



1 Vorbemerkung

Ich freue mich, Ihnen den Institutsbericht des Institutes für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig für die Jahre 2015 und 2016 vorlegen zu können. Er soll Ihnen einen Überblick über unsere Aktivitäten in Forschung und Lehre geben und mögliche Anknüpfungspunkte für gemeinsame Aktivitäten aufzeigen.

Die vor drei Jahren eingeführte Struktur unserer Forschung in die Arbeitsgebiete

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

hat sich bewährt.

Im Arbeitsgebiet *Innovative Apparate und Anlagenkonzepte* haben wir zusammen mit vier akademischen und acht industriellen Partnern das Verbundforschungsprojekt „Tropfenentstehung und -rückhaltung in Stoffaustauschapparaten TERESA“ über den Projektträger Jülich beim BMWI eingeworben. In dem Projekt soll die Tropfenentstehung am Eintritt in eine Kolonne, im Sumpf nach dem Verdampfer sowie im Kolonnenkopf untersucht werden, um auf Basis eines vertieften Verständnisses der ablaufenden Vorgänge Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung treffen zu können. Am ICTV wird dazu die Tropfenentstehung bei der Zwangsumlauf-Entspannungsverdampfung untersucht sowie apparative Maßnahmen für eine Tropfenabscheidung ökonomisch und ökologisch bewertet. Daneben haben wir unsere apparative Palette um einen Dünnschichtverdampfer erweitert. An dem Metallapparat mit 0,06 m² Wärmeübertragungsfläche wollen wir die Skalierbarkeit bezüglich Wärmeübertragungsleistung und Fluidodynamik untersuchen. Und in einem von der DBU geförderten Stipendienprojekt befassen wir uns mit dem Einsatz einer mechanischen Brückenkompression bei Naturumlaufverdampfern. In früheren Arbeiten konnte gezeigt werden, dass diese durchaus bei Absolutdrücken von 100 bis 200 mbar und treibenden Temperaturdifferenzen von $\Delta T = 5 - 8\text{K}$ stabil betrieben werden können. Dies eröffnet das Potential eines Einsatzes der MBV auch für diesen besonders kostengünstigen Verdampfertyp. Nicht zuletzt betrachten wir die Kondensation und speziell den Einfluss von Inertgasen bei der Kondensation in vertikalen Rohren. Und schließlich können wir uns über die Genehmigung der DFG für die Fortführung unseres Kooperationsprojektes mit der Universität Paderborn zur Rektifikation viskoser Gemisch freuen.

Im Arbeitsgebiet *Nachhaltige Produktionsverfahren* werden wir die Arbeiten zur Umstellung von absatzweiser Produktion auf kontinuierliche Verfahren für verschiedene Anwendungen weiterführen können. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt untersuchen wir zusammen mit der AURO Pflanzenchemie AG, Braunschweig, die kontinuierliche Fertigung hoch feststoffhaltiger Wandfarbe. Das Thema „Batch-to-Konti-Umstellung“ hat sich in diesem Arbeitsgebiet als eine



generische Problemstellung etabliert, die wir in praktisch allen Projekten angehen. Hier zeigt sich verstärkt die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Erfassung und Überwachung des aktuellen Prozesszustandes durch analytische Online- und Inlinemethoden als Basis einer qualitätssichernden Prozessführung.

Im Arbeitsgebiet *Fouling und Reinigung* hat sich die Methode des Fluid Dynamic Gauging zur Charakterisierung des Ad- und Kohäsionsverhaltens bevorzugt weicher Foulingsschichten fest etabliert. Wir wenden diese u. A. an in dem Verbundprojekt POMACEA an. In diesem untersuchen wir zusammen mit lettischen, portugiesischen und indischen Projektpartnern die Möglichkeit einer dezentralen Bereitstellung von Trinkwasser mittels Membranverfahren. Zusammen mit dem Lehrstuhl für Modellierung und Simulation der Universität Rostock erforschen wir das Partikelfouling auf Dellenoberflächen. Diese haben sich als besonders effiziente Möglichkeit zur Steigerung der Wärmeübertragungsleistung erwiesen und sollen nun bezüglich ihrer Foulinganfälligkeit betrachtet werden. Fortgesetzt werden auch die Arbeiten zum Polymerisationsfouling, zur Bestimmung reinigungsrelevanter dimensionsloser Kenngrößen sowie zur Ermittlung lokaler Foulingwiderstände.

Im Arbeitsgebiet *Biotechnologische und pharmazeutische Verfahren* werden in den beiden Programmen SynFoBiA und μ Props weiterhin kontinuierliche Verfahren zur Herstellung synthetischer schwerlöslicher pharmazeutischer Wirkstoffe untersucht. Dies erfolgt in Kooperation mit dem Institut für Medizinische und Pharmazeutische Chemie der TU Braunschweig. Das Gesetz zur Niedersächsischen Technischen Hochschule wurde zwar zum 31.12.2015 außer Kraft gesetzt, als eine ihrer letzten Initiativen wurde zum 01.01.2016 jedoch noch die NTH-Forschungsgruppe zur Erforschung der Stoff- und Energiewandlung in bioelektrisch aktiven Biofilmen gestartet. Wir untersuchen darin eine Fließzelle als Biofilmreaktor. Weiterhin in Kooperation mit dem Institut für Thermische Chemie erforschen wir trienzymatische Synthesen am Beispiel der Synthese von Laminaribiose.

Die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Pharmaverfahrenstechnik werden bald in den Neubau des Institutes für Pharmaverfahrenstechnik PVZ umziehen können. Der Innenausbau ist in den letzten Zügen und die Inbetriebnahme wird sukzessive ab Anfang 2017 beginnen. Das ICTV wird ab Februar Büros, Labore und ein Technikum beziehen. Mit derzeit über 20 Doktorandinnen und Doktoranden sind wir froh über die zusätzlichen Arbeitsplätze in unmittelbarer Nähe zum Institutsgebäude. Zur weiteren Stärkung der Forschungs- und Lehraktivitäten im PVZ laufen derzeit drei Berufungsverfahren für Juniorprofessuren mit den Denominationen „Mikro- und Nano-Sensoren für die Lebenswissenschaften“, „Partikeltechnische Prozess- und Formulierungssimulation“ sowie „Pharmazeutisch-chemische Reaktionstechnik“. Letztere wird am ICTV angesiedelt sein und unsere Kooperation mit der Pharmazie weiter intensivieren. Gegenüber von PVZ und ICTV ist außerdem der Rohbau eines weiteren Carolo-Wilhelmina-Forschungszentrums fast fertiggestellt: das „Laboratory for Emerging Nanometrology LENA“. In diesem sollen in Kooperation mit der PTB messtechnische und analytische Methoden der Zukunft erforscht und entwickelt werden.

Im Bereich Studium und Lehre haben sich die vor drei Jahren eingeführten Studiengänge Bachelor *Bio-, Chemie- und Pharmaingenieurwesen*, Master *Bio- und Chemieingenieurwesen* sowie Master *Pharmaingenieurwesen* sehr gut etabliert. Zum Wintersemester 2016/2017 wurde der auf 25 Studienplätzen zulassungsbeschränkte Master *Pharmaingenieurwesen* erstmalig mit 31 Studierenden überbucht; ein Beleg dafür, dass dieses an einer Universität in Deutschland einmalige Studienangebot sehr gut nachgefragt wird. Vor wenigen Wochen haben die ersten beiden Absolventen ihren Master erfolgreich abgeschlossen. Die TU insgesamt hat derzeit 19.500 Studierende, das dritte Allzeithoch in Folge. Wir haben inzwischen gelernt, damit umzugehen, wenn auch die Hörsaal-, Labor- und sonstigen Kapazitäten merklich an ihrer Lastgrenze angekommen sind.

So darf ich Sie nun zur Lektüre unseres aktuellen Institutsberichts einladen. Ich würde mich freuen, wenn Sie darin interessante und interessierende Themen finden würden und nehme Ihre Rückmeldung, Anregung und Kommentare gern entgegen.

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

Braunschweig, im November 2016





2 Mitarbeiter

| | | | |
|--|----------------------------------|-------------------|------------|
| Geschäftsführender Leiter: | Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl | | |
| Sekretariat: | | <i>Bis</i> | Ab |
| | Marion Harms | | |
| | Vivien Buckiewicz | <i>31.10.2015</i> | |
| | Anike Altschwager | | 01.03.2016 |
| Akademischer Direktor: | Dr.-Ing. Wolfgang Augustin | | |
| Emeritus | Prof. Dr.-Ing. Matthias Bohnet | | |
| Wissenschaftliche MitarbeiterInnen: | | <i>Bis</i> | Ab |
| | Dipl.-Ing. Christian Bradtmöller | <i>31.05.2016</i> | |
| | Hannes Deponte M.Sc. | | 01.01.2016 |
| | Dr.-Ing. Manely Eslahpazir | <i>31.10.2015</i> | |
| | Dipl.-Ing. (FH) Henning Föste | <i>31.07.2015</i> | |
| | Dipl.-Ing. Robert Goedecke | <i>30.06.2016</i> | |
| | Dipl.-Ing. Nathalie Gottschalk | | |
| | Alina Greis M.Sc. | | 01.01.2016 |
| | Janina Grimm M.Sc. | | |
| | Sven Gutperl M.Sc. | | 01.11.2016 |
| | Dipl.-Ing. Paul Haas | | |
| | Dave Hartig M.Sc. | | 01.01.2015 |
| | Dipl.-Ing. Steffi Höft | | |
| | Annika Hohlen M.Sc. | | 01.01.2016 |
| | Stefan Jahnke M.Sc. | | 01.10.2016 |
| | Yan Lu M.Sc. | | 01.02.2016 |
| | Dipl.-Ing. Marius Meise | | 01.06.2015 |
| | Dipl.-Ing. Marcus Möbius | | |
| | Dipl.-Ing. André Paschetag | | |
| | Moritz Rehbein M.Sc. | | 01.01.2015 |
| | Tobias Sauk M.Sc. | | 01.01.2015 |
| | Dipl.-Ing. Florian Schlüter | | |

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------|------------|------------|
| | Dipl.-Ing. Martin Schoenitz | 31.07.2015 | |
| | Lukas Schnöing M.Sc. | | 01.06.2016 |
| | Dipl.-Ing. Karl Siebeneck | 31.01.2016 | |
| | Christoph Spiegel M.Sc. | | 01.11.2016 |
| | Dipl.-Ing. Friederike Stehmann | | |
| | Dipl.-Ing. Nils Warmeling | | 01.01.2014 |
| | 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) | | |
| | Lukas Marx (tech) | | 01.09.2015 |
| | Burcu Yildirim | | 01.08.2015 |
| Studentische Hilfskräfte | 63 | | |

Neue wissenschaftliche MitarbeiterInnen

Hannes Deponte

| | |
|-----------------------------|--|
| <i>Studium</i> | <i>FH Münster,</i> |
| <i>Studiengang</i> | <i>Chemical Engineering - Master</i> |
| <i>Masterarbeit</i> | <i>Optimierung eines Trocknungsprozesses unter Berücksichtigung der Abluftbehandlung</i> |
| <i>ICTV-Arbeitsgruppe/n</i> | <i>Fouling und Reinigung</i> |



Alina Greis

Studium TU Braunschweig,
Studiengang Maschinenbau - Master
Masterarbeit Ökobilanzielle Betrachtung der Wolfram-
Recyclingkette zur Ermittlung von
Ressourcen- und CO₂-Einsparpotenzialen
ICTV-Arbeitsgruppe/ n Innovative Apparate und Anlagenkonzepte



Sven Gutperl

Studium TU Clausthal
Studiengang Verfahrenstechnik/ Chemieingenieurwesen
- Master
Masterarbeit Fluiddynamische Charakterisierung einer
Packungskolonie auf Basis von
Verweilzeitmessungen
ICTV-Arbeitsgruppe/ n Innovative Apparate und Anlagenkonzepte



Dave Hartig

Studium TU Braunschweig
Studiengang Bioingenieurwesen - Master
Masterarbeit Aufbau und Validierung einer Messmethode
für dynamische Adsorptionsmessungen
ICTV-Arbeitsgruppe/ n Pharmazeutische und biotechnologische Prozesse



Annika Hohlen

Studium TU Braunschweig,
Studiengang Bio- und Chemieingenieurwesen - Master
Masterarbeit Experimentelle Untersuchung von
Einflussfaktoren auf Eiskristallstrukturen
ICTV-Arbeitsgruppe/ n Fouling und Reinigung



Stefan Jahnke

Studium

TU Braunschweig,

Studiengang

Maschinenbau - Master

Masterarbeit

*Inbetriebnahme eines Dünnschichtverdampfers:
Erstellung der Anlagensteuerung und Untersuchungen zur Verdampferleistung*

ICTV-Arbeitsgruppe/ n

*Innovative Apparate und Anlagenkonzepte
Nachhaltige Produktionsverfahren*



Yan Lu

Studium

TU Braunschweig,

Studiengang

Maschinenbau - Master

Masterarbeit

*Oberflächenkonditionierung von DLC
Beschichtungen zur Minderung des
Foulingverhaltens in Wärmeübertragern*

ICTV-Arbeitsgruppe/ n

Innovative Apparate und Anlagenkonzepte



Marius Meise

Studium

TU Braunschweig,

Studiengang

Bioingenieurwesen - Diplom

Diplomarbeit

*Skalierbare Synthese eines schwerlöslichen
pharmazeutischen Wirkstoffes*

ICTV-Arbeitsgruppe/ n

Pharmazeutische und biotechnologische Prozesse



Moritz Rehbein

Studium

TU Braunschweig,

Studiengang

Maschinenbau - Master

Masterarbeit


*Quantitative investigation of capillary separation
of liquid-liquid slug flow in micro-reactors*

ICTV-Arbeitsgruppe/ n


Pharmazeutische und biotechnologische Prozesse




Tobias Sauk

| | | |
|------------------------------|--|---|
| <i>Studium</i> | <i>TU Braunschweig,</i> |  |
| <i>Studiengang</i> | <i>Maschinenbau - Master</i> | |
| <i>Masterarbeit</i> | <i>Automatisierung der kontinuierlichen Kristallisation von Lipidnanopartikeln in einem Mikrowärmeübertrager und Untersuchungen bzgl. des Einflusses von internal Numbering-Up auf Fouling und Reinigung</i> | |
| <i>ICTV-Arbeitsgruppe/ n</i> | <i>Pharmazeutische und biotechnologische Prozesse</i> | |

Lukas Schnöing

| | | |
|------------------------------|--|--|
| <i>Studium</i> | <i>TU Braunschweig,</i> |  |
| <i>Studiengang</i> | <i>Bio- und Chemieingenieurwesen - Master</i> | |
| <i>Masterarbeit</i> | <i>Entwicklung eines Ansatzes zur Korrelation integraler und lokaler Foulingwiderstände basierend auf Experimenten</i> | |
| <i>ICTV-Arbeitsgruppe/ n</i> | <i>Fouling und Reinigung</i> | |

Christoph Spiegel

| | | |
|------------------------------|---|---|
| <i>Studium</i> | <i>TU Braunschweig</i> |  |
| <i>Studiengang</i> | <i>Maschinenbau - Master</i> | |
| <i>Masterarbeit</i> | <i>Erweiterung eines Zustandsreglers für die Dampftemperaturregelung von Dampferzeugern</i> | |
| <i>ICTV-Arbeitsgruppe/ n</i> | <i>Fouling und Reinigung</i> | |

3 Lehre und Weiterbildung

3.1 Vorlesungen

Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl

| | |
|---|--------------------|
| Grundoperationen der Fluidverfahrenstechnik | (WS, VL 02, UE 01) |
| Hybride Trennverfahren | (SS, VL 02, UE 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 und Pharmaingenieure) | (SS, VL 02, UE 01) |
| <i><u>Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl, Dr.-Ing. Wolfgang Augustin</u></i> | |
| Computer Aided Process Engineering II (Design verfahrenstechnischer Anlagen) | (WS, VL 02, UE 01) |
| Einführung in die Mehrphasenströmung | (SS, VL 02, UE 01) |
| <i><u>Prof. Dr.-Ing. Uwe Klausmeyer, PTB</u></i> | |
| Prozess- und Anlagensicherheit | (SS, VL 01) |
| <i><u>Dr. rer. nat. Olaf Klein, VW (bis 2015)</u></i> | |
| Elektrochemische Verfahrenstechnik und Brennstoffzellen | (SS, VL 02) |
| <i><u>Dr.-Ing. Jan-Christopher Kuschnerow</u></i> | |
| Ionische Flüssigkeiten: innovative Prozessfluide in der Verfahrenstechnik | (SS, VL 02) |
| <i><u>Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Ulbig, PTB</u></i> | |
| Messtechnik in der Energie- und Verfahrenstechnik | (WS, VL 01) |

Inhalte der Vorlesungen

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, Durchbruchverhalten, 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, 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 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 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)