.2007 - 01.12.2010

**Regelung schneller mechatronischer Systeme unter Beschränkungen**

Viele mechatronische Systeme sind stark nichtlinear und unterliegen Begrenzungen an die Zustands- und Eingangsgrößen. Im Rahmen dieses Projekts sollen optimierungsbasierte Regelungsverfahren entwickelt werden, welche sich auf schnelle mechatronische Systeme anwenden lassen und diese Beschränkungen berücksichtigen.

---

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

**Förderer:** Haushalt; 01.12.2007 - 01.12.2011

**Trajektorienfolgen 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.

---

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

**Kooperationen:** Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Lehrstuhl für chemische Verfahrenstechnik, Prof. Seidel-Morgenstern

**Förderer:** Haushalt; 01.01.2003 - 31.12.2007

**Gleichgewichtstheorie für integrierte Reaktions-Separations-Prozesse und chromatographische Reaktoren**

Im Rahmen des Projektes wird basierend auf der Theorie quasilinearer partieller Differentialgleichungen 1. Ordnung eine einheitlicher Zugang zur Analyse von integrierten Reaktions-Separations-Prozessen entwickelt. Anwendungsbeispiele sind Reaktiv - destillationsprozesse, chromatographische Reaktoren und Membranreaktoren. Mit Hilfe dieser Theorie lassen sich inherente Limitierungen dieser Prozesse bestimmen. Sie kann daher u.a. für den konzeptionellen Prozessentwurf zum schnellen Screening unterschiedlicher Prozessvarianten genutzt werden. Praktische Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der chromatographischen Reaktoren werden gemeinsam mit der Gruppe von Prof. Seidel-Morgenstern untersucht.

---

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

**Kooperationen:** Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme, Freiburg, Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik Kaiserslautern, Mathematisches Institut Uni Freiburg, Abteilung f.

Angewandte Mathematik, Uni Basel, Uni Karlsruhe, Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik

**Förderer:** Sonstige; 01.06.2005 - 31.05.2007

**Modellbasiertes Design von PEM-Brennstoffzellen und PEM-Brennstoffzellensystemen**

Im Projektverbund mit den unten genannten Partnern werden Modelle von PEM-Brennstoffzellen, -stacks und -systemen auf unterschiedlichen Größenskalen entwickelt, von der Feinstrukturskala über die Zell- und Stackskala bis zur Systemskala. Die Modelle werden zur Systemanalyse, zur Prozessgestaltung und zur Prozessführung eingesetzt. Die Arbeiten des MPI verfolgen zwei Hauptziele. Zum einen sollen, ausgehend von den detaillierten Modellen der Projektpartner, reduzierte Modelle niedriger Ordnung von Brennstoffzellenstacks und Gesamtsystemen entwickelt werden. Diese Modelle sollen sich mit vergleichsweise geringem Rechenaufwand auch in Echtzeit lösen lassen. Sie eignen sich daher zur Bearbeitung von Prozessführungsaufgaben, z.B. zur Regelung oder Online-Diagnose von Brennstoffzellensystemen. Das zweite Ziel ist die Aufklärung von Mechanismen, die in Brennstoffzellensystemen zu Instabilitäten führen können. ... [mehr](#)

---

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

**Kooperationen:** Uni Magdeburg, Dr. Peglow, Uni Magdeburg, Jun. Prof. Heinrich, Uni Magdeburg, Prof. Mörl

**Förderer:** Haushalt; 01.01.2004 - 31.12.2007

**Nichtlineare Dynamik bei der Wirbelschicht-Sprühgranulation**

Die Partikelbildung in Wirbelschichten durch Granulation und Agglomeration spielt eine wichtige Rolle bei der Produktion von Lebensmitteln und Pharmazeutika. Das vorliegende Projekt beschäftigt sich mit der modellgestützten Analyse des dynamischen Verhaltens solcher Prozesse. Es konnte gezeigt werden, dass diese Prozesse in Verbindung mit einer externen Produktklassierung, wie sie in der Praxis häufig angewendet wird, zu dynamischen Instabilitäten in Form nichtlinearer Oszillationen neigen. Im Rahmen des Projektes werden mögliche Ursachen für dieses Verhalten sowie Strategien zur Stabilisierung untersucht.

---

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

**Kooperationen:** IIT Madras (Indien), Prof. Pushpavanam, Purdue University/USA, Prof. Ramkrishna

**Förderer:** Haushalt; 01.05.2006 - 30.04.2010

**Nichtlineare Dynamik von Bioreaktoren**

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

*E. coli* betrachtet. Experimentelle Beobachtungen zeigen, dass infolge der o.g. Regulationsmechanismen sowohl mehrfache stationäre Zustände als auch nichtlineare Oszillationen auftreten können. ... [mehr](#)

---

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

**Kooperationen:** Mitglieder der DFG-Forscherguppe FOR 447

**Förderer:** DFG; 01.09.2003 - 30.08.2008

**Nichtlineare Dynamik von Membranreaktoren**

Das Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung strukturierter dynamischer Modelle für Membranreaktoren, der Analyse von Membranreaktoren hinsichtlich Prozessföhrungseigenschaften und der Bewertung unterschiedlicher Membranreaktor-konzepte im Vergleich zu konventionellen Prozessen. Im ersten Schritt wird eine Familie strukturierter Modelle unterschiedlicher Membranreaktoren entwickelt und in Form einer Modellbibliothek im Modellierungswerkzeug ProMoT implementiert. Die entwickelten Modelle werden in einem zweiten Schritt verwendet, um das autonome Reaktorverhalten - z.B. hinsichtlich Stabilität - und das geregelte Prozessverhalten - z.B. hinsichtlich Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit - zu untersuchen. Ein dritter Schritt soll sich mit der Optimierung von Membranreaktoren beschäftigen. Zu lösende Optimierungsaufgaben betreffen dabei die stationäre Prozesssynthese,

die instationäre Prozessführung sowie die optimale Versuchsplanung. ... [mehr](#)

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Kooperationen:** IIT Madras (Indien), Prof. Pushpavanam  
**Förderer:** Haushalt; 01.01.2006 - 31.12.2007

**Nichtlineare Dynamik von Reaktor-Separator Netzwerken**

Chemische Produktionsanlagen bestehen im wesentlichen aus Reaktions- und Stofftrennprozessen. Typischerweise wird nur ein Teil der zugeführten Ausgangsstoffe in der Reaktionsstufe in Produkte umgesetzt. Unverbrauchte Ausgangsstoffe werden in nachgeschalteten Stofftrennprozessen von den Reaktionsprodukten abgetrennt und in den Reaktor rezykliert. Eine solche Rückführung ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht erforderlich. Im Rahmen des Vorhabens wird das nichtlineare Verhalten solcher gekoppelten Reaktor-Separator Netzwerke untersucht werden. Während sich frühere Untersuchungen auf das Verhalten der einzelnen Prozessstufen beschränken, steht hier der Einfluss der Kopplung zwischen unterschiedlichen nichtlinearen Prozessstufen im Mittelpunkt des Interesses. Die Untersuchungen leisten somit einen Beitrag zum besseren Verständnis von gekoppelten Prozessstufen mit Rückführungen und bilden damit eine wichtige Grundlage für zukünftige Arbeiten zur besseren Prozessgestaltung und Prozessführung von chemischen Produktionsanlagen.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Kooperationen:** Basell Polyolefine GmbH-Ludwigshafen-Germany  
**Förderer:** Haushalt; 15.10.2003 - 31.10.2007

**Optimierte Prozessführung bei der LDPE Polymerisation**

Das vorliegende Projekt beschäftigt sich mit der dynamischen Modellierung und der Entwicklung neuer Prozessführungsstrategien für einen Prozess zur Herstellung von Hochdruck-Polyethylen mit niedriger Dichte (LDPE-low density polyethylene) in einem Rohrreaktor. Der Reaktor wird bei sehr hohen Drücken von 1000-3500 atm betrieben und ist sehr lang. Typische Längen liegen im Bereich 500-2500 m. Die Polymerisation ist stark exotherm. Im Einzelnen werden derzeit folgende Fragestellungen untersucht: mathematische Modellierung des Reaktors inklusive Anlagenperipherie, effiziente dynamische Computersimulation des resultierenden hochdimensionalen Modellgleichungssystems, Analyse von Stabilität und Eindeutigkeit stationärer Betriebszustände sowie effiziente Durchführung von Spezifikations- und Produktwechseln.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Kooperationen:** MPI Magdeburg, Prof. Reichel, Prof. Reichel, OvG-Universität Magdeburg, Lehrstuhl für Bioprozesstechnik und Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme  
**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt); 01.01.2005 - 31.12.2008

**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 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. Experimentelle Untersuchungen zur Validierung der entwickelten mathematischen Modelle werden in der Gruppe von Prof. Reichl durchgeführt.

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Förderer:** Haushalt; 01.10.2006 - 30.09.2009  
**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

**Förderer:** Haushalt; 01.07.2006 - 31.07.2007

#### **Regelung von Kristallisationsprozessen**

Die Kristallisation ist ein in der Verfahrenstechnik weit verbreiteter Prozess zur Herstellung kristalliner Feststoffe und deren Aufreinigung. Aufgrund der komplexen Anlagenstruktur, die sich zum Beispiel aus der Benutzung einer zusätzlichen Feinkornauflösung ergibt, kann der Prozess unter gewissen Bedingungen instabil werden. Zur Stabilisierung, Verbesserung der Produkteigenschaften und Reduzierung der Empfindlichkeit gegenüber Störungen bietet sich die Verwendung einer Regelung an. Ziel des Projektes ist dabei der Entwurf und die experimentelle Verifikation eines geeigneten Reglers. Zur Anwendung sollen hierbei insbesondere modellgestützte Verfahren der Regelungstechnik kommen.

---

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

**Förderer:** Haushalt; 01.04.2006 - 31.03.2009

#### **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 von Regelungsstrategien gelöst werden. Durch den Einsatz von Regelungen während des Anfahrprozesses ergeben sich einige Vorteile gegenüber konventionellen Methoden, wie zum Beispiel stationäre Genauigkeit, Erhöhung der Betriebssicherheit sowie Unempfindlichkeit gegenüber Störeinflüssen.

---

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

**Kooperationen:** TU Donezk, Prof. Svjatnny

**Förderer:** Sonstige; 01.10.2005 - 31.10.2007

#### **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. Derzeit werden zum Einen die Optimierungsmethoden verbessert und weiterentwickelt. Es werden deterministische gradientenbasierte Optimierungsverfahren und genetische Algorithmen implementiert. ... [mehr](#)

---

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

**Kooperationen:** IIR Bombay/Indien, Prof. Mahjani, Mitglieder der DFG-Forschergruppe 468

**Förderer:** DFG; 01.01.2004 - 31.01.2008



### **Synthese kombinierter Reaktions-Destillations-Prozesse**

Die Kombination von Stofftrennung und Reaktion in einer Reaktivdestillationskolonne ist in vielen Fällen sehr wirtschaftlich im Vergleich zu konventionellen Prozessen, bei denen Stofftrennung und Reaktion in getrennten Apparaten durchgeführt werden. Allerdings ist die Bestimmung optimaler Prozesskonfigurationen und optimaler Betriebsbedingungen bei der Reaktivdestillation aufgrund der großen Komplexität schwierig. Im Rahmen des vorliegenden Projektes werden dazu in enger Zusammenarbeit mit der mathematischen Optimierung geeignete Optimierungsstrategien entwickelt. Schwerpunkte im Rahmen dieses Teilprojektes liegen bei der Auswahl geeigneter Benchmark-Probleme und deren mathematischer Modellierung, der Bestimmung geeigneter Superstrukturen durch physikalische Vorüberlegungen sowie bei der Entwicklung von Shortcut-Methoden und -Modellen. ... [mehr](#)

---

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

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

**Förderer:** Land (Sachsen-Anhalt); 01.01.2005 - 31.12.2008

### **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 geeignete mathematische Modelle entwickelt und anhand von Messdaten validiert.

## **5. Veröffentlichungen**

### ***Originalartikel in begutachteten internationalen Zeitschriften***

#### **Flockerzi, D. ; Bohmann, A. ; Kienle, Achim**

On the existence and computation of reaction invariants

In: Chemical engineering science. - Amsterdam: Elsevier, Bd. 62.2007, 17, S. 4811-4816; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.629]

#### **Gangadwala, J. ; Radulescu, G. ; Kienle, Achim; Sundmacher, Kai**

Computer aided design of reactive distillation processes for the treatment of waste waters polluted with acetic acid

In: Computers & chemical engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 31.2007, 11, S. 1535-1547; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.404]

#### **Gangadwala, Jignesh; Haus, Utz-Uwe; Jach, Matthias; Kienle, Achim; Michaels, Dennis; Weismantel, Robert**

Global analysis of combined reaction distillation process

In: Computers & chemical engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 32.2007, 1/2, S. 343-355; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.404]

#### **Gangadwala, Jignesh; Kienle, Achim**

MINLP optimization of butyl acetate synthesis

In: Chemical engineering and processing. - Lausanne: Elsevier, Bd. 46.2007, 2, S. 107-118; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.159]

#### **Kaspereit, Malte; Seidel-Morgenstern, Andreas; Kienle, Achim**

Design of simulated moving bed processes under reduced purity requirements

In: Journal of chromatography. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 1162.2007, 1, S. 2-13; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 3.554]

**Krasnyk, M. ; Ginkel, M. ; Mangold, M. ; Kienle, Achim**

Numerical analysis of higher order singularities in chemical process models

In: Computers & chemical engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, Bd. 31.2007, 9, S. 1100-1110; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.404]

**Kulkarni, Amol A. ; Zeyer, Klaus-Peter; Jacobs, Thomas; Kienle, Achim**

Miniaturized systems for homogeneously and heterogeneously catalyzed liquid-phase esterification reaction

In: Industrial & engineering chemistry research. - Washington, DC: American Chemical Society, Bd. 46.2007, 16, S. 5271-5277; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.518]

**Radulescu, Gabriel; Paraschiv, Nicolae; Kienle, Achim**

An original approach for the dynamic simulation of a crude oil distillation plant - 2. Setting-up and testing the simulator

In: Revista de chimie. - Bucuresti, Bd. 58.2007, 3, S. 349-354

[Imp.fact.: 0.287]

**Sainio, T. ; Kaspereit, M. ; Kienle, Achim; Seidel-Morgenstern, Andreas**

Thermal effects in reactive liquid chromatography

In: Chemical engineering science. - Amsterdam: Elsevier, Bd. 62.2007, 18/20, S. 5674-5681; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.629]

**Zeyer, K.-P. ; Kulkarni, A. A. ; Kienle, Achim; Kumar, M. Vasudeva; Pushpavanam, S.**

Nonlinear behavior of reactor-separator networks - influence of the energy balance formulation

In: Industrial & engineering chemistry research. - Washington, DC: American Chemical Society, Bd. 46.2007, 4, S. 1197-1207; [Link unter URL](#)

[Imp.fact.: 1.518]

#### ***Originalartikel in begutachteten zeitschriftenartigen Reihen***

**Jacobs, Thomas; Gomide, Andreza; Kähne, Thilo; Kienle, Achim; Naumann, Michael; Hauptmann, Peter**

Micro fluidic biosensor system based on quartz crystal resonators for fast online adherent cell proliferation and stimulation analysis

In: IEEE sensors 2007 conference, S. 720-723

#### ***Herausgeberschaften***

**Sundmacher, Kai; Kienle, Achim; Pesch, Hans J. ; Berndt, Joachim F. ; Huppmann, Gerhard**

Molten carbonate fuel cells - modeling, analysis, simulation and control. - [Link unter URL](#); Weinheim: WILEY-VCH; XVI, 243 S.: Ill., graph. Darst.; 240 mm x 170 mm, 2007

#### ***Buchbeiträge***

**Gangadwala, Jignesh; Radulescu, Gabriel; Paraschiv, Nicolae; Kienle, Achim; Sundmacher, Kai**

Dynamics of reactive distillation processes with potential liquid phase splitting

In: European Symposium on Computer Aided Process Engineering <17, 2007, Bucuresti>: 17th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, S. 213-218; Computer-aided chemical engineering; 24

**Grötsch, Markus; Mangold, Michael; Sheng, Ming; Kienle, Achim**

Model reduction and state estimation

In: Molten carbonate fuel cells. - Weinheim: WILEY-VCH, S. 185-199, 2007

**Hoffmann, Martin; Mühlhause, Mathias; Chiari, Marco; Schwab, Christian**

Uniform engineering of distributed control systems - the VAN approach

In: ETFA 2007, insges. 4 S.

**Jacobs, T. ; Gomide, A. ; Kaspereit, M. ; Zeyer, K.-P. ; Kienle, Achim; Hauptmann, Peter**

In-line analysis of chemical reactions in micro reactors using thermal mass flow sensors

In: EUROCON 2007. - Piscataway NJ: IEEE Operations Center, S. 571

**Krasnyk, Michael; Mangold, Michael; Kienle, Achim; Sundmacher, Kai**

Hot spot formation and steady state multiplicities

In: Molten carbonate fuel cells. - Weinheim: WILEY-VCH, S. 141-162, 2007

**Mühlhause, Mathias; Diedrich, Christian; Riedl, Matthias; Schmidt, Daniel**

Formalised specification of a test tool for safety related communication

In: ETFA 2007, insges. 8 S.

**Sommer, Steffen; Raisch, Jörg; Sundmacher, Kai**

Start-up of empty cold reactive distillation columns by means of feedback control strategies - the discontinuous stage

In: Conference CD // European Congress of Chemical Engineering - 6. - Lyngby: Techn. Univ. of Denmark, Dep. of Chemical Engineering, insges. 21 S., 2007

**Zeyer, Klaus-Peter; Kulkarni, Amol A. ; Kienle, Achim; Mantravadi, Vasudeva Kumar; Subramanian, Pushpavanam**

Nonlinear behavior of reactor-separator and reactor-distillation networks - influence of the energy balance formulation

In: European Symposium on Computer Aided Process Engineering <17, 2007, București>: 17th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, S. 425-430; Computer-aided chemical engineering; 24

***Dissertationen***

**Schmidt, Christoph**

Durchgängiger Entstehungsprozess einer individuellen Fahrzeugprüfung mit formalisierten Modellen und Methoden.

- Zugl.: Magdeburg, Univ., Fak. für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diss., 2007; Göttingen: Sierke Verl.; XII, 203 S.: graph. Darst.