

# Modulhandbuch

für den Studiengang

Master of Science Chemie-  
und Bioingenieurwesen

(Prüfungsordnungsversion: 20152)

für das Wintersemester 2024/25

# Inhaltsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Industriepraktikum (M.Sc. Chemie- und Bioingenieurwesen 20152) (1995).....  | 4   |
| Masterarbeit (M.Sc. Chemie- und Bioingenieurwesen 20152) (1999).....  | 6   |
| Projektierungskurs (94060).....   | 8   |
| Vertiefungsmodule   |     |
| Simulation granularer und molekularer Systeme (94280).....  | 10  |
| Technische Thermodynamik (Vertiefung) (94300).....  | 12  |
| Reaktionstechnik (Vertiefung) (94390).....  | 14  |
| Strömungsmechanik (Vertiefung) (94400).....   | 17  |
| Thermische Verfahrenstechnik (Vertiefung) (94410).....  | 19  |
| Bioreaktions- und Bioverfahrenstechnik (Vertiefung) (94430).....  | 21  |
| Mechanische Verfahrenstechnik (Vertiefung) (94440).....   | 23  |
| Ergänzungsmodule  |     |
| Process simulation (42915).....   | 26  |
| Transportprozesse (43700).....  | 28  |
| BWL für Ingenieure (CBI) (92085).....   | 30  |
| Process Technologies (94351).....   | 32  |
| Process Systems Dynamics 2 (94355).....   | 34  |
| 1.-2. Wahlpflichtmodul  |     |
| Fundamentals of electrical engineering (92776).....   | 37  |
| Photon & Neutron Scattering for Structure Determination (94474).....  | 42  |
| Discrete Element Simulations (45141).....   | 45  |
| Granular Matter and Applications (45143).....   | 48  |
| Process simulation (42915).....   | 50  |
| Clean combustion technology (42917).....  | 52  |
| Fuel cells and electrolysers (42918).....   | 54  |
| Experimental fluid mechanics (42933).....   | 56  |
| Optical diagnostics in energy and process engineering (42935).....  | 58  |
| Self-organisation processes (42936).....  | 60  |
| Angewandte Thermofluidodynamik (43110).....   | 62  |
| Transportprozesse (43700).....  | 64  |
| Computational Engineering 2 (43840).....  | 66  |
| Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Ingenieurwesen (KI-ING)<br>(44650).....                         | 68  |
| Partikelbasierte Strömungsmechanik (44790).....   | 70  |
| Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und<br>Energietechnik (44960).....           | 72  |
| Adsorption: Fundamentals and Applications (45035).....  | 76  |
| Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic<br>characterization (45045)..... | 78  |
| Hochdrucktrenntechnik (45071).....  | 80  |
| Membranverfahren (45081).....   | 82  |
| Umweltbioverfahrenstechnik (45160).....   | 84  |
| Rheologie / Rheometrie (45231).....   | 87  |
| Industrielles Produkt-Design (45280).....   | 90  |
| Angewandte Thermofluidodynamik (Fahrzeugantriebe) (45291).....  | 91  |
| Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik (45310).....   | 94  |
| Trocknungstechnik (45335).....  | 96  |
| Fluid-Feststoff-Strömungen (45340).....   | 98  |
| Nanotechnology of Disperse Systems (45350).....   | 100 |
| Modellbildung in der Partikeltechnik (45360).....   | 103 |

|  |     |
|--|-----|
| Produktanalyse (45370).....  | 104 |
| Polymer Science and Processing (45375).....  | 106 |
| Digitale Bildverarbeitung (45400).....   | 108 |
| Numerische Methoden der Thermofluiddynamik I (45487).....  | 110 |
| Turbomaschinen (45495).....  | 112 |
| Scannen und Drucken in 3D (46100).....   | 113 |
| Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen (47770).....   | 115 |
| Energiewirtschaft und Umweltrecht (47790).....   | 117 |
| Chemische Energiespeicherung (47810).....  | 119 |
| Technische Chromatographie (92890).....  | 121 |
| Reinraumtechnik (94480).....   | 123 |
| Digitalisierung in der Energietechnik (96509).....   | 125 |
| Process control and plant safety (42914).....  | 127 |
| Turbulence I (45211).....  | 129 |
| Turbulence II (45221).....   | 131 |
| Advanced Bioanalytics (94428).....   | 133 |
| <b>3.-4. Wahlpflichtmodul</b>  |     |
| Discrete Element Simulations with laboratory course (45142).....   | 136 |
| Clean combustion technology with laboratory course (42903).....  | 139 |
| Optical diagnostics in energy and process engineering with laboratory course<br>(42950).....   | 141 |
| Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Ingenieurwesen (44660).....  | 143 |
| Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und<br>Energietechnik mit Praktikum (44970).....                    | 145 |
| Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic<br>characterization with laboratory course (45046)..... | 150 |
| Hochdrucktrenntechnik mit Praktikum (45070).....   | 152 |
| Umweltbioverfahrenstechnik (45190).....  | 154 |
| Rheologie / Rheometrie mit Praktikum (45230).....  | 157 |
| Messmethoden der Thermodynamik (45300).....  | 160 |
| Trocknungstechnik mit Praktikum (45336).....   | 162 |
| Fluid-Feststoff-Strömungen mit Praktikum (45341).....  | 164 |
| Numerische Methoden der Thermofluiddynamik II mit Praktikum (45485).....   | 166 |
| Numerische Methoden der Thermofluiddynamik I mit Praktikum (45488).....  | 168 |
| Scannen und Drucken in 3D (46101).....   | 171 |
| Process control and plant safety with laboratory course (42901).....   | 173 |

|   |                                 |  |                |
|---|---------------------------------|--|----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>1995 | <b>Industriepraktikum (M.Sc. Chemie- und Bioingenieurwesen 20152)</b><br>Internship / practical training on industry | <b>10 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen             | Zu diesem Modul sind keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt!                            |                |
| 3 | Lehrende                        | Zu diesem Modul sind keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt!                            |                |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Dr.-Ing. Alexander Ditter  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | Bei der Durchführung des Industriepraktikums soll ein Überblick über die verschiedenen Tätigkeiten in einer Firma durch Mitarbeit in Arbeits- bzw. Projektgruppen verschafft werden. Darüber hinaus sollen spezielle Fertigkeiten von Ingenieuren, ausgehend vom bereits im Studium erworbenen Wissen, erworben werden. Als Basis hierzu sollen die im Bachelorstudium erworbenen Fach- und Methodenkompetenzen umgesetzt werden. Wünschenswerte Tätigkeitsbereiche sind z.B. Chemische Produktion, Umweltschutz, Kontroll-Labor, Mess- und Regelungstechnik, Anlagenplanung, Konstruktion, Apparatefertigung, Instandsetzung, Kostenrechnung, Marktanalyse.   |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen typische Aufgabenstellungen in der chemischen, (bio)verfahrenstechnischen oder verwandten Industrie</li> <li>• kennen und nachvollziehen die Organisation und die soziale Struktur eines Industriebetriebes</li> <li>• erkennen die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Bereichen eines Unternehmens</li> <li>• setzen das bisher im Studium vermittelte Fachwissen in der industriellen Praxis um</li> <li>• reflektieren die Auswirkung ihres Handelns auf das Ergebnis der ihnen anvertrauten Aufgaben</li> <li>• analysieren die in der Industrie notwendigen Kenntnisse im Vergleich zu den Inhalten des eigenen Studiums</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Pflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Praktikumsleistung (12 Wochen)<br>Praktikumszeugnis und Selbstreflexion (Bericht max. 2 Seiten über die im Praktikum erworbenen Kompetenzen) zur Abgabe im CBI-Praktikumsamt.  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Praktikumsleistung (0%)  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | keine Angaben zum Turnus des Angebots hinterlegt!  |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in<br/>Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit<br>hinterlegt)<br>Eigenstudium: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im<br>Eigenstudium hinterlegt) |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                     | ?? Semester (keine Angaben zur Dauer des Moduls hinterlegt)  |
| 15 | <b>Unterrichts- und<br/>Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                    |  |

|   |                                 |   |                |
|---|---------------------------------|---|----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>1999 | <b>Masterarbeit (M.Sc. Chemie- und Bioingenieurwesen 20152)</b><br>Master's thesis        | <b>30 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen             | Zu diesem Modul sind keine Lehrveranstaltungen oder Lehrveranstaltungsgruppen hinterlegt! |                |
| 3 | Lehrende                        | Zu diesem Modul sind keine Lehrveranstaltungen und somit auch keine Lehrenden hinterlegt! |                |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            |  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>Selbständige Bearbeitung einer wissenschaftlichen Aufgabenstellung aus einem der folgenden Forschungsschwerpunkte am Department Chemie- und Bioingenieurwesen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemische Verfahrenstechnik</li> <li>• Biotechnologie</li> <li>• Energie- und Apparatechnik</li> <li>• Partikeltechnik</li> <li>• Thermofluiddynamik</li> <li>• Modellierung und Simulation</li> </ul>  |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können eine wissenschaftliche Fragestellung aus einem ausgewählten Bereich des Chemie- und Bioingenieurwesens innerhalb einer vorgegebenen Frist selbständig bearbeiten</li> <li>• entwickeln eigenständige Ideen und Konzepte zur Lösung wissenschaftlicher Probleme</li> <li>• gehen in vertiefter und kritischer Weise mit Theorien, Terminologien, Besonderheiten, Grenzen und Lehrmeinungen des Faches um und reflektieren diese</li> <li>• können geeignete wissenschaftliche Methoden weitgehend selbständig anwenden und weiterentwickeln – auch in neuen und unvertrauten sowie fachübergreifenden Kontexten – sowie die Ergebnisse in wissenschaftlich angemessener Form darstellen</li> <li>• können fachbezogene Inhalte klar und zielgruppengerecht schriftlich und mündlich präsentieren und argumentativ vertreten</li> <li>• erweitern ihre Planungs- und Strukturierungsfähigkeit in der Umsetzung eines thematischen Projektes</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | s. FPO CBI § 42 (1)  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Pflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | <p>schriftlich (6 Monate)<br/>mündlich (30 Minuten)</p>  |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
|    |   | Die Masterarbeit und deren Ergebnisse sind im Rahmen eines max. 30 Minuten dauernden Referates mit anschließender Diskussion vorzustellen. Die Masterarbeit wird mit 27 ECTS-Punkten, das Referat mit 3 ECTS-Punkten veranschlagt (s. FPO CBI § 43 (2)). |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | schriftlich (90%)<br>mündlich (10%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | keine Angaben zum Turnus des Angebots hinterlegt!  |
| 13 | <b>Wiederholung der Prüfungen</b>       | Die Prüfungen dieses Moduls können nur einmal wiederholt werden.   |
| 14 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt)<br>Eigenstudium: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)   |
| 15 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | ?? Semester (keine Angaben zur Dauer des Moduls hinterlegt)  |
| 16 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 17 | <b>Literaturhinweise</b>                |  |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94060 | <b>Projektierungskurs</b><br>Project development course                | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Sonstige Lehrveranstaltung: Projektierungskurs WS (Frühjahr) (5.0 SWS) | 5 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | apl. Prof. Dr. Marco Haumann   |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | apl. Prof. Dr. Marco Haumann   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektierung einer Produktionsanlage</li> <li>• Aufteilung der Aufgabenstellung auf einzelne Gruppen</li> <li>• Eigenständige Bearbeitung eines Teilprojekts in einer Gruppe</li> <li>• Koordination innerhalb der Gruppe und mit anderen Gruppen</li> <li>• Vorstellung der Ergebnisse.</li> </ul>        |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• können Aufgaben und Probleme bei der Projektierung einer Produktionsanlage analysieren</li> <li>• können verschiedene Lösungswege im Team entwickeln, miteinander vergleichen und evaluieren</li> <li>• können eigenständig Lösungen für die Anlage erschaffen und ausarbeiten</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 2  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Pflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Studienleistung<br>Seminarleistung, Entwurf einer Produktionsanlage in Kleingruppen (ca. 20 Seiten), Diskussion der Ergebnisse   |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Studienleistung (0%)<br>SL: 100%   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 75 h<br>Eigenstudium: 75 h  |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch<br>Englisch  |  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 |  |  |



# Vertiefungsmodule

|   |                                  |  |                 |
|---|----------------------------------|--|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94280 | <b>Simulation granularer und molekularer Systeme</b><br>Simulation of Granular and Molecular Systems | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Simulation granularer und molekularer Systeme (3.0 SWS)                                   | 5 ECTS          |
|   |                                  | Übung: Simulation granularer und molekularer Systeme Übung (1.0 SWS)                                 | 5 ECTS          |
|   |                                  | Praktikum: Simulation granularer und molekularer Systeme Praktikum (3.0 SWS)                         | 2,5 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr. Thorsten Pöschel<br>Prof. Dr. Michael Engel  |                 |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Thorsten Pöschel   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>Das Modul befasst sich mit der Simulation von Systemen vieler Teilchen mit Hilfe verschiedener numerischer Methoden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Molekulardynamik (zeit- und ereignisgesteuert)</li> <li>• Diskrete-Element Methode (DEM) zur Simulation von granularen Systemen</li> <li>• Starrkörpersimulation als Alternative zu DEM</li> <li>• Partikelbasierte Fluiddynamik am Beispiel von Direct Simulation Monte-Carlo und Smoothed-Particle Hydrodynamics (SPH)</li> </ul>                                 |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sind mit den grundsätzlichen Methoden der numerischen Modellierung molekularer und granularer Systeme vertraut</li> <li>• besitzen vertiefte Kenntnisse bezüglich der verwendeten numerischen Methoden und der wichtigsten Algorithmen und Datenstrukturen</li> <li>• implementieren einzelne Aspekte dieser Methoden</li> <li>• modellieren einfache Systeme</li> <li>• können selbständig numerische Simulationen dieser Systeme durchführen und auswerten</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Vertiefungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>Praktikumsleistung  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 105 h<br>Eigenstudium: 120 h  |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch oder Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Pöschel, Schwager: "Computational Granular Dynamics - Models and Algorithms", Springer, 2005<br><br>Frenkel, Smit: "Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications", Academic Press. 2001 |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94300 | <b>Technische Thermodynamik (Vertiefung)</b><br>Focus Module: Technical Thermodynamics  | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr.-Ing. Franz Huber<br>Prof. Dr.-Ing. Stefan Will  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Das Modul Technische Thermodynamik - Vertiefung beinhaltet neben einer Wiederholung der Grundlagen zur Bilanzierung von Masse, Energie, Impuls, Entropie und Exergie die Themen Verbrennungstechnik, Strömungsprozesse und Einführung in die Gasdynamik, Kältetechnik sowie Energiespeicher. Das Thema Verbrennungsprozesse soll zugleich als allgemeine Einführung in die thermodynamische Behandlung von Systemen dienen, in denen chemische Reaktionen stattfinden. Schwerpunkte der energetischen Betrachtung von Verbrennungsprozessen bilden die Berechnung der freigesetzten Wärme sowie die Verbrennungstemperatur. Mit Hilfe von Entropiebilanzen wird die Effizienz von Verbrennungsprozessen in Form des exergetischen Wirkungsgrades bzw. in Form von auftretenden Exergieverlusten analysiert. Bei Strömungsprozessen sollen insbesondere kompressible Medien und somit auch Hochgeschwindigkeitsströmungen betrachtet werden, bei denen strömungsmechanische und thermodynamische Vorgänge stets miteinander verknüpft ablaufen. Hier werden neben den Grundgleichungen zur Modellierung von entsprechenden Strömungen und Zustandsänderungen spezielle Anwendungen von Düse und Diffusor diskutiert, z.B. im Bereich der Antriebstechnik und Kältetechnik. Das Thema Kältetechnik behandelt zunächst theoretisch deren Grundaufgaben. Schwerpunkte bilden dann unterschiedliche Verfahren und Anlagen zur Erzeugung von tiefen Temperaturen einschließlich derer zur Gasverflüssigung. Bei der Auslegung und Optimierung von Anlagen zur Erzeugung mäßig tiefer Temperaturen, z.B. in Form von Kompressions-, Dampfstrahl- und Absorptionskältemaschine, werden auch ökologische und ökonomische Kriterien bei Auswahl von Kältemitteln gegenübergestellt. Im Kapitel Energiespeicher werden nach einer Einführung zunächst Druckluftspeicher behandelt. Es werden verschiedene Speicher zur thermischen Speicherung vorgestellt. Einen Schwerpunkt bilden Pumped Thermal Energy Storgages" (Carnot-Batterien"), hier werden der Brayton-Cycle und die Kombination Wärmepumpe / Organic Rankine Cycle näher betrachtet.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>wenden wesentliche thermodynamische Grundlagen zur Konzeptionierung und Entwicklung von Systemen und Prozessen der Energie- und Verfahrenstechnik, darunter</li> </ul>   |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  | <p>speziell solcher der Verbrennungs-, Strömungs-, Kälte- und Wärmetechnik an</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können Berechnungen zur thermodynamischen Optimierung analysieren und selbständig durchführen sowie die notwendigen Hilfsmittel methodisch angemessen anwenden</li> <li>• diskutieren die Auslegung und Optimierung von Anlagen im Bereich der Wärme-, Energie- und Verfahrenstechnik unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Kriterien</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <p>Es wird empfohlen, folgende Module zu absolvieren, bevor dieses Modul belegt wird:</p> <p>Technische Thermodynamik I für CBI</p>  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Vertiefungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich<br>Praktikumsleistung  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 105 h<br>Eigenstudium: 120 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <p>H. D. Baehr und S. Kabelac, Thermodynamik, Springer 2009 (14. Auflage)</p> <p>E. Hahne, Technische Thermodynamik, Oldenbourg 2004 (4. Auflage)</p> <p>K. Lucas, Thermodynamik, Springer 2000 (2. Auflage)</p> <p>D. Rist, Dynamik realer Gase, Springer 1996</p> <p>R. Günther, Verbrennung und Feuerungen, Springer 1984</p> <p>A. Bejan, Advanced Engineering Thermodynamics, John Wiley &amp; Sons 1988</p>  |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94390 | <b>Reaktionstechnik (Vertiefung)</b><br>Focus module: Chemical reaction engineering  | <b>7,5 ECTS</b>                            |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | <p>Vorlesung: Reaktionstechnik / Chemical Reaction Engineering CBI (3.0 SWS)</p> <p>Übung: Reaktionstechnik, Übungen / Exercices Chemical Reaction Engineering CBI (1.0 SWS)</p> <p>Tutorium: Reaktionstechnik, Tutorium / Tutorial Chemical Reaction Engineering (1.0 SWS)</p> <p>Praktikum: Reaktionstechnik, Vertiefung, Praktikum / Practical to Chemical Reaction Engineering CBI (3.0 SWS)</p> | <p>7,5 ECTS</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> |
| 3 | Lehrende                         | apl. Prof. Dr. Marco Haumann<br>Patrick Schühle<br>Miriam Willer<br>Domenic Strauch<br>Vera Haagen<br>Patrick Wolf<br>Philipp Rothgängel<br>Manfred Aubermann<br>Dominik Kraus<br>Asem Al-Shaibani<br>Yousuf Raed Ramzi<br>Maximilian Heinlein<br>Nnamdi Madubuko<br>Muhammad Rehman<br>Sharanya Nair<br>Dr. Peter Schulz  |  |

|   |                               |  |  |
|---|-------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Patrick Schühle<br>Dr. Peter Schulz<br>Prof. Dr. Peter Wasserscheid  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluid/Fluid - Reaktionen</li> <li>• Gas/Feststoff - Reaktionen</li> <li>• Beschreibung unterschiedlicher chemischer Reaktionsapparate</li> <li>• Ideale und reale Reaktoren</li> <li>• Reaktionsführung bei unterschiedlichen Reaktionstypen</li> <li>• Wirbelschicht- und Fluid/Fluid - Reaktoren</li> <li>• Forschung in der Chemischen Reaktionstechnik</li> <li>• Fluid/Fluid - Reactions</li> <li>• Gas/Solid - Reactions</li> <li>• Description of different chemical reactors</li> <li>• Ideal and real reactors</li> <li>• Reaction operation in different reactor types</li> <li>• Fluidized bed- and Fluid/Fluid - Reactors</li> <li>• Research in chemical reaction engineering</li> </ul> |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verfügen über die Sachkompetenz zur theoretischen Behandlung und praktischen Erarbeitung von Problemen der Technischen Chemie und der Entwicklung chemischer Verfahren.</li> <li>• sind in der Lage, kinetische Daten selbständig zu messen, auszuwerten und zu interpretieren.</li> <li>• können anhand selbständig gemessener Werte Transportvorgänge nachvollziehen und chemische Reaktoren für verschiedene Anwendungsfälle fehlerfrei auslegen.</li> <li>• sind befähigt zu selbständiger Bearbeitung und Diskussion aktueller Forschungsfragen auf dem Gebiet moderner katalytischer Materialien (ionische Flüssigkeiten, Beschichtungen, hierarchische Materialien, erneuerbare Chemikaliensynthese, Chemische Wasserstoffspeicherung).</li> </ul> <p>The students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are competent in the theoretical treatment and practical development of problems in technical chemistry and the development of chemical processes.</li> <li>• are able to independently measure, evaluate and interpret kinetic data.</li> <li>• are able to understand transport processes on the basis of independently measured values and to design chemical reactors for various applications without errors.</li> <li>• are able to work independently on and discuss current research questions in the field of modern catalytic materials (ionic liquids, coatings, hierarchical materials, renewable synthesis of chemicals, chemical hydrogen storage).</li> </ul> <p>Translated with <a href="http://www.DeepL.com/Translator">www.DeepL.com/Translator</a> (free version)</p> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Vertiefungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | <p>Praktikumsleistung<br/>mündlich (30 Minuten)</p> <p>Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht</p>  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | <p>Praktikumsleistung (0%)<br/>mündlich (100%)<br/>Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)</p>   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | <p>Präsenzzeit: 105 h<br/>Eigenstudium: 120 h</p>   |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"><li>• Fitzer, Fritz, Emig, Einführung in die Chemische Reaktionstechnik, Springer Verlag, 4. Auflage, Berlin 1995</li><li>• Baerns, Hofmann, Renken, Chemische Reaktionstechnik, Thieme Verlag, Stuttgart.</li><li>• Jess, Wasserscheid, Chemical Technology, 2. Auflage, Weinheim 2019 Wiley-VCH</li></ul> |



|   |                                  |   |                          |
|---|----------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94400 | <b>Strömungsmechanik (Vertiefung)</b><br>Focus Module: Fluid Mechanics  | <b>7,5 ECTS</b>          |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Strömungsmechanik II (Vertiefung) - Übung (1.0 SWS)<br><br>Praktikum: Strömungsmechanik II (Vertiefung) -<br>Praktikum (3.0 SWS)<br><br>Vorlesung: Strömungsmechanik II (Vertiefung) (3.0 SWS) | -<br><br>-<br><br>5 ECTS |
| 3 | Lehrende                         | Aliena Altmann<br>Prof. Dr. Andreas Wierschem<br>Dr.-Ing. Manuel Münsch   |                          |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Andreas Wierschem   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionsanalyse und Ähnlichkeitstheorie</li> <li>• schleichende Strömungen</li> <li>• zeitabhängige Strömungen</li> <li>• Potentialströmungen</li> <li>• Grenzschichtströmungen</li> <li>• Turbulenz</li> <li>• kompressible Strömungen</li> </ul> <p>Studierende werden angeleitet, das erhaltene Wissen anzuwenden, strömungsmechanische Problemstellungen zu bewerten und Lösungen zu entwickeln.</p>   |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Aufbauend auf Kenntnissen reibungsbehafteter Strömungen bietet das Modul eine systematische Vertiefung in wesentliche Bereiche der Strömungsmechanik.</p> <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verfügen über einen Überblick über wesentliche Bereiche der Strömungsmechanik und verstehen ihre Bedeutung und Anwendung in der Strömungsmechanik</li> <li>• können die Bedeutung der unterschiedlichen Strömungsbereiche sowohl in der natürlichen Umgebung als auch in ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen nachvollziehen</li> <li>• sind fähig, strömungsmechanische Problemstellungen zu bewerten und Lösungen zu entwickeln</li> <li>• können die erworbenen Fachkenntnisse mit geeigneten Methoden und Vorgehensweisen an Hand von Beispielen praktisch anwenden.</li> </ul> |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Strömungsmechanik   |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Vertiefungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Praktikumsleistung<br>schriftlich oder mündlich<br>mündliche Prüfung (30 Min)<br>Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Praktikumsleistung (0%)<br>schriftlich oder mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• J. H. Spurk, N. Aksel: Strömungslehre: Einführung in die Theorie der Strömungen, 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2010</li> <li>• F. Durst, Grundlagen der Strömungsmechanik - Eine Einführung in die Theorie der Strömungen in Fluiden, Springer, 2006</li> <li>• P. K. Kundu, Fluid Mechanics, 5th Ed., Academic Press, 2012</li> <li>• F. M. White, Fluid Mechanics, 7th Rev. Ed., McGraw Hill, 2011</li> </ul> |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94410 | <b>Thermische Verfahrenstechnik (Vertiefung)</b><br>Focus Module: Separation Science and Technology   | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Matthias Thommes  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | Applikationen und Prozesse basierend auf Adsorption (inkl. PSA, TSA), zielgerichtete Adsorbenscharakterisierung, spez. chromatographische Verfahren,<br>Sonderverfahren der Rektifikation, Anwendung von Hybridverfahren, ausgewählte Aspekte der Membrantechnologie, Trocknungsprozesse  |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verfügen über vertiefende Fach- und Methodenkompetenzen aus dem Bereich der thermischen Verfahrenstechnik und Trennverfahren</li> <li>• können thermische Prozesse selbständig beschreiben</li> <li>• sind mit den Details wichtiger Grundoperationen (Unit Operations) vertraut und können diese selbständig zur Lösung von Trennaufgaben in der Labor- und Industriepraxis anwenden</li> <li>• sind fähig Experimente eigenständig zu planen und durchzuführen</li> <li>• können die Ergebnisse der selbständig durchgeführten wissenschaftlichen Experimente protokollieren, analysieren, auswerten und kritisch diskutieren</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Vertiefungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Praktikumsleistung<br>schriftlich oder mündlich (120 Minuten)   |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Praktikumsleistung (0%)<br>schriftlich oder mündlich (100%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 105 h<br>Eigenstudium: 120 h   |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch   |  |



|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94430 | <b>Bioreaktions- und Bioverfahrenstechnik (Vertiefung)</b><br>Focus module: Bioreaction and bioprocess engineering   | <b>7,5 ECTS</b>  |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | <p>Vorlesung: Bioreaktions- und Bioverfahrenstechnik (Mikrobielle Verfahrenstechnik; VF) (3.0 SWS)</p> <p>Praktikum: Praktikum Bioreaktions- und Bioverfahrenstechnik (Mikrobielle Verfahrenstechnik) (3.0 SWS)</p> <p>Tutorium: Tutorium zur Mikrobiellen Verfahrenstechnik (1.0 SWS)</p> <p>Übung: Übungen zu Bioreaktions- und Bioverfahrenstechnik (Mikrobielle Verfahrenstechnik) (2.0 SWS)</p> <p>Seminar: Brauseminar (1.0 SWS)</p> | <p>5 ECTS</p> <p>2,5 ECTS</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> |
| 3 | Lehrende                         | Dr. Roman Breiter  |  |

|   |                                  |   |
|---|----------------------------------|---|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr. Roman Breiter   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktion von Enzymen, Verwendung von Enzymen, Enzymatische Assays, Fructosesirupproduktion, Holzhydrolyse</li> <li>• Produktion von Ethanol und Lösemittelgärung</li> <li>• Essigsäureproduktion</li> <li>• Produktion von Aminosäuren</li> <li>• Industrielle L-Glu-Produktion, Metabolom, Exkretionsproblem, Aufarbeitung</li> <li>• Industrielle L-Lys- und Biolys-Produktion, Metabolom, Metabolic engineering</li> <li>• L-Met-Produktion, Chemische Synthese, Enzymatische Transformation, Acylase-Prozess, EMR-Verfahren</li> <li>• Tert-L-Leu-Produktion, Cofaktorrecycling, EMR-Verfahren</li> <li>• Zitronensäureproduktion, Metabolom, Exkretion, Enzymaktivitäten, Extraktionsverfahren</li> <li>• Produktion von Penicillinen, Metabolismus, halbsynthetische, natürliche und biosynthetische Penicilline</li> <li>• Nucleotide, Vorkommen, GMP5/IMP5-Produktion</li> </ul> <p>Praktikum:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zitronensäureproduktion, einfache mikrobielle Arbeitstechniken, Assays</li> <li>• Produktion von Speiseessig (Fesselverfahren), enzymatische Assays</li> <li>• Isolation von Antibiotikaproduzenten, einfach mikrobielle Arbeitstechniken</li> </ul> |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen industriell bedeutsame Produkte und Verfahren</li> <li>• verstehen die Aufarbeitungsprozesse</li> <li>• kennen die Grundlagen und Kennzeichen des Metabolismus der Produktionsstämme</li> <li>• erkennen folgende Zusammenhänge:</li> </ul>  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- zwischen dem Metabolismus und der Prozessführung</li> <li>- zwischen Stoffeigenschaften/Verfahrensauswahl und Prozessführung</li> <li>- zwischen Metabolismus, Produkteigenschaften und Prozessführung <ul style="list-style-type: none"> <li>• vertiefen die Kenntnisse durch anschauliche Laborversuche</li> </ul> </li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Die Vorlesung baut auf dem Kernfach Bioreaktions- und Bioverfahrenstechnik (BRT_D) auf.   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Vertiefungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>mündlich<br>Praktikumsleistung<br>Praktikumsleistung   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (67%)<br>mündlich (67%)<br>Praktikumsleistung (0%)<br>Praktikumsleistung (0%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 105 h<br>Eigenstudium: 120 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch oder Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausführliche englischsprachige Tafelanschrift</li> <li>• Zugriff auf Präsentationsmaterial über Web-Seite</li> <li>• Unterlagen auf Web-Seite</li> </ul>   |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94440 | <b>Mechanische Verfahrenstechnik (Vertiefung)</b><br>Focus module: Mechanical process engineering   | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Im Rahmen des Moduls werden die Grundlagen der Produktgestaltung behandelt. Ausgehend von der Eigenschaftsfunktion (Zusammenhang zwischen Anwendungs- bzw. Endprodukteigenschaften und den dispersen Eigenschaften) werden Möglichkeiten zur Steuerung der Produkteigenschaften vorgestellt und an exemplarischen Prozessen vertieft. Neben der Partikelproduktion (u.a. Gasphasensynthese, Fällung, Zerkleinern) werden Fragen der Formulierung (z.B. Beschichtungen) behandelt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Gestaltung nanoskaliger Produkte. Hier gelingt die Einstellung makroskopischer Produkteigenschaften nur durch die mikroskopische Steuerung der Grenzflächen. Als Simulationswerkzeuge werden Populationsbilanzen eingeführt.</p> <p>Es werden Beispiele aus der chemisch-pharmazeutischen Technologie, den Materialwissenschaften und der Medizintechnik behandelt. Das Modul richtet sich daher sowohl an Bio- und Chemieingenieure als auch Materialwissenschaftler, Pharmazeutische Technologen und Naturwissenschaftler.</p> <p>Wir fördern Teamfähigkeit und Präsentationstechniken durch die selbstständige Erarbeitung spezieller Beispiele in kleinen Gruppen.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erkennen den Zusammenhang zwischen Anwendungs- bzw. Endprodukteigenschaften und den dispersen Eigenschaften</li> <li>• setzen Möglichkeiten zur Steuerung der Produkteigenschaften an exemplarischen Prozessen um</li> <li>• lernen Partikelproduktion und Formulierungen, insbesondere die Gestaltung nanoskaliger Produkte</li> <li>• lernen die physikalischen Grundprinzipien zur Einstellung der dispersen Größen und deren Umsetzung in technischen Apparaten</li> <li>• wenden die Inhalte mit Beispielen aus der chemisch-pharmazeutischen Technologie, den Materialwissenschaften und der Medizintechnik an</li> </ul>  |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Vertiefungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | mündlich (30 Minuten)<br>Praktikumsleistung<br>Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)<br>Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 105 h<br>Eigenstudium: 120 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Wird in der Vorlesung ausgegeben   |



# Ergänzungsmodule

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42915 | <b>Process simulation</b>   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Tutorium: Process Simulation Laboratory Course (1.0 SWS)<br>Vorlesung: Process Simulation (2.0 SWS)<br>Übung: Process Simulation (Exercise) (2.0 SWS) | -<br>-<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Bastian Etzold   |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Bastian Etzold  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Content:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to industrial process development</li> <li>• Aspects of process intensification</li> <li>• Introduction to the Aspen Plus simulator for process simulation</li> <li>• Equipment modeling: chem. reactors (detailed), separators, heat exchangers, mixers, pumps, compressors</li> <li>• recirculation, separation sequences, interconnection to the overall process</li> <li>• Short-cut methods for single apparatuses and for process synthesis</li> <li>• Flow sheet simulation of selected sample processes in Aspen Plus</li> <li>• Heat integration (pinch analysis)</li> <li>• Economic feasibility studies: Cost structure, cost models, plant capacity utilization, economic measures of quality.</li> </ul>  |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>The students:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are familiar with the systematic approach to conceptual process design</li> <li>• are familiar with the individual steps of modeling chemical reactors, separators, heat exchangers, mixers, pumps and compressors</li> <li>• are able to independently carry out the modeling and simulation of chemical engineering processes using industry-relevant commercial simulation tools (in particular Aspen Plus)</li> <li>• are able to practically apply and expand their basic knowledge of reaction engineering and thermal process engineering in the simulation of process engineering processes</li> <li>• are able to classify different models of basic operations and assess the scope of application</li> <li>• are capable of comparing different process variants</li> <li>• are able to apply the acquired knowledge practically on the basis of selected examples, taking into account economic aspects (cost structure, cost models, plant capacity utilization, economic measures of quality)</li> </ul> |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>        | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152<br>Ergänzungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel (120 Minuten)<br>Klausur/written exam (120 min.)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bearns, Behr, Brehm, Gmehling, Hofmann, Onken, Renken: Technische Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.</li> <li>• Biegler, Grossmann, Westerberg: Systematic Methods of Chemical Process</li> </ul> |

|   |                                  |  |                  |
|---|----------------------------------|--|------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>43700 | <b>Transportprozesse</b><br>Transport processes                                    | <b>5 ECTS</b>    |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Transportprozesse (2.0 SWS)<br>Übung: Transportprozesse Übung (1.0 SWS) | 3 ECTS<br>2 ECTS |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing<br>Dr.-Ing. Sebastian Rieß<br>Nicklas Lindacher     |                  |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Dr.-Ing. Sebastian Rieß<br>Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportvorgänge: Wärme-, Stoff-, und Impulsübertragung</li> <li>• Auf Basis der kinetischen Gastheorie werden Gleichungen zur Beschreibung von Transportvorgängen (allgemeine Transportgleichung, Fourier'sches Gesetz, Fick'sche Gesetze, ) hergeleitet und für in der Technik typischen Geometrien und Randbedingungen angewandt</li> <li>• Herleitung von Gleichungen zur Beschreibung technischer Aufgabenstellung</li> <li>• Aufbereitung von Problemstellungen zur Lösung mit Rechnerunterstützung</li> </ul> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• haben vertiefende Kenntnisse in der Impuls-, Wärme, und Stoffübertragung</li> <li>• können Gleichungen zur Beschreibung technischer Aufgabenstellungen eigenständig herleiten</li> <li>• bereiten Aufgabenstellung zur Lösung am Rechner z.B. mit Hilfe von MatLab auf</li> <li>• erarbeiten projektbezogener Aufgaben am Beispiel von Miniprojekten</li> </ul>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152<br>Ergänzungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich (120 Minuten)  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |

|    |   |         |
|----|---|---------|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                |         |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>92085 | <b>BWL für Ingenieure (CBI)</b><br>Business studies for engineers   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung mit Übung: BWL für Ingenieure II (2.0 SWS, WiSe 2024)<br>Vorlesung: BWL für Ingenieure I (2.0 SWS, WiSe 2024) | -<br>-        |
| 3 | Lehrende                         | Dr. Lothar Czaja<br>Prof. Dr. Kai-Ingo Voigt  |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Kai-Ingo Voigt   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>BW 1 (konstitutive Grundlagen):<br/>Grundlagen und Vertiefung spezifischer Aspekte der Rechtsform-, Standort-, Organisations- und Strategiewahl</p> <p>BW 2 (operative Leistungsprozesse):<br/>Betrachtung der unternehmerischen Kernprozesse Forschung und Entwicklung mit Fokus auf das Technologie- und Innovationsmanagement, Beschaffung und Produktion sowie Marketing und Vertrieb</p> <p>BW 3 (Unternehmensgründung):<br/>Grundlagen der Gründungsplanung und des Gründungsmanagements</p> <p>BW 3 Übung (Vertiefung und Businessplanerstellung):<br/>Vertiefung einzelner Schwerpunkte aus den Bereichen BW 1, 2 und 3 sowie ausgewählte Fallstudien zu wichtigen Elementen eines Businessplans</p>  |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>erwerben Kenntnisse über Grundfragen der allgemeinen Betriebswirtschaftslehre</li> <li>verstehen die Kernprozesse der Unternehmung und die damit verbundenen zentralen Fragestellungen</li> <li>erwerben ein Verständnis für den Entwicklungsprozess der Unternehmung sowie deren Kernprozesse, insbesondere verfügen sie über breites und integriertes Wissen einschließlich der wissenschaftlichen Grundlagen in den Bereichen Forschung und Entwicklung, Beschaffung, Produktion, Marketing und Vertrieb.</li> <li>können Fragen des Technologie- und Innovationsmanagements anhand der Anwendung ausgewählter Methoden und Instrumente erschließen</li> <li>wissen um die Bestandteile eines Businessplans, deren Bedeutung und sind in der Lage, diese zu verfassen und zu beurteilen</li> </ul> |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!  |  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Ergänzungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Klausur (60 Minuten)<br>Klausur (60 Minuten) |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Klausur (100%)<br>Klausur (0%)               |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | in jedem Semester                            |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h      |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 2 Semester                                   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch                                      |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Voigt, Industrielles Management, 2008        |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94351 | <b>Process Technologies</b><br>Process technologies   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Martin Hartmann<br>Prof. Dr.-Ing. Malte Kaspereit  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>The Module "Process Technologies gives an overview on important processes in the chemical process industries. The processes are treated in a holistic approach and the interaction of individual process steps and their feedback to the overall process are discussed in more detail. In particular, the relationship between the physical/chemical basics of the processes, process development and process design are discussed. The presented processes are selected based on their importance in the fields of raw materials, intermediates and consumer products of the chemical process industries. In the sense of process engineering, apart from the reaction steps, the separation operations are also part of the considerations. The evaluation of the methods with regard to their cost-effectiveness and sustainability complete the description of the processes. In detail, the following aspects are treated:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Raw materials (crude oil, fuels, natural gas, technical gases)</li> <li>• Organic base chemicals (syngas, alkanes, alkenes, aromatics)</li> <li>• Organic intermediates (C1-C4 alcohols, cyclic alcohols, ether, epoxides, organic acids)</li> <li>• Renewable raw materials</li> <li>• Organic end products (surfactants, pigments, polymers)</li> <li>• Inorganic base chemicals and intermediates (sulfuric acid, ammonia, sodium hydroxide)</li> <li>• Inorganic end products (fertilizers, ceramics, glass)</li> <li>• Process development (technologies, economic evaluation)</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>The students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• know the important processes in the chemical process industries</li> <li>• describe the interaction of individual process steps and their feedback to the overall process</li> <li>• discuss the relationship between the physical/chemical basics of the processes, process development and process design</li> <li>• evaluate the processes und methods with regard to their cost-effectiveness and sustainability</li> </ul>   |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |



|    |   |   |
|----|---|---|
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>        | Ergänzungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Studienleistung   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Studienleistung (0%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Textbooks and compendia on Technical Chemistry, e.g. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baerns, et al., Technische Chemie, Wiley-VCH</li> <li>• Jess, Wasserscheid, Chemical Technology, Wiley-VCH</li> <li>• Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94355 | <b>Process Systems Dynamics 2</b><br>Process systems dynamics 2   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modeling of distributed parameter systems</li> <li>• Methods for solution of process models</li> <li>• Model reduction</li> <li>• Stability analysis</li> <li>• In-depth study of examples from chemical, electro-chemical and bio-engineering</li> <li>• Numerical tools for perturbation and bifurcation analysis</li> </ul>  |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Taking this module, students will acquire the methods and numerical tools to study and explain the qualitative behaviour of spatially or property distributed nonlinear dynamic processes arising in (electro-)chemical and bio engineering. Students will be able to analyse process systems with respect to changes in qualitative behaviour due to parameter variation, classify the type of change and deduce strategies to counter unwanted changes in behaviour. |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Required prerequisites:<br>Mathematics 1 3<br>Recommended <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamics and Heat and Mass Transfer</li> <li>• Fluid dynamics</li> <li>• Scientific Computing in Engineering I</li> </ul>   |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | Ergänzungsmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Studienleistung  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Studienleistung (0%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch   |  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | Recommended reading:   |  |

- Smoller: Shock waves and reaction-diffusion systems, Springer
- Murray: Mathematical biology, Springer
- Whitham: Linear and nonlinear waves, John Wiley & Sons

# 1.-2. Wahlpflichtmodul

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>92776 | <b>Fundamentals of electrical engineering</b>   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Fundamentals of Electrical Engineering (dummy for asynchronous, non-supervised course) (2.0 SWS) | 5 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | Hans Rosenberger  |               |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrostatisches Feld</li> <li>• Stationäres elektrisches Strömungsfeld</li> <li>• Gleichstromnetzwerke</li> <li>• Stationäres Magnetfeld</li> <li>• Zeitlich veränderliches elektromagnetisches Feld</li> <li>• Zeitlich periodische Vorgänge</li> <li>• Ausgleichsvorgänge</li> <li>• Halbleiterbauelemente und ausgewählte Grundschaltungen</li> </ul> <p>====</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrostatic field</li> <li>• Stationary electric flow field</li> <li>• Direct current networks</li> <li>• Stationary magnetic field</li> <li>• Time-varying electromagnetic field</li> <li>• Time periodic processes</li> <li>• Transient processes</li> <li>• Semiconductor devices and selected basic circuits</li> </ul>   |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden erläutern die Grundkonzepte von elektrische Ladung und Ladungsverteilungen. Sie nutzen das Coulombsche Gesetz und analysieren die elektrische Feldstärke, berechnen das elektrostatische Potential und die elektrische Spannung. Sie bestimmen die elektrische Flussdichte und wenden das Gaußsche Gesetz an. Die Studierenden beschreiben Randbedingungen der Feldgrößen und bestimmen den Einfluss von Materie im elektrostatischen Feld. Sie bestimmen die relevanten Größen an Kondensator und Kapazität und ermitteln den Energiegehalt des elektrischen Feldes.</li> <li>• Die Studierenden erläutern die Begriffe Strom und Stromdichte, sie verwenden das Ohmsche Gesetz und erläutern das Verhalten an Grenzflächen. Sie ermitteln Energie und Leistung.</li> <li>• Die Studierenden erläutern die Rolle von Spannungs- und Stromquellen in Gleichstromnetze. Mit Hilfe der Kirchhoffsche Gleichungen analysieren sie einfache Widerstandsnetzwerke, die Wechselwirkung zwischen Quelle und Verbraucher und allgemeine Netzwerke.</li> <li>• Die Studierenden erklären die Begriffe Magnetfeld und Magnete. Sie berechnen die im Magnetfeld auf bewegte Ladungen wirkenden Kräfte und die magnetische Feldstärke</li> </ul> |  |

durch Nutzung des Durchflutungsgesetzes. Die Studierenden erläutern die magnetischen Eigenschaften der Materie und das Verhalten der Feldgrößen an Grenzflächen. Sie ermitteln die Induktivität.

- Die Studierenden nutzen das Induktionsgesetz, bestimmen die Selbstinduktion, analysieren einfache Induktivitätsnetzwerke und ermitteln die Gegeninduktivität. Sie analysieren den Energieinhalt des magnetischen Feldes, wenden die Prinzipien der Bewegungsinduktion (Generatorprinzip) und der Ruheinduktion (Übertrager) an.
- Die Studierenden erläutern die Beziehungen zeitlich veränderlicher Ströme und Spannungen. Sie verwenden Methoden der komplexen Wechselstromrechnung um Wechselspannungen und Wechselströme zu ermitteln. Sie ermitteln und analysieren die Übertragungsfunktionen linearer zeitinvarianter Systeme. Sie analysieren Leistung und Energie in Wechselspannungsnetzen.
- Die Studierenden analysieren lineare, zeitinvariante Systeme sowie Signale in Zeit- und Frequenzbereich (Fourieranalyse). Dazu bestimmen und analysieren sie die Eigenfunktionen von LTI-Systemen und deren Übertragungsfunktionen und untersuchen Schaltungen aus LTI-Systemen.
- Die Studierenden erläutern die Grundlagen von Ausgleichsvorgängen in einfachen Netzwerken und berechnen diese bei der R-L-Reihenschaltung. Sie erläutern divergierende Fälle und untersuchen Netzwerke mit einem Energiespeicher mit Hilfe einer vereinfachten Analyse.
- Die Studierenden erläutern den Ladungstransport in Halbleitern und analysieren den pn-Übergang. Sie ermitteln Ströme und Spannungen bei den folgenden Halbleiterbauelementen: Halbleiterdiode, Z-Diode, Bipolartransistor, Feldeffekttransistor Thyristor, IG-Bipolar-Transistor.
- Die Studierenden wenden alle eingeführten Inhalte an, um selbständig einfache und dabei dennoch möglichst praxisnahe kleine Probleme systematisch zu lösen. Sie kontrollieren dabei selbst ihren Lernfortschritt und besprechen Fragen mit einem Tutoren, woraus sich Fachgespräche entwickeln, wie sie die ähnlich später in Verhandlungen und bei der Produktentwicklung mit Fachingenieurinnen und Fachingenieuren aus Elektro- und Informationstechnik führen müssen, sowie im interdisziplinären Dialog mit Elektro- und Informationstechnikern und Physikern.
- Die Studierenden erkennen die Vorzüge einer regelmäßigen Nachbereitung und Vertiefung des Stoffes, da sie in diesem Modul ein für ihr Fachstudium fremdes Gebiet kennenlernen mit einer teilweise anderen mathematischen und physikalischen Herangehensweise. Sie zeigen eine hohe

Arbeitsdisziplin, Freude am Entdecken von Neuem, aber auch eine gewisse Belastbarkeit und Leistungsbereitschaft.

====

- Students explain the basic concepts of electric charge and charge distributions. They use Coulomb's law and analyze the electric field strength, calculate the electrostatic potential and the electric voltage. They determine electric flux density and apply Gauss's law. Students describe boundary conditions of field quantities and determine the influence of matter in the electrostatic field. They determine the relevant quantities at the capacitor and capacitance and determine the energy content of the electric field.
- The students explain the terms current and current density, they use Ohm's law and explain the behavior at boundaries. They determine energy and power.
- Students explain the role of voltage and current sources in DC power systems. Using Kirchhoff's equations, they analyze simple resistor networks, the interaction between source and load, and general networks.
- Students explain the terms magnetic field and magnets. They calculate the
- forces acting on moving charges in the magnetic field and the magnetic field strength by using the law of flux. Students explain the magnetic properties of matter and the behavior of field quantities at boundaries. They determine inductance.
- Students use the law of induction, determine self-inductance, analyze simple inductance networks, and determine mutual inductance. They analyze the energy content of the magnetic field, apply the principles of motion induction (generator principle) and rest induction (transformer).
- Students explain the relationships of time-varying currents and voltages. They use methods of complex numbers in AC circuits to determine alternating voltages and alternating currents. They determine and analyze the transfer functions of linear time-invariant systems. They analyze power and energy in AC power systems.
- Students analyze linear, time-invariant systems as well as signals in time and frequency domain (Fourier analysis). For this purpose, they determine and analyze the eigenfunctions of LTI systems and their transfer functions and examine circuits from LTI systems.
- The students explain the basics of transient processes in simple networks and calculate them for the R-L series circuit. They explain divergent cases and investigate networks with an energy storage using a simplified analysis.
- Students explain charge transport in semiconductors and analyze the pn junction. They determine currents and voltages for the following semiconductor devices: Semiconductor diode,

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <p>Z-diode, bipolar transistor, field effect transistor thyristor, IG bipolar transistor.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The students apply all introduced contents to independently and systematically solve simple and yet practical small problems. They control their learning progress themselves and discuss questions with a tutor, from which technical discussions develop, as they later have to conduct them similarly in negotiations and product development with specialist engineers from electrical and information engineering, as well as in interdisciplinary dialog with electrical and information engineers and physicists.</li> <li>• Students recognize the benefits of regular follow-up and consolidation of the material, since in this module they become acquainted with an area that is unfamiliar to their specialized studies, with a partially different mathematical and physical approach. They show a high level of work discipline, enjoy discovering new things, but also a certain resilience and willingness to perform.</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | The students use methods of vector analysis and use Cartesian coordinates, cylindrical and polar coordinates. They solve systems of linear equations and calculate with complex numbers. They use the trigonometric formulas and solve linear ordinary differential equations with constant coefficients in transient processes. Students know and understand basic physical concepts, especially quantities and quantity equations.  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 2   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Klausur (90 Minuten)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Klausur (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuskript zur Vorlesung / Lecture notes</li> <li>• ALBACH, M.: Elektrotechnik, 1. Auflage, Pearson-Studium, München, 2011.</li> <li>• ALBACH, M., FISCHER, J.: Übungsbuch Elektrotechnik, 1. Auflage, Pearson-Studium, München, 2012.</li> </ul>  |



- FROHNE, H. et al.: Moeller Grundlagen der Elektrotechnik, 22., verbesserte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011.
- SPECOVIUS, J.: Grundkurs Leistungselektronik: Bauelemente, Schaltungen und Systeme , 4. Auflage, Vieweg +Teubner, Wiesbaden, 2010.

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94474 | <b>Photon &amp; Neutron Scattering for Structure Determination</b><br>Photon & neutron scattering for structure determination   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                               |   |  |
|---|-------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Dr. Alberto Leonardi  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <p>The course aims to provide a comprehensive framework for investigation of chemical systems exploiting advanced photon and neutron scattering methods. Control of chemical and physical processes with atomic scale and fast time-resolution requires use of large-scale sources. Moreover, combination of numerical simulations with experiments is inevitable for designing of new materials and chemical processes. The objective of this course is for the student to learn: (i) what technologies are available for research and industry from international laboratories, (ii) how to access these resources, (iii) how numerical simulations can be used for data analysis.</p> <p><b>Part I: Theory (30%)</b><br/> <b>Basics</b><br/> - Review of Materials crystal structure<br/> - X-ray – Matter interactions (absorption and elastic/inelastic scattering; Auger, etc.)<br/> - Scattering Theory (scattering by electron, atom, cell; scattering cross section; form factors)<br/> <b>Commercial vs. Large Scale Sources</b><br/> - High energy X-ray and Neutrons (basic properties of X-rays vs. neutrons)<br/> - Synchrotron vs. X-ray free-electron-laser vs. neutron (radiation production)<br/> - Neutron - Matter interactions (scattering of neutrons; nuclear and magnetic scattering)<br/> - Access routes to Large Scale Facilities (project proposal, application process)<br/> <b>Part II: Investigation Techniques (40%)</b><br/> <b>Photon scattering for the study of chemical processes</b><br/> - Synchrotron techniques in catalytic science (XRPD, XPDF, XAFS)<br/> - Synchrotron techniques for Nanomaterials and Soft Matter Research (SAXS, XPCS)<br/> - In situ/operando synchrotron-based X-ray techniques (XRPD, XPDF, XAS, Imaging)<br/> <b>Neutron scattering for the study of biological systems</b><br/> - Structure solution of macromolecular systems (SANS)<br/> - Macromolecular crystallography (NMX, Single Crystal Diffraction)<br/> - Neutron reflectometry (NR)<br/> <b>Virtual Experiments</b><br/> - Data based simulation (e.g., Debye scattering equation)</p> |  |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instrument based simulation (e.g., MC ray-tracing)</li> </ul> <p><b>Part III: Applications (30%)</b></p> <p><b>Study of condensed matter systems - case study</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mechanism of Crystallization (and growth) of polymers</li> <li>- Spatial and temporal exploration of heterogeneous catalysts.</li> <li>- Study of electrode materials in electrochemical cells during operation (e.g., battery)</li> </ul> <p><b>Study of bio-organic systems - case study</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Study of water systems, hydroxyl groups, hydronium ions, etc.</li> <li>- Study of domain mixing</li> <li>- Study of membrane protein structure</li> <li>- Study of hydration and protonation states</li> <li>- Studies of oxidized and reduced forms of the protein</li> </ul> <p>Note: the discussion of the subjects during the course may not reflect the sequential order in the outline due to practical reasons (as an example applications are luckily to be presented in direct relation to the corresponding techniques and not as an independent segment of the course).</p> |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Students will become familiar with technologies available for industry and research applications at international laboratories, and discuss possibilities, limitations and future developments.</p> <p>Students who successfully participate in this module can:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Understand how scattering techniques are used for characterization of molecular systems, and understand the different type of source (e.g., laboratory X-ray, Synchrotron, Neutron and Neutron TOF)</li> <li>- Apply simulations to support the analysis of neutron and synchrotron scattering data</li> <li>- Identify investigation method and instrument by assessment of material and technique properties.</li> <li>- Collect information on topics of current interest and present the results to the course members orally or in writing</li> <li>- Explain how to access international laboratory resources, and how to support their experimental project proposals.</li> </ul>  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Fundamentals of general physics  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch oder Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• B. E. Warren, "X-Ray Diffraction", Dover Publications Inc. (1990), ISBN: 978-0486663173</li> <li>• B. D. Cullity, S. R. Stock, "Elements of X-Ray Diffraction", PRENTICE HALL, ISBN: 978-0201610918</li> <li>• A.-J. Dianoux, G. Lander, "Neutron Data Booklet" Institute Laue-Langevin (2003), ISBN: 0-9704143-7-4</li> <li>• Silvia D. S., "Elementary scattering theory for X-ray and neutron users", Oxford University Press (2011). ISBN: 0-19-100477-4</li> <li>• Squires G. L., "Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering", Cambridge University Press (2012). ISBN: 9781107644069</li> <li>• Als-Nielsen J. &amp; McMorrow D., "Elements of Modern X-ray Physics", John Wiley and Sons (2011). ISBN: 9780470973950</li> <li>• Waseda Y., "X-Ray Diffraction Crystallography: Introduction, Examples and Solved Problems", Springer (2011) Berlin Heidelberg. ISBN: 9786613081940</li> <li>• Willmott, P., "An Introduction to Synchrotron Radiation: Techniques and Applications", Wiley (2011) New York. ISBN: 9780470745786</li> <li>• International Tables of Crystallography</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45141 | <b>Discrete Element Simulations</b><br>Discrete element simulations   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                               |   |
|---|-------------------------------|---|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Holger Götz   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <p>Particulate systems exhibit fascinating material properties across scales, from micro, to meso and macro. The mechanics of such systems are governed by particle-to-particle interactions, which make their behavior difficult to predict. The Discrete Element Method (DEM) has been used for the past four decades to provide micro-mechanical insights into the properties of granular materials. Albeit simple in terms of formulation, using the DEM requires a good understanding of the principles underlying particulate mechanics and a familiarity with specialized software. The aim of this course is to provide the main features of DEM simulations via a combination of theoretical and exercise sessions. Real applications will be presented, where the DEM can be used to simulate problems from engineering and life sciences, such as the transport and handling soils, food, and biological waste.</p> <p><b>DEM basics - Key elements of a DEM simulation:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integration of particle motion: Newton's 2nd law</li> <li>• Particles &amp; boundaries: Spheres, facets, walls</li> <li>• Inside an interaction loop: Contact detection, contact geometry, contact law</li> <li>• Material parameters of interest in contact mechanics: Stiffness, friction, damping</li> <li>• Simplifying assumptions of the DEM: Idealized particle shape &amp; contact geometry/physics</li> <li>• When real particles are not spheres: Rolling friction contact models vs explicit modelling</li> <li>• Post-processing: Data at the particle, interaction, and sample scale</li> </ul> <p><b>Computational aspects:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Computational cost vs particle size polydispersity: Fine particles and critical timestep</li> <li>• Density scaling for quasi-static problems</li> <li>• Establishing the size of a Representative Element Volume (REV)</li> <li>• Periodic simulation domains to reduce the REV size</li> <li>• Computational efficiency of single-core vs parallel simulations</li> </ul> <p><b>Metrics of model stability:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reaching equilibrated states: Unbalanced force ratio, symmetry of the REV stress tensor Mechanical stability:</li> <li>• Coordination numbers and porosity</li> </ul> <p><b>Angle of repose (AOR):</b></p> |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cohesionless vs cohesive materials</li> <li>• Effect of interparticle friction and rolling friction coefficients</li> <li>• Effect of AOR protocol: Plane-strain vs axisymmetric setups (non-uniqueness of AOR)</li> <li>• Effect of sample size</li> </ul> <p><b>Mechanical properties at the meso scale using an REV:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uniaxial compression (Oedometer test)</li> <li>• Isotropic compression (<math>\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3</math>)</li> <li>• Triaxial compression: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Quantification of shear strength: Macroscopic friction angle &amp; dilatancy</li> <li>◦ Reaching the critical state: Steady-state shearing</li> <li>◦ Conventional triaxial test (<math>\sigma_1&gt;\sigma_2=\sigma_3</math>)</li> <li>◦ Test with rigid boundaries vs test in periodic space</li> <li>◦ Test with and without rolling friction: Restricting rotations vs shear strength</li> <li>◦ Test of monodisperse vs light polydisperse vs wide polydisperse PSDs</li> <li>◦ Computational gains and caveats of density scaling for quasi-static systems</li> <li>◦ Shear behavior of dense vs loose systems: porosity and coordination numbers</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Students who successfully participate in this module can:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Understand the physical phenomena behind a DEM simulation</li> <li>• Identify the key parameters influencing a DEM simulation and their effects</li> <li>• Appreciate the computational cost associated to typical DEM simulations</li> <li>• Collect information on topics of current interest and present the results to the course members orally or in writing</li> </ul>   |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Fundamentals of Newtonian physics, Basics of Python and Linux (support will be provided).   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>Examination via a 30' oral exam on the content of the theory and exercises.   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Cundall, P. A., &amp; Strack, O. D. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. <i>Géotechnique</i>, 29(1), 47-65.</li> <li>2) Pöschel, T., &amp; Schwager, T. (2005). <i>Computational granular dynamics: models and algorithms</i>. Springer Science &amp; Business Media.</li> <li>3) O'Sullivan, C. (2011). <i>Particulate discrete element modelling: a geomechanics perspective</i>. CRC Press.</li> <li>4) Thornton, C. (2015). <i>Granular dynamics, contact mechanics and particle system simulations. A DEM study</i>. Particle Technology Series, 24.</li> <li>5) Smilauer, V., Angelidakis, V., Catalano, E., Caulk, R., Chareyre, B., Chèvreumont, W., ... &amp; Yuan, C. (2021). <i>YADE Documentation 3rd ed. The Yade Project</i>.</li> </ol> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45143 | <b>Granular Matter and Applications</b><br>Granular matter and applications   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr. Sudeshna Roy  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Granular matter comprises all materials that consist of many particulate entities, large enough not to be subject to thermal motion at room temperature. They are ubiquitous in nature, since mountains, and many soil types at the ground level and the bottom of the sea are predominantly granular. In industry, the most processed materials (with the exception of water) are in granular form, and problems with their handling are causing a staggering loss of 5% of the world energy budget. In contrast to its obvious relevance, the behavior of granular materials remains poorly understood. The objective of this course is to provide an introductory overview of granular engineering and science, by combining elements from granular physics and particle technology simulations and experiments.</p> <p>The basic structure of the course comprises of simulation of particulate system using discrete element method, discrete to continuum methods, constitutive relations, cohesive granular materials, hard and soft materials, shear banding and rheology of granular materials. Special focus will be given on various applications such as granular materials in shear cell, silo flows, granular gripper, powder spreading and sintering in additive manufacturing and direct link between active matter and granular materials. The outline of the course is as follows:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Introduction to granular materials</li> <li>2) Micro to macro for granular materials</li> <li>3) Rheology of granular materials</li> <li>4) Shear banding in granular materials</li> <li>5) Shear banding and applications</li> <li>6) Wet granular materials I</li> <li>7) Wet granular materials II</li> <li>8) Applications of granular gripper</li> <li>9) Powder spreading in additive manufacturing I</li> <li>10) Powder spreading in additive manufacturing II</li> <li>11) Direct link between active matter and granular materials</li> </ol> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Students who successfully participate in this module can:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Understand important algorithms from the fields of particle technology and can use them to simulate systems using DEM</li> <li>• Understand methods of extracting large scale continuum data fields from small scale DEM simulations</li> <li>• Understand granular flow rheology and how it differs from other complex fluids</li> </ul>   |  |



|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modify and use open-source codes for simulating complex particulate systems in various applications</li> <li>• Collect information on topics of current interest and present the results to the course members orally or in writing</li> </ul>   |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Versuchspersonenstunde<br>Oral exam 30 minutes  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Versuchspersonenstunde (100%)<br>Grading on exercises   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | ?? Semester (keine Angaben zur Dauer des Moduls hinterlegt)   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <p>1) T. Poeschel, T. Schwager, "Computational Granular Dynamics", SpringerLink (2005), ISBN: 978-3-540-27720-0</p> <p>2) H. J. Herman, J. -P. Hovi, S. Luding, "Physics of Dry Granular Media", SpringerLink (1998), ISBN: 978-94-017-2653-5</p> <p>3) S. Herminghaus, "Dynamics of Wet Granular Matter", Advances in Physics 54, Taylor &amp; Francis Online (2005), doi.org/10.1080/00018730500167855</p> <p>4) K. K. Rao, P. R. Nott, "An Introduction to Granular Flow", Cambridge University Press (2009), doi.org/10.1017/CBO9780511611513</p> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42915 | <b>Process simulation</b>   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Tutorium: Process Simulation Laboratory Course (1.0 SWS)<br>Vorlesung: Process Simulation (2.0 SWS)<br>Übung: Process Simulation (Exercise) (2.0 SWS) | -<br>-<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Bastian Etzold   |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Bastian Etzold  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Content:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to industrial process development</li> <li>• Aspects of process intensification</li> <li>• Introduction to the Aspen Plus simulator for process simulation</li> <li>• Equipment modeling: chem. reactors (detailed), separators, heat exchangers, mixers, pumps, compressors</li> <li>• recirculation, separation sequences, interconnection to the overall process</li> <li>• Short-cut methods for single apparatuses and for process synthesis</li> <li>• Flow sheet simulation of selected sample processes in Aspen Plus</li> <li>• Heat integration (pinch analysis)</li> <li>• Economic feasibility studies: Cost structure, cost models, plant capacity utilization, economic measures of quality.</li> </ul>  |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>The students:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are familiar with the systematic approach to conceptual process design</li> <li>• are familiar with the individual steps of modeling chemical reactors, separators, heat exchangers, mixers, pumps and compressors</li> <li>• are able to independently carry out the modeling and simulation of chemical engineering processes using industry-relevant commercial simulation tools (in particular Aspen Plus)</li> <li>• are able to practically apply and expand their basic knowledge of reaction engineering and thermal process engineering in the simulation of process engineering processes</li> <li>• are able to classify different models of basic operations and assess the scope of application</li> <li>• are capable of comparing different process variants</li> <li>• are able to apply the acquired knowledge practically on the basis of selected examples, taking into account economic aspects (cost structure, cost models, plant capacity utilization, economic measures of quality)</li> </ul> |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>        | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152<br>Ergänzungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel (120 Minuten)<br>Klausur/written exam (120 min.)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bearns, Behr, Brehm, Gmehling, Hofmann, Onken, Renken: Technische Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.</li> <li>• Biegler, Grossmann, Westerberg: Systematic Methods of Chemical Process</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42917 | <b>Clean combustion technology</b>  | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Stefan Will   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | Introduction to combustion technology: fundamentals, laminar flames, turbulent flames, combustion modeling , pollutant formation, application. Introduction to numerical simulation of flows with combustion.  |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Students will...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• gain in-depth technical and methodological knowledge in combustion technology, combustion modeling, pollutant formation and engineering applications</li> <li>• are able to characterize different flame types and evaluate technical applications with respect to efficiency and pollutants</li> <li>• can describe global reaction equations as well as simple flames with thermodynamic conservation equations</li> <li>• are familiar with the interdisciplinary approach at the interface of fluid mechanics, thermodynamics and reactive flows</li> <li>• have an understanding of methods of experimental and numerical combustion analysis</li> <li>• are capable of entering university as well as industrial research and development in current topics of energy engineering</li> <li>• are familiar with the development in the field of applicative and engineered combustion systems</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Basic knowledge of thermodynamics and fluid mechanics is recommended. Also suitable for students in other disciplines (chemistry, physics, mathematics, mechanical engineering, mechatronics, computational engineering).  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel   |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h  |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"><li>• Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Verbrennung", 3. Auflage, Springer-Verlag, 2001</li><li>• Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Combustion", 4th Edition, Springer-Verlag, 2006</li><li>• Joos, F. "Technische Verbrennung", Springer-Verlag, 2006</li></ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42918 | <b>Fuel cells and electrolyzers</b>               | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Fuel cells and electrolyzers (2.0 SWS) | -             |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Simon Thiele                       |               |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Simon Thiele  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>Fuel cell (FC) and electrolysis cell (ECs)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Application areas</li> <li>• Thermodynamic boundary conditions</li> <li>• Electrochemical basics</li> <li>• Kinetics</li> <li>• Transport processes</li> <li>• State of the art</li> <li>• Characterisation techniques</li> <li>• Open questions and scientific challenges</li> </ul>   |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are able to apply acquired knowledge from e.g. physical chemistry, mathematics and basic electrochemistry</li> <li>• understand kinetics to describe the time dependent concentration changes in chemical reactions</li> <li>• apply basic knowledge in thermodynamics and general chemistry</li> <li>• are familiar with basic concepts of electrochemical engineering for fuel cells and electrolyzers</li> <li>• can describe thermodynamics, kinetic effects and electrochemical foundations</li> <li>• understand limitations such as kinetic, ohmic or mass transport limitations</li> <li>• have a solid knowledge on the state of the art</li> <li>• know how to experimentally characterize cells</li> <li>• are able to deduce methods to improve cell technologies by analyzing experimental data</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <p>To succeed in this course, students will need to apply acquired knowledge from e.g. physical chemistry, mathematics and basic electrochemistry.</p> <p>Understanding of kinetics to describe the time dependent concentration changes in chemical reactions should be familiar from physical chemistry classes. Basic knowledge in thermodynamics and general chemistry is beneficial.</p>  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel (90 Minuten)<br>written exam (120 min.)   |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 75 h<br>Eigenstudium: 75 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>O'hayre, Ryan; Cha, Suk-Won; Prinz, Fritz B.; Colella, Whitney (2016): Fuel cell fundamentals: John Wiley &amp; Sons.</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42933 | <b>Experimental fluid mechanics</b>   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Andreas Wierschem   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>Content:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flow visualization</li> <li>• Measurement techniques for velocity: Particle Image and Tracking Velocimetry and Laser Doppler anemometry, ultrasound,</li> <li>• Measurement techniques for flow rate, pressure, temperature, concentration, free surfaces</li> <li>• Applicability and limitations, typical errors</li> <li>• 2-, 2+1-, 3-dimensional techniques, time-resolved techniques</li> <li>• Data acquisition and processing</li> </ul>   |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Students who participate in this course will become familiar with measurement techniques in fluid mechanics.</p> <p>Students who successfully participate in this module:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Have an overview over the most extended and important measurement techniques</li> <li>• Understand the principles of the different techniques</li> <li>• Know and understand the abilities and limitations of the techniques</li> <li>• Can to select an appropriate technique for a given task</li> <li>• Can identify and avoid typical measurement errors</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <p>*Prerequisites:*</p> <p>To succeed in this course, students will need to apply acquired knowledge from fluid mechanics. Basic knowledge in physics and measurement techniques is beneficial.</p>   |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>mündlich, 30 min  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |  |



|    |   |  |
|----|---|--|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"><li>• Tropea, Yarin, Foss: Handbook of Experimental Fluid Mechanics, Springer</li><li>• Merzkirch: Flow Visualization, Academic Press</li><li>• Mayinger, Feldmann: Optical Measurements, Springer</li></ul> |

|   |                                  |   |                  |
|---|----------------------------------|---|------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42935 | <b>Optical diagnostics in energy and process engineering</b>  | <b>5 ECTS</b>    |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (2.0 SWS)<br>Übung: Fragestunde (2.0 SWS)<br>Übung: CBI-Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (Exercise) (2.0 SWS) | 5 ECTS<br>-<br>- |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Franz Huber  |                  |

|   |                                  |  |
|---|----------------------------------|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr.-Ing. Franz Huber<br>Prof. Dr.-Ing. Stefan Will   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p><b>Introduction to conventional and novel optical techniques to measure state and process functions in thermodynamical systems:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Properties of light; properties of molecules; Boltzmann distribution</li> <li>• Geometric optics and optical devices</li> <li>• Lasers (HeNe, Nd:YAG, dye, frequency conversion); continuous wave and pulsed lasers</li> <li>• Photoelectric effect; photodetectors (photomultiplier, photodiode, CCD, CMOS, image intensifier); digital image processing; image noise and resolution</li> <li>• Shadowgraphy and Schlieren techniques (flow and mixing)</li> <li>• Elastic light scattering (Mie scattering, Rayleigh thermometry, nanoparticle size and shape, droplet sizing)</li> <li>• Inelastic (Raman) scattering (species concentration, temperature, diffusion)</li> <li>• Incandescence (thermal radiation, temperature fields, pyrometry, particle sizing)</li> <li>• Velocimetry (flow fields, velocity)</li> <li>• Absorption spectroscopy (temperature, pressure, species, concentration)</li> <li>• Fluorescence and phosphorescence (temperature, species, concentration)</li> </ul> |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Students gain technical and technological skills in the field of optical techniques for the measurement of state and process variables in thermodynamic / energy processes and the investigation of these processes. They</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are familiar with the state of the art and latest developments in optical measurement techniques applied in thermodynamics / energy processes</li> <li>• can assess the applicability of measurement techniques in different environments</li> <li>• can apply different optical measurement techniques in thermodynamic processes and design experiments</li> <li>• can evaluate data gained from optical measurement techniques and assess the quality of data</li> <li>• know interdisciplinary approaches in the fields of optics, thermodynamics, heat and mass transfer and fluid mechanics</li> </ul>   |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>are qualified to perform applied and fundamental research and development tasks in industry and at university in the field of optical measurement techniques for thermodynamic / energy processes</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Basics in thermodynamics and fluid mechanics. Students of other subjects (Chemical- and Biological Engineering, Mechanical Engineering, Life Science Engineering, Energy Technology, Computational Engineering) can participate.                    |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lecture Slides</li> <li>Hanson, R.K., Spectroscopy and Optical Diagnostics for Gases, Springer, 2016</li> <li>Bräuer, A: In situ Spectroscopic Techniques at High Pressure, Amsterdam 2015</li> </ul>        |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42936 | <b>Self-organisation processes</b><br>Self-organization processes   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr. Michael Engel  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Structure formation with elementary building blocks in molecular, particulate, soft, and biological systems. Theoretical aspects, experimental realizations, and applications are discussed.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Theory 1 (introduction): the idea of building blocks, thermodynamic principles</li> <li>• Theory 2 (continuum): spinodal decomposition, reaction diffusion, phase field model, feedback</li> <li>• Theory 3 (particles): entropy maximization, interface minimization</li> <li>• Molecules 1 (basics): molecular interactions, role of shape</li> <li>• Molecules 2 (liquid crystals): topological order, defects</li> <li>• Molecules 3 (interfaces): surfactants, micelles, emulsions, foams, vesicles</li> <li>• Molecules 4 (beyond): block copolymers, membranes, proteins, metal organic frameworks</li> <li>• Colloids 1: Methods for the synthesis of colloidal building blocks for self-organization</li> <li>• Colloids 2: Bulk crystallization, assembly by depletion, electrostatics, confinement by solid-fluid interfaces, opals</li> <li>• Colloids 3: Assembly at planar and curved fluid-fluid interfaces, pickering emulsions</li> <li>• Colloids 4: Convective assembly, film formation techniques and defects, coffee ring effect, templating</li> <li>• Bioinspired 1 (dynamic self-assembly): active matter, bacteria, swarms, robots</li> <li>• Bioinspired 2 (design): programmable assembly, DNA nanotechnology, inverse problems</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Successful completion of this module confirms students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• describe complex self-organization processes with the help of simple model systems</li> <li>• apply this knowledge to physical, chemical, and bioinspired systems</li> <li>• develop an advanced understanding of the self-organization of (macro)molecules and colloids</li> <li>• understand processes to direct and influence self-organization processes</li> <li>• judge the relevance of self-organization for the processing and synthesis of materials</li> <li>• gain insight into current research in the field of the lecture</li> </ul>   |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>oral exam (30 min.)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 75 h<br>Eigenstudium: 75 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ian W. Hamley, "Introduction to Soft Matter: Synthetic and Biological Self-Assembling Materials", Wiley, 2007.</li> <li>• Yoon S. Lee, „Self-Assembly and Nanotechnology Systems“, Wiley, 2011.</li> <li>• Scott Camazine, Jean-Louis Deneubourg, Nigel R. Franks, „Self-Organization in Biological Systems“, Princeton University Press, 2003.</li> <li>• John A. Pelesko, „Self Assembly: The Science of Things That Put Themselves Together“, Chapman and Hall/CRC, 2007.</li> <li>• Jacob N. Israelachvili, „Intermolecular and Surface Forces“, Academic Press, 2011.</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>43110 | <b>Angewandte Thermofluiddynamik</b><br>Applied thermo-fluid dynamics   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Vojislav Jovicic  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Although there are no special pre-requirements for this course, due to the nature of the topic and selected examples, course is more suitable for students with basic background in thermodynamics and fluid mechanics followed by higher interests in topics related to energy, efficiency, combustion systems, energy transformation, boilers and heating systems, pollutant reduction, etc. Goal of the course is to explain how some basic chemical, thermodynamical and fluid mechanical phenomena are used in engineering for practical conventional and state-of-art applications. As an example, course follows a life cycle of single oil droplet starting with its extraction from the earth and ending in the combustion chamber of household heating system. By following oil droplet on its way to the final use, course is introducing different energy transformations and explains different physical phenomena and technical solutions used in each phase of an oil droplet life cycle. In this way, course discusses topics like:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• world-wide and local trends in energy production,</li> <li>• production of different fractions of liquid fossil fuels,</li> <li>• spray formation mechanisms and applied technical solutions,</li> <li>• evaporation process and novel evaporation techniques,</li> <li>• conventional and novel combustion technologies,</li> <li>• environmental impact and pollutant emissions,</li> <li>• household heating systems and its components, etc.</li> </ul> <p>Within the course, principles of operations for different parts of conventional household heating systems are explained including related basic physical phenomena. Apart from conventional systems, students are introduced to some state-of-art solutions like cool-flame or combustion within porous inert media. The lectures are followed by exercises and practical laboratory demonstrations.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Students are instructed</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• to improve their knowledge on world-wide and local energy trends,</li> <li>• to get overview of the complexity of energy efficiency, low pollutant use of fossil fuels today,</li> <li>• to learn more about some practical use of basic chemical, thermodynamical and fluid mechanical phenomena,</li> </ul>   |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• to get insight in some state-of-art concepts related to efficient use of gas/liquid fossil fuels,</li> <li>• to experience practical demonstrations of different conventional and novel combustion techniques and learn about their advantages and disadvantages.</li> </ul>  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch<br>Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cengel and Boles: Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill</li> <li>• Dibble: Verbrennung Physikalisch-Chemische Grundlagen, Modellierung und Simulation, Experimente, Schadstoffentstehung. Springer</li> <li>• Kenneth K. Kuo: Principles of Combustion. John Wiley &amp; Sons, Inc.</li> <li>• Howell, Hall and Ellzey: Combustion of Hydrocarbon Fuels within Porous Inert Media. Elsevier</li> <li>• Baukal: Industrial Burners - Handbook. CRC Press</li> </ul> |

|   |                                  |  |                  |
|---|----------------------------------|--|------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>43700 | <b>Transportprozesse</b><br>Transport processes                                    | <b>5 ECTS</b>    |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Transportprozesse (2.0 SWS)<br>Übung: Transportprozesse Übung (1.0 SWS) | 3 ECTS<br>2 ECTS |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing<br>Dr.-Ing. Sebastian Rieß<br>Nicklas Lindacher     |                  |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Dr.-Ing. Sebastian Rieß<br>Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportvorgänge: Wärme-, Stoff-, und Impulsübertragung</li> <li>• Auf Basis der kinetischen Gastheorie werden Gleichungen zur Beschreibung von Transportvorgängen (allgemeine Transportgleichung, Fourier'sches Gesetz, Fick'sche Gesetze, ) hergeleitet und für in der Technik typischen Geometrien und Randbedingungen angewandt</li> <li>• Herleitung von Gleichungen zur Beschreibung technischer Aufgabenstellung</li> <li>• Aufbereitung von Problemstellungen zur Lösung mit Rechnerunterstützung</li> </ul> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• haben vertiefende Kenntnisse in der Impuls-, Wärme, und Stoffübertragung</li> <li>• können Gleichungen zur Beschreibung technischer Aufgabenstellungen eigenständig herleiten</li> <li>• bereiten Aufgabenstellung zur Lösung am Rechner z.B. mit Hilfe von MatLab auf</li> <li>• erarbeiten projektbezogener Aufgaben am Beispiel von Miniprojekten</li> </ul>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152<br>Ergänzungsmodule Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich (120 Minuten)  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |



|    |   |         |
|----|---|---------|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                |         |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>43840 | <b>Computational Engineering 2</b><br>Computational engineering 2   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>Die Simulation hat sich in den letzten Jahrzehnten immer stärker in den Naturwissenschaften und im Ingenieurwesen etabliert. Besonders attraktiv sind Simulationen in Bereichen, wo Experimente teuer, schwierig, gefährlich oder gar unmöglich sind. Der Fokus dieser Veranstaltung liegt besonders auf der Berechnung und Implementierung einfacher physikalischer Modelle.</p> <p>Das Modul soll Hintergrundwissen und Modelle zur Simulation am Computer durchgeführter Experimente und Problemstellungen aus den Ingenieur- und Naturwissenschaften vermitteln. Die Übungen sind dazu da, die Methoden am Computer zu implementieren und damit zu "experimentieren".</p> <p>Ein weiteres Ziel ist, den Studierenden des Studiengangs Computational Engineering einen Einblick in die technischen Anwendungsfächer (TAFs) zu geben. Dazu werden Vertreter aus den verschiedenen Anwendungsfächern eingeladen.</p> <p>Folgende Inhalte werden adressiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleichungslöser</li> <li>• ADAS-Algorithmen</li> <li>• Einfache Beispiele aus der Astrophysik</li> <li>• Performance-Optimierung von Programmen</li> <li>• Umsetzung auf Parallelrechnern</li> </ul> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden sollen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• einen Einblick in die Inhalte der technischen Anwendungsfächer (TAFs) bekommen</li> <li>• in die Lage versetzt werden, einfache physikalische Modelle zu verstehen und zu berechnen</li> <li>• die eingeführten Methoden am Computer selbständig implementieren und damit "experimentieren"</li> </ul>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Hintergrundwissen in einer höheren Programmiersprache (bevorzugt Java)  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Übungsleistung<br>schriftlich/mündlich (30 Minuten)   |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Übungsleistung (0%)<br>schriftlich/mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Bungartz, Zimmer, Buchholz, Pflüger:<br><br>Modellbildung und Simulation. Springer, ISBN 978-3-540-79809-5 |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>44650 | <b>Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Ingenieurwesen (KI-ING)</b><br>Machine learning and artificial intelligence in engineering (KI-ING)                              | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |  |  |
|---|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | PD Dr. Patric Müller   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Die Vorlesungen und Übungen vermitteln ausgewählte Algorithmen aus den Bereichen maschinelles Lernen (ML) und künstliche Intelligenz (KI) auf Grundlagenniveau und illustrieren diese anhand von relevanten Anwendungsbeispielen. Besprochen werden unter anderem die folgenden Themengebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineare und logistische Regression</li> <li>• Regularisierung</li> <li>• Neuronale Netze</li> <li>• Support Vector Machines</li> <li>• Clustering</li> <li>• Dimensionsreduktion</li> <li>• Anomaly Detection</li> <li>• Reinforcement Learning</li> </ul>  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studentinnen und Studenten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen, was sich hinter den Schlagworten KI und ML verbirgt</li> <li>• verstehen wichtige Algorithmen aus den Bereichen KI und ML und können diese in Ihrer einfachsten Form selbst implementieren</li> <li>• kennen typische, im Bereich der Verfahrenstechnik relevante Anwendungsbeispiele von KI und ML</li> <li>• verstehen a) was KI und ML leisten kann und b) wo KI und ML im eigenen Fachbereich angewendet werden können</li> <li>• sind fähig, sich speziellere KI- und ML-Algorithmen und Anwendungen eigenständig zu erschließen</li> <li>• sind in der Lage die hochaktuellen Themen KI und ML mit solidem Hintergrundwissen zu diskutieren und zu bewerten</li> <li>• kennen einige für KI und ML wichtige Software-Tools (z.B. Python und Tensorflow) und können damit einfache Aufgaben bearbeiten</li> </ul> |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel (90 Minuten)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hastie, Tibshirani, Friedman, The elements of statistical learning</li> <li>• Wolfgang Ertel, Grundkurs künstliche Intelligenz</li> <li>• Kelleher, MacNamee, D'Arcy, Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies - Goodfellow, Bengio, Courville, Deep Learning</li> <li>• Aurelien Geron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>44790 | <b>Partikelbasierte Strömungsmechanik</b><br>Particle-based fluid mechanics   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Thorsten Pöschel  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gegenüberstellung von partikelbasierten und gitterbasierten Verfahren der Strömungsmechanik</li> <li>• <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Direct Simulation Monte Carlo</li> </ul> </li> <li>• <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Stochastic Rotation Dynamics</li> <li>◦ Multi-Particle Collision Dynamics</li> </ul> </li> <li>• <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Smoothed Particle Hydrodynamics</li> </ul> </li> <li>• Comparison of particle-based and grid-based methods in fluid mechanics</li> <li>• <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Direct Simulation Monte Carlo</li> </ul> </li> <li>• <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Stochastic Rotation Dynamics</li> <li>◦ Multi-Particle Collision Dynamics</li> </ul> </li> <li>• <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Smoothed Particle Hydrodynamics</li> </ul> </li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen die Vor- und Nachteile partikelbasierter Verfahren im Vergleich zu gitterbasierten Verfahren der Strömungsmechanik.</li> <li>• kennen die einzelnen Algorithmen, die hinter den besprochenen Methoden stehen und können Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Methoden darlegen.</li> <li>• kennen die Implementierung der einzelnen Methoden vor dem Hintergrund einer Anwendung auf Hochleistungsrechnern.</li> <li>• kennen die Stärken und Schwächen der besprochenen Methoden und können für verschiedene Situationen die geeignete Methode auswählen.</li> </ul>  |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Programmieren Grundlagen, Strömungsmechanik Grundlagen  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | schriftlich oder mündlich  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | schriftlich oder mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | G.A. Bird, Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows<br><br>G. Gompper et al., Multi-Particle Collision Dynamics: A Particle-Based Mesoscale Simulation Approach to the Hydrodynamics of Complex Fluids<br><br>E.-S. Lee et al., Comparisons of weakly compressible and truly incompressible algorithms for the SPH mesh free particle method. |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>44960 | <b>Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und Energietechnik</b><br>Thermophysical properties of working materials in process and energy engineering    | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Dr.-Ing. Thomas Manfred Koller   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedeutung von Stoffdaten in der Verfahrens- und Energietechnik</li> <li>• Gleichgewichtseigenschaften zur Charakterisierung von Arbeitsstoffen, z.B. in Form der thermodynamischen Zustandseigenschaften und -größen Dichte, innere Energie, Enthalpie, Entropie, spezifische Wärmekapazität, Schallgeschwindigkeit, Brechungsindex, Oberflächen- und Grenzflächenspannung</li> <li>• Transporteigenschaften zur Charakterisierung des molekularen Masse-, Energie- und Impulstransportes, z.B. Viskosität, Diffusionskoeffizient, Soret-Koeffizient, Thermodiffusionskoeffizient, Wärme- und Temperaturleitfähigkeit</li> <li>• Anwendungsbezogene Stoffdatenrecherche in der wissenschaftlichen Literatur, Tabellenwerken und Datenbanken</li> <li>• Korrelationen und Vorhersagemethoden für Stoffeigenschaften</li> <li>• Methoden zur experimentellen Bestimmung und prozessbegleitenden Messung von Stoffdaten, insbesondere durch moderne laseroptische Techniken</li> <li>• Grundzüge der theoretischen Bestimmung von Stoffdaten mit Hilfe der molekularen Modellierung</li> <li>• Aufstellung von thermischen und kalorischen Zustandsgleichungen</li> </ul> <p>*Content*</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The importance of thermophysical properties in process and energy engineering</li> <li>• Equilibrium properties for the characterization of working materials, e.g., in the form of thermodynamic properties of state and other equilibrium properties such as density, internal energy, enthalpy, entropy, specific heat capacity, sound speed, refractive index, surface or interfacial tension, etc.</li> <li>• Transport properties for the characterization of molecular transfer of mass, energy, and momentum, e.g. diffusion coefficients, Soret coefficient, thermal diffusion coefficient, thermal conductivity, thermal diffusivity, and viscosity</li> <li>• Use-oriented inquiry of thermophysical property data in scientific literature, table compilations, and databases</li> </ul> |



|   |                                  |   |
|---|----------------------------------|---|
|   |                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Correlation and prediction of thermophysical properties</li> <li>• Methods for experimental determination and in-process measurement of thermophysical properties, in particular by laser-optical techniques</li> <li>• Basics of the theoretical prediction of thermophysical properties by molecular modeling</li> <li>• Development of thermal and caloric equations of state</li> </ul>  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sind mit der Bedeutung von Stoffdaten in der Verfahrens- und Energietechnik in Form von Gleichgewichts- und Transporteigenschaften vertraut,</li> <li>• verwenden verschiedene Bezugsquellen für Stoffeigenschaften (Recherche in wissenschaftlicher Literatur, Tabellenwerken und Datenbanken; Korrelationen und Vorhersagemethoden; theoretische und experimentelle Bestimmung) eigenständig und wählen diese bedarfsgerecht und abhängig vom resultierenden Nutzen und Aufwand aus,</li> <li>• kennen die Herangehensweisen zur Korrelation und Vorhersage von Stoffeigenschaften sowie zur Aufstellung von thermischen und kalorischen Zustandsgleichungen und übertragen diese Herangehensweisen auf andere Stoffe,</li> <li>• sind mit experimentellen Methoden zur Stoffdatenbestimmung vertraut, insbesondere mit laseroptischen Messtechniken,</li> <li>• verstehen die Grundzüge der molekularen Modellierung zur theoretischen Bestimmung von Stoffdaten und</li> <li>• wählen Arbeitsmedien mit definierten Stoffeigenschaften für eine optimierte Gestaltung von Verfahren und Prozessen der Energie- und Verfahrenstechnik aus.</li> </ul> <p>*Education objectives and competences*</p> <p>The students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are aware of the importance of thermophysical properties in process and energy engineering in the form of equilibrium and transport properties,</li> <li>• use various sources for thermophysical properties (scientific literature, table compilations, databases, correlations, predictions, theoretical and experimental determination) independently and select the respective sources in a use-oriented way considering the resulting effort and benefit,</li> <li>• know the approaches for the correlation and prediction of thermophysical properties as well as for developing equations of state, and are able to transfer these approaches to other systems,</li> <li>• are familiar with experimental methods for the determination of thermophysical properties, in particular with laser-optical methods,</li> <li>• understand the basics of the use of molecular modeling for the theoretical determination of thermophysical properties,</li> </ul> |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>select working materials with defined thermophysical properties for an optimized design of processes in energy and process engineering.</li> </ul>   |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Grundkenntnisse der Technischen Thermodynamik sowie der Wärme-, Stoff- und Impulsübertragung<br>Basic knowledge on Engineering Thermodynamics as well as heat, mass, and momentum transfer  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1;2;3;4   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>R. C. Reid, J. M. Prausnitz, B. E. Poling, The properties of gases and liquids, McGraw Hill Book Co., New York, 1987</li> <li>Recommended Reference Materials for the Realization of Physicochemical Properties, K. N. Marsh (ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1987</li> <li>Measurement of the Transport Properties of Fluids, W. A. Wakeham, A. Nagashima, and J. V. Sengers (eds.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1991</li> <li>R. Haberlandt, S. Fritzsche, G. Peinel, K. Heinzinger, Molekulardynamik: Grundlagen und Anwendungen, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1995</li> <li>R. W. Kunz, Molecular Modelling für Anwender, Teubner, Stuttgart 1997</li> <li>M. J. Assael, J. P. M. Trusler, T. F. Tsoakis, Thermophysical Properties of Fluids, Imperial College Press, London, 1996</li> <li>Transport Properties of Fluids, J. Millat, J. H. Dymond, and C. A. Nieto de Castro (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 1996</li> <li>J. M. Haile, Molecular Dynamics Simulation: Elementary Methods, John Wiley &amp; Sons, Inc., Canada, 1997</li> <li>G. Grimvall, Thermophysical Properties of Materials, Elsevier, Amsterdam, 1999</li> <li>J. A. Wesselingh, R. Krishna, Mass Transfer in Multicomponent Mixtures, Delft University Press, Delft, The Netherlands, 2000</li> </ul> |

- Equations of State for Fluids and Fluid Mixtures, J. V. Sengers, R. F. Kayser, C. J. Peters, and H. J. White, Jr. (eds.), Elsevier, Amsterdam 2000
- Measurement of the Thermodynamic Properties of Single Phases, A. R. H. Goodwin, K. N. Marsh, and W. A. Wakeham (eds.), Elsevier, Amsterdam 2003
- Diffusion in Condensed Matter, P. Heitjans and J. Kärger (eds.), Springer, New York 2005
- R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, Transport Phenomena, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., 2007
- C. L. Yaws, Thermophysical Properties of Chemicals and Hydrocarbons, William Andrew, Inc., Norwich, 2008
- Applied Thermodynamics of Fluids, A. R. H. Goodwin, J. V. Sengers, C. J. Peters (eds.), Elsevier, Amsterdam, 2010
- Experimental Thermodynamics Volume IX: Advances in Transport Properties of Fluids, M. J. Assael, A. R. H. Goodwin, V. Vesovic, and W. A. Wakeham (eds.), Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2014

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45035 | <b>Adsorption: Fundamentals and Applications</b><br>Adsorption: Fundamentals and applications                                      | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Übung Adsorption: Fundamentals and Applications (0.0 SWS)<br>Vorlesung: Adsorption: Fundamentals and Applications (2.0 SWS) | -<br>5 ECTS   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr. Matthias Thommes<br>Carola Schlumberger  |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Matthias Thommes   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | 1. Introduction and terminology<br>2. Gas adsorptions basics and adsorbent materials<br>3. Physisorption mechanisms<br>4. Surface area determination<br>5. Porosity and pore structure analysis of nanoporous materials<br>5.1 Micropore analysis<br>5.2 Mesopore analysis<br>5.3 Macropore analysis : adsorption and liquid intrusion methods<br>5.4. Characterization of hierarchically structured porous materials<br>6. High pressure adsorption<br>7. Surface chemistry effects on adsorption<br>8. Adsorption and characterization in the liquid phase<br><br>9. Adsorption of mixtures<br>10. Adsorption applications in gas storage and separation |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | The students will<br>achieve a deep understanding of the underlying mechanisms for the adsorption of fluids on powders and nanoporous materials<br>know adsorption-based and complimentary techniques/methodologies for a reliable characterization of adsorbents for applications in separation, heterogeneous catalysis etc.<br>understand the basics of high pressure adsorption and corresponding applications in gas storage<br>know selected, important principles of adsorption-based separation processes  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich<br>Oral examination (30 min.)  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in<br/>Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                     | 1 Semester                               |
| 15 | <b>Unterrichts- und<br/>Prüfungssprache</b> | Englisch                                 |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                    |  |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45045 | <b>Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization</b><br>Porous materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization                                      | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (2.0 SWS)<br>Übung: Übung Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (1.0 SWS) | 5 ECTS<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr. Martin Hartmann<br>Dr. Dorothea Wisser<br>Dr. Florian Wisser   |               |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr. Martin Hartmann  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>In diesem Modul sollen wichtige spektroskopische Verfahren und ihre Anwendungsbereiche vorgestellt werden. Im ersten Teil der Veranstaltung wird eine kurze Einführung in die molekularen Grundlagen sowie der Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung gegeben. Zunächst werden die Prinzipien der Methoden zur Strukturaufklärung auf molekularer Ebene besprochen, insbesondere der Resonanzmethoden wie Kernresonanz- (NMR-), Elektronenspinresonanz- (ESR-) Ultraviolett- (UV-), Infrarot- (IR-) und Raman-Spektroskopie. Im zweiten Teil der Veranstaltung wird die Charakterisierung von technischen Katalysatoren und Adsorbenten vorwiegend mittels Festkörper-NMR-Spektroskopie und ESR-Spektroskopie (unter Einbeziehung von IR- und UV-Spektroskopie) anhand verschiedener Beispiele konkret geübt. Dabei werden neben den Grundlagen der Spektroskopie von Feststoffen auch die verschiedenen Aspekte der In-situ-(Operando)-Spektroskopie und der Prozessanalytik mittels spektroskopischer Methoden konkreter vorgestellt. Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls sind Vorlesungen, Übungen und ein Praktikum. In den Vorlesungen werden die erforderlichen theoretischen Grundlagen für das Verständnis spektroskopischer Methoden vermittelt. Eng mit dem Vorlesungsstoff verzahnt werden in den Übungsgruppen und im Praktikum die Fähigkeit zur Aufnahme und Interpretation realer Spektren an Hand von Beispielen aus der Technik (z.B. Zeolithe, geträgerte Metallkatalysatoren, immobilisierte Enzyme) geübt.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen die molekularen Grundlagen sowie der Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung</li> <li>• kennen die wichtigsten spektroskopischen Methoden und ihre Anwendung zur Charakterisierung von technischen Feststoffen, insbesondere Resonanzmethoden wie Kernresonanz- (NMR-), Elektronenspinresonanz- (ESR-) Ultraviolett- (UV-), Infrarot- (IR-) und Raman-Spektroskopie</li> </ul>   |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>wenden die theoretischen Aspekte in vielfältigen spezielleren, aber auch kombinierten Übungen zur Charakterisierung von technischen Katalysatoren und Adsorbenten mittels Festkörper-NMR-Spektroskopie und ESR-Spektroskopie (unter Einbeziehung von IR- und UV-Spektroskopie) an</li> <li>können Spektren selbstständig aufnehmen und an Hand von Beispielen aus der Technik (z.B. Zeolithe, geträgerte Metallkatalysatoren, immobilisierte Enzyme) interpretieren und die Ergebnisse kritisch bewerten</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Spectroscopy in Catalysis An Introduction, J. Niemantsverdriet, 2007</li> <li>Characterization of Solid Materials and Heterogeneous Catalysts, M. Che, J.C. Viedrine (Eds.), Wiley-VCH 2012</li> </ul>  |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45071 | <b>Hochdrucktrenntechnik</b><br>High-pressure separation technologies | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Hochdrucktrenntechnik (VL) (2.0 SWS)                       | 5 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Detlef Freitag<br>Dr.-Ing. Martin Drescher                   |               |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr.-Ing. Martin Drescher  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Vorstellung der vielfältigen Anwendungsgebiete und Einsatzmöglichkeiten hoch verdichteter Gase, angefangen von klassischen Feldern, wie der Hochdruck- Extraktion und Polymerisation, bis hin zu neueren Anwendungen und aktuellen Forschungsarbeiten, wie beispielsweise der Partikelerzeugung und Imprägnierung unter Hochdruck. Zum Verstehen der angewandten Techniken werden alle notwendigen Grundlagen auf dem Gebiet der nahe- und überkritischen Fluide erörtert. Anhand konkreter Stoffbeispiele aus Forschung und Anwendung werden die Vorteile der Technologien hervorgehoben.</p> <p>Gliederung:<br/> Grundlagen (nahe- und überkritische Fluide, Zustandsänderungen und -diagramme)<br/> CO<sub>2</sub>, Phasengleichgewichte<br/> Hochdruck- Extraktion von Feststoffen und Flüssigkeiten (z.B. Entcoffeinierung von Kaffee und Tee, Hopfen- und Gewürzextraktion)<br/> Verfahren zur Druckbehandlung von Materialien (Entwesung, Imprägnierung, Färbung)<br/> Sicherheit, Kosten<br/> Hochdruckpolymerisation (Polyethylen)<br/> Hochdruckkristallisation (Diamantsynthese, Gashydrate)<br/> Analytische Verfahren<br/> Pulverherstellung (PGSS, GAS, SAS)</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>haben umfassende Kenntnisse im Bereich der nahe- und überkritischen Fluide, Phasengleichgewichte bei hohen Drücken und deren Anwendung in verfahrenstechnischen Anlagen zur Stofftrennung, der chem. Synthese bzw. der Behandlung von Materialien unter Hochdruck.</li> <li>kennen die wichtigsten kommerziell betriebenen Anwendungen wie z.B. die Hochdruck-extraktion (z.B. Hopfen) und Polymerisation (Polyethylen) im Detail.</li> <li>sind in der Lage verfahrenstechnische Konzepte für Aufgaben der Stofftrennung bzw. Produktkonfektionierung zu entwickeln, geeignete Prozessparameter (Druck, Temperatur) auszuwählen und die erforderlichen Berechnungen (Stoffbilanzen, Reaktionsausbeuten) durchzuführen.</li> <li>kennen das hohe Anwendungspotential überkritischer Fluide in Zukunftstechnologien wie z.B. bei den Partikelsynthese-Verfahren und können entsprechende Prozesse konzipieren.</li> </ul>  |  |



|    |  |   |
|----|--|---|
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Grundkenntnisse in Physikalischer Chemie und Chemischer Thermodynamik   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | Vertiefend neben dem vorlesungsbegleitendem Material:<br><br>G. Brunner, Gas Extraction,<br><br>Steinkopff, Darmstadt, Springer New York, 1994<br><br>E. Stahl, K.-W. Quirin, D. Gerard, Verdichtete Gase zur Extraktion und Raffination,<br><br>Springer Verlag 1987<br><br>M.B. King, T.R. Bott, Extraction of Natural Products using Near- Critical Solvents,<br><br>Chapmann & Hall 1993<br><br>R. Eggers (Hrsg), Industrial high pressure applications, Wiley-VCH, Weinheim 2012 |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45081 | <b>Membranverfahren</b><br>Membrane processes   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                               |  |  |
|---|-------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Prof. Dr.-Ing. Malte Kaspereit   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <p>Membranverfahren finden vielfältige Anwendung in der chemischen, biotechnologischen und medizinischen Technik, wie z.B. in der Meerwasserentsalzung und Abwasseraufbereitung, für die Trennung organischer Stoffgemische und Produktion von Spezialchemikalien, bei der Aufbereitung von Gemischen aus biotechnologischen Produktionen oder der therapeutischen Blutreinigung.</p> <p>Membranverfahren zeichnen sich dabei durch hohe Leistungsfähigkeit, Selektivität und Zuverlässigkeit aus. Daneben sind sie in hohem Maße "kompatibel" zu anderen Trenn- und Reaktionsprozessen, so dass sie gezielt zu deren Intensivierung in hybriden und reaktiven Trennverfahren eingesetzt werden können.</p> <p>In Rahmen des Moduls werden die technisch relevanten Membrantrennverfahren Umkehrosmose, Nanofiltration, Ultrafiltration, Mikrofiltration, Dialyse, Pervaporation, Gas-Trennung und Elektrodialyse behandelt sowie neuere Entwicklungen vorgestellt. Die Membranverfahren werden ausgehend von ihren physikalisch-chemischen Grundlagen bis hin zur Auslegung technischer Prozesslösungen besprochen, sowie technisch bereits realisierte Verfahren analysiert. Neben typischen Anwendungen wie z.B. der Wasseraufbereitung werden vorwiegend technische Membranverfahren für chemische und biotechnologische Anwendungen vorgestellt. Es wird dabei die Fähigkeit vermittelt, für gegebene Problemstellungen geeignete Verfahrenslösungen auszuwählen, optimierte Prozessparameter für verschiedene Apparate und Stoffsysteme abzuleiten, sowie eine Bewertung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit vorzunehmen.</p> <p>Gliederung:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einführung</li> <li>2. Mikrofiltration</li> <li>3. Ultrafiltration</li> <li>4. Nanofiltration</li> <li>5. Umkehrosmose</li> <li>6. Dialyse und künstliche Niere</li> <li>7. Pervaporation</li> <li>8. Gaspermeation</li> <li>9. Elektrodialyse</li> <li>10. Donnan-Dialyse</li> <li>11. Aktuelle Forschungsgebiete</li> </ol> |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen und verstehen die technisch relevanten Membranverfahren und ihre Anwendungsgebiete,</li> <li>• verstehen die Zusammenhänge zwischen physikalischen Vorgängen und Prozess-Performance,</li> <li>• kennen Messmethoden für wesentliche physiko-chemische Parameter und können sie problemabhängig auswählen,</li> <li>• können selbstständig einfache Prozessmodelle erstellen und lösen,</li> <li>• sind in der Lage, geeignete Verfahrenslösungen auszuwählen, konzeptionell zu entwickeln, auszulegen und ihre Wirtschaftlichkeit zu bewerten.</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Grundkenntnisse in thermischen Trennverfahren, Bioseparations oder Downstream Processing   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <p>Weiterführende Literatur bspw.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• R.W. Baker, Membrane Technology and Applications, Wiley, 2004 (besonders empfohlen)</li> <li>• T. Melin, R. Rautenbach, Membranverfahren - Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung, Springer, 2007</li> </ul>   |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45160 | <b>Umweltbioverfahrenstechnik</b><br>Biological and environmental process engineering   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr. Roman Breiter   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffströme in biotechnologischen Prozessen der Reinigung von Wasser, Boden und Luft.</li> <li>• Substratabbau und Wachstum (Trophieebenen, Energieproduktion, Zellsynthese, Schlammalter, endogener Abbau, Massenbilanzen)</li> <li>• Zusammensetzung von Abwasser (Chemische Zusammensetzung von Partikeln und gelösten Stoffen, Kenngrößen für die Abwasserreinigung)</li> <li>• Legislativer Hintergrund (Wasserhaushaltsgesetz, Abwassersatzungen, Direkt- und Indirekteinleitung, Grenzwerte)</li> <li>• Mechanische Vorbehandlung von Abwasser (Siebe, Sandfang, Klärer)</li> <li>• Vorgänge in natürlichen und belüfteten Teichsystemen (physikalische und biologische Belüftung, natürliche biologische Prozesse in Wasser und Sediment)</li> <li>• Land treatment und Land application (Rieselfelder, Infiltrationen, Melioration)</li> <li>• Pflanzenkläranlagen, Free Wetland Systems FWS, Vertical Submerged Beds VSB (Design, Reinigungsprinzipien)</li> <li>• Abwasserbehandlung mit suspendierter Biomasse (Turmbiologie, Biohochreaktor, Belebtschlammverfahren, Verweilzeiten)</li> <li>• Abwasserbehandlung mit sessiler Biomasse (Rotating Biological Contactor RBC, Membranbiologische Verfahren, Tropfkörper)</li> <li>• Stickstoffeliminierung, Nitrifikation, Denitrifikation, N-Spezies und Belüftung)</li> <li>• Phosphateliminierung (Chemische Verfahren, enhanced biological phosphate removal processes EBPR, A/O-Verfahren und Phostrip-Prozess)</li> <li>• Hygienisierung (Legislative Anforderungen, humanpathogene Organismen und Viren, CT-Konzept, Ozonierung und UV-Behandlung)</li> <li>• Anaerobe Verfahren der Schlamm- und Abwasserbehandlung</li> <li>• Boden- und Grundwassersanierung (Gesetzeslage, Natural Attenuation, pump-and-treat-Verfahren)</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | Die Studierenden  |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen die Identifikation von Stoffströmen im Umweltschutz aus dem Grundprinzip der Dekontamination und Reinigung, nachdem neben den gereinigten Umweltmedien Boden, Wasser und Luft nur untoxische Produkte und inerte, untoxische Rückstände entstehen dürfen.</li> <li>• kennen den Zusammenhang zwischen der Weiterentwicklung umwelttechnischer Anlagen und gesetzlichen Regelungen.</li> <li>• wenden Grundlagen des Substratabbaus, Biomassenwachstums und der Verfügbarkeit von terminalen Elektronenakzeptoren auf biologische Prozesse in natürlichen, aquatischen Systemen an und</li> <li>• können diese natürlichen Prozesse ingenieurstechnisch für die Abwasserreinigung und Grundwassersanierung optimieren und intensivieren.</li> <li>• kennen Grundlagen der C-, N- und P-Eliminierung und wenden diese auf komplexere Systeme mit mineralischen und organischen Feststoffen sowie gelöste Substanzen in aquatischen Systemen an.</li> <li>• leiten Verfahrensvarianten bei geänderten Randbedingungen (Frachten, Konzentrationen, Zusammensetzung, Belüftung) ab.</li> <li>• übertragen Kenntnisse von Prozessen im Biofilm (Diffusion, Substratabbau, Limitierungen) auf Prozesse mit den für die Abwasserreinigung typischen, natürlichen Randbedingungen (Mischpopulationen, Zonen verschiedener Elektronenakzeptoren, Makrofauna).</li> <li>• kennen die Grundlagen anaeroben Schadstoffabbaus in Biozönosen und verknüpfen diese mit dem Design von anaeroben Behandlungsanlagen für Schlamm und Abwasser.</li> <li>• kennen aktuelle Entwicklungen der Sanierung von Boden und Grundwasser anhand von am Lehrstuhl durchgeführten Projekten.</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundkenntnisse der aquatischen Chemie</li> <li>• Grundkenntnisse der Mikrobiologie</li> </ul>   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel (30 Minuten)   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch<br>Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"><li>• Die englischsprachigen, teilweise durch deutsche Texte ergänzten Unterlagen stehen auf der Studon-Plattform zur Verfügung.</li><li>• Umfangreiche englischsprachige Tafelanschrift</li></ul> |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45231 | <b>Rheologie / Rheometrie</b><br>Rheology/Rheometry  | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Rheologie/Rheometrie - Übung (1.0 SWS)<br>Vorlesung: Rheologie/Rheometrie (2.0 SWS) | -<br>5 ECTS   |
| 3 | Lehrende                         | Sharadwata Pan<br>Prof. Dr. Andreas Wierschem  |               |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr. Andreas Wierschem  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Rheologie beschäftigt sich mit dem Verformungs- und Fließverhalten von Stoffen. Sie konzentriert sich vor allem auf das Materialverhalten komplexer Materie. Dazu gehören nahezu alle Materialien biologischen Ursprungs wie Zellen, Gewebe, Körperflüssigkeiten, Biopolymere und Proteine aber auch die meisten chemischen Systeme wie allgemein Polymerschmelzen und Lösungen, Suspensionen, Emulsionen, Schäume oder Gele. Bei der Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Lösungen sind diese Kenntnisse bzw. deren messtechnische Erfassung von entscheidender Bedeutung. Dies beinhaltet die Bestimmung rheologischer Eigenschaften neuer Materialien aber auch biologischer Systeme, deren Veränderungen bei Krankheiten bzw. deren medikamentöser Behandlung. Es ist unerlässlich bei der Auslegung verfahrenstechnischer Anlagen (z.B. Druckverlust, Auswahl eines Rührorgans, Pumpen, Belastungsgrenzen von Zellen z.B. bei 3D-Druck oder in Bioreaktoren, etc.), der Prozesskontrolle (z.B. beim Drucken, Beschichten, Lackieren, Sprühen, Extrudieren, Etikettieren) bis hin zu den Qualitätsanforderungen des Produkts (Lebensmitteln, Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln, etc.).</p> <p>Im Rahmen des Moduls Rheologie/Rheometrie werden die Fließ- und Deformationseigenschaften bei konstanten und zeitabhängigen Beanspruchungen behandelt. Neben empirischen Fließgesetzen wird der Einfluss der Mikrostruktur auf das rheologische Verhalten der Stoffe dargestellt. Zudem werden die entsprechenden Messmethoden (rheometrisch, Online-, Inline-Viskosimeter, rheooptisch) und Einflüsse typischer Messfehler, deren Vermeidung bzw. Korrektur vorgestellt. Studierende werden dabei angeleitet, das erhaltene Wissen anzuwenden, rheologische Problemstellungen zu bewerten und Lösungen zu entwickeln.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Das Modul bietet eine systematische Einführung in die Rheologie und Rheometrie. Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können die Bedeutung der Rheologie sowohl im Alltag als auch bei industriellen Prozessen nachvollziehen</li> <li>• verfügen über einen Überblick über die verschiedenen grundlegenden rheologischen Phänomene</li> <li>• entwickeln ein konzeptionelles Verständnis für die wesentlichen rheologischen Phänomene</li> <li>• können die erworbenen Grundkenntnisse mit eingeübten Methoden und Vorgehensweisen an Hand von Beispielen praktisch anwenden</li> </ul>   |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• sind fähig, rheologische Problemstellungen zu bewerten und Lösungswege anwenden</li> <li>• verstehen die Zusammenhänge zwischen integralen Größen der Messgeräte und rheologischen Messgrößen</li> <li>• können geeignete Messmethoden auswählen, lernen typische Messfehler erkennen und beheben bzw. vermeiden.</li> </ul>   |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Grundwissen in Strömungsmechanik bzw. Thermofluidodynamik der Biotechnologie.   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>mündlich, 30 min   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C. W. Macosko: Rheology - Principles, Measurement and Application, Wiley-VCH (1994)</li> <li>• F. A. Morrison: Understanding Rheology, Oxford Univ. Press (2001)</li> <li>• J. F. Steffe: Rheological Methods in Food Process Engineering, Freeman (1996)</li> <li>• T. G. Mezger: Das Rheologie Handbuch, 5th ed., Vincentz (2016)</li> <li>• H. A. Barnes, J. F. Hutton, K. Walters: An Introduction to Rheology, Elsevier (1989)</li> <li>• R. G. Larson: The Structure and Rheology of Complex Fluids, Oxford (1999)</li> <li>• T. F. Tadros: Rheology of Dispersions, Wiley-VCH (2010)</li> <li>• T. A. Witten: Structured fluids, Oxford (2004)</li> <li>• P. Coussot: Rheometry of Pastes, Suspensions, and Granular Materials, Wiley (2005)</li> <li>• M. Pahl, W. Gleißle, H.-M. Laun: Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere, 4. Auflage, VDI-Verlag (1995)</li> <li>• D. Weipert, H.-D. Tscheuschner, E. Windhab: Rheologie der Lebensmittel, Behrs Verlag (1993)</li> <li>• M. A. Rao: Rheology of fluid and semisolid foods, 3rd ed., Springer</li> <li>• J. W. Goodwin, R. W. Hughes: Rheology for Chemists, RSC Publishing (2008)</li> </ul> |



- D. Lerche, R. Miller, M. Schäffler: Dispersionseigenschaften, 2D-Rheologie, 3D-Rheologie, Stabilität (2015)
- G. G. Fuller: Optical Rheometry of Complex Fluids, Oxford Univ. Press (1995)

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45280 | <b>Industrielles Produkt-Design</b><br>Industrial product design | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung mit Übung: IP (3.0 SWS)                                | 5 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr. Jens Uhlemann  |               |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Jens Uhlemann   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeine Strategie im Produktdesign</li> <li>• Prozessdesign</li> <li>• Produktdesign von Emulsionen, Dispersionen und Schäumen, Kristallinen Materialien, Pulvern, Granulaten und festen Formen sowie neuen Produkten</li> </ul>  |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen allgemeine Strategie im Produktdesign</li> <li>• sind mit Produktdesign von Emulsionen, Dispersionen und Schäumen, kristallinen Materialien, sowie Pulvern, Granulaten und festen Formen vertraut</li> <li>• sind fähig, auch neue Produkte zu gestalten</li> <li>• können komplexe Aufgabenstellungen selbständig und zielorientiert bearbeiten</li> </ul>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>benotete mündliche Prüfung 30 min  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)<br>Prüfungsnote entspricht Modulnote  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch   |  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cussler, E.L., Moggridge, G.D., Chemical Product Design, Cambridge University Press, Cambridge 2011</li> <li>• Bröckel, U., Meier, W., Wagner, G., Product Design and Engineering Best Practices, Wiley 2007</li> <li>• Pahl, G., Beitz, W., Konstruktionslehre Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. 7. Aufl., Springer 2007</li> <li>• Rähse, W., Chemischer Produktdesign, Springer, 2007</li> </ul> |  |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45291 | <b>Angewandte Thermofluiddynamik (Fahrzeugantriebe)</b><br>Applied thermo-fluid dynamics (Power train systems) | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Angewandte Thermofluiddynamik (Fahrzeugantriebe) Übung (1.0 SWS)  | 2 ECTS        |
|   |                                  | Vorlesung: Angewandte Thermofluiddynamik (Fahrzeugantriebe) (2.0 SWS)  | 3 ECTS        |
|   |                                  | Exkursion: Angewandte Thermofluiddynamik (Fahrzeugantriebe) Exkursion (1.0 SWS)                                | 1 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing<br>Lukas Strauß   |               |

|   |                               |  |  |
|---|-------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Dr.-Ing. Sebastian Rieß<br>Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <p>Motorische Verbrennung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung: Funktionsweise von Hubkolbenmotoren im Vergleich zu anderen Wärmekraftmaschinen, 2- und 4-Taktverfahren, Otto- und Dieselmotoren, Regelungsverfahren, Marktsituation</li> <li>• Bauformen von Verbrennungsmotoren</li> <li>• Kraftstoffe und ihre Eigenschaften, Kraftstoff-Kenngrößen in der motorischen Verbrennung</li> <li>• Kenngrößen von Verbrennungsmotoren</li> <li>• Konstruktionselemente: Zylinderblock, Zylinderkopf, Kurbeltrieb, Kolbenbaugruppe, Ventiltrieb, Steuertrieb</li> <li>• Motormechanik: Mechanische Belastungen am Beispiel des Massenausgleichs in Mehrzylindermotoren und des Ventiltriebs</li> <li>• Thermodynamik des Verbrennungsmotors: Vergleichsprozessrechnung offene und geschlossene Vergleichsprozesse</li> <li>• Ladungswechsel, Kenngrößen des Ladungswechsels, Aufladung von Verbrennungsmotoren: Turbo- und mechanische Aufladung</li> <li>• Einspritz- und Zündsysteme, Steuerung- und Regelung von Verbrennungsmotoren</li> <li>• Gemischbildung / Verbrennung / Schadstoffe in Otto- und Dieselmotoren, gesetzl. vorgeschriebene Prüfzyklen</li> </ul> <p>Brennstoffzellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen und Aufbau einer Brennstoffzelle</li> <li>• Thermodynamik der Brennstoffzelle</li> <li>• Einordnung Brennstoffzellentechnologie in Transport und Verkehr</li> <li>• Verschiedene Arten von Brennstoffzellen</li> <li>• Alterungsvorgänge von Brennstoffzellen</li> <li>• Fahrzeugperipherie von Brennstoffzellen</li> <li>• Zukünftige Brennstoffzellensysteme</li> </ul> <p>Batterieelektrische Systeme:</p> |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batterietechnik: Grundlagen</li> <li>• Ladeverhalten von Li-Ionen-Akkus</li> <li>• Alterungsvorgänge von Li-Ionen-Akkus</li> <li>• BEV – Aufbau bis Stand der Technik</li> <li>• Zukunftstechnologien</li> </ul>   |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennen die Grundlagen, Begriffe und Kenngrößen der Motoren, Brennstoffzellen- und Akkumulatortechnik</li> <li>• Kennen Bauformen und Prozessführung von Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen und batterieelektrischen Systemen</li> <li>• Kennen die Bauteile/Baugruppen, Bauformen und wesentliche Berechnungsverfahren von Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen (inkl. Peripherie) und batterieelektrischen Systemen und können diese anwenden und weiterentwickeln</li> <li>• Können Zusammenhänge zwischen Kraftstoffeigenschaften und motorischen Brennverfahren und Maschinenausführungen herstellen und weiterentwickeln</li> <li>• Können Wirkungsgrade unterschiedlicher Antriebssysteme anhand von (Vergleichs#)Prozessrechnungen analysieren, bewerten und weiterentwickeln</li> <li>• Kennen Ladungswechselsysteme für Otto- und Dieselmotoren, deren Eigenschaften und Kenngrößen, kennen Auflade-Systeme und grundlegende Berechnungen von Auflade-Systemen</li> <li>• Kennen typische Gemischbildungs- und Zündsysteme, Regelverfahren von Verbrennungsmotoren</li> <li>• Kennen Peripherie- und Versorgungssysteme von Brennstoffzellen und batterieelektrischen Systemen und können grundlegende charakteristische Größen berechnen</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>Die Prüfung findet in Abhängigkeit von der Anzahl Teilnehmender mündlich oder schriftlich statt.  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch<br>Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Merker, Teichmann(Hrsg.): Grundlagen Verbrennungsmotoren, Springer (2018)</li> <li>• van Basshuysen, Schäfer (Hrsg.): Handbuch Verbrennungsmotor, Springer (2017)</li> <li>• Heywood: Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill (1988)</li> <li>• Pischinger, Klell, Sams: Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine, Springer (2009)</li> <li>• Ganesan: Internal Combustion Engines, McGraw-Hill (2015)</li> <li>• Reif (Hrsg.): Dieselmotor-Management, Springer (2012)</li> <li>• Reif (Hrsg.): Ottomotor-Management im Überblick, Springer (2015)</li> <li>• Tschöke, Mollenhauer, Maier (Hrsg.): Handbuch Dieselmotoren, Springer (2018)</li> <li>• O'Hayre, Cha, Colella, Prinz: Fuel Cell Fundamentals, Wiley &amp; Sons (2016)</li> <li>• Kurzweil: Brennstoffzellentechnik, Springer (2013)</li> <li>• Barbir: PEM Fuel Cells, Elsevier (2013)</li> <li>• Kampker, Vallée, Schnettler: Elektromobilität - Grundlagen einer Zukunftstechnologie, Springer (2018)</li> </ul> |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45310 | <b>Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik</b><br>Thermal power plants and power plant technology | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Übung zu Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik (1.0 SWS)                                 | 2 ECTS        |
|   |                                  | Vorlesung: Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik (2.0 SWS)                                      | 3 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl<br>Jonas Miederer<br>Christian Wondra                             |               |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>1. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen der Stromerzeugung<br/> 2. Thermodynamische Grundlagen der Kraftwerkstechnik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dampfkraftprozesse,</li> <li>• Gasturbinenprozesse</li> <li>• Gasmotorenprozesse</li> <li>• Kombiprozesse</li> </ul> <p>4. Kohlekraftwerke mit Carbon Capture and Sequestration (CCS)<br/> 5. Dampfkraftprozesse für Erneuerbare Energien 6. Kernkraftwerke<br/> 7. Organic Rankine Cycles für die Abwärmenutzung<br/> 8. Gasturbinen- und hocheffiziente GUD-Kraftwerke<br/> 9. Stationäre Gasmotoren für die Kraft-Wärme-Kopplung<br/> 10. Carnot-Batterien</p> <p>Zur Vorlesung gehört eine Übung, in der mit der Programmiersprache Python einfache Kraftwerksprozesse programmiert werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solarthermische Kraftwerke</li> <li>• Geothermische Kraftwerke</li> <li>• Biomasse-Kraftwerke</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen Technologien und Komponenten der Kraftwerkstechnik</li> <li>• haben einen grundlegenden Überblick über energiewirtschaftliche Fragen der Kraftwerkstechnik</li> <li>• analysieren Energieumwandlungsprozesse zur Erzeugung von elektrischer Energie in thermischen Kraftwerken</li> <li>• können technische Realisierung von Kraftwerken nachvollziehen und Vorschläge zur Optimierung erarbeiten und bewerten</li> <li>• wenden thermodynamische Prinzipien zur Prozessoptimierung an und können diese Methoden zur Prozessoptimierung weiterentwickeln</li> <li>• können thermodynamische Kreisprozesse mit der Programmiersprache Python berechnen</li> </ul>  |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Empfehlung: Vorlesung Technische Thermodynamik  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>        | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | J. Karl, Dezentrale Energiesysteme, Oldenbourg Verlag<br>K. Strauß, Kraftwerkstechnik, Springer Verlag<br>H. Effenberger, Dampferzeugung, Springer-Verlag<br>H. Spliethoff, Power generation from Solid Fuels, Springer-Verlag<br>J. Karl, Klimawende, neobooks |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45335 | <b>Trocknungstechnik</b><br>Drying technology  | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Übung Trocknungstechnik (2.0 SWS)<br>Vorlesung: Trocknungstechnik/Drying Technology (2.0 SWS) | -<br>5 ECTS   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück  |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen und Ziele der Trocknungstechnik</li> <li>• Zusammenspiel Materialeigenschaften, Prozessbedingungen, Produkteigenschaften</li> <li>• Mechanische Trocknungsverfahren (Filtration, Sedimentation)</li> <li>• Diffusionskontrollierte Trocknungsverfahren</li> <li>• Konvektive Trocknungsverfahren: Grundlagen</li> <li>• Sprühtrocknung</li> <li>• Wirbelschichttrocknung</li> <li>• Modellierung von Trocknungsprozessen und Apparateauslegung</li> </ul>  |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sind mit den Grundlagen der diffusionslimitierten und konvektiven Trocknung vertraut;</li> <li>• können anhand von Materialeigenschaften kinetische und kapazitive Prozessgrenzen ableiten;</li> <li>• können verschiedene Trocknungsverfahren klassifizieren und den Anwendungsbereich beurteilen;</li> <li>• sind fähig, verschiedene Prozessvarianten vergleichend gegenüberzustellen;</li> <li>• können mit Hilfe vorgestellter Prozessmodelle, Trocknungsprozesse beschreiben und auslegen;</li> <li>• können das erlernte Wissen an Hand ausgewählter Beispiele praktisch umsetzen.</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>Mündliche Prüfung (30 Min)   |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |



|    |   |  |
|----|---|--|
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <p>1. O. Krischer, W. Kast: Trocknungstechnik: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Springer-Verlag, 2014</p> <p>2. A.S. Mujumdar (Ed.): Handbook of Industrial Drying, CRC Press, 2013</p> <p>Gehrmann, Esper, Schuchmann: Trocknungstechnik in der Lebensmittelindustrie, Behrs G mbH, 2009.</p> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45340 | <b>Fluid-Feststoff-Strömungen</b><br>Solid-liquid two phase flow  | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | Im Rahmen des Moduls "Fluid-Feststoff-Strömungen" soll gezeigt werden, daß die Beschreibung von komplexen Strömungen auch mit einfachen Methoden möglich ist. Anhand der theoretischen Auslegung einer pneumatischen Förderung wird die Problematik unterschiedlicher Strömungszustände aufgezeigt. Darauf aufbauend wird mit einfachen Massen- und Kräftebilanzen der Strömungszustand für die entmischte vertikale Gas-Feststoff-Strömung bestimmt. Damit ist es möglich, das Betriebsverhalten von vertikalen Fluid-Feststoff-Reaktoren, wie z.B. zirkulierende Wirbelschichten oder Riser, vorauszuberechnen. Desweiteren wird das Betriebsverhalten von entmischten vertikalen Gas-Feststoff-Strömungen mit dem bei homogener Fluidisation verglichen und auf die für die Bioverfahrenstechnik bedeutsame Flüssigkeits-Feststoff-Wirbelschicht eingegangen. |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• identifizieren einfache Methoden der Beschreibung von komplexen Strömungen</li> <li>• stellen anhand der theoretischen Auslegung einer pneumatischen Förderung die Problematik unterschiedlicher Strömungszustände dar</li> <li>• bestimmen mit einfachen Massen- und Kräftebilanzen den Strömungszustand für die entmischte vertikale Gas-Feststoff-Strömung</li> <li>• berechnen das Betriebsverhalten von vertikalen Fluid-Feststoff-Reaktoren voraus</li> <li>• vergleichen das Betriebsverhalten von entmischten vertikalen Gas-Feststoff-Strömungen mit dem bei homogener Fluidisation</li> <li>• führen Versuche zur zirkulierenden Wirbelschicht durch</li> </ul>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)  |  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h                                  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Wirth, K.E.: Zirkulierende Wirbelschichten, Springer Verlag, Berlin, 1990 |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45350 | <b>Nanotechnology of Disperse Systems</b><br>Nanotechnology of disperse systems   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung mit Übung: Nanotechnologie disperser Systeme (3.0 SWS)<br>Übung: Nanotechnology of Disperse Systems Exercises (1.0 SWS) | 5 ECTS<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Dr. Monica Distaso<br>Prof. Dr. Robin Klupp Taylor  |               |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr. Robin Klupp Taylor   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to nanodisperse systems and their broad fields of application and research</li> <li>• Summer semester only: Parallel lecture blocks (Block 1 (non-MAP) - Optoelectronic properties of nanodisperse systems, Block 2 (MAP) - Synthesis, properties and applications of mesocrystals)</li> <li>• Winter semester only: Optoelectronic properties of nanodisperse systems</li> <li>• Magnetic properties of nanodisperse systems</li> <li>• Ex situ and in situ characterisation of nanoparticles (Optical methods; Electron microscopy; Scanning probe microscopy; Spectroscopy)</li> <li>• Fundamental aspects of the preparation of nanodisperse systems (Thermodynamic fundamentals; Hydrolysis and polycondensation (metal oxides); Redox-reactions (metals); Solvothermal/Hydrothermal synthesis; Control of particle size and morphology)</li> <li>• Synthesis and properties of carbon nanotubes</li> <li>• Industrial methods of nanoparticle synthesis</li> </ul>   |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>On completion of the lecture course students will be able to:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identify major applications and research fields of nanodisperse systems</li> <li>• Identify and explain the fundamental theories of nucleation and growth and colloidal stability</li> <li>• Differentiate between different approaches for the preparation of nanodisperse systems</li> <li>• Select metal and metal oxide precursors and oxidizing/reducing agents according to their thermodynamic properties.</li> <li>• Give examples of means to control nanoparticle size, shape and agglomeration state</li> <li>• Distinguish between different characterization tools according to their advantages and disadvantages for the analysis of nanodisperse systems</li> <li>• Identify the influence of particle size on key physical properties</li> <li>• Match physical properties of nanoparticles to current or emergent applications</li> <li>• Plan a presentation in which they compare and appraise recent research activities from the literature</li> </ul> |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | in jedem Semester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <p><b>Nanoparticles and nanotechnology in general</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Axelos, M.A. and van de Voorde, M.H. (2017) Nanotechnology in agriculture and food science, Wiley-VCH, Verlag GmbH &amp; Co. KGaA, Weinheim. Full text</li> <li>• Diwald, O. Berger, T. (2021) Metal oxide nanoparticles: Formation, functional properties, and interfaces, Wiley-VCH, Verlag GmbH &amp; Co. KGaA, Weinheim. Full text</li> <li>• Müller, B. and van de Voorde, M. (2017) Nanoscience and Nanotechnology for Human Health, Wiley-VCH Verlag GmbH &amp; Co. KGaA, Weinheim, Germany. Full text</li> <li>• Naitō, M., Yokoyama, T., Hosokawa, K., Nogi, K. (eds) (2018) Nanoparticle technology handbook, Elsevier, Amsterdam. Full text</li> <li>• Natelson, D. (2015) Nanostructures and Nanotechnology, Cambridge University Press, Cambridge. Full text</li> <li>• Sánchez-Domínguez, M. and Rodríguez Abreu, C. (2016) Nanocolloids: A meeting point for scientists and technologists, Elsevier, Amsterdam. Full text</li> <li>• Sharon, M. (ed) (2019) History of nanotechnology: From pre-historic to modern times, Wiley, Hoboken NJ USA. Full text</li> </ul> <p><b>Optical properties of nanoparticles / nanophotonics</b></p> |

- Bohren, C.F. and Huffman, D.R. (1993 (1998[printing])) Absorption and scattering of light by small particles, Wiley, New York, Chichester. Full text
- Gaponenko, S. V. Introduction to nanophotonics, 2010, (Full text)
- Pelton, M. and Bryant, G.W. (2013) Introduction to metal-nanoparticle plasmonics, Wiley; Science Wise Publishing, Hoboken, New Jersey. Full text
- Quinten, M. (2011) Optical properties of nanoparticle systems: Mie and beyond, Wiley-VCH, Weinheim. Full text

## Magnetic nanoparticles

- Gubin, S.P. (2009) Magnetic nanoparticles, Wiley-VCH, Weinheim. Full text
- Katz, E. (ed) (2020) Magnetic Nanoparticles, MDPI, Basel. Full text (open access)
- Rivas, J., Kolen'ko, Y.V., Bañobre-López, M. (2016) Magnetic Nanocolloids, in Nanocolloids, Elsevier, pp. 75–129. Full text

## Nanoparticle characterisation

- Unger, W., Hodoroaba, V.-D., Shard, A. (2019) Characterization of nanoparticles: Measurement processes for nanoparticles Elsevier, Amsterdam. Full text

## Nanoparticle synthesis

- Haumesser, P.-H. (2016) Nucleation and growth of metals: From thin films to nanoparticles, Elsevier, Amsterdam. Full text
- Mohan, S., Oluwafemi, S.O., Kalarikkal, N., Thomas, S. (2018) Synthesis of inorganic nanomaterials: Advances and key technologies, Woodhead Publishing, Oxford. Full text
- Sau, Tapan K, Rogach, Andrey L. Complex-shaped metal nanoparticles: bottom-up syntheses and applications, 2012 Wiley-VCH Full Text
- Thomas, Sabu et al. Colloidal Metal Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications, 2020 Elsevier Full Text
- Thota, S. and Crans, D.C. (2018) Metal nanoparticles: Synthesis and applications in pharmaceutical sciences, Wiley-VCH, Weinheim. Full text

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45360 | <b>Modellbildung in der Partikeltechnik</b><br>Modelling in particle technology   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelpartikeln im Fluid</li> <li>• Hybridmodelle</li> <li>• Populationsbilanz-Modellierung</li> <li>• Flowsheet-Simulationen</li> </ul>  |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können moderne Methoden zur Modellierung und Simulation disperser Systemen erlernen, insbesondere den Multiskalenansatz</li> <li>• erfassen die aktuelle Forschung in Bezug auf die Anwendung</li> <li>• erkennen die Einsatzgebiete der verschiedenen Methoden</li> <li>• erkennen die Zusammenhänge beginnend bei der Modellierung des Verhaltens von Einzelpartikeln in einem Fluid, über die Kontinuumsmechanik bis zur Modellierung großindustrieller Prozesse.</li> <li>• erkunden in einem Kleinprojekt aktiv ein in der Vorlesung behandeltes Themengebiet</li> </ul> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 |  |  |

|   |                                  |  |                  |
|---|----------------------------------|--|------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45370 | <b>Produktanalyse</b><br>Product analysis                                    | <b>5 ECTS</b>    |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Übung Produktanalyse (1.0 SWS)<br>Vorlesung: Produktanalyse (2.0 SWS) | 1 ECTS<br>4 ECTS |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Johannes Walter<br>Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert                  |                  |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Dr.-Ing. Johannes Walter   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>The module introduces modern (optical) techniques for characterization of disperse systems in chemical engineering and materials science. The participants will learn general principles as well as where, when and on which time scale information on materials properties can be gained by the discussed methods. For disperse systems the latter can be for example particle size, particle shape, materials composition, electronic properties and surface chemistry as well as surface charge.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to Materials Properties and Classification</li> <li>• Sampling, Error Sources and their Analysis</li> <li>• Definition and Determination of Particle Distribution, Size and Shape</li> <li>• Principles Optics and Diffraction I</li> <li>• Principles Optics and Diffraction II</li> <li>• Diffraction, Rayleigh-, Mie scattering</li> <li>• Static and Dynamic Light scattering</li> <li>• X-Ray Scattering and Applications</li> <li>• Zetapotential and its measurement with optical methods</li> <li>• Analytical Ultra-Centrifugation with Multi-Wavelength Optics</li> <li>• Nonlinear Optics at Interfaces and its Application</li> <li>• Color and its Measurement: UV-Vis and Fluorescence Spectroscopy</li> <li>• Infrared and Raman Spectroscopy including Surface-Enhanced Techniques</li> <li>• Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)</li> <li>• Scanning Probe Microscopy and Electron Microscopy</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• The participants will learn about the fundamentals of light-matter interactions and acquire the necessary skills to understand the working principles of the discussed experimental methods.</li> <li>• The participants will learn which material property is accessible by the discussed methods for product analysis as well as where and when each method can be applied.</li> <li>• The participants will learn on how to judge the results of an individual measurement technique and will learn about its inherent boundaries (e.g. resolution etc.)</li> <li>• The participants will learn where a combination of several techniques is more promising.</li> </ul>  |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |



|    |  |   |
|----|--|---|
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>benotete mündliche Prüfung 30 min  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)<br>Prüfungsnote entspricht Modulnote  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch<br>Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principles of physics extended (9. ed., internat. student version); Authors: David Halliday, Robert Resnik, Jearl Walker; Wiley 2011</li> <li>• Springer Handbook of Materials Measurement Methods; Authors: Horst Czichos, T. Saito, Smith Leslie; Springer 2006 (electronic access within FAU)</li> <li>• Nonlinear Optics; Author: Robert W. Boyd; Academic Press 2008</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45375 | <b>Polymer Science and Processing</b><br>Polymer science and processing   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Nicolas Vogel  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Introduction to polymer science with a broad focus on: Synthesis, characterization and processing of polymeric materials; Structure-property relationships at the molecular level, in the liquid and melt state and in the solid.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to macromolecules: definition of terms, special features of polymers, polymerization reactions, polymer architectures, Classifications of polymeric materials</li> <li>• Polymer synthesis: chain and step growth, living Polymerizations, catalytic polymerizations, copolymerizations</li> <li>• Characterizations: determination of molecular weights</li> <li>• Properties of polymers in the liquid state: thermodynamics of polymer solutions, conformations</li> <li>• Properties of polymers in the solid state: phase transitions, amorphous materials, semi-crystalline materials, elastomers</li> <li>• Processing of polymers: extrusions, injection molding processes, Additive manufacturing, fiber and film manufacturing</li> <li>• Special polymers and applications of polymeric materials</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>The students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• learn basic structure-property relationships of macromolecules and polymeric materials</li> <li>• are able to derive macroscopic material properties from molecular structures</li> <li>• develop the conceptual ability to adapt macroscopic properties by changing the molecular structure</li> <li>• learn basic skills in the synthesis, characterization and processing of polymer materials</li> <li>• have the ability to select an appropriate polymeric material for a given application</li> <li>• get an insight into current research activities in the field of polymer science</li> </ul>   |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | mündlich (30 Minuten)   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koltzenburg, Maskos, Nuyken, Polymere, Springer Spektrum 2014</li> <li>• R. J. Young, P. A. Lovell, Introduction to Polymers, 3rd Edition. CRC Press 2011</li> </ul> |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45400 | <b>Digitale Bildverarbeitung</b><br>Digital image processing   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung mit Übung: Digitale Bildverarbeitung (2.0 SWS)<br>Übung: Digitale Bildverarbeitung - Übung (0.0 SWS) | -<br>-        |
| 3 | Lehrende                         | Dr. Achim Sack   |               |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr. Thorsten Pöschel   |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | Digitale Bildverarbeitung spielt eine immer größere Rolle bei der Durchführung und Auswertung von Messungen in Forschung, Entwicklung und Produktionsüberwachung.<br>Das Modul vermittelt grundlegende und weiterführende Kenntnisse und Techniken zur selbständigen Lösung häufiger Problemstellungen bei der optischen Datennahme und -auswertung.<br>Themen: Licht, Lichtquellen, Kameras, Optik, Aufnahmetechniken, Detektoren, Aberrationen, Digitale Bildtypen, Speicherformate, Abtasttheorem, Kompression, Filter, Rauschen, Kalibrierung, Fourier Transformation, Bildwiederherstellung, Korrelation, PIV, Tracking, Farbbilder, Wavelets, Morphologie, Segmentation, Repräsentation, Abstraktion, Objekterkennung. |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Die Studierenden können selbstständig optische Daten aufnehmen und auswerten. Sie verstehen das Konzept der zugrundeliegenden Methoden.<br>Unter anderem beherrschen und verwenden Sie Methoden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• zur selbstständigen Aufnahme und Verarbeitung digitaler Bilder</li> <li>• zur Filterung von Bildern im Orts- und Fourierraum</li> <li>• zur Segmentierung von Bildern</li> <li>• zur Objekterkennung und Klassifikation von Objekten</li> <li>• zur Objektverfolgung (PIV)</li> </ul>  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |

|    |   |         |
|----|---|---------|
| 15 | <b>Unterrichts- und<br/>Prüfungssprache</b> | Deutsch |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                    |         |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45487 | <b>Numerische Methoden der Thermofluiddynamik I</b><br>Numerical methods in thermal fluid mechanics I                          | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Computational Fluid Dynamics (NMTFD)<br>(2.0 SWS)<br>Übung: Computational Fluid Dynamics (NMTFD) Übung<br>(1.0 SWS) | -<br>5 ECTS   |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Manuel Münsch<br>Prof. Dr. Philipp Schlatter<br>Dr. Siavash Toosi   |               |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr.-Ing. Manuel Münsch   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Governing equations and models in fluid mechanics</li> <li>• Steady problems: the Finite-Difference Method (FDM)</li> <li>• Unsteady problems: methods of time integration</li> <li>• Advection-diffusion problems</li> <li>• The Finite-Volume Method</li> <li>• Solution of the incompressible Navier-Stokes equations</li> <li>• Grids and their properties</li> <li>• Boundary conditions</li> </ul> <p>The theory given in the lectures is extended and applied to several transport problems in this exercise class:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• discretization of the Blasius similarity equations</li> <li>• parabolization and discretization of the boundary layer equations</li> <li>• finite-Difference discretization of heat-transfer problems</li> <li>• approximation of boundary conditions</li> <li>• finite-Volume discretization of heat-transfer problems</li> <li>• discretization and time-stepping of the Navier-Stokes equations</li> <li>• projections methods: the SIMPLE and PISO Methods</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>The students who successfully take this module should:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• understand the physical meaning and mathematical character of the terms in advection-diffusion equations and the Navier-Stokes equations</li> <li>• assess under what circumstances some terms in these equations can be neglected</li> <li>• formulate a FDM for the solution of unsteady transport equations</li> <li>• assess the convergence, consistency and stability of a FDM</li> <li>• formulate a FVM for the solution of unsteady transport equations</li> <li>• know how to solve the Navier-Stokes equation with the FVM</li> <li>• implement programs in matlab/octave to simulate fluid flow</li> <li>• assess the quality and validity of a fluid flow simulation</li> <li>• work in team and write a report describing the results and significance of a simulation</li> <li>• know the different types of grids and when to use them</li> </ul> <p>The students who successfully solve the exercises should:</p>  |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• be able to discretize transport problems with the finite-difference and the finite-volume methods</li> <li>• discretize several type of boundary conditions (no-slip, flux, mixed)</li> <li>• understand how the implementation of projection methods to solve the Navier-Stokes equation is done</li> <li>• work in team</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• J.H. Ferziger, M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Spinger, 2008</li> <li>• R.J. Leveque, Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations, SIAM, 2007</li> </ul>   |

|   |                                  |   |                  |
|---|----------------------------------|---|------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45495 | <b>Turbomaschinen</b><br>Turbomachinery   | <b>5 ECTS</b>    |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Turbomaschinen (2.0 SWS)<br>Übung: Übungen zu Turbomaschinen (2.0 SWS) | 3 ECTS<br>2 ECTS |
| 3 | Lehrende                         | apl. Prof. Dr. Stefan Becker  |                  |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | apl. Prof. Dr. Stefan Becker  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionsprinzip der Turbomaschinen</li> <li>• Leistungsbilanzen, Wirkungsgrade, Zustandsverläufe</li> <li>• Ähnlichkeitskennzahlen</li> <li>• Kennlinien und Kennfelder</li> <li>• Betriebsverhalten</li> <li>• Grundbegriffe der Gitterströmung</li> <li>• Kräfte an Gitterschaufeln</li> <li>• Schaufelgitter</li> <li>• Gehäuse</li> <li>• CFD für Turbomaschinen</li> <li>• Grundlagen Windturbinen</li> <li>• Akustik</li> </ul> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erlernen die Grundlagen der Turbomaschinen</li> <li>• verstehen und erklären Anwendung verschiedener Turbomaschinen</li> <li>• können entsprechend der Anwendung Turbomaschinen in ihren Grundabmessungen auslegen</li> <li>• erlangen ein Grundverständnis für das Betriebsverhalten</li> </ul>   |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Modul: Strömungsmechanik (Empfehlung)<br>Modul: Thermodynamik (Empfehlung)  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich (120 Minuten)   |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h   |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch   |  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 |   |  |



|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>46100 | <b>Scannen und Drucken in 3D</b><br>Scanning and printing in 3D               | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Übung Scannen und Drucken in 3D (1.0 SWS)<br>Vorlesung: SD3D (3.0 SWS) | -<br>-        |
| 3 | Lehrende                         | PD Dr. Patric Müller  |               |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | PD Dr. Patric Müller   |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stereo-Imaging</li> <li>- Scannen dreidimensionaler Objekte</li> <li>- Computer-Tomographie und verwandte Techniken</li> <li>- 2D Darstellung dreidimensionaler Datensätze</li> <li>- 3D Bildverarbeitung</li> <li>- 3D Druck-Verfahren</li> <li>- 3D Projektion und Darstellung</li> <li>- Darstellung wissenschaftlicher Daten mittels "Virtueller Realität (VR)</li> </ul>   |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- beherrschen die physikalischen und technischen Grundlagen zur Aufnahme dreidimensionaler Bilder mittels Stereokameraverfahren, 3D Scannern sowie Computer-Tomographie.</li> <li>- können dreidimensionale Datensätze erfassen, numerisch bearbeiten und wissenschaftlich darstellen.</li> <li>- gehen mit gängigen 3D Druckverfahren sicher um und implementieren diese als wissenschaftliches Werkzeug.</li> <li>- setzen mathematisch/physikalische Konzepte dreidimensionaler Darstellung mittels 3D Projektions- und Display-Verfahren sowie VR-Techniken um.</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Matlab-Grundlagen dringend empfohlen!  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | - Gregor Honsel, Rapid Manufacturing   |

- Lee Goldmann, Principles of CT and CT Technology
- Okoshi, Three-Dimensional Imaging Techniques

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>47770 | <b>Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen</b><br>Energetic use of biomass and waste  | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Vorlesung Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen (2.0 SWS)<br>Übung: Seminar Energetischen Nutzung von Biomasse und Reststoffen (1.0 SWS) | 5 ECTS<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl<br>Christian Wondra  |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Im Rahmen des Moduls werden die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen für die energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen behandelt. Zuerst werden Konzepte zur Nutzung biogener Stoffe und zur Entsorgung von Reststoffen vorgestellt. Neben konventionellen Nutzungskonzepten für die Wärme- und Stromerzeugung werden auch innovative Konzepte wie Vergärung, Pyrolyse und Vergasung, die Herstellung von Treibstoffen und die Anwendung neuer Technologien wie Brennstoffzelle, ORC-Prozess und Stirlingmotor behandelt:</p> <p>Teil 1 - Einführung<br/>Teil 2 - Wärmeerzeugung aus biogenen Brennstoffen<br/>Teil 3 - Stromerzeugung mit Verbrennungsanlagen<br/>Teil 4 - Stromerzeugung mit Vergärung<br/>Teil 5 - Stromerzeugung mit thermischer Vergasung</p> <p>Im weiteren Verlauf des Moduls werden die verfahrenstechnischen Grundlagen dieser Konzepte behandelt. Dabei stehen vor allem technologische Probleme bei Verbrennung und Vergasung verschiedenster Brennstoffe und die Brennstofflogistik im Vordergrund:</p> <p>Teil 6 - Verbrennung von Biomasse<br/>Teil 7 - Vergasung von Biomasse<br/>Teil 8 - Herstellung von Treibstoffen aus Biomasse</p> <p>Parallel dazu werden die Planung und die Wirtschaftlichkeit von Anlagen für die Nutzung von Biomasse thematisiert. Das Ziel ist die Durchführung und Präsentation einer Vorstudie (Grundlagenermittlung und Vorstudie) für ein selbst gewähltes Beispiel.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• analysieren und bewerten aktuelle Technologien und Konzepte zur Nutzung von Biomasse</li> <li>• wenden die Grundlagen zur Planung von Biomasseversorgungsanlagen an</li> <li>• präsentieren überzeugend die Planungsergebnisse und regen die Zuhörer zur Diskussion an</li> </ul>   |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>        | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152                             |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | mündlich<br>Mündliche Prüfung ca. 30 Min   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | mündlich (50%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Karl, Dezentrale Energiesysteme, Oldenbourg Verlag<br>Kaltschmitt, Energie aus Biomasse, Springer Verlag |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>47790 | <b>Energiewirtschaft und Umweltrecht</b><br>Energy management and environmental law   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Im Rahmen des Moduls werden aktuelle Problemstellungen der Energiewirtschaft und der Umweltgesetzgebung behandelt. Insbesondere werden im ersten Teil die Kosten verschiedener Konzepte und Technologien zur Energieversorgung verglichen und diskutiert:</p> <p>Teil 1: Energieversorgung des 21. Jahrhunderts<br/>Grundlagen der konventionellen Strom- und Wärmeerzeugung<br/>Wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Energiewandlung<br/>Finanzierungsmodelle für die Energiewirtschaft</p> <p>Der zweite Teil befasst sich mit den gesetzlichen Rahmenbedingungen der Energiewirtschaft:</p> <p>Teil 2: Gesetzliche Rahmenbedingungen<br/>Umweltrechtliche Rahmenbedingungen<br/>(Bundesimmissionsschutzgesetze und Verordnungen, TA Luft, Emissionshandel, Energieeinsparverordnung, Umweltverträglichkeitsprüfung)<br/>Förderpolitische Maßnahmen (EEG, KWK-Gesetz, Ökosteuer, Energiewirtschaftsgesetz)<br/>Richtlinien zum Netzbetrieb (DVGW-Richtlinien, Einspeiseverordnung, Verbändevereinbarung)</p> <p>Im dritten Teil werden Szenarien für eine künftige Energiewirtschaft diskutiert:</p> <p>Teil 3 Szenarien für die künftige Energieversorgung<br/>Netze und Versorgungssicherheit<br/>Speichertechnologien<br/>Virtuelle Kraftwerke</p> <p>Darüber hinaus wird eine dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung (Liquiditätsplanung) für eine Energieversorgungsanlage anhand eines selbstgewählten Beispiels durchgeführt und präsentiert. Zudem wird anhand konkreter Aufgabenstellungen mit Gesetzestexten (z.B. Ermittlung von Emissionsgrenzwerten) geübt. Die Studierenden erlernen die wirtschaftliche Beurteilung verschiedener Optionen zur Energieversorgung und den Umgang mit den für die Energiewirtschaft relevanten Gesetzestexten.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können verschiedene Optionen zur Energieversorgung wirtschaftlich beurteilen</li> <li>• können mit den für die Energiewirtschaft relevanten Gesetzestexten umgehen</li> </ul>  |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• können unterschiedliche Szenarien für die künftige Energieversorgung erläutern</li> <li>• können eine dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung selbständig durchführen</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich (90 Minuten)<br>Klausur (120 min)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 |  |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>47810 | <b>Chemische Energiespeicherung</b><br>Energy storage chemical  | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung mit Übung: Chemische Energiespeicherung (2.0 SWS)<br>Übung: Übung zur Chemischen Energiespeicherung (1.0 SWS) | 5 ECTS<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Detlef Freitag<br>Jakob Söllner  |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Dr.-Ing. Detlef Freitag  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Inhaltliche Schwerpunktthemen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamische Grundlagen chemischer Energiespeicherung</li> <li>• Überblick über Energiespeichertechnologien (auch nicht chemisch)</li> <li>• Biogene Energieträger</li> <li>• Elektrochemische Grundlagen und Anwendungen für elektrochemische Energiespeicherung</li> <li>• Wasserstoffspeichertechnologien (Kompression, Verflüssigung, Adsorption)</li> <li>• Wasserstoffspeicherung durch chemische Bindung an Trägerstoff</li> <li>• Energiespeicherung durch Erzeugung von Brennstoffen</li> <li>• Wärmespeicherung</li> </ul>  |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verfügen über vertiefte Fach- und Methodenkompetenzen im Bereich der chemischen Energiespeicherung</li> <li>• sind mit den neusten Entwicklungen auf dem Gebiet der chemischen Energiespeicherung vertraut</li> <li>• können unterschiedliche Energiespeicher- und Energietransportkonzepte im Sinne einer Prozesskettenanalyse und unter Betrachtung der verfahrenstechnischen Aspekte miteinander vergleichen und bewerten</li> <li>• sind zur Beurteilung und Diskussion thermodynamischer und kinetischer Aspekte chemischer Energiespeicherkonzepte befähigt</li> <li>• sind in der Lage Potentiale, Energiedichten und Wirkungsgrade neuer Speichertechnologien und ansätze zu ermitteln</li> <li>• sind mit der interdisziplinären Arbeitsweise an der Schnittstelle von Ingenieurwissenschaften und Chemie vertraut</li> <li>• sind zum Einstieg in die industrielle Forschung und Entwicklung auf einem der aktuellsten Themengebieten im Bereich der "Energiewende" befähigt</li> </ul> |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152 |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich (120 Minuten)<br>Klausur (120 Min)                 |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h                                     |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch<br>Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | Huggins, R.A., Energy Storage, Springer, 2010                                |



|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>92890 | <b>Technische Chromatographie</b><br>Technical chromatography   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Technische Chromatographie (2.0 SWS)<br>Übung: Übung zu Technische Chromatographie (1.0 SWS) | 5 ECTS<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Malte Kaspereit<br>Johannes Wiczorek   |               |

|   |                                  |  |
|---|----------------------------------|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr.-Ing. Malte Kaspereit   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Die technische Chromatographie ist ein sehr leistungsfähiges Trennverfahren, das insbesondere für schwierige Trennaufgaben genutzt wird. Sie hat große Bedeutung bei der Produktion von z.B. Feinchemikalien, Pharmazeutika und biotechnologischen Produkten. Chromatographische Prozesse werden periodisch betrieben, was ihre Entwicklung und Auslegung anspruchsvoll macht. Andererseits bieten sie viele Freiheitsgrade, was besonders innovative Verfahrenskonzepte ermöglicht.</p> <p>Die Vorlesung vermittelt eine ingenieurwissenschaftliche Sicht auf die Chromatographie. Behandelt werden die wesentlichen Grundprinzipien und Prozesskonzepte. Der Einfluss physiko-chemischer Vorgänge auf Prozessdynamik und -Performance wird im Rahmen der modellbasierten Auslegung entsprechender Verfahren diskutiert. Wichtige apparative und anwendungsbezogene Aspekte werden anhand relevanter Beispiele erläutert.</p> <p>Gliederung:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Einleitung</li> <li>2 Grundlegende Prinzipien</li> <li>3 Prozessdynamik unter idealen Bedingungen</li> <li>4 Prozessdynamik unter realen Bedingungen</li> <li>5 Modellierung chromatographischer Prozesse</li> <li>6 Auslegung und Optimierung chromatographischer Verfahren</li> <li>7 Innovative Verfahrenskonzepte</li> <li>8 Anwendungsbereiche der Chromatographie</li> </ol> |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen und verstehen die technisch relevanten chromatographischen Verfahren und ihre Anwendungsgebiete,</li> <li>• verstehen die Zusammenhänge zwischen physikalischen Vorgängen, Chromatogrammen und Prozess-Performance,</li> <li>• verstehen grundlegend die nichtlineare Dynamik chromatographischer Prozesse,</li> <li>• kennen gebräuchliche Prozessmodelle und können sie problemabhängig auswählen,</li> <li>• kennen Messmethoden für wesentliche physiko-chemische Parameter und können sie problemabhängig auswählen,</li> <li>• können selbstständig einfache Prozessmodelle erstellen und lösen,</li> <li>• sind in der Lage, chromatographische Verfahren konzeptionell zu entwickeln, auszulegen und zu bewerten.</li> </ul>  |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152<br>Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | Vertiefend neben dem angebotenen vorlesungsbegleitenden Material bspw.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmidt-Traub, Schulte, Seidel-Morgenstern (Eds.), Preparative Chromatography of Fine Chemicals and Pharmaceutical Agents (2nd ed), Wiley-VCH, 2012</li> <li>• Guiochon, Shirazi, Felinger, Katti, Fundamentals of Preparative and Nonlinear Chromatography Academic Press, 2006</li> </ul> |

|   |                                  |  |               |
|---|----------------------------------|--|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94480 | <b>Reinraumtechnik</b><br>Clean room technology                                | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Reinraumtechnik (2.0 SWS)<br>Übung: Übung Reinraumtechnik (1.0 SWS) | 5 ECTS<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert<br>Dr.-Ing. Christian Lübbert                  |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschichtliche Entwicklung der Reinraumtechnik</li> <li>• Reinraumklassen</li> <li>• Reinraumfilter</li> <li>• Struktur von Reinräumen</li> <li>• Klimaanlageanlagen</li> <li>• Kontamination</li> <li>• Reinraumkleidung</li> <li>• Medienversorgung / Entsorgung</li> <li>• Automatisierung</li> <li>• Wirtschaftlichkeit</li> <li>• Sicherheit</li> <li>• Anwendungen von Reinräumen</li> <li>• Grundlagen der Luftströmung</li> <li>• Strömungsformen im Reinraum</li> <li>• Strömungsoptimierung im Reinraum</li> <li>• Maschinen im Reinraum</li> <li>• Reinraummaterialien</li> <li>• Partikelmessstechnik</li> <li>• Filtertechnik</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen die Grundlagen der Reinraumtechnik und deren Anwendung auf verschiedenste Gebiete der Naturwissenschaften</li> <li>• sind in der Lage, definierte Reinraumbedingungen diesen Anwendungsfällen selbständig zuzuordnen</li> <li>• kennen die Komponenten der Reinraumtechnik und verstehen ihre Auswirkung auf die Qualität eines Reinraumes</li> <li>• sind mit Sicherheitsanforderungen vertraut, kennen spezifische Verhaltensregeln und können diese in der Laborpraxis anwenden</li> <li>• sind zu einem späteren (eingeschränkten) Arbeiten im Reinraum qualifiziert</li> </ul>                                |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel<br>Klausur (120 Min)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• W. Whyte, Cleanroom Technology: Fundamentals of Design, Testing and Operation, Second Edition, Wiley &amp; Sons 2010, ISBN 0-471-86842-6</li> <li>• L. Gail, H.-P.Hortig, Reinraumtechnik, 2. Auflage, Springer 2004, ISBN 3-540-20542-X</li> <li>• L. Geil, U. Gommel, H. Weißsieker, Projektplanung Reinraumtechnik, Hüthig 2009, ISBN 978-3-7785-4004-6</li> <li>• Cleanroom Microbiology for the Non-Microbiologist, David Carlberg, 2nd edition, CRC Press 2004, ISBN 0-8493-1996-X</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>96509 | <b>Digitalisierung in der Energietechnik</b><br>Digitalization in energy technology                           | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: DigitalisierungET-UE (2.0 SWS)<br>Vorlesung: Vorlesung Digitalisierung in der Energietechnik (2.0 SWS) | -<br>5 ECTS   |
| 3 | Lehrende                         | Christian Wondra<br>Dr.-Ing. Dominik Müller<br>Thomas Plankenbühler<br>Julian Nix                             |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Im Rahmen des Moduls wird den Studierenden das Themenfeld der Digitalisierung in der Energietechnik nähergebracht. Hierfür wird in einer sehr praxisbezogenen Ausgestaltung der Lehrveranstaltungen das notwendige Fachwissen für die Vernetzung von Industriesteuerungen und die Datenarchivierung und -Visualisierung vermittelt. Schließlich folgt eine Einführung in die Anwendung von KI-Paketen mittels der Programmiersprache Python.</p> <p>Teil 1 - Einführung / Grundlagen der Mess- und Regelungstechnik<br/> Teil 2 - Grundlagen von SPS-Steuerungen (Historie, Aufbau, Funktion, Programmierung), Aufbau Anlagennetz<br/> Teil 3 - Kommunikationsprotokolle (OPC, OPC-UA, Modbus, CAN. etc.)<br/> Teil 4 - Einführung in SQL<br/> Teil 5 - Regelungskonzept für industrielle Anlagen (Beispiel "Feuerungs-Leistungsregelung")<br/> Teil 6 - Visualisierung &amp; HMI<br/> Teil 7 - Einführung in die KI / Grundlagen Datenmanagement und Explorativer Datenanalyse<br/> Teil 8 - Explorative Datenanalyse und Data Mining<br/> Teil 9 - Machine Learning und einfache Prognosemodelle<br/> Teil 10 - Deep Learning und Neuronale Netze<br/> Teil 11 - Einführung in IT-Sicherheit<br/> Teil 12 - Ausblick in aktuelle Themen des Lehrstuhls /<br/> Zusammenfassung / Fragerunden</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung von stark praxisbezogenem Wissen als Einstieg in den Themenkomplex der Digitalisierung</li> <li>• Überwinden der Berührungängste vor den stark informatiklastigen Querschnittsthemen</li> <li>• Verstehen von Sorgen und Nöten von beteiligtem Personal (Anlagenautomatisierer, IT-Beauftragte, Anlagenfahrer bis hin zur Geschäftsführung) als Einstieg in die Planung und Abwicklung von Digitalisierungsprojekten</li> <li>• Erlernen von Grundlagen in Anlagenkommunikation, Datenspeicherung und Python(KI-Paketen)</li> </ul>   |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152 |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>Mündliche Prüfung (30 Min)                                       |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 90 h                                      |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 |  |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42914 | <b>Process control and plant safety</b>   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic concepts of process and plant safety</li> <li>• Layer model of process and plant safety</li> <li>• Reliability of processes and plants/Risk analysis</li> <li>• Automation systems for process and plant safety</li> <li>• Failure impact analysis</li> <li>• Cyber Security in view of Internet of Things (IoT)</li> <li>• Case studies from (bio-)chemical industries</li> </ul> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | Students will be able identify and analyze risks in process and plant operation and be able to protect equipment, humans and environment from operational hazards. The module provides key concepts and methods to assess risks and to increase operational safety, especially by use of process automation.  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <p><b>Prerequisites</b><br/>Required:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mathematics 1- 3</li> <li>• Statistics</li> </ul> <p>Recommended:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamics and Heat and Mass Transfer</li> <li>• Fluid dynamics</li> <li>• Chemical Reaction Engineering</li> <li>• Bio Process Engineering</li> </ul>  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1;2;3;4   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)   |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |  |

|    |                          |  |
|----|--------------------------|--|
| 16 | <b>Literaturhinweise</b> | Recommended reading: <ul style="list-style-type: none"><li>• SFPE, NFPA, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2008 Hauptmanns, U. (Ed.) Plant and Process Safety, in Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, 8th edition</li><li>• Center for Chemical Process Safety (CCPS) "Guideline for Engineering Design for Process Safety Wiley 2012</li></ul> |
|----|--------------------------|--|



|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45211 | <b>Turbulence I</b><br>Physics of turbulence and turbulence modelling I   | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |               |
| 3 | Lehrende                         | -   |               |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | apl. Prof. Dr. Jovan Jovanovic<br>Prof. Dr. Philipp Schlatter  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>In this lecture, practical methods to compute and analyse general turbulent flows are introduced. The starting point is the Navier-Stokes equations, which are formally derived, and averaged in time. The new terms, arising from the averaging operation, are interpreted physically, and different modelling approaches ("turbulence modelling") are derived, discussed and analysed. The application of the various turbulence models in specific cases such as boundary layers, free jets are discussed in detail.</p> <p>In addition to the modelling, also physical aspects of turbulence are discussed, with specific focus on turbulent boundary layers. Different scaling laws for the mean and fluctuating profiles are introduced, and the effect of roughness is quantified.</p> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>The students...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Can compute general turbulent flows</li> <li>• Can derive relevant equations and perform time averages</li> <li>• May interpret the additional terms due to averaging</li> <li>• Are able to use the discussed turbulence models in practical situations</li> <li>• Are familiar with the near-wall behaviour of turbulence and can estimate common quantities such as skin friction and boundary layer thickness</li> <li>• Can conceptualise the effect of roughness in a turbulent boundary layer</li> </ul>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>oral exam (30 min)   |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in<br/>Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                     | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und<br/>Prüfungssprache</b> | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pope, S.: Turbulence, CUP, 2000</li></ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45221 | <b>Turbulence II</b><br>Physics of turbulence and turbulence modelling II     | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Turbulence II (V) (2.0 SWS)<br>Übung: Turbulence II (UE) (3.0 SWS) | 5 ECTS<br>-   |
| 3 | Lehrende                         | apl. Prof. Dr. Jovan Jovanovic<br>Prof. Dr. Philipp Schlatter                 |               |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | apl. Prof. Dr. Jovan Jovanovic<br>Prof. Dr. Philipp Schlatter  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbulence decomposition (mean flow, turbulent stresses, higher-order moments);</li> <li>• second order moments (anisotropy tensor, invariants);</li> <li>• anisotropy invariant mapping of turbulence in wall-bounded flows;</li> <li>• turbulent viscosity, Prandtl-Kolmogorov formula;</li> <li>• dynamics of turbulence dissipation rate;</li> <li>• two-point correlation technique (locally homogeneous turbulence);</li> <li>• dissipation rate equation (closure model);</li> <li>• velocity-pressure gradient correlations (Poisson equation, Chous integral, slow and fast parts of correlations);</li> <li>• turbulence transport (closure approximation);</li> <li>• predictions (homogeneous shear flows, wall-bounded flows, transitional flows)</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Based on two-point correlations and anisotropy invariants, turbulence modelling will be extended onto the dissipation equation and the velocity-pressure correlation.</p> <p>The students...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Are familiar with the different averaging and analysis methods for turbulence signals</li> <li>• Can derive simple analytical turbulence models, based on eddy viscosity</li> <li>• Can discuss the main contributions to turbulent transport in different shear flows</li> <li>• Are familiar with basic prediction methods for different flow types</li> <li>• Can extract turbulence statistics from simulation and experimental data</li> <li>•</li> </ul>  |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recommended: Fluid Dynamics, Turbulence I</li> </ul>  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |  |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel<br>oral exam (30 min)  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jovanovic, J.: Statistical Dynamics of Turbulence, Springer Verlag, 2004</li> <li>• Hinze, J.O.: Turbulence (2nd edition), McGraw Hill, 1975</li> <li>• Pope, S.: Turbulence, CUP, 2000</li> </ul> |

|   |                                  |   |               |
|---|----------------------------------|---|---------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>94428 | <b>Advanced Bioanalytics</b>                        | <b>5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Advanced Bioanalytics (2.0 SWS)          | 5 ECTS        |
| 3 | Lehrende                         | PD Dr. Anna Becker<br>Prof. Dr. Kathrin Castiglione |               |

|   |  |   |
|---|--|---|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | PD Dr. Anna Becker<br>Prof. Dr. Kathrin Castiglione   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung in die moderne Bioanalytik</li> <li>• Chromatographische und elektrophoretische Analyse von Biomolekülen (z.B. Aminosäuren, Peptide, Proteine, Lipide, Sekundärmetabolite)</li> <li>• Massenspektrometrie von Biomolekülen – Grundlagen der Massenspektrometrie; quantitative, qualitative und Struktur-Analytik</li> <li>• Nucleinsäure-Analytik (Isolierung, Reinigung und Nachweismethoden)</li> <li>• Next Generation Sequencing</li> <li>• Omics-Technologien</li> </ul>   |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen gängige moderne Verfahren der Bioanalytik und deren Anwendungen;</li> <li>• &gt;können für verschiedene Biomoleküle und Fragestellungen geeignete Analyseverfahren vorschlagen;</li> <li>• sind in der Lage, spezielle Anforderungen und Limitationen verschiedener analytischer Technologien richtig einzuschätzen und mögliche Fehlerquellen zu identifizieren.</li> </ul> <p>Durch aktive Teilnahme an dem POL-Seminar werden verschiedene Kompetenzen erworben und gestärkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sach-Kompetenz – Die Studierenden sind in der Lage, eigene Defizite im Fachlichen zu erkennen und diese durch eigenständige Recherche und Lernen schließen.</li> <li>• Methoden- &amp; Medien-Kompetenz – Die Studierenden können mit verschiedenen Medien umgehen und die notwendigen Informationen beschaffen.</li> <li>• Soziale-Kompetenzen – Durch die Arbeit in kleinen Gruppen wird Teamfähigkeit gestärkt.</li> <li>• Problemlöse-Kompetenz – Die Studierenden entwickeln notwendige Fähigkeiten, um die Vorlesungsinhalte auf konkrete praxisrelevante Situationen zu transferieren.</li> </ul> |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Bachelor LSE/CBI  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | keine Einpassung in Studienverlaufsplan hinterlegt!   |
| 9 | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 1.-2. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152<br>WPF MA LSE  |

|    |   |  |
|----|---|--|
|    |   | WPF MA CBI   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Variabel<br><b>Vorlesung:</b><br>Prüfungsleistung, mündliche Prüfung (in Minuten) 30; benotet, 5 ECTS      |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Variabel (100%)<br>Mündliche Prüfung zur Vorlesung (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 45 h<br>Eigenstudium: 105 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <i>Empfohlene Begleitlektüre:</i><br><br>- Lottspeich F., Engels, J.W. Bioanalytik, Springer-Verlag (2012) |

# 3.-4. Wahlpflichtmodul

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45142 | <b>Discrete Element Simulations with laboratory course</b><br>Discrete element simulations with laboratory course   | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Holger Götz  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <p>Particulate systems exhibit fascinating material properties across scales, from micro, to meso and macro. The mechanics of such systems are governed by particle-to-particle interactions, which make their behavior difficult to predict. The Discrete Element Method (DEM) has been used for the past four decades to provide micro-mechanical insights into the properties of granular materials. Albeit simple in terms of formulation, using the DEM requires a good understanding of the principles underlying particulate mechanics and a familiarity with specialized software. The aim of this course is to provide the main features of DEM simulations via a combination of theoretical and practical sessions. The widely used open-source DEM software YADE will be demonstrated for the simulation of granular systems with diverse properties, to achieve hands-on experience. Real applications will be presented, where the DEM can be used to simulate problems from engineering and life sciences, such as the transport and handling soils, food, and biological waste.</p> <p><b><u>Part I: Theory (30%)</u></b></p> <p><b>DEM basics - Key elements of a DEM simulation:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integration of particle motion: Newton's 2nd law</li> <li>• Particles &amp; boundaries: Spheres, facets, walls</li> <li>• Inside an interaction loop: Contact detection, contact geometry, contact law</li> <li>• Material parameters of interest in contact mechanics: Stiffness, friction, damping</li> <li>• Simplifying assumptions of the DEM: Idealized particle shape &amp; contact geometry/physics</li> <li>• When real particles are not spheres: Rolling friction contact models vs explicit modelling</li> <li>• Post-processing: Data at the particle, interaction, and sample scale</li> </ul> <p><b>Computational aspects:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Computational cost vs particle size polydispersity: Fine particles and critical timestep</li> <li>• Density scaling for quasi-static problems</li> <li>• Establishing the size of a Representative Element Volume (REV)</li> <li>• Periodic simulation domains to reduce the REV size</li> </ul> |



- Computational efficiency of single-core vs parallel simulations

**Metrics of model stability:**

- Reaching equilibrated states: Unbalanced force ratio, symmetry of the REV stress tensor
- Mechanical stability: Coordination numbers and porosity

**Part II: Applications (70%)**

**Introduction to YADE:**

- Installation (native/virtual machine) and verification via unit tests and checks
- Interactive Python kernel & Graphic User Interface
- Simple tutorials: Bouncing sphere (two-particle problem) & gravity deposition of a small sample, to explore YADE and model the effects of viscous damping & critical timestep
- Data mining from DEM simulations: How to save/load simulations and results
- Visualization of data in VTK format (Ovito/ParaView)

**Angle of repose (AOR):**

- Cohesionless vs cohesive materials
- Effect of interparticle friction and rolling friction coefficients
- Effect of AOR protocol: Plane-strain vs axisymmetric setups (non-uniqueness of AOR)
- Effect of sample size

**Mechanical properties at the meso scale using an REV:**

- Uniaxial compression (Oedometer test)
- Isotropic compression ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ )
- Triaxial compression:
  - Quantification of shear strength: Macroscopic friction angle & dilatancy
  - Reaching the critical state: Steady-state shearing
  - Conventional triaxial test ( $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ )
  - Test with rigid boundaries vs test in periodic space
  - Test with and without rolling friction: Restricting rotations vs shear strength
  - Test of monodisperse vs light polydisperse vs wide polydisperse PSDs
  - Computational gains and caveats of density scaling for quasi-static systems
  - Shear behavior of dense vs loose systems: porosity and coordination numbers

**Large-scale simulations with minimal effort: Running YADE in batch mode**

- Setting up parametric studies: How to run 100 triaxial tests in 1 hour
- Utilizing the perks of parallel computing: Efficiency of OpenMP vs single-core simulations
- Post-processing of large-scale datasets: When automation becomes the only way

|    |  |  |
|----|--|--|
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Students who successfully participate in this module can:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Understand the physical phenomena behind a DEM simulation</li> <li>• Identify the key parameters influencing a DEM simulation and their effects</li> <li>• Model granular materials with a widely used open-source DEM code</li> <li>• Appreciate the computational cost associated to typical DEM simulations</li> <li>• Collect information on topics of current interest and present the results to the course members orally or in writing</li> </ul>  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Fundamentals of Newtonian physics, Basics of Python and Linux (support will be provided).  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | <p>Praktikumsleistung<br/>Variabel<br/>Examination via a 30' oral exam on the content of the theory, exercises and lab course.<br/>Lab course (Studienleistung): Simulation of granular materials with an open-source DEM code</p>   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Praktikumsleistung (0%)<br>Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | ?? Semester (keine Angaben zur Dauer des Moduls hinterlegt)  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Cundall, P. A., &amp; Strack, O. D. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. <i>Géotechnique</i>, 29(1), 47-65.</li> <li>2) Pöschel, T., &amp; Schwager, T. (2005). <i>Computational granular dynamics: models and algorithms</i>. Springer Science &amp; Business Media.</li> <li>3) O'Sullivan, C. (2011). <i>Particulate discrete element modelling: a geomechanics perspective</i>. CRC Press.</li> <li>4) Thornton, C. (2015). <i>Granular dynamics, contact mechanics and particle system simulations. A DEM study</i>. Particle Technology Series, 24.</li> <li>5) Smilauer, V., Angelidakis, V., Catalano, E., Caulk, R., Chareyre, B., Chèvremont, W., ... &amp; Yuan, C. (2021). <i>YADE Documentation 3rd ed. The Yade Project</i>.</li> </ol> |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42903 | <b>Clean combustion technology with laboratory course</b>   | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr.-Ing. Stefan Will  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einführung in die Verbrennungstechnik: Grundlagen, laminare Flammen, turbulente Flammen, Verbrennungsmodellierung, Schadstoffbildung, Anwendungsbeispiele.</li> <li>Einführung in numerische Simulation von Strömungen mit Verbrennung.</li> </ul> <p>Content:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction to combustion technology: Fundamentals, laminar flames, turbulent flames, conservation equations, modeling of combustion systems, pollutant formation, applications.</li> <li>Introduction in numerical simulation of flows with combustion.</li> </ul>   |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden verfügen über vertiefte Fach- und Methodenkompetenzen im Bereich der Verbrennungstechnik, Verbrennungsmodellierung, Schadstoffbildung und der technischen Anwendungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>können unterschiedliche Flammentypen charakterisieren und realisierte technische Anwendungen hinsichtlich Wirkungsgrad und Emissionen vergleichen und bewerten</li> <li>können die globale Verbrennung sowie einfache Flammen mit thermodynamischen Erhaltungsgleichungen beschreiben</li> <li>sind mit der interdisziplinären Arbeitsweise an der Schnittstelle von Strömungsmechanik, Thermodynamik und Reaktionstechnik vertraut</li> <li>haben Verständnis von Methoden der experimentellen und numerischen Verbrennungsanalyse</li> <li>sind zum Einstieg in die universitäre als auch industrielle Forschung und Entwicklung auf einem aktuellen Themengebiet der Energietechnik befähigt</li> <li>sind mit den neusten Entwicklungen auf dem Gebiet der technischen und motorischen Verbrennungssysteme vertraut</li> </ul> <p>Students will...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>gain in-depth technical and methodological knowledge in combustion technology, combustion modeling, pollutant formation and engineering applications</li> <li>are able to characterize different flame types and evaluate technical applications with respect to efficiency and pollutants</li> <li>can describe global reaction equations as well as simple flames with thermodynamic conservation equations</li> </ul> |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• are familiar with the interdisciplinary approach at the interface of fluid mechanics, thermodynamics and reactive flows</li> <li>• have an understanding of methods of experimental and numerical combustion analysis</li> <li>• are capable of entering university as well as industrial research and development in current topics of energy engineering</li> <li>• are familiar with the development in the field of applicative and engineered combustion systems</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <p>Grundwissen Thermodynamik und Strömungsmechanik hilfreich. Auch für StudentInnen anderer Fachrichtungen geeignet (Chemie, Physik, Mathematik, Maschinenbau, Mechatronik, Computational Engineering).</p> <p>Prerequisites:<br/>Basic Thermodynamics and Fluid Dynamics is helpful. Students of other subjects (Chemistry, Physics, Mathematics, Mechanical Engineering, Mechatronics, Computational Engineering) can also participate.</p>   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>Variabel  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (0%)<br>Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Verbrennung", 3. Auflage, Springer-Verlag, 2001</li> <li>• Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Combustion", 4th Edition, Springer-Verlag, 2006</li> <li>• Joos, F. "Technische Verbrennung", Springer-Verlag, 2006</li> </ul>  |

|   |                                  |  |   |
|---|----------------------------------|--|---|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42950 | <b>Optical diagnostics in energy and process engineering with laboratory course</b>  | <b>7,5 ECTS</b>                                 |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | <p>Vorlesung: Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (2.0 SWS)</p> <p>Übung: CBI-Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (Exercise) (2.0 SWS)</p> <p>Übung: Fragestunde (2.0 SWS)</p> <p>Praktikum: Lab Course in Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (3.0 SWS)</p> | <p>5 ECTS</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>2,5 ECTS</p> |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Franz Huber   |   |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr.-Ing. Franz Huber<br>Prof. Dr.-Ing. Stefan Will  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p><b>Introduction to conventional and novel optical techniques to measure state and process functions in thermodynamical systems:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Properties of light; properties of molecules; Boltzmann distribution</li> <li>• Geometric optics and optical devices</li> <li>• Lasers (HeNe, Nd:YAG, dye, frequency conversion); continuous wave and pulsed lasers</li> <li>• Photoelectric effect; photodetectors (photomultiplier, photodiode, CCD, CMOS, image intensifier); digital image processing; image noise and resolution</li> <li>• Shadowgraphy and Schlieren techniques (flow and mixing)</li> <li>• Elastic light scattering (Mie scattering, Rayleigh thermometry, nanoparticle size and shape, droplet sizing)</li> <li>• Raman scattering (species concentration, temperature, diffusion)</li> <li>• Incandescence (thermal radiation, temperature fields, pyrometry, particle sizing)</li> <li>• Velocimetry (flow fields, velocity)</li> <li>• Absorption (temperature, pressure, species, concentration)</li> <li>• Fluorescence and phosphorescence (temperature, species, concentration)</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Students gain technical and technological skills in the field of optical techniques for the measurement of state and process variables in thermodynamic / energy processes and the investigation of these processes. They</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are familiar with the state of the art and latest developments in optical measurement techniques applied in thermodynamics / energy processes</li> <li>• can assess the applicability of measurement techniques in different environments</li> <li>• can apply different optical measurement techniques in thermodynamic processes and design experiments</li> <li>• can evaluate data gained from optical measurement techniques and assess the quality of data</li> </ul>   |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• know interdisciplinary approaches in the fields of optics, thermodynamics, heat and mass transfer and fluid mechanics</li> <li>• are qualified to perform applied and fundamental research and development tasks in industry and at university in the field of optical measurement techniques for thermodynamic / energy processes</li> <li>•</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Basics in thermodynamics and fluid mechanics. Students of other subjects (Chemical- and Bioengineering, Mechanical Engineering, Life Science Engineering, Energy Technology, Computational Engineering) can participate.  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Praktikumsleistung<br>Variabel  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Praktikumsleistung (0%)<br>Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 75 h<br>Eigenstudium: 150 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecture Slides</li> <li>• Bräuer, Andreas: In situ Spectroscopic Techniques at High Pressure, Amsterdam 2015</li> </ul>  |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>44660 | <b>Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Ingenieurwesen</b><br>Machine learning and artificial intelligence in engineering  | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|   |                                  |   |
|---|----------------------------------|---|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | PD Dr. Patric Müller  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Die Vorlesungen und Übungen vermitteln ausgewählte Algorithmen aus den Bereichen maschinelles Lernen (ML) und künstliche Intelligenz (KI) auf Grundlagenniveau und illustrieren diese anhand von relevanten Anwendungsbeispielen. Besprochen werden unter anderem die folgenden Themengebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineare und logistische Regression</li> <li>• Regularisierung</li> <li>• Neuronale Netze</li> <li>• Support Vector Machines</li> <li>• Clustering</li> <li>• Dimensionsreduktion</li> <li>• Anomaly Detection</li> <li>• Reinforcement Learning</li> </ul> <p>Im Praktikum werden die Inhalte von Vorlesung und Übung durch aktuelle Spezialthemen ergänzt und vertieft. Mögliche Themen sind z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convolutional Neural networks</li> <li>• Generative Adversarial Networks</li> <li>• Genetic Algorithms</li> <li>• Optimization</li> <li>• Physics Informed Neural Networks</li> <li>• Machine Learning Forecasting</li> <li>• AI-based Image Segmentation</li> <li>• DeepTrack: Using CNNs to Track Particles</li> <li>• Automated Machine Learning</li> <li>• Deep Learning Interpretability</li> <li>• Swarm Intelligence</li> <li>• Visualization of Machine Learning Methods</li> <li>• Informed Reinforcement Learning</li> </ul> |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studentinnen und Studenten verstehen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• was sich hinter den Schlagworten KI und ML verbirgt</li> <li>• verstehen wichtige Algorithmen aus den Bereichen KI und ML und können diese in Ihrer einfachsten Form selbst implementieren</li> <li>• kennen typische, im Bereich der Verfahrenstechnik relevante Anwendungsbeispiele von KI und ML</li> <li>• verstehen a) was KI und ML leisten kann und b) wo KI und ML im eigenen Fachbereich angewendet werden können</li> </ul>  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• sind fähig, sich speziellere KI- und ML-Algorithmen und Anwendungen eigenständig zu erschließen</li> <li>• sind in der Lage die hochaktuellen Themen KI und ML mit solidem Hintergrundwissen zu diskutieren und zu bewerten</li> <li>• kennen einige für KI und ML wichtige Software-Tools (z.B. Python und Tensorflow) und können damit einfache Aufgaben bearbeiten.</li> </ul>  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Praktikumsleistung<br>Variabel (90 Minuten)   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Praktikumsleistung (0%)<br>Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 60 h<br>Eigenstudium: 165 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hastie, Tibshirani, Friedman, The elements of statistical learning</li> <li>• Wolfgang Ertel, Grundkurs künstliche Intelligenz</li> <li>• Kelleher, MacNamee, DArCy, Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies - Goodfellow, Bengio, Courville, Deep Learning</li> <li>• Aurelien Geron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems</li> </ul> |



|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>44970 | <b>Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und Energietechnik mit Praktikum</b><br>Thermophysical properties of working materials in process and energy engineering (with laboratory course) | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen.                                     |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|   |                               |  |  |
|---|-------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b> | Dr.-Ing. Thomas Manfred Koller   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedeutung von Stoffdaten in der Verfahrens- und Energietechnik</li> <li>• Gleichgewichtseigenschaften zur Charakterisierung von Arbeitsstoffen, z.B. in Form der thermodynamischen Zustandseigenschaften und -größen Dichte, innere Energie, Enthalpie, Entropie, spezifische Wärmekapazität, Schallgeschwindigkeit, Brechungsindex, Oberflächen- und Grenzflächenspannung</li> <li>• Transporteigenschaften zur Charakterisierung des molekularen Masse-, Energie- und Impulstransportes, z.B. Viskosität, Diffusionskoeffizient, Soret-Koeffizient, Thermodiffusionskoeffizient, Wärme- und Temperaturleitfähigkeit</li> <li>• Anwendungsbezogene Stoffdatenrecherche in der wissenschaftlichen Literatur, Tabellenwerken und Datenbanken</li> <li>• Korrelationen und Vorhersagemethoden für Stoffeigenschaften</li> <li>• Methoden zur experimentellen Bestimmung und prozessbegleitenden Messung von Stoffdaten, insbesondere durch moderne laseroptische Techniken</li> <li>• Grundzüge der theoretischen Bestimmung von Stoffdaten mit Hilfe der molekularen Modellierung</li> <li>• Aufstellung von thermischen und kalorischen Zustandsgleichungen</li> <li>• Im Rahmen des Praktikums werden an 10 Terminen verschiedene praktische Aspekte im Zusammenhang mit Stoffdaten behandelt. Dabei werden z.B. die Bestimmung von Viskosität und Diffusionskoeffizient mittels Dynamischer Lichtstreuung und die Analyse der entsprechenden Größen mittels molekularer Modellierung sowie die Charakterisierung von maßgeschneiderten Arbeitsfluiden für Hochtemperaturwärmepumpensysteme und Organic Rankine Cycles über die Erstellung einer Zustandsgleichung demonstriert. Zudem führen die Studierenden in 4 Fällen selbständig Versuchsauswertungen bzw. Datenanalysen durch.</li> </ul> |  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   | <p><b>*Content*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The importance of thermophysical properties in process and energy engineering</li> <li>• Equilibrium properties for the characterization of working materials, e.g., in the form of thermodynamic properties of state and other equilibrium properties such as density, internal energy, enthalpy, entropy, specific heat capacity, sound speed, refractive index, surface or interfacial tension, etc.</li> <li>• Transport properties for the characterization of molecular transfer of mass, energy, and momentum, e.g. diffusion coefficients, Soret coefficient, thermal diffusion coefficient, thermal conductivity, thermal diffusivity, and viscosity</li> <li>• Use-oriented inquiry of thermophysical property data in scientific literature, table compilations, and databases</li> <li>• Correlation and prediction of thermophysical properties</li> <li>• Methods for experimental determination and in-process measurement of thermophysical properties, in particular by laser-optical techniques</li> <li>• Basics of the theoretical prediction of thermophysical properties by molecular modeling</li> <li>• Development of thermal and caloric equations of state</li> <li>• In the lab course, several practical aspects in context with thermophysical properties will be treated within 10 events. Here, for example, the determination of viscosity and diffusion coefficients by Dynamic Light Scattering, the evaluation of the same properties by molecular modeling, and the characterization of tailor-made working fluids for high-temperature heat pump systems and Organic Rankine Cycles by the development of equations of state will be demonstrated. In context with 4 of these events, the students will perform data evaluations and analyses.</li> </ul> |
| 6 | <p><b>Lernziele und Kompetenzen</b></p> | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sind mit der Bedeutung von Stoffdaten in der Verfahrens- und Energietechnik in Form von Gleichgewichts- und Transporteigenschaften vertraut,</li> <li>• verwenden verschiedene Bezugsquellen für Stoffeigenschaften (Recherche in wissenschaftlicher Literatur, Tabellenwerken und Datenbanken; Korrelationen und Vorhersagemethoden; theoretische und experimentelle Bestimmung) eigenständig und wählen diese bedarfsgerecht und abhängig vom resultierenden Nutzen und Aufwand aus,</li> <li>• kennen die Herangehensweisen zur Korrelation und Vorhersage von Stoffeigenschaften sowie zur Aufstellung von thermischen und kalorischen Zustandsgleichungen und übertragen diese Herangehensweisen auf andere Stoffe,</li> <li>• sind mit experimentellen Methoden zur Stoffdatenbestimmung vertraut, insbesondere mit laseroptischen Messtechniken,</li> <li>• verstehen die Grundzüge der molekularen Modellierung zur theoretischen Bestimmung von Stoffdaten,</li> </ul>   |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>wählen Arbeitsmedien mit definierten Stoffeigenschaften für eine optimierte Gestaltung von Verfahren und Prozessen der Energie- und Verfahrenstechnik aus und</li> <li>Die Studierenden führen selbständig Praktikumsversuche durch, indem sie beispielsweise Diffusionskoeffizienten mittels Dynamischer Lichtstreuung bestimmen und mittels molekularer Modellierung analysieren, Viskositäten und Grenzflächenspannungen mit optischen und konventionellen Methoden messen sowie maßgeschneiderte Arbeitsfluide für Hochtemperaturwärmepumpensysteme und Organic Rankine Cycles über die Erstellung einer Zustandsgleichung charakterisieren.</li> </ul> <p>*Education objectives and competences*</p> <p>The students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>are aware of the importance of thermophysical properties in process and energy engineering in the form of equilibrium and transport properties,</li> <li>use various sources for thermophysical properties (scientific literature, table compilations, databases, correlations, predictions, theoretical and experimental determination) independently and select the respective sources in a use-oriented way considering the resulting effort and benefit,</li> <li>know the approaches for the correlation and prediction of thermophysical properties as well as for developing equations of state, and are able to transfer these approaches to other systems,</li> <li>are familiar with experimental methods for the determination of thermophysical properties, in particular with laser-optical methods,</li> <li>understand the basics of the use of molecular modeling for the theoretical determination of thermophysical properties,</li> <li>select working materials with defined thermophysical properties for an optimized design of processes in energy and process engineering, and</li> <li>conduct experiments independently by, e.g., determining diffusion coefficients using Dynamic Light Scattering, evaluating the same properties by molecular modeling, measuring viscosities and interfacial tensions by optical and conventional methods, and characterizing tailor-made working fluids for high-temperature heat pump systems and Organic Rankine Cycles by the development of equations of state.</li> </ul> |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <p>Grundkenntnisse der Technischen Thermodynamik sowie der Wärme-, Stoff- und Impulsübertragung</p> <p>Basic knowledge on Engineering Thermodynamics as well as heat, mass, and momentum transfer</p>   |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1;2;3;4   |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>        | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | Praktikumsleistung<br>schriftlich oder mündlich  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Praktikumsleistung (0%)<br>schriftlich oder mündlich (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• R. C. Reid, J. M. Prausnitz, B. E. Poling, The properties of gases and liquids, McGraw Hill Book Co., New York, 1987</li> <li>• Recommended Reference Materials for the Realization of Physicochemical Properties, K. N. Marsh (ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1987</li> <li>• Measurement of the Transport Properties of Fluids, W. A. Wakeham, A. Nagashima, and J. V. Sengers (eds.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1991</li> <li>• R. Haberlandt, S. Fritzsche, G. Peinel, K. Heinzinger, Molekulardynamik: Grundlagen und Anwendungen, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1995</li> <li>• R. W. Kunz, Molecular Modelling für Anwender, Teubner, Stuttgart 1997</li> <li>• M. J. Assael, J. P. M. Trusler, T. F. Tsoakis, Thermophysical Properties of Fluids, Imperial College Press, London, 1996</li> <li>• Transport Properties of Fluids, J. Millat, J. H. Dymond, and C. A. Nieto de Castro (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 1996</li> <li>• J. M. Haile, Molecular Dynamics Simulation: Elementary Methods, John Wiley &amp; Sons, Inc., Canada, 1997</li> <li>• G. Grimvall, Thermophysical Properties of Materials, Elsevier, Amsterdam, 1999</li> <li>• J. A. Wesselingh, R. Krishna, Mass Transfer in Multicomponent Mixtures, Delft University Press, Delft, The Netherlands, 2000</li> <li>• Equations of State for Fluids and Fluid Mixtures, J. V. Sengers, R. F. Kayser, C. J. Peters, and H. J. White, Jr. (eds.), Elsevier, Amsterdam 2000</li> <li>• Measurement of the Thermodynamic Properties of Single Phases, A. R. H. Goodwin, K. N. Marsh, and W. A. Wakeham (eds.), Elsevier, Amsterdam 2003</li> <li>• Diffusion in Condensed Matter, P. Heitjans and J. Kärger (eds.), Springer, New York 2005</li> <li>• R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, Transport Phenomena, John Wiley &amp; Sons, Inc., U.S.A., 2007</li> </ul> |

- C. L. Yaws, Thermophysical Properties of Chemicals and Hydrocarbons, William Andrew, Inc., Norwich, 2008
- Applied Thermodynamics of Fluids, A. R. H. Goodwin, J. V. Sengers, C. J. Peters (eds.), Elsevier, Amsterdam, 2010
- Experimental Thermodynamics Volume IX: Advances in Transport Properties of Fluids, M. J. Assael, A. R. H. Goodwin, V. Vesovic, and W. A. Wakeham (eds.), Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2014

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45046 | <b>Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization with laboratory course</b>   | <b>7,5 ECTS</b>                        |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | <p>Vorlesung: Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (2.0 SWS)</p> <p>Übung: Übung Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (1.0 SWS)</p> <p>Praktikum: Praktikum Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (3.0 SWS)</p> | <p>5 ECTS</p> <p>-</p> <p>2,5 ECTS</p> |
| 3 | Lehrende                         | <p>Prof. Dr. Martin Hartmann</p> <p>Dr. Florian Wisser</p> <p>Dr. Dorothea Wisser</p> <p>Dr.-Ing. Marcus Fischer</p>  |  |

|   |                                  |  |
|---|----------------------------------|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr. Martin Hartmann  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>In diesem Modul sollen wichtige spektroskopische Verfahren und ihre Anwendungsbereiche vorgestellt werden. Im ersten Teil der Veranstaltung wird eine kurze Einführung in die molekularen Grundlagen sowie der Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung gegeben. Zunächst werden die Prinzipien der Methoden zur Strukturaufklärung auf molekularer Ebene besprochen, insbesondere der Resonanzmethoden wie Kernresonanz- (NMR-), Elektronenspinresonanz- (ESR-) Ultraviolett- (UV-), Infrarot- (IR-) und Raman-Spektroskopie. Im zweiten Teil der Veranstaltung wird die Charakterisierung von technischen Katalysatoren und Adsorbenten vorwiegend mittels Festkörper-NMR-Spektroskopie und ESR-Spektroskopie (unter Einbeziehung von IR- und UV-Spektroskopie) anhand verschiedener Beispiele konkret geübt. Dabei werden neben den Grundlagen der Spektroskopie von Feststoffen auch die verschiedenen Aspekte der In-situ-(Operando)-Spektroskopie und der Prozessanalytik mittels spektroskopischer Methoden konkreter vorgestellt. Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls sind Vorlesungen, Übungen und ein Praktikum. In den Vorlesungen werden die erforderlichen theoretischen Grundlagen für das Verständnis spektroskopischer Methoden vermittelt. Eng mit dem Vorlesungsstoff verzahnt werden in den Übungsgruppen und im Praktikum die Fähigkeit zur Aufnahme und Interpretation realer Spektren an Hand von Beispielen aus der Technik (z.B. Zeolithe, geträgerte Metallkatalysatoren, immobilisierte Enzyme) geübt.</p> |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>verstehen die molekularen Grundlagen sowie der Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung</li> <li>kennen die wichtigsten spektroskopischen Methoden und ihre Anwendung zur Charakterisierung von technischen Feststoffen, insbesondere Resonanzmethoden wie</li> </ul>   |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <p>Kernresonanz- (NMR-), Elektronenspinresonanz- (ESR-) Ultraviolett- (UV-), Infrarot- (IR-) und Raman-Spektroskopie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>wenden die theoretischen Aspekte in vielfältigen spezielleren, aber auch kombinierten Übungen zur Charakterisierung von technischen Katalysatoren und Adsorbenten mittels Festkörper-NMR-Spektroskopie und ESR-Spektroskopie (unter Einbeziehung von IR- und UV-Spektroskopie) an</li> <li>können Spektren selbstständig aufnehmen und an Hand von Beispielen aus der Technik (z.B. Zeolithe, geträgerte Metallkatalysatoren, immobilisierte Enzyme) interpretieren und die Ergebnisse kritisch bewerten</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | <p>schriftlich oder mündlich<br/> Praktikumsleistung<br/> mündliche Prüfung (30 min)<br/> Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht</p>   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | <p>schriftlich oder mündlich (100%)<br/> Praktikumsleistung (0%)<br/> Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)</p>  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | <p>Präsenzzeit: 90 h<br/> Eigenstudium: 135 h</p>   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Spectroscopy in Catalysis An Introduction, J. Niemantsverdriet, 2007</li> <li>Characterization of Solid Materials and Heterogeneous Catalysts, M. Che, J.C. Vadrine (Eds.), Wiley-VCH 2012</li> </ul>  |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45070 | <b>Hochdrucktrenntechnik mit Praktikum</b><br>High-pressure separation technologies (with laboratory) | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Vorlesung: Hochdrucktrenntechnik (VL) (2.0 SWS)   | 5 ECTS          |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Martin Drescher<br>Dr.-Ing. Detlef Freitag   |                 |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Dr.-Ing. Martin Drescher   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                            | <p>Vorstellung moderner Hochdrucktrennverfahren. Im ersten Teil des Moduls werden Thermodynamik, Fluidodynamik und Transportprozesse in Hochdrucksystemen behandelt. Hierbei wird insbesondere auf die technischen Anwendungsmöglichkeiten, die sich aus den speziellen Eigenschaften der Hochdrucksysteme ergeben, eingegangen. Im Weiteren werden Trennverfahren zur Gewinnung von Wertstoffen aus festen Ausgangsprodukten (z.B. Hopfen, Kaffee, Gewürze) und Flüssigkeiten vorgestellt. Abschließend werden integrierte und kombinierte Prozesse behandelt, bei denen die Trennung mit modernen Verfahren zur Produktkonfektionierung oder zur Energierückgewinnung enthalten sind. Im praktischen Teil des Moduls werden Hochdruck-Phasengleichgewichte an einem Hochdruckautoklaven gemessen. Die gemessenen Werte (Gasvolumina, Temperaturen,...) werden für weitere Berechnungen und Auftragungen (evtl. incl. einer kleinen Fehlerabschätzung) im Laufe des Labors umgesetzt.</p>                                       |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Lern- bzw. Methodenkompetenz<br/>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• haben umfassende Kenntnisse im Bereich der nahe- und überkritischen Fluide, Phasengleichgewichte bei hohen Drücken und deren Anwendung in verfahrenstechnischen Anlagen zur Stofftrennung, der chem. Synthese bzw. der Behandlung von Materialien unter Hochdruck.</li> <li>• kennen die wichtigsten kommerziell betriebenen Anwendungen wie z.B. die Hochdruck-extraktion (z.B. Hopfen) und Polymerisation (Polyethylen) im Detail.</li> <li>• sind in der Lage verfahrenstechnische Konzepte für Aufgaben der Stofftrennung bzw. Produktkonfektionierung zu entwickeln, geeignete Prozessparameter (Druck, Temperatur) auszuwählen und die erforderlichen Berechnungen (Stoffbilanzen, Reaktionsausbeuten) durchzuführen.</li> <li>• kennen das hohe Anwendungspotential überkritischer Fluide in Zukunftstechnologien wie z.B. bei den Partikelsyntheseverfahren und können entsprechende Prozesse konzipieren.</li> </ul> |  |
| 7 | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Grundkenntnisse in Physikalischer Chemie und Chemischer Thermodynamik dringend empfohlen!  |  |
| 8 | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |  |



|    |   |   |
|----|---|---|
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>        | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>  | mündlich (30 Minuten)<br>Praktikumsleistung   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Vertiefend neben dem vorlesungsbegleitendem Material:<br><br>G. Brunner, Gas Extraction,<br><br>Steinkopff, Darmstadt, Springer New York, 1994<br><br>E. Stahl, K.-W. Quirin, D. Gerard, Verdichtete Gase zur Extraktion und Raffination,<br><br>Springer Verlag 1987<br><br>M.B. King, T.R. Bott, Extraction of Natural Products using Near- Critical Solvents,<br><br>Chapmann & Hall 1993<br><br>R. Eggers (Hrsg), Industrial high pressure applications, Wiley-VCH, Weinheim 2012 |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45190 | <b>Umweltbioverfahrenstechnik</b><br>Biological and environmental process engineering   | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr. Roman Breiter   |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoffströme in biotechnologischen Prozessen der Reinigung von Wasser, Boden und Luft.</li> <li>• Substratabbau und Wachstum (Trophieebenen, Energieproduktion, Zellsynthese, Schlammalter, endogener Abbau, Massenbilanzen)</li> <li>• Zusammensetzung von Abwasser (Chemische Zusammensetzung von Partikeln und gelösten Stoffen, Kenngrößen für die Abwasserreinigung)</li> <li>• Legislativer Hintergrund (Wasserhaushaltsgesetz, Abwassersatzungen, Direkt- und Indirekteinleitung, Grenzwerte)</li> <li>• Mechanische Vorbehandlung von Abwasser (Siebe, Sandfang, Klärer)</li> <li>• Vorgänge in natürlichen und belüfteten Teichsystemen (physikalische und biologische Belüftung, natürliche biologische Prozesse in Wasser und Sediment)</li> <li>• Land treatment und Land application (Rieselfelder, Infiltrationen, Melioration)</li> <li>• Pflanzenkläranlagen, Free Wetland Systems FWS, Vertical Submerged Beds VSB (Design, Reinigungsprinzipien)</li> <li>• Abwasserbehandlung mit suspendierter Biomasse (Turmbiologie, Biohochreaktor, Belebtschlammverfahren, Verweilzeiten)</li> <li>• Abwasserbehandlung mit sessiler Biomasse (Rotating Biological Contactor RBC, Membranbiologische Verfahren, Tropfkörper)</li> <li>• Stickstoffeliminierung, Nitrifikation, Denitrifikation, N-Spezies und Belüftung)</li> <li>• Phosphateliminierung (Chemische Verfahren, enhanced biological phosphate removal processes EBPR, A/O-Verfahren und Phostrip-Prozess)</li> <li>• Hygienisierung (Legislative Anforderungen, humanpathogene Organismen und Viren, CT-Konzept, Ozonierung und UV-Behandlung)</li> <li>• Anaerobe Verfahren der Schlamm- und Abwasserbehandlung</li> <li>• Boden- und Grundwassersanierung (Gesetzeslage, Natural Attenuation, pump-and-treat-Verfahren)</li> </ul> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | Die Studierenden  |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• derivieren die Identifikation von Stoffströmen im Umweltschutz aus dem Grundprinzip der Dekontamination und Reinigung, nachdem neben den gereinigten Umweltmedien Boden, Wasser und Luft nur untoxische Produkte und inerte, untoxische Rückstände entstehen dürfen</li> <li>• erkennen den Zusammenhang zwischen der Weiterentwicklung umwelttechnischer Anlagen und gesetzlichen Regelungen</li> <li>• wenden Grundlagen des Substratabbaus, Biomassenwachstums und der Verfügbarkeit von terminalen Elektronenakzeptoren auf biologische Prozesse in natürlichen, aquatischen Systemen an und</li> <li>• können diese natürlichen Prozesse ingenieurstechnisch für die Abwasserreinigung und Grundwassersanierung optimieren und intensivieren</li> <li>• verstehen die Grundlagen der C-, N- und P-Eliminierung und wenden diese auf komplexere Systeme mit mineralischen und organischen Feststoffen sowie gelöste Substanzen in aquatischen Systemen an</li> <li>• leiten Verfahrensvarianten bei geänderten Randbedingungen (Frachten, Konzentrationen, Zusammensetzung, Belüftung) ab</li> <li>• übertragen Kenntnisse von Prozessen im Biofilm (Diffusion, Substratabbau, Limitierungen) auf Prozesse mit den für die Abwasserreinigung typischen, natürlichen Randbedingungen (Mischpopulationen, Zonen verschiedener Elektronenakzeptoren, Makrofauna)</li> <li>• verknüpfen die Grundlagen anaeroben Schadstoffabbaus in Biozönosen mit dem Design von anaeroben Behandlungsanlagen für Schlamm und Abwasser</li> <li>• reflektieren aktuelle Entwicklungen der Sanierung von Boden und Grundwasser anhand von am Lehrstuhl durchgeführten Projekten</li> <li>• führen selbständig Laborexperimente aus aktuellen Themen des Lerngebietes durch</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundkenntnisse der aquatischen Chemie</li> <li>• Grundkenntnisse der Mikrobiologie</li> </ul>   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Praktikumsleistung<br>Variabel (30 Minuten)   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Praktikumsleistung (0%)<br>Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"><li>• Die englischsprachigen, teilweise durch deutsche Texte ergänzten Unterlagen stehen auf der Studon-Plattform zur Verfügung.</li><li>• Umfangreiche englischsprachige Tafelanschrift</li></ul> |

|   |                                  |   |                         |
|---|----------------------------------|---|-------------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45230 | <b>Rheologie / Rheometrie mit Praktikum</b><br>Rheology/Rheometry (with laboratory)   | <b>7,5 ECTS</b>         |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Rheologie/Rheometrie - Übung (1.0 SWS)<br>Praktikum: Rheologie/Rheometrie - Praktikum (3.0 SWS)<br>Vorlesung: Rheologie/Rheometrie (2.0 SWS) | -<br>2,5 ECTS<br>5 ECTS |
| 3 | Lehrende                         | Sharadwata Pan<br>Prof. Dr. Andreas Wierschem<br>Markus Neuner  |                         |

|   |                                  |  |  |
|---|----------------------------------|--|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Prof. Dr. Andreas Wierschem  |  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <p>Rheologie beschäftigt sich mit dem Verformungs- und Fließverhalten von Stoffen. Sie konzentriert sich vor allem auf das Materialverhalten komplexer Materie. Dazu gehören nahezu alle Materialien biologischen Ursprungs wie Zellen, Gewebe, Körperflüssigkeiten, Biopolymere und Proteine aber auch die meisten chemischen Systeme wie allgemein Polymerschmelzen und Lösungen, Suspensionen, Emulsionen, Schäume oder Gele. Bei der Entwicklung ingenieurwissenschaftlicher Lösungen sind diese Kenntnisse bzw. deren messtechnische Erfassung von entscheidender Bedeutung. Dies beinhaltet die Bestimmung rheologischer Eigenschaften neuer Materialien aber auch biologischer Systeme, deren Veränderungen bei Krankheiten bzw. deren medikamentöser Behandlung. Es ist unerlässlich bei der Auslegung verfahrenstechnischer Anlagen (z.B. Druckverlust, Auswahl eines Rührorgans, Pumpen, Belastungsgrenzen von Zellen z.B. bei 3D-Druck oder in Bioreaktoren, etc.), der Prozesskontrolle (z.B. beim Drucken, Beschichten, Lackieren, Sprühen, Extrudieren, Etikettieren) bis hin zu den Qualitätsanforderungen des Produkts (Lebensmitteln, Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln, etc.).</p> <p>Im Rahmen des Moduls Rheologie/Rheometrie werden die Fließ- und Deformationseigenschaften bei konstanten und zeitabhängigen Beanspruchungen behandelt. Neben empirischen Fließgesetzen wird der Einfluss der Mikrostruktur auf das rheologische Verhalten der Stoffe dargestellt. Zudem werden die entsprechenden Messmethoden (rheometrisch, Online-, Inline-Viskosimeter, rheooptisch) und Einflüsse typischer Messfehler, deren Vermeidung bzw. Korrektur vorgestellt. Studierende werden dabei angeleitet, das erhaltene Wissen anzuwenden, rheologische Problemstellungen zu bewerten und Lösungen zu entwickeln. Darüber hinaus werden sie mit unterschiedlichen rheologischen Messsystemen und methoden vertraut.</p> |  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Das Modul bietet eine systematische Einführung in die Rheologie und Rheometrie. Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können die Bedeutung der Rheologie sowohl im Alltag als auch bei industriellen Prozessen nachvollziehen</li> <li>• verfügen über einen Überblick über die verschiedenen grundlegenden rheologischen Phänomene</li> <li>• entwickeln ein konzeptionelles Verständnis für die wesentlichen rheologischen Phänomene</li> </ul>  |  |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• können die erworbenen Grundkenntnisse mit eingeübten Methoden und Vorgehensweisen an Hand von Beispielen praktisch anwenden</li> <li>• sind fähig, rheologische Problemstellungen zu bewerten und Lösungswege anwenden</li> <li>• verstehen die Zusammenhänge zwischen integralen Größen der Messgeräte und rheologischen Messgrößen</li> <li>• können geeignete Messmethoden auswählen und anwenden; erkennen und beheben typische Messfehler.</li> </ul>   |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Grundwissen in Strömungsmechanik bzw. Thermofluiddynamik der Biotechnologie.  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>Praktikumsleistung<br>mündliche Prüfung (30 Min)<br>Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)<br>Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C. W. Macosko: Rheology - Principles, Measurement and Application, Wiley-VCH (1994)</li> <li>• F. A. Morrison: Understanding Rheology, Oxford Univ. Press (2001)</li> <li>• J. F. Steffe: Rheological Methods in Food Process Engineering, Freeman (1996)</li> <li>• T. G. Mezger: Das Rheologie Handbuch, 5th ed., Vincentz (2016)</li> <li>• H. A. Barnes, J. F. Hutton, K. Walters: An Introduction to Rheology, Elsevier (1989)</li> <li>• R. G. Larson: The Structure and Rheology of Complex Fluids, Oxford (1999)</li> <li>• T. F. Tadros: Rheology of Dispersions, Wiley-VCH (2010)</li> <li>• T. A. Witten: Structured fluids, Oxford (2004)</li> <li>• P. Coussot: Rheometry of Pastes, Suspensions, and Granular Materials, Wiley (2005)</li> </ul> |

- M. Pahl, W. Gleißle, H.-M, Laun: Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere, 4. Auflage, VDI-Verlag (1995)
- D. Weipert, H.-D. Tscheuschner, E. Windhab: Rheologie der Lebensmittel, Behrs Verlag (1993)
- M. A. Rao: Rheology of fluid and semisolid foods, 3rd ed., Springer
- J. W. Goodwin, R. W. Hughes: Rheology for Chemists, RSC Publishing (2008)
- D. Lerche, R. Miller, M. Schäffler: Dispersionseigenschaften, 2D-Rheologie, 3D-Rheologie, Stabilität (2015)
- G. G. Fuller: Optical Rheometry of Complex Fluids, Oxford Univ. Press (1995)

|   |                                  |  |   |
|---|----------------------------------|--|---|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45300 | <b>Messmethoden der Thermodynamik</b><br>Measurement techniques in thermodynamics (with laboratory)  | <b>7,5 ECTS</b>                                 |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | <p>Vorlesung: Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (2.0 SWS)</p> <p>Übung: Fragestunde (2.0 SWS)</p> <p>Übung: CBI-Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (Exercise) (2.0 SWS)</p> <p>Praktikum: Lab Course in Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (3.0 SWS)</p> | <p>5 ECTS</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>2,5 ECTS</p> |
| 3 | Lehrende                         | Dr.-Ing. Franz Huber   |   |

|   |                                  |   |
|---|----------------------------------|---|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr.-Ing. Franz Huber<br>Prof. Dr.-Ing. Stefan Will  |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• properties of light; properties of molecules; Boltzmann distribution;</li> <li>• geometric optics; lasers (HeNe, Nd:YAG, dye, frequency conversion); continuous wave and pulsed lasers;</li> <li>• photoelectric effect; photodetectors (photomultiplier, photodiode, CCD, CMOS, image intensifier); digital image processing; image noise and resolution;</li> <li>• shadowgraphy and schlieren techniques;</li> <li>• elastic light scattering (Mie scattering, Rayleigh thermometry, nanoparticle size and shape, droplet sizing);</li> <li>• Raman scattering (species concentration, temperature, diffusion);</li> <li>• incandescence (thermal radiation, pyrometry, particles);</li> <li>• velocimetry (flow fields);</li> <li>• absorption, fluorescence (temperature, species, concentration)</li> </ul>  |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>Students gain technical and technological skills in the field of optical techniques for the measurement of state and process variables in thermodynamic / energy processes and the investigation of these processes. They</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• are familiar with the state of the art and latest developments in optical measurement techniques applied in thermodynamics / energy processes</li> <li>• can assess the applicability of measurement techniques in different environments</li> <li>• can apply different optical measurement techniques in thermodynamic processes and design experiments</li> <li>• can evaluate data gained from optical measurement techniques and assess the quality of data</li> <li>• know interdisciplinary approaches in the fields of optics, thermodynamics, heat and mass transfer and fluid mechanics</li> <li>• are qualified to perform applied and fundamental research and development tasks in industry and at university in the field of</li> </ul> |



|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  | optical measurement techniques for thermodynamic / energy processes  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Basics in thermodynamics and fluid mechanics. Students of other subjects (Chemical- and Bioengineering, Mechanical Engineering, Life Science Engineering, Energy Technology, Computational Engineering) can participate. |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | schriftlich oder mündlich<br>Praktikumsleistung  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | schriftlich oder mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 75 h<br>Eigenstudium: 150 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecture Slides</li> <li>• Bräuer, Andreas: In situ Spectroscopic Techniques at High Pressure, Amsterdam 2015</li> </ul>   |

|   |                                  |  |                  |
|---|----------------------------------|--|------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45336 | <b>Trocknungstechnik mit Praktikum</b><br>Drying technology with laboratory course   | <b>7,5 ECTS</b>  |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Übung: Übung Trocknungstechnik (2.0 SWS)<br>Vorlesung: Trocknungstechnik/Drying Technology (2.0 SWS)<br>Praktikum: Trocknungstechnik Praktikum (3.0 SWS) | -<br>5 ECTS<br>- |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück  |                  |

|    |  |  |  |
|----|--|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück  |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen und Ziele der Trocknungstechnik</li> <li>• Zusammenspiel Materialeigenschaften, Prozessbedingungen, Produkteigenschaften</li> <li>• Mechanische Trocknungsverfahren (Filtration, Sedimentation)</li> <li>• Diffusionskontrollierte Trocknungsverfahren</li> <li>• Konvektive Trocknungsverfahren: Grundlagen</li> <li>• Sprühtrocknung</li> <li>• Wirbelschichttrocknung</li> <li>• Modellierung von Trocknungsprozessen und Apparetauslegung</li> </ul>   |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sind mit den Grundlagen der diffusionslimitierten und konvektiven Trocknung vertraut;</li> <li>• können anhand von Materialeigenschaften kinetische und kapazitive Prozessgrenzen ableiten;</li> <li>• können verschiedene Trocknungsverfahren klassifizieren und den Anwendungsbereich beurteilen;</li> <li>• sind fähig, verschiedene Prozessvarianten vergleichend gegenüberzustellen;</li> <li>• können mit Hilfe vorgestellter Prozessmodelle, Trocknungsprozesse beschreiben und auslegen;</li> </ul> <p>können das erlernte Wissen an Hand ausgewählter Beispiele praktisch umsetzen.</p> |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Praktikumsleistung<br>Variabel<br>Mündliche Prüfung (30 Min) und Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht.   |  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | Praktikumsleistung (0%)<br>Variabel (100%)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Wintersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch  |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | 1. O. Krischer, W. Kast: Trocknungstechnik: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Springer-Verlag, 2014<br>2. A.S. Mujumdar (Ed.): Handbook of Industrial Drying, CRC Press, 2013 Gehrman, Esper, Schuchmann: Trocknungstechnik in der Lebensmittelindustrie, Behrs G mbH, 2009. |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45341 | <b>Fluid-Feststoff-Strömungen mit Praktikum</b><br>Solid-liquid two phase flow with laboratory  | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>Im Rahmen des Moduls "Fluid-Feststoff-Strömungen" soll gezeigt werden, daß die Beschreibung von komplexen Strömungen auch mit einfachen Methoden möglich ist. Anhand der theoretischen Auslegung einer pneumatischen Förderung wird die Problematik unterschiedlicher Strömungszustände aufgezeigt. Darauf aufbauend wird mit einfachen Massen- und Kräftebilanzen der Strömungszustand für die entmischte vertikale Gas-Feststoff-Strömung bestimmt. Damit ist es möglich, das Betriebsverhalten von vertikalen Fluid-Feststoff-Reaktoren, wie z.B. zirkulierende Wirbelschichten oder Riser, vorauszuberechnen. Desweiteren wird das Betriebsverhalten von entmischten vertikalen Gas-Feststoff-Strömungen mit dem bei homogener Fluidisation verglichen und auf die für die Bioverfahrenstechnik bedeutsame Flüssigkeits-Feststoff-Wirbelschicht eingegangen. Die theoretischen Inhalte werden durch die Versuche zur hydraulischen Förderung und zur zirkulierenden Wirbelschicht praktisch umgesetzt.</p> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• identifizieren einfache Methoden der Beschreibung von komplexen Strömungen</li> <li>• stellen anhand der theoretischen Auslegung einer pneumatischen Förderung die Problematik unterschiedlicher Strömungszustände dar</li> <li>• bestimmen mit einfachen Massen- und Kräftebilanzen den Strömungszustand für die entmischte vertikale Gas-Feststoff-Strömung</li> <li>• berechnen das Betriebsverhalten von vertikalen Fluid-Feststoff-Reaktoren voraus</li> <li>• vergleichen das Betriebsverhalten von entmischten vertikalen Gas-Feststoff-Strömungen mit dem bei homogener Fluidisation</li> <li>• führen Versuche zur zirkulierenden Wirbelschicht durch</li> </ul>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine   |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>Praktikumsleistung   |  |

|    |   |   |
|----|---|---|
|    |   | Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)<br>Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester   |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Deutsch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | Wirth, K.E.: Zirkulierende Wirbelschichten, Springer Verlag, Berlin, 1990   |

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45485 | <b>Numerische Methoden der Thermofluidodynamik II mit Praktikum</b><br>Numerical methods in thermal fluid dynamics II (with laboratory)   | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|    |  |   |
|----|--|---|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Antonio Delgado  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Curvilinear grids</li> <li>2. Turbulent flows</li> <li>3. Direct Numerical Simulations (DNS)</li> <li>4. Reynolds Averaged Navier-Stokes equations (RANS)</li> <li>5. Large Eddy Simulation (LES)</li> <li>6. Particulate and multiphase flows</li> <li>7. Fluid-structure Interaction</li> <li>8. Flows in porous media</li> </ol>   |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>The students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Know how to solve CFD problems in curvilinear grids</li> <li>• Understand the main properties of turbulent flows</li> <li>• Understand the strengths and weaknesses of widely used simulation models of turbulence</li> <li>• Select the appropriate model and boundary equations for a given application</li> <li>• Be able to perform turbulence and complex flows simulations with OpenFOAM</li> <li>• Work in team and write a report describing the results and significance of a simulation of turbulent flow</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Strömungsmechanik Vertiefung (STM II)   |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3   |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | <p>mündlich (30 Minuten)<br/> Praktikumsleistung<br/> mündliche Prüfung (30 min)<br/> Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht</p>   |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>         | mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)<br>Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)                     |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>              | nur im Sommersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                 | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>J. H. Ferziger, M. Peric, Numerische Strömungsmechanik, Springer, 2008</li> </ul> |

|   |                                  |   |                         |
|---|----------------------------------|---|-------------------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>45488 | <b>Numerische Methoden der Thermofluiddynamik I mit Praktikum</b><br>Numerical methods in thermal fluid dynamics I (with laboratory)  | <b>7,5 ECTS</b>         |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Praktikum: Computational Fluid Dynamics (NMTFD) - Praktikum (3.0 SWS)<br>Übung: Computational Fluid Dynamics (NMTFD) Übung (1.0 SWS)<br>Vorlesung: Computational Fluid Dynamics (NMTFD) (2.0 SWS) | 2,5 ECTS<br>5 ECTS<br>- |
| 3 | Lehrende                         | Prof. Dr. Philipp Schlatter<br>Dr.-Ing. Manuel Münsch<br>Dr. Siavash Toosi<br>Suharto Saha  |                         |

|   |                                  |  |
|---|----------------------------------|--|
| 4 | <b>Modulverantwortliche/r</b>    | Dr.-Ing. Manuel Münsch   |
| 5 | <b>Inhalt</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Governing equations and models in fluid mechanics</li> <li>• Steady problems: the Finite-Difference Method (FDM)</li> <li>• Unsteady problems: methods of time integration</li> <li>• Advection-diffusion problems</li> <li>• The Finite-Volume Method</li> <li>• Solution of the incompressible Navier-Stokes equations</li> <li>• Grids and their properties</li> <li>• Boundary conditions</li> </ul> <p>The theory given in the lectures is extended and applied to several transport problems in this exercise class:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• discretization of the Blasius similarity equations</li> <li>• parabolization and discretization of the boundary layer equations</li> <li>• finite-Difference discretization of heat-transfer problems</li> <li>• approximation of boundary conditions</li> <li>• finite-Volume discretization of heat-transfer problems</li> <li>• discretization and time-stepping of the Navier-Stokes equations</li> <li>• projections methods: the SIMPLE and PISO Methods</li> </ul> <p>The theory given in the lectures and applied in the exercise class is implemented into computer programs in this practical class.</p> <p>The following problems are solved with matlab/octave programs:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• the Blasius-similarity equations</li> <li>• heat-transfer problems</li> <li>• boundary layer equations</li> <li>• flow of fluid in a lid-driven cavity</li> </ul> |
| 6 | <b>Lernziele und Kompetenzen</b> | <p>The students who successfully take this module should:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• understand the physical meaning and mathematical character of the terms in advection-diffusion equations and the Navier-Stokes equations</li> <li>• assess under what circumstances some terms in these equations can be neglected</li> </ul>   |



|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• formulate a FDM for the solution of unsteady transport equations</li> <li>• assess the convergence, consistency and stability of a FDM</li> <li>• formulate a FVM for the solution of unsteady transport equations</li> <li>• know how to solve the Navier-Stokes equation with the FVM</li> <li>• implement programs in matlab/octave to simulate fluid flow</li> <li>• assess the quality and validity of a fluid flow simulation</li> <li>• work in team and write a report describing the results and significance of a simulation</li> <li>• know the different types of grids and when to use them</li> </ul> <p>The students who successfully solve the exercises should:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• be able to discretize transport problems with the finite-difference and the finite-volume methods</li> <li>• discretize several type of boundary conditions (no-slip, flux, mixed)</li> <li>• understand how the implementation of projection methods to solve the Navier-Stokes equation is done</li> <li>• work in team</li> </ul> <p>The students who successfully complete this practical class should:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• be able to write matlab/octave problems solving transport problems</li> <li>• understand the convergence and accuracy of a method in practical situations</li> <li>• write a program to solve the two-dimensional Navier-Stokes equations</li> <li>• work in team and write reports describing the results and significance of a simulation</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Keine  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 3  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | mündlich (30 Minuten)<br>Praktikumsleistung<br>mündliche Prüfung (30 min)<br>Studienleistung: Praktikumsleistung, welche in der Regel das Einüben von praktischen Aufgaben, schriftliche Versuchsprotokolle und mündliche oder schriftliche Testate vorsieht   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | mündlich (100%)<br>Praktikumsleistung (0%)<br>Praktikumsleistung (0 %) und mündliche Prüfung (100 %)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in<br/>Zeitstunden</b>    | Präsenzzeit: 90 h<br>Eigenstudium: 135 h   |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                     | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und<br/>Prüfungssprache</b> | Englisch   |
| 16 | <b>Literaturhinweise</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• J.H. Ferziger, M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, 2008</li> <li>• R.J. Leveque, Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations, SIAM, 2007</li> </ul> |

|   |                                  |  |                 |
|---|----------------------------------|--|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>46101 | <b>Scannen und Drucken in 3D</b><br>Scanning and printing in 3D  | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Praktikum: Practical lab session -- Scannen und Drucken in 3D (0.0 SWS)<br>Übung: Übung Scannen und Drucken in 3D (1.0 SWS)<br>Vorlesung: SD3D (3.0 SWS) | -<br>-<br>-     |
| 3 | Lehrende                         | PD Dr. Patric Müller   |                 |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | PD Dr. Patric Müller   |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stereo-Imaging</li> <li>- Scannen dreidimensionaler Objekte</li> <li>- Computer-Tomographie und verwandte Techniken</li> <li>- 2D Darstellung dreidimensionaler Datensätze</li> <li>- 3D Bildverarbeitung</li> <li>- 3D Druck-Verfahren</li> <li>- 3D Projektion und Darstellung</li> <li>- Darstellung wissenschaftlicher Daten mittels "Virtueller Realität (VR)</li> </ul>   |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- beherrschen die physikalischen und technischen Grundlagen zur Aufnahme dreidimensionaler Bilder mittels Stereokameraverfahren, 3D Scannern sowie Computer-Tomographie.</li> <li>- können dreidimensionale Datensätze erfassen, numerisch bearbeiten und wissenschaftlich darstellen.</li> <li>- gehen mit gängigen 3D Druckverfahren sicher um und implementieren diese als wissenschaftliches Werkzeug.</li> <li>- setzen mathematisch/physikalische Konzepte dreidimensionaler Darstellung mittels 3D Projektions- und Display-Verfahren sowie VR-Techniken um.</li> </ul> |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | Matlab-Grundlagen dringend empfohlen!  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152   |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Praktikumsleistung<br>Variabel   |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Praktikumsleistung (0%)<br>Variabel (100%)   |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Wintersemester  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 120 h<br>Eigenstudium: 105 h  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester   |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Deutsch  |

|    |                          |  |
|----|--------------------------|--|
| 16 | <b>Literaturhinweise</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Gregor Honsel, Rapid Manufacturing</li><li>- Lee Goldmann, Principles of CT and CT Technology</li><li>- Okoshi, Three-Dimensional Imaging Techniques</li></ul> |
|----|--------------------------|--|

|   |                                  |   |                 |
|---|----------------------------------|---|-----------------|
| 1 | <b>Modulbezeichnung</b><br>42901 | <b>Process control and plant safety with laboratory course</b>  | <b>7,5 ECTS</b> |
| 2 | Lehrveranstaltungen              | Im aktuellen Semester werden keine Lehrveranstaltungen zu dem Modul angeboten. Für weitere Auskünfte zum Lehrveranstaltungsangebot kontaktieren Sie bitte die Modul-Verantwortlichen. |                 |
| 3 | Lehrende                         | -   |                 |

|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 4  | <b>Modulverantwortliche/r</b>            | Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück   |  |
| 5  | <b>Inhalt</b>                            | <p>Content:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic concepts of process and plant safety</li> <li>• Layer model of process and plant safety</li> <li>• Reliability of processes and plants/Risk analysis</li> <li>• Automation systems for process and plant safety</li> <li>• Failure impact analysis</li> <li>• Cyber Security in view of Internet of Things (IoT)</li> <li>• Case studies from (bio-)chemical industries</li> </ul> |  |
| 6  | <b>Lernziele und Kompetenzen</b>         | <p>Students will be able identify and analyze risks in process and plant operation and be able to protect equipment, humans and environment from operational hazards.</p> <p>The module provides key concepts and methods to assess risks and to increase operational safety, especially by use of process automation.</p>  |  |
| 7  | <b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b> | <p><b>Prerequisites</b><br/>Required:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mathematics 1- 3</li> <li>• Statistics</li> </ul> <p>Recommended:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamics and Heat and Mass Transfer</li> <li>• Fluid dynamics</li> <li>• Chemical Reaction Engineering</li> <li>• Bio Process Engineering</li> </ul>  |  |
| 8  | <b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b> | Semester: 1;2;3;4   |  |
| 9  | <b>Verwendbarkeit des Moduls</b>         | 3.-4. Wahlpflichtmodul Master of Science Chemie- und Bioingenieurwesen 20152  |  |
| 10 | <b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>   | Variabel<br>Variabel  |  |
| 11 | <b>Berechnung der Modulnote</b>          | Variabel (100%)<br>Variabel (0%)  |  |
| 12 | <b>Turnus des Angebots</b>               | nur im Sommersemester   |  |
| 13 | <b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>     | Präsenzzeit: 75 h<br>Eigenstudium: 150 h  |  |
| 14 | <b>Dauer des Moduls</b>                  | 1 Semester  |  |
| 15 | <b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>  | Englisch  |  |

|    |                          |   |
|----|--------------------------|---|
| 16 | <b>Literaturhinweise</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• SFPE, NFPA, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2008</li><li>• Hauptmanns, U. (Ed.) Plant and Process Safety, in Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, 8th edition</li><li>• Center for Chemical Process Safety (CCPS) "Guideline for Engineering Design for Process Safety Wiley 2012</li></ul> |
|----|--------------------------|---|