

# Modulhandbuch

für den Studiengang

Master of Science Chemical  
Engineering - Nachhaltige  
Chemische Technologien  
(Prüfungsordnungsversion: 20152)

# Inhaltsverzeichnis

Industriepraktikum (M.Sc. Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152) (1995).....	5
Masterarbeit (M.Sc. Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152) (1999).....	7
Projektierungskurs (94060).....	9
Vertiefung A	
Praktikum Nachhaltige Chemische Technologien (1720).....	11
Vertiefungsmodul Nachhaltige Chemische Technologien (1710).....	12
Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien	
Advanced electrochemistry - from fundamentals to applications (48391).....	15
Chemische Energiespeicherung (47810).....	18
Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen (47770).....	20
Fuel cells and electrolyzers (42918).....	22
Membranverfahren (45081).....	24
Photon & Neutron Scattering for Structure Determination (94474).....	26
Process simulation (42915).....	30
Umweltverfahrenstechnik (94310).....	32
Vertiefungsmodulgruppe Chemische Reaktionstechnik	
Vertiefung Reaktionstechnik (94391).....	35
Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik	
Adsorption: Fundamentals and Applications (45035).....	38
Advanced electrochemistry - from fundamentals to applications (48391).....	40
Fuel cells and electrolyzers (42918).....	43
Polymer Science and Processing (45375).....	45
Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (45045).....	47
Process simulation (42915).....	49
Self-organisation processes (42936).....	51
Trocknungstechnik (45335).....	53
Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik	
Angewandte Thermofluidodynamik (Fahrzeugantriebe) (45291).....	56
Reinraumtechnik (94480).....	59
Rheologie / Rheometrie (45231).....	61
Strömungsakustik (45435).....	64
Technische Akustik (45431).....	66
Turbomaschinen (45495).....	68
Turboverdichter (45445).....	69
Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik	
Technische Thermodynamik II (94301).....	72
Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik	
Angewandte Thermofluidodynamik (Fahrzeugantriebe) (45291).....	75
Clean combustion technology (42917).....	78
Optical diagnostics in energy and process engineering (42935).....	80
Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und	
Energietechnik (44960).....	82
Transportprozesse (43700).....	86
Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik (45310).....	88
Vertiefungsmodulgruppe Strömungsmechanik	
Strömungsmechanik II (97331).....	91
Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik	

Angewandte Thermofluiddynamik (43110).....	94
Angewandte Thermofluiddynamik (Fahrzeugantriebe) (45291).....	96
Digitale Bildverarbeitung (45400).....	99
Experimental fluid mechanics (42933).....	101
Fluid-Feststoff-Strömungen (45340).....	103
Numerische Methoden der Thermofluiddynamik I (45487).....	105
Numerische Methoden der Thermofluiddynamik II (45486).....	107
Partikelbasierte Strömungsmechanik (44790).....	109
Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung I (45210).....	111
Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung II (45220).....	113
Rheologie / Rheometrie (45231).....	115
Strömungsakustik (45435).....	118
Vertiefungsmodulgruppe Mechanische Verfahrenstechnik	
Mechanische Verfahrenstechnik II (94441).....	121
Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik	
Fluid-Feststoff-Strömungen (45340).....	124
Industrielles Produkt-Design (45280).....	126
Modellbildung in der Partikeltechnik (45360).....	127
Nanotechnology of Disperse Systems (45350).....	128
Polymer Science and Processing (45375).....	132
Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (45045).....	134
Produktanalyse (45370).....	136
Reinraumtechnik (94480).....	138
Rheologie / Rheometrie (45231).....	140
Self-organisation processes (42936).....	143
Trocknungstechnik (45335).....	145
Vertiefungsmodulgruppe Thermische Verfahrenstechnik	
Thermische Verfahrenstechnik II (94411).....	148
Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik	
Adsorption: Fundamentals and Applications (45035).....	150
Chemische Energiespeicherung (47810).....	152
Hochdrucktrenntechnik (45071).....	154
Membranverfahren (45081).....	156
Optical diagnostics in energy and process engineering (42935).....	158
Phasengleichgewichte (45470).....	160
Technische Chromatographie (92890).....	162
Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und Energietechnik (44960).....	164
Vertiefungsmodulgruppe Energieverfahrenstechnik	
Energieverfahrenstechnik (94270).....	169
Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik	
Advanced electrochemistry - from fundamentals to applications (48391).....	171
Angewandte Thermofluiddynamik (Fahrzeugantriebe) (45291).....	174
Clean combustion technology (42917).....	177
Digitalisierung in der Energietechnik (96509).....	179
Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen (47770).....	181
Energiewirtschaft und Umweltrecht (47790).....	183
Fuel cells and electrolyzers (42918).....	185
Regenerative Energien - Erzeugung, Integration, Speicherung (47761).....	187
Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und Energietechnik (44960).....	189
Transportprozesse (43700).....	193

Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik (45310).....	195
Vertiefungsmodulgruppe Simulation granularer und molekularer Systeme	
Simulation granularer und molekularer Systeme (94281).....	198
Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme	
Digitale Bildverarbeitung (45400).....	201
Discrete Element Simulations (45141).....	203
Granular Matter and Applications (45143).....	206
Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Ingenieurwesen (KI-ING) (44650).....	208
Modellbildung in der Partikeltechnik (45360).....	210
Numerische Methoden der Thermofluiddynamik I (45487).....	211
Numerische Methoden der Thermofluiddynamik II (45486).....	213
Partikelbasierte Strömungsmechanik (44790).....	215
Photon & Neutron Scattering for Structure Determination (94474).....	217
Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung I (45210).....	221
Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung II (45220).....	223
Process simulation (42915).....	225
Scannen und Drucken in 3D (46100).....	227
Self-organisation processes (42936).....	229
Transportprozesse (43700).....	231
Vertiefungsmodulgruppe Chemische Reaktionstechnik	
Praktikum Chemische Reaktionstechnik (1854).....	234
Vertiefung Reaktionstechnik (94391).....	236
Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik	
Praktikum Technische Thermodynamik (1874).....	239
Technische Thermodynamik II (94301).....	241
Vertiefungsmodulgruppe Strömungsmechanik	
Praktikum Strömungsmechanik (1884).....	244
Strömungsmechanik II (97331).....	245
Vertiefungsmodulgruppe Mechanische Verfahrenstechnik	
Mechanische Verfahrenstechnik II (94441).....	248
Praktikum Mechanische Verfahrenstechnik (1894).....	250
Vertiefungsmodulgruppe Thermische Verfahrenstechnik	
Praktikum Thermische Verfahrenstechnik (1904).....	252
Thermische Verfahrenstechnik II (94411).....	253

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1995	<b>Industriepraktikum (M.Sc. Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152)</b> 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 der berufspraktischen Tätigkeit 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, Mess- und Regelungstechnik, Anlagenplanung, Konstruktion.	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen typische Aufgabenstellungen in der chemischen, 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 Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>		
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>		
12	<b>Turnus des Angebots</b>	keine Angaben zum Turnus des Angebots hinterlegt!	
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt)	

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

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1999	<b>Masterarbeit (M.Sc. Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152)</b> 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 Aufgabestellung aus einem der folgenden Wissenschaftsschwerpunkte am Department Chemie- und Bioingenieurwesen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neue Materialien und Prozesse</li> <li>• Optische Technologien und Bildgebung</li> <li>• Modellierung und Simulation</li> <li>• Energietechnik</li> <li>• Medizintechnik, Life Science Engineering</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>	Voraussetzung für die Masterarbeit ist der Erwerb von 90 ECTS-Punkten im Masterstudium.	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 4	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Pflichtmodul Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	<p>mündlich (30 Minuten)  schriftlich (6 Monate)  Die Masterarbeit und deren Ergebnisse sind im Rahmen eines Kolloquiums bzw. eines Referats im Umfang von max. 30 Minuten mit</p>	

		anschließender Diskussion vorzustellen. Die Masterarbeit wird mit 27 ECTS-Punkten, das Kolloquium mit 3 ECTS-Punkten veranschlagt (s. FPO CEN § 44).
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>	mündlich (10%) schriftlich (90%)
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) 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> 94060	<b>Projektierungskurs</b> Project development course	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Sonstige Lehrveranstaltung: Projektierungskurs WS (Frühjahr) (5 SWS)	5 ECTS
3	Lehrende	apl.Prof.Dr. Marco Haumann Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück	

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: 3;2	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Pflichtmodul Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Studienleistung	
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>	SL: 100%	
12	<b>Turnus des Angebots</b>	in jedem Semester	
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 60 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch Englisch	
16	<b>Literaturhinweise</b>		

# Vertiefung A

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1720	<b>Praktikum Nachhaltige Chemische Technologien</b> Laboratory course: Sustainable chemical technologies	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Martin Hartmann
5	<b>Inhalt</b>	Anhand von ausgewählten Prozessbeispielen werden verschiedene Konzepte zur Beurteilung der Nachhaltigkeit angewendet. Die Studierenden erarbeiten in Kleingruppen verschiedene Synthesewege zur nachhaltigen Produktion einer organischen Verbindung im Vergleich zum etablierten Verfahren. Der Vergleich erfolgt im Hinblick auf Material- und Energieflüsse sowie der auftretenden Abfallströme. Abschließend werden eine Kostenanalyse sowie ein Life Cycle Inventory durchgeführt.
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• können verschiedene Syntheserouten auf Basis der (Patent-)literatur für die Herstellung eines Zielproduktes selbständig erarbeiten</li> <li>• wenden Material- und Energiebilanzen, sowie Grundlagen der Kostenanalyse und des LCI/LCA auf ausgewählte Beispiele an</li> <li>• sind befähigt zur selbstständigen Vorstellung und Diskussion der bearbeiteten Projekte und ihrer Ergebnisse</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefung A Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>	
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Sommersemester
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 75 h Eigenstudium: 75 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch
16	<b>Literaturhinweise</b>	

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1710	<b>Vertiefungsmodul Nachhaltige Chemische Technologien</b> Specialization module: Sustainable chemical technologies	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Martin Hartmann	
5	<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachhaltigkeitsbegriff</li> <li>• Nachhaltigkeitsbewertung und Ökobilanz</li> <li>• Diskussion "nachhaltiger" Produkte</li> <li>• Grüne Chemie</li> <li>• Prozessintensivierung</li> <li>• Energie</li> <li>• Abfall und Recycling</li> <li>• EcoManagement und Umweltgesetzgebung</li> </ul>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verfügen über die Sachkompetenz zur Beurteilung von chemischen Prozessen im Hinblick auf die verschiedenen Aspekte der Nachhaltigkeit</li> <li>• kennen die Grundlagen und Erfordernisse einer Nachhaltigkeitsbilanz und sind nach Teilnahme am NCT-V-Praktikum in der Lage, eine Ökobilanz selbstständig durchzuführen</li> <li>• verstehen die Bedeutung der Rohstoffquellen sowie der Energie- und Abfallströme großtechnischer Prozesse für die Beurteilung der Nachhaltigkeit</li> <li>• diskutieren und beurteilen alternative Prozesskonzepte zur nachhaltigen Produktion von Grund- und Feinchemikalien</li> <li>• kennen die Grundlagen des nachhaltigen Produktdesigns sowie nachhaltigerer Geschäftsmodelle</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefung A Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 Eigenstudium: 90 h	

14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	Vorlesungsunterlagen

# Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien

1	<b>Modulbezeichnung</b> 48391	<b>Advanced electrochemistry - from fundamentals to applications</b> Advanced electrochemistry - From fundamentals to 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>	Prof. Dr. Karl Mayrhofer
5	<b>Inhalt</b>	<p>The module advanced electrochemistry provides a fundamental insight into electrochemical systems and discuss advanced electrochemical methods. Based on this knowledge, students will be able to understand electrochemical problems, suggest methods to solve them and understand the background of many practical electrochemical systems and applications, required for the understanding of electrochemical reactor technology. They will also get an insight into the fundamental research problems of modern electrochemistry. Practical electrochemical systems will be discussed that are either already of great economic importance or will become crucial in future applications. Students will gain knowledge on the most relevant applied electrochemical research topics, will have a clear view on the versatility of electrochemical devices and have an understanding of electrochemistry based energy systems and their potential. Several technologies of importance in energy conversion systems and the production of added-value chemicals like electrolysers, fuel cells, flow batteries, supercapacitors, chloralkali process, organic electrosynthesis, aluminum production, but also corrosion, metal deposition, electroanalysis, electrochemical sensors, lithography galvanofforming, semiconductors, information storage, bioelectrochemistry, photoelectrochemistry, conducting polymers, will be discussed.</p> <p>Setup of the module:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrochemical thermodynamics (5 lectures) introduction (scope and role of electrochemistry, short history), electrochemical potentials, Nernst-equation, electrodes, conductance, transference number, mobility, solvation of ions, the Born-equation, Debye-Hückel theory, junction potentials, ion selective electrodes (concept of pH, the glass electrode, other ion selective electrodes), transport phenomena,</li> </ul>

		<p>electrified interfaces: double layer theories, adsorption (adsorption isotherms), surface excesses, electrocapillary equation, electrokinetic properties</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrochemical kinetics (3 lectures) Tafel-equation, Butler-Volmer equation, theories of electron transfer, transition state theory, introduction to electrocatalysis (single crystals), rate-coverage relations</li> <li>• Electrochemical methods (7 lectures) electrochemical cells/ reactors, electrochemical instrumentation, potential step methods, potential sweep methods, galvanostatic methods, stripping analysis, hydrodynamic methods (RDE, RRDE), impedance (1 lecture), scanning techniques (electrochemical STM, SECM, SFC, AFM), electrochemistry coupled with spectroscopic techniques (in situ spectroelectrochemical techniques: UV-VIS, IR, X-ray, Raman etc), mass spectrometry, EQCM etc; intro to the second semester courses</li> </ul>
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• understand the thermodynamic and kinetic fundamentals of electrochemical processes</li> <li>• know of modern electrochemical methods and their application</li> <li>• critically read electrochemical literature</li> <li>• understand the principles of various electrochemical technologies</li> <li>• discuss electrochemical energy conversion approaches and their future potential</li> <li>• critically assess the current issues of implementation</li> <li>• understand the importance of electrochemical technologies in various fields</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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>• Electrochemical methods: fundamentals and applications by A. J. Bard, L. R. Faulkner, 2nd ed., Wiley, 2000</li> <li>• Elektrochemie by C. H. Hamann, W. Vielstich, 4th ed., Wiley, 2005</li> <li>• Electrochemistry Principles, Methods, and Applications by C. M. A. Brett und A. M. O. Brett. Oxford University Press, 1993</li> <li>• Electrode kinetics for chemists, chemical engineers, and materials scientists by E. Gileadi, Wiley-VCH, 1993</li> <li>• Industrial Electrochemistry by D. Pletcher, F.C. Walsh, 2nd ed., Springer, 1990</li> <li>• Electrochemical Engineering: Science and Technology in Chemical and Other Industries by H. Wendt, G. Kreysa, Springer, 2013</li> <li>• Fundamentals of Electrochemistry by V. S. Bagotsky, 2nd ed., Wiley, 2005</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 47810	<b>Chemische Energiespeicherung</b> Energy storage chemical	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Chemische Energiespeicherung (2 SWS) Übung: Übung zur Chemischen Energiespeicherung (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Dr.-Ing. Detlef Freitag Peter Leicht 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>	<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	Huggins, R.A., Energy Storage, Springer, 2010

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

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 Teil 2 - Wärmeerzeugung aus biogenen Brennstoffen Teil 3 - Stromerzeugung mit Verbrennungsanlagen Teil 4 - Stromerzeugung mit Vergärung 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 Teil 7 - Vergasung von Biomasse 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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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  Kaltschmitt, Energie aus Biomasse, Springer Verlag

1	<b>Modulbezeichnung</b> 42918	<b>Fuel cells and electrolyzers</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Fuel cells and electrolyzers (2 SWS) Übung: Fuel cells and electrolyzers (3 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. 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: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p>	

		Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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: 75 h 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</li> <li>• Prinz, Fritz B.</li> <li>• Colella, Whitney (2016): Fuel cell fundamentals: John Wiley &amp; Sons.</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45081	<b>Membranverfahren</b> Membrane processes	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr.-Ing. Malte Kasperit
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> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <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>	<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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> 94474	<b>Photon &amp; Neutron Scattering for Structure Determination</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>  <b>Basics</b>  - Review of Materials crystal structure  - X-ray – Matter interactions (absorption and elastic/inelastic scattering; Auger, etc.)  - Scattering Theory (scattering by electron, atom, cell; scattering cross section; form factors)  <b>Commercial vs. Large Scale Sources</b>  - High energy X-ray and Neutrons (basic properties of X-rays vs. neutrons)  - Synchrotron vs. X-ray free-electron-laser vs. neutron (radiation production)  - Neutron - Matter interactions (scattering of neutrons; nuclear and magnetic scattering)  - Access routes to Large Scale Facilities (project proposal, application process)  <b>Part II: Investigation Techniques (40%)</b>  <b>Photon scattering for the study of chemical processes</b>  - Synchrotron techniques in catalytic science (XRPD, XPDF, XAFS)  - Synchrotron techniques for Nanomaterials and Soft Matter Research (SAXS, XPCS)  - In situ/operando synchrotron-based X-ray techniques (XRPD, XPDF, XAS, Imaging)  <b>Neutron scattering for the study of biological systems</b>  - Structure solution of macromolecular systems (SANS)  - Macromolecular crystallography (NMX, Single Crystal Diffraction)  - Neutron reflectometry (NR)  <b>Virtual Experiments</b>  - Data based simulation (e.g., Debye scattering equation)  - Instrument based simulation (e.g., MC ray-tracing)  <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>	Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152

		Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	<p># B. E. Warren, "X-Ray Diffraction", Dover Publications Inc. (1990), ISBN: 978-0486663173</p> <p># B. D. Cullity, S. R. Stock, "Elements of X-Ray Diffraction", PRENTICE HALL, ISBN: 978-0201610918</p> <p># A.-J. Dianoux, G. Lander, "Neutron Data Booklet" Institute Laue-Langevin (2003), ISBN: 0-9704143-7-4</p> <p># Silvia D. S., "Elementary scattering theory for X-ray and neutron users", Oxford University Press (2011). ISBN: 0-19-100477-4</p> <p># Squires G. L., "Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering", Cambridge University Press (2012). ISBN: 9781107644069</p> <p># Als-Nielsen J. &amp; McMorrow D., "Elements of Modern X-ray Physics", John Wiley and Sons (2011). ISBN: 9780470973950</p> <p># Waseda Y., "X-Ray Diffraction Crystallography: Introduction, Examples and Solved Problems", Springer (2011) Berlin Heidelberg. ISBN: 9786613081940</p>

# Willmott, P., "An Introduction to Synchrotron Radiation: Techniques and Applications", Wiley

(2011) New York. ISBN: 9780470745786

# International Tables of Crystallography

1	<b>Modulbezeichnung</b> 42915	<b>Process simulation</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Process Simulation ( SWS) Übung: Process Simulation (Exercise) ( SWS)	- -
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>	Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Variabel (120 Minuten)
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 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> 94310	<b>Umweltverfahrenstechnik</b> Environmental process engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Umweltverfahrenstechnik (2 SWS) Übung: Übung zur Umweltverfahrenstechnik (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert Dr.-Ing. Detlef Freitag Markus Terlinden Dr.-Ing. Christian Lübbert	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Matthias Thommes	
5	<b>Inhalt</b>	Gesetzliche Grundlagen, Partikelabtrennung (Zyklon, Filter, Wäscher), Partikelmesstechnik, Gasförmige Schadstoffe: Zusammensetzung und Entfernung, Absorption, Adsorption, Ionenaustausch, Membranverfahren, reaktive Verfahren (Verbrennung), Kraftwerksabgase, Wasserreinigung: Art der Verunreinigungen, Grenzwerte, Abtrennung (Adsorptions- und Membranverfahren)	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen gesetzliche Grundlagen des Umweltschutzes</li> <li>• kennen gängige Verfahren der Abtrennung gasförmiger und fester Schadstoffe</li> <li>• verstehen die thermodynamischen und mechanistischen Grundlagen der Verfahren</li> <li>• können für gegebene Probleme passende Verfahren auswählen und anwenden</li> <li>• kennen Apparate für die Trennverfahren</li> <li>• können diese Apparate dimensionieren</li> <li>• kennen reaktive Verfahren zur Schadstoffminderung und zugehörige Apparate</li> <li>• bewerten die Verfahren und Apparate bezüglich Energieeffizienz und Prozessintegration</li> <li>• kennen Messverfahren für partikuläre Verunreinigungen</li> <li>• können diese Messverfahren bezüglich Anwendungsgrenzen und möglicher Analysefehler 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>	<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Variabel (120 Minuten)	
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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch
16	<b>Literaturhinweise</b>	

# Vertiefungsmodulgruppe Chemische Reaktionstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94391	<b>Vertiefung Reaktionstechnik</b> Focus Module: Chemical Reaction Engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Reaktionstechnik / Chemical Reaction Engineering CBI (3 SWS) Übung: Reaktionstechnik, Übungen / Exercices Chemical Reaction Engineering CBI (1 SWS) Tutorium: Reaktionstechnik, Tutorium / Tutorial Chemical Reaction Engineering (1 SWS)	7,5 ECTS - -
3	Lehrende	apl.Prof.Dr. Marco Haumann Miriam Willer Domenic Strauch Vera Haagen Philipp Rothgängel Dominik Kraus Manfred Aubermann Patrick Wolf	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	apl.Prof.Dr. Marco Haumann
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> </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).</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch Englisch
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 (Hörerschein am Lehrstuhl erhältlich)</li> <li>• Baerns, Hofmann, Renken, Chemische Reaktionstechnik, Thieme Verlag, Stuttgart. (Hörerschein am Lehrstuhl erhältlich)</li> <li>• Jess, Wasserscheid, Chemical Technology, 1. Auflage, Weinheim 2013 Wiley-VCH</li> </ul>

# Wahlpflichtmodule

## Chemische Reaktionstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45035	<b>Adsorption: Fundamentals and Applications</b> Adsorption: Fundamentals and applications	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung Adsorption: Fundamentals and Applications (0 SWS) Vorlesung: Adsorption: Fundamentals and Applications (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Matthias Thommes Dr. Carlos Cuadrado Collados Carola Schlumberger	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Matthias Thommes	
5	<b>Inhalt</b>	1. Introduction and terminology 2. Gas adsorptions basics and adsorbent materials 3. Physisorption mechanisms 4. Surface area determination 5. Porosity and pore structure analysis of nanoporous materials 5.1 Micropore analysis 5.2 Mesopore analysis 5.3 Macropore analysis : adsorption and liquid intrusion methods 5.4. Characterization of hierarchically structured porous materials 6. High pressure adsorption 7. Surface chemistry effects on adsorption 8. Adsorption and characterization in the liquid phase  9. Adsorption of mixtures 10. Adsorption applications in gas storage and separation	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	The students will achieve a deep understanding of the underlying mechanisms for the adsorption of fluids on powders and nanoporous materials know adsorption-based and complimentary techniques/methodologies for a reliable characterization of adsorbents for applications in separation, heterogeneous catalysis etc. understand the basics of high pressure adsorption and corresponding applications in gas storage know selected, important principles of adsorption-based separation processes	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	

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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	

1	<b>Modulbezeichnung</b> 48391	<b>Advanced electrochemistry - from fundamentals to applications</b> Advanced electrochemistry - From fundamentals to 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>	Prof. Dr. Karl Mayrhofer
5	<b>Inhalt</b>	<p>The module advanced electrochemistry provides a fundamental insight into electrochemical systems and discuss advanced electrochemical methods. Based on this knowledge, students will be able to understand electrochemical problems, suggest methods to solve them and understand the background of many practical electrochemical systems and applications, required for the understanding of electrochemical reactor technology. They will also get an insight into the fundamental research problems of modern electrochemistry. Practical electrochemical systems will be discussed that are either already of great economic importance or will become crucial in future applications. Students will gain knowledge on the most relevant applied electrochemical research topics, will have a clear view on the versatility of electrochemical devices and have an understanding of electrochemistry based energy systems and their potential. Several technologies of importance in energy conversion systems and the production of added-value chemicals like electrolysers, fuel cells, flow batteries, supercapacitors, chloralkali process, organic electrosynthesis, aluminum production, but also corrosion, metal deposition, electroanalysis, electrochemical sensors, lithography galvoforming, semiconductors, information storage, bioelectrochemistry, photoelectrochemistry, conducting polymers, will be discussed.</p> <p>Setup of the module:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrochemical thermodynamics (5 lectures) introduction (scope and role of electrochemistry, short history), electrochemical potentials, Nernst-equation, electrodes, conductance, transference number, mobility, solvation of ions, the Born-equation, Debye-Hückel theory, junction potentials, ion selective electrodes (concept of pH, the glass electrode, other ion selective electrodes), transport phenomena,</li> </ul>

		<p>electrified interfaces: double layer theories, adsorption (adsorption isotherms), surface excesses, electrocapillary equation, electrokinetic properties</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrochemical kinetics (3 lectures) Tafel-equation, Butler-Volmer equation, theories of electron transfer, transition state theory, introduction to electrocatalysis (single crystals), rate-coverage relations</li> <li>• Electrochemical methods (7 lectures) electrochemical cells/ reactors, electrochemical instrumentation, potential step methods, potential sweep methods, galvanostatic methods, stripping analysis, hydrodynamic methods (RDE, RRDE), impedance (1 lecture), scanning techniques (electrochemical STM, SECM, SFC, AFM), electrochemistry coupled with spectroscopic techniques (in situ spectroelectrochemical techniques: UV-VIS, IR, X-ray, Raman etc), mass spectrometry, EQCM etc; intro to the second semester courses</li> </ul>
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• understand the thermodynamic and kinetic fundamentals of electrochemical processes</li> <li>• know of modern electrochemical methods and their application</li> <li>• critically read electrochemical literature</li> <li>• understand the principles of various electrochemical technologies</li> <li>• discuss electrochemical energy conversion approaches and their future potential</li> <li>• critically assess the current issues of implementation</li> <li>• understand the importance of electrochemical technologies in various fields</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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>• Electrochemical methods: fundamentals and applications by A. J. Bard, L. R. Faulkner, 2nd ed., Wiley, 2000</li> <li>• Elektrochemie by C. H. Hamann, W. Vielstich, 4th ed., Wiley, 2005</li> <li>• Electrochemistry Principles, Methods, and Applications by C. M. A. Brett und A. M. O. Brett. Oxford University Press, 1993</li> <li>• Electrode kinetics for chemists, chemical engineers, and materials scientists by E. Gileadi, Wiley-VCH, 1993</li> <li>• Industrial Electrochemistry by D. Pletcher, F.C. Walsh, 2nd ed., Springer, 1990</li> <li>• Electrochemical Engineering: Science and Technology in Chemical and Other Industries by H. Wendt, G. Kreysa, Springer, 2013</li> <li>• Fundamentals of Electrochemistry by V. S. Bagotsky, 2nd ed., Wiley, 2005</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 42918	<b>Fuel cells and electrolyzers</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Fuel cells and electrolyzers (2 SWS) Übung: Fuel cells and electrolyzers (3 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. 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: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p>	

		Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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: 75 h 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</li> <li>• Prinz, Fritz B.</li> <li>• Colella, Whitney (2016): Fuel cell fundamentals: John Wiley &amp; Sons.</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45375	<b>Polymer Science and Processing</b> Polymer science and processing	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152  Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p>	

		Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 2023/2
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 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> 45045	<b>Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization</b> 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 SWS) Übung: Übung Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Martin Hartmann	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Martin Hartmann
5	<b>Inhalt</b>	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.
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden: <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> <li>• wenden die theoretischen Aspekte in vielfältigen spezielleren, aber auch kombinierten Übungen zur Charakterisierung</li> </ul>

		<p>von technischen Katalysatoren und Adsorbenten mittels Festkörper-NMR-Spektroskopie und ESR-Spektroskopie (unter Einbeziehung von IR- und UV-Spektroskopie) an</p> <ul style="list-style-type: none"> <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: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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. Vadrine (Eds.), Wiley-VCH 2012</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 42915	<b>Process simulation</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Process Simulation ( SWS) Übung: Process Simulation (Exercise) ( SWS)	- -
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>	Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Variabel (120 Minuten)
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 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> 42936	<b>Self-organisation processes</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 75 h 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> 45335	<b>Trocknungstechnik</b> Drying technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung Trocknungstechnik (0 SWS) Vorlesung: Trocknungstechnik/Drying Technology (0 SWS)	- 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>	Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	1. O. Krischer, W. Kast: Trocknungstechnik: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Springer-Verlag, 2014  2. A.S. Mujumdar (Ed.): Handbook of Industrial Drying, CRC Press, 2013  Gehrmann, Esper, Schuchmann: Trocknungstechnik in der Lebensmittelindustrie, Behrs G mbH, 2009.

# Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatetechnik



		<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>	<p>Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch 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> 94480	<b>Reinraumtechnik</b> Clean room technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Reinraumtechnik (2 SWS) Übung: Übung Reinraumtechnik (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Ing. Eberhard Schlücker Dr.-Ing. Christian Lübbert Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert	

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>• Klimaanlage</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>• Partikelmesstechnik</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>	Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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: 45 h 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> 45231	<b>Rheologie / Rheometrie</b> Rheology/Rheometry	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Rheologie/Rheometrie - Übung (1 SWS) Vorlesung: Rheologie/Rheometrie (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Andreas Wierschem Sharadwata Pan	

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. Thermofluiddynamik der Biotechnologie.
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) 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 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>• 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> 45435	<b>Strömungsakustik</b> Aeroacoustics	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zu Strömungsakustik (0 SWS) Vorlesung mit Übung: Strömungsakustik / Aeroacoustics (3 SWS)	- 5 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>• strömungsmechanische Grundlagen (Grundgleichungen, Turbulenz, Wirbelstärke, Kompressible Strömungen)</li> <li>• Akustik (Wellengleichung, Greensche Funktion, Monopol, Dipol und Quadrupole)</li> <li>• Akustische Analogie (Lighthill-Analogie, Curle-Theorie, Vortexschall, APEGleichungen)</li> <li>• Aeroakustische Messverfahren und Messeinrichtungen</li> <li>• Hybride numerische CAA-Verfahren</li> <li>• Anwendungen: Tonaler Schall: Zylinder</li> <li>• Breitbandlärm: Stufe Freistrahllärm, Tragflügelärm, Turbomaschinen</li> <li>• Windenergieanlagen, Akustik der menschlichen Stimme</li> <li>• Beurteilung der Schallwahrnehmung</li> </ul>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen und erklären die Grundlagen der strömungsinduzierten Schallabstrahlung und deren Einfluss auf den Menschen</li> <li>• erhalten in der Verbindung von Strömungsmechanik, Strukturmechanik und Akustik Kompetenzen in der Behandlung komplexer physikalischer Systeme</li> <li>• können experimentelle und numerische Verfahren zur Lösung aeroakustischer Probleme anwenden</li> <li>• analysieren sehr aktuelle Fragestellungen und Anwendungen, die sich von der Medizintechnik über die Fahrzeugakustik, Prozessanlagen bis hin zur Akustik von Windenergieanlagen erstrecken</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) 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: 60 h Eigenstudium: 90 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>• Lehrbuch: Grundlagen der Strömungsmechanik, Franz Durst</li> <li>• Vorlesungsskript: Strömungsakustik, Kaltenbacher/Becker</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45431	<b>Technische Akustik</b> Machine acoustics	<b>5 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>	apl.Prof.Dr. Stefan Becker	
5	<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundsätze der technischen Lärmbekämpfung</li> <li>• Größen, Grundbegriffe, Phänomene der technischen Akustik</li> <li>• Grundlagen des Luftschalls</li> <li>• Grundlagen des Körperschalls</li> <li>• Geräusentstehung in Maschinen und Anlagen</li> <li>• Mechanische Geräuschquellen</li> <li>• Strömungsakustik</li> <li>• Strömungsakustische Multipole</li> <li>• Strahl- und Rotorlärm</li> <li>• Fluid-Struktur-Akustik Interaktion</li> <li>• Numerische Berechnungsverfahren</li> <li>• Grundprinzipien der Gestaltung lärmarmer Produkte und Anlagen</li> </ul>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kennen und anwenden die Grundlagen und die Theorie des strömungs- und strukturinduzierten Schalls</li> <li>• verstehen für die Industrie relevante Fragen der Lärmbekämpfung</li> <li>• erarbeiten Lösungen zur Lärminderung</li> <li>• können experimentelle und numerische Verfahren in der Behandlung der strömungs- und strukturinduzierten Schalls einsetzen</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Modul: Strömungsmechanik (Empfehlung) Modul: Technische Akustik (Empfehlung) Modul: Thermodynamik (Empfehlung)	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 Eigenstudium: 105 h	

14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	
16	<b>Literaturhinweise</b>	

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45495	<b>Turbomaschinen</b> Turbomachinery	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Turbomaschinen (2 SWS) Übung: Übungen zu Turbomaschinen (2 SWS)	3 ECTS 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) Modul: Thermodynamik (Empfehlung)	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 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> 45445	<b>Turboverdichter</b> Turbo compressors	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	apl.Prof.Dr. Stefan Becker	
5	<b>Inhalt</b>	<p>Im Rahmen des Lehrfaches soll aufbauend auf den Grundlagen der Gasdynamik kompressibler Strömungen ein Grundverständnis für das Betriebsverhalten und die Anwendung von Turboverdichtern und Turbinen vermittelt werden. Entwurf und Auslegung der Turboverdichter nach Größe, Leistung und Betriebsbedingungen, sowie ihre Schallabstrahlung werden behandelt.</p> <p>Inhalte  Grundlagen kompressibler Strömungen/Gasdynamik  Verdichterbauarten Verdichterantriebsleistung Stufenzahl- und Drehzahlfestlegung Verdichtewirkungsgrade Turboverdichter-Kennfelder Entwurf von Radial- und Diagonalverdichterstufen Axialverdichter/Axialturbinen Auslegung der Nachleiteinrichtung Besondere Betriebsbedingungen Schallabstrahlung und Lärmbekämpfung Turbolader</p>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• erlernen die Grundlagen in der Behandlung von kompressiblen Strömungen einschließlich der Gasdynamik für Turbomaschinen</li> <li>• erlangen ein Grundverständnis für das Betriebsverhalten</li> <li>• verstehen und erklären die Anwendung verschiedener Turboverdichteranlagen u.a. Turbolader</li> <li>• können entsprechend verschiedener Anwendungen Laufräder von Turboverdichter in ihren Grundabmessungen auslegen</li> <li>• gestalten und berechnen selbständig einen Laufradentwurf</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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: 60 h Eigenstudium: 90 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>• Lehrbuch: Grundlagen der Strömungsmechanik, Durst</li><li>• Lehrbuch: Thermische Turbomaschinen, Traubel</li><li>• Vorlesungsskript: Turboverdichter, Becker</li></ul>

# Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94301	<b>Technische Thermodynamik II</b> Technical thermodynamics II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Franz Huber 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 speziell solcher der Verbrennungs-, Strömungs-, Kälte- und Wärmetechnik an</li> </ul>

		<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>	Es wird empfohlen, folgende Module zu absolvieren, bevor dieses Modul belegt wird: Technische Thermodynamik I
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 Eigenstudium: 90 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>

# Wahlpflichtmodule

## Technische Thermodynamik



		<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>	<p>Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch 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> 42917	<b>Clean combustion technology</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	Students will... <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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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>• 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> 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 SWS) Übung: CBI-Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (Exercise) (2 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Dr.-Ing. Franz Huber	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Franz Huber 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> <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: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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>• Bräuer, Andreas: In situ Spectroscopic Techniques at High Pressure, Amsterdam 2015</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 44960	<b>Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und Energietechnik</b> Thermophysical properties of working materials in process and energy engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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> <li>• Correlation and prediction of thermophysical properties</li> </ul>	

		<ul style="list-style-type: none"> <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> <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 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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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. Tsooakis, 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> </ul>

- J. A. Wesselingh, R. Krishna, Mass Transfer in Multicomponent Mixtures, Delft University Press, Delft, The Netherlands, 2000
- 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> 43700	<b>Transportprozesse</b> Transport processes	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Sebastian Rieß 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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
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 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> 45310	<b>Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik</b> Thermal power plants and power plant technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl	
5	<b>Inhalt</b>	<p>1. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen der Stromerzeugung  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)  5. Dampfkraftprozesse für Erneuerbare Energien 6. Kernkraftwerke  7. Organic Rankine Cycles für die Abwärmenutzung  8. Gasturbinen- und hocheffiziente GUD-Kraftwerke  9. Stationäre Gasmotoren für die Kraft-Wärme-Kopplung  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>	Die Studierenden <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>	Vorlesung Technische Thermodynamik	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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 K. Strauß, Kraftwerkstechnik, Springer Verlag H. Effenberger, Dampferzeugung, Springer-Verlag H. Spliethoff, Power generation from Solid Fuels, Springer-Verlag J. Karl, Klimawende, neobooks

# Vertiefungsmodulgruppe Strömungsmechanik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 97331	<b>Strömungsmechanik II</b> Fluid mechanics II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

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>Übungen ergänzen die Vorlesung. 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 die Vorlesung 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 (CBI, CEN) oder Strömungsmechanik I für Maschinenbau und Energietechnik.	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	schriftlich oder mündlich mündlich, 30 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: 60 h Eigenstudium: 90 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>

# Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 43110	<b>Angewandte Thermofluiddynamik</b> Applied thermo-fluid dynamics	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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> <li>• to get insight in some state-of-art concepts related to efficient use of gas/liquid fossil fuels,</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <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>	Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch 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> 45291	<b>Angewandte Thermofluidodynamik (Fahrzeugantriebe)</b> Applied thermo-fluid dynamics (Power train systems)	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Angewandte Thermofluidodynamik (Fahrzeugantriebe) Übung (1 SWS)	2 ECTS
		Vorlesung: Angewandte Thermofluidodynamik (Fahrzeugantriebe) (2 SWS)	3 ECTS
		Exkursion: Angewandte Thermofluidodynamik (Fahrzeugantriebe) Exkursion (1 SWS)	1 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing Lukas Strauß	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Sebastian Rieß 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>	<p>Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch 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> 45400	<b>Digitale Bildverarbeitung</b> Digital image processing	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Digitale Bildverarbeitung (2 SWS) Übung: Digitale Bildverarbeitung - Übung (0 SWS)	- -
3	Lehrende	Dr. Achim Sack Olfa D'Angelo	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Thorsten Pöschel	
5	<b>Inhalt</b>	<p>Digitale Bildverarbeitung spielt eine immer größere Rolle bei der Durchführung und Auswertung von Messungen in Forschung, Entwicklung und Produktionsüberwachung.</p> <p>Das Modul vermittelt grundlegende und weiterführende Kenntnisse und Techniken zur selbständigen Lösung häufiger Problemstellungen bei der optischen Datennahme und -auswertung.</p> <p>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.</p>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden können selbstständig optische Daten aufnehmen und auswerten. Sie verstehen das Konzept der zugrundeliegenden Methoden.</p> <p>Unter anderem beherrschen und verwenden Sie Methoden:</p> <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>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>	
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 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> 42933	<b>Experimental fluid mechanics</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Variabel 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 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> 45340	<b>Fluid-Feststoff-Strömungen</b> Solid-liquid two phase flow	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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> 45487	<b>Numerische Methoden der Thermofluidodynamik I</b> Numerical methods in thermal fluid mechanics I	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Numerische Methoden der Thermofluidodynamik (2 SWS) Übung: Numerische Methoden der Thermofluidodynamik (1 SWS)	- 5 ECTS
3	Lehrende	Sandra Schindler Dr.-Ing. Manuel Münsch Prof. Dr. Philipp Schlatter 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>	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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> 45486	<b>Numerische Methoden der Thermofluidodynamik II</b> Numerical methods in thermal fluid mechanics II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Manuel Münsch	
5	<b>Inhalt</b>	1. Curvilinear grids 2. Turbulent flows 3. Direct Numerical Simulations (DNS) 4. Reynolds Averaged Navier-Stokes equations (RANS) 5. Large Eddy Simulation (LES) 6. Particulate and multiphase flows 7. Fluid-structure Interaction 8. Flows in porous media	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	The students <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>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) mündlich, 30 min	
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 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, Numerische Strömungsmechanik, Springer, 2008</li></ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 44790	<b>Partikelbasierte Strömungsmechanik</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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 <ul style="list-style-type: none"> <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> </li> <li>• Comparison of particle-based and grid-based methods in fluid mechanics <ul style="list-style-type: none"> <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> </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: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 2023/2
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 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  G. Gompper et al., Multi-Particle Collision Dynamics: A Particle-Based Mesoscale Simulation Approach to the Hydrodynamics of Complex Fluids  E.-S. Lee et al., Comparisons of weakly compressible and truly incompressible algorithms for the SPH mesh free particle method.

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45210	<b>Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung I</b> Physics of turbulence and turbulence modelling I	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Jovan Jovanovic	
5	<b>Inhalt</b>	<p>Im Rahmen des Moduls werden praktisch einsetzbare Methoden zur Berechnung allgemeiner turbulenter Strömungen vorgestellt. Ausgangspunkt sind die Navier-Stokes-Gleichungen, die formal hergeleitet und anschließend zeitgemittelt werden. Die durch die Mittelung auftretenden Zusatzterme werden physikalisch interpretiert und gebräuchliche mathematische Modelle (Turbulenzmodelle) zur Beschreibung dieser Terme eingeführt. Die Anwendung der vorgestellten Turbulenzmodelle auf für die Praxis relevante turbulente Strömungen wie z. B. Grenzschichten, Freistrahlen etc. wird im Detail diskutiert.</p>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können allgemeine turbulente Strömungen berechnen</li> <li>• können relevante Gleichungen herleiten und zeitmitteln</li> <li>• können die durch die Mittelung aufgetretene Zusatzterme interpretieren</li> <li>• können die vorgestellten Turbulenzmodelle in der Praxis anwenden</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152  Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152  Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) mündlich, 30 min	
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 Eigenstudium: 105 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Englisch	



1	<b>Modulbezeichnung</b> 45220	<b>Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung II</b> Physics of turbulence and turbulence modelling II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung II (3 SWS)	5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Philipp Schlatter Prof. Dr. Jovan Jovanovic	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	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>• twopoint 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>Students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• identify and explain the fundamental theories of turbulence</li> <li>• details of the modeling and validation using DNS databases</li> <li>• implement statistical methods like two-point correlation technique and invariant theory for modeling of unknown correlation</li> <li>• discuss different techniques for turbulence modeling according to their advantages and disadvantages</li> <li>• apply numerical simulation databases for interpretation of turbulence in functional space defined in terms of anisotropy-invariant map</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Strömungsmechanik	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) 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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	Jovanovic, J.: Statistical Dynamics of Turbulence, Springer Verlag, 2004  Hinze, J.O.: Turbulence (2nd edition), McGraw Hill, 1975

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

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. Thermofluiddynamik der Biotechnologie.
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) 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 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>• 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> 45435	<b>Strömungsakustik</b> Aeroacoustics	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übungen zu Strömungsakustik (0 SWS) Vorlesung mit Übung: Strömungsakustik / Aeroacoustics (3 SWS)	- 5 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>• strömungsmechanische Grundlagen (Grundgleichungen, Turbulenz, Wirbelstärke, Kompressible Strömungen)</li> <li>• Akustik (Wellengleichung, Greensche Funktion, Monopol, Dipol und Quadrupole)</li> <li>• Akustische Analogie (Lighthill-Analogie, Curle-Theorie, Vortexschall, APEGleichungen)</li> <li>• Aeroakustische Messverfahren und Messeinrichtungen</li> <li>• Hybride numerische CAA-Verfahren</li> <li>• Anwendungen: Tonaler Schall: Zylinder</li> <li>• Breitbandlärm: Stufe Freistrahllärm, Tragflügelärm, Turbomaschinen</li> <li>• Windenergieanlagen, Akustik der menschlichen Stimme</li> <li>• Beurteilung der Schallwahrnehmung</li> </ul>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen und erklären die Grundlagen der strömungsinduzierten Schallabstrahlung und deren Einfluss auf den Menschen</li> <li>• erhalten in der Verbindung von Strömungsmechanik, Strukturmechanik und Akustik Kompetenzen in der Behandlung komplexer physikalischer Systeme</li> <li>• können experimentelle und numerische Verfahren zur Lösung aeroakustischer Probleme anwenden</li> <li>• analysieren sehr aktuelle Fragestellungen und Anwendungen, die sich von der Medizintechnik über die Fahrzeugakustik, Prozessanlagen bis hin zur Akustik von Windenergieanlagen erstrecken</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) 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: 60 h Eigenstudium: 90 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>• Lehrbuch: Grundlagen der Strömungsmechanik, Franz Durst</li> <li>• Vorlesungsskript: Strömungsakustik, Kaltenbacher/Becker</li> </ul>

# Vertiefungsmodulgruppe

## Mechanische

## Verfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94441	<b>Mechanische Verfahrenstechnik II</b> Focus module: Mechanical process engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	Vertiefungsmodulgruppe Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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: 60 h Eigenstudium: 90 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

# Wahlpflichtmodule

## Mechanische

## Verfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45340	<b>Fluid-Feststoff-Strömungen</b> Solid-liquid two phase flow	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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> 45280	<b>Industrielles Produkt-Design</b> Industrial product design	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: IP (3 SWS)	5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Jens Uhlemann	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert	
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>	Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
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 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> 45360	<b>Modellbildung in der Partikeltechnik</b> Modelling in particle technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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> 45350	<b>Nanotechnology of Disperse Systems</b> Nanotechnology of disperse systems	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Nanotechnologie disperser Systeme (3 SWS) Übung: Nanotechnology of Disperse Systems Exercises (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Dr. Monica Distaso 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>	Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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

- |  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Thota, S. and Crans, D.C. (2018) Metal nanoparticles: Synthesis and applications in pharmaceutical sciences, Wiley-VCH, Weinheim. Full text</li></ul> |
|--|---|

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45375	<b>Polymer Science and Processing</b> Polymer science and processing	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152  Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p>	

		Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 2023/2
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 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> 45045	<b>Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization</b> 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 SWS) Übung: Übung Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Martin Hartmann	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Martin Hartmann
5	<b>Inhalt</b>	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.
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden: <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> <li>• wenden die theoretischen Aspekte in vielfältigen spezielleren, aber auch kombinierten Übungen zur Charakterisierung</li> </ul>

		<p>von technischen Katalysatoren und Adsorbenten mittels Festkörper-NMR-Spektroskopie und ESR-Spektroskopie (unter Einbeziehung von IR- und UV-Spektroskopie) an</p> <ul style="list-style-type: none"> <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: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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. Vadrine (Eds.), Wiley-VCH 2012</li> </ul>

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

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>	Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch 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> 94480	<b>Reinraumtechnik</b> Clean room technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Reinraumtechnik (2 SWS) Übung: Übung Reinraumtechnik (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Ing. Eberhard Schlücker Dr.-Ing. Christian Lübbert Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Peukert	

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>• Klimaanlage</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>• Partikelmesstechnik</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>	Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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: 45 h 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> 45231	<b>Rheologie / Rheometrie</b> Rheology/Rheometry	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Rheologie/Rheometrie - Übung (1 SWS) Vorlesung: Rheologie/Rheometrie (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Andreas Wierschem Sharadwata Pan	

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. Thermofluiddynamik der Biotechnologie.
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) 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 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>• 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> 42936	<b>Self-organisation processes</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 75 h 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> 45335	<b>Trocknungstechnik</b> Drying technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung Trocknungstechnik (0 SWS) Vorlesung: Trocknungstechnik/Drying Technology (0 SWS)	- 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>	Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	1. O. Krischer, W. Kast: Trocknungstechnik: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Springer-Verlag, 2014  2. A.S. Mujumdar (Ed.): Handbook of Industrial Drying, CRC Press, 2013  Gehrmann, Esper, Schuchmann: Trocknungstechnik in der Lebensmittelindustrie, Behrs G mbH, 2009.

# Vertiefungsmodulgruppe Thermische Verfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94411	<b>Thermische Verfahrenstechnik II</b> Focus module: Separation science and technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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, Sonderverfahren der Rektifikation, Anwendung von Hybridverfahren, ausgewählte Aspekte der Membrantechnologie, Trocknungsprozesse	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <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>	Vorheriger Besuch der Vorlesung Trennverfahren (Kernfach)	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 Eigenstudium: 90 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch	
16	<b>Literaturhinweise</b>		

# Wahlpflichtmodule

## Thermische

## Verfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45035	<b>Adsorption: Fundamentals and Applications</b> Adsorption: Fundamentals and applications	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung Adsorption: Fundamentals and Applications (0 SWS) Vorlesung: Adsorption: Fundamentals and Applications (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Matthias Thommes Dr. Carlos Cuadrado Collados Carola Schlumberger	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Matthias Thommes	
5	<b>Inhalt</b>	1. Introduction and terminology 2. Gas adsorptions basics and adsorbent materials 3. Physisorption mechanisms 4. Surface area determination 5. Porosity and pore structure analysis of nanoporous materials 5.1 Micropore analysis 5.2 Mesopore analysis 5.3 Macropore analysis : adsorption and liquid intrusion methods 5.4. Characterization of hierarchically structured porous materials 6. High pressure adsorption 7. Surface chemistry effects on adsorption 8. Adsorption and characterization in the liquid phase  9. Adsorption of mixtures 10. Adsorption applications in gas storage and separation	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	The students will achieve a deep understanding of the underlying mechanisms for the adsorption of fluids on powders and nanoporous materials know adsorption-based and complimentary techniques/methodologies for a reliable characterization of adsorbents for applications in separation, heterogeneous catalysis etc. understand the basics of high pressure adsorption and corresponding applications in gas storage know selected, important principles of adsorption-based separation processes	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	

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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	

1	<b>Modulbezeichnung</b> 47810	<b>Chemische Energiespeicherung</b> Energy storage chemical	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Chemische Energiespeicherung (2 SWS) Übung: Übung zur Chemischen Energiespeicherung (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Dr.-Ing. Detlef Freitag Peter Leicht 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>	<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	Huggins, R.A., Energy Storage, Springer, 2010

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45071	<b>Hochdrucktrenntechnik</b> High-pressure separation technologies	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

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:  Grundlagen (nahe- und überkritische Fluide, Zustandsänderungen und -diagramme)  CO<sub>2</sub>, Phasengleichgewichte  Hochdruck- Extraktion von Feststoffen und Flüssigkeiten (z.B. Entcoffeinierung von Kaffee und Tee, Hopfen- und Gewürzextraktion)  Verfahren zur Druckbehandlung von Materialien (Entwesung, Imprägnierung, Färbung)  Sicherheit, Kosten  Hochdruckpolymerisation (Polyethylen)  Hochdruckkristallisation (Diamantsynthese, Gashydrate)  Analytische Verfahren  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>	Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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:  G. Brunner, Gas Extraction,  Steinkopff, Darmstadt, Springer New York, 1994  E. Stahl, K.-W. Quirin, D. Gerard, Verdichtete Gase zur Extraktion und Raffination,  Springer Verlag 1987  M.B. King, T.R. Bott, Extraction of Natural Products using Near- Critical Solvents,  Chapmann & Hall 1993  R. Eggers (Hrsg), Industrial high pressure applications, Wiley-VCH, Weinheim 2012

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45081	<b>Membranverfahren</b> Membrane processes	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <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>	<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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> 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 SWS) Übung: CBI-Optical Diagnostics in Energy and Process Engineering (Exercise) (2 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Dr.-Ing. Franz Huber	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Franz Huber 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> <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: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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>• Bräuer, Andreas: In situ Spectroscopic Techniques at High Pressure, Amsterdam 2015</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45470	<b>Phasengleichgewichte</b> Phase equilibrium	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr. Liudmila Mokrushina
5	<b>Inhalt</b>	<p>Das Modul vermittelt den Umgang mit und die Auswahl von unterschiedlichen Ansätzen und Methoden zur Modellierung von Phasengleichgewichten.</p> <p>Zuerst werden die allgemeinen Grundlagen der Phasengleichgewichtsthermodynamik wiederholt. Anschließend wird die Ermittlung von thermodynamischen Stoffdaten diskutiert. In drei Blöcken werden unterschiedliche Strategien zur Berechnung von Dampf-flüssig und Flüssig-flüssig Phasengleichgewichten vorgestellt und am Computer geübt. Die drei Blöcke werden gebildet aus den Zustandsgleichungen, den Aktivitätskoeffizientenmodellen und der Verknüpfung der Thermodynamik mit der Quantenchemie. Vermittelt werden sollen vor allem Verständnis und Gefühl für Vorteile und Nachteile der verschiedenen Strategien und Modelle. Besonderer Wert wird auf die praktische Arbeit am Computer gelegt. Im Vordergrund stehen die Ermittlung von Stoffdaten, die Berechnung von Phasengleichgewichten, die Konstruktion von Molekülgeometrien und die Durchführung quantenchemischer Rechnungen.</p>
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln selbständig Stoffdaten</li> <li>• kennen unterschiedliche Verfahren zur Beschreibung von Phasengleichgewichten</li> <li>• können die Daten zur Beschreibung von Phasengleichgewichten auf unterschiedliche Weise vorhersagen und die so gewonnenen Daten kritisch evaluieren</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 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> 92890	<b>Technische Chromatographie</b> Technical chromatography	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Technische Chromatographie (2 SWS) Übung: Übung zu Technische Chromatographie (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr.-Ing. Malte Kaspereit Malvina Supper Peter Leicht	

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> </ul>	

		<ul style="list-style-type: none"> <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>	Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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> 44960	<b>Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und Energietechnik</b> Thermophysical properties of working materials in process and energy engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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> <li>• Correlation and prediction of thermophysical properties</li> </ul>	

		<ul style="list-style-type: none"> <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> <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 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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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. Tsooakis, 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> </ul>

- J. A. Wesselingh, R. Krishna, Mass Transfer in Multicomponent Mixtures, Delft University Press, Delft, The Netherlands, 2000
- 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

# Vertiefungsmodulgruppe Energieverfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94270	<b>Energieverfahrenstechnik</b> Energy process engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Andreas Hornung	
5	<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energy process technologies in context of the German Energiewende</li> <li>• Conversion of fuels - fundamentals</li> <li>• Thermal conversion processes new approaches</li> <li>• Pyrolysis</li> <li>• Gasification</li> <li>• Combustion</li> <li>• Fuel cells</li> <li>• Decentralised energy systems</li> <li>• System integration</li> <li>• CO2 negative power production</li> <li>• Requirements for the introduction of low grade, ash rich feeds into energy conversion processes</li> </ul>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Students <ul style="list-style-type: none"> <li>• understand the fundamentals in energy process technologies</li> <li>• know how to integrate technologies to adapt to new demands driven by policy</li> <li>• assess synergies in combination of technologies</li> <li>• discuss pro and cons of decentralized systems</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 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>• script</li> <li>• Hornung, Transformation of Biomass, Wiley</li> </ul>	

# Wahlpflichtmodule

## Energieverfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 48391	<b>Advanced electrochemistry - from fundamentals to applications</b> Advanced electrochemistry - From fundamentals to 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>	Prof. Dr. Karl Mayrhofer
5	<b>Inhalt</b>	<p>The module advanced electrochemistry provides a fundamental insight into electrochemical systems and discuss advanced electrochemical methods. Based on this knowledge, students will be able to understand electrochemical problems, suggest methods to solve them and understand the background of many practical electrochemical systems and applications, required for the understanding of electrochemical reactor technology. They will also get an insight into the fundamental research problems of modern electrochemistry. Practical electrochemical systems will be discussed that are either already of great economic importance or will become crucial in future applications. Students will gain knowledge on the most relevant applied electrochemical research topics, will have a clear view on the versatility of electrochemical devices and have an understanding of electrochemistry based energy systems and their potential. Several technologies of importance in energy conversion systems and the production of added-value chemicals like electrolysers, fuel cells, flow batteries, supercapacitors, chloralkali process, organic electrosynthesis, aluminum production, but also corrosion, metal deposition, electroanalysis, electrochemical sensors, lithography galvoforming, semiconductors, information storage, bioelectrochemistry, photoelectrochemistry, conducting polymers, will be discussed.</p> <p>Setup of the module:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrochemical thermodynamics (5 lectures) introduction (scope and role of electrochemistry, short history), electrochemical potentials, Nernst-equation, electrodes, conductance, transference number, mobility, solvation of ions, the Born-equation, Debye-Hückel theory, junction potentials, ion selective electrodes (concept of pH, the glass electrode, other ion selective electrodes), transport phenomena,</li> </ul>

		<p>electrified interfaces: double layer theories, adsorption (adsorption isotherms), surface excesses, electrocapillary equation, electrokinetic properties</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrochemical kinetics (3 lectures) Tafel-equation, Butler-Volmer equation, theories of electron transfer, transition state theory, introduction to electrocatalysis (single crystals), rate-coverage relations</li> <li>• Electrochemical methods (7 lectures) electrochemical cells/ reactors, electrochemical instrumentation, potential step methods, potential sweep methods, galvanostatic methods, stripping analysis, hydrodynamic methods (RDE, RRDE), impedance (1 lecture), scanning techniques (electrochemical STM, SECM, SFC, AFM), electrochemistry coupled with spectroscopic techniques (in situ spectroelectrochemical techniques: UV-VIS, IR, X-ray, Raman etc), mass spectrometry, EQCM etc; intro to the second semester courses</li> </ul>
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• understand the thermodynamic and kinetic fundamentals of electrochemical processes</li> <li>• know of modern electrochemical methods and their application</li> <li>• critically read electrochemical literature</li> <li>• understand the principles of various electrochemical technologies</li> <li>• discuss electrochemical energy conversion approaches and their future potential</li> <li>• critically assess the current issues of implementation</li> <li>• understand the importance of electrochemical technologies in various fields</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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>• Electrochemical methods: fundamentals and applications by A. J. Bard, L. R. Faulkner, 2nd ed., Wiley, 2000</li> <li>• Elektrochemie by C. H. Hamann, W. Vielstich, 4th ed., Wiley, 2005</li> <li>• Electrochemistry Principles, Methods, and Applications by C. M. A. Brett und A. M. O. Brett. Oxford University Press, 1993</li> <li>• Electrode kinetics for chemists, chemical engineers, and materials scientists by E. Gileadi, Wiley-VCH, 1993</li> <li>• Industrial Electrochemistry by D. Pletcher, F.C. Walsh, 2nd ed., Springer, 1990</li> <li>• Electrochemical Engineering: Science and Technology in Chemical and Other Industries by H. Wendt, G. Kreysa, Springer, 2013</li> <li>• Fundamentals of Electrochemistry by V. S. Bagotsky, 2nd ed., Wiley, 2005</li> </ul>



		<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>	<p>Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Prozessmaschinen und Apparatechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 45 h Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch 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> 42917	<b>Clean combustion technology</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	Students will... <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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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>• 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> 96509	<b>Digitalisierung in der Energietechnik</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: DigitalisierungET-UE (2 SWS) Vorlesung: Vorlesung Digitalisierung in der Energietechnik (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lehrende	Julian Nix Thomas Plankenbühler Dr.-Ing. Dominik Müller	

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  Teil 2 - Grundlagen von SPS-Steuerungen (Historie, Aufbau, Funktion, Programmierung), Aufbau Anlagennetz  Teil 3 - Kommunikationsprotokolle (OPC, OPC-UA, Modbus, CAN. etc.)  Teil 4 - Einführung in SQL  Teil 5 - Regelungskonzept für industrielle Anlagen (Beispiel "Feuerungs-Leistungsregelung")  Teil 6 - Visualisierung &amp; HMI  Teil 7 - Einführung in die KI / Grundlagen Datenmanagement und Explorativer Datenanalyse  Teil 8 - Explorative Datenanalyse und Data Mining  Teil 9 - Machine Learning und einfache Prognosemodelle  Teil 10 - Deep Learning und Neuronale Netze  Teil 11 - Einführung in IT-Sicherheit  Teil 12 - Ausblick in aktuelle Themen des Lehrstuhls / 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 Berührungshürden 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: 1	

9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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: 45 h 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> 47770	<b>Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen</b> Energetic use of biomass and waste	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Vorlesung Energetische Nutzung von Biomasse und Reststoffen (2 SWS) Übung: Seminar Energetischen Nutzung von Biomasse und Reststoffen (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Nora Elhaus Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl	

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  Teil 2 - Wärmeerzeugung aus biogenen Brennstoffen  Teil 3 - Stromerzeugung mit Verbrennungsanlagen  Teil 4 - Stromerzeugung mit Vergärung  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  Teil 7 - Vergasung von Biomasse  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>	Die Studierenden <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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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  Kaltschmitt, Energie aus Biomasse, Springer Verlag

1	<b>Modulbezeichnung</b> 47790	<b>Energiewirtschaft und Umweltrecht</b> Energy management and environmental law	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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  Grundlagen der konventionellen Strom- und Wärmeerzeugung  Wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Energiewandlung  Finanzierungsmodelle für die Energiewirtschaft</p> <p>Der zweite Teil befasst sich mit den gesetzlichen Rahmenbedingungen der Energiewirtschaft:</p> <p>Teil 2: Gesetzliche Rahmenbedingungen  Umweltrechtliche Rahmenbedingungen  (Bundesimmissionsschutzgesetze und Verordnungen, TA Luft, Emissionshandel, Energieeinsparverordnung, Umweltverträglichkeitsprüfung)  Förderpolitische Maßnahmen (EEG, KWK-Gesetz, Ökosteuern, Energiewirtschaftsgesetz)</p> <p>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  Netze und Versorgungssicherheit  Speichertechnologien  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> <li>• können unterschiedliche Szenarien für die künftige Energieversorgung erläutern</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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> 42918	<b>Fuel cells and electrolyzers</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Fuel cells and electrolyzers (2 SWS) Übung: Fuel cells and electrolyzers (3 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. 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: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p>	

		Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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: 75 h 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</li> <li>• Prinz, Fritz B.</li> <li>• Colella, Whitney (2016): Fuel cell fundamentals: John Wiley &amp; Sons.</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 47761	<b>Regenerative Energien - Erzeugung, Integration, Speicherung</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Übung: Übung Regenerative Energien - Erzeugung, Integration, Speicherung (1 SWS)	-
3	Lehrende	Sebastian Kolb Natalia Luna-Jaspe Roa Dr.-Ing. Marius Dillig	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl	
5	<b>Inhalt</b>	<p>Im Rahmen des Moduls werden aktuelle Problemstellungen der Integration und Transformation von Energiesystemen mit regenerativen Energien behandelt. Insbesondere werden Anlagentechnik, Speicher und Netzintegration vorgestellt und Ressourcenbewertungs-, Projektionsverfahren und Szenarioergebnisse verglichen und diskutiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Ressourcenbewertung</li> <li>• Grundlagen von Prognose- und Projektionsverfahren</li> <li>• Photovoltaik, Anlagentechnik und Netzintegration</li> <li>• Windkraft, Anlagentechnik und Netzintegration</li> <li>• Regenerative Wärme: Anlagentechnik Geothermie / Biomasse</li> <li>• Grundlagen und Anlagentechnik von Energiespeichern</li> <li>• Netzintegration und Regelenergie mit EE</li> <li>• Integration und Transformation von Energiesystemen (Prof. Sterner)</li> </ul> <p>Darüber hinaus wird ein Szenario zur Integration erneuerbarer Energieressourcen erstellt. Die theoretischen Inhalte zur Ressourcenbewertung, Anlagentechnik, Speichern und Systemintegration werden dabei an praktischen Beispielen angewandt und zu einem Systemmodell mit Hilfe der Software Simile zusammengebaut. Die Ergebnisse der Szenariorechnungen werden von den Studierenden im Rahmen einer abschließenden Posterpräsentation vorgestellt und mit den Dozenten diskutiert.</p>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden erlernen die Ressourcenbewertung, Anlagentechnik und Netzintegration von verschiedener reg. Energieträgern und Speichern. Sie lernen Projektionsverfahren zur Integration und Transformation von Energiesystemen kennen, wenden diese zur Modellerstellung und damit direkten praktischen Kompetenzerwerb selbstständig an und diskutieren und bewerten Prognoseergebnisse kritisch.	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	

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: 45 h 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>• Karl; Dezentrale Energiesysteme; Oldenbourg-Verlag</li> <li>• Sterner, Stadler; Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration; Springer Verlag</li> <li>• Quaschnig; Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung Simulation; Carl Hanser Verlag</li> </ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 44960	<b>Thermophysikalische Eigenschaften von Arbeitsstoffen der Verfahrens- und Energietechnik</b> Thermophysical properties of working materials in process and energy engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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> <li>• Correlation and prediction of thermophysical properties</li> </ul>	

		<ul style="list-style-type: none"> <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> <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 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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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. Tsooakis, 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> </ul>

- J. A. Wesselingh, R. Krishna, Mass Transfer in Multicomponent Mixtures, Delft University Press, Delft, The Netherlands, 2000
- 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> 43700	<b>Transportprozesse</b> Transport processes	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Sebastian Rieß 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>	<p>Die Studierenden</p> <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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
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 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> 45310	<b>Wärmeanlagen und Kraftwerkstechnik</b> Thermal power plants and power plant technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Karl	
5	<b>Inhalt</b>	<p>1. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen der Stromerzeugung  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)  5. Dampfkraftprozesse für Erneuerbare Energien 6. Kernkraftwerke  7. Organic Rankine Cycles für die Abwärmenutzung  8. Gasturbinen- und hocheffiziente GUD-Kraftwerke  9. Stationäre Gasmotoren für die Kraft-Wärme-Kopplung  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>	Die Studierenden <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>	Vorlesung Technische Thermodynamik	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232 Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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 K. Strauß, Kraftwerkstechnik, Springer Verlag H. Effenberger, Dampferzeugung, Springer-Verlag H. Spliethoff, Power generation from Solid Fuels, Springer-Verlag J. Karl, Klimawende, neobooks

# Vertiefungsmodulgruppe Simulation granularer und molekularer Systeme

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94281	<b>Simulation granularer und molekularer Systeme</b> Simulation of Granular and Molecular Systems	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Simulation granularer und molekularer Systeme (3 SWS) Übung: Simulation granularer und molekularer Systeme Übung (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lehrende	Prof. Dr. Thorsten Pöschel Prof. Dr. Michael Engel	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Thorsten Pöschel	
5	<b>Inhalt</b>	Die Lehrveranstaltung befasst sich mit der Simulation von Systemen vieler Teilchen mit Hilfe verschiedener numerischer Methoden: <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 Fluidodynamik am Beispiel von Direct Simulation Monte-Carlo und Smoothed-Particle Hydrodynamics (SPH)</li> </ul>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <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>	Vertiefungsmodulgruppe Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
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: 60 h Eigenstudium: 90 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	

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

# Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45400	<b>Digitale Bildverarbeitung</b> Digital image processing	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Digitale Bildverarbeitung (2 SWS) Übung: Digitale Bildverarbeitung - Übung (0 SWS)	- -
3	Lehrende	Dr. Achim Sack Olfa D'Angelo	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Thorsten Pöschel	
5	<b>Inhalt</b>	<p>Digitale Bildverarbeitung spielt eine immer größere Rolle bei der Durchführung und Auswertung von Messungen in Forschung, Entwicklung und Produktionsüberwachung.</p> <p>Das Modul vermittelt grundlegende und weiterführende Kenntnisse und Techniken zur selbständigen Lösung häufiger Problemstellungen bei der optischen Datennahme und -auswertung.</p> <p>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.</p>	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	<p>Die Studierenden können selbstständig optische Daten aufnehmen und auswerten. Sie verstehen das Konzept der zugrundeliegenden Methoden.</p> <p>Unter anderem beherrschen und verwenden Sie Methoden:</p> <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>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>	
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 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> 45141	<b>Discrete Element Simulations</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr. Vasileios Angelidakis
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</li> <li>• Mechanical stability: 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> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <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>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme  Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Variabel 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 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., Chèvremont, W., ... &amp; Yuan, C. (2021). <i>YADE Documentation 3rd ed. The Yade Project</i>.</li> </ol>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45143	<b>Granular Matter and Applications</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Granular Matter and Applications (2 SWS) Übung: Granular Matter and Applications (1 SWS)	5 ECTS -
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> <li>• Modify and use open-source codes for simulating complex particulate systems in various applications</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <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>	Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Versuchspersonenstunde Oral exam 30 minutes
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>	Versuchspersonenstunde (100%) Grading on exercises
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Sommersemester
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 45 h 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>	1) T. Poeschel, T. Schwager, "Computational Granular Dynamics", SpringerLink (2005), ISBN: 978-3-540-27720-0 2) H. J. Herman, J. -P. Hovi, S. Luding, "Physics of Dry Granular Media", SpringerLink (1998), ISBN: 978-94-017-2653-5 3) S. Herminghaus, "Dynamics of Wet Granular Matter", Advances in Physics 54, Taylor & Francis Online (2005), doi.org/10.1080/00018730500167855 4) K. K. Rao, P. R. Nott, "An Introduction to Granular Flow", Cambridge University Press (2009), doi.org/10.1017/CBO9780511611513

1	<b>Modulbezeichnung</b> 44650	<b>Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz im Ingenieurwesen (KI-ING)</b> Machine learning and artificial intelligence in engineering (KI-ING)	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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> 45360	<b>Modellbildung in der Partikeltechnik</b> Modelling in particle technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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> 45487	<b>Numerische Methoden der Thermofluiddynamik I</b> Numerical methods in thermal fluid mechanics I	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Numerische Methoden der Thermofluiddynamik (2 SWS) Übung: Numerische Methoden der Thermofluiddynamik (1 SWS)	- 5 ECTS
3	Lehrende	Sandra Schindler Dr.-Ing. Manuel Münsch Prof. Dr. Philipp Schlatter 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>	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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 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> 45486	<b>Numerische Methoden der Thermofluiddynamik II</b> Numerical methods in thermal fluid mechanics II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Manuel Münsch	
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>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	<p>mündlich (30 Minuten)</p> <p>mündlich, 30 min</p>	
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>	mündlich (100%)	
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Sommersemester	
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	<p>Präsenzzeit: 45 h</p> <p>Eigenstudium: 105 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>• J. H. Ferziger, M. Peric, Numerische Strömungsmechanik, Springer, 2008</li></ul>

1	<b>Modulbezeichnung</b> 44790	<b>Partikelbasierte Strömungsmechanik</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 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  G. Gompper et al., Multi-Particle Collision Dynamics: A Particle-Based Mesoscale Simulation Approach to the Hydrodynamics of Complex Fluids  E.-S. Lee et al., Comparisons of weakly compressible and truly incompressible algorithms for the SPH mesh free particle method.

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94474	<b>Photon &amp; Neutron Scattering for Structure Determination</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>  <b>Basics</b>  - Review of Materials crystal structure  - X-ray – Matter interactions (absorption and elastic/inelastic scattering; Auger, etc.)  - Scattering Theory (scattering by electron, atom, cell; scattering cross section; form factors)  <b>Commercial vs. Large Scale Sources</b>  - High energy X-ray and Neutrons (basic properties of X-rays vs. neutrons)  - Synchrotron vs. X-ray free-electron-laser vs. neutron (radiation production)  - Neutron - Matter interactions (scattering of neutrons; nuclear and magnetic scattering)  - Access routes to Large Scale Facilities (project proposal, application process)  <b>Part II: Investigation Techniques (40%)</b>  <b>Photon scattering for the study of chemical processes</b>  - Synchrotron techniques in catalytic science (XRPD, XPDF, XAFS)  - Synchrotron techniques for Nanomaterials and Soft Matter Research (SAXS, XPCS)  - In situ/operando synchrotron-based X-ray techniques (XRPD, XPDF, XAS, Imaging)  <b>Neutron scattering for the study of biological systems</b>  - Structure solution of macromolecular systems (SANS)  - Macromolecular crystallography (NMX, Single Crystal Diffraction)  - Neutron reflectometry (NR)  <b>Virtual Experiments</b>  - Data based simulation (e.g., Debye scattering equation)  - Instrument based simulation (e.g., MC ray-tracing)  <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>	Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152

		Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch oder Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	<p># B. E. Warren, "X-Ray Diffraction", Dover Publications Inc. (1990), ISBN: 978-0486663173</p> <p># B. D. Cullity, S. R. Stock, "Elements of X-Ray Diffraction", PRENTICE HALL, ISBN: 978-0201610918</p> <p># A.-J. Dianoux, G. Lander, "Neutron Data Booklet" Institute Laue-Langevin (2003), ISBN: 0-9704143-7-4</p> <p># Silvia D. S., "Elementary scattering theory for X-ray and neutron users", Oxford University Press (2011). ISBN: 0-19-100477-4</p> <p># Squires G. L., "Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering", Cambridge University Press (2012). ISBN: 9781107644069</p> <p># Als-Nielsen J. &amp; McMorrow D., "Elements of Modern X-ray Physics", John Wiley and Sons (2011). ISBN: 9780470973950</p> <p># Waseda Y., "X-Ray Diffraction Crystallography: Introduction, Examples and Solved Problems", Springer (2011) Berlin Heidelberg. ISBN: 9786613081940</p>

# Willmott, P., "An Introduction to Synchrotron Radiation: Techniques and Applications", Wiley

(2011) New York. ISBN: 9780470745786

# International Tables of Crystallography

1	<b>Modulbezeichnung</b> 45210	<b>Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung I</b> Physics of turbulence and turbulence modelling I	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Prof. Dr. Jovan Jovanovic
5	<b>Inhalt</b>	Im Rahmen des Moduls werden praktisch einsetzbare Methoden zur Berechnung allgemeiner turbulenter Strömungen vorgestellt. Ausgangspunkt sind die Navier-Stokes-Gleichungen, die formal hergeleitet und anschließend zeitgemittelt werden. Die durch die Mittelung auftretenden Zusatzterme werden physikalisch interpretiert und gebräuchliche mathematische Modelle (Turbulenzmodelle) zur Beschreibung dieser Terme eingeführt. Die Anwendung der vorgestellten Turbulenzmodelle auf für die Praxis relevante turbulente Strömungen wie z. B. Grenzschichten, Freistrahlen etc. wird im Detail diskutiert.
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• können allgemeine turbulente Strömungen berechnen</li> <li>• können relevante Gleichungen herleiten und zeitmitteln</li> <li>• können die durch die Mittelung aufgetretene Zusatzterme interpretieren</li> <li>• können die vorgestellten Turbulenzmodelle in der Praxis anwenden</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) mündlich, 30 min
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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Englisch



1	<b>Modulbezeichnung</b> 45220	<b>Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung II</b> Physics of turbulence and turbulence modelling II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: Physik der Turbulenz und Turbulenzmodellierung II (3 SWS)	5 ECTS
3	Lehrende	Prof. Dr. Philipp Schlatter Prof. Dr. Jovan Jovanovic	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	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>• twopoint 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>Students</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• identify and explain the fundamental theories of turbulence</li> <li>• details of the modeling and validation using DNS databases</li> <li>• implement statistical methods like two-point correlation technique and invariant theory for modeling of unknown correlation</li> <li>• discuss different techniques for turbulence modeling according to their advantages and disadvantages</li> <li>• apply numerical simulation databases for interpretation of turbulence in functional space defined in terms of anisotropy-invariant map</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Strömungsmechanik	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	mündlich (30 Minuten) 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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	Jovanovic, J.: Statistical Dynamics of Turbulence, Springer Verlag, 2004  Hinze, J.O.: Turbulence (2nd edition), McGraw Hill, 1975

1	<b>Modulbezeichnung</b> 42915	<b>Process simulation</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Process Simulation ( SWS) Übung: Process Simulation (Exercise) ( SWS)	- -
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>	Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	

		<p>Wahlpflichtmodule Nachhaltige Chemische Technologien Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p> <p>Wahlpflichtmodule Schwerpunkt Nachhaltigkeit Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Variabel (120 Minuten)
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 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> 46100	<b>Scannen und Drucken in 3D</b> Scanning and printing in 3D	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung mit Übung: SD3D (3 SWS)	-
3	Lehrende	Olfa D'Angelo	

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>	<p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	schriftlich/mündlich (120 Minuten)
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>	schriftlich/mündlich (100%)
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Wintersemester
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 60 h 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> 42936	<b>Self-organisation processes</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	<p>Wahlpflichtmodule Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152</p> <p>Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232</p>
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: 75 h 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> 43700	<b>Transportprozesse</b> Transport processes	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Sebastian Rieß 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>	Wahlpflichtmodule Energieverfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Simulation granularer und molekularer Systeme Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152 Wahlpflichtmodule Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20232	
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 Eigenstudium: 105 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch
16	<b>Literaturhinweise</b>	

# Vertiefungsmodulgruppe

# Chemische Reaktionstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1854	<b>Praktikum Chemische Reaktionstechnik</b> Laboratory course: Chemical reaction engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Praktikum: Praktikum Porous Materials: Preparation principles, production processes and spectroscopic characterization (3 SWS) Praktikum: Trocknungstechnik Praktikum (3 SWS) Praktikum: Reaktionstechnik, Vertiefung, Praktikum / Practical to Chemical Reaction Engineering CBI (3 SWS)	2,5 ECTS - -
3	Lehrende	Prof. Dr. Martin Hartmann Dr.-Ing. Marcus Fischer Dr.-Ing. Alexandra Inayat Prof. Dr.-Ing. Andreas Bück Sharanya Nair Maximilian Heinlein Nnamdi Madubuko Asem Al-Shaibani Yousuf Raed Ramzi Sharmin Khan Antara Dr. Peter Schulz Muhammad Rehman	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr. Peter Schulz
5	<b>Inhalt</b>	Im Rahmen des Praktikumsmoduls werden ausgewählte Versuche aus dem Gebiet Chemische Reaktionstechnik durchgeführt. Ziel ist dabei, die bisher im Studium erworbenen Fach- und Methodenkompetenzen in der Laborpraxis umzusetzen und zu erweitern. Die Versuche werden von den Studierenden selbständig durchgeführt. Die Ergebnisse sind auszuwerten und in Form eines Protokolls festzuhalten.
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>wenden die erworbenen theoretischen Grundlagen auf verfahrenstechnische Fragenstellungen an</li> <li>kennen verfahrenstechnische Reaktionen, Prozesse und apparative Lösungen und können diese weiterentwickeln</li> <li>führen wissenschaftliche Experimente selbständig durch</li> <li>protokollieren, analysieren und diskutieren kritisch die Ergebnisse der eigenständig durchgeführten Experimente</li> </ul>
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152

10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>	
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Wintersemester
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 60 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch Englisch
16	<b>Literaturhinweise</b>	

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94391	<b>Vertiefung Reaktionstechnik</b> Focus Module: Chemical Reaction Engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Vorlesung: Reaktionstechnik / Chemical Reaction Engineering CBI (3 SWS) Übung: Reaktionstechnik, Übungen / Exercices Chemical Reaction Engineering CBI (1 SWS) Tutorium: Reaktionstechnik, Tutorium / Tutorial Chemical Reaction Engineering (1 SWS)	7,5 ECTS - -
3	Lehrende	apl.Prof.Dr. Marco Haumann Miriam Willer Domenic Strauch Vera Haagen Philipp Rothgängel Dominik Kraus Manfred Aubermann Patrick Wolf	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	apl.Prof.Dr. Marco Haumann	
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> </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).</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Chemische Reaktionstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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: 60 h Eigenstudium: 90 h
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch Englisch
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 (Hörerschein am Lehrstuhl erhältlich)</li> <li>• Baerns, Hofmann, Renken, Chemische Reaktionstechnik, Thieme Verlag, Stuttgart. (Hörerschein am Lehrstuhl erhältlich)</li> <li>• Jess, Wasserscheid, Chemical Technology, 1. Auflage, Weinheim 2013 Wiley-VCH</li> </ul>

# Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1874	<b>Praktikum Technische Thermodynamik</b> Laboratory course: Engineering thermodynamics	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Simon Aßmann Dr.-Ing. Franz Huber Kristina Rauh Prof. Dr.-Ing. Stefan Will	
5	<b>Inhalt</b>	Im Rahmen des Praktikumsmoduls werden ausgewählte Versuche aus dem Gebiet Technische Thermodynamik durchgeführt. Ziel ist dabei, die bisher im Studium erworbenen Fach- und Methodenkompetenzen in der Laborpraxis umzusetzen und zu erweitern. Die Versuche werden von den Studierenden selbständig durchgeführt. Die Ergebnisse sind auszuwerten und in Form eines Protokolls festzuhalten.	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>wenden die erworbenen theoretischen Grundlagen auf verfahrenstechnische Fragenstellungen an</li> <li>kennen verfahrenstechnische Reaktionen, Prozesse und apparative Lösungen und können diese weiterentwickeln</li> <li>führen wissenschaftliche Experimente selbständig durch</li> <li>protokollieren, analysieren und diskutieren kritisch die Ergebnisse der eigenständig durchgeführten Experimente</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	Im Rahmen des Moduls Praktikum Technische Thermodynamik sind zwei Praktika durchzuführen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Praktikum Technische Thermodynamik (Pflicht für alle, die als Schwerpunkt B Technische Thermodynamik gewählt haben) und</li> <li>ein weiteres Praktikum zu einem der Wahlpflichtmodule, das Sie im Rahmen der Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik gewählt haben.</li> </ul>	
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>		
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Sommersemester	
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 60 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	

15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch
16	<b>Literaturhinweise</b>	Lecture and lab course script

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94301	<b>Technische Thermodynamik II</b> Technical thermodynamics II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Franz Huber 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 speziell solcher der Verbrennungs-, Strömungs-, Kälte- und Wärmetechnik an</li> </ul>

		<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>	Es wird empfohlen, folgende Module zu absolvieren, bevor dieses Modul belegt wird: Technische Thermodynamik I
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Technische Thermodynamik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 Eigenstudium: 90 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>

# Vertiefungsmodulgruppe Strömungsmechanik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1884	<b>Praktikum Strömungsmechanik</b> Compulsory elective modules for laboratory course (Specialization: Fluid mechanics)	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Manuel Münsch	
5	<b>Inhalt</b>	Im Rahmen des Praktikumsmoduls werden ausgewählte Versuche aus dem Gebiet Strömungsmechanik durchgeführt. Ziel ist dabei, die bisher im Studium erworbenen Fach- und Methodenkompetenzen in der Laborpraxis umzusetzen und zu erweitern. Die Versuche werden von den Studierenden selbständig durchgeführt. Die Ergebnisse sind auszuwerten und in Form eines Protokolls festzuhalten.	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden die erworbenen theoretischen Grundlagen auf verfahrenstechnische Fragenstellungen an</li> <li>• kennen verfahrenstechnische Reaktionen, Prozesse und apparative Lösungen und können diese weiterentwickeln</li> <li>• führen wissenschaftliche Experimente selbständig durch</li> <li>• protokollieren, analysieren und diskutieren kritisch die Ergebnisse der eigenständig durchgeführten Experimente</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>		
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>		
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Sommersemester	
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 60 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch Englisch	
16	<b>Literaturhinweise</b>		

1	<b>Modulbezeichnung</b> 97331	<b>Strömungsmechanik II</b> Fluid mechanics II	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

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>Übungen ergänzen die Vorlesung. 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 die Vorlesung 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 (CBI, CEN) oder Strömungsmechanik I für Maschinenbau und Energietechnik.	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Strömungsmechanik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>	schriftlich oder mündlich mündlich, 30 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: 60 h Eigenstudium: 90 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>

# Vertiefungsmodulgruppe

## Mechanische

## Verfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94441	<b>Mechanische Verfahrenstechnik II</b> Focus module: Mechanical process engineering	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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>	Vertiefungsmodulgruppe Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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: 60 h Eigenstudium: 90 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

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1894	<b>Praktikum Mechanische Verfahrenstechnik</b> Laboratory course: Mechanical process engineering	<b>5 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. Cornelia Damm	
5	<b>Inhalt</b>	Im Rahmen des Praktikumsmoduls werden ausgewählte Versuche aus dem Gebiet Mechanische Verfahrenstechnik durchgeführt. Ziel ist dabei, die bisher im Studium erworbenen Fach- und Methodenkompetenzen in der Laborpraxis umzusetzen und zu erweitern. Die Versuche werden von den Studierenden selbständig durchgeführt. Die Ergebnisse sind auszuwerten und in Form eines Protokolls festzuhalten.	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden die erworbenen theoretischen Grundlagen auf verfahrenstechnische Fragenstellungen an</li> <li>• kennen verfahrenstechnische Reaktionen, Prozesse und apparative Lösungen und können diese weiterentwickeln</li> <li>• führen wissenschaftliche Experimente selbständig durch</li> <li>• protokollieren, analysieren und diskutieren kritisch die Ergebnisse der eigenständig durchgeführten Experimente</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Mechanische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>		
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>		
12	<b>Turnus des Angebots</b>	keine Angaben zum Turnus des Angebots hinterlegt!	
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Eigenstudium: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	?? Semester (keine Angaben zur Dauer des Moduls hinterlegt)	
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch	
16	<b>Literaturhinweise</b>		

# Vertiefungsmodulgruppe Thermische Verfahrenstechnik

1	<b>Modulbezeichnung</b> 1904	<b>Praktikum Thermische Verfahrenstechnik</b>	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
3	Lehrende	-	

4	<b>Modulverantwortliche/r</b>	Dr.-Ing. Martin Drescher	
5	<b>Inhalt</b>	Im Rahmen des Praktikumsmoduls werden ausgewählte Versuche aus dem Gebiet Thermische Verfahrenstechnik durchgeführt. Ziel ist dabei, die bisher im Studium erworbenen Fach- und Methodenkompetenzen in der Laborpraxis umzusetzen und zu erweitern. Die Versuche werden von den Studierenden selbständig durchgeführt. Die Ergebnisse sind auszuwerten und in Form eines Protokolls festzuhalten.	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden die erworbenen theoretischen Grundlagen auf verfahrenstechnische Fragenstellungen an</li> <li>• kennen verfahrenstechnische Reaktionen, Prozesse und apparative Lösungen und können diese weiterentwickeln</li> <li>• führen wissenschaftliche Experimente selbständig durch</li> <li>• protokollieren, analysieren und diskutieren kritisch die Ergebnisse der eigenständig durchgeführten Experimente</li> </ul>	
7	<b>Voraussetzungen für die Teilnahme</b>	Keine	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 20152	
10	<b>Studien- und Prüfungsleistungen</b>		
11	<b>Berechnung der Modulnote</b>		
12	<b>Turnus des Angebots</b>	nur im Sommersemester	
13	<b>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</b>	Präsenzzeit: 90 h Eigenstudium: 60 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch	
16	<b>Literaturhinweise</b>	Lecture and lab course script	

1	<b>Modulbezeichnung</b> 94411	<b>Thermische Verfahrenstechnik II</b> Focus module: Separation science and technology	<b>5 ECTS</b>
2	Lehrveranstaltungen	Die Lehrveranstaltungen des Moduls werden nur im Sommersemester angeboten.	
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, Sonderverfahren der Rektifikation, Anwendung von Hybridverfahren, ausgewählte Aspekte der Membrantechnologie, Trocknungsprozesse	
6	<b>Lernziele und Kompetenzen</b>	Die Studierenden <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>	Vorheriger Besuch der Vorlesung Trennverfahren (Kernfach)	
8	<b>Einpassung in Studienverlaufsplan</b>	Semester: 1	
9	<b>Verwendbarkeit des Moduls</b>	Vertiefungsmodulgruppe Thermische Verfahrenstechnik Master of Science Chemical Engineering - Nachhaltige Chemische Technologien 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 Eigenstudium: 90 h	
14	<b>Dauer des Moduls</b>	1 Semester	
15	<b>Unterrichts- und Prüfungssprache</b>	Deutsch	
16	<b>Literaturhinweise</b>		