

Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik

Institutsbericht 2019 – 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2020

Herausgeber:

Stephan Scholl, Wolfgang Augustin

ICTV – Institut für Chemische und Thermische Verfahrenstechnik

Langer Kamp 7

38106 Braunschweig

Telefon + 49 (0)531 391 2781

Telefax + 49 (0)531 391 2792

ictv@tu-braunschweig.de

www.ictv.tu-bs.de

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2020

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2020

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISSN 1860-1316

ISBN 978-3-7369-7338-1

eISBN 978-3-7369-6338-2



Mitarbeiter des Instituts im Jahr 2020





Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	1
2	Mitarbeiter	5
2.1	Institutsmitarbeiter	5
2.2	Neue wissenschaftliche Mitarbeiter	7
3	Lehre und Weiterbildung	8
3.1	Vorlesungen	8
3.2	Gemeinsame Vorlesungen der EVT-Institute	16
3.3	Verfahrenstechnisches Praktikum	16
3.4	Studienarbeiten	17
3.5	Bachelorarbeiten	19
3.6	Masterarbeiten	21
3.7	Forschungspraktika / Projektarbeiten	23
3.8	Promotionen	24
3.9	Hochschulkurse	25
4	Aktuelle Forschung	26
4.1	Fouling und Reinigung	26
4.1.1	Alterung von Foulingbelägen	26
4.1.2	Abtragsmechanismen bei der CIP-Reinigung	29
4.1.3	Reinigungsverhalten weicher Verschmutzungsschichten	32
4.1.4	Sensorbasierte Überwachung des Reinigungsbedarfs und des Reinigungsergebnisses in geschlossenen Systemen	34
4.1.5	Fouling und CIP-Reinigung in mikrostrukturierten Apparaten	37
4.1.6	Ablagerungsmechanismen beim Polymerisationsfouling	41
4.1.7	Partikelfouling auf strukturierten wärmeübertragenden Oberflächen	44
4.1.8	Modellierung von Ablagerungs- und Reinigungsprozessen bei der Lebensmittelproduktion	48
4.2	Innovative Apparate und Anlagenkonzepte	51
4.2.1	Thermische und fluiddynamische Charakterisierung von Dünnschichtverdampfern	51
4.2.2	Verweilzeitverteilung eines Dünnschichtverdampfers: Experiment, Modellierung und Simulation	54
4.2.3	Kontinuierliche Destillation von Mehrkomponentengemischen durch eine Kombination aus Dünnschicht- und Kurzwegverdampfung	57
4.2.4	Erweiterte Anwendungsbereiche von Naturumlaufverdampfern durch den Einsatz von Einbauten	60



4.2.5	Potentiale von Machine Learning: Datenanalyse und Merkmals- extraktion bei der Naturumlaufverdampfung	63
4.2.6	Theoretische und experimentelle Untersuchung der Rektifikation viskoser Systeme in Packungskolonnen	66
4.2.7	Tropfenmittreiß bei der Entspannungsverdampfung	69
4.2.8	Einsatz von Turbulenzpromotoren bei der Kondensation in vertikalen Rohren	73
4.2.9	Untersuchungen von Schaumdynamiken bei der Naturumlauf- Verdampfung im Miniplant-Maßstab	75
4.2.10	Schäume in Kolonnen: Bekämpfungsstrategien in Destillationsanlagen	78
4.2.11	Entwurf und Bewertung cyberphysischer Kläranlagenkonzepte	81
4.3	Nachhaltige Produktionstechnologien	82
4.3.1	Entfernen von Fremdfasern im Recycling von Polyestertextilien	82
4.3.2	Kontinuierliche Depolymerisation von PET-Verbundmaterialien	85
4.3.3	Kontinuierliche Aufarbeitung von Terephthalsäure	88
4.3.4	Einordnung einer neuen Verwertungstechnologie in den Wertstoffkreislauf des PET-Recyclings	91
4.3.5	Bewertung innovativer Apparatetechnologien am Beispiel der Tropfenabscheidung	93
4.3.6	Kontinuierliche Kampagnenfertigung von Lacken und Lasuren	96
4.4	Pharmazeutische und biotechnologische Prozesse	98
4.4.1	Kontinuierliche Kristallisation in einem Archimedische Schraube Kristallisor Reaktor (ASKR)	98
4.4.2	ElektroBak - Innovative Materialien und Konzepte für mikrobielle elektrochemische Systeme	101
4.4.3	Entwicklung eines Sensorsystems zur Überwachung von Kristallisationsprodukten	104
4.4.4	Entwicklung von Raman-Detektoren zur Reaktionsoptimierung	107
4.5	Pharmazeutisch-chemische Reaktionstechnik	111
4.5.1	Polymerisierte Ionische Flüssigkeiten als innovative Arzneistoff- träger in steuerbaren und individualisierten Arzneiformen	111
4.6	Studentische Gruppen	114
4.6.1	Bierbrau-AG „Carl-Wilhelms-Bräu“	114



5	Dissertationen	116
5.1	Systematik zur Umstellung von Chargenfertigung auf kontinuierliche Produktion an Beispielen zur Farbenherstellung	116
5.2	Zur adsorptiven Entfärbung imidazolbasierter ionischer Flüssigkeiten aus thermischer Belastung	119
5.3	Charakterisierung von Adsorbentien in der Flüssigphase mittels dynamischer Methoden	127
5.4	Extraktion zersetzungsempfindlicher Substanzen am Beispiel der Extraktion von Lithiumhexafluorophosphat aus Lithium-Ionen-Batterien	134
5.5	Kontinuierliche heterogene Wirkstoffsynthese am Beispiel der (Di-)N-Alkylierung von 1H-Benzimidazol	138
5.6	Quantifizierung lokaler Foulingwiderstände beim Kristallisationsfouling	145
5.7	Zur ökologischen Bewertung von Verfahren in Mehrzweckanlagen der Prozessindustrie	154
6.	Vorträge und Veröffentlichungen	163
6.1	Veröffentlichungen	163
6.2	Vorträge	167
7.	Mitarbeiter in Gremien	172





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 Mittriss 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 Mi²Pro 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 Großeheimann, 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





2 Mitarbeiter

Geschäftsführender
Leiter:

Prof. Dr.-Ing. Stephan Scholl

Bis

Ab

Sekretariat:

Marion Harms

Anike Altschwager

Juniorprofessorin:

Prof. Dr. Julia Großeheilmann

Akademischer

Direktor:

Dr.-Ing. Wolfgang Augustin

Emeritus:

Prof. Dr.-Ing. Matthias Bohnet

Wissenschaftliche
MitarbeiterInnen:

Bis

Ab

David Appelhaus, M.Sc.

01.04.2020

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.

30.09.2019

Caroline Martha Heiduk, M.Sc.

15.11.2019

Janina Heinze M.Sc., geb. Grimm

08.09.2020

Annika Hohlen M.Sc.

Luca Jäger, M.Sc.

01.11.2019

Stefan Jahnke M.Sc.

Niklas Jarmatz M.Sc.

Dr.-Ing. Katharina Jasch

Lars Leipert M.Sc.

Yan Lu M.Sc.

Dipl.-Ing. Marius Meise

31.12.2020

Conrad Meyer M.Sc.

01.03.2019

Andrea Mildner M.Sc.



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

2.1 Neue wissenschaftliche MitarbeiterInnen

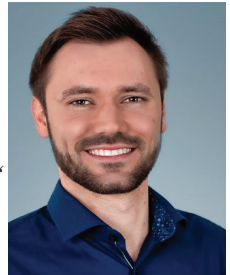
Caroline Heiduk

<i>Studium</i>	<i>TU Braunschweig, Master THM Gießen, Bachelor</i>
<i>Studiengang</i>	<i>Pharmaingenieurwesen - Master Bio/ Biopharmazeutische Technologie-Bachelor</i>
<i>Masterarbeit</i>	<i>„Optimierung der kontinuierlichen di-N-Alkylierung von 1H-Benzimidazole“</i>
<i>ICTV-Arbeitsgruppe</i>	<i>Prozesstechnik der Wirkstoffe</i>



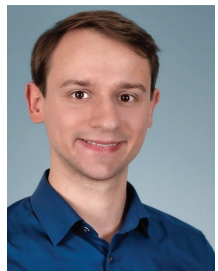
Luca Jäger

<i>Studium</i>	<i>TU Braunschweig</i>
<i>Studiengang</i>	<i>Biotechnologie, Bioprozesstechnik - Master</i>
<i>Masterarbeit</i>	<i>„Untersuchungen zur Durchmischung und Kristallbruch in einem Rotating Disc Reactor“</i>
<i>ICTV-Arbeitsgruppe</i>	<i>Prozesstechniken der Wirkstoffe</i>



David Appelhaus

<i>Studium</i>	<i>TU Braunschweig</i>
<i>Studiengang</i>	<i>Bio- und Chemieingenieurwesen – Master</i>
<i>Masterarbeit</i>	<i>„Datenanalyse und Merkmalsextraktion historischer Messdaten eines Naturumlauf- verdampfers als Grundlage von Machine Learning Modellen“</i>
<i>ICTV-Arbeitsgruppe</i>	<i>Innovative Apparate- und Anlagentechnik</i>



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) (chem. Hybride Trennverfahren)	(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 (*chem. 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)