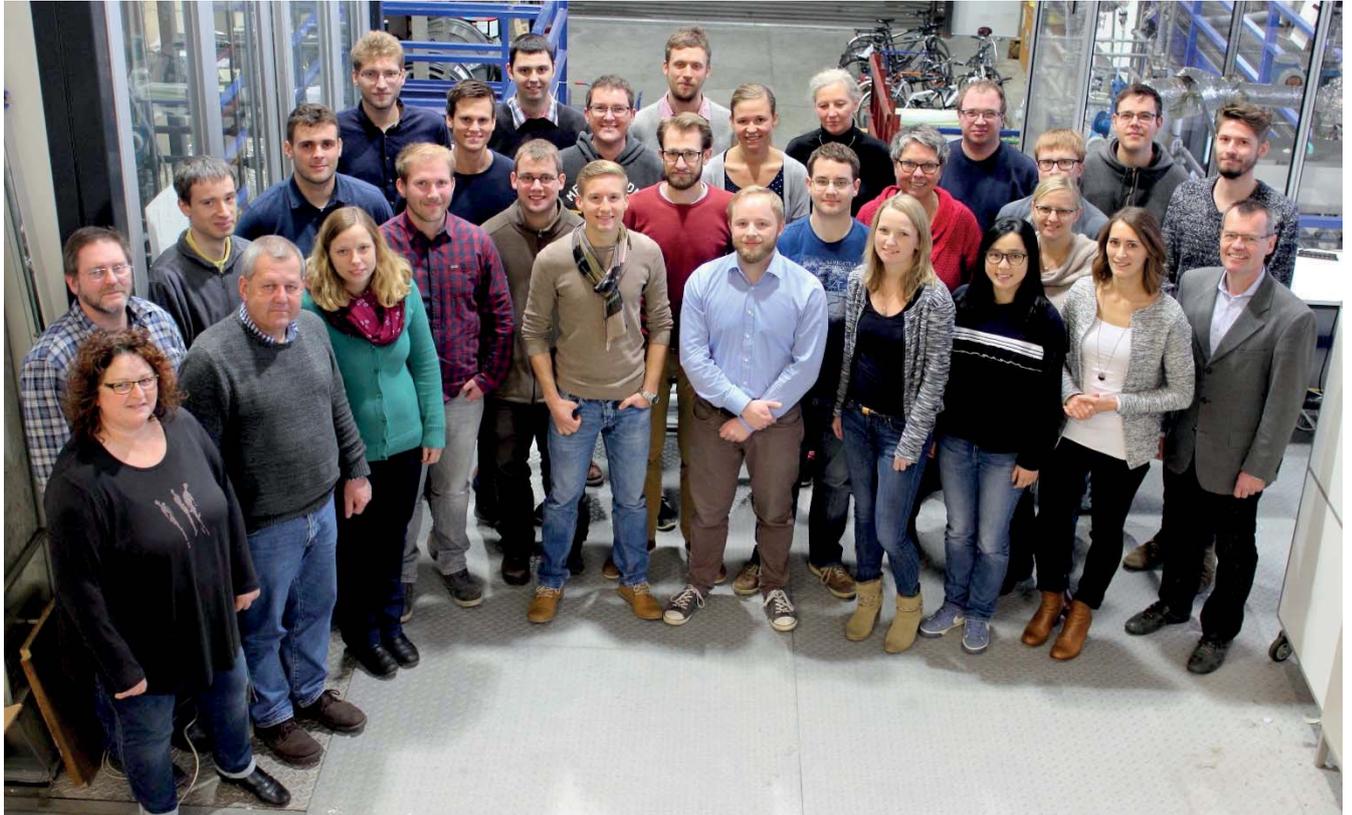


# Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik

## Institutsbericht 2015 – 2016



**Mitarbeiter des Instituts im November 2016**





Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>1 Vorbemerkung</b>	<b>1</b>
<b>2 Mitarbeiter</b>	<b>4</b>
<b>3 Lehre und Weiterbildung</b>	<b>8</b>
3.1 Vorlesungen	8
3.2 Gemeinsame Vorlesungen der EVT-Institute	15
3.3 Verfahrenstechnisches Praktikum	16
3.4 Studienarbeiten	16
3.5 Bachelorarbeiten	19
3.6 Masterarbeiten	20
3.7 Forschungspraktika /Projektarbeiten	23
3.8 Promotionen	25
3.9 Kolloquium für Energie- und Verfahrenstechnik	25
3.10 Hochschulkurse	25
<b>4 Aktuelle Forschung</b>	<b>27</b>
4.1 Fouling und Reinigung	27
4.1.1 Lokale Bestimmungen von Foulingvorgängen als Grundlage zur Beschreibung des integralen Verhaltens	27
4.1.2 Foulingverhalten zwitterionischer DLC-Oberflächen	29
4.1.3 Beeinflussung des Polymerisationsfoulings durch modifizierte Oberflächen	32
4.1.4 Wirkmechanismen des Partikelfoulings auf strukturierten wärmeübertragenden Oberflächen	35
4.1.5 Verringerung von (Bio-)Fouling auf Membranen	38
4.1.6 Abreinigung von Biofouling	42
4.1.7 Optimierung von Reinigungsprozessen mittels dimensionsloser prozessbeschreibender Kennzahlen	44
4.1.8 Effektive Reinigung von Wärmeübertragern mittels Complex®-Impulsverfahren	47
4.2 Innovative Apparate und Anlagenkonzepte	49
4.2.1 Dünnschichtverdampfung	49
4.2.2 Eindampfung wässriger Lösungen durch Naturumlauferdampfer mit mechanischer Brüdenverdichtung	51
4.2.3 Faseroptische Temperaturmessung in Verdampfern und Kondensatoren	54
4.2.4 Tropfenentstehung und –reduzierung in Stoffaustauschapparaten - TERESA	56
4.3 Nachhaltige Produktionstechnologien	58
4.3.1 Adsorption von Elektrolytkomponenten beim Recycling von Li-Ionen-Batterien	58
4.3.2 Rückgewinnung von Elektrolytkomponenten beim Recycling von Li-Ionen-Batterien mittels Extraktion	60



4.3.3	Kontinuierliche Herstellung von hochfeststoffhaltiger Wandfarbe unter Einsatz von Mikrokomponenten	63
4.3.4	Kontinuierliche Aufreinigung von Aminosäuren mittels Chromatographie	66
4.3.5	Adsorptive Entfärbung Ionischer Flüssigkeiten für den Einsatz als Reaktionsmedium bei der Herstellung von Celluloseacetatfasern	70
4.3.6	Integration ökologischer Aspekte für ein nachhaltiges Prozessdesign in der spezialchemischen Produktion	73
4.3.7	Wärmeintegration im Produktionsprozess – Energierückgewinnung an Drehrohröfen im Rahmen einer Ressourceneffizienzanalyse	77
4.3.8	Skalierbare Milli- und Mikroproduktionstechnik zur energieeffizienten, kontinuierlichen Fertigung in der Prozessindustrie – Mi <sup>2</sup> Pro	80
4.4	Pharmazeutische und biotechnologische Prozesse	82
4.4.1	Trienzymatisch katalysierte Synthesen	82
4.4.2	Prozessieren von schwer wasserlöslichen Substanzen: DYRK1A-Inhibitoren	86
4.4.3	Prozessieren von schwer wasserlöslichen Substanzen: M-NHC-Komplexe	90
4.4.4	Synthese und Aufreinigung pharmazeutischer Wirkstoffe am Beispiel TBID (SynFoBiA)	94
4.4.5	Extraktion pharmazeutischer Wirkstoffe aus Pflanzen und Wurzeln (SynFoBiA)	96
4.4.6	ElektroBak – Innovative Materialien und Konzepte für mikrobielle elektrochemische Systeme	99
4.4.7	Dynamische Methoden zur schnellen Bestimmung von Adsorptionsgleichgewichten	101
4.5	Studentische Gruppen	103
4.5.1	Bierbrau-AG „Carl-Wilhelms-Bräu“	103
4.5.2	ChemCar-AG	105
<b>5</b>	<b>Dissertationen</b>	<b>106</b>
5.1	Kontinuierliche Kristallisation von Lipidnanopartikeln in mikrostrukturieren Apparaten	106
5.2	Entwässerung Ionischer Flüssigkeiten mittels Fallfilmverdampfung	114
5.3	Einfluss erhöhter Viskosität auf die Trennleistung von strukturieren Packungen in der Rektifikation	121
<b>6</b>	<b>Veröffentlichungen und Vorträge</b>	<b>129</b>
6.1	Veröffentlichungen	129
6.2	Vorträge	133
<b>7</b>	<b>Forschungsaufenthalte im Ausland und Gastwissenschaftler</b>	<b>136</b>
7.1	Auslandsaufenthalte	136
7.2	Gastwissenschaftler	136
<b>8</b>	<b>Mitarbeit in Gremien</b>	<b>136</b>



## 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 m<sup>2</sup> 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  $\mu$ 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 CO<sub>2</sub>-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