

1 Vorbemerkung

Ich freue mich, Ihnen nachstehend den Institutsbericht des Instituts für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig für die Jahre 2013 und 2014 vorlegen zu können. Er fasst unsere Aktivitäten in Forschung und Lehre in diesen beiden Jahren zusammen.

Die Schwerpunkte unserer Forschung sind nach wie vor durch unsere Beteiligung an mehreren großen Verbundvorhaben gesetzt. Auf Basis unserer derzeitigen und zukünftig geplanten Forschungsaktivitäten haben wir auf unserer Institutsklausur 2013 vier Arbeitsgebiete des ICTV neu definiert:

- Nachhaltige Produktionsverfahren,
- Innovative Apparate- und Anlagentechnik,
- Fouling und Reinigung sowie
- Biotechnologische und pharmazeutische Verfahren.

Im Arbeitsgebiet *Nachhaltige Produktionsverfahren* erforschen wir intelligente Produktionsverfahren zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Ressourcenschonung. Dies kann z. B. durch die Umstellung von absatzweise betriebenen Prozessen auf kontinuierliche Prozesse erfolgen, wie wir es in dem Verbundprojekt *μKontE* erforschen, durch die Wertstoffrückgewinnung und Schließung von Stoffkreisläufen, wie z. B. die Rückgewinnung von Elektrolyten aus verbrauchten Lithium-Ionen-Batterien, oder die verstärkte Nutzung von Wärmeintegration durch verbesserte Einbindung in den Engineering Workflow, wie im Projekt *InReff*. In allen Fällen können ökobilanzielle Betrachtungen genutzt werden, um Effizienzpotentiale aufzuzeigen, zu quantifizieren und letztlich die Verbesserungen zu bewerten.

Die Erschließung dieser Effizienzpotentiale erfordert neben intelligenten Verfahrenskonzepten auch eine *Innovative Apparate- und Anlagentechnik*. In diesem Arbeitsgebiet untersuchen wir daher die Optimierung bestehender sowie die Bewertung neuer Apparatebauformen. Ersteres betrifft z. B. den Einfluss von Turbulenzpromotoren auf die Naturumlaufverdampfung, zweites den Einsatz von Kissenplattenapparaten als Naturumlauf- oder Fallfilmverdampfer. Ziele sind die Erweiterung von Betriebsbereichen, z. B. die Verdampfung bei kleineren treibenden Temperaturdifferenzen, die Verschiebung von Lastgrenzen, der Einsatz für problematische Stoffsysteme sowie die Erstellung von Dimensionierungsgrundlagen für diese neuen Apparate.

Im Arbeitsgebiet *Fouling und Reinigung* erforschen wir die Mechanismen und Einflussgrößen bei der Belagbildung auf wärmeübertragenden bzw. produktberührenden Oberflächen, leiten daraus Ansätze zur Minderung oder Vermeidung der Belagbildung ab und/oder untersuchen Reinigungsmethoden für eine besonders effektive, effiziente und umweltschonende Reinigung. Auf Basis langjähriger Erfahrung konnten wir hier eine experimentelle Untersuchungsmethodik, ergänzt durch umfangreiche analytische Untersuchungen und meist CFD-basierter Simulationsmethoden etablieren, die für unterschiedliche Stoffsysteme anwendbar ist. Aktuell

untersucht haben wir z. B. die Belagbildung beim Polymerfouling sowie bei der Verarbeitung frisch geschnittener Lebensmittel, sog. Fresh Cut-Food, im Rahmen des EU-Projektes *SUSCLEAN*. Ein noch immer ungelöstes Problem ist die Applikation foulingmindernder DLC-Beschichtungen auf der Innenseite langer Rohre. Hier untersuchen wir zusammen mit Forschungspartnern aus Deutschland und Belgien den Einfluss von Umformung und Schweißen auf die Beschichtung und ihre Anti-foulingeigenschaften.

Im Arbeitsgebiet *Biotechnologische und pharmazeutische Verfahren* schließlich erforschen wir vor allem produktschonende Trennverfahren, vielfach in Kombination mit dem vorgelagerten Synthese- oder Reaktionsschritt. Das Design eines integrierten Reaktions- und Separationssystems am Beispiel der trienzymatischen Synthese von Laminaribiose erweitert dabei frühere Arbeiten auf mehrenzymatische Systeme. In Kooperation mit Arbeitsgruppen aus der Pharmazie an der TU Braunschweig untersuchen wir die Überführung von Laborverfahren zur Synthese von Wirkstoffen in kontinuierliche, skalierbare Prozesse. Zur Produktgewinnung, -isolierung und -reindarstellung werden dabei Verfahren der Kristallisation, Chromatographie oder Adsorption eingesetzt, so dass diese unsere Bearbeitungspalette ergänzen.

Die im letzten Institutsbericht schon berichtete Einwerbung eines Forschungsbaus für Pharmaverfahrenstechnik wird ergänzt durch zwei Fördermaßnahmen zur Anschubfinanzierung gemeinschaftlicher Forschungsarbeiten der Pharmazie und der Verfahrenstechnik an der TU Braunschweig. Aus Mitteln des Niedersächsischen Vorab der Volkswagen-Stiftung hat das Land interdisziplinäre Forschung für *Neuartige Synthese- und Formulierungsverfahren für schwerlösliche Arzneistoffe und empfindliche Biopharmazeutika SynFoBiA* unterstützt. Zusätzlich konnte ein Graduiertenkolleg des Landes zum Thema *Processing of Poorly Soluble Drugs at Small Scale* eingeworben werden. Beides wird uns erlauben, die gemeinschaftliche und interdisziplinäre Forschung weiter auszubauen und zu stärken.

Im Bereich Studium und Lehre standen diesen Herbst die Reakkreditierung unserer bestehenden sowie die Akkreditierung unserer neuen Studiengänge an. Bei dieser Gelegenheit haben wir den bisherigen Studiengang Bachelor Bioingenieurwesen erweitert zu einem Studiengang Bachelor Bio-, Chemie- und Pharmaingenieurwesen. Dieser soll die gesamte Breite der Prozessindustrie mit einem grundlagen- und methodenorientierten Studium abdecken. Darauf bauen konsekutiv zwei Masterstudiengänge auf: Bio- und Chemieingenieurwesen sowie Pharmaingenieurwesen. Letzterer ist intensiv angebunden an den neuen Forschungsschwerpunkt Pharmaverfahrenstechnik und verschafft der TU Braunschweig eine bundesweite Alleinstellung: ein solcher Masterstudiengang wird an keiner anderen deutschen Universität angeboten. Die Einschreibezahlen zum Wintersemester 2014/15 scheinen diese neue Aufstellung unserer Studiengänge zu bestätigen: 61 Erstsemester im Bachelor Bio-, Chemie- und Pharmaingenieurwesen, 35 Studierende im Master Bio- und Chemieingenieurwesen und 12 angehende Pharmaingenieure. Dieser erfreuliche Zustrom an Studierenden gilt nicht nur für die Energie- und Verfahrenstechnik sondern auch für die Fakultät für Maschinenbau und die ganze TU insgesamt, was zu

einem Allzeithoch unserer Studierendenzahl von 18.200 im Wintersemester 2014/15 geführt hat.

In diesen Tagen erfolgten auch die ersten Bodenarbeiten für den Bau des neuen Forschungszentrums für Pharmaverfahrenstechnik auf der Freifläche zwischen ICTV und InES, ehemals IWBT. Wenn alles so läuft wie geplant sollte ich Ihnen in zwei Jahren an dieser Stelle ein Foto des dann hoffentlich schon bezogenen Gebäudes vorstellen können.

Für heute darf ich Sie herzlich zur Lektüre unseres Institutsberichtes für die Jahre 2013 – 2014 einladen. Ich hoffe, Sie finden anregende Themen und freue mich auf Ihre Rückmeldungen, Kommentare und weiterführende Diskussionen.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, allen Studierenden, die als studentische Hilfskräfte oder im Rahmen studentischer Arbeiten an unseren Aktivitäten mitwirken, sowie allen akademischen und industriellen Partnern danke ich herzlich für ihre Mitwirkung und Engagement in den zurückliegenden Jahren.

Braunschweig, im Dezember 2014



2 Mitarbeiter

Geschäftsführender

Leiter: Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl

Sekretariat: Marion Harms

Vivien Buckiewicz

Akademischer

Direktor: Dr.-Ing. Wolfgang Augustin

Emeritus Prof. Dr.-Ing. Matthias Bohnet

Wissenschaftliche

MitarbeiterInnen:	Bis	Ab
Dr.-Ing. Cristiane Boxler	31.07.2012	
Dipl.-Ing. Christian Bradtmöller		
Dr.-Ing. Manely Eslahpazir		01.11.2013
Dipl.-Ing. (FH) Henning Föste		
Dipl.-Ing. Robert Goedecke		
Dipl.-Ing. Nathalie Gottschalk		15.04.2013
Janina Grimm M.Sc.		01.07.2013
Dr.-Ing. Laura Grundemann	30.06.2013	
Dipl.-Ing. Paul Haas		
Dr.-Ing. Jochen Hammerschmidt	31.12.2013	
Dipl.-Ing. Steffi Höft		
Dr.-Ing. Jan C. Kuschnerow	30.09.2014	
Dr.-Ing. Katharina Jasch	31.12.2013	
Dr.-Ing. Moriz Mayer	30.06.2013	
Dipl.-Ing. Marcus Möbius		01.07.2013
Dipl.-Ing. André Paschetag		01.05.2014
Dipl.-Ing. Florian Schlüter		01.03.2014
Dipl.-Ing. Martin Schoenitz		
Dipl.-Ing. Karl Siebeneck		
Dipl.-Ing. Friederike Stehmann		
Dipl.-Ing. Ariane Unterlauft	30.04.2013	
Dipl.-Ing. Nils Warmeling		01.01.2014
Dr.-Ing. Thomas Waluga	30.11.2014	

	Dipl.-Ing. Niels Wellner	30.09.2014
	Dipl.-Ing. Matthias Wengerter	
	Mandy Wesche M.Sc.	
Labor:	Sabine Knoblauch	
	Anke Radeleff	
	Simone Schulze	
Elektronikwerkstatt:	Jörg Leppelt	
Technikum:	Karl Karrenführer	
	Sven Lorenzen	
Auszubildende/r:	Nils Bergmann (tech)	01.08.2013
	Michelle Klages (kfm)	15.07.2014
	Marcel Peters (tech)	31.01.2014
Studentische Hilfskräfte	83	

Neue wissenschaftliche MitarbeiterInnen

Dr.-Ing. Manely Eslahpazir

<i>Studium</i>	TU Braunschweig
<i>Studiengang</i>	Bioingenieurwesen - Diplom
<i>Dissertation</i>	<i>Numerical Characterization of Mechanical Stress and Flow Patterns in Stirred Tank Bioreactors</i>
<i>ICTV-Arbeitsgruppe/n</i>	<i>Fouling und Reinigung</i>
	<i>Innovative Apparate- und Anlagenkonzepte</i>



Nathalie Gottschalk

<i>Studium</i>	TU Berlin
<i>Studiengang</i>	Lebensmitteltechnologie - Diplom
<i>Diplomarbeit</i>	<i>Potenzial nichtthermischen Atmosphärendruck-Plasmas zur Inaktivierung von <i>E. coli</i> in Apfelsaft</i>
<i>ICTV-Arbeitsgruppe</i>	<i>Fouling und Reinigung</i>



Janina Grimm

Studium

Studiengang

Masterarbeit

ICTV-Arbeitsgruppe

*TU Braunschweig
Biotechnologie - Master
Bakterielle Kontamination in der Lebensmittel-
industrie – Kultivierung von Biofilmen bei
reproduzierbaren Strömungsverhältnissen
Fouling und Reinigung*



Marcus Möbius

Studium

Studiengang

Diplomarbeit

ICTV-Arbeitsgruppe

*TU Braunschweig
Bioingenieurwesen - Diplom
Abscheidung und Charakterisierung von Ni-DLC
als Sensorschicht für Dehnungsmessstreifen*



André Paschetag

Studium

Studiengang

Diplomarbeit

ICTV-Arbeitsgruppe

*TU Braunschweig
Bioingenieurwesen - Diplom
Ökobilanzielle Bewertung des Reinigungs-
verfahrens einer Produktionsanlage von
„Fresh-Cut Food“-Produkten
Nachhaltige Produktionsverfahren*



Florian Schlüter

Studium

Studiengang

Diplomarbeit

ICTV-Arbeitsgruppe

*TU Braunschweig
Bioingenieurwesen - Diplom
Untersuchung des Wärmeübertragungsverhaltens
von Emulsionen und Suspensionen in einem
Mikrowärmeübertrager
Fouling und Reinigung*



Nils Warmeling

Studium

Studiengang

Diplomarbeit

ICTV-Arbeitsgruppe

*TU Braunschweig
Bioingenieurwesen - Diplom
Untersuchungen zur Trocknungskinetik
polydisperser Biomassepartikel in einer
Wirbelschicht mit überhitztem Wasserdampf
Nachhaltige Produktionsverfahren*



3 Lehre und Weiterbildung

3.1 Vorlesungen

Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl

Einführung in Stoffwandlungsprozesse	(WS, VL 02, UE 01)
Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik	(SS, VL 02, UE 01)
Hybride Trennverfahren	(SS, VL 02, UE 01)
Chemische Verfahrenstechnik	(WS, 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)
Ionische Flüssigkeiten: innovative Prozessfluide in der Verfahrenstechnik	(SS, VL 02)
Grundlagen der Thermischen Verfahrenstechnik (für Biotechnologen und Pharmaingenieure)	(WS, VL 02, UE 01)
Thermische Verfahrenstechnik für Fortgeschrittene (für Biotechnologen und Pharmaingenieure)	(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.-Ing. Uwe Klausmeyer, PTB

Prozess- und Anlagensicherheit	(SS, VL 01)
--------------------------------	-------------

Dr. rer. nat. Olaf Klein, VW

Elektrochemische Verfahrenstechnik und Brennstoffzellen	(SS, VL 02)
---	-------------

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

Messtechnik in der Energie- und Verfahrenstechnik	(WS, VL 01)
---	-------------

Inhalte der Vorlesungen

Einführung in Stoffwandlungsprozesse

Die Vorlesung wird als Wahlpflichtfach im Vordiplom der Studiengänge für Maschinenbau und Bioingenieurwesen angeboten. Wesentliche Vorlesungsinhalte sind:

- Der stoffwandelnde Produktionsprozess im Zusammenhang: Rohstoffe, Hilfsstoffe, Edukte und Produkte, Wertschöpfungsketten, Verbund.
- Die Grundelemente eines Produktionsprozesses: Hauptprozessfunktionen, die Verfahrensfunktion und ihre apparative Umsetzung.
- Reaktionen und Reaktoren: Stöchiometrie, Umsatz, Selektivität, Ausbeute, Gleichgewicht und Kinetik.
- Produktaufarbeitung und -darstellung: Das Konzept der Grundoperationen, Überlagerung Reaktion und Stofftrennung, Produktdarstellung, Product Design, Prozessintegration.

Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik, Hybride Trennverfahren

In den Vorlesungen Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik und 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 **Hybride Trennverfahren** werden behandelt:

- Extraktion: Flüssig-flüssig- und Fest-flüssig-Extraktion, Polstrahlverfahren, Mixer-Settler, Extraktionskolonne
- Adsorption und Chromatographie: Gleichgewicht und Kinetik, Durchbruchsverhalten, Einzelkorn, Festbett, Adsorbentien, Simulated Moving Bed, Transport in porösen Feststoffen

- Trocknung: 1. und 2. Trocknungsabschnitt, Wärme- und Stoffübergang bei der Trocknung, Trocknungsverfahren
- Membranverfahren: Umkehrosmose, Mikrofiltration, Nanofiltration, Pervaporation

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, Reaktivrectifikation, 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 modelling 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 die 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