

**Modulhandbuch für den**  
**Studiengang**  
**Verfahrenstechnik**



## Inhaltsverzeichnis

|      |                                                                           |    |
|------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1    | Konzept unserer verfahrenstechnischen Ausbildung .....                    | 4  |
| 1.1  | Verfahrenstechnik als Ingenieurdisziplin .....                            | 4  |
| 1.2  | Das Studienkonzept .....                                                  | 4  |
| 2    | Beschreibung der Ziele des Studienganges.....                             | 4  |
| 2.1  | Ziele der verfahrenstechnischen Ausbildung .....                          | 4  |
| 2.2  | Ziele des Bachelorstudienganges Verfahrenstechnik .....                   | 5  |
| 2.3  | Ziele des Masterstudienganges Verfahrenstechnik .....                     | 6  |
| 3    | Bachelorstudiengang Verfahrenstechnik, Pflichtmodule .....                | 7  |
| 3.1  | Mathematik 1 für Ingenieure (Stg A) .....                                 | 7  |
| 3.2  | Mathematik 2 für Ingenieure (Stg A) .....                                 | 8  |
| 3.3  | Stochastik .....                                                          | 9  |
| 3.4  | Simulationstechnik.....                                                   | 10 |
| 3.5  | Physik .....                                                              | 11 |
| 3.6  | Anorganische Chemie .....                                                 | 12 |
| 3.7  | Organische Chemie .....                                                   | 14 |
| 3.8  | Physikalische Chemie .....                                                | 15 |
| 3.9  | Technische Mechanik.....                                                  | 17 |
| 3.10 | Konstruktionselemente I .....                                             | 18 |
| 3.11 | Konstruktionselemente II und Apparatelemente als Blockveranstaltung ..... | 19 |
| 3.12 | Werkstofftechnik .....                                                    | 20 |
| 3.13 | Allgemeine Elektrotechnik I .....                                         | 22 |
| 3.14 | Allgemeine Elektrotechnik II .....                                        | 23 |
| 3.15 | Technische Thermodynamik .....                                            | 24 |
| 3.16 | Strömungsmechanik .....                                                   | 26 |
| 3.17 | Regelungstechnik .....                                                    | 27 |
| 3.18 | Messtechnik.....                                                          | 28 |
| 3.19 | Prozessdynamik I .....                                                    | 29 |
| 3.20 | Wärme- und Stoffübertragung .....                                         | 30 |
| 3.21 | Gemisch- und Grenzflächenthermodynamik .....                              | 31 |
| 3.22 | Mechanische Verfahrenstechnik .....                                       | 32 |
| 3.23 | Apparatetechnik.....                                                      | 34 |
| 3.24 | Thermische Verfahrenstechnik.....                                         | 36 |
| 3.25 | Reaktionstechnik .....                                                    | 38 |
| 3.26 | Chemische Prozesse und Anlagen .....                                      | 40 |
| 3.27 | Bioverfahrenstechnik .....                                                | 41 |
| 3.28 | Praktikum Verfahrenstechnik.....                                          | 44 |
| 3.29 | Verfahrenstechnische Projektarbeit.....                                   | 45 |
| 3.30 | Nichttechnische Fächer .....                                              | 46 |
| 3.31 | Industriepraktikum, Exkursion, Seminarvortrag.....                        | 47 |
| 3.32 | Bachelorarbeit.....                                                       | 49 |
| 4    | Masterstudiengang Verfahrenstechnik, Pflichtmodule .....                  | 50 |
| 4.1  | Systemverfahrenstechnik .....                                             | 50 |
| 4.2  | Dynamik komplexer Strömungen .....                                        | 51 |
| 4.3  | Transport phenomena in granular, particulate and porous media .....       | 52 |
| 4.4  | Simulation mechanischer Prozesse .....                                    | 53 |
| 4.5  | Reaktionstechnik in mehrphasigen Systemen .....                           | 55 |
| 4.6  | Nichttechnische Fächer .....                                              | 57 |
| 4.7  | Masterarbeit.....                                                         | 58 |
| 5    | Masterstudiengang Verfahrenstechnik, Wahlpflichtmodule .....              | 59 |
| 5.1  | Adsorption und heterogene Katalyse .....                                  | 59 |
| 5.2  | Advanced Process Systems Engineering .....                                | 61 |
| 5.3  | Angewandtes Energierecht für Ingenieure .....                             | 62 |
| 5.4  | Arbeits- und Gesundheitsschutz.....                                       | 64 |
| 5.5. | Bioseparationen.....                                                      | 66 |
| 5.5  | Cell Culture Engineering.....                                             | 67 |



|      |                                                                                    |     |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.6  | Umweltchemie .....                                                                 | 69  |
| 5.7  | Chemische Prozesskunde .....                                                       | 71  |
| 5.8  | Combustion Engineering .....                                                       | 73  |
| 5.9  | Computational Fluid Dynamics .....                                                 | 74  |
| 5.10 | Consequences of accidents in industry .....                                        | 75  |
| 5.11 | Control of Toxic Trace Elements .....                                              | 77  |
| 5.12 | Dispersed Phase Systems in Chemical Engineering .....                              | 78  |
| 5.13 | Dispersion of Hazardous Materials .....                                            | 80  |
| 5.14 | Drying Technology .....                                                            | 81  |
| 5.15 | Einsatz von Mikrowellen und Ultraschall in der Verfahrens- und Umwelttechnik ..... | 83  |
| 5.16 | Electrochemical Process Engineering .....                                          | 84  |
| 5.17 | Erzeugung von Nanopartikeln .....                                                  | 85  |
| 5.18 | Fuel Cells .....                                                                   | 87  |
| 5.19 | Funktionale Materialien für die Energiespeicherung .....                           | 89  |
| 5.20 | Integrierte innovative Reaktorkonzepte .....                                       | 90  |
| 5.21 | Kältetechnik .....                                                                 | 92  |
| 5.22 | Machine Learning for Computational Biology .....                                   | 93  |
| 5.23 | Mechanische Trennprozesse .....                                                    | 95  |
| 5.24 | Methoden der Proteinanalytik .....                                                 | 97  |
| 5.25 | Micro Process Engineering and flexible production concepts .....                   | 98  |
| 5.26 | Mikrobielle Biochemie .....                                                        | 99  |
| 5.27 | Mikrofluidik: Theorie und Anwendungen .....                                        | 100 |
| 5.28 | Modeling with population balance .....                                             | 101 |
| 5.29 | Modellierung mit Populationsbilanzen .....                                         | 103 |
| 5.30 | Modellierung von Bioprozessen .....                                                | 104 |
| 5.31 | Moderne Analysenmethoden / Instrumentelle Analyse .....                            | 106 |
| 5.32 | Molekulares Modellieren .....                                                      | 107 |
| 5.33 | Multiphase Flow Fundamentals .....                                                 | 108 |
| 5.34 | Numerik für Ingenieure .....                                                       | 109 |
| 5.35 | Numerische Strömungsmechanik .....                                                 | 110 |
| 5.36 | Numerische Werkzeuge für technisch-chemische Problemstellungen .....               | 112 |
| 5.37 | Partikelmechanik und Schüttguttechnik .....                                        | 114 |
| 5.38 | Physikalische Chemie II .....                                                      | 116 |
| 5.39 | Process Engineering of Metals and Ceramics .....                                   | 118 |
| 5.40 | Product quality in the chemical industry .....                                     | 119 |
| 5.41 | Produktgestaltung in der stoffumwandelnden Industrie .....                         | 120 |
| 5.42 | Projektarbeit Verfahrensplanung .....                                              | 121 |
| 5.43 | Prozessindustrie 4.0 .....                                                         | 123 |
| 5.44 | Prozessoptimierung .....                                                           | 125 |
| 5.45 | Prozesssimulation (mit ASPEN) .....                                                | 127 |
| 5.46 | Prozess- und Anlagensicherheit .....                                               | 128 |
| 5.47 | Rheologie und Rheometrie .....                                                     | 129 |
| 5.48 | Statistische Planung und Auswertung von Versuchen .....                            | 131 |
| 5.49 | Strukturelle und funktionale Analyse von zellulären Netzwerken .....               | 132 |
| 5.50 | Technische Kristallisation .....                                                   | 134 |
| 5.51 | Technology and Innovation Management in the Biotech Industry .....                 | 136 |
| 5.52 | Thermische Prozesstechnik .....                                                    | 138 |
| 5.53 | Trocknungstechnik .....                                                            | 139 |
| 5.54 | Waste Water and Sludge Treatment .....                                             | 141 |
| 5.55 | Wirbelschichttechnik .....                                                         | 142 |



# 1 Konzept unserer verfahrenstechnischen Ausbildung

## 1.1 Verfahrenstechnik als Ingenieurdisziplin

Verfahrenstechnik erforscht, entwickelt und verwirklicht

- energetisch effiziente,
- ökologisch verträgliche und damit
- wirtschaftlich erfolgreiche

industrielle Stoffwandlungsverfahren, die mit Hilfe von physikalischen, biologischen oder chemischen Einwirkungen aus Rohstoffen wertvolle Produkte erzeugt. So werden aus Feinchemikalien Arzneimittel, aus Erdöl Funktionswerkstoffe, aus Gestein Baustoffe und Gläser, aus Erzen Metalle, aus Abfall Wertstoffe oder Energie, aus Sand Siliziumchips oder Glas und aus landwirtschaftlichen Rohstoffen Lebensmittel, um nur einige Beispiele zu nennen. Die Verfahrenstechnik ist allgegenwärtig, wenn auch nicht immer ganz explizit und auf den ersten Blick erkennbar – und für Wirtschaft und Gesellschaft unverzichtbar. Vor allem dann unverzichtbar, wenn letztere den Wunsch nach Wohlstand mit der Forderung nach Effizienz, Nachhaltigkeit und einen schonenden Umgang mit Menschen und Umwelt verbindet.

## 1.2 Das Studienkonzept

Der Studiengang „Verfahrenstechnik“ ist Bestandteil eines ganzheitlichen Magdeburger Konzepts verfahrenstechnischer Studiengänge. Dieses Studium hier in Magdeburg zeichnet sich durch die komplexe inhaltliche, multiskalige und interdisziplinäre Verknüpfung aller Teilbereiche der Ingenieursausbildung aus. Ausgangspunkt ist dabei die Vermittlung eines soliden Grundlagenwissens und detaillierten Verständnisses der physikalischen, chemischen und biochemischen Grundvorgänge. Darauf aufbauend werden alle ein Verfahren (System) ausmachenden Elemente (Prozesse, Teilprozesse, Mikroprozesse, elementaren Grundvorgänge) und deren Zusammenwirken in einer ganzheitlichen Analyse betrachtet. In die Problemlösung und Synthese werden methodische Konzepte aus der Systemtechnik und Signalverarbeitung einbezogen. Weiterhin wird zunehmend die Wandlung biologischer Systeme untersucht, um von den in der Natur entwickelten effizienten Prozessen des Signalfusses und der Signalverarbeitung lernen zu können.

# 2 Beschreibung der Ziele des Studienganges

## 2.1 Ziele der verfahrenstechnischen Ausbildung

Die Verfahrenstechnik ist die Ingenieurwissenschaft, die sich mit der Erforschung, Entwicklung, Gestaltung und Durchführung von technischen Prozessen und Verfahren befasst, in denen gasförmige, flüssige und feste Stoffe in ihren Eigenschaften und ihrer Struktur verändert, gewandelt und umgewandelt werden. Verfahreningenieure übertragen die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse und die Ergebnisse von Laborversuchen in den Produktionsmaßstab. Das Studium basiert auf einem breiten Verständnis der Naturwissenschaften (Physik, Chemie) und der Mathematik. Diese Grundlagen werden angewendet und weiter entwickelt, um die Prozesse der mechanischen, thermischen und chemischen Stoffwandlung zu verstehen und aktiv zu gestalten. Der Studiengang Verfahrenstechnik zielt auf die Befähigung zur multiskaligen Modellierung und Simulation technischer Prozesse auf verschiedenen skalierten, mikroskopischen bis makroskopischen



Betrachtungsebenen. Studieninhalt ist die Erarbeitung und Vermittlung umfangreicher Kompetenzen in der physikalisch begründeten Auslegung von Prozessen und Verfahren, Apparaten und Anlagen der Stoffwirtschaft.

**Mögliche Berufs- und Einsatzfelder:**

Chemische und pharmazeutische Industrie, Futter-, Nahrungs- und Genussmitteltechnik, Werkstofftechnik, Apparate-, Maschinen- und Anlagenbau, Gebäudetechnik, Wärme- und Kältetechnik, Medizinische Technik usw.

**Voraussetzungen für das Studium**

Solide Schulkenntnisse in Naturwissenschaften und Mathematik sowie ein technisches Grundverständnis; Interesse und Spaß an naturwissenschaftlich-technischen Fragestellungen und an der Umsetzung naturwissenschaftlicher Grundlagen in die Praxis.

Der Studiengang Verfahrenstechnik ist konsekutiv aufgebaut: nach dem berufsqualifizierenden Bachelorabschluss wird ein fortführendes Masterstudium angeboten.

**2.2 Ziele des Bachelorstudienganges Verfahrenstechnik**

Der Studiengang Verfahrenstechnik ist modular aufgebaut. In der Regelstudienzeit von 7 Semestern sind 210 Creditpoints zu erwerben.

Im Bachelorstudiengang werden die Grundlagen in den wesentlichen ingenieurwissenschaftlichen und technischen Fächern über einen vergleichsweise hohen Anteil an Pflichtveranstaltungen vermittelt. Engagierte Professoren und Dozenten, ein gutes Betreuungsverhältnis, Praktika in modernen Laboren und enge Kontakte zur Industrie bieten dabei optimale Voraussetzungen für ein erfolgreiches Studium.

Die Absolventen erwerben einen ersten berufsqualifizierenden Abschluss und sind befähigt, *etablierte Methoden* aus der Verfahrenstechnik zur Problemlösung anzuwenden. Der Ingenieurstudiengang liefert den Studenten die notwendigen Grundlagen und Fähigkeiten, um im Masterstudiengang Verfahrenstechnik einen zweiten berufs- und forschungsqualifizierenden Abschluss mit dem akademischen Grad „Master of Science“ zu erlangen.

| <b>Bachelor ( 7 Semester)</b>            |                                              |                                   |                           |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| <b>Naturwissenschaftliche Grundlagen</b> | <b>Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen</b> | <b>Ingenieurtechnische Fächer</b> | <b>Fachpraktika</b>       |
| Mathematik                               | Mechanik                                     | Reaktionstechnik                  |                           |
| Physik                                   | Strömungen                                   | Mechanische Verfahrenstechnik     | <b>Industriepraktikum</b> |
| Chemie                                   | Thermodynamik                                | Thermische Verfahrenstechnik      |                           |
| Physikalische Chemie                     | Werkstoffe                                   | Apparatetechnik                   | <b>Bachelorarbeit</b>     |
|                                          | Informationen                                | Anlagentechnik                    |                           |
|                                          | Simulationen                                 |                                   |                           |



### 2.3 Ziele des Masterstudienganges Verfahrenstechnik

Neben einem vergleichsweise geringen Anteil an Pflichtveranstaltungen stellen sich die Studenten aus einem breiten und interessanten Wahlpflichtangebot eigenverantwortlich ihre Module zusammen. Außerdem bearbeiten sie in der Masterarbeit selbstständig ein anspruchsvolles wissenschaftliches Forschungsprojekt. Dabei erwerben sie in der Regelstudienzeit von 3 Semestern 90 Creditpoints.

Die Studenten des Masterstudienganges erwerben die umfangreichen Kompetenzen zur Erkennung und insbesondere zur effektiven Lösung verfahrenstechnischer Probleme mit *neuen methodischen Werkzeugen*. Die Absolventen können stoffliche Produkte, Prozesse (Apparate, Maschinen), Verfahren (Anlagen) eigenverantwortlich entwickeln sowie stoffwirtschaftliche Betriebe effizient planen, gestalten, optimieren und technisch bewerten. Damit treten sie in die bewährte Tradition des weltweit hoch angesehenen Diplomingenieurs und sind weiterhin international gefragte Experten.

Mit diesem zweiten berufs- und forschungsqualifizierenden Abschluss stehen den Absolventen vielfältige kreative Tätigkeitsfelder in führenden Industrieunternehmen und innovativen Forschungseinrichtungen offen.

|                                                         |                     |
|---------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Master (3 Semester)</b>                              |                     |
| <b>Vertiefung</b>                                       |                     |
| Reaktionstechnik                                        |                     |
| Verfahrenstechnik                                       |                     |
| Systemtechnik                                           |                     |
|                                                         | <b>Masterarbeit</b> |
| <b>Technische und nichttechnische Wahlpflichtfächer</b> |                     |



### 3 Bachelorstudiengang Verfahrenstechnik, Pflichtmodule

#### 3.1 Mathematik 1 für Ingenieure (Stg A)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modul:</b><br>Mathematik 1 für Ingenieure (Stg A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Grundlegende mathematische Fähigkeiten zur Modellierung und Lösung ingenieurtechnischer Problemstellungen: Die Studierenden erlangen auf Verständnis beruhende Vertrautheit mit den für die fachwissenschaftlichen Module relevanten mathematischen Konzepten und Methoden und erwerben unter Verwendung fachspezifischer Beispiele die technischen Fähigkeiten im Umgang mit diesen. |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mathematische Grundbegriffe</li><li>• Grundlagen der linearen Algebra</li><li>• Anwendungen der linearen Algebra</li><li>• Grundlagen der eindimensionalen Analysis</li><li>• Anwendungen der eindimensionalen Analysis</li></ul>                                                                                                                                         |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung, selbstständige Arbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b> keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 84 Stunden, Selbststudium: 156 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 120 / 8 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. V. Kaibel, FMA<br>Der jeweils verantwortliche Hochschullehrer ist dem aktuell gültigen Vorlesungsverzeichnis zu entnehmen.<br><b>Weitere Dozenten:</b><br>Prof. M. Simon, Prof. G. Warnecke                                                                                                                                                                                              |



### 3.2 Mathematik 2 für Ingenieure (Stg A)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modul:</b><br>Mathematik 2 für Ingenieure (Stg A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Grundlegende mathematische Fähigkeiten zur Modellierung und Lösung ingenieurtechnischer Problemstellungen: Die Studierenden erlangen auf Verständnis beruhende Vertrautheit mit den für die fachwissenschaftlichen Module relevanten mathematischen Konzepten und Methoden und erwerben unter Verwendung fachspezifischer Beispiele die technischen Fähigkeiten im Umgang mit diesen. |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendungen der eindimensionalen Analysis</li><li>• Fortgeschrittene Anwendungen der linearen Algebra</li><li>• Grundlagen der mehrdimensionalen Analysis</li><li>• Anwendungen der mehrdimensionalen Analysis</li><li>• Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik</li><li>• Numerische Aspekte</li></ul>                                                   |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung, selbstständige Arbeit<br>Teil 2a im SoSe, Teil 2 b im WiSe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I für Ingenieure (Stg A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 126 Stunden, Selbststudium: 204 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 180 / 11 CP (Teil 2a: 7 CP, Teil 2b: 4 CP)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. V. Kaibel, FMA<br>Der jeweils verantwortliche Hochschullehrer ist dem aktuell gültigen Vorlesungsverzeichnis zu entnehmen.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Weitere Dozenten:</b><br>Prof. M. Simon, Prof. G. Warnecke                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |





### 3.3 Stochastik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modul:</b><br>Stochastik für Ingenieure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>— Die Studierenden erkennen zufallsbedingte Vorgänge und verstehen, diese mit stochastischen Methoden auszuwerten und entsprechende fundierte Entscheidungen zu treffen.</li><li>— Sie entwickeln Fähigkeiten zur Modellierung und Bewertung von Zufallsexperimenten und beherrschen grundlegende Regeln bei der Auswertung statistischer Daten.</li><li>— Die Studenten beherrschen die für die fachwissenschaftlichen Module relevanten Konzepte und Methoden aus der Stochastik.</li></ul> |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modellierung von Zufallsexperimenten</li><li>• Zufallsgrößen und ihre Kenngrößen</li><li>• Zufallsvektoren und Funktionen von Zufallsgrößen</li><li>• Unabhängigkeit von und Korrelation zwischen Zufallsgrößen</li><li>• Gesetze der Großen Zahlen und Zentraler Grenzwertsatz</li><li>• Statistische Analysen (Schätzer, Konfidenzbereiche, Tests von Hypothesen)</li></ul>                                                                                                                                        |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / K 90 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>apl. Prof. W. Kahle, FMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Christoph/Hackel: <i>Starthilfe Stochastik</i> , Vieweg+Teubner-Verlag 2010.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |



### 3.4 Simulationstechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Simulationstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>In dieser Vorlesung erlangen die Studenten die Fähigkeit, die inzwischen weit verbreitete, kommerzielle mathematisch-numerische Programmierumgebung MatLab® als ein umfangreiches Ingenieurswerkzeug zu erlernen und zu benutzen, um damit Probleme und Aufgabenstellungen aus folgenden Studienveranstaltungen zu bearbeiten, in der eigenen wissenschaftliche Arbeiten anzuwenden und auch im späteren industriellen Arbeitsalltag auf vielfältige Weise zum Einsatz zu bringen. Zu Beginn der Vorlesung werden zunächst in einer kompakten Einführung die wichtigsten Grundlagen der Programmierung mit den relevanten numerischen Verfahren vermittelt. Danach erfolgt eine detaillierte, praxisorientierte Einführung in die Software. Das erworbene Wissen wird an einer Auswahl von studienfachbezogenen Problemstellungen aus den Bereichen Chemie- und Energietechnik als auch der Biotechnologie gefestigt und vertieft. |
| <b>Inhalt:</b><br><b>Theorie der Simulationstechnik</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Grundlagen allgemeiner Simulationsmethodik: Beispiele und Nutzen</li><li>• Grundlegende Schritte: Realität, Modell, Simulation</li><li>• Modellgleichungen und Lösungsalgorithmen</li><li>• Grundlagen zu relevanten numerischen Verfahren und Algorithmen</li><li>• Simulationstechniken zur Modellanalyse und Parameterbestimmung</li><li>• Einsatz der Simulation für Analyse, Optimierung und Design</li></ul> <b>Praktische Einführung in MATLAB</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Softwarenutzung und Programmiertechniken</li><li>• Funktionsaufrufe und Datenvisualisierung</li><li>• Numerische Lösung algebraischer, differentieller und integraler Gleichungen</li><li>• Simulation kontinuierlicher Systeme: Bilanzmodelle und chemischen Reaktoren</li><li>• Simulation diskreter Systeme: Verkehrsprobleme und biotechnologischen Modelle</li></ul>  |
| <b>Lehrformen:</b><br>1 SWS Vorlesung, 1 SWS Hörsaalübung und 1 SWS Computerlabor-Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I und II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Programmierung, Schriftliche Prüfung (K120) / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. A. Voigt, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Benker, Mathematik mit MATLAB : Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer 2000, Bungartz Modellbildung und Simulation Springer 2009.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



### 3.5 Physik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modul:</b><br>Physik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten können sicher mit den Grundlagen der Experimentalphysik (Mechanik, Wärme, Elektromagnetismus, Optik, Atomphysik) umgehen.<br>Sie können induktive und deduktive Methoden zur physikalischen Erkenntnisgewinnung mittels experimenteller und mathematischer Herangehensweise nutzen.<br>Sie können <ul style="list-style-type: none"><li>• die Grundlagen im Gebiet der klassischen Mechanik und Thermodynamik beschreiben,</li><li>• die mathematische Beschreibung dieser Grundlagen erklären,</li><li>• die Grundlagen und ihre mathematische Beschreibung anwenden, um selbstständig einfache physikalische Probleme zu bearbeiten,</li><li>• forschungsnahe Experimente durchführen</li><li>• Messapparaturen selbstständig aufbauen</li><li>• Messergebnisse auswerten</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Kinematik, Dynamik der Punktmasse und des starren Körpers, Erhaltungssätze, Mechanik deformierbarer Medien, Hydrostatik und Hydrodynamik, Thermodynamik, kinetische Gastheorie</li><li>– Felder, Gravitation, Elektrizität und Magnetismus, Elektrodynamik, Schwingungen und Wellen, Strahlen- und Wellenoptik, Atombau und Spektren, Struktur der Materie</li><li>– Hinweis: Modul baut auf <i>Physik I</i> auf; fakultative Teilnahme an weiteren Übungen (2 SWS) möglich</li></ul> <i>Übungen zu den Vorlesungen</i> <ul style="list-style-type: none"><li>– Bearbeitung von Übungsaufgaben zur Experimentalphysik</li></ul> <i>Physikalisches Praktikum</i> <ul style="list-style-type: none"><li>– Durchführung von physikalischen Experimenten zur Mechanik, Wärme, Elektrik, Optik</li><li>– Messung physikalischer Größen und Ermittlung quantitativer physikalischer Zusammenhänge</li></ul> Hinweise und Literatur sind zu finden unter <a href="http://www.uni-magdeburg.de/iep/lehreiep.html">http://www.uni-magdeburg.de/iep/lehreiep.html</a> oder <a href="http://hydra.nat.uni-magdeburg.de/ing/v.html">http://hydra.nat.uni-magdeburg.de/ing/v.html</a> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung / Übung / Praktikum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Physik 1. Semester: keine; Physik 2. Semester: Lehrveranstaltungen aus dem 1. Semester                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 98 Stunden, Selbststudium: 202 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Praktikumsschein / K 180 / 10 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. Dr. R. Goldhahn, FNW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



### 3.6 Anorganische Chemie

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Anorganische Chemie

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Ausgehend von grundlegenden Gesetzmäßigkeiten des Atombaus und der Anordnung der Elemente im Periodensystem können die Studierenden Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten der Allgemeinen und Anorganischen Chemie im Zusammenhang betrachten und auf die Eigenschaften und das Reaktionsverhalten der Elemente und Verbindungen übertragen.

Die Übungen dienen der Festigung des Vorlesungsstoffes und führen zu einem sicheren Umgang der Studierenden mit mathematisch fassbaren Inhalten z. B. aus den Bereichen der Stöchiometrie und der chemischen Gleichgewichte.

Im Praktikum erwerben die Studierenden Kompetenzen im sicheren Umgang mit Gefahrstoffen und können ihr theoretisches Wissen zur Chemie wässriger Lösungen anhand einfacher Nachweisreaktionen auf die Laborpraxis übertragen.

**Inhalt**

1. Aufbau der Materie, Atomaufbau, Kernreaktionen, Radioaktivität Bohrsches Atommodell, Quantenzahlen, Orbitale (s, p, d), Pauli-Prinzip, Hund'sche Regel, Struktur der Elektronenhülle Mehrelektronensysteme, Periodensystem der Elemente  
Ionisierungsenergie, Elektronenaffinität, Ionenbindung Atombindung (kovalente Bindung), Lewis-Formeln, Oktettregel, dative Bindung, Valenzbindungstheorie (VB), Hybridisierung,  $\sigma$ -Bindung,  $\pi$ -Bindung, Mesomerie
2. Molekülorbitaltheorie (MO-Theorie), Dipole, Elektronegativität, VSEPR-Modell, Van der Waals-Kräfte, Ideale Gase, Zustandsdiagramme  
Thermodynamik chemischer Reaktionen, Reaktionsenthalpie, Standardbildungsenthalpie, Satz von Heß, Chemisches Gleichgewicht, Massenwirkungsgesetz, Entropie, Geschwindigkeit chemischer Reaktionen (1. Ordnung), Arrhenius Gleichung, Katalyse (homogen, heterogen), Ammoniaksynthese, Synthese von Schwefeltrioxid
3. Lösungen, Elektrolyte, Löslichkeitsprodukt, Säure-Base Theorie (Arrhenius) (Bronsted), pH-Wert, Oxidationszahlen, Oxidation, Reduktion, Redoxvorgänge
  - Wasserstoff (Vorkommen, Eigenschaften, Darstellung) Wasserstoffverbindungen
  - Edelgase (Vorkommen, Eigenschaften, Verwendung) Edelgasverbindungen
  - Halogene (Eigenschaften, Vorkommen, Darstellung) Verbindungen der Halogene, Chalkogene (Eigenschaften, Vorkommen, Darstellung) Verbindungen der Chalkogene
4. Sauerstoffverbindungen, Oxide, Hyperoxide, Gewinnung von Schwefel (Frasch Verfahren) Schwefelverbindungen, Schwefelsäureherstellung (techn.)
5. Elemente der 5. Hauptgruppe (Eigenschaften, Vorkommen, Darstellung) Stickstoff-Wasserstoffverbindungen, Ammoniaksynthese, Stickoxide, Salpetersäureherstellung Elemente der 4. Hauptgruppe (Eigenschaften, Vorkommen, Darstellung) Carbide, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Carbonate, Siliziumdioxid, Herstellung von Reinstsilizium, Silikate, Gläser
6. Elemente der 3. Hauptgruppe (Eigenschaften, Vorkommen, Darstellung)
7. Elemente der 2. Hauptgruppe (Eigenschaften, Vorkommen, Darstellung) Elemente der 1. Hauptgruppe (außer Wasserstoff) (Eigenschaften, Vorkommen, Darstellung)  
Praktikum: Einführung in grundlegende Labortechnik anhand von Ionenreaktionen in wässriger Lösung sowie der qualitativen und quantitativen Analyse.

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übung, Praktikum



|                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                            |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit 56 Stunden, Selbststudium: 124 Stunden                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 120 / Praktikumsschein / 6 CP                      |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. F. T. Edelmann, FVST                                        |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Erwin Riedel: Allgemeine und Anorganische Chemie (de Gruyter Studium) |



### 3.7 Organische Chemie

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modul:</b><br>Organische Chemie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ausgehend von der grundlegenden Einteilung organischer Verbindungen erwerben die Studenten die Fähigkeit, aus wichtigen Strukturmerkmalen (funktionelle Gruppen) Gesetzmäßigkeiten für das Reaktionsverhalten ableiten zu können.</li><li>▪ Sie entwickeln ein Basisverständnis für die Inhalte der aufbauenden Module.</li><li>▪ In der Übung werden die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten organischer Reaktionsmechanismen an ausgewählten Beispielen trainiert.</li><li>▪ Das Praktikum dient der Entwicklung von Fertigkeiten im sicheren Umgang mit Gefahrstoffen sowie Labor- und Messgeräten sowie der Schulung des analytischen und logischen Denkens.</li></ul> |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Struktur und Bindung organischer Moleküle</li><li>• Radikalreaktionen</li><li>• Nucleophile Substitution und Eliminierung</li><li>• Additionsreaktionen</li><li>• Substitutionsreaktionen am Aromaten</li><li>• Oxidation und Dehydrierung</li><li>• Carbonylreaktionen</li><li>• bedeutende großtechnische Verfahren</li><li>• Reinigung und Charakterisierung von organischen Substanzen</li><li>• stoffgruppenspezifische Analytik</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung, Praktikum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeiten: 56 Stunden; Selbststudium: 124 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 120 / Praktikumsschein / 6 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. D. Schinzer, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |



### 3.8 Physikalische Chemie

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Physikalische Chemie

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Ziel des Moduls ist, die Studierenden zu befähigen, mit Grundbegriffen, wichtigen Gesetzmäßigkeiten und Messmethoden der Physikalischen Chemie sicher umgehen zu können. Die Studierenden erwerben Basiskompetenzen in den Bereichen (chemische) Thermodynamik, Kinetik und Elektrochemie, da vor allem makroskopische, weniger mikroskopische Zusammenhänge betrachtet werden.

In der Übung wird das Lösen physikalisch-chemischer Probleme anhand ausgewählter Rechenbeispiele trainiert.

Im Praktikum wird das theoretische Wissen angewendet und auf das Messen von physikalisch-chemischen Größen übertragen. Trainiert werden sowohl die Beobachtungsgabe und kritische Messwerterfassung als auch eine fundierte Darstellung der Ergebnisse im zu erstellenden Protokoll.

**Inhalt**Block 1:*Einführung*

Abriss der Hauptgebiete der Physikalischen Chemie; Grundbegriffe, -größen und Arbeitsmethoden der Physikalischen Chemie

*Chemische Thermodynamik*

System und Umgebung, Zustandsgrößen und Zustandsfunktionen, 0. Hauptsatz; Gasgleichungen, thermische Zustandsgleichung; Reale Gase, kritische Größen, Prinzip der korrespondierenden Zustände

Block 2:

1. Hauptsatz und kalorische Zustandsgleichung; Temperaturabhängigkeit von innerer Energie und Enthalpie: molare und spezifische Wärmekapazitäten; Reaktionsenergie und -enthalpie, Heßscher Satz; Isothermen und Adiabaten; Umsetzung von Wärme und Arbeit: Kreisprozesse; 2. Hauptsatz, Entropie, und 3. Hauptsatz

Block 3:

Konzentration auf das System: Freie Energie und Freie Enthalpie; Chemisches Potential und seine Abhängigkeit von Druck, Volumen, Temperatur und Molenbruch; Mischphasen: wichtige Beziehungen und Größen, partiell molare Größen; Mischungseffekte; Joule-Thomson-Effekt

Block 4:

Phasengleichgewichte in Ein- und Mehrkomponentensystemen; Gibbs'sche Phasenregel; Clapeyron- und Clausius-Clapeyron-Beziehung; Raoult'sches Gesetz, Dampfdruck- und Siedediagramme binärer Systeme, Azeotrope; Kolligative Eigenschaften; Schmelzdiagramme binärer Systeme

Block 5:

Chemisches Gleichgewicht: Massenwirkungsgesetz, Gleichgewichtskonstante und ihre Druck- und Temperaturabhängigkeit; Oberflächenenergie: Oberflächenspannung, Eötvös'sche Regel, Kelvin-Gleichung

*Kinetik homogener und heterogener Reaktionen*

Grundbegriffe: allgemeiner Geschwindigkeitsansatz, Ordnung und Molekularität; einfache Geschwindigkeitsgesetze; Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit: Arrhenius-Ansatz

Block 6:

Komplexere Geschwindigkeitsgesetze: Folgereaktionen, Quasistationaritätsnäherung und vorgelagerte Gleichgewichte; Kettenreaktionen und Explosionen; Katalyse allgemein; Adsorption und heterogene



## Katalyse

### Block 7:

#### *Elektrochemie (Thermodynamik und Kinetik geladener Teilchen)*

Grundbegriffe; Starke und schwache Elektrolyte; Elektrodenpotentiale und elektromotorische Kraft; Spannungsreihe; Halbzellen und Batterien (galvanische Zellen); Korrosion; Doppelschichten; Kinetik von Elektrodenprozessen

Parallel zur Vorlesung, die hier in 7 Blöcke á je 4 Unterrichtsstunden (2 Semesterwochen) gegliedert ist, werden Rechenübungen, in denen die Studierenden die Lösung entsprechender physikalisch-chemischer Probleme üben sollen, sowie ein Praktikum durchgeführt; in letzterem werden verschiedene Versuche aus den in der Vorlesung behandelten Gebieten durchgeführt.

### **Lehrformen:**

Vorlesung, Rechenübung, Praktikum mit Seminar

### **Voraussetzung für die Teilnahme:**

Mathematik I

### **Arbeitsaufwand:**

Präsenzzeit: 70 Stunden, Selbststudium: 110 Stunden

### **Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

K 120 / Praktikumsschein / 6 CP

### **Modulverantwortlicher:**

Prof. H. Weiß, FVST in Zusammenarbeit mit PD Dr. J. Vogt





### 3.9 Technische Mechanik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modul:</b><br>Technische Mechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten besitzen wesentliche Grundkenntnisse in der Statik, der Festigkeitslehre und der Dynamik. Sie sind in der Lage, einfache technische Problemstellungen aus den oben genannten Gebieten der Mechanik zu erkennen, diese richtig einzuordnen, daraus mechanische Berechnungsmodelle zu erstellen, die erforderlichen Berechnungen selbständig durchzuführen und die Ergebnisse zu bewerten.<br>Die Studenten beherrschen die statische und festigkeitsmäßige Berechnung von einfachen zwei- und dreidimensionalen elastischen Stab- und Balkentragwerken (Lagerreaktionen, Schnittgrößen, Spannungen und Verformungen, Biegelinie, Vergleichsspannungen). Sie verfügen über Grundkenntnisse in der Kinematik und Kinetik und können einfache ebene Bewegungsvorgänge von Massenpunkten und starren Körpern analysieren sowie die dabei auftretenden Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sowie die dazugehörigen Kräfte und Momente berechnen. |
| <b>Inhalt:</b><br><i>Technische Mechanik (Wintersemester)</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Statik: Grundlagen der Statik; ebene und räumliche Kraftsysteme; ebene Tragwerke; Schnittgrößen an Stab- und Balkentragwerken; Schwerpunktberechnung; Flächenträgheitsmomente; Haftung und Reibung;</li><li>- Festigkeitslehre: Grundlagen der Festigkeitslehre; Zug/Druck (Spannungen, Verformungen); Biegung (Spannungen, Verformungen - Differentialgleichung der Biegelinie)</li></ul><br><i>Technische Mechanik (Sommersemester)</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- Querkraftschub; Torsion kreiszylindrischer Wellen (Spannungen, Verformungen); zusammengesetzte Beanspruchungen, Stabilität;</li><li>- Dynamik: Einführung in die Kinematik; Einführung in die Kinetik: Axiome, Prinzip von d'Alembert, Arbeit und Energie, Energiemethoden; Einführung in die Schwingungslehre: freie und erzwungene Schwingungen des einfachen Schwingers.</li></ul>                               |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 112 Stunden, Selbststudium: 188 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 180 / 10 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Jun.-Prof. D. Juhre, FMB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>U. Gabbert, I. Raecke: Technische Mechanik, Carl Hanser Verlag München Wien, 6. Auflage 2011                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



### 3.10 Konstruktionselemente I

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modul:</b><br>Konstruktionselemente I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden können Konstruktionszeichnungen verstehen und kleine Konstruktionen durchführen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Inhalt:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Projektionslehre (Grundlagen, Normalprojektion, isometrische Projektion, Darstellung und Durchdringung von Körpern, Schnittflächen)</li><li>2. Normgerechtes Darstellen (Schnittdarstellung, Bemaßung von Bauteilen, Lesen von Zusammenstellungszeichnung von Baugruppen)</li><li>3. Gestaltabweichungen (Maßabweichungen (Toleranzen und Passungen), Form- und Lageabweichungen, Oberflächenabweichungen, Eintrag in Zeichnungen)</li><li>4. Gestaltungslehre, Grundlagen der Gestaltung (Methodik)</li><li>5. Fertigungsgerechtes Gestalten (Gestaltung eines Bauteils)</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung mit Belegarbeiten und einer Leistungskontrolle                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K120 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. K.-H. Grote, FMB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Lehrende:</b><br>Prof. K.-H. Grote, Dr. R. Träger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Hoischen/Hesser. Technisches Zeichnen. Berlin: Cornelsen Verlag<br>Weitere Literaturhinweise im Vorlesungsskript                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



### 3.11 Konstruktionselemente II und Apparatetelemente als Blockveranstaltung

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modul:</b><br>Konstruktionselemente II und Apparatetelemente als Blockveranstaltung                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Verstehen der Funktionsweise von wichtigen Konstruktionselementen</li><li>○ Erlernen/Ausprägung von Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Dimensionierung von Konstruktionselementen</li></ul>                                                                           |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>○ Grundlagen der Dimensionierung</li><li>○ Aufgaben, Funktion und Dimensionierung von Verbindungselementen, Welle-Nabe-Verbindungen, Federn, Achsen und Wellen, Wälzlagern, Gleitlagern, Dichtungen, Kupplungen und Bremsen, Zahnrädern und Zahnradgetrieben und Zugmittelgetrieben</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung und Übung, Hinweise zur Blockveranstaltung Apparatetelemente im UnivIS beachten                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Konstruktionselemente I                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Teilnahme an den Vorlesungen und Übungen / Testat / K 120 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modulverantwortliche:</b><br>PD Dr. D. Bartel in Zusammenarbeit mit Prof. L. Deters, FMB                                                                                                                                                                                                                                                        |



### 3.12 Werkstofftechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modul:</b><br>Werkstofftechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden können Werkstoffe entsprechend ihres Einsatzzwecks anhand ihrer Kenntnisse über Struktur und Eigenschaften und deren Beeinflussbarkeit auswählen. Sie kennen die Optimierbarkeit der Werkstoffeigenschaften und können auch unter ökonomischen und ökologischen Aspekten eine gezielte Werkstoffauswahl treffen. Die Studierenden sind in der Lage, Werkstoffkennwerte zu ermitteln und zu interpretieren, Methoden der Werkstoffprüfung und Schadensanalyse anzuwenden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Inhalt</b><br><b>Sommersemester</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Struktur und Gefüge von Werkstoffen<br/>Aufbau der Werkstoffe, Atomarer Aufbau und Bindungskräfte, Bau des freien Atoms, chemische Bindung, Bindungsenergie und interatomarer Abstand</li><li>2. Atomanordnung im Festkörper<br/>Kristallstrukturen, Realstruktur, Nichtkristalline (amorphe) Strukturen</li><li>3. Gefüge<br/>Experimentelle Methoden, Röntgenfeinstruktur, Licht- und Elektronenmikroskopie, Quantitative Gefügeanalyse, Bewegung von Atomen – Diffusion</li><li>4. Übergänge in den festen Zustand<br/>Aggregatzustände, Keimbildung und Keimwachstum, Erstarrungswärme und Gefügeausbildung, Gussfehler</li><li>5. Zustandsdiagramme<br/>Phasenregel, Binäre Systeme, Doppeltangentenregel, Hebelgesetz, Verlauf der Erstarrung, Seigerung, Typische binäre Zustandsdiagramme</li><li>6. Realdiagramme<br/>Eisen-Kohlenstoff-Diagramm, Darstellung von Ungleichgewichtszuständen, ZTU-Diagramme, Wärmebehandlung</li><li>7. Mechanische Eigenschaften<br/>Quasistatische Beanspruchung, Zugversuch, Biegeversuch, Härtemessung, Kreisversuch, Dynamische Beanspruchung – Kerbschlagbiegeversuch, Zyklische Beanspruchung, Bruchmechanik</li></ol> <b>Wintersemester</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Physikalische Eigenschaften<br/>Elektrische Eigenschaften, Ohmsches Gesetz und elektrische Leitfähigkeit, Einflussfaktoren auf die elektrische Leitfähigkeit in Metallen, Thermoelektrizität, thermische Eigenschaften, Wärmekapazität und spezifische Wärme, Thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit, Magnetische Eigenschaften, Magnetische Momente und Dipole, Magnetisches Feld und Induktion, Domänen und Hystereseschleife, Anwendungen der Hysteresekurve, Curie-Temperatur</li><li>2. Zerstörungsfreie Prüfung<br/>Radiographie und Radioskopie, Ultraschallverfahren, Weitere Verfahren</li><li>3. Chemische Eigenschaften – Korrosion</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung, Praktikum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



**Arbeitsaufwand:**

Präsenzzeit 98 h, Selbststudium 202 h

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

4 schriftliche Leistungsnachweise, erfolgreiche Teilnahme an 4 Praktika / K120 / 10 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. M. Scheffler, FMB

**Literaturhinweise:**

Bergmann, W.: Werkstofftechnik (Teil 1 und 2). Hanser-Verlag München

Askeland, D.R.: Materialwissenschaften. Spektrum-Verlag Heidelberg

Callister, W. D.: Fundamentals of materials science and engineering. Wiley-Verlag Hoboken

Schatt, Worch: Werkstoffwissenschaft. Dt. Verlag für Grundstoffindustrie Stuttgart.

Hornbogen, E.: Werkstoffe. Springer-Verlag Heidelberg, Berlin

Blumenauer, H.: Werkstoffprüfung. Dt. Verlag für Grundstoffindustrie Stuttgart.



### 3.13 Allgemeine Elektrotechnik I

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modul:</b><br>Allgemeine Elektrotechnik I                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden werden durch das Modul in die Lage versetzt, Grundbegriffe der Elektrotechnik nachzuvollziehen und anzuwenden. Sie können grundlegende Zusammenhänge erkennen. Sie sind befähigt, einfache Berechnungen und elementare Versuche im Labor durchzuführen. |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Grundbegriffe</li><li>• Stromkreise</li><li>• Wechselgrößen</li><li>• Felder - elektrisches Feld, magnetisches Feld</li></ul>                                                                                                                                |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung (V), Übung (Ü), einschließlich Laborübung                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik, Physik                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit 42 Stunden, Selbststudium 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Leistungsnachweis im Wintersemester zur Zulassung zum Praktikum im Sommersemester<br>Praktikumsschein / K 60 / 5 CP                                                                                                                                                  |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. A. Lindemann, FEIT                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Aktuelle Literatur zu diesem Modul ist im E-Learning-Portal moodle <a href="http://moodle.ovgu.de/m19/course/">http://moodle.ovgu.de/m19/course/</a> angegeben.                                                                                                                       |



### 3.14 Allgemeine Elektrotechnik II

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modul:</b><br>Allgemeine Elektrotechnik II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Dieses Modul soll die Studierenden in die Lage versetzen, die grundlegende Wirkungsweise und das Verhalten von elektrischen Maschinen und elektronischen Schaltungen nachzuvollziehen. Sie sollen somit die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten der Elektrotechnik erkennen. Sie sind befähigt, einfache Berechnungen und elementare Versuche im Labor durchzuführen |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Elektrische Maschinen</li><li>• Grundlagen der Elektronik</li><li>• Analog- und Digitalschaltungen</li><li>• Leistungselektronik</li><li>• Messung elektrischer Größen</li><li>• Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen</li></ul>                                                                                                                    |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung (V), Übung (Ü), einschließlich rechnerischer Praktika                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik, Physik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit 42 Stunden, Selbststudium 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Leistungsnachweis im Wintersemester zur Zulassung zum Praktikum im Sommersemester<br>Praktikumsschein / K 60 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. R. Leidhold, FEIT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Aktuelle Literatur zu diesem Modul ist im E-Learning-Portal moodle <a href="http://moodle.ovgu.de/m19/course/">http://moodle.ovgu.de/m19/course/</a> angegeben.                                                                                                                                                                                                                |



### 3.15 Technische Thermodynamik

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Technische Thermodynamik

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Das Modul verfolgt das Ziel, Basiswissen zu den Grundlagen der Energieübertragung und Energiewandlung sowie dem Zustandsverhalten von Systemen zu vermitteln. Die Studenten besitzen Fertigkeiten zur energetischen Bilanzierung von technischen Systemen sowie zur energetischen Bewertung von Prozessen. Sie sind befähigt, die Methodik der Thermodynamik für die Schulung des analytischen Denkvermögens zu nutzen und erreichen Grundkompetenzen zur Identifizierung und Lösung energetischer Problemstellungen.

Die Studenten kennen die wichtigsten Energiewandlungsprozesse, können diese bewerten und besitzen die Fähigkeit zu energie- und umweltbewusstem Handeln in der beruflichen Tätigkeit.

**Inhalt:**

1. Systematik und Grundbegriffe, Wärme als Form des Energietransportes, Arten der Wärmeübertragung, Grundgesetze und Wärmedurchgang
2. Wärmeübergang durch freie und erzwungene Konvektion, Berechnung von Wärmeübergangskoeffizienten, Energietransport durch Strahlung
3. Wärme und innere Energie, Energieerhaltungsprinzip, äußere Arbeit und Systemarbeit, Volumenänderungs- und technische Arbeit, dissipative Arbeit, p,v-Diagramm
4. Der erste Hauptsatz, Formulierungen mit der inneren Energie und der Enthalpie, Anwendung auf abgeschlossene Systeme, Wärme bei reversiblen Zustandsänderungen
5. Entropie und zweiter Hauptsatz, Prinzip der Irreversibilität, Entropie als Zustandsgröße und T,s-Diagramm, Entropiebilanz und Entropieerzeugung, reversible und irreversible Prozesse in adiabaten Systemen, Prozessbewertung (Exergie)
6. Zustandsverhalten einfacher Stoffe, thermische und energetische Zustandsgleichungen, charakteristische Koeffizienten und Zusammenhänge, Berechnung von Zustandsgrößen, ideale Flüssigkeiten, reale und ideale Gase, Zustandsänderungen idealer Gase
7. Bilanzen für offene Systeme, Prozesse in Maschinen, Apparaturen und Anlagen: Rohrleitungen, Düse und Diffusor, Armaturen, Verdichter, Gasturbinen, Windräder, Pumpen, Wasserturbinen und Pumpspeicherkraftwerke, Wärmeübertrager, instationäre Prozesse
8. Thermodynamische Potentiale und Fundamentalgleichungen, freie Energie und freie Enthalpie, chemisches Potential, Maxwell-Relationen, Anwendung auf die energetische Zustandsgleichung (van der Waals-Gas)
9. Mischungen idealer Gase (Gesetze von Dalton und Avogadro, Zustandsgleichungen) und Grundlagen der Verbrennungsrechnungen, Heiz- und Brennwert, Luftbedarf und Abgaszusammensetzung, Abgastemperatur und theoretische Verbrennungstemperatur (Bilanzen und h,s-Diagramm)
10. Grundlagen der Kreisprozesse, Links- und Rechtsprozesse (Energiewandlungsprozesse: Wärmekraftmaschine, Kältemaschinen und Wärmepumpen), Möglichkeiten und Grenzen der Energiewandlung (2. Hauptsatz), Carnot-Prozess (Bedeutung als Vergleichsprozess für die Prozessbewertung)
11. Joule-Prozess als Vergleichsprozess der offenen und geschlossenen Gasturbinenanlagen, Prozessverbesserung durch Regeneration, Verbrennungskraftmaschinen (Otto- und Dieselprozess) – Berechnung und Vergleich, Leistungserhöhung durch Abgasturbolader, weitere Kreisprozesse
12. Zustandsverhalten realer, reiner Stoffe mit Phasenänderung, Phasengleichgewicht und Gibbs'sche Phasenregel, Dampf tafeln und Zustandsdiagramme, Tripelpunkt und kritischer Punkt, Clausius-Clapeyron'sche Gleichung, Zustandsänderungen mit Phasenumwandlung
13. Kreisprozesse mit Dämpfen, Clausius-Rankine-Prozess als Satttdampf- und Heißdampfprozesse, „Carnotisierung“ und Möglichkeiten der Wirkungsgradverbesserung (Vorwärmung, mehrstufige Prozesse, ...)





14. Verluste beim Kraftwerksprozess, Kombiprozesse und Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung, Gas-Dampf-Mischungen, absolute und relative Feuchte, thermische und energetische Zustandsgleichung, Taupunkt

**Lehrformen:**  
Vorlesung, Übungen

**Voraussetzung für die Teilnahme:**  
Lehrveranstaltung des Sommersemesters baut auf die Lehrveranstaltung im Wintersemester auf

**Arbeitsaufwand:**  
Präsenzzeit: 112 Stunden, Selbststudium: 188 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**  
K 180 / 10 CP

**Modulverantwortlicher:**  
Prof. F. Beyrau, FVST



### 3.16 Strömungsmechanik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modul:</b><br>Strömungsmechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Auf der Basis der Vermittlung der Grundlagen der Strömungsmechanik und der Strömungsdynamik haben die Studenten Fertigkeiten zur Untersuchung und Berechnung von inkompressiblen Strömungen erworben. Sie besitzen Basiskompetenzen zur Betrachtung kompressibler Strömungen. Die Studierenden sind befähigt, eigenständig strömungsmechanische Grundlagenprobleme zu lösen.<br><br>Durch die Teilnahme an der Übung sind sie in der Lage, die abstrakten theoretischen Zusammenhänge in Anwendungsbeispiele zu integrieren. Sie können die Grundgleichungen der Strömungsmechanik in allen Varianten sicher anwenden. Außerdem können sie Grundkonzepte wie Kontrollvolumen und Erhaltungsprinzipien meistern. |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einführung, Grundprinzipien der Strömungsdynamik</li><li>• Wiederholung notwendiger Konzepte der Thermodynamik und der Mathematik</li><li>• Kinematik</li><li>• Kontrollvolumen und Erhaltungsgleichungen</li><li>• Reibungslose Strömungen, Euler-Gleichungen</li><li>• Ruhende Strömungen</li><li>• Bernoulli-Gleichung, Berechnung von Rohrströmungen</li><li>• Impulssatz, Kräfte und Momente</li><li>• Reibungsbehaftete Strömungen, Navier-Stokes-Gleichungen</li><li>• Ähnlichkeitstheorie, dimensionslose Kennzahlen</li><li>• Grundlagen der kompressiblen Strömungen</li><li>• Experimentelle und numerische Untersuchungsmethoden</li></ul>                                             |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I und II, Physik, Thermodynamik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 120 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. D. Thévenin, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>siehe <a href="http://www.uni-magdeburg.de/isut/LSS/Lehre/Vorlesungen/buecher.pdf">www.uni-magdeburg.de/isut/LSS/Lehre/Vorlesungen/buecher.pdf</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |



### 3.17 Regelungstechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Regelungstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden erwerben einen ersten Einblick in die Analyse und Synthese kontinuierlicher Regelungssysteme. Über die mathematische Beschreibung durch Differentialgleichungen werden sie befähigt, zunächst die wesentlichen Eigenschaften linearer zeitinvarianter Systeme im Zeitbereich und anschließend im Frequenzbereich zu untersuchen. Die erreichte Zielkompetenz besteht darin, diese Methoden erfolgreich zur Analyse und dem Entwurf von Regelsystemen einzusetzen. |
| <b>Inhalt:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Einführung: Ziele und Wege der Regelungstechnik</li><li>2. Mathematische Modellierung dynamischer Systeme</li><li>3. Verhalten linearer zeitinvarianter Systeme</li><li>4. Beschreibung im Frequenzbereich</li><li>5. Laplace-Transformation und Übertragungsfunktion</li><li>6. Regelverfahren</li><li>7. Analyse und Entwurf von Regelkreisen</li></ol>                                                                                                            |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I-II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 90 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. A. Kienle, FEIT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



### 3.18 Messtechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Messtechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nach Abschluss dieses Moduls haben die Studenten ein Grundverständnis für die Basisbegriffe derjenigen Messtechnik, die in der Verfahrenstechnik regelmäßig für Transport- und Energieprozesse eingesetzt wird.</li><li>• Durch die Anwendung in der Übung/Praktikum sind sie in der Lage, mit konventionellen und optischen Messgeräten zu arbeiten, um integrale und lokale Größen zu bestimmen und auszuwerten.</li><li>• Sie haben die Kompetenzen erlangt, die für Stoff und Energie umwandelnde Prozesse relevanten Messgrößen zu erkennen, die geeignete Messtechnik auszuwählen und die erforderlichen Messungen erfolgreich durchzuführen und auszuwerten.</li></ul> |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Grundbegriffe der Messtechnik, Messgenauigkeit, Messbereich, Kalibrierung.</li><li>• Messfehler</li><li>• Signalerfassung und -verarbeitung</li><li>• Messverfahren: für Geschwindigkeit, Massen- und Volumenstrom, Dichte, Druck, Temperatur, Viskosität, Oberflächenspannung und Feuchte</li><li>• Laseroptische Messverfahren: LDA, PDA, LIF, PIV, Schattenverfahren</li><li>• Optische Messverfahren: Schlieren, Interferometrie, Holographie, Absorption, Emission</li><li>• Konzentrationsmessung</li><li>• Füllstandsmessung und Wägung</li></ul>                                                                                                                                              |
| <b>Lehrform:</b><br>Vorlesung, Übung, Praktikum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I und II, Strömungsmechanik, Thermodynamik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 90 / Leistungsnachweis für das Praktikum / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr.-Ing. K. Zähringer, FVST<br><b>Lehrende:</b><br>Dr.-Ing. K. Zähringer, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Siehe: <a href="http://www.lss.ovgu.de/lss_media/Downloads/Lehre/Vorlesung/Messtechnik/Literaturverzeichnis.pdf">http://www.lss.ovgu.de/lss_media/Downloads/Lehre/Vorlesung/Messtechnik/Literaturverzeichnis.pdf</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |



### 3.19 Prozessdynamik I

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Modul:</b><br>Prozessdynamik I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden sind befähigt, das dynamische Verhalten von örtlich konzentrierten Prozessen der Verfahrenstechnik, der Energietechnik und der Biosystemtechnik mittels mathematischer Modelle zu beschreiben und zu analysieren. Sie sind in der Lage, diese Modelle für vorgegebene Prozesse konsistent aufzustellen, geeignete numerische Lösungsverfahren auszuwählen und darauf aufbauend stationäre und dynamische Simulationen durchzuführen. Sie können qualitative Aussagen über die Stabilität autonomer Systeme treffen und sind befähigt, das dynamische Antwortverhalten technischer Prozesse für bestimmte Eingangssignale quantitativ vorherzusagen. Ausgehend von den erzielten Analyseergebnissen sind die Studierenden in der Lage, die Wirkung von Struktur- und Parametervariationen auf die Dynamik der untersuchten Prozesse korrekt einzuschätzen. |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Motivation und Anwendungsbeispiele</li><li>• Bilanzgleichungen für Masse und Energie</li><li>• Thermodynamische und kinetische Gleichungen</li><li>• Allgemeine Form dynamischer Modelle</li><li>• Numerische Simulation dynamischer Systeme</li><li>• Linearisierung nichtlinearer Modelle</li><li>• Stabilität autonomer Systeme</li><li>• Laplace-Transformation</li><li>• Übertragungsverhalten von „Single Input Single Output“ (SISO) Systemen</li><li>• Übertragungsverhalten von „Multiple Input Multiple Output“ (MIMO) Systemen</li><li>• Übertragungsverhalten von Totzeitgliedern</li><li>• Analyse von Blockschaltbildern</li></ul>                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Lehrformen:</b><br>2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I und II, Simulationstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Schriftliche Prüfung (K120) / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. A. Voigt, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>[1] B.W. Bequette, <i>Process Dynamics</i> , Prentice Hall, New Jersey, 1998.<br>[2] D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp, <i>Process Dynamics and Control</i> , John Wiley & Sons, New York, 1989.<br>[3] B.A. Ogunnaike, W.H. Ray, <i>Process Dynamics, Modeling and Control</i> , Oxford University Press, New York, 1994.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



### 3.20 Wärme- und Stoffübertragung

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modul:</b><br>Wärme- und Stoffübertragung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden verstehen die Mechanismen der Wärme- und Stoffübertragung. Auf dieser Basis können Sie für verschiedene Fluide und Apparate Wärme- und Stoffübergangs-koeffizienten berechnen. Einfache Wärmeübertragungsprozesse können thermisch ausgelegt werden, wobei die Vielfältigkeit von geometrischen Lösungen bewusst ist. Dabei wird ein Verständnis für die Gegensätzlichkeit von Betriebs- und Investitionskosten sowie für die wirtschaftliche Auslegung erworben. Einfach Verdampfungsprozesse können bei noch vorgegebener Wärmezufuhr thermisch ausgelegt werden. Dabei erlernen sie Stabilitäts-kriterien zu beachten und anzuwenden. Die Studierenden können Wärmeverluste von Apparaten und Gebäuden berechnen sowie die Wirkung und die Wirtschaftlichkeit von Wärmedämmmaßnahmen beurteilen. Sie können Gleichgewichtsbeziehungen auf Transportvorgänge zwischen flüssigen und gasförmigen Phasen anwenden und sind somit befähigt, an den Modulen Thermische Verfahrenstechnik und Reaktionstechnik teilzunehmen.                                                                                                                                                                                |
| <b>Inhalt:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Arten der Wärmeübertragung (Grundgleichungen für Leitung, Konvektion und Strahlung), Erwärmung von thermisch dünnen Körpern und Fluiden (Newtonsches Kapazitätsmodell)</li><li>2. Wärmedurchgang in mehrschichtigen Wänden, Wärmewiderstände, Wirkung von Wärmedämmungen und Rippen</li><li>3. Konvektion, Herleitung Nusseltfunktion, laminare und turbulente Grenzschichten, überströmte Körper (Platte, Kugel, Rohre, Rohbündel), durchströmte Körper (Rohre, Kanäle, Festbetten), temperaturabhängige Stoffwerte, Prallströmungen (Einzeldüse, Düsensysteme)</li><li>4. Freie Konvektion (Grenzschichten, Nu-Funktionen für verschiedene Geometrien), Verdampfung (Mechanismus, Nu-Funktionen, Stabilität von Verdampfer, Kühlvorgänge), Kondensation (Filmtheorie, laminare und turbulente Nu-Funktionen)</li><li>5. Rekuperatoren (Gleich-, Gegen- und Kreuzstrom), Regeneratoren,</li><li>6. Arten der Diffusion (gewöhnlich, nicht-äquimolar, Porendiffusion, Darcy, Knudsen), Stoffübergang</li><li>7. Stationäre Vorgänge, Diffusion durch mehrschichtige Wände, Katalysatoren, Stoffübergang zwischen Phasen (Henry), Kopplung von Wärme- und Stoffübertragung am Beispiel Verdampfung</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Technische Thermodynamik, Strömungsmechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K 120 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. E. Specht, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Eigenes Buch zum Download; Baer, Stephan: Wärme- und Stoffübertragung (Springer Verlag)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |



### 3.21 Gemisch- und Grenzflächenthermodynamik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modul:</b><br>Gemisch- und Grenzflächenthermodynamik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Auf der Grundlage einer methodisch-grundlagenorientierten Wissensvermittlung erwerben die Studenten Fertigkeiten zur Beschreibung des Zustands- und Gleichgewichtsverhaltens mehrkomponentiger und mehrphasiger Systeme in verfahrenstechnischen Prozessen. Sie erhalten Kompetenzen bei der Analyse und Lösung stoffwirtschaftlicher Problemstellungen in der beruflichen Tätigkeit, die in der Übung an Fallbeispielen trainiert werden. Insbesondere können sie die für verfahrenstechnische Prozessberechnungen benötigten Stoffwerte realer, mehrkomponentiger Systeme sowie die Gleichgewichtsdaten für Mehrphasensysteme bereitstellen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Inhalt:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Einführung und Grundbegriffe, Kennzeichnung von Gemischen Mischungen idealer Gase, Zustandsgleichungen, Mischungsentropie idealer Gase, Gas-Dampf-Gemische, Zustandsverhalten</li><li>2. h, X-Diagramm, Randmaßstab, Druckabhängigkeit, Verdunstung, einseitige Diffusion, adiabate Beharrungstemperatur und Kühlgrenztemperatur, Psychrometerproblem, nichtadiabate Verdunstung, Wechselwirkungen Luft/Wasser beim Überströmen einer Wasserflasche.</li><li>3. Zustandsänderungen feuchter Luft, allgemeine Formulierung der Bilanzen, Anwendungen auf Lüfter, Erhitzer, Kühler Dampfbefeuchter, adiabate Wäscher (Kühlgrenztemperatur, Befeuchtungsgrade) und Mischkammern.</li><li>4. Zustandsverhalten realer Mischungen, Mischungsgrößen, partielle molare Größen, Fundamentalgleichungen und chemisches Potential, Gibbs-Duhem'sche Beziehung, Berechnung des chemischen Potentials idealer Gase, idealer Mischungen und realer Fluide, Fugazität und Aktivität, Exzessgrößen</li><li>5. Zweistoffgemische: Phasengleichgewicht und Gibbs'sche Phasenregel, Flüssig-Flüssig-Gleichgewichte, Flüssig-Dampf-Gleichgewichte/Verdampfung und Kondensation, p, x-, T, x- und h, x-Diagramme, Gemische mit azeotropem Punkt, Fest-flüssig-Gleichgewichte/Schmelzen und Erstarren</li><li>6. Grundlagen der Berechnung von Phasengleichgewichten, Anwendung auf Dampf-Flüssig-Gleichgewichte und Löslichkeit von Gasen, Prozesse mit Zweistoffsystemen: Mischung, Verdampfung in geschlossenen und offenen Systemen, adiabate Drosselung, Absorption, Absorptionskältemaschine und technische Trennprozesse/Destillation und Rektifikation</li><li>7. Grenzflächensysteme, Oberflächenspannung, Phasengleichgewichte an gekrümmten Grenzflächen, Bilanzierung von Grenzflächensysteme, integrale und differentielle Betrachtung, Transporththeorem, Marangoni-Konvektion</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung / Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Technische Thermodynamik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / K 120 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. J. Sauerhering, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



### 3.22 Mechanische Verfahrenstechnik

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Mechanische Verfahrenstechnik

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studenten

- erwerben physikalische Grundverständnisse wesentlicher Prozesse der mechanischen Verfahrenstechnik und Partikeltechnik
- können sicher mit den statistisch verteilten Stoffeigenschaften disperser Partikelsysteme (*Stoffanalyse*) umgehen, siehe Inhalt 1., um die Produktqualität zu verbessern (*Produktgestaltung*),
- analysieren die Probleme und definieren die Ziele wesentlicher Stoffwandlungsprozesse disperser Stoffsysteme (*Prozess-Diagnose*) und arbeiten mögliche Problemlösungen aus (*Prozessgestaltung*)
- entwickeln und festigen ihre Fertigkeiten bei der Auswahl, Auslegung, Gestaltung, der verfahrenstechnischen und energetischen Bewertung stochastischer und stationärer Prozesse,
- können in Grundzügen wesentliche mechanische Prozesse gestalten und die betreffenden Maschinen funktionell auslegen, siehe Inhaltsangabe 2. bis 8.

**Inhalt:**

1. Einführung, Kennzeichnung **disperser Stoffsysteme**, Partikelcharakterisierung, Partikelgrößenverteilungen, Mengenarten, statistische Momente, Verteilungskennwerte, Oberfläche, physikalische Partikelmessmethoden, Partikelform, Packungszustände
- 2.1 **Partikelherstellung** durch **Zerkleinerung**, Prozessziele, Festkörperbindungen, Materialverhalten und Bruchmechanik, Rissbildung, Beanspruchungsarten, Mikroprozesse der Zerkleinerung,
- 2.2 Bewertung und Kenngrößen des makroskopischen Prozessergebnisses, Wirkprinzipien und Einsatzgebiete der Brecher und Mühlen, funktionelle Maschinenauslegung
- 3.1 **Trennung** von **Partikeln**, mechanische Trennprozesse, Kennzeichnung des Trennergebnisses durch die Trennfunktion, Bewertung der Trennschärfe
- 3.2 **Siebklassierung**, Partikeldynamik, Wirkprinzipien und Einsatzgebiete von Siebmaschinen, funktionelle Maschinenauslegung
- 4.1 **Stromklassierung**, Partikelbewegung im Fluid, Strömungs- und Feldkräfte, stationäre Partikelsinkgeschwindigkeit,
- 4.2 Einführung in die Kennzeichnung turbulenter Strömungen, turbulente Partikeldiffusion, turbulente Gegen- und Querstromklassierung der Partikel in Wasser und Luft,
- 4.3 Trennmodelle, Wirkprinzipien und Einsatzgebiete turbulenter Gegenstrom- und Querstromklassierapparate, Hydrozyklonauslegung, Gegenstrom- und Querstromwindsichter
5. Verschaltung von Zerkleinerungs- und Klassierprozessen
- 6.1 Transport und Lagerung von Partikelsystemen, **Wechselwirkungen**, molekulare Bindungen und mikromechanische Partikelhaftkräfte,
- 6.2 Makroskopische Spannungszustände, Fließkennwerte, Messmethoden, Fließverhalten kohäsiver Pulver,
- 6.3 Probleme bei der praktischen **Pulverhandhabung**, Problemlösung mittels fließgerechter **Auslegung** von Massen- und Kernflusstrichtern
7. **Partikelformulierung** durch Agglomeration, Ziele der Agglomeration und physikalischen Produktgestaltung, Agglomeratfestigkeit, Wirkprinzipien und Einsatzgebiete von Pelletiermaschinen, Brikett-, Tabletten- und Walzenpressen
8. **Vermischen** von Partikeln, stochastische Homogenität, Mischkinetik, Wirkprinzipien und Einsatzgebiete von Feststoffmischern, Trommel- und Zwangsmischer, Durchströmbarkeit feiner Partikelpackungen und Homogenisierung in einer Wirbelschicht

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übungen und praktische Übungen (Partikelmesstechnik, Zerkleinerung, Feinstklassierung, Pulverfließeigenschaften)





**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Stochastik, Physik, Technische Mechanik, Strömungsmechanik I

**Arbeitsaufwand:**

Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

mündliche Prüfung / Leistungsnachweis / 5 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. Hintz, FVST

**Literaturhinweise:**

- [1] Manuskript mit Text, Bildern, Übungen und Praktikumsanleitungen siehe [www.ovgu.de/ivt/mvt/](http://www.ovgu.de/ivt/mvt/)
- [2] Schubert, H., Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik, Wiley-VCH, Weinheim 2003
- [3] Schubert, H., Mechanischen Verfahrenstechnik, Dt. Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig 1990



### 3.23 Apparatetechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Modul:</b><br>Apparatetechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Ausgehend von den unterschiedlichen wesentlichen Prozessen in der Verfahrenstechnik besitzen die Studenten Basiskompetenzen für deren apparative Umsetzung. Sie haben ein Grundverständnis für die erforderlichen Apparate sowie deren Gestaltung von der Funktionserfüllung bis zur Apparatefestigkeit. Den Studenten sind die wesentlichen Grundlagen für die festigkeitsseitige Berechnung wichtiger Apparateelemente bekannt. Sie können, ausgehend von den verfahrenstechnischen Erfordernissen, die verschiedenen Typen von Wärmeübertragungsapparaten, Stoffübertragungsapparaten, Apparaten für die mechanische Stofftrennung und –vereinigung sowie Pumpen und Ventilatoren in ihrer Wirkungsweise einschätzen und beherrschen vereinfachte Berechnungsansätze in Form von Kriterialegungen. Sie besitzen ein erstes Verständnis für den Betrieb derartiger Apparate und Anlagen. Sie haben durch eine Exkursion in einen Produktionsbetrieb (z. B. Zuckerfabrik) direkten Einblick in die Betriebsabläufe und die Funktionsweise von wichtigen Apparatetypen erhalten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Inhalt:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Einführung, Aufgaben des Chemischen Apparatebaus, Überblick über wesentliche Grundlagen, Prinzipielle Methoden der Berechnung von Prozessen und zugehörigen Apparaten, Wichtige Gesichtspunkte für den Apparateentwurf</li><li>2. Gewährleistung der Apparatefestigkeit, Grundlagen, Beispiele für Festigkeitsberechnungen von zylindrischen Mänteln, ebenen und gewölbten Böden und anderen Apparateteilen</li><li>3. Wärmeübertragungsapparate, Berechnungsgrundlagen Bauarten von Wärmeübertragungsapparaten und wesentliche Leistungsdaten von Wärmeübertragern</li><li>4. Stoffübergangsapparate, Grundgesetze, Thermische Gleichgewichte zwischen verschiedenen Phasen, Blasendestillation, Mehrstufige Prozesse, Rektifikation, Konstruktive Stoffaustauschelemente, Hydraulischer Arbeitsbereich, Allgemeiner Berechnungsablauf für Kolonnenböden, Konstruktive Details von Kolonnen</li><li>5. Apparate für die Trocknung von Feststoffen, Berechnungsgrundlagen, Arten der Trocknung, Übersicht über technisch wichtige Trocknerbauformen</li><li>6. Apparate für die mechanische Trennung disperser Systeme, Apparative Gestaltung von Sedimentationsapparaten, Filtrationsapparate, Apparative Gestaltung von Zentrifugen, Dekantern</li><li>7. Rohrleitungen und Armaturen, Apparative Ausführung von Pumpen und Ventilatoren und deren Betriebsweise</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung (Im Rahmen der Übung wird ein Apparat berechnet und konstruktiv entworfen), Exkursion                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik, Physik, Strömungsmechanik I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Konstruktiver Entwurf eines Apparates (Die positive Bewertung ist Voraussetzung für die Zulassung zur Prüfung) / K 120 / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



**Modulverantwortlicher:**

Prof. F. Herz, FVST / M. Sc. J. Seidenbecher

**Literaturhinweise:**

Eigenes Script in moodle zum Herunterladen; Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag, 21. Auflage 2005; VDI-Wärmeatlas, VDI-Verlag, 10. Auflage 2006; Verfahrenstechnische Berechnungsmethoden, Teil 2: Thermisches Trennen, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1996; Apparate–Technik–Bau–Anwendung, Vulkan-Verlag Essen, 1997; Grundlagen der Rohrleitungs- und Apparatechnik, Vulkan-Verlag Essen, 2004; Berechnung metallischer Rohrleitungsbauteile nach EN 13480-3, Vogel-Buchverlag Würzburg, 2005



### 3.24 Thermische Verfahrenstechnik

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Thermische Verfahrenstechnik

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden können thermodynamische oder kinetische Effekte identifizieren, die zur Trennung von Stoffgemischen nutzbar sind. Sie sind in der Lage, Trennprozesse für die Verfahrenstechnik, die Umwelttechnik sowie die Energietechnik auszulegen, und können die apparative Umsetzung und Wirtschaftlichkeit solcher Prozesse einschätzen. Diese an ausgewählten Beispielen (Destillation/Rektifikation, Absorption, Extraktion, Konvektionstrocknung) erlangten Fähigkeiten, können sie im Grundsatz auf weitere, im Modul nicht explizit behandelte thermische Trennprozesse übertragen und anwenden.

**Inhalt**Gleichgewichtstrennprozesse:

- Thermodynamik der Dampf-Flüssig-Gleichgewichte
- Absatzweise und stetige Destillation
- Theorie der Trennkaskaden, Rektifikation in Boden- und Füllkörperkolonnen
- Trennung azeotroper Gemische
- Praktische Ausführung und hydraulische Auslegung von Boden- und Füllkörperkolonnen
- Lösungsgleichgewichte von Gasen in Flüssigkeiten
- Absorption in Boden- und Füllkörperkolonnen
- Praktische Ausführung von Absorptionsapparaten
- Thermodynamik der Flüssig-Flüssig-Gleichgewichte
- Trennung von Flüssigkeitsgemischen durch Extraktion
- Praktische Ausführung von Extraktionsapparaten

Kinetisch kontrollierte Trennprozesse:

- Grundlagen der Konvektionstrocknung
- Sorptionsgleichgewichte und normierte Trocknungskurve der Einzelpartikel
- Auslegung von Konvektionstrocknern
- Verdunstung von Flüssigkeitsgemischen
- Diffusionsdestillation und Beharrungsazeotrope

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übung

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Technische Thermodynamik, Strömungsmechanik I

**Arbeitsaufwand:**

Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

K 120 / 5 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. E. Tsotsas, FVST



**Literaturhinweise:**

Eigene Notizen zum Download; Thurner, Schlünder: Destillation, Absorption, Extraktion (Thieme Verlag); Schlünder: Einführung in die Stoffübertragung (Thieme Verlag); Seader, Henley: Separation process principles (Wiley).



### 3.25 Reaktionstechnik

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Reaktionstechnik

**Ziele des Moduls:**

Die Studenten

- erwerben ein physikalisches Grundverständnis wesentlicher Prozesse der chemischen Verfahrenstechnik insbesondere der Reaktionstechnik
- sind in der Lage, chemische Reaktionen zu analysieren, z.B. Schlüsselkomponenten und Schlüsselreaktionen herauszuarbeiten
- können sichere Aussagen zum Fortschreiten von Reaktionen in Abhängigkeit der Prozessbedingungen und zur Ausbeute sowie Selektivität gewünschter Produkte treffen und sind somit befähigt einen geeigneten Reaktortyp auswählen
- haben die Kompetenz, Reaktionen unter komplexen Aspekten, wie Thermodynamik, Kinetik und Katalyse zu bewerten
- sind im Umgang mit Rechenmodellen gefestigt und damit in der Lage einen BR, CSTR oder PFTR verfahrenstechnisch auszulegen bzw. stofflich und energetisch zu bewerten

**Inhalt:**

1. Stöchiometrie chemischer Reaktionen
  - Schlüsselkomponenten
  - Bestimmung der Schlüsselreaktionen
  - Fortschreitungsgrade
  - Ausbeute und Selektivität
2. Chemische Thermodynamik
  - Reaktionsenthalpie
  - Berechnung der Reaktionsenthalpie
  - Temperatur- Druckabhängigkeit
  - Chemisches Gleichgewicht
  - Berechnung der freien Standardreaktionsenthalpie
  - Die Gleichgewichtskonstante  $K_p$  und ihre Temperaturabhängigkeit
  - Einfluss des Drucks auf die Lage des Gleichgewichts
  - Regeln zur Gleichgewichtslage
3. Kinetik
  - Reaktionsgeschwindigkeit
  - Beschreibung der Reaktionsgeschwindigkeit
  - Zeitgesetze einfacher Reaktionen
  - Ermittlung kinetischer Parameter
  - Differentialmethode
  - Integralmethode
  - Kinetik heterogen katalysierter Reaktionen
  - Prinzipien und Beispiel
  - Adsorption und Chemiesorption
  - Langmuir-Hinshelwood-Kinetik
  - Temperaturabhängigkeit heterogen katalysierter Reaktionen
4. Stofftransport bei der heterogenen Katalyse
  - allgemeine Grundlagen



- Diffusion in porösen Systemen
- Porendiffusion und Reaktion
- Filmdiffusion und Reaktion
- Gas-Flüssig-Reaktionen
- Dreiphasen-Reaktionen
  
- 5. Berechnung chemischer Reaktoren
  - Formen und Reaktionsführung und Reaktoren
  - Allgemeine Stoffbilanz
  - Isotherme Reaktoren
  - Idealer Rührkessel (BR)
  - Ideales Strömungsrohr (PFTR)
  - Idealer Durchflussrührkessel (CSTR)
  - Vergleich der Idealreaktoren und Auslegungshinweise
  - Rührkesselkaskade
  - Mehrphasen-Reaktoren
  
- 6. Wärmebilanz chemischer Reaktoren
  - Allgemeine Wärmebilanz
  - Der gekühlte CSTR
  - Stabilitätsprobleme
  - Qualitative Ergebnisse für andere Reaktoren
  - Verweilzeitverhalten chemischer Reaktoren
  - Messung und Beschreibung des Verweilzeitverhaltens
  - Verweilzeitverteilung für einfache Modelle
  - Umsatzberechnung für Realreaktoren
  - Kaskadenmodell
  - Dispersionsmodell
  - Segregationsmodell
  - Selektivitätsprobleme
  
- 7. Stoffliche Aspekte der Chemischen Verfahrenstechnik
  - Bedeutung der chemischen Industrie und Rohstoffversorgung
  - Erdölkonversion und petrochemische Grundstoffe
  - Steam-Cracken von Kohlenwasserstoffen
  - Chemische Produkte und Produktstammbäume

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übung

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Chemie

**Arbeitsaufwand:**

Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

K 120 / 5 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. A. Seidel-Morgenstern / Prof. Ch. Hamel, FVST



### 3.26 Chemische Prozesse und Anlagen

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modul:</b> Chemische Prozesse und Anlagen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Teilnehmer <ul style="list-style-type: none"><li>• lernen die Grundoperationen der chemischen Verfahrenstechnik kennen,</li><li>• erwerben Basiswissen über die wichtigsten Syntheseverfahren,,</li><li>• werden in die Lage versetzt, Grundfragen des Anlagenbaus und Betriebes anhand von Fließbildern, Stoff- und Energiebilanzen, Aufstellung, Organisation, Sicherheits- und Umweltfragen zu bearbeiten,</li><li>• lernen rechtliche Grundfragen des Anlagenbetriebs kennen und</li><li>• können die verfahrenstechnischen Eckdaten für Chemieanlagen berechnen.</li></ul>                                                                                                                                                                               |
| <b>Inhalt</b><br><br>Grundlagen zum Ablauf und der Entscheidungsfindung bei der Planung und Projektierung verfahrenstechnischer Anlagen<br><br>Verfahrenstechnische Grundoperationen (Synthese, Polymerisation usw.)<br><br>Wichtige Syntheseverfahren (Haber-Bosch-Verfahren, Fischer-Tropsch-Verfahren, Polymerisation ...)<br><br>Fließbilder (Grund-, Prozess-, R&I-, Stoffmengen- und Energiefließbild)<br><br>Symbole für Apparate und Instrumentierung<br><br>Stoff- und Wärmebilanzen<br><br>Ausrüstung, Rohrleitungen und Armaturen<br><br>Aspekte von Sicherheit und Genehmigung<br><br>Einführung in die funktionale Sicherheit<br><br>Verdeutlichung der Inhalte anhand ausgewählter Beispiele verfahrenstechnischer Anlagen mit besonderer industrieller oder sicherheitstechnischer Bedeutung |
| <b>Lehrformen:</b> Vorlesung 2 SWS, Übung 1 SWS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b> ingenieurtechnische Grundkenntnisse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Arbeitsaufwand:</b> 3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden<br>Selbststudium: 84 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- K120 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modulverantwortlicher:</b> Dr. D. Gabel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |





### 3.27 Bioverfahrenstechnik

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Bioverfahrenstechnik

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**Teil 1 (Biologie für Ingenieure)

Die Studenten erwerben Basiskompetenzen bzgl. der Chemie der Zelle / Mikrobiologie / Zellbiologie. Die Themen umspannen den Aufbau und die Funktion von Zellen, sowie die Grundlagen der mikrobiellen Genetik und der Biochemie. Im Praktikum erwerben die Studenten Fertigkeiten zur eigenständigen Nutzung mikrobiologischer Arbeitstechniken wie Sterilisation, Kultivierung von Mikroorganismen und Mikroskopie. Die Studenten kennen die Anforderungen von Mikroorganismen / Zellen an ihre Umwelt, können ihr Wachstum und ihre Aktivität mit einfachen Mitteln quantifizieren und diese Fähigkeiten selbstständig für die Entwicklung und Optimierung biotechnologischer Verfahren einsetzen.

Teil 2 (Bioverfahrenstechnik)

Den Studierenden werden die wesentlichen Grundlagen der biologischen, apparativen und theoretischen Aspekte biotechnologischer Prozesse vermittelt. Die Studierenden lernen Geräte, Messtechniken und Verfahren kennen, die in der Bioverfahrenstechnik routinemäßig zur Kultivierung von Mikroorganismen und zur Aufreinigung biologischer Wirkstoffe eingesetzt werden. Durch die praktischen Übungen sind die Studierenden in der Lage eigenständig Experimente in Bioreaktoren sowie Versuche zur Aufreinigung von Makromolekülen (Proteine) vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten. Die Ergebnisse der Versuche können sie in Form von schriftlichen Protokollen darstellen.

**Inhalt:**Teil 1 (Biologie für Ingenieure)

- Mikroorganismen
- Chemie der lebenden Zelle
- Die prokaryontische Zelle
- Kultivierung von prokaryonten
- Grundmechanismen des Stoffwechsels
- Genetik

Praktikum

- Herstellung und Sterilisation von Medien und Materialien
- Kultivierung von Mikroorganismen (Trübungsmessung, Trockengewicht)
- Mikroskopie (Färbetechniken, mikroskopische Zellzählung)
- Physiologie und Biochemie (Verwertung von Substraten, Bildung von Produkten, Sensitivität gegenüber Antibiotika)
- Identifizierung

Teil 2 (Bioverfahrenstechnik)

- Einführung
- Bioprozesse
- Vermehrung von Mikroorganismen (Wachstumskinetik, Einfluss physikalischer Faktoren,
- Produktbildung, Substratverbrauch, Sauerstoffbedarf)
- Fermentationspraxis (Bioreaktoren, Steriltechnik, Impfkulturen, Transportprozesse,
- Maßstabsvergrößerung)
- Analyse von Fermentationsprozessen (On-line Messungen, Off-line Messungen, Prozesskontrolle, Modellierung)
- Downstream Processing



- Vorbemerkungen (Ziel von Aufbereitungsverfahren, Aufarbeitung von Proteinen , Reinheit, Proteinreinigungsprozesse als Einheitsoperationen, Isolierung von intra- und extrazellulären Proteinen)
- Zellaufschluss
- Flotation
- Sedimentation
- Zentrifugation
- Filtration und Membranseparation
- Chromatographie (Grundlagen chromatographischer Trennungen, Chromatographiemethoden, Systemkomponenten einer Chromatographieranlage, das Chromatogramm, Trennprinzipien der stationären Phasen, Vorversuche zur chromatographischen Trennung, Chromatographische Medien, Gelfiltration, adsorptionschromatographische Methoden)
- Trocknung

#### Übung

- theoretische Übungen: Upstream Processing und Downstream Processing
- praktische Übung: Upstream Processing (Bioreaktor: Wachstum eines gentechnisch modifizierten von *E. coli*)
- praktische Übung: Downstream Processing (Reinigung eines üexprimierten Proteins mit Affinitäts- und Gelchromatographie)

#### Lehrformen:

##### Teil 1 (Biologie für Ingenieure)

Vorlesung, Praktikum; (WS); (5. Semester)

##### Teil 2 (Bioverfahrenstechnik)

Vorlesung, Übung; (SS); (6. Semester)

#### Voraussetzung für die Teilnahme:

Grundlagenfächer des Bachelor

#### Arbeitsaufwand:

##### Teil 1 (Biologie für Ingenieure)

2 SWS; (28 h Präsenzzeit + 32 h selbständiges Arbeiten)

##### Teil 2 (Bioverfahrenstechnik)

VT (B.sc.) 2 SWS; (28 h Präsenzzeit + 62 h selbständiges Arbeiten)

CI/MSPG (B.sc.): 3 SWS; (42 h Präsenzzeit + 78 h selbständiges Arbeiten)

STK (M.sc.): 3 SWS; (42 h Präsenzzeit + 78 h selbständiges Arbeiten)

#### Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:

##### Teil 1 (Biologie für Ingenieure)

benoteter Leistungsnachweis im Anschluss an das Praktikum / 2CP (1/3 der Gesamtnote)

##### Teil 2 (Bioverfahrenstechnik)

VT: Klausur (90 min) / 3 CP (2/3 der Gesamtnote)

CI/MSPG: Klausur (90 min) / praktische Übung mit unbenoteten Leistungsnachweis / 4 CP (2/3 der Gesamtnote)

STK: Klausur (90 min) / praktische Übung mit unbenotetem Leistungsnachweis / 4 CP (2/3 der Gesamtnote)

#### Modulverantwortlicher:

Prof. U. Reichl, FVST

#### Lehrende:

Prof. U. Reichl, Dr. D. Benndorf, FVST



**Literaturhinweise:**

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., Walter, P. (2014): Molecular Biology of the Cell, 6th ed., Garland Science
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Gatto, G.J., Stryer, L (2015): Biochemistry, 8th ed., W. H. Freeman
- Fuchs T.G. (Hrsg.), Eitinger, T., Heider, J., Kemper, B., Kothe, E. (2014): Allgemeine Mikrobiologie, 9. Auflage, Thieme
- Fritsche, W. und Laplace, F. (1999): Mikrobiologie, Spektrum Akademischer Verlag 1999
- Lengeler, J.W., Drews, G., Schlegel, H.G. (1999). Biology of the Prokaryotes, Wiley-Blackwell
- Lim, D. (1998): Microbiology, 2nd ed., WCB/McGraw-Hill,
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Bender, K.S., Buckley, D.H., Stahl, D.A., Brock, T. (2015) Brock Biology of Microorganisms, 14th ed., Pearson
- Nelson, D.L., Cox, M.M. (2017): Lehninger Principles of Biochemistry, 7th ed., W. H. Freeman
- Soetaert, W., Vandamme, E. J. (Hrsg.) (2010); Industrial Biotechnology Sustainable Growth and Economic Success. 1th ed., Wiley-VCH Verlag GmbH
- Chmiel, H. (2011): Bioprozesstechnik, Spektrum Akademischer Verlag; Auflage: 3
- Storhas, W. (2000): Bioreaktoren und periphere Einrichtungen, Vieweg
- Storhas, W. (2013): Bioverfahrensentwicklung, Wiley-VCH



### 3.28 Praktikum Verfahrenstechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Modul:</b><br>Praktikum Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Erwerb von Fertigkeiten zur experimentellen Umsetzung von Grundlagenkenntnissen aus den verfahrenstechnischen Modulen</li><li>• Entwicklung eines kritischen und verantwortungsbewussten Umgangs mit Messdaten</li><li>• Befähigung zur Arbeit mit analytischen Methoden</li></ul>                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Inhalt:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Charakterisierung von Nanopartikeln (MVT-A)</li><li>2. Herstellung von Nanopartikeln durch Feinstzerkleinerung (MVT-B)</li><li>3. Porosimetrie (MVT-C)</li><li>4. Bestimmung kinetischer Konstanten (CVT-A)</li><li>5. Betriebspunkt eines adiabatischen Rührkessels (CVT-B)</li><li>6. Verweilzeitmodellierung (TVT-A)</li><li>7. Rektifizierkolonne (TVT-B)</li><li>8. Lineare Systemanalyse mittels Impedanzspektroskopie (SVT)</li><li>9. Up-Stream Processing (BPT-A)</li><li>10. Down-Stream Processing (BPT-B)</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Praktikum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Leistungsnachweis / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulverantwortliche:</b><br>Prof. Ch. Hamel, FVST in Zusammenarbeit mit Dr. W. Hintz u. a.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



### 3.29 Verfahrenstechnische Projektarbeit

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modul:</b><br>Verfahrenstechnische Projektarbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Frühzeitige Beschäftigung mit einem verfahrenstechnischen Prozess ausgehend von eigenen experimentellen Untersuchungen über das Produktverhalten und die Produkteigenschaften bis zu vollständigen Beschreibung der Herstellung,</li><li>• Sammlung von Erfahrungen in der Gruppenarbeit und in der Präsentation,</li><li>• Entwicklung von sozialen Beziehungen zwischen den Studierenden des Studienganges.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Inhalt:</b> <p>Für gegebene Produkte soll das Verfahren zur Herstellung beschrieben werden. Dazu sollen jeweils Versuche durchgeführt werden, um das Verhalten des Produktes während der Stoffumwandlung kennen zu lernen. In den Instituten stehen entsprechende Versuchsanlagen und Laborgeräte zur Verfügung. Zu jedem Projekt ist ein Ansprechpartner angegeben, der in die Versuche und Messungen einweist und für Diskussionen über die Verfahren bereit steht. So sollen z. B. Schnaps gebrannt, Kaffee geröstet, Getreide getrocknet, Bier gebraut, Zucker kristallisiert, Kalk gebrannt werden usw.</p> <p>Um Informationen über das Verfahren und den Prozess zu erhalten, soll vornehmlich das Internet genutzt werden. Für Versuche und Recherchen ist der Zeitraum des 1. Semesters vorgesehen. Mit dem Betreuer sind regelmäßig Treffen zu vereinbaren, bei dem über den Stand der Arbeiten berichtet wird. Während des 2. Semesters werden Verfahren und Prozess in einem Seminarvortrag allen Mitstudierenden vorgestellt. So weit möglich soll Powerpoint verwendet werden.</p> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Übung mit Experimenten, Seminar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 28 Stunden, Selbststudium: 62 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Präsentation / 3 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. E. Specht, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



### 3.30 Nichttechnische Fächer

|                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtfächer im Bachelorstudiengang Verfahrenstechnik                                                                                                  |
| <b>Modul:</b><br>Nichttechnische Fächer                                                                                                                                            |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden verstehen die Spielregeln des Berufslebens, soziale Kompetenzen und Teamarbeiten. Sie können Projekte und Zeit managen. |
| <b>Inhalt:</b><br>Vergleiche Katalog „Nichttechnische Fächer“                                                                                                                      |
| <b>Lehrformen:</b><br>- Vorlesung, Seminare, Projekte, Übungen                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                            |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Leistungsnachweise / 5 CP                                                                                                            |
| <b>Modulverantwortliche:</b><br>Vergleiche Katalog „Nichttechnische Fächer“                                                                                                        |



### 3.31 Industriepraktikum, Exkursion, Seminarvortrag

**Studiengang:**

Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik

**Modul:**

Industriepraktikum, Exkursion, Seminarvortrag

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Im Industriepraktikum haben die Studierenden Erfahrungen zu Arbeitsverfahren, Arbeitsmitteln und Arbeitsprozessen gesammelt. Sie kennen organisatorische und soziale Verhältnisse der Praxis und haben ihre eigenen sozialen Kompetenzen trainiert. Sie können die Dauer von Arbeitsabläufen zeitlich abschätzen. Sie können die Komplexität von Arbeitsabläufen und die Stellung des Ingenieurs im Gesamtkontext einordnen.

Durch die Exkursion haben die Studierenden einen Einblick in einen gesamten Verfahrensablauf erhalten und können die Größenordnung von Apparaten abschätzen.

Durch den Seminarvortrag können die Studierenden Ergebnisse und Erkenntnisse einem Publikum präsentieren und diesbezügliche Fragen beantworten. Sie erhalten ein Feedback über die Art und Weise ihres Vortrages und dessen Verständlichkeit.

**Inhalt:**

Das Industriepraktikum umfasst grundlegende Tätigkeiten und Kenntnisse zu Produktionstechnologien sowie Apparaten und Anlagen. Aus den nachfolgend genannten Gebieten sollen mindestens fünf im Praktikum in mehreren Abschnitten berücksichtigt werden. Das Praktikum kann in Betrieben stattfinden.

- Energieerzeugung
- Behandlung von Feststoffen
- Behandlung von Fluiden
- Instandhaltung, Wartung und Reparatur
- Messen, Analysen, Prüfen, Qualitätskontrolle
- Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Prozessanalyse
- Montage und Inbetriebnahme
- Bioprozess-, Pharma- und Umwelttechnik
- Gestaltung von Produkten
- Fertigungsplanung, Arbeitsvorbereitung, Auftragsabwicklung
- Fachrichtungsbezogene praktische Tätigkeit nach Absprache mit dem Praktikantenamt

Für die Erarbeitung der Präsentation im Rahmen des Seminarvortrages werden fachübergreifende Themen angeboten, die die Zusammenführung der theoretischen Kenntnisse aus den Grundlagenmodulen und dem Wissen aus den fachspezifischen Gebieten fordert. Der Seminarvortrag umfasst eine eigenständige und vertiefte schriftliche Auseinandersetzung mit einem Problem aus dem Arbeitszusammenhang des jeweiligen Moduls unter Einbeziehung und Auswertung einschlägiger Literatur. In einem mündlichen Vortrag (mindestens 15 Minuten) mit anschließender Diskussion soll die Arbeit dargestellt und ihre Ergebnisse vermittelt werden. Die Ausarbeitungen müssen schriftlich vorliegen.

**Lehrformen:**

Industriepraktikum, Exkursion (Organisation: Fachschaft, aber auch eigenverantwortlich Firmenbesichtigungen möglich), Seminarvortrag

**Voraussetzung für die Teilnahme:****Arbeitsaufwand:**

450 Stunden, 15 CP



**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Praktikumsbericht, Teilnahmebescheinigung, Seminarvortrag

**Modulverantwortlicher:**

Prof. E. Specht (Prüfungsausschussvorsitzender)





### 3.32 Bachelorarbeit

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Bachelor Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modul:</b><br>Bachelorarbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Ziel des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Es soll der Nachweis erbracht werden, dass innerhalb einer vorgegebenen Frist ein Problem unter Anleitung mit wissenschaftlichen Methoden bearbeitet werden kann. Bei erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden zudem in der Lage, selbst erarbeitete Problemlösungen strukturiert vorzutragen und zu verteidigen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Inhalt:</b><br>Themenstellungen zu aktuellen Forschungsvorhaben werden von den Professoren der am Studiengang beteiligten Fakultäten bekannt gegeben. Die Studierenden können sich ein Thema ihrer Neigung auswählen. Die Ausgabe des Themas ist im Prüfungsamt mit den Namen der Prüfenden aktenkundig zu machen. Im Kolloquium haben die Studierenden nachzuweisen, dass sie in der Lage sind, die Arbeitsergebnisse aus der wissenschaftlichen Bearbeitung eines Fachgebietes in einem Fachgespräch zu verteidigen. In dem Kolloquium sollen das Thema der Bachelorarbeit und die damit verbundenen Probleme und Erkenntnisse in einem Vortrag von max. 15 Minuten dargestellt und diesbezügliche Fragen beantwortet werden. |
| <b>Lehrformen:</b><br>Problembearbeitung unter Anleitung mit Abschlussarbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Voraussetzung für Teilnahme:</b><br>150 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 Monate                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Bachelorarbeit mit Kolloquium 15 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prüfungsausschussvorsitzender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



## 4 Masterstudiengang Verfahrenstechnik, Pflichtmodule

### 4.1 Systemverfahrenstechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modul:</b><br>Systemverfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden sind befähigt, das dynamische Verhalten von örtlich verteilten Prozessen der Verfahrenstechnik, der Energietechnik und der Biosystemtechnik mittels mathematischer Modelle zu beschreiben und zu analysieren. Sie sind in der Lage, physikalisch fundierte Modelle bestehend aus Kontinuumsbilanzen, kinetischen Ansätzen, thermodynamischen Zustandsgleichungen, Rand- und Anfangsbedingungen konsistent zu formulieren. Sie können geeignete numerische Lösungsverfahren sowohl für stationäre als auch für dynamische Simulationen auswählen, diese korrekt anwenden und Simulationen mit dem Computer durchführen. Sie können qualitative Aussagen über die Sensitivität und Stabilität der untersuchten Systeme treffen. Die Studierenden sind darüber hinaus befähigt, komplexe Modelle in geeigneter Weise so zu reduzieren, dass die Prozesssimulation bei hinreichender Genauigkeit möglichst effizient erfolgen kann. Sie sind in der Lage, die erzielten Simulationsergebnisse mit naturwissenschaftlich-technischen Argumenten zu interpretieren. |
| <b>Inhalt:</b><br>1) Thermodynamisch-mechanischer Zustand von Fluiden<br>2) Allgemeine Bilanzgleichungen für Kontinua<br>3) Konstitutive Gleichungen und Transportparameter<br>4) Thermodynamik der Gemische<br>5) Numerische Methoden zur Lösung partieller Differentialgleichungen<br>6) Simulationsmethoden für örtlich verteilte Prozesse<br>7) Modellierung mehrphasiger Prozesse<br>8) Methoden und Ansätze der Modellreduktion                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Lehrformen:</b><br>2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Simulationstechnik, Prozessdynamik I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Schriftliche Prüfung (K120) / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. K. Sundmacher, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>[1] M. Jischa, Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch, Vieweg, 1982.<br>[2] B. Bird, et al., <i>Transport Phenomena</i> , Wiley, 2002.<br>[3] R.C. Reid, et al., <i>The Properties of Gases and Liquids</i> , McGraw-Hill, 1987.<br>[4] S. I. Sandler, <i>Chemical, Biochemical and Engineering Thermodynamics</i> , Wiley, 2006.<br>[5] S.V. Patankar, <i>Numerical Heat Transfer and Fluid Flow</i> , McGraw-Hill, 1980.<br>[6] A. Varma et al., <i>Mathematical Methods in Chemical Engineering</i> , Oxford U. Press, 1997.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |



## 4.2 Dynamik komplexer Strömungen

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Modul:</b><br>Dynamik komplexer Strömungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden sind befähigt, die grundlegenden Mechanismen komplexer Strömungen in verfahrenstechnischen Apparaten zu verstehen, zu beurteilen und zu berechnen. Sie verfügen über vertiefte Kenntnisse im Bereich der Strömungsmechanik und der Strömungsdynamik und kennen spezifische Themen, die für die Verfahrenstechnik besonders wichtig sind. Das betrifft insbesondere solche Komplexitätsmerkmale (mehrere Phasen mit Wechselwirkung, komplexes Stoffverhalten, reaktive Prozesse, Dichteänderungen...), die für Verständnis, Auslegung und Optimierung praktischer verfahrenstechnischer Prozesse erforderlich sind.<br>Da sie während der Lehrveranstaltung entsprechende Aufgaben gelöst haben, können die Studenten, in den entsprechenden Themenbereichen eigenständig Strömungen analysieren. |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einführung, Wiederholung notwendiger Grundkenntnisse</li><li>• Kompressible Strömungen mit Reibungsverlusten und Wärmeaustausch</li><li>• Verdichtungsstöße und Verdünnungswellen</li><li>• Laminare und turbulente Grenzschichten</li><li>• Strömungen mit freier oder erzwungener Konvektion, reaktive Strömungen</li><li>• Strömungen komplexer Fluide, nicht-newtonsches Verhalten</li><li>• Turbulente Strömungen und deren Modellierung</li><li>• Mehrphasenströmungen<ul style="list-style-type: none"><li>○ Grundeigenschaften</li><li>○ Analyse disperser Systeme</li><li>○ Analyse dicht beladener Systeme</li></ul></li></ul>                                                                                                                                                              |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung mit Übungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Strömungsmechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium:108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / M / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. D. Thévenin, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>siehe <a href="http://www.uni-magdeburg.de/isut/LSS/Lehre/Vorlesungen/buecher.pdf">www.uni-magdeburg.de/isut/LSS/Lehre/Vorlesungen/buecher.pdf</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



### 4.3 Transport phenomena in granular, particulate and porous media

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Pflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Module:</b><br>Transport phenomena in granular, particulate and porous media                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Objectives:</b><br>Dispersed solids find broad industrial application as raw materials (e.g. coal), products (e.g. plastic granulates) or auxiliaries (e.g. catalyst pellets). Solids are in this way involved in numerous important processes, e.g. regenerative heat transfer, adsorption, chromatography, drying, heterogeneous catalysis. To the most frequent forms of the dispersed solids belong fixed, agitated and fluidized beds. In the lecture the transport phenomena, i.e. momentum, heat and mass transfer, in such systems are discussed. It is shown, how physical fundamentals in combination with mathematical models and with intelligent laboratory experiments can be used for the design of processes and products, and for the dimensioning of the appropriate apparatuses.<br><ul style="list-style-type: none"><li>• Master transport phenomena in granular, particulate and porous media</li><li>• Learn to design respective processes and products</li><li>• Learn to combine mathematical modelling with lab experiments</li></ul> |
| <b>Contents:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Transport phenomena between single particles and a fluid</li><li>• Fixed beds: Porosity, distribution of velocity, fluid-solid transport phenomena<br/>Influence of flow maldistribution and axial dispersion on heat and mass transfer</li><li>• Fluidized beds: Structure, expansion, fluid-solid transport phenomena</li><li>• Mechanisms of heat transfer through gas-filled gaps</li><li>• Thermal conductivity of fixed beds without flow<br/>Axial and lateral heat and mass transfer in fixed beds with fluid flow</li><li>• Heat transfer from heating surfaces to static or agitated bulk materials</li><li>• Contact drying in vacuum and in presence of inert gas</li><li>• Heat transfer between fluidized beds and immersed heating elements</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Teaching:</b><br>Lectures / Exercises; (summer semester)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Prerequisites:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Work load:</b><br>3 hours per week<br>Lectures and tutorials: 42 h, Private studies: 78 h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Examinations/Credits:</b><br>Oral exam / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Responsible lecturer:</b><br>Prof. E. Tsotsas, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Literature:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Own notes for download</li><li>- Schlünder, E.-U., Tsotsas, E., Wärmeübertragung in Festbetten, durchmischten Schüttgütern und Wirbelschichten, Thieme, Stuttgart, 1988</li><li>- Geankoplis, C.J., Transport processes and separation process principles, Prentice Hall, 2003</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



#### 4.4 Simulation mechanischer Prozesse

**Studiengang:**

Pflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Simulation mechanischer Prozesse

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studenten

- vervollkommen und festigen ihr physikalisches Grundverständnis wesentlicher dynamischer Prozesse der mechanischen Verfahrenstechnik und Partikeltechnik
- können sicher mit den statistisch verteilten Stoffeigenschaften disperser Partikelsysteme (*Stoffanalyse*) umgehen, siehe Inhalt 1., um die Produktqualität zu verbessern (*Produktgestaltung*),
- analysieren gründlich die Probleme und definieren die Ziele der stochastischen und dynamischen Stoffwandlungsprozesse disperser Stoffsysteme (*Prozess-Diagnose*) und arbeiten optimale Problemlösungen aus (*Prozessgestaltung*)
- entwickeln und festigen ihre Kompetenzen und Fertigkeiten bei der Entwicklung, Gestaltung, **multiskalige Modellierung** und **Simulation** sowie der verfahrenstechnischen, energetischen, ökologischen und ökonomischen Bewertung gekoppelter, stochastischer, instationärer, dynamischer, mechanischer Prozesse (*Verfahrensgestaltung*),
- können wesentliche mechanische Prozesse gestalten und die betreffenden Maschinen funktionell auslegen, siehe Inhaltsangabe 2. bis 8.

**Inhalt:**

1. Festigung des Wissensstandes bezüglich Kennzeichnung **disperser Stoffsysteme**, neue physikalische Partikelmessmethoden der Granulometrie, Methoden der Porosimetrie
2. Festigung des Wissensstandes bezüglich **Partikelherstellung** durch **Zerkleinerung**, Mechanolumineszenz während der Bruchentstehung, Nutzung dieser physikalischen Effekte zur Entwicklung von innovativen Online-Messmethoden, Bilanzierung der Mikroprozesse des Partikelbruches und der makroskopischen Kinetik der Zerkleinerung mittels Populationsbilanzen, energetische Bewertung des Prozessserfolges, funktionelle Maschinenauslegung
- 3.1 Festigung des Wissensstandes bezüglich **Trennung** von **Partikeln**, Bilanzierung der Kinetik mechanischer Trennprozesse, Trennfunktion und Trennschärfe als stochastische Schwankungsgrößen des Prozessserfolges
- 3.2 Kinetik und eindimensionale Partikeldynamik der **Siebklassierung**, energetische Bewertung des Prozessserfolges, Konsequenzen für die funktionelle Maschinenauslegung
- 4.1 Simulationen der **Stromklassierung**, **mikroskopisch** beschleunigte (zeitabhängige) Partikelbewegung im Fluid, Strömungs- und Feldkräfte einschließlich Masseträgheit, instationäre und stationäre Partikelsinkgeschwindigkeit, Geschwindigkeits-Zeit-Gesetze und Weg-Zeit-Gesetze der laminaren und turbulenten Partikelumströmung,
- 4.2 Kennzeichnung der **Dynamik** turbulenter Strömungen, turbulente Partikeldiffusion, eindimensionale Fokker-Planck-Gleichung des konvektiven (gerichteten) und diffusiven (zufälligen) Partikeltransportes im **makroskopischen** Kontinuum, Bilanzmodelle der turbulente Gegen- und Querstromklassierung der Partikel in Wasser und Luft,
- 4.3 Modellierung der mehrstufigen turbulenten Querstrom-Trennprozesse und -apparate, energetische Bewertung des Prozessserfolges
5. Modellierung und Simulation der Kombination und Verschaltung makroskopischer Zerkleinerungs- und Klassierprozesse, energetische Bewertung der Prozessserfolge
- 6.1 Kurze Einführung in die **Diskrete-Elemente-Methode**, konventionelles Feder-Dämpfer-Kontaktmodell, mikromechanisches Kraft-Weg-Modell elastisch-plastischer viskoser Kontakte adhäsiver feiner Partikel,
- 6.2 Problemlösungen für die **Pulverdosierung**, Fluktuationen beim Ausfließen kohäsiver feiner Pulver aus Containern, Modellierung und Simulation des beginnenden (beschleunigten) Ausfließens kohäsiver Pulver
7. **Partikelformulierung** durch Pressagglomeration, Kompressibilität und Kompaktierbarkeit kohäsiver Partikelpackungen, zweidimensionale Spannungsverteilung und dynamische Fließzustände im



|                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Walzenspalt, Auslegung von Walzenpressen</p> <p>8. <b>Beschichtung</b> kohäsiver Pulver mit Additiven zwecks physikalische Produktformulierung, stochastische Homogenität und Mischkinetik in Hochleistungs-Zwangsmischern</p>                  |
| <p><b>Lehrformen:</b><br/>Vorlesung und Übungen</p>                                                                                                                                                                                                |
| <p><b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br/>Mechanische Verfahrenstechnik</p>                                                                                                                                                                   |
| <p><b>Arbeitsaufwand:</b><br/>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden</p>                                                                                                                                                              |
| <p><b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br/>mündliche Prüfung / Leistungsnachweis / 5 CP</p>                                                                                                                                                 |
| <p><b>Modulverantwortlicher:</b><br/>Dr. Hintz, FVST</p>                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>Literaturhinweise:</b><br/>[1] Manuskript mit Text, Bildern und Übungen siehe <a href="http://www.ovgu.de/ivt/mvt/">www.ovgu.de/ivt/mvt/</a><br/>[2] Schubert, H., Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik, Wiley-VCH, Weinheim 2003</p> |



#### 4.5 Reaktionstechnik in mehrphasigen Systemen

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Reaktionstechnik in mehrphasigen Systemen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten <ul style="list-style-type: none"><li>• können verweilzeit- bzw. vermischungsbedingte Effekte in realen technischen Reaktoren analysieren und mathematisch quantifizieren</li><li>• sind in der Lage auch detaillierte, mehrdimensionale Reaktormodelle sicher einzusetzen und auf diverse chemische bzw. reaktionstechnische Problemstellungen zu übertragen</li><li>• sind befähigt ein- und mehrphasige Reaktionssysteme zu modellieren und zu bewerten</li><li>• können moderne integrierte Reaktorkonzepte, deren Apparative Umsetzung und Wirtschaftlichkeit einschätzen und sind in der Lage diese in die Praxis zu überführen</li></ul>                                    |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Verweilzeitmodellierung in technischen Reaktoren</li><li>– Reaktormodellierung (Schwerpunkt: 2D)</li><li>– Mehrphasige Reaktionssysteme<ul style="list-style-type: none"><li>– heterogen katalysierte Gasphasenreaktionen, z.B. Festbett- und Wirbelschichtreaktoren</li><li>– Gas-Flüssig-Reaktionen, z.B. Blasensäulen</li><li>– Dreiphasenreaktoren, z.B. Trickle beds</li></ul></li><li>– Polymerisationsreaktionen und -prozesse</li><li>– Innovative integrierte Reaktorkonzepte<ul style="list-style-type: none"><li>– Reverse-Flow-Reaktoren,                      Reaktivdestillation,                      Reaktionschromatographie, Membranreaktoren</li></ul></li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung / Seminare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Chemie, Stoff- und Wärmeübertragung, Reaktionstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>M / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. A. Seidel-Morgenstern / Prof. Ch. Hamel, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Literaturhinweise:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• O. Levenspiel, Chemical Reaction Engineering, John Wiley &amp; Sons, 1999</li><li>• Westerterp, van Swaaij, Beenackers, Chemical reactor design and operations, Wiley, 1984</li><li>• M. Baerns, H. Hofmann, A. Renken, Chemische Reaktionstechnik, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1999</li><li>• Winnacker-Küchler. Hrsg. von Roland Dittmeyer, Chemische Technik: Prozesse und Produkte, Weinheim, Wiley-VCH, 2005</li><li>• G. Ertl, H. Knözinger, F. Schüth, J. Weitkamp, Handbook of Heterogeneous Catalysis, Wiley VCH,</li></ul>                                                                                                                                  |



2008

- H. Schmidt-Traub, A. Górak, Integrated reaction and separation operations : modelling and experimental validation, Springer Verlag Berlin, 2006
- Sundmacher, Kienle, Seidel-Morgenstern, Integrated Chemical Processes, Wiley, 2005





#### 4.6 Nichttechnische Fächer

|                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtfächer im Masterstudiengang Verfahrenstechnik       |
| <b>Modul:</b><br>Nichttechnische Fächer                                               |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Vergleiche Katalog „Nichttechnische Fächer“ |
| <b>Inhalt</b><br>Vergleiche Katalog „Nichttechnische Fächer“                          |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung                                                |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                               |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>Präsenzzeit: 56 Stunden, Selbststudium: 94 Stunden          |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Leistungsnachweise / 5 CP               |
| <b>Modulverantwortliche:</b><br>Vergleiche Katalog „Nichttechnische Fächer“           |



#### 4.7 Masterarbeit

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Pflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Masterarbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Ziel des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Es soll der Nachweis erbracht werden, dass innerhalb einer vorgegebenen Frist ein Problem selbständig mit wissenschaftlichen Methoden bearbeitet werden kann. Sie haben die Fähigkeit, mögliche Lösungsansätze zu analysieren und kritisch zu bewerten. Sie können ihre Arbeit im Kontext der aktuellen Forschung einordnen.                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Inhalt:</b><br>Themenstellungen zu aktuellen Forschungsvorhaben werden von den Professoren der Fakultät bekannt gegeben. Die Studierenden können sich ein Thema ihrer Neigung auswählen. Die Ausgabe des Themas ist im Prüfungsamt mit den Namen der Prüfer aktenkundig zu machen. Im Kolloquium haben die Studierenden nachzuweisen, dass sie in der Lage sind, Arbeitsergebnisse aus der selbständigen wissenschaftlichen Bearbeitung in einem Fachgespräch zu verteidigen. Dazu müssen die Ergebnisse in einem Vortrag von max. 15 Minuten dargestellt und diesbezügliche Fragen beantwortet werden. |
| <b>Lehrformen:</b><br>Selbständige Problembearbeitung mit Abschlussarbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Voraussetzung für Teilnahme:</b><br>30 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>20 Wochen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Masterarbeit mit Kolloquium 30 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prüfungsausschussvorsitzender                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



## 5 Masterstudiengang Verfahrenstechnik, Wahlpflichtmodule

### 5.1 Adsorption und heterogene Katalyse

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modul:</b><br>Adsorption und heterogene Katalyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"><li>• sind in der Lage die wichtigsten Adsorbentien, hinsichtlich ihrer Eigenschaften in ihren Grundzügen zu charakterisieren</li><li>• können Adsorptionsgleichgewichte von Einzelstoffen und Gemischen mathematisch und experimentell quantifizieren.</li><li>• haben ein Grundverständnis zur Durchführung von Adsorptionsprozessen in technischen Apparaten zur Stofftrennung, z.B. für die Auslegung von Festbettadsorbentien</li><li>• können effektive Reaktionsgeschwindigkeiten katalytisch wirkender Feststoffe unter Berücksichtigung des Adsorptionsverhaltens identifizieren</li><li>• sind mit verschiedenen modernen instationären (Reaktor-)Betriebsweisen vertraut.</li></ul> |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Adsorptionsprozesse<ul style="list-style-type: none"><li>○ Adsorptionsgleichgewicht und Adsorptionskinetik</li><li>○ Stoffbilanzen und Adsorberauslegung</li><li>○ Beispiele zur technischen Anwendung</li></ul></li><li>• Heterogene Katalyse<ul style="list-style-type: none"><li>○ Kinetik</li><li>○ Wärme- und Stoffbilanzen</li><li>○ Berechnung von Festbettreaktoren</li><li>○ Instationäre Betriebsweisen</li></ul></li><li>• Industrielle Chromatographie<ul style="list-style-type: none"><li>○ Vorstellung verschiedener verfahrenstechnischer Konzepte</li><li>○ Beispiele aus der pharmazeutischen Industrie und Biotechnologie</li></ul></li></ul>                                                                     |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung / Seminare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Chemie, Reaktionstechnik I, Thermodynamik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |



**Modulverantwortlicher:**

Prof. A. Seidel-Morgenstern, FVST

**Literaturhinweise:**

- Kast, Adsorption aus der Gasphase, VCH, Weinheim, 1988
- Ertl, Knöziger, Weitkamp, Handbook of Heterogeneous Catalysis, VCH, 2008



## 5.2 Advanced Process Systems Engineering

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modul:</b><br>Advanced Process Systems Engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br><p>The students should learn how to derive mathematical models for the analysis and design of complex chemical and biochemical production systems on different time and length scales (molecular level, particle level, continuum phase level, process unit level, plant level). The students will be able to model multiphase systems, including various phase combinations and interfacial transport phenomena. Furthermore students will learn to apply advanced model reduction techniques.</p> |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Multilevel modelling concepts</li><li>• Molecular fundamentals of kinetics and thermodynamics</li><li>• Modelling of complex continuum systems</li><li>• Advanced process optimization techniques</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung / Übungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Bachelor in Verfahrenstechnik, oder einem verwandten Studiengang                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>4 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 108 Stunden (Nacharbeiten der Vorlesungen, Lösung von Übungsaufgaben, Prüfungsvorbereitung, Projektarbeit)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / M / 5 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. K. Sundmacher, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>wird in der Vorlesung bekannt gegeben                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |



### 5.3 Angewandtes Energierecht für Ingenieure

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Angewandtes Energierecht für Ingenieure

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden

- ✓ haben ein grundlegendes Verständnis zum aktuellen Energierecht, insbesondere in Bezug auf das Energiewirtschaftliche Dreieck,
- ✓ beherrschen Basiskonzepte zum Verstehen und Anwenden von Rechtsvorschriften auf EU- und Nationalstaatsebene,
- ✓ erfassen die politische Umsetzung der Energiemarktliberalisierung und die unterschiedlichen Rechtsebenen von der EU bis zur Kommune,
- ✓ haben ein Verständnis zur rechtlichen Grundlage, der Funktionsweise eines liberalisierten Energiemarktes und seiner Akteure, einschließlich Entflechtung und Regulierung der Netzbetreiber,
- ✓ erfassen die grundsätzliche politische Zielstellung der Energiewende in Deutschland und deren Umsetzung in das Energierecht,
- ✓ erlernen am Beispiel regenerativer Energien die Grundlagen der Raumordnung, Planung sowie Genehmigung von Energieerzeugungsanlagen.

**Inhalt:***Einführung*

- ✓ Das Energiewirtschaftliche Dreieck
- ✓ Rechtsgrundlagen und Rechtsebenen
- ✓ Klimaschutz und Implikationen auf die Rechtssetzung

*Energiemarktliberalisierung*

- ✓ Energiemarktliberalisierung
- ✓ Funktionsweise und Akteure am Energiemarkt
- ✓ Entflechtung und Regulierung der Netzbetreiber

*Energiewende*

- ✓ Politische Ziele und Umsetzungsstrategien
- ✓ Implikationen auf das Energierecht (u.a. EEG, EEWärmeG, EnEV)

*Planung und Genehmigung von Energieerzeugungsanlagen*

- ✓ Grundlagen der Raumordnung, Planung und Genehmigung, u.a. BauGB
- ✓ Beispiele: Windenergie an Land und Biomasse

**Lehrformen:**

Vorlesung: Seminaristischer Unterricht, nachträglich bereitgestellte Präsentationsfolien

Übungen: äquivalent durch Seminararbeit mit Präsentation durchgeführt

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Keine

**Arbeitsaufwand:**

2 SWS

24 Std. Präsenz, 30 Std. Seminararbeit, 72 Std. Selbststudium

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Seminararbeit/-vortrag benotet, 5 CP



**Modulverantwortlicher:**

Prof. Dr. F. Scheffler, FVST

**Lehrende:**

Dr. M. Stötzer

**Literaturhinweise:**

1. Britz, G.; Hellermann, J.; Hermes, G (Hrsg.): EnWG – Energiewirtschaftsrecht Kommentar, C.H. Beck
2. Ekardt, F; Valentin, F: Das neue Energierecht, Nomos
3. Christian Held, Cornelius Wiesner: Energierecht und Energiewirklichkeit, Energie & Management
4. Gatz, S: Windenergieanlagen in der Verwaltungs- und Gerichtspraxis, vhw
5. Ohms, M.J.: Recht der Erneuerbaren Energien, C.H. Beck
6. Maslaton, M: Rechtliche Rahmenbedingungen der Errichtung und des Betriebs von Biomasseanlagen, Verlag für alternatives Energierecht
7. Schulz, M (Hrsg.): Handbuch Windenergie, Erich Schmidt Verlag



#### 5.4 Arbeits- und Gesundheitsschutz

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modul:</b><br>Arbeits- und Gesundheitsschutz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten <ul style="list-style-type: none"><li>• erwerben Kenntnisse in den rechtlichen Grundlagen des Betriebs technischer Anlagen, die unter die Regelungen der Störfallverordnung fallen,</li><li>• lernen die Grund- und erweiterten Pflichten, die sich bei Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen aus der Störfallverordnung ergeben, kennen,</li><li>• entwickeln Fähigkeiten zur Bewertung von Stoffen und Zubereitungen bezüglich von Gefährdungen im Sinne der Gefahrstoffverordnung,</li><li>• erlernen die Bewertung von Gefährdungen aus dem Betrieb technischer Anlagen und Systeme nach Betriebssicherheitsverordnung,</li><li>• erwerben Kenntnisse über das Klassifizierungssystem für Gefahrstoffe (REACH) und Gefahrgüter (GHS).</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Inhalt und Zweck des Bundesimmissionsschutzgesetzes sowie nachgeordneter rechtlicher Regelungen, insbesondere der Störfallverordnung, Inhalt der Seveso-Richtlinien der EU,</li><li>• Merkmale und Ablauf von Störfällen in verfahrenstechnischen Anlagen, Fallbeispiele (Seveso, Flixborough),</li><li>• Pflichten für den Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen, Grundpflichten, erweiterte Pflichten, Mengenschwellen, Sicherheitsabstände, Sicherheitsbericht,</li><li>• Inhalt und Zweck der Gefahrstoffverordnung, Technische Regeln Gefahrstoffe,</li><li>• Systeme und Methoden zur Klassifizierung von Gefahrstoffen, REACH-System, Inhalt des Sicherheitsdatenblattes,</li><li>• Kennzeichnungssysteme für Gefahrstoffe,</li><li>• Inhalt und Zweck der Betriebssicherheitsverordnung und der Technischen Regeln Betriebssicherheit,</li><li>• Pflichten der Betreiber für den sicheren Betrieb von Maschinen, Anlagen und technischen Systemen,</li><li>• Systematische Analyse der Gefährdungen in Betriebsbereichen,</li><li>• Struktur und Inhalt einer Gefährdungsbeurteilung nach Betriebssicherheitsverordnung.</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung mit Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Voraussetzungen für die Teilnahme:</b><br>abgeschlossenes Bachelorstudium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>2 SWS, Je Präsenzzeit: 45 Stunden, Selbststudium: 60 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Leistungsnachweis/Prüfung/Credits:</b><br>- / 3 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>RA K. Schult-Bornemann, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |





**Literaturhinweise:**

- Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), 12. Verordnung zur Durchführung des BImSchG (StörfallV),
- Mannan: Lee's Loss prevention in the Process Industries,
- Technische Regeln Gefahrstoffe,
- UN Handbücher für den Umgang mit Gefahrstoffen und Gefahrgütern (Yellow Book, Purple Book),
- Betriebssicherheitsverordnung, Technische Regeln Betriebssicherheit,
- Weitere werden in der LV bekannt gegeben.



## 5.5. Bioseparationen

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Bioseparationen

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden erkennen die Besonderheiten von Trennprozessen für biogene und bioaktive Stoffe. Sie sind in der Lage, Methoden zur Steigerung der Selektivität einzusetzen, kinetische Hemmungen zu identifizieren und Modellierungsmethoden kritisch zu nutzen. Auf dieser Basis können sie Trennprozesse einzeln auslegen sowie miteinander kombinieren, um Anforderungen hinsichtlich der Produktqualität, Prozesseffizienz und Wirtschaftlichkeit zu erfüllen.

**Inhalt**

1. Einleitung: Besonderheiten von biogenen bzw. bioaktiven Stoffen, Anforderungen an entsprechende Trennprozesse
2. Extraktion: Gleichgewichte und deren Manipulation, Auslegung von Extraktionsprozessen
3. Adsorption und Chromatographie: Fluid-Fest-Gleichgewicht, Einfluss des Gleichgewichts auf die Funktion von Trennsäulen
4. Adsorption und Chromatographie: Physikalische Ursachen der Dispersion, Dispersionsmodelle und ihre Auflösung im Zeit bzw. Laplaceraum, empirische Auslegungsmethoden
5. Fällung und Kristallisation: Flüssig-Fest-Gleichgewicht, Methoden zur Erzeugung von Übersättigung, Wachstum und Aggregation von Einzelpartikel und Populationen, diskontinuierliche und kontinuierliche Prozessführung
6. Trocknung: Grundlagen der Konvektions- und Kontakt Trocknung sowie der damit verbundenen thermischen Beanspruchung
7. Vakuumkontakttrocknung, Gefriertrocknung

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übung

**Voraussetzung für die Teilnahme:****Arbeitsaufwand:**

3 SWS,  
Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. A. Kharaghani, FVST

**Literaturhinweise:**

Eigene Notizen zum Download; Garcia et al.: Bioseparation process science (Blackwell); Harrison et al.: Bioseparations science and engineering (Oxford University Press).



## 5.5 Cell Culture Engineering

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Module:</b><br>Cell Culture Engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Objectives:</b><br>Students participating in this course are getting an in depth insight into cell culture engineering with a focus on cultivation techniques for animal and human cells. They will learn relevant methods, background information on cell lines, media, assays, cultivation methods, mathematical models and regulatory requirements. Lectures are complemented with a practical training which enables students to grow mammalian cell lines, perform routine and advanced assays and perform validations for equipment and assays. Results obtained will be summarized in a report and presented in a seminar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Contents: Lecture</b><br>Cell lines<br>Cell line derivation, Specific cell types, Cell banks, Culture collections<br>Cultivation<br>Culture environment, Solid substrates, Liquid substrates, Gas phase<br>Cell culture systems, Physical process parameters<br>Cell growth, metabolism and product formation<br>Overview, Biochemistry of the cell<br>Mathematical modeling<br>Motivation, Unstructured models: An introduction to modeling<br>Examples: Batch cultivation, Modeling cell growth and substrate consumption, Virus dynamics<br>Gas balances for a bioprocess, Soluble carbon dioxide balance for a bioprocess<br>Manufacturing Processes<br>Overview, Viral vaccine production, Recombinant proteins, Antibodies<br>Regulatory Issues<br>Overview, Good Manufacturing Practice (GMP), Validation and Qualification,<br>Equipment qualification, Assay validation<br>Laboratory course<br>Growth of adherent and suspension cells, Assay validation, Equipment qualification (Bioreactor, Filters), Modeling |
| <b>Teaching:</b><br>Lecture and laboratory course                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Prerequisites:</b><br>Study courses of B. sc.: Biochemical Engineering, Modeling of Bioprocesses                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Workload:</b><br>4 SWS<br>(56 h lectures + 64 h self-dependent studies)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Examinations/Credits:</b><br>Oral examination, lab report / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Responsible module:</b><br>Prof. U. Reichl, FVST<br><b>Responsible lectures:</b><br>Prof. U. Reichl / PD Dr. Y. Genzel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



**Literature:**

**Clynes, M.** (1998) Animal cell culture techniques, Springer Lab Manual

**Doyle, A. and Griffith, J.B.** (1998) Cell and tissue culture: laboratory procedures in Biotechnology, John Wiley & Sons

**Freshney, M.G.** (2002) Culture of animal cells, a manual of basic techniques, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons, New Jersey

**Gregersen, J.P.** (1994) Research and development of vaccines and pharmaceuticals from biotechnology, VCH, Weinheim

**Hägström, L.** (2000) Cell metabolism, animal. in Encyclopedia of cell technology, ed. Stier R. Wiley & Sons, New York: 392-411

**Masters, J.R.W.** (2000): Animal cell culture, Oxford University Press, 3<sup>rd</sup> ed.

**Salway, J.G.** (1999) Metabolism at a glance, Blackwell Science, 2<sup>nd</sup> ed., Oxford

**Shaw, A.J.** (1966) Epithelial cell culture, a practical approach, IRL Press



## 5.6 Umweltchemie

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Umweltchemie

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden kennen die grundsätzlichen Zusammenhänge der chemischen Abläufe in den Umweltmedien Wasser, Boden und Luft. Sie können Gefährdungen durch den Eintrag von Stoffen in diese Medien abschätzen, sowie Strategien entwickeln, diese zu reduzieren. Die Studierenden sind darüber hinaus in der Lage analytische Methoden zur Bestimmung der charakteristischen Parameter von Wasser, Boden und Luft zu beschreiben.

**Inhalt**a. Wasser

1. Eigenschaften von Wasser und natürlichen Gewässern, pH-Wert Berechnung, Puffer, Wasserkreislauf, Wassernutzung, rechtliche Grundlagen zum Gewässerschutzrecht, Trinkwasser (Quellen, Aufbereitung), Abwasser (Quellen, Aufbereitung, Reinigung)

2. Schadstoffe im Wasser(Quellen Auswirkung auf Mensch und Umwelt), Schwermetalle (Mobilität, Toxizität), Spezielle Reaktionen von Schwermetallen (Quecksilber, Arsen,...), Chlorierte Kohlenwasserstoffe, Pestizide, Dünnsäureverklappung in der Nordsee, Reinigungstechniken für Schadstoffbelastete Gewässer

b. Boden

1. Aufbau des Bodens, Inhaltsstoffe, Wirkungsweise unterschiedlicher Boden-zusammensetzungen auf Organismen, Stickstoffkreislauf im Boden, Nährstoffe, Atmung

2. Schadstoffe im Boden, Versauerung, Schwermetalle, Pufferwirkung des Bodens

c. Luft

1. Zusammensetzung der Luft, Aufbau der Atmosphäre, Wichtige Vorgänge in der Troposphäre und Stratosphäre, Strahlungshaushalt

2. Arten und Quellen von Luftschadstoffen (Emission - Transmission - Immission)  
Schwefel- und Stickstoffstoffverbindungen (Saure Niederschläge, Waldschäden, Smog);  
Kohlendioxid und Methan und deren Einfluss auf den Treibhauseffekt; Ozon in Troposphäre und Stratosphäre, FCKW und deren Einfluss auf die Ozonschicht;  
Polychlordibenzodioxine und -furane; Stäube und Inhaltsstoffe (PAK, Schwermetalle)

**Lehrformen:**

Vorlesung

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Anorganische Chemie (1. Semester), Organische Chemie (1. und 2. Semester)

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS.

Präsenzzeit 42 Stunden, Selbststudium 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Klausur 90 min / 4 CP



**Modulverantwortlicher:**

Dr. M. Schwidder, FVST

**Literaturhinweise:**

Taschenatlas der Umweltchemie, G. Schwedt (Thieme), Foliensatz



## 5.7 Chemische Prozesskunde

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modul:</b><br>Chemische Prozesskunde                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten <ul style="list-style-type: none"><li>• erwerben ein Grundverständnis für ausgewählte großtechnische Prozesse der organischen bzw. anorganischen Chemie und der chemischen Verfahrenstechnik</li><li>• sind in der Lage stoffliche und technische Aspekte ausgewählter chemischer Prozesse als Ganzes einzuordnen und auf andere Prozesse zu übertragen</li><li>• können die Verfahrensentwicklung, apparative Umsetzung und Wirtschaftlichkeit chemischer Prozesse einschätzen (Labor- vs. Industriemaßstab)</li><li>• haben einen sicheren Umgang bei der Gestaltung von Verfahren mit nachwachsenden Rohstoffen bzw. können diesbezüglich auftretende Problemstellungen analysieren und lösen</li></ul> |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Stoffliche und technische Aspekte der industriellen Chemie am Beispiel ausgewählter Verfahren und Produkte</li><li>– Charakterisierung chemischer Verfahren</li><li>– Verfahrensauswahl und Verfahrensentwicklung</li><li>– Probleme bei der Prozessentwicklung und beim Betrieb von Chemieanlagen</li><li>– Versorgung mit Rohstoffen und deren Aufarbeitung, organische Zwischenprodukte, organische Folgeprodukte, anorganische Grundstoffe, anorganische Massenprodukte, moderne anorganische Spezialprodukte</li><li>– Produktstammbäume und deren Querverbindung zu anderen Produktgruppen</li><li>– Energiebedarf, Umweltbelastungen, Anlagensicherheit</li></ul>                                    |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung / Seminare                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Chemie, Physik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. A. Seidel-Morgenstern / apl. Prof. H. Lorenz / Dr. Wagemann                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Literaturhinweise:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• U. Onken, A. Behr, Chemische Prozesskunde, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1996</li><li>• Winnacker-Küchler. Hrsg. von Roland Dittmeyer, Chemische Technik: Prozesse und Produkte, Weinheim, Wiley-VCH, 2005</li><li>• W.R.A. Vauck, H.A. Müller, Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1994</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



- Moulijn, van Diepen, Chemical Process Technology, Wiley, 2001





## 5.8 Combustion Engineering

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Combustion Engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Objectives and Competence:</b><br>The students are able to conduct energy and mass balances for firings using all stoichiometric conditions. They are able to calculate the fuel consumption and the flue gas composition for a given heat requirement. They can calculate approximately criteria for stable ignitions, minimum ignition energy, flash back and blow off of flames. They know the conditions for explosions and detonations. Therewith they can design firings and can assess firings for energy efficiency, reduction of emissions and increase of safety.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Contents:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Characterizing of gaseous, liquid and solid fuels, oxygen and air demand</li><li>- Composition of combustion gas, influence of excess air number, specific flue gas amount, equilibrium of gas, dissociated components, hypostoichiometric combustion</li><li>- Combustion gas temperatures, firing efficiency, influence of heat recovery with air preheating, oxygen enrichment, using of gross heating values for heatings of houses</li><li>- Premixed flames, reaction mechanism, ignition, flame speed, distinguish distance, minimum ignition energy, stability</li><li>- Diffusion flames, mixing mechanism, flame length, stability</li><li>- Explosions and detonations</li><li>- Combustion of liquid fuels, mechanism, atomization</li><li>- Combustion of solid fuels, grinding, pyrolysis, reaction mechanism, ash behaviour</li><li>- Design of firings</li></ul> |
| <b>Teaching:</b><br>Lectures with tutorials, excursions and experiments                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Requirement for participation:</b><br>Thermodynamics, Heat Transfer, Physical Chemistry                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Work load:</b><br>3 SWS,<br>Time of attendance: 42 hours, Autonomous work: 78 hours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Examination/Credits:</b><br>Written exam 120 min / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Responsibility:</b><br>Jun.-Prof. B. Fond, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Literature:</b><br>Handout and own written papers can be downloaded                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



## 5.9 Computational Fluid Dynamics

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Computational Fluid Dynamics

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Numerical flow simulation (usually called *Computational Fluid Dynamics* or CFD) is playing an essential role in many modern industrial projects. Knowing the basics of fluid dynamics is very important but insufficient to be able to learn CFD on its own. In fact the best way of learning CFD is by relying to a large extent on “learning by doing” on the PC. This is the purpose of this Module, in which theoretical aspects are combined with many hands-on and exercises on the PC.

By doing this, students are able to use autonomously, efficiently and target-oriented CFD-programs in order to solve complex fluid dynamical problems. They also are able to analyse critically CFD-results.

**Inhalt**

- Introduction and organization. Historical development of CFD. Importance of CFD. Main methods (finite-differences, -volumes, -elements) for discretization.
- Vector and parallel computing. How to use supercomputers, optimal computing loop, validation procedure, Best Practice Guidelines.
- Linear systems of equations. Iterative solution methods. Examples and applications. Tridiagonal systems. Realization of a Matlab-Script for the solution of a simple flow in a cavity (Poisson equation), with Dirichlet-Neumann boundary conditions.
- Choice of convergence criteria and tests. Grid independency. Impact on the solution.
- Introduction to finite elements on the basis of COMSOL. Introduction to COMSOL and practical use based on a simple example.
- Carrying out CFD: CAD, grid generation and solution. Importance of gridding. Best Practice (ERCOFTAC). Introduction to Gambit, production of CAD-data and grids. Grid quality.
- Physical models available in Fluent. Importance of these models for obtaining a good solution. Introduction to Fluent. Influence of grid and convergence criteria. First- and second-order discretization. Grid-dependency.
- Properties and computation of turbulent flows. Turbulence modeling. Computation of a turbulent flow behind a backward-facing step. Dispatching subjects for the final project.

**Lehrformen:**

Vorlesung mit Übungen und Computerpraktika

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Strömungsmechanik

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

PD Dr. G. Janiga, FVST

**Literaturhinweise:**

Ferziger and Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer



## 5.10 Consequences of accidents in industry

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Module:</b><br>Consequences of accidents in industry                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Objectives (competences):</b><br>The students are capable to identify, assess and evaluate the major safety hazards in the process industries, namely hazardous release of substances, fires, explosions and runaway reactions.<br>Course participants are capable to apply mathematical tools to calculate concentration profiles for emission of toxic or otherwise harmful substances, fire effects like flame radius and height, radiative heat and explosion effects like overpressures in process equipment.<br>Students learn about safe operation of chemical reactors and calculation of safety parameters like adiabatic temperature rise and time to maximum rate. The relevant analytical methods for thermal stability of substances (differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis, Dewar test, hot storage test) are also presented.<br>Participants design event trees and fault trees for identification of plant damage states and the probable chain of undesired events.<br>Assessment of individual and group risk from industrial accidents using probit functions and dose calculations is also included. |
| <b>Content</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Introduction to industrial hazards, case studies, basics of risk assessment</li><li>• Emission and dispersion of neutral and heavy gases</li><li>• Toxicity of substances, the AEGL concept</li><li>• Release of liquids and gases from leakages</li><li>• Room fires, pool fires, heat radiation</li><li>• Hazardous exothermic reactions, thermal runaway</li><li>• Explosion hazards, explosion characteristic data</li><li>• Explosion protection</li><li>• Hazards from radioactivity</li><li>• Risk calculation, probit functions, probit distribution</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Teaching:</b><br>Lecture and tutorials                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Prerequisites:</b><br>Mathematics, Chemistry, Thermodynamics, Fluid Dynamics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Workload:</b><br>3 hours per week<br>Tutorials: 42 hours, Private Studies: 78 hours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Examination/Credits:</b><br>K 120 / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Responsible Lecture:</b><br>Prof. U. Krause, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Literature:</b><br>[1] Mannan: Lee's Loss Prevention in the Process Industries (2003)<br>[2] Hattwig, M; Steen, H., Handbook of Explosion Protection, Wiley-VCH, Weinheim 2004<br>[3] Bussenius, S: Wissenschaftliche Grundlagen des Brand- und Explosionsschutzes, Kohlhammer, 1995<br>[4] Schultz, Heinrich: Grundzüge der Schadstoffausbreitung in der Atmosphäre, Köln: Verlag TÜV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |



Rheinland GmbH (1986)

[5] Zenger, A.: Atmosphärische Ausbreitungsmodellierung - Grundlagen und Praxis, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag (1988)

[6] Stoessel, F; Thermal Safety of Chemical Processes, Wiley-VCH-Verlag, Weinheim, 2008



### 5.11 Control of Toxic Trace Elements

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Module:</b><br>Control of Toxic Trace Elements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Objectives (competences):</b><br>The student should be able to <ul style="list-style-type: none"><li>• identify the critical toxic trace element emission sources from industrial processes.</li><li>• understand the principles of the mobility and fate of toxic trace element pollution in the environment</li><li>• develop solutions to reduce critical toxic trace element emissions from industrial processes</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Content:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• introduction and concepts</li><li>• selenium: mobility in soil, accumulation in plants and animal feeding; volatility in biochemical processes</li><li>• arsenic: ground water and cleaning of drinking water; inhalation; speciation; phyto-remediation</li><li>• thallium: accumulation in thermal processes</li><li>• cadmium: flue dust from thermal processes; mobilisation in soils and accumulation in edible plants</li><li>• mercury: volatility, aquatic bioaccumulation and immobilisation</li><li>• chromium: surface treatment and carcinogenic chromium(VI) compounds, control of Cr(VI) in thermal processes</li><li>• beryllium: controlling inhalation risks from occupational exposure and emission</li></ul> |
| <b>Teaching:</b><br>lectures 2h/semester and tutorial 1 h/semester; (summer semester)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Prerequisites:</b><br>combustion engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Workload:</b><br>3 SWS<br>lectures and tutorials: 42 h; private studies: 78 h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Examination/credits:</b><br>written exam / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Responsible lecturer:</b><br>Prof. H. Köser, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Literature:</b><br>script; D. Tillman: trace elements in combustion systems, academic press 1994; E. Merian: Elements and their compounds in the environment, Wiley-VCH 2004; G Nordberg: Handbook on the toxicology of metals, Elsevier 2008; A. Wang: heavy metals in the environment, CRC press 2009. A. Sengupta: environmental separation of heavy metals – engineering processes, Lewis Publ. 2002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



## 5.12 Dispersed Phase Systems in Chemical Engineering

**Study Course:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Module:**

Dispersed Phase Systems in Chemical Engineering

**Objectives:**

The students acquire knowledge on the applications, processes and modelling principles of disperse systems. Various disperse systems are introduced and compared. Basic modelling techniques that are important to all disperse systems are taught, that is, mass and energy balances and the population balance and derived equations thereof (e.g. momentum equations). Three important classes of disperse systems in chemical engineering, i.e. crystallization systems, polymerization systems and emulsions, are discussed consecutively in detail. For all three systems the students learn the basic mechanisms as well as thermodynamic aspects. The students acquire knowledge on the kinetics of the most important mechanisms in crystallization, polymerization and emulsions. An overview of the most important measurement techniques for property distributions is given. In order to employ this knowledge to solve practical problems, industrially relevant example processes are analysed and modelled. This enables the students to analyse, quantify, model, optimize and design processes and products involving a dispersed phase.

**Contents:**

- Introduction to dispersed phase systems: Fundamentals and characterisation
- Balance equations: Mass balance, energy balance, population balance
- Important dispersed phase systems in chemical engineering: Crystallization systems, polymerization systems, emulsions and dispersions
- Mechanisms affecting property distributions
- Thermodynamic aspects
- Kinetics
- Modelling
- Process examples
- Measurement techniques

**Teaching:**

Full time lecture of 5 days with exercises

**Prerequisites:**

Basic knowledge of chemical engineering, process systems engineering, thermodynamics, reaction engineering, mathematics

**Workload:**18 hours of attendance (one-week full-time block seminar), 10 hours outside class  
presence: 28 hours (2 SWS), self study time: 78 hours**Examination/Credits:**

Written exam / 3 CP

**Responsible lecturer:**

Dr.-Ing. C. Borchert (BASF SE)



**Literature:**

- Ramkrishna, *Population Balances*, Academy Press 2000;
- Lagaly, *Dispersionen und Emulsionen* Steinkopff Verlag 1997.
- Hofmann, *Kristallisation in der industriellen Praxis*, Wiley-VCH 2004.
- Odin, *Principles of Polymerization*, John Wiley & Sons, 2004.
- Mullin, *Crystallization*, Elsevier, 2000. Takeo, *Disperse Systems*, Wiley-VCH, 2001.



### 5.13 Dispersion of Hazardous Materials

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Module:</b><br>Dispersion of Hazardous Materials                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Objectives (competences):</b><br>Course participants deal with the problem of accidental releases of hazardous substances from industrial installations. They learn the principles of passive and jet dispersion in gas or particle phase and in relation to the atmospheric stability conditions. They are capable to apply mathematical tools to calculate concentration profiles for emitted substances in the x-y-z space and depending on time. They can assess the hazard for organism present in the radius of action of the release by comparing the calculated concentrations with relevant hazard threshold values. |
| <b>Content:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Emission and passive dispersion of neutral and heavy gases, atmospheric stability conditions,</li><li>• Gaussian distribution based dispersion models,</li><li>• Particle trajectories-based simulation models,</li><li>• Jet dispersion,</li><li>• Partitioning and fate of chemicals in the environment,</li><li>• Toxicity of substances, the Acute Exposure Guideline Level concept,</li><li>• Release of liquids and gases from leakages,</li><li>• Dispersion of radionuclides.</li></ul>                                                                          |
| <b>Teaching:</b><br>Lecture with tutorial/English                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Prerequisites:</b><br>-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Workload:</b><br>3 SWS, classroom = 42 hours and self-studies = 78 hours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Examination/Credits:</b><br>Written exam / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Responsible Lecturer:</b><br>Dr. R. Zinke, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Literature:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Steinbach: Safety Assessment for Chemical Processes</li><li>- Steen/Hattwig: Handbook of Explosion protection</li><li>- Eckhoff: Dust explosions in the Process Industries</li><li>- Mannan: Lee's Loss prevention in the Process Industries</li><li>- Stoessel: Thermal Safety of Chemical Processes</li><li>- UN Handbook for Transportation of Dangerous Goods ("Orange Book")</li><li>- TNO Coloured Books Series</li></ul>                                                                                                                                       |





## 5.14 Drying Technology

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Drying Technology

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Drying is a necessary production step for most solid materials. This lecture is focussed on convective drying and gives an introduction to vacuum freeze drying.

After successfully attending the lecture, the students know by which mechanisms water is bound to the solid; they know how to measure solid moisture content and are able to use sorption isotherms for drying applications. Likewise, they know how to adequately describe and measure humidity and enthalpy of air, and they can apply the Mollier chart to technical processes in the context of drying. They can further present the drying kinetics of a solid by appropriate graphs and distinguish the different periods of drying. For given drying conditions, they can compute drying rates and drying times.

The students are familiar with the major industrial dryer types, know about their advantages and drawbacks. For standard dryers, they can compute drying times or dryer dimensions as a function of solid moisture requirements and drying air conditions. On this basis, they can perform basic dryer design and process optimization. They are made sensitive to environmental impact of dryers, and they can assess dryer efficiency.

The students are also familiar with vacuum freeze drying, they know the basic process steps and relevant control mechanisms.

Additionally, the students are aware of current academic research on drying.

**Inhalt:**

- Sorption isotherms – properties of wet solids, theory and measurement
- Mollier chart – properties of wet air, theory and measurement
- Heat and mass transfer in convective drying, drying kinetics and drying time calculation for (laboratory) drying tunnel
- Design and drying time calculation of compartment dryer (batch)
- Belt dryer in co-current and counter-current operation (continuous)
- Fluidized bed dryer (batch operation)
- Fixed bed drying and cross-flow belt drying
- Vacuum freeze drying, fundamentals and technical realizations

**Lehrformen:**

Lecture, tutorial, lab visits, excursion to dryer-producing company

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Basic knowledge of heat and mass transfer

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

one problem must be solved/ oral / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. A. Kharaghani, FVST

**Lehrender:**

Prof. E. Tsotsas



**Literaturhinweise:**

Krischer und Kast, Trocknungstechnik, Band 1, Springer;  
Gnielinski, Mersmann und Thurner, Verdampfung, Kristallisation, Trocknung, vieweg; Mujumdar,  
Handbook of industrial drying, Marcel Dekker.



### 5.15 Einsatz von Mikrowellen und Ultraschall in der Verfahrens- und Umwelttechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modul:</b><br>Einsatz von Mikrowellen und Ultraschall in der Verfahrens- und Umwelttechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Verstehen der physikalischen Grundlagen wellenbasierter Energieformen und der Wechselwirkung mit Dielektrika und viskoelastischen Fluiden</li><li>• Erarbeitung der technischen Grundlagen der Mikrowellenthermie und des Leistungsultraschalls</li><li>• Vertiefung des Verständnisses für die Vorteile und die Voraussetzungen für die sinnvolle Nutzung von Mikrowellen und Ultraschall</li><li>• Überblick über die Einsatzmöglichkeiten für die Unterstützung von Trennoperationen, Stoffwandlungen in der chemischen Reaktionstechnik und der Materialsynthese</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Inhalt:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Physikalische Grundlagen der Mikrowellenerwärmung/ des Leistungsultraschalls (Wellenlehre, Elektromagnetische Felder, Dielektrika, Piezoakustik)</li><li>2. Einführung in die Mikrowellentechnik für Erwärmungsprozesse (Mikrowellengeneratoren, -transmission, -hohlleiter, Applikatorkonzepte, Temperaturmessung)</li><li>3. (Hybride) Mikrowellenthermie (Erwärmungsprozess, Ofenaufbau, Auslegung)</li><li>4. Mikrowellenapplikationen (Trocknung, Desorption, Sinter-, Temperprozesse, Schmelzen, Umkristallisation, Hochtemperaturprozesse, Mikrowellensynthese)</li><li>5. Technische Grundlagen des sonoinduzierten Leistungsschalls (Schallerzeugung, -übertragung, Transducer, Messung der Schalleistung)</li><li>6. Sonoinduzierte Kavitation, Sonolumineszenz und elektrochemische Effekte</li><li>7. Mischen, Dispergieren, Emulgieren und Reagieren mit Leistungsultraschall</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung und Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Wärme- und Stoffübertragung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. St. Gai<br><b>Weitere Lehrende:</b><br>Prof. E. Tsotsas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



## 5.16 Electrochemical Process Engineering

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Electrochemical Process Engineering

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

In this course the students acquire physicochemical and engineering basics of electrochemical process engineering (EPE). In the first part the students learn fundamentals of EPE. They learn to determine the most important figures of merit in EPE, like current efficiency, yield and selectivity, specific energy consumption and space time yield. In the second part they acquire knowledge how EPE fundamentals are transferred into praxis to develop some of the most important electrochemical technologies. The lectures are followed by experimental laboratory courses which strengthen the relationship between theory and experimental methods in EPE. The students also learn to critically evaluate and analyse experimental data.

**Inhalt**

- Introduction (Fundamental laws, Figures of merit, Cell voltage)
  - Basics of electrochemistry (Ionic conductivity, Electrochemical thermodynamics, Double layer, Electrochemical kinetics)
  - Mass transport (Diffusion, Migration, Convection)
  - Current distribution (Primary, Secondary, Tertiary)
  - Electrochemical reaction engineering ( Electrolyte, Electrodes, Separators, Reactors, Mode of operation)
  - Electrolysis (Chlor-alkali electrolysis, Organic electrosynthesis, Electroplating)
  - Electrochemical energy sources (Batteries, Supercapacitors) and Corrosion and its control
- :

**Lehrformen:**

Vorlesung (2 SWS), Übung (1 SWS)

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

- Basic knowledge in chemistry and physical chemistry
- Mass and heat transport
- Chemical reaction engineering

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS,

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. T. Vidakovic-Koch, FVST

**Literaturhinweise:**

- V. M. Schmidt, Elektrochemische Verfahrenstechnik, Grundlagen, Reaktionstechnik, Prozessoptimierung, Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, 2003, ISBN 3-527-29958-0.
- K. Scott, Electrochemical Reaction Engineering, Academic Press Limited, 1991, ISBN 0-12-633330-0.
- D. Pletcher, F. C. Walsh, Industrial Electrochemistry, 2<sup>nd</sup> Edition, Blackie Academic & Professional, Paperback edition, 1993, ISBN 0-7514-0148-X.



## 5.17 Erzeugung von Nanopartikeln

### Studiengang:

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

### Modul:

Erzeugung von Nanopartikeln

### Ziele des Moduls (Kompetenzen):

Die Studierenden

- kennen die besonderen Eigenschaften, Anwendungen und physikalischen Charakterisierungsmethoden von Nanopartikeln,
- verstehen und beherrschen die physikalischen und chemischen Grundlagen der Nanopartikelbildung und -stabilisierung,
- kennen die wichtigsten Prozesse zur Herstellung von Nanopartikeln, einschließlich der Herstellungsprozesse technischer Produkte,
- sind in der Lage, ausgewählte Nanopartikelsysteme im Laboratorium selbst herzustellen und deren Eigenschaften mit geeigneten physikalischen Charakterisierungsmethoden zu bestimmen.

### Inhalt

- **Einführung in die Nanotechnologie**, Definitionen Nanotechnologie und Nanopartikel, Nanopartikel als disperses System, Eigenschaften, Anwendungen, Charakterisierungsmethoden
- **Thermodynamik disperser Systeme**, Theorie der Keimbildung und des Partikelwachstums, homogene und heterogene Keimbildung, Modell von LaMer und Dinegar, Ostwald-Reifung, Agglomeration,
- **Elektrochemische Eigenschaften der Nanopartikel**, Oberflächenstrukturen, Elektrochemische Doppelschicht, Modelle (Helmholtz, Gouy-Chapman, Stern), elektrochemisches Potential, Zeta-Potential
- **Stabilisierung disperser Systeme**, Sterische, elektrostatische Stabilisierung, DLVO-Theorie, van-der-Waals-Anziehung, elektrostatische Abstoßung, kritische Koagulationskonzentration, Schulze-Hardy-Regel, pH-Wert, Elektrolytzusatz
- **Koagulationsprozesse**, Koagulationskinetik, schnelle und langsame Koagulation, Transportmodelle, Theorie von Smoluchowski, Wechselwirkungspotential, Stabilitätsfaktor, Redispergierungsprozesse, Strukturmodelle
- **Fällungsprozesse**, Grundlagen Fällungsgleichgewichte, Keimbildung, Wachstum, Reaktionsführung, Partikelbildungsmodelle, Apparate (CDJP, T-Mischer), Hydrothermalprozesse
- **Fällungsprozesse in kompartimentierten Systemen**, Bildung kompartimentierter Systeme, Tensid-Wasser-Systeme, Strukturbildung, Emulsionen (Mikro-, Mini- und Makroemulsionen), Phasenverhalten, Partikelbildung, kinetische Modelle
- **Sol-Gel-Prozesse**, Stöber-Prozess, Partikel aus Titan(IV)-oxid, chemische Reaktionen, Stabilisierung, Morphologie, pH-Wert, Elektrolytkonzentration, Strukturbildungsmodelle (RLCA, RLMC), Trocknung, Gelbildung und Alterung, Beschichtung, dünne Filme, Keramik
- **Aerosol-Prozesse**, Partikelbildung, Gas-Partikel- und Partikel-Partikel-Umwandlung, Morphologie, Flammenhydrolyse, Degussa-Prozess, Chlorprozess,
- **Bildung von Polymerpartikel (Latex-Partikel)**, Emulsionspolymerisation, Theorie von Fikentscher und Harkins, Suspensionspolymerisation, Latexpartikel
- **Nanopartikel und ihre Anwendung**, Technische Produkte, Silica, Titan(IV)-oxid, Ruß, Nanopartikel in Medizin und Pharmazie, funktionalisierte Nanopartikel, Diagnostik, Trägersysteme, magnetische Nanopartikel und Flüssigkeiten,
- **Charakterisierung der Nanopartikel - Partikelgrößenbestimmung**, Elektromikroskopische Methoden, TEM, REM, Lichtstreuung, Laserbeugung, Theorien (Rayleigh, Fraunhofer, Mie), Ultraschall- und ESA-Technik, Instrumente,
- **Charakterisierung der Nanopartikel - Zeta-Potentialbestimmung**, elektrokinetische Phänomene, Elektrophorese, Elektroosmose, Strömungs- und Sedimentationspotential, elektrophoretische Mobilität, Zeta-Potential, Theorien von Smoluchowski, Hückel, Henry, Instrumente, PALS-Technik



|                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung, praktische Übung (Nanopartikelsynthese)                                                           |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                   |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS,<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                    |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / M / 4 CP                                                                                |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. W. Hintz, FVST                                                                                       |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Manuskript mit Text, Bildern und Übungen, siehe <a href="http://www.ovgu.de/ivt/mvt">www.ovgu.de/ivt/mvt</a> |



## 5.18 Fuel Cells

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Fuel Cells

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

The participants understand the principles of electrochemical energy conversion. They are aware of the technical applications and future trends in the area of fuel cells. The participants are able to analyse, design and optimise fuel cell systems and possess basic knowledge in the area of fuel processing.

**Inhalt:**

1. Introduction to fuel cells
  - Working principle
  - Types of fuel cells
  - Applications
2. Steady-state behaviour of fuel cells
  - Potential field
  - Constitutive relations  
(Nernst equation, electrochemical reaction kinetics, mass transport)
  - Integral balance equations for mass and energy
  - Current-voltage-curve, efficiencies, design
3. Experimental methods in fuel cell research
4. Fuels
  - Handling and storage of hydrogen
  - Fuel processing
5. Fuel cell systems

**Lehrformen:**

Lecture and tutorial

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Basic knowledge on thermodynamics, reaction engineering and mass transport is advantageous

**Arbeitsaufwand:**

30h time of attendance (one-week full-time block seminar), 10h outside classes  
presence: 42 hours (3 SWS), private studies: 78 hours (lit. survey)

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Oral exam 60 min / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. G. Papakonstantinou, MPI Magdeburg, Dr. I. Ivanov, MPI Magdeburg



**Literaturhinweise:**

- Lecture notes, available for download
- Vielstich, W. *et al.*: Handbook of Fuel Cells, Wiley 2003
- Larminie, J. and Dicks, A.: Fuel Cell Systems Explained, Wiley, 2003
- Haman, C.H. and Vielstich, W.: Electrochemistry, Wiley, 1998
- Bard, A.J. and Faulkner, L.R.: Electrochemical Methods, Wiley, 2001
- Wesselingh, J.A. and Krishna, R.: Mass Transfer in Multi-Component Mixtures, Delft Univ. Press, 2000





## 5.19 Funktionale Materialien für die Energiespeicherung

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Funktionale Materialien für die Energiespeicherung

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden können die Einflussfaktoren und wichtigsten Techniken der heutigen Energieversorgung für Deutschland sowie weltweit benennen und analysieren. Sie können die Notwendigkeit für die Entwicklung und den verstärkten Einsatz von Energiespeichern begründen. Die Studierenden sind in der Lage, die unterschiedlichen Prinzipien zur Speicherung thermischer, elektrischer, chemischer und mechanischer Energie zu beschreiben und die möglichen Verfahren bezüglich der materialspezifischen Anforderungen zu werten. Besonderes Augenmerk wird dabei auch auf aktuelle Entwicklungen in der Forschung gelegt.

**Inhalt**

- 1. Thermische Energie** Temperaturbereiche der Energiespeicherung und Temperaturhub zw. Wärmequelle und -bedarf  
sensible, latente, Adsorptions- und Absorptionswärme; Grundlagen  
Unterschied Kurzzeit-, Langzeit- u. Saisonalspeicher  
Materialien: feste Systeme, flüssige Systeme  
Spezifische Anwendungen
- 2. Elektrische Energie** Akkumulatoren und Batterien: Übersicht, Arten, Einsatzgebiete  
gravimetrische und volumetrische Speicherdichte  
Standardpotentiale, Abhängigkeit von Temperatur des Systems und Konzentration der Reaktanden  
Nernst-Gleichung für die einzelnen Systeme  
Lade-/Entladekinetik; thermische Belastung; Auslegung  
Bilder existierender Anlagen  
Supercaps: Funktionsweise
- 3. Chemische Energie** Wasserstoff, Herstellung über Elektrolyse, Speicherung  
Adam- und Eva-Prozess
- 4. Druckluft** Speicherorte und Potentiale  
Funktionsweise
- 5. Schwungräder** Langsame, schnelle, Potentiale, Wirkprinzip
- 6. Sonstiges** z.B. Pumpspeicherwerke

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übungen

**Voraussetzung für die Teilnahme:****Arbeitsaufwand:**

3 SWS, (2 VL, 1 Ü)

Präsenzzeit: 42 h, Selbststudium 78 h

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Klausur 90 min / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. F. Scheffler, FVST

**Schrifttum:**

Energy Storage, R. A. Huggins (Springer Verlag), Erneuerbare Energien und Klimaschutz, Volker Quaschnig (Carl Hanser Verlag), Foliensatz zum Download



## 5.20 Integrierte innovative Reaktorkonzepte

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Integrierte innovative Reaktorkonzepte

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden

- haben methodisch grundlagenorientierte Lösungskompetenz für Problemstellungen bei reaktiven Prozessen in der Verfahrenstechnik
- sind in der Lage die Wechselwirkungen zwischen Reaktionsführung, Produktselektivität und Aufarbeitung sowie Probleme der Wärmeab-/zufuhr im Reaktor zu analysieren, zu modellieren und zu bewerten
- können moderne integrierte Reaktorkonzepte, deren Apparative Umsetzung und Wirtschaftlichkeit einschätzen und sind in der Lage diese in die Praxis zu überführen

**Inhalt:****1. Einleitung & Repetitorium**

- Typische Reaktortypen & Reaktionsführungen (absatzweise, kontinuierlich, isotherm, adiab, polytherm)
- Unit-Operations der thermischen & mechanischen Verfahrenstechnik (Destillation, Rektifikation, Strippen, Absorption, Adsorption, Chromatographie, Kristallisation, Extraktion, Pervaporation, Membranverfahren, Ultrafiltration, Mahlung, Extrusion)

**2. Innovative Reaktorkonzepte (allgemeine Konzepte)**

- Konzept und Klassifizierung der Multifunktionalität in chemischen Reaktoren
- In-Situ-Synergien zwischen Reaktionsführung und Unit-Operation
- Diffusiver, konvektiver Stofftransport; rekuperativer, regenerativer, konvektiver Wärmetransport; Wärmeleitung; homogene, heterogene Koppelreaktionen
- Darstellung bi- bzw. multifunktionaler Reaktionsführungen (Beschreibung, Voraussetzungen, Bewertung)
- Einsatzgebiete multifunktionaler Reaktoren

**3. Ausgewählte Beispiele innovativer Reaktorkonzepte aus Forschung & Technik - aktuelle Probleme**

- Reaktivdestillation
- Adsorptiver Reaktor (Anwendung, Potenzial, Modellierung, Grenzen)
- Reaktivchromatographie
- Membranreaktor
- Reverse-Flow-Reaktor
- Auslegung und Optimierung multifunktionaler Reaktoren Entwicklungsperspektiven

**Lehrformen:**

Vorlesung / Seminare

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Reaktionstechnik I

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden



**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. Ch. Hamel, FVST

**Literaturhinweise:**

- U. Onken, A. Behr, Chemische Prozesskunde, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1996
- Winnacker-Küchler. Hrsg. von Roland Dittmeyer, Chemische Technik: Prozesse und Produkte, Weinheim, Wiley-VCH, 2005
- W.R.A. Vauck, H.A. Müller, Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1994
- Westerterp, van Swaaij, Beenackers, Chemical reactor design and operations, Wiley, 1984
- M. Baerns, H. Hofmann, A. Renken, Chemische Reaktionstechnik, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1999
- H. Schmidt-Traub, A. Górak, [Integrated reaction and separation operations](#) : [modelling](#) and [experimental validation](#), Springer Verlag Berlin, 2006



## 5.21 Kältetechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modul:</b><br>Kältetechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden verstehen, unter Anwendung der thermodynamischen Grundlagen, die Prinzipien zur Bereitstellung von Kälte. Sie können, ausgehend von der Berechnung der Kühllast und den spezifischen Kühlanforderungen, eine Kälteanlage elementar auslegen. Hierzu erwerben die Studierenden grundlegende Kenntnisse über das gesamte Spektrum der Kältemaschinen. Zudem wird die Gewinnung von möglichst energieeffizienten, wirtschaftlichen und umweltschonenden technischen Lösungen zur Kältebereitstellung angestrebt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Inhalt</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Historischer Überblick zur Entwicklung der Kältetechnik</li><li>2. Thermodynamische Grundlagen, 1. und 2. Hauptsatz, Zustandsverhalten der Kältemittel</li><li>3. Prinzipien und Verfahren zur Bereitstellung von Kälte</li><li>4. Kaltgasmaschinen, Dreiecks-, Joule- und Philipsprozess, Charakteristik, Einsatzmöglichkeiten und Prozessverbesserungen</li><li>5. Gasverflüssigung, Lindeprinzip, Prozessverbesserungen</li><li>6. Kompressionskältemaschinen, Kaltdampfprozess, Leistungsparameter, Einsatzkriterien</li><li>7. Absorptionskältemaschinen, Zweistoffsysteme, Rektifikation, Absorption, Drosselung, ökonomische Einsatzbedingungen</li><li>8. Dampfstrahlkältemaschinen</li><li>9. Auslegung von kältetechnischen Anlagen, Kühllastberechnungen und Kälteanwendungen, Prozessmodellierung, Abkühlzeiten</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung mit Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Technische Thermodynamik I und II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden,, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / K/M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. J. Sauerhering, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



## 5.22 Machine Learning for Computational Biology

**Course:**

Selective module for the master course Verfahrenstechnik

**Module:**

Machine Learning for Computational Biology

**Objectives (competences):**

Modern machine learning approaches are proving to be extremely valuable for the analysis of data in computational biology problems. This course provides an introduction to many concepts, techniques, and algorithms in machine learning such as classification and linear regression and ending up with more recent topics such as support vector machines. The students will learn fundamental concepts and modern machine learning methods as well as a more formal understanding of regularization techniques. The underlying theme in the course is statistical inference as it provides the foundation for most of the methods covered. The students apply the knowledge and methods on real biological examples.)

**Content:****Introduction**

- The concept of machine learning (ML) is presented and the need of ML in systems biology and biological systems is briefly discussed.
- Review of probability theory
- Basic concepts in machine learning

**Unsupervised and Reinforced Learning**

- K-means and Gaussian Mixture Models
- K-Nearest Neighbors and Bayesian Classifiers
- Classification and Regression Trees (CART) & Random Forest

**Supervised and Reinforced Learning**

- Regression
- Logistic Regression
- Support Vector Machines
- The kernel trick
- Monte Carlo inference
- Bayesian Inference

**Kernel methods in system identification**

- Reproducing Kernel Hilbert Spaces
- Parametric model structures
- Regularized least squares method
- Selection of model flexibility: AIC, BIC, CV
- Marginal likelihood maximization
- Parameter estimation of biological models

**Application exercises in biological problems,****Teaching:**

Lectures and seminars (exercise sessions); (Winter semester)

**Prerequisites:**

Basic subjects from Bachelor (*i.e.* Probability, Linear Algebra and Statistics)

Basic computational knowledge (*i.e.* Matlab)

Language: English



**Workload:**

2 hours per week (28 h lectures/exercises + 62 h self-dependent studies)

**Examination/Credits:**

Project work (50%), oral test (50%) / 3 CP

**Responsible lecturer:**

Dr. E. Hernandez Vargas, FVST

**Literature:**

- C. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics, Springer, 2006)
- S. Shalev-Shwartz, Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms (1st Edition, Cambridge University Press, 2014)
- B. Schölkopf, K. Tsuda, and J. Vert, Kernel Methods in Computational Biology (MIT Press, 2004)



### 5.23 Mechanische Trennprozesse

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modul:</b><br>Mechanische Trennprozesse ( <i>Aussetzung bis auf Weiteres</i> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten <ul style="list-style-type: none"><li>• kennen Quellen und Aufkommen von Wasser und Abwasser und deren Inhaltsstoffe (<i>Stoffanalyse</i>),</li><li>• analysieren die resultierenden verfahrenstechnischen, energetischen, wirtschaftlichen und ökologischen Probleme und Ziele der Trinkwasser-, Brauchwasser- und Abwasseraufbereitung unter Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen,</li><li>• verstehen und beherrschen die Grundlagen und die Problemanalyse der Fest-Flüssig-Trennung (<i>Prozess-Diagnose</i>),</li><li>• können in Grundzügen die Aufbereitungsprozesse, Maschinen und Apparate funktionell auslegen (<i>Prozessgestaltung</i>),</li><li>• entwickeln Problemlösungen durch kluge Kombination energetisch effizienter, mechanischer Prozesse der Fest-Flüssig-Trennung (Einheit von <i>Verfahrens- und Anlagengestaltung</i>) zwecks Erzeugung hochwertiger Produkte (<i>Produktgestaltung</i>).</li></ul>                                                                                                            |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Einführung in die mechanische Flüssigkeitsabtrennung</b>, Prinzipien der Trinkwasserversorgung, Aufkommen und Inhaltsstoffe, gesetzliche Rahmenbedingungen</li><li>• <b>Grundlagen und Mikroprozesse</b>, Partikelbewegung im Fluid, Durchströmung von Partikelschichten, turbulente Transportvorgänge, Trennmodelle</li><li>• <b>Sedimentation</b>, Auslegung des Sedimentationsprozesses, Flockung und Dispergieren, Sedimentationsapparate (Rundeindicker, Rechteckbecken), Zentrifugalkrafteindicker und. -klärer (Zyklone, Zentrifugen),</li><li>• <b>Schwimm-Sink-Trennung</b>, Grundlagen und Auslegung der Leichtstofftrennung, Leichtstoffabscheider, Flotation,</li><li>• <b>Filtration</b>, Kuchenfiltration, Grundlagen, Apparate (Schwerkraftfilter, Saug- und Druckfilter, Filterzentrifuge), Pressfiltration, Tiefenfiltration, Grundlagen, Apparate,</li><li>• <b>Querstrom- und Membranfiltration</b>, Grundlagen, Apparate, Mikro- u. Ultrafiltration, Umkehrosmose,</li><li>• <b>Elektrophorese und Elektroosmose</b></li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übungen mit studentischen Vorträgen, praktische Übungen (Sedimentation, Zentrifugation, Kuchenfiltration, Pressfiltration, Querstromfiltration)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mechanische Verfahrenstechnik, Strömungsmechanik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>N. N.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



**Literaturhinweise:**

[1] Manuskript mit Text, Bildern und Übungen siehe [www.ovgu.de/ivt/mvt/](http://www.ovgu.de/ivt/mvt/)

[2] Brauer, H., Handbuch des Umweltschutzes und der Umwelttechnik, Bd. 4 Behandlung von Abwässern, Springer Berlin 1996





## 5.24 Methoden der Proteanalytik

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Methoden der Proteanalytik

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studenten erwerben Kenntnisse und praktische Fähigkeiten in der Analytik komplexer Proteingemische sowie Grundkenntnisse in der Strukturaufklärung von Proteinen. Sie werden in einem Praktikum befähigt, Proteingemische zu trennen und qualitative und quantitative Änderungen zu detektieren. In diesem Zusammenhang erhalten sie Grundkenntnisse in der bioinformatischen Auswertung der erzeugten Datensätze.

**Inhalt**

Vorlesung

- Proteomik als analytische Methode der Systembiologie
- Klassischer Workflow und Methoden der Proteomik (Probenvorbereitung, Elektrophorese, Massenspektrometrie)
- Massenspektrometrie (Gerätetechnik, Anwendung in Proteomik)
- Labelling von Proteinen und gelunabhängige Methoden der Proteomik
- Analyse von Proteinkomplexen
- Strukturaufklärung von Proteinen (Röntgenkristallstrukturanalyse, NMR)
- Bioinformatik (Datenbanken, Strukturvorhersage, Modellierung von Proteinstrukturen)

Praktikum

- Probenvorbereitung (Zellaufschluss)
- Elektrophorese (Zymogramm, SDS-PAGE und 2D-PAGE)
- Identifizierung und Strukturaufklärung mittels Massenspektrometrie

**Lehrformen:**

Vorlesung, Praktikum

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Alle Module des Bachelorstudienganges. Der Besuch des Moduls Moderne Analysemethoden / Instrumentelle Analytik wird empfohlen.

**Arbeitsaufwand:**

Vorlesung: 2 SWS (28 h), Praktikum: 1 SWS (14 h), Selbstständiges Arbeiten: 78 h

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Klausur (90 min) / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. D. Benndorf, FVST

**Lehrende:**

Dr. D. Benndorf, Dr. E. Rapp, Prof. U. Reichl, FVST

**Literaturhinweise:**

- F. Lottspeich, J. W. Engels, A. Simeon (Hrsg.): Bioanalytik. Spektrum Akademischer Verlag 2008. ISBN: 978-3827415202
- H. Rehm, T. Letzel: Der Experimentator: Proteinbiochemie / Proteomics. Spektrum Akademischer Verlag 2009. ISBN: 978-3827423122



## 5.25 Micro Process Engineering and flexible production concepts

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Module:</b><br>Micro Process Engineering and flexible production concepts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Objectives:</b><br>The lectures provides for the students insight view in theoretical and practical basics and applications of modern methods and processes in micro process technology. The students acquire especially knowledge about practical use options, plant concepts and plant designs. The students apply the knowledge on corresponding examples and are able to connect concepts and system in an optimal way. By referring to relevant industrial examples the students are skilled, to understand, to control, to optimize and to design technical processes using micro structure apparatuses and elements. |
| <b>Contents:</b><br>Production of micro structured components<br>Important micro devices: mixers, heat exchanger, reactors<br>Separation in micro systems<br>Liquid phase reactions in micro reactors<br>Preparation of heterogeneous catalysts into micro channels<br>Gas phase reactions in micro systems<br>Process application at micro and macro scales:<br>Comparison, safety aspects                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Teaching:</b><br>full-time lecture of 4 days with practical lab part, (winter semester)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Prerequisites:</b><br>Thermodynamics, Process Systems Engineering, Reaction Technology                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Workload:</b><br>2 SWS,<br>Lecture time: 28 hours, Self study time: 78 hours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Examination/Credits:</b><br>Oral exam (M45) / 3 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Responsible lecture:</b><br>Dr. T. Schultz, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Literature:</b><br>W. Ehrfeld, V. Hessel, H. Löwe: Microreactors, Wiley-VCH, Weinheim, 2000, V. Hessel, S. Hardt, H. Löwe: Chemical Micro Process Engineering: Fundamentals, Modeling and Reactions, Wiley-VCH, Weinheim, 2004, V. Hessel, S. Hardt, H. Löwe: Chemical Micro Process Engineering: Processing, Applications and Plants, Wiley-VCH, Weinheim, 2004, W. Menz, J. Mohr, O. Paul: Microsystem Technology, Wiley-VCH, Weinheim, 2001                                                                                                                                                                              |



## 5.26 Mikrobielle Biochemie

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Mikrobielle Biochemie

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studenten vertiefen ihre Kenntnisse in den Bereichen Biochemie und Mikrobiologie. Die Studenten sind in der Lage, den Metabolismus biogener und anthropogener Verbindungen und die Mechanismen der Adaptation von Mikroorganismen an veränderte Umweltbedingungen zu analysieren. Die Studenten begreifen die metabolische Vielfalt und die hohe Adaptationsfähigkeit von Mikroorganismen als Chance für die Anwendung in biotechnologischen Prozessen. Gleichzeitig vertiefen Sie in einem Praktikum ihre praktischen Fähigkeiten in der Kultivierung und biochemischen Charakterisierung von Mikroorganismen.

**Inhalt****Vorlesung**

- Stoffwechselvielfalt (Photosynthese, Chemolithotrophie, Nutzung alternativer Elektronenakzeptoren)
- Adaptation von Mikroorganismen an ihre Umwelt (Hitzeschock, oxidativer Stress, Säureschock, Stationäre Phase)
- Mikroorganismen in biogeochemischen Prozessen (Erzlaugung,
- Abbau von anthropogener Verbindungen (chlorierte und nicht chlorierte Aliphaten und Aromaten, aerober und anaerober Abbau)
- Produktsynthese

**Praktikum**

- Kultivierung von Mikroorganismen (Adaptation, Schadstoffabbau, Produktsynthese)
- Kontinuierliche Kultivierung von Mikroorganismen im Bioreaktor
- Messung von Substrat- und Produktkonzentration
- Enzymmessungen

**Lehrformen:**

Vorlesung, Praktikum

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Alle Module des Bachelorstudienganges.

**Arbeitsaufwand:**

Vorlesung: 2 SWS (28 h), Praktikum: 1 SWS (14 h)

Präsenzzeit: 42 h, Selbstständiges Arbeiten: 78 h

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Klausur (90 min) / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. D. Benndorf, FVST

**Literaturhinweise:**

- M. T. Madigan, J. M. Martinko: Brock Mikrobiologie. Pearson Studium (2008). ISBN: 978-3827373588
- M. Schlömann., W. Reineke: Umweltmikrobiologie. Spektrum Akademischer Verlag (2006). ISBN: 978-3827413468



## 5.27 Mikrofluidik: Theorie und Anwendungen

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Mikrofluidik: Theorie und Anwendungen

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Vermittlung der Grundlagen der Strömungsphysik und deren Besonderheiten auf kleinen räumlichen Skalen. Ausgehend von den Grundlagen werden Methoden in der Mikrofluidik für spezifische Anwendungen aufgezeigt. Auf theoretischer Seite werden Sie nicht nur analytische Lösungen der Strömungen erarbeiten, sondern auch numerische Verfahren kennenlernen und benutzen.

**Inhalt**

- Grundlegende Konzepte der Mikrofluidik
- Erhaltungsgleichungen (Masse, Impuls, Energie)
- Einfache Strömungen
  - Hydrostatik
  - Couette & Poiseuille Strömungen
  - Stokes Drag
- Netzwerkbeschreibung durch hydraulischen Widerstand und Elastizität
- Diffusion
- Verschiedene zeitabhängige Strömungen
- Kapillarität
- Elektrohydrodynamik
  - Elektroosmose
  - Dielektrophorese
- Spezielle Strömungen in der Mikrofluidik wie z.B. Hele-Shaw, Mehrphasenströmungen, Erzeugung von Gasblasen und Tröpfchen und die Akustofluidik

**Lehrformen:**

Vorlesungen (2 SWS), Übung (1 SWS) und Selbststudium (SoSe)

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Grundvorlesung Strömungsmechanik.

**Arbeitsaufwand:**

Gesamt 120 h

Präsenzzeit: 42 Stunden, (Selbststudium: 28 Stunden, Vorlesung: 28 Stunden, Übungen: 14 Stunden),  
Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Studienleistungen: Vorlesungen und Übungen / 4 CP

2 Stunden schriftliche Prüfung (60% der Endnote)

2 Hausaufgaben einzureichen während des Semesters (40% der Endnote)

**Modulverantwortlicher:**

Prof. C. D. Ohl, FNW, Institut für Experimentelle Physik

**Literaturhinweise:**

- Theoretical Microfluidics, Hendrik Bruus (ISBN 978-0199235094)
- Introduction to Microfluidics, Patrick Tabeling (ISBN 978-0199588169)
- Micro- and Nanoscale Fluid Mechanics: Transport in Microfluidic Devices, Brian J. Kirby (ISBN 978-1107617209)
- Fluid Mechanics, Pijush K. Kundu, Ira M. Cohen, David R Dowling (ISBN 978-0124059351)



## 5.28 Modeling with population balance

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Module:</b><br>Modeling with population balances (Aussetzung bis auf Weiteres)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Objectives:</b><br>Participants learn to: <ul style="list-style-type: none"><li>• characterize systems with density functions</li><li>• model nucleation, growth and agglomeration</li><li>• solve population balances (analytical solutions, momentum approaches, sectional models)</li><li>• apply population balances to real problems</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Contents:</b><br>The concept of population balances is one approach to describe the properties of disperse systems. By definition a disperse system is a population of individual particles, which are embedded in a continuous phase. These particles can have different properties (internal coordinates) such as size, shape or composition. The concept of population balances allows to predict the temporal change of the density distribution of the disperse phase. By heat, mass and momentum transfer between the disperse and the continuous phase and by interaction between individual particles of the disperse phase the density distribution of the particles will change. These mechanisms are characterized as population phenomena. <ul style="list-style-type: none"><li>• nucleation,</li><li>• growth,</li><li>• breakage and</li><li>• agglomeration</li></ul> |
| <b>Teaching:</b><br>lectures and tutorials; (summer semester)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Prerequisites:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Work load:</b><br>3 hours per week, lectures and tutorials: 42 h, private studies: 78 h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Examinations/Credits:</b><br>Oral / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Responsible lecturer:</b><br>N. N.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



**Literature:**

- Population balances: theory and application to particulate systems in engineering. Ramkrishna, D., New York: Academic Press, 2000
- Modern Drying Technology, Volume 1: Computational Tools at Different Scales (Ed. E. Tsotsas und A.S. Mujumdar). Weinheim: Wiley-VCH, 2010
- Modern Drying Technology, Volume 3: Product Quality and Formulation (Ed. E. Tsotsas und A.S. Mujumdar). Weinheim: Wiley-VCH, 2011
- Einführung in die Modellierung populationsdynamischer Systeme. Peglow, M., Bück, A., Dervedde, M., Skriptum zur Vorlesung, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2012



## 5.29 Modellierung mit Populationsbilanzen

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Modellierung mit Populationsbilanzen (Aussetzung bis auf Weiteres)

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden verstehen die Definition von dispersen Systemen als Populationen mit verteilten Eigenschaften. Anhand von ausgewählten Fallbeispielen werden die Studenten befähigt, die populationsdynamischen Mechanismen (Wachstum, Aggregation, Bruch und Keimbildung) zu erkennen und auf neue Fälle anzuwenden. Anhand der eindimensionalen Populationsbilanz für örtlich konzentrierte Systeme werden den Studenten die mathematischen Grundlagen der populationsdynamischen Modellierung vermittelt. Sie werden befähigt, diese Bilanzgleichungen mittels verschiedener Ansätze wie Momentenmethode, Laplace- Transformation oder numerischer Methoden zu lösen und die Ergebnisse zu bewerten.

**Inhalt:**

1. Eigenschaften, Darstellung von Eigenschaftsverteilungen durch Dichtefunktion, Merkmale und Handhabung von Dichtefunktionen
2. Modellierung der Keimbildung
3. Modellierung des Wachstums
4. Modellierung der Aggregation
5. Modellierung des Bruchs
6. Analytische Lösungsmethoden (Laplace, Momente)
7. Numerische Lösungsmethoden
8. Anwendungsbeispiele und Fallstudien aus Partikeltechnik und Biologie

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übung

**Voraussetzung für die Teilnahme:****Arbeitsaufwand:**

3 SWS,  
Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

K 120 / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

N. N.

**Literaturhinweise:**

Vorlesungsskript zum Download,  
Ausgewählte wissenschaftliche Publikationen aus dem Fachgebiet



### 5.30 Modellierung von Bioprocessen

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Modellierung von Bioprocessen

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Den Studierenden kennen die wesentlichen Grundlagen der mathematischen Modellierung biotechnologischer Prozesse, die im Rahmen von Forschung und industrieller Produktion eingesetzt werden. Die Studierenden sind in der Lage, Verfahren zur Lösung einfacher Differentialgleichungen, zur Ermittlung von Parametern aus experimentellen Daten und zur Beurteilung der Qualität der Modellanpassung anzuwenden. Die theoretischen Ansätze werden in einer begleitenden Rechnerübung vertieft. Basierend auf der Programmiersprache Matlab lernen die Studenten konkrete Aufgabenstellungen aus der Praxis in Einzel- oder Kleingruppenarbeit umzusetzen und in Form von lauffähigen Programmen zu dokumentieren.

**Inhalt:**

Mathematische Modelle  
Massenbilanzen, Bilanzgleichungen, Bildungsraten, Eintrags- und Austragssterme  
Allgemeines Modell für einen einfachen Bioreaktor, Unstrukturierte und strukturierte Modelle  
Gleichungen für die Reaktionskinetik  
Allgemeine Grundlagen, Enzymkinetiken, Zellwachstum, Zellerhaltung, Zelltod  
Produktbildung, Substratverbrauch, Umgebungseffekte (Einführung: Regressionsanalyse)  
Lösung der Modellgleichungen  
Differentialgleichungen und Integrationsverfahren, Rand- und Anfangsbedingungen  
Stationäre und dynamische Modelle, Überprüfung eines Modells (Einführung: Gewöhnliche Differentialgleichungen / Numerische Integration)  
Bioprozesse  
Batch Kulturen, Kontinuierliche Kulturen, Fed-Batch Kulturen, Chemostaten mit Biomasse-Rückführung  
Transport über Phasengrenzen  
Kinetische Modelle für den Sauerstoffverbrauch, Bestimmung des  $k_l a$  und der Sauerstoff-Transportrate, Sauerstofflimitierung in Batch Prozessen  
Modellvalidierung  
Analyse der Residuen, Autokovarianz und Autokorrelation, Kreuzkovarianz und Kreuzkorrelation  
Parameterunsicherheiten und Modellauswahl  
Komplexe Modelle

**Lehrformen:**

Vorlesung mit Übung

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Grundlagenfächer des Bachelor

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS,  
(42 h Präsenzzeit + 78 h Selbständiges Arbeiten)

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Klausur (120 min) / Übungsschein / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. U. Reichl, FVST

**Lehrender:**

Prof. U. Reichl





**Literaturhinweise:**

**Bailey, J.E. and Ollis, D.F.** (1986): Biochemical engineering fundamentals, McGraw-Hill, second edition

**Dunn, I.J.** (1992): Biological reaction engineering. Principles, applications and modelling with PC simulation, Wiley VCH

**Ingham, J., Dunn, J.I., Heinzle, E., Prenosil, J.E.** (1992): Chemical engineering dynamics, Wiley VCH

**Nielsen, J., Villadsen, J. and Gunnar, L.** (2003): Bioreaction Engineering Principles, 2<sup>nd</sup> Ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York

**Schuler, M.L., Kargi, F.** (2006): Bioprocess Engineering, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice Hall, New York.



### 5.31 Moderne Analysemethoden / Instrumentelle Analyse

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modul:</b><br>Moderne Analysemethoden / Instrumentelle Analyse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Studierenden entwickeln Fertigkeiten im Umgang mit hochwertigen Messgeräten.</li><li>• Sie erwerben die Fähigkeit, aus einer Vielzahl nutzbarer Analysemethoden und Charakterisierungstechniken eine optimale Auswahl zur Problemlösung treffen zu können.</li><li>• Das analytische, logische und fachgebietsübergreifende Denken wird geschult.</li><li>• Sie erwerben die Kompetenz, Kenntnisse über die Stoffe und ihre Eigenschaften mit den Möglichkeiten der Messtechnik zu verknüpfen.</li></ul>                                      |
| <b>Inhalt:</b><br>Die Vorlesung liefert die zum Verständnis der einzelnen Methoden notwendigen Grundlagen und das für die Anwendung in der Produktcharakterisierung/Analytik Wesentliche in komprimierter Form. Die apparative Umsetzung und die Übungen zur Interpretation der Untersuchungsergebnisse bilden die zweite Säule des aus Vorlesung und Übung bestehenden Moduls. <ul style="list-style-type: none"><li>• Organische Elementaranalyse</li><li>• Massenspektrometrie</li><li>• Infrarotspektroskopie</li><li>• Kernmagnetische Resonanzspektroskopie</li><li>• Röntgenpulverdiffraktometrie</li><li>• REM</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesungen, Übungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>unbenoteter LN für die Übung / K 90 / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. S. Busse, FVST<br><b>Lehrende:</b><br>Dr. L. Hilfert, Dr. A. Lieb                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Scripte zu den einzelnen Methoden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



### 5.32 Molekulares Modellieren

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Molekulares Modellieren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>In dieser Vorlesung erlangen die Studenten theoretische und praktischen Fähigkeiten zum Einsatz verschiedener Modellierungswerkzeuge für diskrete Systeme von Partikeln, Gruppen von Molekülen, Molekülen und Atomen auf verschiedenen Raum- und Zeitskalen mit besonderem Bezug auf den Einsatz in technisch-ingenieurwissenschaftlichen Gebieten.<br>Die Studenten können die modelltheoretischen Kenntnisse mit verschiedenen numerischen Verfahren verknüpfen, und damit die molekulare Simulation am Computer als eigenständiges Ingenieurswerkzeug erlernen und nutzen. An einfachen Problemstellungen ausgewählter verfahrenstechnischer Prozesse erwerben die Studenten Kompetenzen, die jeweils adäquate Modellierung mit dem geeigneten Verfahren zu verknüpfen und somit übertragbares Wissen für einen späteren industriellen Arbeitsalltag zu erlangen. |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einführung, Konzepte und Grundlagen des molekularen Modellierens</li><li>• Simulationswerkzeuge für verschiedene Raum- und Zeitskalen</li><li>• Monte-Carlo-Methoden: Einführung, Gleichgewichtsmethoden, Dynamische Methoden, Anwendung für Emulsionstropfen, Partikel und Diffusion</li><li>• Molekulardynamik: Grundlagen, Potentiale, Anwendung für Diffusion und Keimbildung</li><li>• Quantenmechanik: Einführung, Kraftfelder, Dichtefunktionale</li><li>• Aktuelle Entwicklungen: Methoden, Algorithmen, Software</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Lehrformen:</b><br>2 SWS Vorlesung, 1 Computerlabor-Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I und II, Simulationstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS,<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Projektarbeit, Mündliche Prüfung (M45) / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. A. Voigt, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Andrew Leach, Molecular Modelling - Principles and Application, Pearson 2001, M. Griebel, Numerische Simulation in der Moleküldynamik, Springer 2004.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |



### 5.33 Multiphase Flow Fundamentals

**Course:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Module:**

Multiphase Flow Fundamentals

**Objectives:**

The lecture aims at giving an introduction to multiphase flows frequently found in industry, environment and daily life. The main focus will be related to dispersed multiphase flows where particles are distributed in a flow system. Here the main relevant transport mechanisms occurring on the scale of the particles will be introduced. Hence the students will learn about the complexity of multiphase flows and obtain some guidelines about process lay-out.

**Contents:**

The lecture begins with an introduction of the features of multiphase flows and their characterization. Then the main focus will be related to dispersed multiphase flows where the dispersed phase consists of solid particles, droplets or bubbles which are distributed in the carrier phase (i.e. gas or liquid). For each of these types of dispersed multiphase flows, such as gas-particles systems, sprays and bubbly flows, the relevant transport processes will be introduced, such as for example:

- Fluid forces on particles
- Turbulent transport of particles
- Inter-particle collisions and their outcomes, such as bouncing and coalescence
- Agglomeration of particles
- Wall interaction of particles and possible deposition
- Atomization of liquids
- Droplet heat and mass transfer

Following that some typical processes with dispersed multiphase flows will be introduced, reviewing the main design criteria. Finally also the numerical methods for calculating dispersed multiphase flows will be summarized.

**Teaching**

Lecture and Tutorial

The lecture will be offered only in English

**Prerequisites**

Good knowledge in fluid mechanics and particle technology

**Workload:**

Lectures and tutorials: 2 hours per week lectures including tutorials. The lectures will be hold in the form of block-seminars every second week (only summer semester).

**Examination/Credits:**

Written or oral examination / 4 CP

**Responsible lecturer:**

Prof. Dr.-Ing. M. Sommerfeld

**Literature:**

Crowe, C.T., Schwarzkopf, J.D., Sommerfeld, M. and Tsuji, Y.: Multiphase Flows with Droplets and Particles. 2<sup>nd</sup> Edition, CRC Press, Boca Raton, U.S.A. (2012), ISBN 978-1-4398-4050-4 (507 pages)



### 5.34 Numerik für Ingenieure

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Modul:</b><br>Numerik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Ziele und Kompetenzen:</b><br>Erwerb mathematischer Fähigkeiten und Grundkenntnisse zum Einsatz numerischer Verfahren in technischen Anwendungen.<br>Die Studenten können einfache numerische Verfahren aus den behandelten Gebieten programmieren und anwenden.<br>Die Studierenden erkennen die grundlegenden Fehler und Probleme bei der Anwendung numerischer Verfahren.                                                                                                                                                                   |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Probleme der Gleitkommarechnung</li><li>• Lösung linearer und nichtlinearer Gleichungssysteme (direkte und iterative Verfahren)</li><li>• Ausgleichsrechnung (überbestimmte lineare Systeme)</li><li>• Polynomiale Interpolation, Spline-Interpolation</li><li>• Numerische Intergration (interpolatorische Quadratur, Extrapolation)</li><li>• Anfangswertaufgaben für gewöhnliche Differentialgleichungen (Einschnittverfahren, Stabilität, Steifheit, Schrittweitensteuerung)</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung 2V, Übung 2Ü                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I-III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>4 SWS,<br>Vorlesung und Übung: 56 Std., Selbststudium: 64 Std.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. G. Warnecke, FMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>weitere Lehrende:</b><br>Prof. F. Schieweck, apl. Prof. M. Kunik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



### 5.35 Numerische Strömungsmechanik

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Numerische Strömungsmechanik

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Numerische Strömungssimulationen (im Allgemeinen als *Computational Fluid Dynamics* oder kurz CFD genannt) spielen in vielen modernen industriellen Projekten eine sehr wichtige Rolle. Gute Kenntnisse in den Grundlagen der Strömungsmechanik sind sehr wichtig, aber nicht ausreichend, um CFD selbstständig zu erlernen. Der beste Weg zum Erlernen von CFD ist die so genannte "Learning by Doing"-Methode am Computer. Das ist das Ziel dieses Moduls, in dem die theoretischen Aspekte mit vielen Übungen und mit vielen Beispielen am Computer kombiniert sind.

Die Studenten sind dadurch zu einer selbständigen, effizienten und zielgerichteten Nutzung der numerischen Strömungssimulation für komplexe Strömungsprobleme befähigt. Sie besitzen ebenfalls das Verständnis zur kritischen Überprüfung von CFD-Ergebnissen.

**Inhalt**

- Einleitung, Organisation der Vorlesung. Geschichte und Bedeutung der CFD. Wichtigste Methoden für die Diskretisierung (Finite-Differenzen, Finite-Volumen, Finite-Elemente)
- Vektor- und Parallelcomputer, Superrechner. Optimale Berechnungsprozedur, Validierung, "best practice"-Richtlinien.
- Lineare Gleichungssysteme. Direkte Lösung und ihre Grenzen. Iterative Lösungsmethoden, Beispiele und Anwendung. Tridiagonale Systeme. Selbstständige Realisierung unter Aufsicht eines *Matlab*-Scripts für die Lösung einer einfachen Strömung in einer 2D-Kavität (Poisson-Gleichung).
- Auswahl/Einsatz guter Konvergenzkriterien und praktische Realisierung. Einfluss des Gitters und der Konvergenzkriterien auf die Lösung. Gitterunabhängige Lösung.
- Finite-Elementen: Einführung am Beispiel von *COMSOL*. Einführung in *COMSOL* und praktische Übung.
- Reihenfolge der praktischen CFD: CAD, Gittererzeugung und Lösung. *Best Practice* (ERCOFTAC) Anweisungen für die CFD. Praktische Verwendung des kommerziellen Programms *Gambit*, um CAD und Gittererzeugung durchzuführen.
- Physikalische Modelle für die Simulation komplexer Strömungen. Bedeutung der zweckmäßigen Auswahl dieser Modelle. Einfluss der Konvergenzkriterien. Möglichkeit der Gitteranpassung und Erreichen einer gitterunabhängigen Lösung. Erste und zweite Ordnung in der Diskretisierung.
- Eigenschaften turbulenter Strömungen und Bedeutung dieser Strömungen. Turbulenzmodellierung. Berechnung der turbulenten Strömung an einer plötzlichen Querschnittserweiterung. Verteilung der Projekte.

**Lehrformen:**

Vorlesung mit Übungen und Computerpraktika

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Strömungsmechanik

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

PD Dr. G. Janiga, FVST



**Literaturhinweise:**

Ferziger and Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer



### 5.36 Numerische Werkzeuge für technisch-chemische Problemstellungen

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Numerische Werkzeuge für technisch-chemische Problemstellungen (Aussetzung bis auf Weiteres)

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studenten

- sind in der Lage methodisch grundlagenorientierte Lösungskompetenzen für Problemstellungen in der Chemie/chemischen Verfahrenstechnik einzusetzen
- haben ein Verständnis bezüglich der Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen von Modellierungswerkzeugen im Bereich der molekularen und strukturellen Produktgestaltung
- können das kommerzielle Modellierungswerkzeug MATLAB® sicher bei der Planung und Auslegung verfahrenstechnischer Apparate eingesetzt
- sind befähigt die an Fallbeispielen erworbenen Fähigkeiten auf eine Vielzahl ähnlicher technisch-chemischer Problemstellungen anzuwenden und Lösungen zu erarbeiten

**Inhalt:****1. Mathematische Grundlagen**

- Modellbildung und resultierende Gleichungsstruktur
- Numerische Werkzeuge für algebraische Gleichungssysteme bzw. Differentialgleichungssysteme
- Einführung in die statistische Analyse von Messdaten

**2. Einführung in MATLAB**

- Grundoperationen & Programmierung in MATLAB bzw. gPROMS
- Numerische Lösung von algebraischen & Differentialgleichungssystemen
- Numerische Optimierung
- Datenvisualisierung, Schnittstellen zu anderen Tools

**3. Praktische Anwendung anhand ausgewählter Beispiele**

- Stöchiometrie
- Thermodynamische Gleichgewichte
- Reaktionskinetik
- Rührkesselreaktoren: Batch-Reaktor, Semibatch-Reaktor, CSTR
- Festbettreaktoren mit axialer Dispersion, instationär mit axialer Dispersion, mit axialer und radialer Dispersion, Probleme und Lösungen
- Membranreaktoren und adsorptive Reaktoren
- Parameterschätzung, Versuchsplanung

**Lehrformen:**

Vorlesung / Seminare; (WS)

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Chemie, Reaktionstechnik I, mathematische Kenntnisse





**Arbeitsaufwand:**

3 SWS

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

mündlich / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. Ch. Hamel, FVST, Dr. K. Hecht, FVST

**Literaturhinweise:**

Löwe, Chemische Reaktionstechnik mit MATLAB und SIMULINK, Wiley-VCH, 2001



### 5.37 Partikelmechanik und Schüttguttechnik

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Partikelmechanik und Schüttguttechnik

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studenten

- erkennen, analysieren und bewerten die verfahrenstechnischen Probleme und Ziele der Schüttguttechnik einschließlich ihrer energetischen, wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen (*Prozess-Diagnose*),
- verstehen die physikalisch-chemischen Grundlagen der Mikroprozesse in der Partikelmechanik und die Makroprozesse in der Schüttgutmechanik
- wenden diese Erkenntnisse an, um Transport-, Umschlag-, Lager- und Handhabungsprozesse (TULH) einschließlich deren Maschinen, Apparate, Geräte und Einrichtungen verfahrenstechnisch und energetisch effizient auszulegen (*Prozessgestaltung*),
- entwickeln effiziente Problemlösungen durch kluge Kombination und Verschaltung mechanischer Prozesse und Handhabungseinrichtungen (*Verfahrensgestaltung*)
- erkennen und nutzen die Einheit von Stoffeigenschaften, Prozess-, Verfahrens-, Anlagen- und *Produktgestaltung*

**Inhalt:**

- **Aufgaben** und **Probleme** (Fehlerdiagnose) einer Siloanlage
- **Auslegungsschritte** (Therapie) einer Siloanlage
- **Einführung in die Partikelmechanik**, Kontaktmechanik haftender feiner, ultrafeiner und nanoskaliger Partikel, Partikelhaftkräfte und Mikroprozesse ihrer Bindungen, Messung der Partikelhaftkräfte
- **Einführung in die Mechanik kohäsiver Schüttgüter**, Grundlagen des Fließ-, Kompressions- und Verfestigungsverhaltens kohäsiver und kompressibler Pulver, Zweiachsiger Spannungszustand, Fließkriterien und Fließorte, Messung der Fließ-, Kompressions- und Verfestigungseigenschaften, Fließkennwerte und Durchströmungsverhalten impermeabler kohäsiver Pulver
- **Fließgerechte Auslegung eines Bunkers bzw. Silos**, Massen- und Kernflussbunker, minimaler Schaftdurchmesser, Austragsmassenstrom
- Auswahl der **Befüll-** und **Füllstandsmesseinrichtungen** sowie **Absperrorgane**, Normsilo
- **Silo- und Bunkerdruckberechnungen**, Scheibenelementmethode und räumliche Spannungsverteilungen, kritische mechanische Beanspruchungen der Silowände, Abschätzung der Wandstärken
- Auslegung und Einsatz von **Austragshilfen**,
- Auswahl und funktionelle Auslegung von **Austragsgeräten**,
- Einführung in die **Pulverdosierung**

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übungen mit studentischen Vorträgen

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Mechanische Verfahrenstechnik, Technische Mechanik, Strömungsmechanik



**Arbeitsaufwand:**

2 SWS

Präsenzzeit: 28 Stunden, Selbststudium: 52 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr.-Ing. habil. P. Müller, FVST [www.ovgu.de/ivt/mvt/](http://www.ovgu.de/ivt/mvt/)

**Literaturhinweise:**

[1] Manuskript mit Text, Bildern und Übungen siehe [www.ovgu.de/ivt/mvt/](http://www.ovgu.de/ivt/mvt/)

[2] Schulze, D., Pulver und Schüttgüter – Fließigenschaften und Handhabung, Springer Berlin 2006

[3] Israelachvili, Intermolecular and surface forces, Academic Press London 1992



### 5.38 Physikalische Chemie II

**Studiengang:**

Wahlpflichtfach Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Physikalische Chemie II: Aufbau der Materie

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden sind vertraut mit wichtigen Gesetzmäßigkeiten und Messmethoden der Physikalischen Chemie. Behandelt werden, aufbauend auf dem Modul „Physikalische Chemie“, überwiegend mikroskopische Zusammenhänge aus den Bereichen Aufbau der Materie und Chemische Bindung. Die Studierenden erwerben die Kompetenz, modernen Entwicklungen der Chemie, Physik und auch Verfahrenstechnik (z.B. im Bereich „Molecular Modeling“) folgen zu können.

**Inhalt:**

Parallel zur Vorlesung, die hier in 7 Blöcke á je 4 Unterrichtsstunden (2 Semesterwochen) gegliedert ist, werden Rechenübungen, in denen die Studierenden die Lösung entsprechender physikalisch-chemischer Probleme üben sollen, sowie ein Praktikum mit begleitendem Seminar durchgeführt, in dem Versuche aus dem in der Vorlesung behandelten Gebiet durchgeführt werden.

Block 1:

Versagen der klassischen Physik: schwarzer Strahler, Photoeffekt, Teilchenbeugung; Well-Teilchen-Dualismus; Spektrum des Wasserstoffatoms; Bohr-Modell

Block 2:

Schrödinger-Gleichung (SG) und Wellenfunktionen; Heisenberg'sche Unschärferelation; Teilchen im Kasten; Tunneleffekt; harmonischer Oszillator

Block 3:

Wasserstoff-Atom (quantentechnische Betrachtung); Behandlung von Mehrelektronensystemen (Pauli-Prinzip, Aufbau-Prinzip, Hund'sche Regel); HF-SCF-Atomorbitale

Block 4:

Behandlung von Molekülen: Born-Oppenheimer-Prinzip, Linearkombination von AO, Variationsprinzip; Hybridisierung; Übersicht über moderne Methoden (ab initio, DFT)

Block 5:

Grundlagen spektroskopischer Methoden: Auswahlregeln, Lambert-Beer-Gesetz, Franck-Condon-Prinzip; Fluoreszenz, Phosphoreszenz; UV/VIS-Spektroskopie; Infrarot- und Raman-Spektroskopie; NMR-Spektroskopie

Block 6:

Konzepte der statistischen Thermodynamik: Verteilungsfunktionen, kanonisches Ensemble, Anwendung; Molekulare Wechselwirkungen: Dipolmomente, Polarisierbarkeiten, Repulsion und Attraktion

Block 7:

Makromoleküle und Aggregate: Struktur und Dynamik, Form und Größe, „Self-Assembly“; Eigenschaften von Festkörpern



**Lehrformen:**

Vorlesung, Rechenübungen, Praktikum, Seminar zum Praktikum (mit Vorträgen der Praktikumssteilnehmer), (WS); (5. Semester)

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Module Mathematik I, Mathematik II, Physikalische Chemie

**Arbeitsaufwand:**

6 SWS

Präsenzzeit: 84 Stunden, Selbststudium: 126 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

Mündliche Prüfung/benoteter Leistungsnachweis für das Praktikum/Seminar/7 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. Dr. H. Weiß, FVST

**Lehrende:**

PD Dr. J. Vogt, FVST

**Literaturhinweise:**

- Atkins, Peter W.; De Paula, Julio; „Physikalische Chemie“, Wiley-VCH
- Atkins, Peter W.; De Paula, Julio; „Kurzlehrbuch Physikalische Chemie“, Wiley-VCH
- Wedler, Gerd; „Lehrbuch der Physikalischen Chemie“, Wiley-VCH



### 5.39 Process Engineering of Metals and Ceramics

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Modul:</b><br>Process Engineering of Metals and Ceramics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Objectives and Competence:</b><br>The students understand coupled processes of simultaneous heat transfer, mass transfer and chemical reactions. They know the mechanism to identify the rate determining steps. They can assess processes applying energy and molecular balances for the thermal engineering of the production of inorganic materials. They are able to connect different fields of chemical and energy engineering for the total production chain starting from raw materials until the wanted product of high quality.                                                                                                                                                                             |
| <b>Contents:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Manufacturing process of steel, basic reactions, handling of raw material</li><li>- Thermal and chemical treatment of raw materials in shaft kilns and cupola furnaces (reaction kinetics, heat and mass transfer, fluid dynamics)</li><li>- Modeling of lime calcination as example</li><li>- Thermal and chemical treatment of materials in rotary kilns</li><li>- Manufacturing process of ceramics, shaping, drying, sintering</li><li>- Thermal and chemical treatment of shaped material in roller kilns and tunnel kilns</li><li>- Casting and shaping processes of metals (steel, copper, aluminium)</li><li>- Freezing and melting processes</li></ul> |
| <b>Teaching:</b><br>Lectures with experiments and excursions                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Requirement for participation:</b><br>Thermodynamics, Heat Transfer, Physical Chemistry, Combustion Engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Work load:</b><br>3 SWS<br>Time of attendance: 42 hours, Autonomous work: 78 hours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Examination/Credits:</b><br>Oral exam / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Responsibility:</b><br>Prof. E. Specht, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Literature:</b><br>Handsout for Download                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



#### 5.40 Product quality in the chemical industry

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Module:</b><br>Product quality in the chemical industry                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Objectives:</b><br>Understanding the <ul style="list-style-type: none"><li>• Requirement profiles for products of the chemical and process industry</li><li>• Relation between structure and functionality of complex products</li><li>• Opportunities and methods for product design</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Contents:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fundamentals of product design and product quality in the chemical industry (differences to mechanical branches of industry, customer orientation, multi-dimensionality and complexity as opportunities for product design)</li><li>• Formulation and properties of granular materials (dustiness, fluidizability, storage, color and taste, pourability, adhesion and cohesion, bulk density, redispersibility, instantiztion etc.)</li><li>• Detergents (design by composition and structure, molecular fundamentals and forces, tensides and their properties, competitive aspects of quality, alternative design possibilities, production procedures)</li><li>• Solid catalysts (quality of active centres, function and design of catalyst carriers, catalyst efficiency, formulation, competitive aspects and solutions in the design of reactors, esp. of fixed bed reactors, remarks on adsorption processes)</li><li>• Drugs (quality of active substances and formulations, release kinetics and retard characteristics, coatings, microencapsulation, implants, further possibilities of formulation)</li><li>• Clean surfaces (the "Lotus Effect", its molecular background and its use, different ways of technical innovation)</li><li>• Short introduction to quality management after ISO in the chemical industry (block lecture and workshop by Mrs. Dr. Fruehauf, Dow Deutschland GmbH)</li></ul> |
| <b>Teaching:</b><br>Lectures / Exercises / Lab exercises / Workshop; (summer semester)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Prerequisites:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Work load:</b><br>3 hours per week, Lectures and tutorials: 42 h, Private studies: 78 h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Examinations /Credits:</b><br>Oral exam / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Responsible lecturer:</b><br>Prof. E. Tsotsas / Dr. A. Kharaghani, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Literature:</b><br>Handouts will be given in lecture                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |



#### 5.41 Produktgestaltung in der stoffumwandelnden Industrie

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Modul:</b><br>Produktgestaltung in der stoffumwandelnden Industrie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden können Aufgabenstellung und Rahmenbedingungen der Produktgestaltung in der stoffumwandelnden Industrie klar einschätzen. Sie haben erkannt, dass die Produktgestaltung nicht nur über die Zusammensetzung, sondern auch (insbesondere für Feststoffe) über die Struktur erfolgt, und haben sich anhand von Beispielen mit Arbeitstechniken zur Produktgestaltung vertraut gemacht. Auf dieser Basis können sie die Entwicklung neuer oder die Verbesserung vorhandener Produkte systematisch vorantreiben und dabei auch den Zusammenhang mit der Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Herstellungsprozessen fundiert berücksichtigen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Inhalt</b><br><ol style="list-style-type: none"><li>1. Grundlagen von Produktgestaltung und Produktqualität in der stoffumwandelnden Industrie (Unterschiede zur Fertigungstechnik, Kundenorientierung, Mehrdimensionalität und Komplexität als Chance)</li><li>2. Gestaltung granularer Stoffe (Staubfreiheit, Filtrierbarkeit, Fluidisierbarkeit, Lagerung, Farbe und Geschmack, Rieselfähigkeit, Adhäsion und Kohäsion, Schüttdichte, Redispergierbarkeit und Instantisierung)</li><li>3. Waschmittel (Gestaltung über die Zusammensetzung und Struktur, molekulare Grundlagen und Kräfte, Tenside und ihre Eigenschaften, konkurrierende Qualitätsaspekte, alternative Gestaltungsmöglichkeiten und Produktionsverfahren)</li><li>4. Saubere Oberflächen (Der "Lotus-Effekt", sein molekularer Hintergrund und seine Nutzung, unterschiedliche Wege der technischen Innovation)</li><li>5. Arzneimittel (Wirkstoffe und Formulierungen, Freisetzungseigenschaften, Retard-Eigenschaften, Beschichtungen, Mikrokapseln, Implantate)</li><li>6. Feste Katalysatoren (Qualität der aktiven Zentren, Sinn und Gestaltung von Katalysatorträgern, Katalysatorwirkungsgrad, konkurrierende Aspekte und Lösungen zur Gestaltung von Reaktoren)</li><li>7. Weitere Beispiele; Rekapitulation der Aufgabenstellung und Methodik der Produktgestaltung über die Zusammensetzung sowie über die Struktur, kurze Einleitung in das Qualitätsmanagement</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übung, Praktikum                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS,<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. E. Tsotsas / Dr. A. Kharaghani, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Eigene Notizen zum Download.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |





## 5.42 Projektarbeit Verfahrensplanung

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Modul:</b><br>Projektarbeit Verfahrensplanung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten <ul style="list-style-type: none"><li>• sind in der Lage eine komplexe, praxisnahe verfahrenstechnische Problemstellung (Großprozess, z.B. Steamcracker) gemeinsam zu bearbeiten und in einem interdisziplinären Team Lösungen für einzelne Teilaufgaben zu entwickeln</li><li>• haben die Fähigkeit komplexe Problemstellungen in einem festen Zeitrahmen zielorientiert zu bearbeiten und die Ergebnisse, wie im Anlagenbau üblich, zu dokumentieren und in einem Vortrag zu präsentieren</li><li>• entwickeln und festigen ihre Fertigkeiten aus den Grundlagenfächern bei der Auswahl, Auslegung, Gestaltung von Verfahren</li><li>• können fächer- und lernbereichsübergreifende Beziehungen und Zusammenhänge herstellen und anwenden</li></ul>                                                                            |
| <b>Inhalt:</b><br>Gegenstand des Moduls ist die verfahrenstechnische Auslegung in Detailstudien wesentlicher Komponenten eines industriellen Verfahrens bzw. Prozesses, z.B. des Steamcrackens, unter Beachtung der gesetzlichen Vorgaben bei optimaler Nutzung der zur Verfügung stehenden Energien und minimalem Kostenaufwand. Die Arbeit sollte dabei folgender Struktur entsprechen: <ul style="list-style-type: none"><li>• Literaturrecherche zum Stand der Technik</li><li>• Überblick über gegenwärtige Verfahren für die formulierte Aufgabenstellung</li><li>• Diskussion aller für den Prozess (z.B. Steamcracken) wesentlichen Apparate bzw. Prozessschritte</li><li>• Detailstudien wesentlicher Komponenten (nach Absprache) in Form modellbasierter Studien</li><li>• Sicherheitstechnische Aspekte</li><li>• Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Projektarbeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Reaktionstechnik I, Thermische-, Mechanische- und Systemverfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / Belegarbeit / M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. Ch. Hamel, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



**Literaturhinweise:**

- U. Onken, A. Behr, Chemische Prozesskunde, Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1996
- Winnacker-Küchler. Hrsg. von Roland Dittmeyer, Chemische Technik: Prozesse und Produkte, Weinheim, Wiley-VCH, 2005



### 5.43 Prozessindustrie 4.0

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Prozessindustrie 4.0

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

- Kompetenzerweiterung im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologien für verfahrenstechnische Anwendungen
- Kompetenzerweiterung im Bereich der empirischen Modellentwicklung / Datenanalysen für verfahrenstechnische Anwendungen

**Inhalt:**

- (1) Einleitung Industrie 4.0 / Digitalisierung
  - a. Industrielle Revolutionen
  - b. Definitionen, CPS
  - c. Darstellungen aus Unternehmenssichten
  - d. Geschäftsmodelle
  - e. RAMI 4.0
  - f. Prozessindustrie 4.0 – die vernetzte Anlage
- (2) Vernetzung über den Anlagenlebenszyklus
  - a. durchgängiges digitales Engineering
  - b. Assistenzsysteme
  - c. der digitale Zwilling
- (3) Vertikale Vernetzung
  - a. Automatisierungspyramide, Möglichkeiten und Grenzen
  - b. NAMUR-OA
  - c. Big Data / Datenanalysen, Übungen zu den Anwendungsbeispielen:
    - i. Condition Monitoring
    - ii. Soft Sensorik (DOW)
    - iii. Black Box Modelle für Optimierung (MBW)
    - iv. Vorausschauende Instandhaltung (Düse)
    - v. Lastprognose (FlexChem)
- (4) Horizontale Vernetzung
  - a. Zulieferer
  - b. Entsorger
  - c. Kunden
  - d. Intralogistik
- (5) Der digitale Turnaround
  - a. Üblicher Ablauf eines Turnarounds
  - b. Potenziale des Einsatzes digitaler Methoden im Turnaround
  - c. Fallbeispiele
  - d. Ausblicke
- (6) Smart Asset / Digitale Lebenslaufakte
  - a. Motivation
  - b. DIN
  - c. Fallbeispiele
- (7) Anlagenmodularisierung



- a. Motivation
- b. Wirtschaftlichkeit
- c. NAMUR, ProcessNet - Stand der Dinge
- d. Ausblick

- (8) Neue Geschäftsmodelle
- a. Beispiele aus anderen Branchen
  - b. Smart Farming
  - c. intelligente Produkte / Behälter
  - d. Contracting / Pay per Use
  - e. Industrial Data Space

**Lehrformen:**  
Vorlesung und Übung

**Voraussetzung für die Teilnahme:**  
keine

**Arbeitsaufwand:**  
2 SWS  
Präsenzzeit: 28 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**  
Ergebnisse der Übungsaufgaben / mündliche Prüfung / 3 CP

**Modulverantwortliche:**  
Dr.-Ing. N. Zobel, Fraunhofer

**Literaturhinweise:**



#### 5.44 Prozessoptimierung

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Prozessoptimierung

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden verstehen die Grundzüge der numerischen Optimierung, insbesondere mit Blick auf die Anwendung auf technische Systeme.

Sie sind in der Lage, aus technischen oder wirtschaftlichen Fragestellungen adäquate Optimierungsprobleme zu formulieren und zu klassifizieren. Die Studierenden haben einen breiten Überblick über verfügbare computergestützte Lösungsverfahren für stationäre Optimierungsprobleme unterschiedlicher Art. Dadurch sind sie in der Lage, angemessene Algorithmen für vorliegende Optimierungsprobleme auszuwählen. Dabei können Sie aufgrund ihrer detaillierten Kenntnisse die Vor- und Nachteile verfügbarer Verfahren gegen einander abwägen. Die in den praktischen Übungen erworbenen Fertigkeiten befähigen die Studierenden, Optimierungsprobleme in Simulationsumgebungen zu implementieren und zu lösen. Die Kenntnisse der Lösungsverfahren erlauben es den Studierenden, die Ergebnisse des Lösungsverfahrens angemessen zu beurteilen; dies gilt sowohl für den Fall des Scheiterns des Verfahrens als auch für die Beurteilung einer gefundenen Näherungslösung.

**Inhalt**

1. Struktur und Formulierung von Optimierungsproblemen (Zielfunktion, Nebenbedingungen, Freiheitsgrade)
2. Optimierungsprobleme ohne Nebenbedingungen
  - 2.1 Optimalitätsbedingungen (notwendige und hinreichende Bedingungen)
  - 2.2 Eindimensionale Optimierungsmethoden (äquidistante Suche, Interpolationsverfahren, goldener Schnitt)
  - 2.3 Mehrdimensionale Optimierungsmethoden; Liniensuchrichtungen (sequentielle Variation der Variablen, steilster Abstieg, konjugierte Gradienten), Nelder-Mead-Verfahren, Newton-Methoden (Newton-Raphson, Quasi-Newton-Methoden, Gauss-Newton für quadratische Probleme)
  - 2.4 Liniensuchmethoden (Wolfe-Bedingungen, „trust region“-Methode, „dogleg“-Methode, Marquardtverfahren)
3. Optimierungsprobleme mit Nebenbedingungen
  - 3.1 Optimalitätsbedingungen (Karush-Kuhn-Tucker-Bedingungen), Eindeutigkeit der Lösung
  - 3.2 Nichtlineare Programmierung (reduzierter Gradient, sequentielle quadratische Programmierung, „active set“-Strategie)
  - 3.3 Straffunktionen, Barrierefunktionen
  - 3.4 Lineare Programmierung (Simplexmethode nach Dantzig)
4. Globale Optimierung
  - 4.1 Genetische Algorithmen
  - 4.2 Evolutionäre Algorithmen
5. Optimalsteuerung
  - 5.1 Optimalitätsbedingungen (Euler-Lagrange-Gleichungen) für unbeschränkte und beschränkte Probleme
  - 5.2 Hamiltonfunktion

**Lehrformen:**

Vorlesung, Übung



|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b>                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS,<br>Präsenzzeit: 42 h, Selbststudium: 78 h                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>K120 / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. R. Flassig, FVST                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>M. Papageorgiou, <i>Optimierung</i> , Oldenbourg Verlag, München, 1996<br>J. Nocedal, S. Wright, <i>Numerical Optimization</i> , Springer-Verlag, New York, 2008<br>T.F. Edgar, D.M. Himmelblau, <i>Optimization of Chemical Processes</i> , McGraw-Hill, 1988 |



#### 5.45 Prozesssimulation (mit ASPEN)

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Prozesssimulation (mit ASPEN)

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Vorlesung vermittelt die grundlegenden Schritte des konzeptionellen Prozessentwurfs und die systematische Vorgehensweise bei der Modellierung und Simulation stationärer und dynamischer verfahrenstechnischer Prozesse unter Benutzung industrierelevanter kommerzieller Simulationswerkzeuge (z. B. *Aspen Plus* und *Aspen Dynamics*). Die Studenten werden in die Lage versetzt, Simulationswerkzeuge eigenständig und zielführend für den konzeptionellen Prozessentwurf und für die Bewertung unterschiedlicher Prozessvarianten einzusetzen.

**Inhalt:**

- Einführung in die industrielle Prozessentwicklung
- Einführung in den Simulator *Aspen Plus* für die stationäre Prozesssimulation
- Stoffdaten (Reinstoffe, Gemische), Phasengleichgewichtsmodelle
- Apparate-Modellierung:
  - Chemische Reaktoren (Modelle)
  - Trennapparate (Destillation, Extraktion)
  - Wärmetauscher
  - Mischer, Separatoren
  - Pumpen, Verdichter
- Rückführungen, Synthese von Trennsequenzen, Verschaltung zum Gesamtprozess
- Flowsheet-Simulation ausgewählter Beispielprozesse in *Aspen Plus*
- Short-cut Methoden für Einzelapparate und für die Prozesssynthese
- Vorstellung der dynamischen Prozesssimulation mit *Aspen Dynamics*

**Lehrformen:**

2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Prozessdynamik, Systemverfahrenstechnik, Thermische Verfahrenstechnik, Chemische Reaktionstechnik

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS,

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M 30 / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Dr. A. Voigt, FVST

**Literaturhinweise:**

Foliensatz zur Vorlesung (zum Download); Baerns et al.: Technische Chemie (Wiley-VCH); Biegler et al.: Systematic Methods of Chemical Process Design (Prentice Hall); Smith: Chemical Process Design (McGraw-Hill);



#### 5.46 Prozess- und Anlagensicherheit

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Modul:</b><br>Prozess- und Anlagensicherheit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden kennen die grundlegenden Gefährdungen aus verfahrenstechnischen Prozessen: Stoff-Freisetzung, Brand, Explosion. Sie erlernen die Methoden der sicherheitstechnischen Stoffbewertung und ermitteln die sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stoffen und Stoffgemischen. Sie beherrschen mathematische Modelle zur Vorhersage der Wirkungen von Stoff-Freisetzungen, Bränden und Explosionen in der Umgebung verfahrenstechnischer Anlagen. Sie lernen den Risikobegriff kennen und verstehen die Elemente der wissenschaftlichen Risikoanalyse anhand von Ereignis- und Fehlerbäumen. Sie erwerben Grundlagenwissen zu den Methoden der qualitativen und quantitativen Gefährdungsbewertung. Sie kennen die wichtigsten rechtlichen Pflichten zum Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gefährdungen aus verfahrenstechnischen Prozessen: Stoff-Freisetzung, Brand, Explosion</li><li>• Fallstudien zu unerwünschten Ereignissen (Seveso, Bhopal, Mexico-City, Flixborough u.a.)</li><li>• Methoden der sicherheitstechnischen Bewertung von Stoffen, Stoffgemischen und Reaktionen dieser (Dynamische Differenzkalorimetrie, Thermogravimetrische Analyse, Sedex-Verfahren, Dewar-Test)</li><li>• Sicherheitstechnische Kenngrößen für das Brand- und Explosionsverhalten und deren Bestimmungsverfahren (Mindestzündtemperatur, Mindestzündenergie, Explosionsgrenzen, maximaler Explosionsdruck, maximaler zeitlicher Druckanstieg, Sauerstoffgrenzkonzentration)</li><li>• Mathematische Modelle für die Berechnung der Stoffausbreitung von Leicht- und Schwergasen</li><li>• Mathematische Modelle für die Berechnung von Explosionswirkungen (Multi-Energie-Methode)</li><li>• Qualitative Methoden zur Gefährdungsbewertung (Layer of Protection Analysis, Hazard and Operability Studies)</li><li>• Einführung in die Quantitative Risikoanalyse, Ereignis- und Fehlerbaummodelle, Erstellung ortsabhängiger Risikographen</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung mit Übung und Experimenten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>2 SWS,<br>Präsenzzeit: 28 Stunden, Selbststudium: 62 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>schriftlich / K 90 / 3 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. U. Krause, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Skript zum download, Steinbach: Grundlagen der Sicherheitstechnik, Mannam S: Lee's Loss Prevention in the Process Industries, Hauptmanns: Prozess- und Anlagensicherheit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |





## 5.47 Rheologie und Rheometrie

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Rheologie und Rheometrie

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Mehrzahl aller fluiden Stoffe mit denen wir umgeben sind, weisen nicht-Newtonsche Eigenschaften auf (Pharmazie- und Medizintechnik, Kosmetikindustrie, Lebensmittelindustrie, Petrochemie, Baustoffindustrie, Keramikindustrie, Farbindustrie, Polymerherstellung...). Das Fließverhalten dieser Stoffe spielt in der Produktions- und Anwendungstechnik, der Qualitätssicherung, der Materialforschung und -entwicklung eine zentrale Rolle.

Mit der Vorstellung rheologischer Phänomene beginnend, werden die physikalischen Eigenschaften wie Viskosität, Elastizität und Plastizität erläutert. Daran schließt sich eine Einteilung und die mathematische Beschreibung der rheologischen Zustandsgleichungen der Medien an. Einfache laminare rheologische Strömungen werden zuerst behandelt, bevor turbulente Eigenschaften diskutiert werden.

Aktuelle Messmethoden und abgeleitete Modelle bilden einen Schwerpunkt der Vorlesung.

Nach der Teilnahme an diesem Modul beherrschen die Studenten alle grundsätzlichen Konzepte, die für die Beschreibung komplexer Fluide notwendig sind. Sie kennen die charakteristischen Eigenschaften nicht-Newtonscher Fluide sowie ihre volkswirtschaftliche Bedeutung und die wichtigsten Einsatzgebiete.

Sie sind in der Lage, komplexe Stoffverhalten zu identifizieren, charakterisieren, interpretieren und in theoretische/numerische Modelle einfließen zu lassen. Teilnehmer werden außerdem durch praktische Übungen in die Lage versetzt, Versuche mit Rheometern durchzuführen und die Ergebnisse zu interpretieren.

**Inhalt**

- Grundlagen der Rheologie, Teilgebiete, rheologische Phänomene (Begriffe und Definitionen, Verhalten bei angelegter Spannung, elastische Körper und viskose Körper)
- Physikalische Grundlagen, Erhaltungssätze
- Einfache Deformationsformen
- Rheologische Messprinzipien, Geräte und Methoden (stationäre Methoden, instationäre Methoden, Rheometertypen, Messung anderer rheologischer Parameter)
- Klassifizierung. Ideale Körper: Newtonsche, Hooke'sche, St.-Venant-Körper; Nicht-Newtonsche zähe Flüssigkeiten: rheostabile, -dynamische, vikoelastische Flüssigkeiten.
- Methoden zur Aufstellung der Fließfunktion (Approximation der Fließkurve, halbtheoretische Ansätze, molekularkinetische Ansätze, mechanische Modelle)
- Einfluss von Temperatur, Druck, Zusammensetzung
- Ingenieurtechnische Anwendungen (Spaltströmung, Rohrströmung, Ringspaltströmung, Breitschlitz-Düse; Rührwerksauslegung, Extruderauslegung)
- Rheologie biologischer und biomedizinischer Fluide

**Lehrformen:**

V.: 2 SWS; Ü.: 1 SWS

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Strömungsmechanik, Thermodynamik, Mechanik

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS,

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden



**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. D. Thévenin, FVST

**Literaturhinweise:**

G. Böhme: Strömungsmechanik nichtnewtonscher Fluide, Teubner Verlag



#### 5.48 Statistische Planung und Auswertung von Versuchen

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modul:</b><br>Statistische Planung und Auswertung von Versuchen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden verfügen über die Fähigkeit, experimentelle Daten aus Produktionsprozessen mit statistischen Methoden auszuwerten. Sie können Regressionsrechnungen, Regressionsanalysen und Korrelationsanalysen für lineare sowie für nichtlineare Prozessmodelle durchführen. Sie sind in der Lage die Vertrauensbereiche von Modellparametern zu ermitteln. Die Studierenden beherrschen grundlegende Arbeitstechniken der Versuchsplanung für Modelle ersten und zweiten Grades (orthogonale, zentrale und zusammengesetzte Versuchspläne).                                                                                                                                                           |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Grundbegriffe und Definitionen der Statistik: Variable, Parameter, Modelle, Regression, Planung</li><li>• Statistische Grundlagen: Zufall, Wahrscheinlichkeit, Verteilungen, Stichprobe, Varianz, Schätzung, Vertrauensbereiche</li><li>• Lineare Modelle: Parameter, Einfache Regression, Korrelations- und Regressionsanalyse, Vertrauensintervalle, Varianz und Kovarianz, Multiple Regression</li><li>• Nichtlineare Modelle: Linearisierung, Iterative Regressionsverfahren</li><li>• Versuchsplanung: Modelle 1. und 2. Grades, Faktorielle Versuchspläne, Blockfaktorpläne, Orthogonale, zentrale und zusammengesetzte Versuchspläne, Rotierte Versuchspläne, Zuverlässigkeit</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>2 SWS Vorlesung und 1 SWS Übung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Mathematik I und II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS,<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Mündliche Prüfung / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. R. Flassig, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Literaturhinweise:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>[1] E. Kreyszig, <i>Statistische Methoden und ihre Anwendungen</i>, Vandenhoeck &amp; Ruprecht.</li><li>[2] K.-R. Koch, <i>Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models</i>, Springer.</li><li>[3] K. Siebertz, D. Van Bebber, T. Hochkirchen, <i>Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DoE)</i>, Springer.</li><li>[4] D. C. Montgomery, <i>Design and Analysis of Experiments</i>, John Wiley &amp; Sons.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                  |



#### 5.49 Strukturelle und funktionale Analyse von zellulären Netzwerken

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Modul:</b><br>Strukturelle und funktionale Analyse von zellulären Netzwerken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studenten beherrschen verschiedene theoretische Ansätze und Methoden zur strukturellen und qualitativen Modellierung und Analyse zellulärer Netzwerke. Die Studenten haben ein allgemeines Verständnis für den strukturellen Aufbau und die Arbeitsweise unterschiedlicher Klassen von biochemischen Netzwerken (z.B. Stoffwechsel und Signaltransduktion) und können mit verschiedenen Methoden für die rechnergestützte Analyse dieser Netzwerke umgehen. Die Verfahren kommen hauptsächlich aus dem Bereich der diskreten Mathematik (z.B. Graphen- und Hypergraphentheorie, Boolesche Netzwerke) und der linearen Algebra. Die Studenten wenden die theoretischen Methoden in Übungen mithilfe eines Softwarepakets und am Beispiel von konkreten biologischen Beispielen an. Die Teilnehmer sind in der Lage, interdisziplinär (systembiologisch) zu denken und haben ein gefestigtes Verständnis für netzwerkweite Prozesse in der Zelle. Außerdem können sie mit grundlegenden Methoden zur Bestimmung strategischer Eingriffe und zur Rekonstruktion zellulärer Netzwerke umgehen. |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einführung: zelluläre Netzwerke, Stoffflüsse und Signalflüsse, Datenbanken</li><li>• Graphentheorie: Grundbegriffe, statistische Netzwerkanalyse, Netzwerk motive</li><li>• Metabolische Netzwerkanalyse: Erhaltungsrelationen, Stoffflussverteilungen, Flusskegel, Elementarmoden, Minimal Cut Sets</li><li>• Modellierung von regulatorischen und Signaltransduktionsnetzen mittels Interaktionsgraphen und logischen Netzwerken: Feedback loops, cut sets, Abhängigkeitsmatrix, qualitatives Ein/Ausgangsverhalten, Minimale Interventionsmengen</li><li>• Zusammenhänge zwischen Netzstruktur und qualitativer Dynamik:</li><li>• Einführung in Methoden der Netzwerkrekonstruktion</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung, Übungen; (SS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Grundverständnis für Molekularbiologie und Modellierung biologischer Systeme. Grundlagen in linearer Algebra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>(42 h Präsenzzeit und 78 h selbständiges Arbeiten)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Teilnahme an Übungen / Schriftliche Prüfung (Klausur) / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Dr. St. Klamt, MPI Magdeburg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |



**Literaturhinweise:**

Z. Szallasi, V. Periwal and J. Stelling (eds): *System Modeling in Cellular Biology: From Concepts to Nuts and Bolts*, MIT Press, Cambridge, MA, 125-148, 2006.

R. Thomas and R. D'Ari: *Biological Feedback*. CRC Press, Boca Raton, 1990.

B. Palsson: *Systems Biology - Properties of Reconstructed Networks*. Cambridge University Press: 2006.

E. Klipp et al.: *Systems Biology: A Textbook*. Wiley-VCH: 2009.

B. H. Junker and F. Schreiber: *Analysis of Biological Networks*. Wiley-Interscience: 2008.



## 5.50 Technische Kristallisation

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Technische Kristallisation

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Kristallisation zählt zu den thermischen Grundoperationen der Verfahrenstechnik, die klassischerweise insbesondere der Stofftrennung dienen. Die Gewinnung einer reinen kristallinen Substanz ist jedoch nur eine der Aufgabenstellungen von Kristallisationsverfahren. Weitere Ziele sind Aufkonzentrierung und Reinigung von Lösungen, Rückgewinnung von Lösemittel sowie Produktdesign. Bei Letzterem geht es darum, definierte Feststoffeigenschaften (u.a. Korngröße und -form) für die jeweilige Produktapplikation bereitzustellen.

Massenkristallisation und Einkristallzüchtung sind aus der industriellen Praxis nicht mehr wegzudenken und finden vielfältige Einsatzfelder, z.B. in den Bereichen Düngemittel, Life Science (Pharma, Lebensmittel, Agrochemie), Umwelt und Elektronik/Energietechnik. Die Kristallisation ist damit ein sehr interdisziplinäres Fachgebiet.

Die LV ist so konzipiert, dass aufbauend auf den thermodynamischen und kinetischen Grundlagen, verfahrens- und apparatetechnische Aspekte, wichtige praxisrelevante Aufgabenstellungen und deren Lösung (Produktdesign, Aufreinigung) sowie abschließend mit der KCI-Gewinnung ein industrielles Gesamtverfahren behandelt werden.

**Inhalt**

1. Einführung in die Kristallisationswelt
  - Kristallisation: Allgemeines, Ziele & Bedeutung, Prozess & Produkt
  - Systematisierung und Eingrenzung der in der LV behandelten Aspekte
2. Kristallografische Grundlagen
  - Kristalle & fester Aggregatzustand, Grundkonzepte der Kristallchemie
  - Röntgenbeugung zur Untersuchung kristalliner Materialien
3. Fest/flüssig-Gleichgewichte, Phasendiagramme: Bedeutung, Vermessung, Anwendung
  - Thermodynamische Grundlagen
  - Schmelzgleichgewichte
  - Lösungsgleichgewichte
4. Kristallisationskinetik: Untersuchung und Beschreibung
  - Kristallisationsmechanismen und metastabiler Bereich
  - Einfluss von Fremdstoffen
  - Populationsbilanzen
5. Polymorphie: Grundlagen, Bedeutung und Untersuchung
6. Kristallisationsverfahren: Von der Löslichkeit zur Fahrweise
  - Zielgrößen & Prozesskette
  - Batch- und kontinuierliche Kristallisation
  - Beeinflussung der Korngröße
7. Apparate und Anlagen
  - Grundbauarten industrieller Kristallisatoren
  - Vom Kristallisator zur Anlage
8. Aufreinigung bei der Kristallisation
  - Mechanismen
  - Verteilungskoeffizient und Minimierung des Einbaus von Verunreinigungen
9. Industrielles Beispiel: Heißlöseverfahren zur Gewinnung von KCl

**Lehrformen:**

Vorlesung / Seminare



**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Thermodynamik, Reaktionstechnik, Chemie

**Arbeitsaufwand:**

3 SWS

Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden

**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

apl. Prof. H. Lorenz, MPI Magdeburg

**Empfehlung für begleitende Literatur:**

- Gnielinski, V., Mersmann, A., Thurner, F. (1993): *Verdampfung, Kristallisation Trocknung*, Vieweg Braunschweig
- Kleber, W., Bautsch, H.-J., Bohm, J. (1998): *Einführung in die Kristallographie*, 18. Aufl., Verlag Technik Berlin
- Hofmann, G. (2004): *Kristallisation in der industriellen Praxis*, Wiley-VCH Weinheim
- Beckmann, W. (Ed.) (2013): *Crystallization – Basic Concepts and Industrial Applications*, Wiley-VCH Weinheim
- Mullin, J. W. (1997): *Crystallization*, 3<sup>rd</sup> ed., Butterworth-Heinemann Oxford
- Mersmann, A. (2001): *Crystallization technology handbook*, 2<sup>nd</sup> ed., Marcel Dekker Inc. New York



### 5.51 Technology and Innovation Management in the Biotech Industry

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Course:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Module:</b><br>Technology and Innovation Management in the Biotech Industry                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Objectives:</b><br>Participants receive insight into Technology and Biotech Manufacturing Process Lifecycle Management in the Pharmaceutical Industry. Based on lectures they will understand specific topics of biotech industry including tech transfers, general principles, characterization methods including regulatory, technical, quality and business perspectives. Case studies simulating “real industry life” will enable students to obtain an end to end view on commercial manufacturing, challenges and current practices incl. quality, regulatory, business and innovation aspects. Taken together, student will be able to apply the basic principles and interactions of quality, business process management, operational excellence, technology management and supply chain management.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Contents:</b><br><b>Technology Transfer, Equipment Characterization and Scale Up:</b> Basic principles, risk management, facility fit /process adaptations, regulatory perspectives, business aspects, Basic scale up principles equipment characterization, tools for trouble shooting and risk mitigation, practical examples of upstream and downstream steps<br><b>Introducing New Technologies and Existing Processes:</b> Selected principles of technology & innovation management, technology roadmaps organizational aspects, change management, statistical process control and data analysis<br><b>Regulatory and Quality Aspects:</b> Regulatory agencies, current guidelines, QA/ QC aspects, risk management, IPC control product characterizations, process validation and Quality by design<br><b>Operational Excellence and Supply Chain Management Aspects:</b> Challenges in manufacturing, Basics of business process management, operational excellence, problem solving approaches (DMAIC), From development to launch; supply chain examples and risk mitigations, , facility utilization, challenges in the pharmaceutical industry<br><br><b>Case Study:</b> As a member of the Manufacturing Science and Technology group of a global pharmaceutical company, you are tasked to transfer a manufacturing process from Penzburg, Germany, to your facility in Oceanview, CA, USA. The product “ <i>Exemplizumab</i> ” is an upcoming blockbuster with estimated sales over 3 bn USD revenue and critical to the future of the company. After launch 2 years ago the product is currently sole sourced out of Penzburg. Due to recent catastrophic event the facility in Penzburg was shut down and the management decided to establish a second supplier. The project timelines and budget is challenging. Since the product was licensed from a 3 <sup>rd</sup> party some unit operations are not comparable to your existing platform – process/ facility changes have to be implemented as a result. You will perform facility fit/ scale up and trouble shoot issues during manufacturing The analysis, progress and success need to be presented to executive Vice President. |
| <b>Teaching:</b><br>Lecture including several case studies and practical examples                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Prerequisites:</b><br>Study courses of B.Sc.: Biochemical Engineering                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Workload:</b><br>2 SWS<br>(28 h of lectures, including graded case studies; 62 h self-dependent studies)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |





**Examinations/Credits:**

Participation in case studies / 3 CP

**Responsible module:**

Prof. U. Reichl, FVST

**Responsible lectures:**

Dr. M. Pohlscheidt, Genentech Inc.

**Literature:**

**Munos, B.**, *Lessons from 60 years of Pharmaceutical Innovation*. Nature Reviews, 2009; 8:959-968.

**Shukla A, Thömmes J**, *Recent Advances in Large-Scale Production of Monoclonal Antibodies and Related Proteins*. Trends in Biotechnology. 2010; 28:253 – 261.

**Pohlscheidt et al.** *Avoiding Pitfalls during Technology Transfer of Cell Culture Manufacturing Processes in the Pharmaceutical Industry – Mitigating Risk and Optimizing Performance*, Pharmaceutical Outsourcing, Vol 14 (2) April 2013, pp. 34-48



## 5.52 Thermische Prozesstechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Modul:</b><br>Thermische Prozesstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden können die Erwärmungs- und die Abkühlungsvorgänge fester Körper wie Metalle, Keramiken, Brennstoffe berechnen. Sie kennen den Mechanismus des Wärmeübergangs durch Strahlung. Sie wissen, wie durch Strahlungsschirme und Sekundärstrahlung der Wärmeübergang beeinflussen werden kann. Sie können die Verfahren zur Intensivkühlung mit Flüssigkeiten anwenden. Sie können gekoppelte Wärme- und Stofftransportvorgänge unter Verwendung von Gleichgewichtsbeziehungen berechnen. Sie sind damit in der Lage, Prozesse der Hochtemperaturverfahrenstechnik und der Energietechnik thermisch auszulegen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Inhalt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Wärmebehandlungsprozesse von Feststoffen, Anwendungsbeispiele, Herstellung von Keramik und Metallen, Temperaturverläufe, Fourier'sche Dgl. mit Grenzbedingungen</li><li>- Vereinfachte analytische Lösung für eindimensionale Wärmeleitung, dimensionslose Beschreibung, Beispiele, mehrdimensionale Wärmeleitung, Wärmetransport in halbumendlichen Körpern und bei kurzen Zeiten, Kontakttemperatur</li><li>- Wärmeübertragung durch Strahlung, Mechanismus, Intensitäten, Emissionsgrade für feste, flüssige und gasförmige Stoffe, Staub- und Rußstrahlung</li><li>- Einstrahlzahlen, Strahlungsaustausch, Strahlungsschirm, Treibhauseffekt, Sekundärstrahlung</li><li>- Erstarrungs- und Schmelzvorgänge</li><li>- Intensivkühlvorgänge, Tauch-, Film- und Spritzkühlung, Einfluss von Flüssigkeiten, kritische Wärmestromdichten, Leidenfrostproblematik</li><li>- Gekoppelte Wärme- und Stofftransportvorgänge, Gleichgewichtsbedingungen an Phasengrenzen, Beispiel Kohlenstoffverbrennung, Kalksteinzersetzung</li><li>-</li></ul> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung mit Übung und Experimenten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung, Strömungstechnik, Physikalische Chemie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>Mündlich / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. E. Specht, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Literaturhinweise:</b><br>Skript zum Download, Stefan; Baehr: Wärmeübertragung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |



### 5.53 Trocknungstechnik

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Modul:</b><br>Trocknungstechnik (Aussetzung bis auf Weiteres)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>Die Studierenden verstehen die bei unterschiedlichen Trocknungsprozessen ablaufenden Wärme- und Stofftransportvorgänge und kennen die wesentlichen Ansätze zu deren Berechnung. Sie verstehen die Arten der Bindung der Flüssigkeiten an Feststoffe. Die wichtigsten Trocknertypen aus der industriellen Anwendung sind den Studenten bekannt. Sie können die wesentlichen Vor- und Nachteile der verschiedenen Trocknungsapparate für feste, flüssige und pastenförmige Güter und deren Funktionsweise erläutern und bewerten. Die Studenten sind in der Lage, insbesondere den Energieverbrauch bei den verschiedenen Trocknungsarten und deren apparativer Realisierung zu berechnen und zu bewerten. Sie haben durch eine Exkursion in ein Trocknungswerk direkten Einblick in die Betriebsabläufe und die Funktionsweise von Förderlufttrocknern.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Inhalt</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Arten der Bindung der Flüssigkeit an ein Gut, Kapillarverhalten, ideale und reale Sorption, Sorptionsisothermen</li><li>2. Eigenschaften feuchter Gase und deren Nutzung für die konvektive Trocknung</li><li>3. Theoretische Behandlung realer Trockner: einstufig, mehrstufig, Umluft, Inertgaskreislauf, Wärmepumpe, Brüdenkompression</li><li>4. Kinetik der Trocknung, erster und zweiter Trocknungsabschnitt, Diffusion an feuchten Oberflächen, Stefan- und Ackermannkorrektur, normierter Trocknungsverlauf</li><li>5. Konvektionstrocknung bei örtlich und zeitlich veränderlichen Luftzuständen</li><li>6. Wirbelschichttrocknung mit Gas und überhitztem Lösungsmitteldampf</li><li>7. Wirbelschichtgranulationstrocknung und verschiedene Schaltungsmöglichkeiten von Trocknungsanlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung</li><li>8. Bauarten, konstruktive Gestaltung und Berechnungsmöglichkeiten ausgewählter Trocknertypen, wie Kammertrockner, Wirbelschichttrockner, Förderlufttrockner, Trommeltrockner, Zerstäubungstrockner, Bandtrockner, Scheibentrockner u.a.</li><li>9. Exemplarische Berechnung und apparative Gestaltung ausgewählter Trockner</li><li>10. Exkursion in ein Trocknungswerk</li></ol> |
| <b>Lehrformen:</b><br>Vorlesung (Präsentation), Übungsbeispiele, Skript, Exkursion                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>Grundlagen der Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS,<br>Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>- / M / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Modulverantwortlicher:</b><br>Prof. E. Tsotsas, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



**Literaturhinweise:**

E. Tsotsas, S. Mujumdar: Modern Drying Technology, Wiley-VCH 2007; Krischer/ Kröll/Kast: „Wissenschaftliche Grundlagen der Trocknungstechnik“ (Band 1) „Trockner und Trocknungsverfahren“ (Band 2), „Trocknen und Trockner in der Produktion“ (Band 3), Springer-Verlag 1989; H. Uhlemann, L. Mörl: „Wirbelschicht-Sprühgranulation“, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg New-York 2000; eigene schriftliche Vorlesungshilfen



## 5.54 Waste Water and Sludge Treatment

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Studiengang:</b><br>Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Modul:</b><br>Wastewater and sludge treatment (WWST)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Ziele des Moduls (Kompetenzen):</b><br>The student should be able to <ul style="list-style-type: none"><li>• identify the relevant physical, chemical and biological properties of a wastewater</li><li>• understand the fundamentals of wastewater treatment technologies</li><li>• identify the relevant physical, chemical and biological properties of biosolids from wastewater treatment</li><li>• develop creative solutions for the treatment of wastewater and the control of emissions to surface water</li></ul> |
| <b>Inhalt:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Constituents and analysis of waste water</li><li>• Principles of mechanical treatment processes</li><li>• Principles of biological treatment processes</li><li>• Principles of chemical treatment processes</li><li>• Activated sludge processes</li><li>• Biofilm processes</li><li>• Process selection</li><li>• Wastewater sludge treatment processes</li><li>• Disinfection processes</li><li>• Water reuse</li></ul>                                               |
| <b>Lehrformen:</b><br>lectures, tutorial and essay writing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Voraussetzung für die Teilnahme:</b><br>bachelor in chemical or biological engineering or equivalent                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Arbeitsaufwand:</b><br>3 SWS,<br>lectures, tutorials: 42 h; private studies: 78 h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:</b><br>written exam / 4 CP                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Responsible lecturer:</b><br>Prof. H. Köser, FVST                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Literature:</b><br>script; N.F. Gray "Water Technology", Elsevier 2005; Metcalf a. Eddy "Wastewater Engineering" MacGrawHill 2003, P. A. Vesilind "Wastewater treatment plant design" and "Student Workbook" IWA Publishing, 2003;                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



## 5.55 Wirbelschichttechnik

**Studiengang:**

Wahlpflichtmodul Master Verfahrenstechnik

**Modul:**

Wirbelschichttechnik (Aussetzung bis auf Weiteres)

**Ziele des Moduls (Kompetenzen):**

Die Studierenden verstehen die Mechanismen, die für das Zustandekommen von Wirbelschichten verantwortlich sind. Sie können die verschiedenen Arten der Feststofffluidisierung vom Festbett bis zur Flugstaubwolke unterscheiden und kennen die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten der Berechnung der Einzelvorgänge. Sie können für beliebige Partikelsysteme den pneumatischen Existenzbereich der Wirbelschicht, deren relatives Lückenvolumen, den Druckverlust und die Höhe der Schicht berechnen. Sie sind in der Lage, den Wärme- und Stofftransport in Wirbelschichten zwischen fluidem Medium und Feststoff und zwischen Wirbelschicht und Heizflächen zu berechnen und energetisch zu bewerten. Besondere Fähigkeiten besitzen die Studierenden im Verständnis der in Wirbelschichten realisierten partikelbildenden Prozess wie Agglomeration, Granulation oder Coating und der Berechnung der zugehörigen Apparate sowohl für kontinuierlichen als auch Batch-Betrieb. Anhand der Berechnung von konkreten Beispielen haben die Studenten gelernt, ihr theoretisches Wissen praxisnah anzuwenden. Sie besitzen durch eine Exkursion in eine Wirbelschicht-Kaffee-Röstanlage (Kaffeewerk Röstfein Magdeburg) direkten Einblick in die Betriebsabläufe und die Funktionsweise von Wirbelschicht-Röst- und Kandieranlagen.

**Inhalt**

1. Arten von Wirbelschichten, Geldart-Klassifikation, Hydrodynamik und Existenzbereich von Wirbelschichten, Blasenbildung in Wirbelschichten, Anströmböden von Wirbelschichten
2. Wärmetransport in Wirbelschichten, kontinuierliche und diskontinuierliche Wärmeübertragung zwischen Fluiden und dispersen Materialien, Wärmeübertragung Wirbelschicht-Heizfläche
3. Stoffübertragung in Wirbelschichten, Modell PFTR und CSTR mit und ohne Bypass, diskontinuierliche und kontinuierliche Wirbelschichttrocknung
4. Stoff- und Wärmeübertragung in rinnenförmigen Wirbelschichtapparaten, konstruktive Gestaltung und Regelung von Wirbelschichttrinnen
5. Berechnung und konstruktive Gestaltung von Apparaten zur Röstung körniger Güter
6. Modellierung der Wirbelschichtsprühgranulation in Gasen und im überhitzten Wasserdampf, Erläuterung der Populationsbilanzen für die Sprühgranulation, konstruktive Gestaltung von Wirbelschicht-Sprühgranulatoren in diskontinuierlicher und kontinuierlicher Fahrweise
7. Wirbelschichten mit Gas- und Dampfkreisläufen zur Wärmerückgewinnung, zirkulierende Wirbelschichten
8. Einsatz der Wirbelschichttechnik für Adsorption und katalytische Reaktionen

**Lehrformen:**

Vorlesung (Präsentation), Übungsbeispiele, Skript, Exkursion

**Voraussetzung für die Teilnahme:**

Grundlagen der Verfahrenstechnik

**Arbeitsaufwand:**3 SWS,  
Präsenzzeit: 42 Stunden, Selbststudium: 78 Stunden**Leistungsnachweise/Prüfung/Credits:**

- / M / 4 CP

**Modulverantwortlicher:**

Prof. E. Tsotsas, FVST



**Literaturhinweise:**

Uhlemann/Mörl, „Wirbelschicht-Sprühgranulation“, Springer-Verlag, 2000; Verfahrenstechnische Berechnungsmethoden, Teil 2 „Thermisches Trennen“, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 1996; Salman, Hounslow, Seville, „Granulation“, Elsevier-Verlag 2007; Easy Coating, Verlag Vieweg und Teubner 2011.