



Wolfgang Augustin (Herausgeber)  
Stephan Scholl (Herausgeber)  
**Institut für Chemische und Thermische  
Verfahrenstechnik**  
Institutsbericht 2019 – 2020



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8356>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

## 1 Vorbemerkung

Was für ein Jahr! Der Coronavirus Covid-19 hält uns noch mitten in der zweiten Welle gefangen und doch könnte man beim Lesen dieses Berichts des Instituts für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig für die Jahre 2019 und 2020 den Eindruck gewinnen, es sei Alles wie immer. Dem ist seit Frühjahr 2020 natürlich nicht so. Unser aller berufliches wie privates Leben hat Wendungen erfahren, die wir uns vor knapp einem Jahr nicht vorstellen konnten. Und doch möchten wir Ihnen - wie immer so auch in diesem besonderen Jahr - einen Einblick in unsere Aktivitäten in Forschung und Lehre am ICTV geben und dies mit einem Blick auf unsere akademische Umgebung und die TU als Ganzes abrunden.

In den fünf Arbeitsgebieten des ICTV,

- Fouling und Reinigung,
- Innovative Apparate und Anlagenkonzepte,
- Nachhaltige Produktionstechnologien,
- Prozesstechniken der Wirkstoffe sowie
- Pharmazeutisch-Chemische Reaktionstechnik

beforschen wir eine breite Palette von grundlagen- bis anwendungsorientierter Themen.

In der Arbeitsgruppe *Fouling und Reinigung*, geleitet von Dr.-Ing. Wolfgang Augustin, startete nach langem Vorlauf zum 01.11.2020 das Verbundprojekt SAMARA zur *Entwicklung einer standardisierten Methodik für Design und Bewertung von Apparaten und Equipment in foulinggefährdeten Trennprozessen*. Die elf industriellen und vier akademischen Partner wollen eine standardisierte Methodik zur Ermittlung und Quantifizierung von Fouling in Verdampfern und Kolonnen entwickeln, die im Erfolgsfall Grundlage einer entsprechenden VDI-Richtlinie sein kann. Weitergeführt werden die Arbeiten zum Partikelfouling auf strukturierten Oberflächen, speziell Dellenoberflächen, zur lokalen Foulingbildung, zur sensorbasierten Verfolgung des Reinigungsbedarfs und des Reinigungsergebnisses in geschlossenen Systemen sowie allgemein zur Reinigung in immersierten Systemen. Die früheren Arbeiten zum Polymerfouling führen wir im Rahmen des Verbundprojektes KoPPonA 2.0 fort und untersuchen jetzt auch das Belagbildungsverhalten reagierender Systeme während der Emulsionspolymerisation. Noch eher wenig erforscht ist die Alterung von Foulingbelägen, obwohl diese doch ganz wesentlich das nachfolgende Reinigungsverhalten der Beläge beeinflusst. Wir widmen uns diesem Thema ab Anfang 2021 in einem neu eingeworbenen DFG-Projekt.

Im Arbeitsgebiet *Innovative Apparate und Anlagenkonzepte*, geleitet von Dr.-Ing. Katharina Jasch, erforschen wir seit zwei Jahren in einem Cluster aus zwei DFG-

und fünf AIF-Projekten das *Physikalisch basierte Management störender Schäume in Produktionsanlagen: Prävention, Inhibierung und Zerstörung*. Wir sind mit zwei AIF-Projekten beteiligt, in denen wir zum einen die Schaumbildung unter Siedebedingungen und zum anderen die Auswirkung von Schäumen auf die Trennleistung von Packungskolonnen ansehen. Es ist sehr spannend zu sehen, wie anders sich Schaum unter Siedebedingungen verhalten als wenn diese durch Einblasen eines Inertgases, z. B. Luft, erzeugt werden. In Fortführung erfolgreicher Kooperationen mit Partnern an der TU München, der Uni Kassel und der Uni Paderborn untersuchen wir die Steigerung der Energieeffizienz chemischer Produktionsprozesse durch innovative Wärmeübertrager. Für einen Kissenplatten-Naturumlaufverdampfer untersuchen wir das Betriebsverhalten insbesondere bei der Verdampfung von Gemischen. Fortgeführt werden die Arbeiten zum Einsatz von Turbulenzpromotoren, speziell hiTRAN-Drahtgestrickeinbauten, zur Leistungssteigerung bei der Naturumlaufverdampfung sowie bei der Kondensation in vertikalen Rohren. Zum Jahresende 2020 auslaufend ist das Verbundprojekt TERESA, das sich mit der Tropfenentstehung und -reduzierung in Stoffaustauschapparaten befasst hat. Dort konnten wir zeigen, welchen Einfluss stoffliche, betriebliche und apparative Parameter auf den Mitriss von Tropfen in einem Zwangsumlauf-Entspannungsverdampfer haben. Ebenfalls fortgeführt werden unsere Arbeiten zur Dünnschicht- und Kurzwegverdampfung, bei denen wir tiefere Einblicke in das Benetzungs-, Verweilzeit- und Wärmeübertragungsverhalten dieser Apparate gewinnen konnten. Anfang 2021 werden wir an einem weiteren neuen Verbundprojekt beteiligt sein, das die Reduzierung klimarelevanter Prozessemissionen durch eine verbesserte Auslegung von Packungskolonnen anstrebt.

Das Arbeitsgebiet *Nachhaltige Produktionstechnologien*, geleitet von Dr.-Ing. Mandy Paschetag, beforscht sowohl technologische Problemstellungen nachhaltiger Produktionsverfahren wie auch deren ökologische und ökonomische Bewertung. Dabei fokussieren wir primär auf sog. Prozessökobilanzen zur Unterstützung der Entwicklung neuer und Optimierung bestehender Verfahren. Insbesondere bei der Entwicklung einer Verwertungstechnologie für PET-Alt kunststoffe aus Multilayer- und anderen Abfallverbunden hilft uns dies bei der Identifikation und Quantifizierung von Verbesserungspotentialen sowie der Darstellung der ökologischen Vorteilhaftigkeit gegenüber alternativen Recyclingverfahren. Unser Projektpartner Rittec Umwelttechnik GmbH wurde jüngst mit dem Next Economy Award des Deutschen Nachhaltigkeitspreises ausgezeichnet, ein toller Ausweis unseres gemeinsamen Beitrags zur Lösung dieses drängenden gegenwärtigen Umweltproblems. Neu aufgenommen wurden in diesem Jahr Arbeiten im Rahmen des Kooperationsprojektes CYKATT zur Bewertung cyberphysischer Kläranlagenkonzepte mit thermisch hochvernetzten Teilprozessen. Dafür werden zum Jahresende die Arbeiten in dem Verbundprojekt Mi<sup>2</sup>Pro zum Abschluss kommen. Auch hier wurden auf dem Feld der kontinuierlichen Milli- und Mikroproduktionstechnik sowohl technologische Fragestellungen wie auch deren ökologische Bewertung bearbeitet.

In dem Arbeitsgebiet *Prozesstechniken der Wirkstoffe*, geleitet von Annika Hohlen, M. Sc., beforschen wir in zwei Projekten Themenstellungen aus dem Bereich der Kristallisation. Wir untersuchen die schonende, kontinuierliche Kristallisation in einem Archimedische-Schraube-Kristallisator-Reaktor und entwickeln und erproben zusammen mit der Hochschule Mannheim ein Sensorsystem zur Überwachung von Kristallisationsprozessen. Ebenfalls mit der HS Mannheim untersuchen wir den Einsatz von Ramandektoren zur Verfolgung der Reaktionskinetik, dies speziell in Verbindung mit unserem Liquid Handling System. Weitere Themen sind die Salzabtrennung aus Aminosäuren mittels Elektrodialyse sowie ab Anfang 2021 eine Methodik zur modellgestützten Charakterisierung der Flüssigphasenadsorption.

Im Arbeitsgebiet *Pharmazeutisch-Chemische Reaktionstechnik*, geleitet von Jun.-Prof. Dr. Julia Großeheilmann, wird weiter an Polymerisierten Ionischen Flüssigkeiten (PILs) als innovative Arzneistoffträger in steuerbaren und individualisierten Arzneiformen geforscht. Dieses Projekt wird über die DFG finanziert. Das Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung neuartiger Wirkstofffreisetzungssysteme auf Basis von PILs-basierten Hydrogelen, wobei das Konzept der pH-responsiven Polymere für eine effektive Wirkstofffreisetzung am Wirkungsort berücksichtigt wird. Weitere Forschungsschwerpunkte sollen interdisziplinär im Grenzbereich zwischen Verfahrenstechnik, Chemie, Pharmazie und Materialwissenschaften angesiedelt sein. Zum einen soll das Thema PILs-basierte Hydrogele als mechanisch stabile Immobilisierungsmatrix zur Verwendung in katalytischen Reaktoren bearbeitet werden. Zum anderen soll die Kompartimentierung von Bio- und Chemokatalysatoren zur Optimierung eines mehrstufigen Eintopfprozesses untersucht werden.

Das Arbeitsgebiet Prozesstechniken der Wirkstoffe ist ebenso wie das Arbeitsgebiet Pharmazeutisch-Chemische Reaktionstechnik im Zentrum für Pharmaverfahrenstechnik angesiedelt. Dieses ist jetzt seit gut drei Jahren in seinem regulären Betrieb und erweist sich als ein hervorragender Ort für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Pharmazie, Verfahrenstechnik, Mikrotechnik, Produktionstechnik und weiteren Beteiligten. Zur Stärkung der Zusammenarbeit insbesondere mit kleinen und mittelständischen Firmenpartnern wurde in 2020 erfolgreich ein Innovationsnetzwerk des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand des BMWi zum Thema *Pharmaproduktionstechnologie* eingeworben. Hier sind derzeit acht Industrieunternehmen und sieben Partner aus dem PVZ beteiligt und entwickeln gemeinsame Projekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Pharmaproduktionstechnologie und darüber hinaus.

Für die TU als Ganzes war in den zurückliegenden Jahren sicher die Bewerbung um den Status einer Exzellenzuniversität im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes das herausragende Ereignis. Auch wenn wir am Ende nicht zu den Ausgezeichneten gehörten, so hat doch der Prozess dorthin eine belebende Dynamik im Miteinander in der TU zutage gefördert, die es aufrecht zu erhalten und weiter zu befördern gilt. Wenige Monate nach Abschluss dieses Prozesses folgte unsere

Präsidentin Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla dem Ruf auf den Vorstandsvorsitz des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, so dass aktuell das Verfahren für die Findung einer neuen Präsidentin oder eines neuen Präsidenten der TU läuft.

Während Corona in der Forschung nur moderate Spuren hinterlassen hat, waren die Auswirkungen in Studium und Lehre umso gravierender. Buchstäblich innerhalb weniger Tage musste im Frühjahr das Sommersemester 2020 von Präsenzauf virtuelle Lehre umgestellt werden. Dass dies im Wesentlichen so umfassend und erfolgreich lief, ist dem außerordentlichen Engagement aller Beteiligten zu verdanken. Was vorher als schwierig bis kaum machbar galt, ein vollständig virtuelles Semester, war von einem Tag auf den anderen alternativlos. Derzeit sind wir mitten im zweiten virtuellen Semester und nach Lage der Dinge wird wohl auch das Sommersemester 2021 noch keine großen Präsenzveranstaltungen sehen. Dabei stellt man dann auch fest, dass Studieren eben doch mehr ist als die reine Stoffvermittlung und Übungsmitschriften. Das studierende, lehrende, lernende, forschende und soziale Miteinander werden allseits schmerzlich vermisst. Die sich ankündigenden Impfmöglichkeiten geben Hoffnung auf eine Besserung in 2021.

Mit diesen ermutigenden Aussichten möchte ich Sie einladen zur Lektüre unseres aktuellen Institutsberichts. Ich hoffe, Sie finden darin ansprechende und inspirierende Themen und Ideen und ich freue mich auf Ihre Rückmeldungen, Anregungen und Kommentare.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, allen Studierenden, ob sie ihre studentischen Arbeiten am ICTV anfertigten oder als studentische Hilfskraft tätig waren, sowie allen akademischen und industriellen Partnern danke ich sehr herzlich für ihr Engagement und konstruktive Mitgestaltung des gemeinsamen Weges. Bleiben Sie gesund und achtsam!

Braunschweig, im Dezember 2020

Handwritten signature of Stephan Scholl in cursive script.

## 2 Mitarbeiter

Geschäftsführender Leiter:	Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl		
		<i>Bis</i>	<i>Ab</i>
Sekretariat:	Marion Harms Anike Altschwager		
Juniorprofessorin: Akademischer Direktor:	Prof. Dr. Julia Großeheilmann Dr.-Ing. Wolfgang Augustin		
Emeritus:	Prof. Dr.-Ing. Matthias Bohnet		
Wissenschaftliche MitarbeiterInnen:		<i>Bis</i>	<i>Ab</i>
	David Appelhaus, M.Sc.		<i>01.04.2020</i>
	Lars Biermann M.Sc., geb. Leipert		
	Esther Brepohl M.Sc., geb. Peschel		
	Hannes Deponte M.Sc.		
	Dipl.-Ing. Nathalie Gottschalk		
	Sven Gutperl M.Sc.		
	Dave Hartig M.Sc.	<i>30.09.2019</i>	
	Caroline Martha Heiduk, M.Sc.		<i>15.11.2019</i>
	Janina Heinze M.Sc., geb. Grimm	<i>08.09.2020</i>	
	Annika Hohlen M.Sc.		
	Luca Jäger, M.Sc.		<i>01.11.2019</i>
	Stefan Jahnke M.Sc.		
	Niklas Jarmatz M.Sc.		
	Dr.-Ing. Katharina Jasch		
	Lars Leipert M.Sc.		
	Yan Lu M.Sc.		
	Dipl.-Ing. Marius Meise	<i>31.12.2020</i>	
	Conrad Meyer M.Sc.		<i>01.03.2019</i>
	Andrea Mildner M.Sc.		

	Clemens Müller M.Sc.	
	Dipl.-Ing. André Paschetag	<i>16.10.2019</i>
	Mandy Paschetag M.Sc., geb. Wesche	
	Moritz Rehbein M.Sc.	<i>30.06.2020</i>
	Lukas Rohwer	<i>01.11.2020</i>
	Tobias Sauk M.Sc.	<i>30.06.2020</i>
	Dipl.-Ing. Florian Schlüter	<i>31.12.2019</i>
	Lukas Schnöing M.Sc.	
	Natalie Schwerdtfeger M.Sc.	
	Christoph Spiegel M.Sc.	
	Rolf Staud M.Sc.	<i>01.02.2019</i>
	Laura Strodtmann, M.Sc.	<i>01.01.2019</i>
	Franziska Teubner M.Sc.	<i>01.12.2020</i>
	Dipl.-Ing. Nils Warmeling	<i>30.06.2019</i>
	Hanna Wiese M.Sc.	
Labor:	Sabine Knoblauch	
	Anke Radeleff	
	Simone Schulze	
Elektronikwerkstatt:	Jörg Leppelt	
	Carina Meier	<i>31.01.2019</i>
Technikum:	Karl Karrenführer	
	Sven Lorenzen	
	Lukas Marx	<i>18.07.2019</i>
Auszubildende/r:	Christopher Lange	<i>01.08.2019</i>
	Lukas Marx (tech)	<i>17.01.2019</i>
Studentische Hilfskräfte	45 (Stand August 2020)	

## 2.1 Neue wissenschaftliche MitarbeiterInnen

### Caroline Heiduk

*Studium*

*TU Braunschweig, Master  
THM Gießen, Bachelor*

*Studiengang*

*Pharmaingenieurwesen - Master  
Bio/Biopharmazeutische Technologie-Bachelor*

*Masterarbeit*

*„Optimierung der kontinuierlichen  
di-N-Alkylierung von 1H-Benzimidazole“*

*ICTV-Arbeitsgruppe*

*Prozesstechnik der Wirkstoffe*



### Luca Jäger

*Studium*

*TU Braunschweig*

*Studiengang*

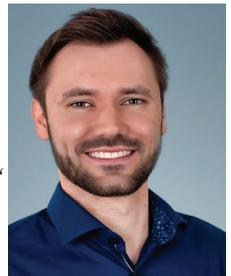
*Biotechnologie, Bioprozesstechnik - Master*

*Masterarbeit*

*„Untersuchungen zur Durchmischung und  
Kristallbruch in einem Rotating Disc Reactor“*

*ICTV-Arbeitsgruppe*

*Prozesstechniken der Wirkstoffe*



### David Appelhaus

*Studium*

*TU Braunschweig*

*Studiengang*

*Bio- und Chemieingenieurwesen – Master*

*Masterarbeit*

*„Datenanalyse und Merkmalsextraktion  
historischer Messdaten eines Naturumlauf-  
verdampfers als Grundlage von Machine  
Learning Modellen“*

*ICTV-Arbeitsgruppe*

*Innovative Apparate- und Anlagentechnik*



## **Lukas Rohwer**

<i>Studium</i>	<i>TU Braunschweig</i>
<i>Studiengang</i>	<i>Energie und Verfahrenstechnik</i>
<i>Masterarbeit</i>	<i>„Strömungstechnische Untersuchung des Partikelabtrags von dellenstrukturierten Oberflächen unter Foulingbedingungen“</i>
<i>ICTV Arbeitsgruppe</i>	<i>Fouling und Reinigung</i>



## **Franziska Teubner**

<i>Studium</i>	<i>TU Braunschweig</i>
<i>Studiengang</i>	<i>Biotechnologie Master</i>
<i>Masterarbeit</i>	<i>„Herstellung und Charakterisierung von Polymerisierten Ionischen Flüssigkeiten (PILs)-basierten Hydrogelen als neuartige Wirkstofffreisetzungssysteme“</i>
<i>ICTV Arbeitsgruppe</i>	<i>Pharmazeutisch-chemische Reaktionstechnik</i>



## **3 Lehre und Weiterbildung**

### **3.1 Vorlesungen**

#### Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl

Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik	(WS, VL 02, UE 01)
Hybride Trennverfahren (bis SS 2019)	(SS, VL 02, UE 01)
Advanced Fluid Separation Processes (ab SS 2020) <i>(chem. Hybride Trennverfahren)</i>	(SS, VL 02, UW 01)
Chemische Verfahrenstechnik	(SS, VL 02, UE 01)
Computer Aided Process Engineering I (Introduction)	(SS, VL 02, UE 01)
Gestaltung nachhaltiger Prozesse der Energie- und Verfahrenstechnik	(SS, VL 02, UE 01)

Grundlagen der Thermischen Verfahrenstechnik  
(für Biotechnologen und Pharmaingenieure) (WS, VL 02, UE 01)

Thermische Verfahrenstechnik für Fortgeschrittene  
(für Biotechnologen) (SS, VL 02, UE 01)

Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl, Dr.-Ing. Wolfgang Augustin

Computer Aided Process Engineering II  
(Design verfahrenstechnischer Anlagen) (WS, VL 02, UE 01)

Einführung in die Mehrphasenströmung (SS, VL 02, UE 01)

Prof. Dr. Julia Großheilmann

Membrantechnologie (WS, VL 02, UE 1)

Pharmazeutisch-Chemische Reaktionstechnik (SS, VL 02, UE 1)

Industrielle Prozesse und Technische Katalyse (WS, VL 02, UE 1)

Dr.-Ing. Detlev Markus, PTB

Prozess- und Anlagensicherheit (SS, VL 01)

Dr.-Ing. Jan-Christopher Kuschneron, Hammann GmbH

Ionische Flüssigkeiten: innovative Prozessfluide in  
der Verfahrenstechnik (SS, VL 02)

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Ulbig, PTB

Messtechnik in der Energie- und Verfahrenstechnik  
(bis WS 18/19) (WS, VL 01)

Dr.-Ing. Martin Schöler,

Pharmazeutisches Containment (ab WS 19/20) (WS, VL 01)

### **Inhalte der Vorlesungen**

#### **Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik, Advanced Fluid Separation Processes (chem. Hybride Trennverfahren)**

In den Vorlesungen Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik, Advanced Fluid Separation Processes (*ebem. Hybride Trennverfahren*) werden die verschiedenen

Grundoperationen der thermischen Stofftrennung mit ihren theoretischen Grundlagen, apparativen Umsetzungen und verfahrenstechnischen Anwendungen vorgestellt. Charakteristisch für diese Trennverfahren ist die Anwesenheit von mindestens zwei Phasen, die nicht im Gleichgewicht stehen bzw. bei denen die Einstellung des Gleichgewichtes permanent gestört wird. Es werden dadurch Austauschvorgänge für Impuls, Wärme und Stoffe ausgelöst, die zu einer Stofftrennung führen.

Die Vorlesung **Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik** umfasst die Kapitel:

- Stoffdaten von Reinstoffen und Gemischen
- Phasengleichgewichte: Dampf-flüssig, flüssig-flüssig, flüssig-fest
- Verdampfung und Kondensation: Wärmeübergang, Betriebsverhalten, Fouling
- Kristallisation: Eindampfung von Lösungen, Mehrstufenverdampfung, Wärmeintegration
- Rektifikation: Verstärkungs- und Abtriebssäule, minimales Rücklaufverhältnis, McCabe-Thiele-Diagramm, h-x-Diagramm
- Absorption: Ab- und Desorption, minimale Waschmittelmenge, Kreislauffahrweise, Stoffübergang, HTU-NTU-Konzept

In der Vorlesung **Advanced Fluid Separation Processes** werden behandelt:

- Identifizierung vorteilhafter Einsatzfälle der verfahrenstechnischen Grundoperationen: Absorption, Chromatographie, Trocknung und Membranverfahren.
- Entwurf einer apparativen Umsetzung und quantitative Gestaltung einer gegebenen Verfahrensaufgabe.
- Bewertung bestehender Verfahrensweisen und apparativer Lösungen.
- Stofftransportmodell unterschiedlicher Komplexität und deren Anwendung.
- Vor- und Nachteile einer reaktionsintegrierten Stofftrennung, Identifizierung vorteilhafter Einsatzfälle.
- Entwicklung und Bewertung eines Verfahrens- und Apparatekonzeptes.

### **Chemische Verfahrenstechnik**

In der Vorlesung werden die wesentlichen Aspekte zur Realisierung von Reaktionsschritten in chemischen Produktionsverfahren sowie zur Integration von Reaktion und Stofftrennung vermittelt:

- Grundlagen
  - Gleichgewicht: Physikalisch, chemisch
  - Kinetik: Wärme- und Stoffübergang, Reaktionskinetik
  - Reaktionstypen, homogene und heterogene Katalyse
  - Stoff- und Energiebilanzierung

- Reaktionsprozesse und Reaktoren
  - Laborreaktoren: Rührzelle, Laminarstrahlkammer, Differenzialkreislaufreaktor
  - Technische Reaktortypen: Einsatzgebiete, Grundlagen der Berechnung
  - Isotherme vs. nicht-isotherme Reaktoren
- Kombination von Reaktion und Stofftrennung
  - Chemisorption, Reaktivrektifikation, Reaktivextraktion

### **Computer Aided Process Engineering I (Introduction)**

Based on the theory for thermal separation processes as presented in *Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik* the typical workflow for process design and optimization is demonstrated. Commercial software products are employed for modeling and simulation of the following tasks:

- Physical properties and phase equilibria: Data retrieval, regression of experimental data, parameter estimation
- Two phase flash: Single stage separation, integral vs. differential operation mode
- Rigorous modeling of a rectification column: Binary mixture, multicomponent mixture, design specifications, sensitivity analysis
- Flow sheet simulation for multistage separation: Feed forward, recycles
- Equipment design: Selection and sizing for distillation columns, heat exchangers, reboilers, condensers
- Costing, process optimization

The lecture is presented in English language at the institute in the Electronic Classroom.

### **Computer Aided Process Engineering II**

(Design verfahrenstechnischer Anlagen)

Die Vorlesung vermittelt die Grundlagen der Anlagenplanung und wird durch eine Projektarbeit zum Design eines vollständigen verfahrenstechnischen Prozesses begleitet. Dabei wird eine kommerzielle Software für die Fließbildsimulation verwendet. Hauptthemen der Vorlesung sind:

- Prozessdatenbeschaffung (z.B. physikalische Eigenschaften, Sicherheitsdaten, Kapazitätsdaten)
- Prozessentwicklung anhand von Reaktionsgleichungen
- Wärme- und Massenbilanzen, Fließbildsimulation
- Dimensionslose Kennzahlen für überschlägige Dimensionierung von Apparaten
- Auswahl und genaue Dimensionierung geeigneter Apparate (z.B. Kolonnen, Wärmeübertrager)
- Computer Aided Process Engineering
- Kostenschätzung
- Rechtliche Aspekte (z.B. Umweltauflagen, Genehmigungsverfahren)

## **Gestaltung nachhaltiger Prozesse der Energie- und Verfahrenstechnik**

Vor dem Hintergrund einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsstrategie, die sowohl ökologische, ökonomische als auch soziale Aspekte umfasst, veranschaulicht die Vorlesung, an welcher Stelle eines typischen Produktlebenszyklus Ingenieure einen entscheidenden Einfluss auf die Nachhaltigkeit nehmen können. Die Integration von Nachhaltigkeitsbetrachtungen in den Workflow einer Verfahrensbearbeitung, die dabei auftretenden Anforderungen an eine nachhaltige Prozessentwicklung, die Vorgehensweise bei einer ökologischen Betrachtung sowie Werkzeuge zur Ökobilanzierung werden in der Vorlesung ausführlich behandelt. In einer begleitenden Übung werden Grundkenntnisse im Umgang mit der Stoffstrommodellierungssoftware umberto® sowie neue Methoden zum Erstellen von Stoffstrommodellen und zur ökologischen Bewertung von verfahrenstechnischen Prozessen vermittelt.

Wesentliche Vorlesungsinhalte:

- Definition und Bedeutung von Nachhaltigkeit
- Beispiele nachhaltiger Produkte (Übertragbarkeit auf Produktionsprozesse)
- Integration von Nachhaltigkeitsbetrachtungen in den Workflow einer Verfahrensentwicklung
- Vorgehen bei ökologischen Betrachtungen und Bewertungen
- Herausforderungen in der Forschung und Entwicklung
- Werkzeuge der Ökobilanzierung (Software, Datenbanken, Ansätze)
- Stoffstrommodellierung
- Nachhaltiges Prozess- und Anlagendesign

## **Grundlagen der Thermischen Verfahrenstechnik / Thermische Verfahrenstechnik für Fortgeschrittene (für Biotechnologen und Pharmaingenieure)**

Grundlage für die Auslegung von Apparaten in der thermischen Verfahrenstechnik ist die Berechnung des Wärme- und Stoffaustausches zwischen mindestens zwei Phasen unterschiedlicher Zusammensetzung. Die für die Transportvorgänge notwendigen treibenden Kräfte ergeben sich aus dem Ungleichgewicht bezüglich Temperatur und Konzentrationen zwischen den in Kontakt stehenden Phasen. Nach einer kurzen Darstellung der Grundlagen zu Wärme- und Stoffübertragung sowie zur Ähnlichkeitstheorie werden die thermischen Grundoperationen der Verfahrenstechnik behandelt, die am häufigsten in der Bioverfahrenstechnik Anwendung finden: Verdampfung und Kondensation, Kristallisation, Rektifikation, Absorption, Extraktion, Adsorption und Chromatographie, Trocknung, Membranverfahren.

## **Einführung in die Mehrphasenströmung**

Neben den einphasigen Strömungen sind in der Verfahrenstechnik die zwei- und dreiphasigen Strömungen von großer Bedeutung. Diese treten nicht nur beim

Transport der Stoffe zwischen den einzelnen Apparaten der thermischen Trenntechnik und den Reaktoren auf, sondern bestimmen auch die Konstruktion der Apparate selbst, z. B. Wirbelschicht- und Rührreaktoren. Weitere Anwendungsgebiete der Mehrphasenströmungen sind die pneumatische und hydraulische Förderung, sowie die damit verbundenen Aufgabe- und Abscheidevorrichtungen, z. B. Injektoren und Zyklone. In der chemischen Reaktionstechnik, der Biotechnologie und anderen Gebieten der Verfahrenstechnik findet man in zunehmendem Maße auch Dreiphasenströmungen aus Gas, Feststoff und Flüssigkeit, z. B. in Dreiphasen-Wirbelschicht-Reaktoren.

Nach einer Darstellung der strömungstechnischen Grundlagen (Rohrströmung, Ähnlichkeitstheorie, Partikelumströmung, Bildung von Blasen und Tropfen) erfolgt eine Beschreibung der wichtigsten Verfahren und Apparate der Mehrphasenströmungen (z. B. Blasensäulen, Strömungen durch Blenden, Austauschblenden und Füllkörpersäulen).

### **Membrantechnologie**

Die Vorlesung gliedert sich in zwei Hauptteile. Im ersten Teil werden die Grundlagen, wie typische Merkmale von Membranprozessen, Strukturen (Materialien, Herstellung) und Stoffaustauschvorgänge vermittelt. Hierbei werden auch Aspekte der Entwicklung organischer und anorganischer Membranen sowie die Modifizierung von Membranen zur Erzielung verbesserter Trenneigenschaften betrachtet. Im zweiten Teil werden anwendungsorientierte Themen beleuchtet, dabei wird ein spezieller Fokus im Bereich der pharmazeutischen Industrie gelegt und der aktuelle Forschungsstand vermittelt. Ein repräsentativer Versuch zur Katalysatorrückgewinnung wird am Ende der Vorlesung von den Studierenden an einer MaxiMem-Membrananlage selbstständig durchgeführt.

### **Pharmazeutisch-Chemische Reaktionstechnik**

Ein typischer Produktionsprozess eines Medikaments vom Ausgangsmaterial zum API (active pharmaceutical ingredient) über chemische Synthesen und der Prozess vom Labor in die Produktion wird den Studierenden dargestellt. Diese Prozesse werden an industriell relevanten Beispielen erläutert und vertieft. Dabei wird ein spezielles Augenmerk auf verschiedene Reaktoren und deren Betriebsweisen, sowie auf das Verweilzeitverhalten verschiedener Reaktoren gelegt. Die Reaktionstechnik einphasiger komplexer Reaktionen sowie die Reaktionstechnik mehrphasiger Reaktionen und der Mikroreaktionstechnik wird an pharmazeutisch relevanten Reaktionen vertieft. Den Studierenden wird weiterhin ein Einblick in „Green Chemistry“ und neue Innovationstechnologien gegeben.

### **Industrielle Prozesse und Technische Katalyse**

Die Herstellung von Grund- und Vorprodukten, sowie von Spezialprodukten werden an industriellen Beispielen vorgestellt. Es erfolgt eine Einführung in die Charakterisierung von katalytischen Reaktionen (Umsatz, Ausbeute, Selektivität,

Aktivität). Die Prinzipien der homogenen Katalyse sowie Verfahren mit homogenen Katalysatoren in der chemischen Industrie werden erläutert und die Grundlagen der heterogenen Katalyse, sowie industriell heterogen-katalysierte Verfahren genauer betrachtet. Des Weiteren werden die Katalysatorherstellung, sowie Reaktoren der technischen Katalyse und technische katalysierte Verfahren behandelt.

### **Ionische Flüssigkeiten: innovative Prozessfluide in der Verfahrenstechnik**

Ionische Flüssigkeiten („ionic liquids“ = „IL“) sind eine Gruppe von Stoffen, die etwa seit dem Jahr 2000 großes Interesse in der Forschung hervorrufen. Sie haben aufgrund besonderer Eigenschaften und ihrer Vielfältigkeit zahlreiche mögliche Einsatzgebiete in der Verfahrenstechnik, aber auch in anderen Ingenieurwissenschaften. In dieser Vorlesung werden die Eigenschaften und die Herstellung ionischer Flüssigkeiten vorgestellt. Weiterhin werden die wichtigsten möglichen Einsatzgebiete und Anwendungen vorgestellt. Diese Beispiele kommen aus dem Bereich der Katalyse, der thermischen Trennverfahren, der Biokatalyse und der pharmazeutischen Anwendungen. Darüber hinaus werden die Perspektiven ionischer Flüssigkeiten als sogenannte Engineering Fluids, zum Beispiel als Dicht- oder Schmierflüssigkeit erläutert. Neben dem Einsatz als Bulkflüssigkeit wird auch auf das zunehmend wichtige Technologiefeld dünner IL-Filme und Schichten auf festen Oberflächen eingegangen. Schließlich werden in der Vorlesung die Möglichkeiten des Recycling und Reinigung ionischer Flüssigkeiten vorgestellt und generelle Umweltaspekte erläutert und diskutiert.

### **Prozess- und Anlagensicherheit**

Bei chemischen Produktionsprozessen in verfahrenstechnischen Anlagen müssen verschiedene sicherheitstechnische Fragestellungen von Planung und Bau über den laufenden Produktionsprozess sowie bei der Instandhaltung beachtet werden. Die Vorlesung vermittelt entsprechend den Anforderungen des Dechema-Lehrprofils die wichtigsten Grundlagen der verfahrenstechnischer Sicherheitstechnik und umfasst folgende Lehrinhalte:

- Einführung in die Sicherheitstechnik
  - Störfälle: Beispiele aus der Praxis, Ursachen und Auswirkungen
  - Sicherheits- und Risikomanagement
  - Risikoanalyse und -bewertung
- Sicherheitsbeurteilung von gefährlichen Stoffen
  - Einstufung, Verpackung, Kennzeichnung gefährlicher Stoffe
  - Gefährdungsbeurteilung des Arbeitsplatzes
  - Sicherer Umgang mit gefährlichen Stoffen
  - Sicherheitstechnische Beurteilung von chemischen Reaktionen
- Brand- und Explosionsschutz
  - Ermittlung von Explosionsgefahren