

# **Forschungsbericht 2006**

**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@E-Technik.Uni-Magdeburg.DE

### **1. Leitung**

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

### **2. Hochschullehrer**

Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich  
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

#### 4. Forschungsprojekte

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

**Förderer:** EU - FPR; 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 perzeptiven 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 - 31.05.2007

##### **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 automati-

sierungstechnischen Geräte sind an industrielle Kommunikationssystem 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 - FPR; 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. Achim Kienle

**Kooperationen:** Heizkraftwerksbetriebsgesellschaft mbH, Magdeburg MTU CFC Solutions GmbH, München, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Ingenieurmathematik IPF

**Förderer:** Haushalt; 01.05.2002 - 31.12.2006

**Dynamik und Regelung von Schmelzkarbonatbrennstoffzellen**

Die Schmelzkarbonatbrennstoffzelle (MCFC) ist ein hoch integrierter Prozess, deren Verhalten von zahlreichen Wechselwirkungen unterschiedlicher physikalisch-chemischer Prozesse bestimmt wird. Derzeit erfolgt der Betrieb von MCFC-Systemen hauptsächlich auf Basis empirischen Wissens. Im Rahmen dieses Projektes sollen modellbasierte Prozessführungsstrategien entwickelt werden, die die Effizienz und Sicherheit von MCFC-Systemen erhöhen. Das Projekt gliedert sich in die drei Bereiche Modellentwicklung, Modellanalyse und Prozessführung. Im ersten Schritt werden Modelle entwickelt, die sich als Grundlage für das modellbasierte Regelverfahren eignen. Da örtlich verteilte bilanzbasierte Modelle für diesen Zweck zu kompliziert und rechenzeitintensiv sind, werden mit Hilfe von POD-Methoden reduzierte Modelle abgeleitet. ... [mehr](#)

---

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

**Kooperationen:** AZOT (Sewerodonetsk)

**Förderer:** Sonstige; 01.09.2001 - 31.08.2006

**Entwurf anlagenweiter Prozessführungsstrategien**

Im Rahmen dieses Projektes wird zurzeit eine anlagenweite Prozessführungsstrategie für eine nach dem Monsanto-Verfahren arbeitende Anlage zur Essigsäureproduktion in Sewerodonetsk, Ukraine entwickelt (in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Automatisierungstechnik/Modellbildung).

---

**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 quasilinear partieller Differentialgleichungen 1. Ordnung ein 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:** IWR Heidelberg, URZ

**Förderer:** Haushalt; 01.01.2005 - 31.12.2006

#### **Modellprädiktive Regelung von Stofftrennprozessen**

Die Prozessführung von simulierten Gegenstrom-Adsorbern (Simulated Moving Bed Chromatographs, SMB) ist immer noch eine Herausforderung für Regelungstechniker. In der Regelung von Destillationskolonnen sind erste Erfolge bei der echtzeitfähigen Implementation von nichtlinearen modellprädiktiven Reglern zu verzeichnen. Übliche Modelle für SMB besitzen jedoch eine zu hohe differentielle Ordnung für eine echtzeitfähige nichtlineare Optimierung. Für beide Prozessklassen - Destillationskolonnen und Adsorber - lassen sich jedoch reduzierte Modelle formulieren, die auf nichtlinearen Wellenphänomenen basieren. Diese Modelle haben eine sehr niedrige Ordnung und bilden dennoch die wesentlichen Phänomene der Stofftrennung ab. Bei Destillationskolonnen sind bereits Regelungskonzepte basierend auf diesen reduzierten Modellen bekannt. ... [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-Forschergruppe 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 Prozessföhrung sowie die optimale Versuchsplanung. ...

[mehr](#)

---

**Projektleiter:** Prof. Dr. Achim Kienle  
**Kooperationen:** IIT Madras (Indien), Prof. Pushpavanam, 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  
**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. Svjatnjy  
**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*

**Angelov, I. ; Raisch, Jörg; Elsner, M. P. ; Seidel-Morgenstern, Andreas**

Optimization of initial conditions for preferential crystallization

In: Industrial & engineering chemistry research. - Columbus, Ohio: American Chemical Society, ISSN 1520-5045, Bd. 45 (2006), 2, S. 759-766

[Imp.fact.: 1.424]

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

Global bounds on optimal solutions for the production of 2,3-dimethylbutene-

In: Industrial & engineering chemistry research. - Columbus, Ohio: American Chemical Society, ISSN 1520-5045, Bd. 45 (2006), 7, S. 2261-2271

[Imp.fact.: 1.424]

**Grötsch, M. ; Gundermann, M. ; Mangold, Michael; Kienle, Achim; Sundmacher, Kai**

Development and experimental investigation of an extended Kalman filter for an industrial molten carbonate fuel cell system

In: Journal of process control: a journal affiliated with IFAC, the International Federation of Automatic Control. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, ISSN 0959-1524, Bd. 16 (2006), 9, S. 985-992

[Imp.fact.: 1.433]

**Grüner, Stefan; Mangold, Michael; Kienle, Achim**

Dynamics of reaction separation processes in the limit of chemical equilibrium

In: American Institute of Chemical Engineers: AIChE journal. - Hoboken, NJ: Wiley, ISSN 1547-5905, Bd. 52 (2006), 3, S. 1010-1026

[Imp.fact.: 2.036]

**Häfele, M. ; Kienle, Achim; Boll, M. ; Schmidt, C.-U.**

Modeling and analysis of a plant for the production of low density polyethylene

In: Computers & chemical engineering: an international journal of computer applications in chemical engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, ISSN 0098-1354, Bd. 31 (2006), 2, S. 51-65

[Imp.fact.: 1.501]

**Kienle, Achim; Seidel-Morgenstern, Andreas; Sundmacher, Kai**

Particulate processes: a special issue of Chemical Engineering and Processing

In: Chemical engineering and processing. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, ISSN 0255-2701, Bd. 45 (2006), 10, S. 813-814

[Imp.fact.: 1.159]

**Krishna, Manthana Vamsi; Pushpavanam, Subramaniam; Kienle, Achim; Sree Rama**

**Raju, V.**

Nonlinear of reactor: separator systems with azeotropic mixtures

In: Industrial & engineering chemistry research. - Columbus, Ohio: American Chemical Society, ISSN 1520-5045, Bd. 45 (2006), 1, S. 212-222

[Imp.fact.: 1.504]

**Sheng, Min; Mangold, Michael; Kienle, Achim**

A strategy for the spatial temperature control of a molten carbonate fuel cell system

In: Journal of power sources: the international journal on the science and technology of electrochemical energy systems. - New York, NY [u.a.]: Elsevier, ISSN 0378-7753, Bd. 162 (2006), 2, S. 1157-1164

[Imp.fact.: 2.770]

**Sree Rama Raju, V. ; Pushpavanam, Subramaniam; Zeyer, K. P. ; Kienle, Achim**

Nonlinear behavior of coupled reactor: separator systems with azeotropic vapor-liquid equilibriums (VLEs): comparison of different control strategies

In: Industrial & engineering chemistry research. - Columbus, Ohio: American Chemical Society, ISSN 1520-5045, Bd. 45 (2006), 3, S. 1019-1028

[Imp.fact.: 1.504]

**Vasudeve Kumar, M. ; Sree Rama Raju, V. ; Pushpavanam, Subramaniam; Kienle, Achim**

Effect of the minimum flux condition in the settler on the nonlinear behavior of the activated process

In: Industrial & engineering chemistry research. - Columbus, Ohio: American Chemical Society, ISSN 1520-5045, Bd. 45 (2006), 17, S. 5996-6006

[Imp.fact.: 1.504]

**waschler, Roland; Angeles-Palacios, Odon; Ginkel, Martin; Kienle, Achim**

Object-oriented modelling of large-scale chemical engineering processes with ProMoT

In: Mathematical and computer modelling of dynamical systems: MCMDS. - Lisse: Swets & Zeitlinger, Bd. 12 (2006), 1, S. 5-18

[Imp.fact.: 0.098]

**Zhang, Fan; Mangold, Michael; Kienle, Achim**

Stationary spatially periodic and aperiodic solutions in membrane reactors

In: Chemical engineering science. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, ISSN 0009-2509, Bd. 61 (2006), 21, S. 7161-7170

[Imp.fact.: 1.735]

***Originalartikel in begutachteten zeitschriftenartigen Reihen***

**Groetsch, Markus; Mangold, Michael; Sheng, Min; Kienle, Achim**

State estimation of a molten carbonate fuel cell by an Extended Kalman filter

In: European Symposium on Computer Aided Process Engineering : 16th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process System Engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, (2006), S. 1161-1166 (Computer-aided chemical engineering; 21 A)

**Haus, Utz-Uwe; Gangadwala, J. ; Kienle, Achim; Michaels, Dennis; Seidel-Morgenstern, Andreas; Weismantel, Robert**

Global bounds on optimal solutions in chemical process design

In: European Symposium on Computer Aided Process Engineering : 16th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process System Engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, (2006), S. 155-160 (Computer-aided chemical engineering; 21 A)

**Krasnyk, M. ; Bondareva, K. ; Milokhov, O. ; Teplinskiy, K. ; Ginkel, M. ; Kienle, Achim**  
The ProMoT/Diana simulation environment

In: European Symposium on Computer Aided Process Engineering : 16th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process System Engineering. - Amsterdam [u.a.]: Elsevier, (2006), S. 445-450 (Computer-aided chemical engineering; 21 A)

***Wissenschaftliche Monografien***

**Pathath, Prasanna Kumar**

Nonlinear oscillations in continuous crystallization processes

In: Aachen: Shaker, 2006. - XVI, 112 S. : graph. Darst. ; 21 cm, 228 gr.. - (Forschungsberichte aus dem Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme; 16)Zugl.: Magdeburg, Univ., Fak. für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diss., 2006

***Andere Materialien***

**Radulescu, Gabriel; Gangadwala, Jignesh; Kienle, Achim; Steyer, Frank; Sundmacher, Kai**

Dynamic simulation of reactive distillation processes with liquid-liquid phase splitting

In: Universitatea Petrol-Gaze : Buletinul Universit<sup>o</sup>a tii Petrol-Gaze din Ploie sti / Seria Tehnic<sup>o</sup>a. Seria Tehnic<sup>o</sup>a. - Ploie sti, ISSN 1224-8495, Bd. 58 (2006), 1, S. 1-12