

Studiengangsdokumentation

Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie

Munich School of Engineering, Technische Universität München

Bezeichnung **Industrielle Biotechnologie**

Organisatorische
Zuordnung **Munich School of Engineering (MSE)**

Abschluss **Master of Science (M.Sc.)**

Regelstudienzeit **4 Semester**
(Credits) **(120 Credits)**

Studienform **Vollzeit**

Zulassung **Eignungsverfahren (EV)**

Starttermin **WS 2010/2011**

Sprache **Deutsch/Englisch**

Studiengangs-
verantwortliche/-r **Prof. Dr. Weuster-Botz**
Lehrstuhl Bioverfahrenstechnik

Ansprechperson **Prof. Dr. Weuster-Botz**
bei Rückfragen **(-15712, D.Weuster-Botz@lrz-tum.de)**

Version/Stand, vom **06.05.2019**

Der Studiendekan **Prof. Dr. Faidon-Stelios Koutsourelakis**

Inhaltsverzeichnis

1. Studiengangsziele	3
1.1 Zweck des Studiengangs.....	3
1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs	3
2. Qualifikationsprofil.....	4
3. Zielgruppen	5
3.1 Adressatenkreis.....	5
3.2 Vorkenntnisse der Studienbewerber	5
3.3 Zielzahlen	6
4. Bedarfsanalyse.....	6
4.1 Nachfrage der AbsolventInnen auf dem Arbeitsmarkt.....	6
4.2 Nachfrage potentieller Studierender	7
5. Wettbewerbsanalyse.....	9
5.1 Externe Wettbewerbsanalyse.....	9
5.2 Interne Wettbewerbsanalyse.....	9
6. Aufbau des Studiengangs	11
6.1 Grundlagenbereich.....	12
6.2 Ausbildungsschwerpunkte.....	16
6.2.1 Ausbildungsschwerpunkt Enzyme Engineering:.....	17
6.2.2 Ausbildungsschwerpunkt Metabolic Engineering.....	17
6.2.3 Ausbildungsschwerpunkt Bioprocess Engineering	18
6.2.4 Ausbildungsschwerpunkt Bioseparation Engineering	18
6.2.5 Praktikum	19
6.2.6 Frei wählbarer Ausbildungsschwerpunkt.....	19
6.3 Begründung der Modulgröße.....	19
6.4 Begründung der Prüfungsformen	19
6.5 Master's Thesis	20
6.6 Mobilität der Studierenden.....	20
6.7 Studierbarkeit	20
7. Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten	25
7.1. Organisatorische Anbindung.....	25
7.2. Administrative Zuständigkeiten.....	25

1. Studiengangsziele

1.1 Zweck des Studiengangs

Die Industrielle Biotechnologie („Weiße Biotechnologie“) nutzt Mikroorganismen oder deren Komponenten (Enzyme) als Biokatalysatoren für die industrielle Stoffproduktion. Zu den Produkten gehören Spezial- und Feinchemikalien, Lebensmittel und Lebensmittelzusatzstoffe, Agrar- und Pharmavorprodukte, Hilfsstoffe für die verarbeitende Industrie, zunehmend aber auch großvolumige Chemieprodukte und Treibstoffe. Die „Weiße Biotechnologie“ setzt damit auf nachwachsende Rohstoffe und versucht diese mit Hilfe biologischer Systeme selektiv in wertveredelte Chemieprodukte umzuwandeln.

Als hochgradig interdisziplinäre Wissenschaft umfasst die Industrielle bzw. Weiße Biotechnologie auf der einen Seite die Gebiete der Molekularbiologie, Biochemie, Mikrobiologie und Bioinformatik, um zu neuen Biokatalysatoren (Enzymen und Produktionsorganismen) zu gelangen. Auf der anderen Seite sind vor allem die Methoden der Verfahrenstechnik und der Technischen Chemie erforderlich, um das Potential der neuen Biokatalysatoren technisch und industriell ausschöpfen zu können und um zu neuen und effizienten biologischen Produktionsprozessen zu gelangen.

Ziel des Masterstudiums Industrielle Biotechnologie ist die Ausbildung von IngenieurInnen mit breitem Methoden- und einschlägigem Fachwissen in dem hochgradig interdisziplinären Gebiet der Industriellen Biotechnologie und damit die Ausbildung von hochqualifizierten Fachkräften an der Schnittstelle zwischen Biowissenschaften und Prozesstechnik zur Gestaltung und Umsetzung neuer biologischer Prozesse in industrielle Produktionsverfahren. Die Ausbildungsschwerpunkte sind Enzyme Engineering, Metabolic Engineering, Bioprocess Engineering, Bioseparation Engineering und ein aus dem Gesamtangebot der TUM frei wählbarer Ausbildungsschwerpunkt.

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs

Am 24. Juli 2007 beschloss das Hochschulpräsidium der Technischen Universität München (TUM) die Einrichtung des Forschungszentrums für Weiße Biotechnologie zum Aufbau eines neuen Forschungs- und Ausbildungsschwerpunkts. Die TUM verfügt aufgrund ihrer Struktur (Fakultät für Maschinenwesen, Fakultät für Chemie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit, Zentralinstitut für Katalyseforschung), wissenschaftlich-technischer Einrichtungen (wie beispielsweise Technikum für Weiße Biotechnologie in Garching oder Algentechnikum auf dem Ludwig Bolkow Campus in Ottobrunn) und der vorhandenen Kernkompetenzen (u. a. Mikrobiologie, Biochemie, Biotechnologie, Bioverfahrenstechnik, Metabolic Engineering, Chemische Verfahrenstechnik, Bioanalytik, Biopolymere, Biophysik, Biogene Rohstoffe, Bioinformatik und Informatik) über hervorragende Voraussetzungen, um die Weiße Biotechnologie als starken interdisziplinären Forschungs- sowie Ausbildungsschwerpunkt zu entwickeln und auszubauen.

Die für die Industrielle bzw. Weiße Biotechnologie an der TUM vorhandenen Kompetenzen wurden über bestehende Fakultäts- und Standortgrenzen hinaus thematisch gebündelt und um die fehlenden Schlüsselkompetenzen, wie der Synthetischen Biotechnologie, der Systembiotechnologie und der Selektiven Trenntechnik ergänzt. Daneben wurden mit dem Technikum für Weiße Biotechnologie und dem Algentechnikum zentrale wissenschaftlich-technische Einrichtungen für die Weiße Biotechnologie geschaffen. Das industrielle Umfeld zur Stärkung des Forschungszentrums ist u. a. mit der Wacker Chemie AG, der Clariant Produkte Deutschland GmbH und auch kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) wie beispielsweise Amsilk gegeben. Die Ausbildung des akademischen Nachwuchses erfolgt im fakultätsübergreifenden, interdisziplinären Masterstudium Industrielle Biotechnologie (Industrial Biotechnology).

Global besteht seit vielen Jahrzehnten eine große Abhängigkeit der Energieversorgung, aber auch der Versorgung mit Grundstoffen und Materialien von fossilen Rohstoffen (Öl, Erdgas und Kohle). Diese Abhängigkeit hat in den letzten Jahren durch das starke Wachstum in den Schwellenländern noch zugenommen. Auf der anderen Seite stellt der Klimawandel, hervorgerufen durch die daraus resultierenden CO₂-Emissionen, eine immer größer werdende Bedrohung für Mensch und Umwelt dar. Die Weiße Biotechnologie ist eine Schlüsseltechnologie, um den Wandel einer auf fossilen Rohstoffen basierenden Industrie hin zu einer nachhaltigen Industrie zu vollziehen, insbesondere vor dem Hintergrund steigender Preise für fossile Rohstoffe sowie des Klimawandels und eines zunehmenden Umweltbewusstseins. Ein an Rohstoffen armes Land, wie Deutschland ist im Besonderen auf zukunftsfähige und innovative Technologien, wie die der Weißen Biotechnologie, angewiesen. Die Weiße Biotechnologie steht für Innovation, Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit in zentralen Branchen, wie u. a. der Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie.

Forschung und Lehre müssen einen weiten Kanon abdecken, der die traditionellen Grenzen der Fakultäten überschreitet. Interdisziplinäre Forschung mit einem starken Fokus auf Nachhaltigkeit insbesondere auch im Energiebereich ist der zentrale Fokus der MSE. Daher ist der interdisziplinäre Studiengang Industrielle Biotechnologie organisatorisch der MSE zugeordnet.

2. Qualifikationsprofil

Das Qualifikationsprofil entspricht den Anforderungen des Qualifikationsrahmens für Deutsche Hochschulabschlüsse (Hochschulqualifikationsrahmens - HQR) gemäß Beschluss vom 16.02.2017 der Hochschulrektorenkonferenz und Kultusministerkonferenz. Gemäß dem HQR kann das Qualifikationsprofil für den Studiengang „Industrielle Biotechnologie“ anhand der Anforderungen (i) Wissen und Verstehen, (ii) Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen und (iii) Kommunikation und Kooperation und (iv) Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität definiert werden. Die formalen Aspekte gemäß HQR (Zugangsvoraussetzungen, Dauer, Abschlussmöglichkeiten) sind in den Kapiteln 3 und 6 sowie in der entsprechenden Fachprüfungs- und Studienordnung (FPSO) ausgeführt.

Die Studierenden sind am Ende ihres Studiums in der Lage, Biokatalysatoren für die Industrielle Biotechnologie auszuwählen und zu gestalten (*Enzyme Engineering*) sowie Stoffwechselnetzwerke in Mikroorganismen zu analysieren sowie gezielt zu gestalten (*Metabolic Engineering*), um zu neuen Produktionsorganismen für die Industrielle Biotechnologie zu gelangen.

Die AbsolventInnen des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie können optimierte Biokatalysatoren in Bioreaktoren und Bioprocessen technisch nutzbar, sowie industriell und wirtschaftlich auswertbar machen (*Bioprocess Engineering*). Ferner sind die AbsolventInnen in der Lage die Bioprodukte aufzuarbeiten (*Bioseparation Engineering*), um die im Bioreaktor erzeugten Chemikalien in der erforderlichen Reinheit industriell und wirtschaftlich auswertbar bereitstellen zu können.

Die interdisziplinäre Ausrichtung des Masters befähigt die AbsolventInnen zu einem breiten Methoden- sowie vertieften Fachwissen und damit zum Einsatz an der Schnittstelle zwischen Biowissenschaften und Prozesstechnik zur Gestaltung und Umsetzung neuer biologischer Prozesse in industriellen Produktionsverfahren. Das übergeordnete Verständnis für fachübergreifende Interaktionen ist eine Schlüsselqualifikation, die in der Industriellen Biotechnologie gefordert ist.

Die AbsolventInnen sind zum wissenschaftlichen Arbeiten befähigt und sind in der Lage, das erworbene Wissen auf ingenieur-, naturwissenschaftliche sowie anwendungsorientierte Problemstellungen selbständig anzuwenden. Sie treffen wissenschaftlich fundierte Entscheidungen und reflektieren kritisch mögliche Folgen auch im gesellschaftlichen Kontext. Darüber hinaus versetzen die erworbenen sozialen Kompetenzen die AbsolventInnen u. a. in die Lage, ihre Fach- und Methodenkompetenzen auch allgemeinverständlich und interdisziplinär zu vermitteln sowie in heterogenen Teams zu arbeiten und diese zu leiten. Dazu gehört die Fähigkeit, andere in die Aufgabenstellungen einzubeziehen, Konfliktpotenziale zu erkennen und durch konzeptionelles, konstruktives Handeln situationsadäquate Lösungen herbeizuführen. Ferner vermögen sie ihre Ergebnisse sowohl in mündlicher als auch in schriftlicher Form überzeugend zu präsentieren und damit zu Entscheidungsprozessen beizutragen, oder diese selbständig zu treffen und umzusetzen. Dabei orientieren sie sich an den Standards professionellen Handelns.

Durch den Praxisbezug des Studiums verstehen die AbsolventInnen die Arbeit im betrieblichen und wissenschaftlichen Umfeld und werden damit zu Fachkräften im Bereich der industriellen Biotechnologie ausgebildet. Die AbsolventInnen sind im Besonderen für eine Tätigkeit in der universitären und industriellen Forschung befähigt und in der Lage, die Herausforderungen der Spitzentechnologie „Weiße Biotechnologie“ interdisziplinär zu meistern.

3. Zielgruppen

3.1 Adressatenkreis

Der Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie richtet sich an gute HochschulabsolventInnen in- oder ausländischer wissenschaftlicher Hochschulen mit einem mindestens sechsemestrigen qualifizierten Bachelorabschluss (Bachelor of Science) oder gleichwertigen Abschluss in den Studiengängen Biochemie, (Molekulare) Biotechnologie, Biologie, Bioprosesstechnik, Bioinformatik, Bioingenieurwesen, Technologie und Biotechnologie der Lebensmittel, Chemieingenieurwesen, Verfahrenstechnik, Ingenieurwissenschaften, Maschinenwesen, chemische Biotechnologie, Brauwesen und Getränketechnologie, nachwachsende Rohstoffe oder vergleichbaren Studiengängen, die Interesse haben an der Schnittstelle zwischen Bio- und Ingenieurwissenschaften fachübergreifend zu forschen und zu arbeiten. Insbesondere sollten sie sich für die funktionelle Gestaltung biokatalytischer Systeme und die wissenschaftsbasierte Umsetzung neuer biologischer Prozesse in industriellen Produktionsverfahren begeistern.

3.2 Vorkenntnisse der Studienbewerber

Die Vorkenntnisse und Fähigkeiten der Bewerber sollen dem Berufsfeld Industrielle Biotechnologie entsprechen. So müssen die BewerberInnen die Fähigkeit zu wissenschaftlicher, bzw. grundlagen- und methoden-orientierter Arbeitsweise mitbringen. Ferner benötigen sie vorhandene Fachkenntnisse aus dem Erststudium. Gute sprachliche Ausdrucksfähigkeit sowohl in Deutsch als auch in Englisch ist unerlässlich, da die Module hauptsächlich auf Deutsch angeboten werden, aber die Fachliteratur vielfach nur auf Englisch zur Verfügung steht.

Die Studierenden müssen die Fähigkeit und das Interesse haben, sich effizient neues komplementäres Fachwissen und methodische Ansätze anzueignen (ingenieurwissenschaftliches Fachwissen bei naturwissenschaftlichem Bachelorabschluss, bzw. biowissenschaftliches Fachwissen bei ingenieurwissenschaftlichem Bachelorabschluss). Sie müssen in der Lage sein, theoretische Kenntnisse effizient in praktisches Handeln umzusetzen und verfügen idealerweise schon über praktische Erfahrung im Umfeld der künftigen Tätigkeiten.

3.3 Zielzahlen

Für den Studiengang wird eine Anfängerkohorte von 25 – 30 Studierenden pro Jahr angestrebt. Dies bedeutet etwa 50 – 60 Studierende bei Vollbelegung und 4 Semestern Regelstudienzeit und einer Einstiegsmöglichkeit im Winter- und Sommersemester. Erfahrungsgemäß ist die Bewerberzahl für das Sommersemester geringer. Mit bis zu 30 Studierenden pro Jahrgang ist eine optimale Ausbildung gewährleistet, da insbesondere für die Praktika dann ein angemessenes Betreuungsverhältnis zwischen DozentInnen und Studierenden gewährleistet werden kann und ausreichende Arbeitsplätze im Technikum des TUM-Forschungszentrums für Weiße Biotechnologie zur Verfügung gestellt werden können.

Die Lehrkapazität für die angestrebte Zahl an Studierenden ist durch die bereitstehenden Ressourcen an den beteiligten Lehrstühlen gewährleistet. Die Verwaltung des Studienganges findet an der MSE statt. Entsprechende Ressourcen stehen bereit (vgl. Kap. 7 und 8).

4. Bedarfsanalyse

4.1 Nachfrage der AbsolventInnen auf dem Arbeitsmarkt

Der erfolgreiche Abschluss des Masterstudiums Industrielle Biotechnologie ermöglicht zum einen den nahtlosen Übergang in die Promotion auf allen Forschungsgebieten der industriellen Biotechnologie. Zum anderen ist die Ausübung anspruchsvoller, wissens- und forschungsbasierter Berufstätigkeiten im gesamten Bereich der Bioprozessentwicklung vom Labor- bis zum technischen Maßstab gegeben. Als Betätigungsfelder sind neben dem großen Markt der Chemieindustrie insbesondere die Biotechnologiebranche, der biotechnologische Anlagen- und Apparatebau, aber auch Unternehmen der Pharmaindustrie, Lebensmittelindustrie sowie der Umwelttechnikbranche zu sehen. Als weiteres künftiges Anwendungsfeld ist die Landwirtschaft zu nennen.

Eine Potentialanalyse des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung prognostizierte der Industriellen, Weißen Biotechnologie bereits 2007 ein hohes Markt- und damit ein entsprechend hohes Beschäftigungspotenzial (Potentialanalyse der industriellen, weißen Biotechnologie, Endbericht, Studie im Auftrag des BMBF, Fraunhofer Institut System und Innovationsforschung, Autoren M. Nusser, B. Hüsing, S. Wydra, März 2007). Die Analyse benennt als ein Merkmal der Weißen Biotechnologie deren Forschungs- und Wissensintensität; dies gilt für die Bereiche Forschung, Entwicklung, Zulassung, Herstellung und Vermarktung von Methoden, Prozesse und Dienstleistungen. Damit ergibt sich eine große Beschäftigungswirkung in den universitären und außeruniversitären Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Für das Jahr 2025 geht die Potentialanalyse allein von 7.600 bis 11.100 Erwerbstätigen allein in den Universitäten und außeruniversitären Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen aus. Gleichzeitig benennt diese Analyse als Risiko die zu erwartenden Engpässe bei hoch qualifizierten Fachkräften in der Weißen Biotechnologie. Insofern ist die Nachfrage nach AbsolventInnen des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie klar gegeben.

Diese Einschätzungen insbesondere auch zur ökonomischen Entwicklung der Industriellen Biotechnologie werden aktuell bestätigt: Es zeigt sich bisher eine kontinuierliche, stetig ansteigende Entwicklung bei der Kommerzialisierung von Produkten und Verfahren in der industriellen Biotechnologie. Marktprognosen der industriellen Biotechnologie sind für viele Produktgruppen bzw. Marktsegmente sehr positiv, es wird in den kommenden Jahren und Jahrzehnten jeweils ein deutlicher Anstieg am Anteil des Gesamtmarkts erwartet (Heike Aichinger, Bärbel Hüsin, Sven Wydra: Weiße Biotechnologie - Stand und Perspektiven der industriellen Biotechnologie: Verfahren, Anwendungen, ökonomische Perspektiven. Büro für

Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, November 2016). Auch die neue Studie der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) postuliert als nächste Revolution in Wirtschaft und Gesellschaft die breite Anwendung der Industriellen Biotechnologie, die als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gesehen wird. Es wird hier allerdings auch gefordert, Ausbildungs- und Studienangebote an die biotechnologischen Forschungs- und Wirtschaftsfelder anzupassen und die Technikwissenschaften mit lebenswissenschaftlichen Kompetenzen zu verknüpfen (acatech (Hrsg.): Innovationspotentiale der Biotechnologie (acatech IMPULS), München, Herbert Utz Verlag 2017). Dies ist der zentrale Ansatz des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie.

4.2 Nachfrage potentieller Studierender

Die Nachfrage potentieller Studierender ist ansteigend. Die Nachfrage kann belegt werden durch eine stetige ausreichende Zahl der Absolventen der Bachelorstudiengänge, die sich für den Studiengang Industrielle Biotechnologie bewerben können (Abb. 1). Außerdem steigen die Bewerberzahlen (Abb. 2) und die Anzahl der Studienanfänger (Abb. 3) im Studiengang Industrielle Biotechnologie kontinuierlich an und haben im Studienjahr 2018/19 wieder einen Höchststand erreicht.

Im Sommersemester 2018 befinden sich in den Bachelorstudiengängen Biochemie, Molekulare Biotechnologie, Biologie, Bioprozesstechnik, Bioinformatik, Chemie-Ingenieurwesen, Technologie und Biotechnologie der Lebensmittel, Brauwesen und Getränketechnologie, Nachwachsende Rohstoffe und Ingenieurwissenschaften an der TUM insgesamt rund 734 Studierende im 5. bis 8. Fachsemester (siehe Abbildung 1), also kurz vor dem Übertritt in den Master. Darüber hinaus stellt der Studiengang Industrielle Biotechnologie auch für Absolventen vergleichbarer Bachelorstudiengänge der LMU und überregionaler Bachelorstudiengänge ein attraktives Angebot dar.

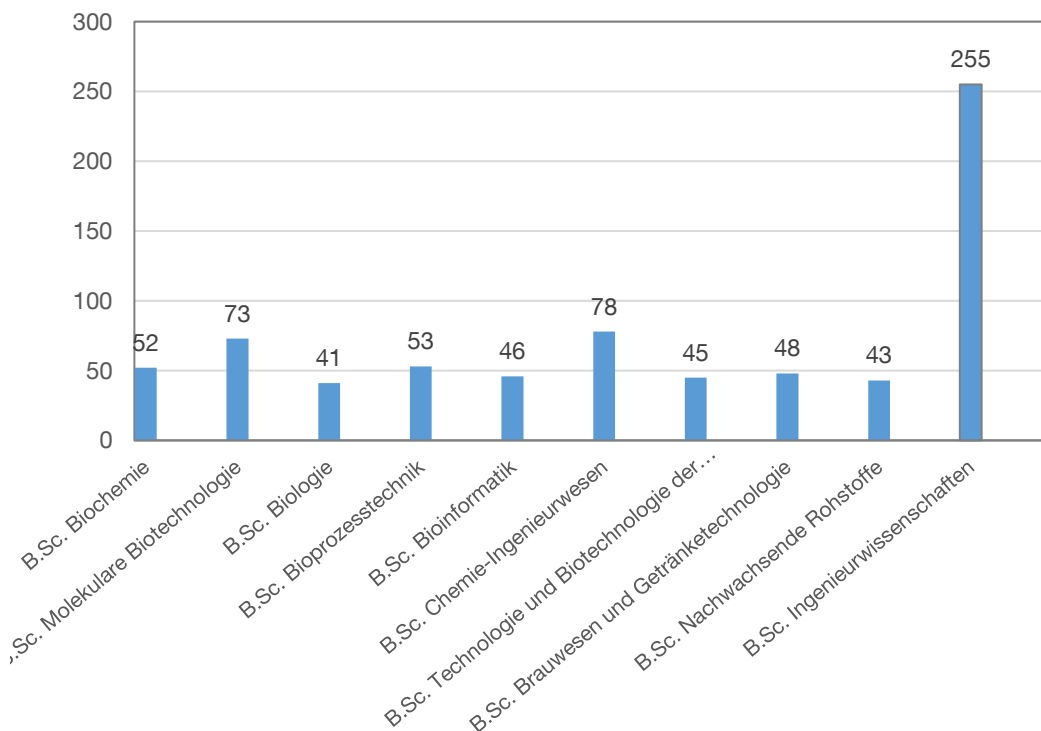


Abbildung 1: Studierendenzahlen TUM Bachelorstudiengänge, 5. bis 8. Fachsemester (SS 2018)

Die Bewerberzahlen stiegen bisher mit Ausnahme des 3. Jahrgangs von 43 im 1. Jahrgang stetig auf 100 im 6. Jahrgang an. Nachdem die Bewerberzahlen im 7. Jahrgang gesunken sind, haben sie zum WS 2018/2019 mit 119 Bewerbungen wieder den Höchststand erreicht (siehe Abb. 2).

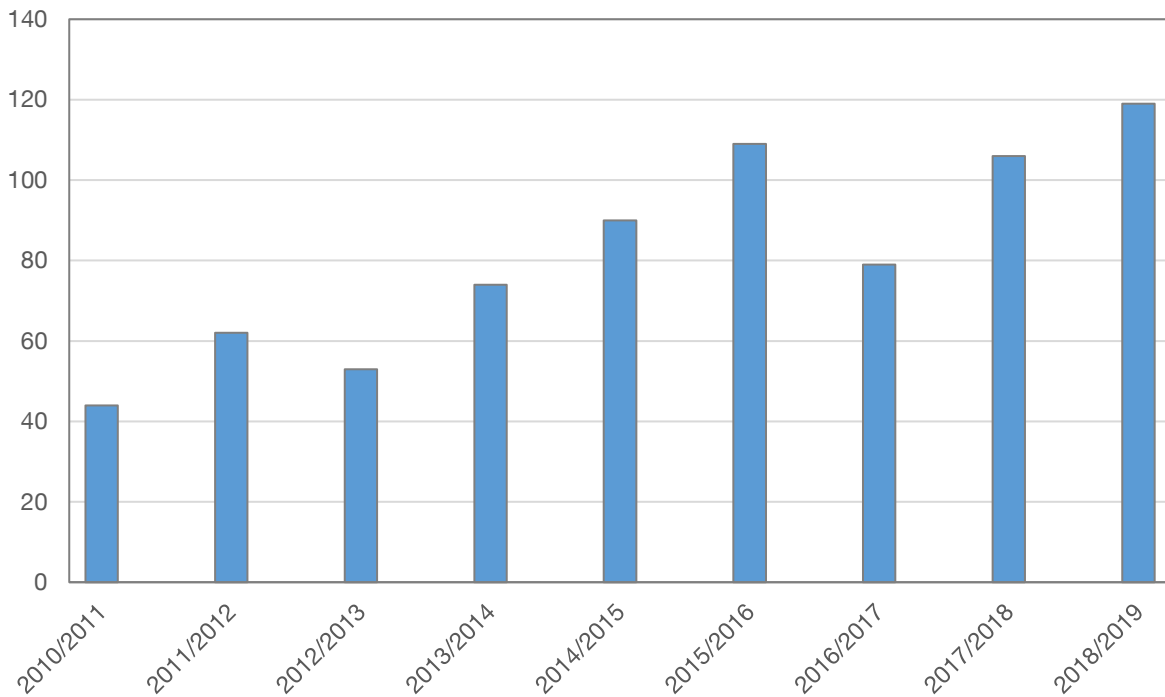


Abbildung 2: Bewerberzahlen

Die Zahlen der StudienanfängerInnen stiegen bisher von 17 im Studienjahr 2010/11 auf 38 im 9. Jahrgang, der im WS 2018/19 oder SS 2019 begonnen hat. Die Zielzahlen sind somit erreicht.

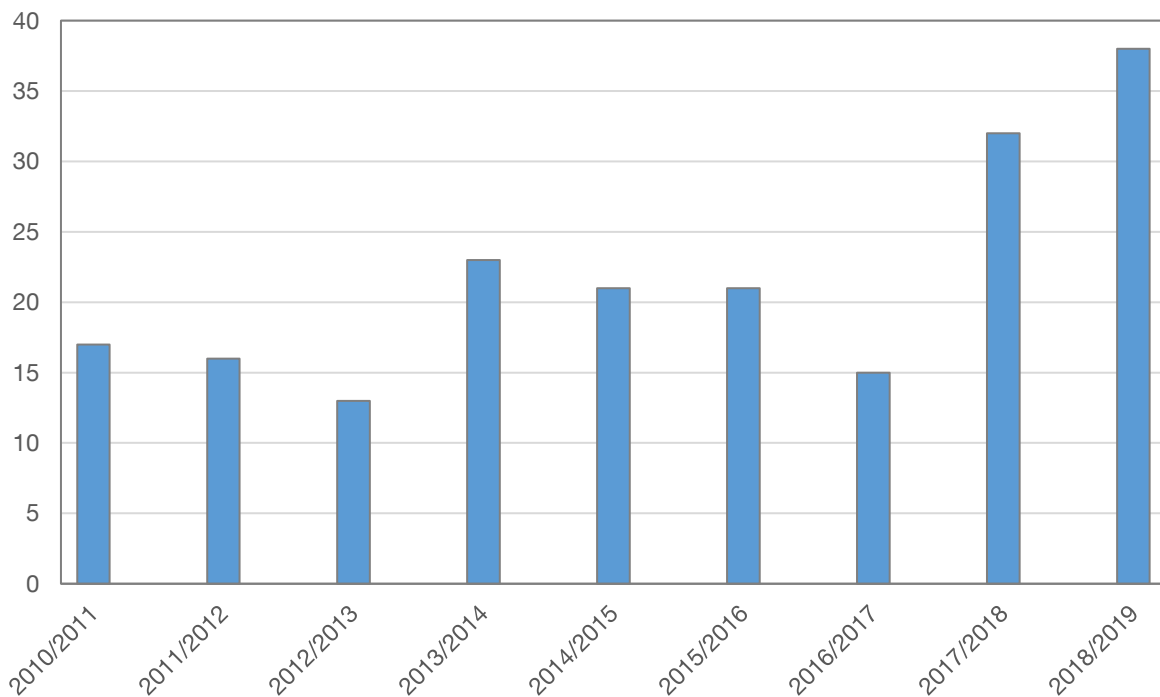


Abbildung 3: Studienanfänger pro Jahrgang

5. Wettbewerbsanalyse

5.1 Externe Wettbewerbsanalyse

Zurzeit gibt es im deutschsprachigen Raum nur eine Universität, die seit 2017 einen gleichnamigen Masterstudiengang anbietet (kooperativer Masterstudiengang der Hochschule Biberach und der Universität Ulm), der sich zwar prinzipiell am TUM-Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie orientiert, in seiner konsekutiven Ausrichtung auf BachelorabsolventInnen der Industriellen Biotechnologie der Hochschule Biberach aber auf wichtige Elemente des TUM-Masterstudiengangs verzichtet, insbesondere auf den ausgeprägten Grundlagenbereich (siehe Abschnitt 6).

In den letzten Jahren sind viele Studiengänge der Verfahrenstechnik oder des Chemie-Ingenieurwesens durch zusätzliche biotechnologische Ausbildungsinhalte erweitert worden, was sich auch in den entsprechenden Namen dieser konsekutiven Studiengänge niedergeschlagen hat (Bioingenieurwesen oder Chemie- und Bioingenieurwesen, bzw. Bioprosesstechnik). In vielen Fällen wurde hierzu die Ausbildung in den naturwissenschaftlichen Fächern von der Chemie in Richtung Biochemie verschoben und die Bioverfahrenstechnik (Bioprocess Engineering und Bioseparation Engineering) auf Kosten der klassischen prozesstechnischen Inhalte verstärkt.

So bieten u. a. einen Schwerpunkt Industrielle Biotechnologie der Masterstudiengang Bioingenieurwesen am Karlsruher Institute of Technology (KIT), der Masterstudiengang Biotechnologie an der RWTH Aachen sowie der Masterstudiengang Technische Biologie an der Universität Stuttgart an.

Eine gezielte, disziplinübergreifende Vermittlung der Kernkompetenzen für die industrielle Biotechnologie sowohl aus den Biowissenschaften, als auch aus den Ingenieurwissenschaften ist jedoch in keinem der oben genannten Studiengänge des Chemie- und Bioingenieurwesens ausgeprägt.

International ermöglichen eine Reihe von Masterstudiengängen Ausbildungsinhalte zu wählen, die dem Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie nahe kommen. Es handelt sich hierbei überwiegend um Biotechnology Masterstudiengänge.

Aber auch Masterstudiengänge mit dem Titel Industrial Biotechnology and Bioenergy (beispielsweise Aalborg University, Dänemark) oder Industrial and Environmental Biotechnology (beispielsweise an der KTH oder Industrial and Commercial Biotechnology (beispielsweise an der New Castle University) werden zurzeit angeboten. Mit der zunehmenden wirtschaftlichen Bedeutung der Industriellen (Weißen) Biotechnologie ist mit hoher Sicherheit davon auszugehen, dass in naher Zukunft international neben den Studiengängen ‚Biotechnology‘ auch Masterstudiengänge ‚Industrial Biotechnology‘ angeboten werden.

Die Einrichtung des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie an der Technischen Universität München hat damit international Leitbildcharakter und setzt Maßstäbe. National hat die TUM mit dem Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie ein Alleinstellungsmerkmal.

5.2 Interne Wettbewerbsanalyse

Der Studiengang Industrielle Biotechnologie mit seinen vier Ausbildungsschwerpunkten Enzyme Engineering, Metabolic Engineering, Bioprocess Engineering und Bioseparation Engineering kann nicht durch Kombination von bereits existierenden Studiengängen, Studienschwerpunkten/-vertiefungen oder Modulen nachgebildet werden.

Der Masterstudiengang Chemie-Ingenieurwesen (Fakultät für Chemie) ermöglicht zwar durch Wahl des Vertiefungsfachs Bioprozesstechnik eine Ergänzung der Ausbildung zum Chemie-Ingenieur mit biotechnologischen Grundkenntnissen, vermittelt jedoch bei weitem nicht das biowissenschaftliche Grund- und Fachwissen zum Enzyme Engineering oder Metabolic Engineering.

Dem Masterstudiengang Energie- und Prozesstechnik (Fakultät für Maschinenwesen) fehlen darüber hinaus nahezu alle stofflichen Ausbildungsaspekte (Chemie und biowissenschaftliche Grundlagen).

Der Masterstudiengang Pharmazeutische Bioprozesstechnik (Wissenschaftszentrum Weihenstephan) ist der Roten Biotechnologie zuzuordnen, da der Fokus hier insbesondere auf den Aspekten zur industriellen Herstellung von Pharmaproteinen liegt.

Im Masterstudiengang Technologie und Biotechnologie der Lebensmittel (Wissenschaftszentrum Weihenstephan) spielen wichtige Aspekte der Industriellen Biotechnologie aufgrund der strikten Branchenorientierung (Lebensmittelindustrie) keine oder nur eine untergeordnete Rolle.

Sowohl der Masterstudiengang Molekulare Biotechnologie (Wissenschaftszentrum Weihenstephan), als auch der Masterstudiengang Biochemie sind auf die molekularen Aspekte der Biotechnologie ausgerichtet. Eine Schwerpunktsetzung im Bereich Bioverfahrenstechnik/Bioprozesstechnik ist nicht möglich. Im Bereich des Metabolic Engineering fehlt ferner vollständig die mathematische Analyse von Stoffwechselnetzwerken.

Der Masterstudiengang Industrial Chemistry ermöglicht zwar durch die Wahl der Wahlpflichtmodule Biochemistry for Industrial Chemists, Cell Biology and Bioprocessing oder des Wahlmodules Biomaterials Einblicke in die biochemischen Grundlagen, vermittelt jedoch bei weitem weder das biowissenschaftliche Grund- und Fachwissen zum Enzyme Engineering oder Metabolic Engineering, noch jegliche prozesstechnischen Grundlagen und Anwendungen in der Industriellen Biotechnologie. Zudem wird er nicht in München, sondern in Singapur angeboten.

Sowohl der gemeinsame Masterstudiengang Biomassetechnologie der Technischen Universität München und der Universität für Bodenkultur Wien, als auch der gemeinsame Masterstudiengang Nachwachsende Rohstoffe der Technischen Universität München und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf sind stark auf Agrarsysteme und die vielfältigen technischen Nutzungsmöglichkeiten von pflanzlicher Biomasse ausgerichtet. Einige wenige Aspekte der Industriellen Biotechnologie werden nur am Rande im Wahlbereich behandelt.

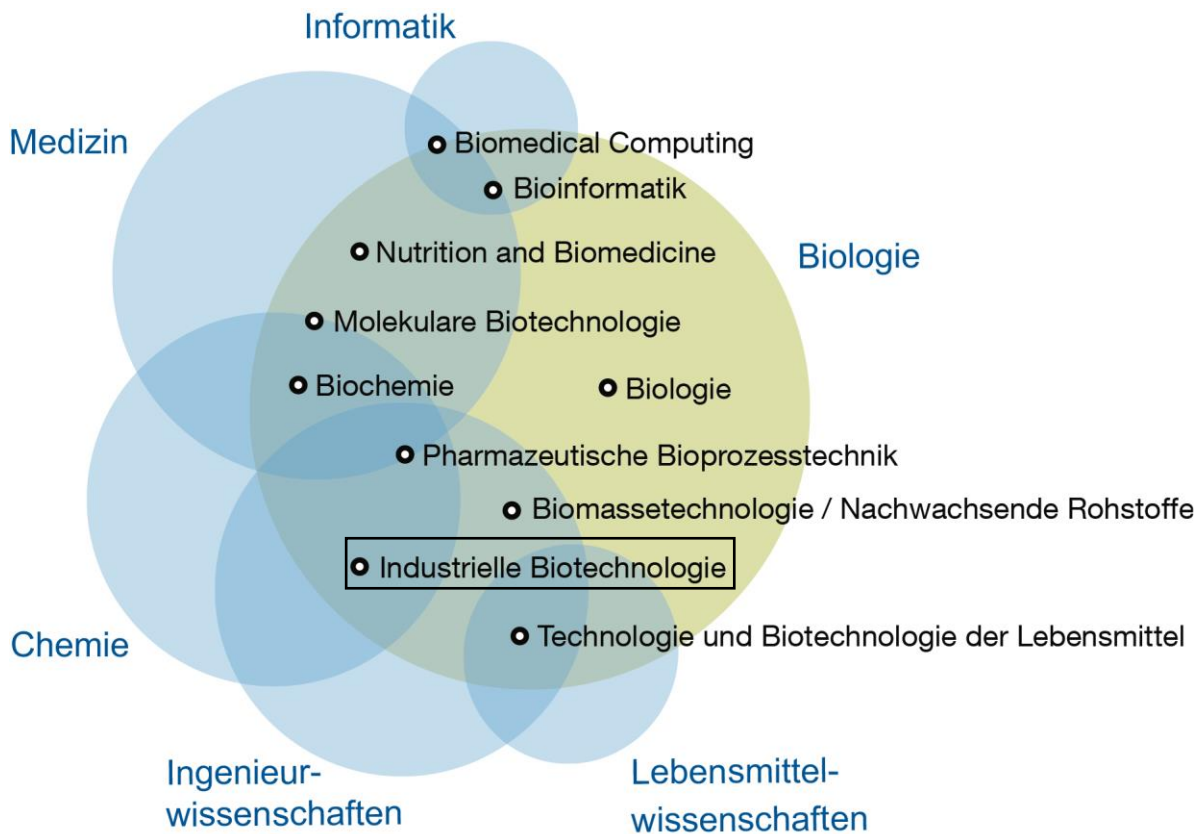


Abbildung 4: Einordnung der TUM-Masterstudiengänge mit biowissenschaftlichen Anteilen

6. Aufbau des Studiengangs

Die Regelstudienzeit des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie beträgt vier Semester. Der Umfang der zu erbringenden Credits beträgt 120, die modular erbracht werden und sich aufteilen in 90 Credits für Module (bestehend aus Lehrveranstaltungen, wie Vorlesungen, Übungen und Praktika) und 30 Credits für die Master's Thesis. Es sind 45 Credits in Pflichtmodulen und mindestens 30 Credits in Wahlpflicht- sowie mindestens 15 Credits in Wahlmodulen zu erbringen. Jedes Semester sollen 30 Credits erlangt werden.

Die Unterrichts- und Prüfungssprachen sind Deutsch und Englisch.

Die Inhalte des Studiums sind in folgende Blöcke gegliedert:

- Grundlagenbereich, in dem biowissenschaftliche Grundlagen für IngenieurInnen, biotechnologische Grundlagen für ProzesstechnikerInnen und prozesstechnische Grundlagen für NaturwissenschaftlerInnen vermittelt werden (Wahlpflichtbereich von mindestens 30 Credits),
- vier Ausbildungsschwerpunkte (Pflichtbereich von 45 Credits),
- ein von den Studierenden frei wählbarer Ausbildungsschwerpunkt (Wahlbereich von mindestens 15 Credits)
- die Master's Thesis (30 Credits).

		Semester		
Master of Science (120 Credits)	4	Master Thesis (30 Credits)		
	1 – 3	Wahlpflichtmodule (30 Credits) <ul style="list-style-type: none"> • Biowissenschaftliche Grundlagen • Prozesstechnische Grundlagen • Biotechnologische Grundlagen 	Pflichtmodule (45 Credits) <p>Ausbildungsschwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enzyme Engineering • Metabolic Engineering • Bioprocess Engineering • Bioseparation Engineering 	Wahlmodule (15 Credits) <ul style="list-style-type: none"> • Allgemeinbildende Module (3 Credits) • Frei wählbare Fachmodule (12 Credits)
		Individuelle Betreuung durch Mentor/in		

Abbildung 5: Aufbau des Studiengangs

6.1 Grundlagenbereich

Da für diesen interdisziplinären Studiengang ein Zugang sowohl von geeigneten Bachelorabsolventen naturwissenschaftlicher Studiengänge, als auch von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen möglich ist, werden überwiegend im ersten Fachsemester wesentliche biowissenschaftliche Grundlagen für IngenieurInnen, biotechnologische Grundlagen für ProzesstechnikerInnen oder ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der Prozesstechnik für NaturwissenschaftlerInnen vermittelt. Hierzu stellen MentorInnen in Absprache mit den jeweiligen Studierenden einen individuellen Semesterstudienplan (abhängig vom fachspezifischen Bachelorprofil des oder der jeweiligen Studierenden) aus der Wahlpflichtmodulliste zusammen. Bei der Wahlpflichtmodulliste für die biowissenschaftlichen Grundlagen für IngenieurInnen, für die prozesstechnische Grundlagen für NaturwissenschaftlerInnen oder für die biotechnologischen Grundlagen für ProzesstechnikerInnen handelt es sich aufgrund des geforderten Grundlagencharakters zum großen Teil um Module, die an der TUM bereits in anderen Bachelorstudiengängen angeboten werden. Dabei stellt der Mentor oder die Mentorin sicher, dass Studierende nur Module im Masterstudium Industrielle Biotechnologie belegen, die einen wesentlichen Unterschied zu den Modulen ihres ehemaligen Bachelorstudiengangs aufweisen und gleichzeitig fehlende für das erfolgreiche Bestehen des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie erforderliche Kompetenzen erwerben.

Der Grundlagenbereich umfasst die folgenden biowissenschaftlichen Grundlagen für überwiegend ingenieurwissenschaftlich geprägte BachelorabsolventInnen sowie prozesstechnischen und ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen für überwiegend naturwissenschaftlich geprägte BachelorabsolventInnen:

Nr.	Wahlpflichtmodul	Credits
1	Biochemie	5
2	Biochemisches Praktikum	5
3	Biochemie	6
4	Proteine: Struktur, Funktion und Engineering	3
5	Proteine, Protein-Engineering und Immunologische Grundlagen	6
6	Genetik	5
7	Grundlagen Mikrobiologie mit Übungen	8
8	Enzymtechnologie	4
9	Bioinformatik für Biowissenschaften 1	5
10	Datenanalyse und Versuchsplanung	5
11	Optimierung und Modellanalyse	5
12	Angewandte Ingenieursmathematik (MSE)	8
13	Grundlagen der Technischen Chemie	5
14	Thermische Verfahrenstechnik 1	5
15	Mechanische Verfahrenstechnik	5
16	Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik	5
17	Reaktionstechnik und Kinetik	5
18	Thermische Verfahrenstechnik 2	5

19	Grundlagen rechnergestützter Methoden in der Biotechnologie	4
20	Molekulare Bakteriengenetik	3
21	Molekulare Bakteriengenetik und Metabolic Engineering	5
22	Zellbiologie	5
23	Praktikum Enzymoptimierung	4
24	Technische Biokatalyse	5
25	Einführung in die Genetik	5
26	Bioverfahrenstechnik	5
27	Umweltbioverfahrenstechnik	5

(1, 2) Die Module ‚Biochemie‘ und ‚Biochemisches Praktikum‘ behandeln theoretisch und praktisch die molekularen Komponenten von Zellen, Katabolismus und Energieübertragung, Anabolismus (Biosynthese von Kohlenhydraten, Lipiden, Proteine und Nukleinsäuren), sowie die Kompartimentierung von Zellen (Organellen).

(3) Das Modul "Biochemie" vermittelt die theoretischen Grundlagen der Biochemie. Dazu gehören Grundstrukturen wichtiger biochemischer Stoffklassen und der Prinzipien des Stoffwechsels, die Vermittlung von Fertigkeiten in der Durchführung der in der Biochemie gebräuchlichsten Techniken und Labormethoden zur Analyse von Proteinen, Kohlenhydraten und Lipiden (Enzymatische, chromatographische, elektrophoretische, spektroskopische und immunochemische Verfahren).

(4) Das Modul ‚Proteine: Struktur, Funktion und Engineering‘ umfasst neben Methoden der Proteinveränderung durch selektive chemische Modifikation, insbesondere die Grundlagen zur Beschreibung von dreidimensionalen Proteinstrukturen, die Faltung und Denaturierung von Proteinen, molekulare Erkennung und Protein-Ligand-Wechselwirkungen.

(5) Im Modul ‚Proteine, Protein-Engineering und Immunologische Grundlagen‘ werden theoretische Grundlagen der Struktur und Funktion der Proteine vermittelt. Dazu gehören einerseits der chemische Aufbau der Proteine aus Aminosäuren und die daraus resultierenden Reaktivitäten und andererseits die Zusammenhänge zwischen Raumstruktur, biophysikalischen Wechselwirkungen innerhalb der Polypeptidkette, mit dem Lösungsmittel Wasser sowie mit Liganden und Substraten.

(6) Die Grundkenntnisse der ‚Genetik‘ werden mit Schwerpunkt auf die bakterielle Genetik in diesem Modul vermittelt: Struktur von Genen und Genfunktionen, Rekombination von Genen, Mutation, Rekombinante DNA Technologie, Regulation der Genexpression sind die Schwerpunkte.

(7) Das Modul ‚Grundlagen Mikrobiologie mit Übungen‘ soll Physiologie und Stoffwechsellösungen industriell wichtiger Mikroorganismen und grundlegende Methoden zu praktischen Arbeiten mit Mikroorganismen vermitteln.

(8) Im Modul ‚Enzymtechnologie‘ wird ein breiter Überblick über die biologischen und physikalischen Eigenschaften von enzymatischen Reaktionen und deren mathematischer Modelle vermittelt sowie anhand von Beispielen die wichtigsten strukturellen und mechanistischen Aspekte der enzymatischen Katalyse aufgezeigt.

(9) Das Modul ‚Bioinformatik für Biowissenschaften 1‘ vermittelt die Aufgaben der Sequenz- und Genomanalyse und die Grundlagen zu Datenstrukturen, gefolgt von einer Einführung in String-Algorithmen zum Sequenzvergleich. Darüber hinaus werden Sequenzsuchen in Datenbanken erlernt und praktisch geübt.

(10) Das Modul ‚Datenanalyse und Versuchsplanung‘ vermittelt zunächst Grundlagen in der Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie. Aufbauend darauf werden Verfahren der Versuchsplanung und der Datenanalyse wie Clustertechniken, Hauptkomponentenanalyse und explorative Faktorenanalyse behandelt. Anschließend wird die Ableitung von mathematischen Modellen aus einer großen Anzahl von Messgrößen vorgestellt. Diese Modelle sollen es erlauben, Rückschlüsse auf die Struktur der biochemischen Netzwerke zu erhalten (Strukturoptimierung).

(11) Das Modul ‚Optimierung und Modellanalyse‘ gibt einen Überblick über Optimierungsmethoden, die beim biologischen System und bei der Prozessführung eingesetzt werden. Grundlage sind mathematische Modelle zellulärer Systeme, deren grundlegende Eigenschaften in der Vorlesung vorgestellt werden. Anschließend werden Analyseaufgaben und Syntheseaufgaben betrachtet und mit Beispielen aus der Literatur vertieft.

(12) Das Modul ‚Angewandte Ingenieurmathematik (MSE)‘ umfasst neben Systemen von linearen Differentialgleichungen erster Ordnung, lineare Algebra, sowie Matrizen- und Vektorrechnung auch partielle Differentialgleichungen, Graphentheorie und Numerik. In den Übungen soll MATLAB eingeführt und benutzt werden.

(13) Im Modul ‚Grundlagen der Technischen Chemie‘ werden neben den Grundlagen des Wärme- und Stofftransports auch zu etwa 30 % Strömungsvorgänge behandelt.

(14) Das Modul ‚Thermische Verfahrenstechnik 1‘ führt in die Grundlagen der Mischphasen-thermodynamik ein und behandelt im Detail die klassischen thermischen Verfahren Destillation und Rektifikation.

(15) Im Modul ‚Mechanische Verfahrenstechnik‘ werden die Grundlagen der mechanischen Verfahrenstechnik vermittelt: Partikel und disperse Systeme, Trennen von Partikelsystemen, Staubabscheidung, Fest-Flüssig-Trennung, Mischen von Partikelsystemen und Rührtechnik, Wirbelschichten und pneumatische Förderung und Zerkleinern.

(16) Das Modul ‚Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik‘ hat neben der Vermittlung der Grundsätze der Anlagentechnik auch eine Einführung in die Regelungstechnik zum Inhalt.

(17) Das Modul ‚Reaktionstechnik und Kinetik‘ behandelt zum einen Thermodynamik und Reaktionskinetik und zum anderen Reaktoren und Prozessführung chemischer Reaktionen.

(18) Das Modul ‚Thermische Verfahrenstechnik 2‘ behandelt sowohl Extraktions-, als auch Kristallisationsverfahren und deren prozesstechnische Beschreibung.

(19) Das Modul ‚Grundlagen rechnergestützter Methoden in der Biotechnologie‘ behandelt die Anwendung numerischer Verfahren an Hand von Beispielen aus der Biotechnologie und Systembiologie.

(20) Das Modul ‚Molekulare Bakteriengenetik‘ vermittelt grundlegendes theoretische Verständnis und Fachwissen zur molekularen Genetik und Regulationsphysiologie von Bakterien.

(21) Das Modul ‚Molekulare Bakteriengenetik und Metabolic Engineering‘ vermittelt Fachwissen zur molekularen Genetik und der Regulationsphysiologie von Bakterien und Tieren. Sie beinhaltet Anwendungen der katalysierbaren Reaktionen in der Manipulation bakterieller und pflanzlicher Stoffwechselwege sowie das Denken in molekularen Regulationscircuits.

(22) Im Modul ‚Zellbiologie‘ werden Kenntnisse über molekulare, biochemische Prozesse in Pro- und Eukaryonten sowie den detaillierten Zellaufbau von Pro- und Eukaryonten vermittelt.

(23) Im Modul ‚Praktikum Enzymoptimierung‘ werden Methoden und Verfahren zur Suche und Identifikation neuer Enzymaktivitäten, als auch zur Enzymentwicklung vermittelt.

(24) Das Modul ‚Technische Biokatalyse‘ soll einen breiten Überblick über den Einsatz von Enzymen in industriellen Prozessen geben und anhand von aktuellen Beispielen eine detaillierte Einsicht in die technisch wichtigen Aspekte dafür vermitteln. Wesentliche Inhalte sind: Industriell relevante Eigenschaften von Enzymen, wesentliche Enzymklassen und ihre Mechanismen, Ganzzellkatalyse vs. Enzymkatalyse, Biokatalyse vs. klassische chemische Katalyse, Methoden der Enzymimmobilisierung, Enzyme in wässrigen und in nicht-wässrigen Systemen, Enzymatische Reaktionen kombiniert mit chemischen Reaktionen, großtechnische Bereitstellung von Enzymen.

(25) Das Modul ‚Einführung in die Genetik‘ vermittelt ein grundlegendes Verständnis genetischer Prinzipien sowie der molekularen Grundlagen der Vererbung. Des Weiteren werden praxis-relevante Einblicke in Forschung und Anwendung gewonnen. Die Studierenden können abstrakte genetische Logik anwenden und haben erste Fähigkeiten zur wissenschaftlichen Problemlösung erworben.

(26) Im Modul ‚Bioverfahrenstechnik‘ werden die physikalischen, chemischen, biochemischen, biologischen und thermodynamischen Grundlagen biologischer Stoffumwandlungen vermittelt.

(27) Das Modul ‚Umweltbioverfahrenstechnik‘ gibt einen grundlegenden verfahrenstechnischen Überblick über den Einsatz biologischer Verfahren bei der Abwasserreinigung, Wasseraufbereitung, der Feststoff- und der Abluftbehandlung.

6.2 Ausbildungsschwerpunkte

Die fachspezifische Ausbildung erfolgt in den vier Ausbildungsschwerpunkten, die gemeinsam die grundlegenden Kernkompetenzen abbilden, die erforderlich sind, um den gesamten Prozess der industriellen Stoffproduktion mithilfe von biotechnologischen Methoden in Forschung, Entwicklung und Produktion abbilden zu können:

- Enzyme Engineering
- Metabolic Engineering
- Bioprocess Engineering
- Bioseparation Engineering.

Die Studierenden lernen zunächst Biokatalysatoren auszuwählen und zu gestalten (Enzyme Engineering), sowie Stoffwechselnetzwerke in Mikroorganismen zu analysieren, zu optimieren

und neu zu gestalten (Metabolic Engineering), um zu neuen Produktionsorganismen für die Industrielle Biotechnologie zu gelangen. Diese optimierten Biokatalysatoren werden in Bioreaktoren und Bioprozessen wirtschaftlich auswertbar gemacht (Bioprocess Engineering) und die erhaltenen Bioprodukte aufgearbeitet (Bioseparation Engineering), um die erzeugten Stoffe in der erforderlichen Reinheit für unterschiedlichste Anwendungen bereitstellen zu können. Diese überwiegend theoretisch erworbenen Kernkompetenzen werden abschließend im Praktikum Bioprosesstechnik im industriellen relevanten Maßstab praktisch umgesetzt, so dass die gesamte Prozesskette vom Biokatalysator über den Bioprozess zum reinen Bioprodukt auch in der Praxis erprobt werden kann.

Diese fachspezifische Ausbildung erfolgt in der Regel im 2. und 3. Fachsemester. In jedem Ausbildungsschwerpunkt wird die Anwendung der erworbenen Kompetenzen umgehend durch Übungen und Praktika intensiv geübt, um neben der wissenschaftlichen Qualifizierung insbesondere auch die praktische Berufsqualifizierung sicherstellen zu können.

Die Module der folgenden Kapitel sind in den jeweiligen Ausbildungsschwerpunkten zu belegen.

6.2.1 Ausbildungsschwerpunkt Enzyme Engineering:

Nr	Pflichtmodul	Credits
1	Enzym Engineering	5,0
2	Konzeption biokatalytischer Systeme	5,0

(1) Das Modul ‚Enzym Engineering‘ (Vorlesung und Seminar) vertieft wichtige molekularbiologische und proteinchemische Ansätze zur Optimierung von Enzymen über Variation der Primärstruktur. Dabei wird der Hintergrund (technische Notwendigkeit) beleuchtet, es werden rationale, Computer gestützte, evolutive und kombinierte Verfahren erläutert und gegenübergestellt.

(2) Das Modul ‚Konzeption biokatalytischer Systeme‘ soll Einblicke in biokatalytische Systeme natürlichen Ursprungs geben. Ein besonderer Fokus liegt auf der Analyse von neuen Enzymen bzw. Enzymkaskaden sowie der zugehörigen metabolischen Flüsse mittels moderner Omics-Technologien zur Identifikation und Konzeption natürlicher biokatalytischer Systeme. Weitere Schwerpunkte sind die natürliche Biodiversität von Enzymen und Ganzzellkatalysatoren.

6.2.2 Ausbildungsschwerpunkt Metabolic Engineering

Nr	Pflichtmodul	Credits
3	Modellierung zellulärer Systeme	5,0
4	Angewandte Mikrobiologie	5,0

(3) Das Modul ‚Modellierung zellulärer Systeme‘ (Vorlesung und umfangreiche Rechnerübungen) umfasst neben mathematischen Modellen zellulärer Prozesse (Bilanzen, Stöchiometrie, Kinetik), der Thermodynamik dieser Prozesse und den Grundlagen der Modellanalyse, insbesondere die Verfahren der intrazellulären Stoffflussanalyse sowie entsprechende Software-

Werkzeuge. Darüber hinaus werden Beschreibungsformen zellulärer Prozesse, die nichtlineare Dynamik dieser Prozesse, regelungstechnische Aspekte des zellulären Stoffwechsels und Methoden des ‚Reverse Engineering‘ behandelt.

(4) Im Modul ‚Angewandte Mikrobiologie‘ werden mit Schwerpunkt auf prokaryotische Mikroorganismen die Wege des zentralen Kohlenstoffmetabolismus, aerobe und anaerobe Stoffwechseltypen und anhand von ausgewählten Beispielen der Einsatz von genetisch optimierten Mikroorganismen bei der biotechnologischen Herstellung von Produkten (z.B. Aminosäuren, organische Säuren, Alkohole, Lösungsmittel, Polysaccharide, Enzyme) vermittelt. Darüber hinaus werden Grundkenntnisse über die Stoffwechsellleistungen von Mikroorganismen wiederholt, erweitert und vertieft. Schwerpunkte liegen im Bereich des Zentralstoffwechsels und die Abbauewege für Zucker, Polysaccharide, Lignin, Proteine, Lipide, Nukleinsäuren, Xenobiotika. Anhand von ausgewählten Beispielen wird die Anwendung von Organismen bzw. ihrer Enzyme in der Biotechnologie behandelt.

6.2.3 Ausbildungsschwerpunkt Bioprocess Engineering

Nr	Pflichtmodul	Credits
5	Industrielle Bioprozesse	5,0
6	Bioreaktoren	5,0

(5) Das Modul ‚Industrielle Bioprozesse‘ gibt einen Überblick über die technische Nutzung biologischer Stoffumwandlungen anhand konkreter Prozessbeispiele, wobei industrielle Gastdozenten eingebunden werden. Darüber hinaus werden die Methodik der Bioprocessentwicklung und die ökonomische und ökologische Analyse von biotechnologischen Produktionsprozessen behandelt.

(6) Das Modul ‚Bioreaktoren‘ behandelt die ingenieurwissenschaftliche Beschreibung biologischer Stoffumwandlungen in technischen Prozessen. Neben der mathematischen Beschreibung biologischer Reaktionen (Reaktionskinetik) ist hierzu die Kenntnis von Transportprozessen in Bioreaktoren erforderlich. Zusätzlich zur Modellierung von stationären und dynamischen Prozessen in Bioreaktoren ist die Abschätzung und Identifikation biologischer Modellparameter Inhalt dieser Lehrveranstaltung.

6.2.4 Ausbildungsschwerpunkt Bioseparation Engineering

Nr	Pflichtmodul	Credits
7	Bioproduktaufarbeitung 1 (Adsorptive Verfahren)	5,0
8	Bioproduktaufarbeitung 2 (Membranverfahren)	5,0

(7) Das Modul ‚Bioproduktaufarbeitung 1‘ fokussiert aufgrund der großen technischen Bedeutung ausschließlich auf die adsorptiven Verfahren zur Aufreinigung von Biomolekülen (Chromatographie, Fließbettadsorption (EBA), Membranadsorber und Magnetadsorber). Ergänzt wird die prozesstechnische Sichtweise durch Aspekte der Funktionalisierung (Kopplungsstrategien, selektive Liganden) und Charakterisierung fester Phasen (AFM, FT-IR, Raman, ToF-SIMS, ...).

(8) Der Schwerpunkt des Moduls ‚Bioproduktaufarbeitung 2‘ liegt auf Membranverfahren (Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration und Elektrodialyse), sowie Kristallisation und Fällung.

6.2.5 Praktikum

Nr	Pflichtmodul	Credits
9	Praktikum Bioprozesstechnik	5,0

(9) Im ‚Praktikum Bioprozesstechnik‘ soll anhand eines ausgewählten Prozessbeispiels ein vollständiger biotechnologischer Produktionsprozess (Rohstoffvorbereitung, Fermentation und Aufarbeitung) im Technikum des Forschungszentrums für Weiße Biotechnologie experimentell durchlaufen werden.

6.2.6 Frei wählbarer Ausbildungsschwerpunkt

In ähnlichem Umfang wie einer der vier verpflichteten Ausbildungsschwerpunkte sind Wahlmodule entsprechend der Interessen der einzelnen Studierenden völlig frei aus den Lehrveranstaltungen der TUM oder anderer wissenschaftlicher Hochschulen zu wählen. Von den 15 Credits sind mindestens 3 Credits aus dem Bereich „Allgemeinbildende Module“, mindestens 12 Credits sind aus dem Bereich „Frei wählbare Fachmodule“ zu erbringen.

6.3 Begründung der Modulgröße

Die Zielgruppe des Studiengangs Industrielle Biotechnologie sind sowohl IngenieurInnen als auch NaturwissenschaftlerInnen. Im Wahlpflichtbereich sollen komplementäre Grundlagen vermittelt werden, um die Studierenden auf denselben Wissensstand zu bringen. NaturwissenschaftlerInnen benötigen die ingenieurwissenschaftlichen, IngenieurInnen die naturwissenschaftlichen Grundlagen. Um bei der Festlegung des individuellen Curriculums möglichst viel Freiheit zu haben und um zu vermeiden, dass schon im Bachelor gelehrt Kompetenzen wiederholt werden, umfassen einzelne Module (Proteine: Struktur, Funktion und Engineering, Grundlagen der Enzymtechnologie, Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik, Grundlagen rechnergestützter Methoden in der Biotechnologie, Zelluläre Biochemie 1, Praktikum Enzymoptimierung und Einführung in die Genetik) einen geringeren Workload und entsprechend weniger als fünf Credits. Dies ermöglicht die passgenaue Kombination kleinerer Module mit größeren entsprechend dem jeweiligen Eingangskompetenzprofil der Studierenden.

6.4. Begründung der Prüfungsformen

Das Modul ‚Biochemie‘ wird mit einer Klausur und einer Laborleistung abgeschlossen. Voraussetzung für das erfolgreiche Durchlaufen des Praktikums ist die Beherrschung theoretischen Wissens, das in der Vorlesung vermittelt wird und in einer Klausur abgefragt wird. Die Studierenden müssen zeigen, dass sie befähigt sind, Grundstrukturen wichtiger biochemischer Stoffklassen und Prinzipien des Stoffwechsels zu verstehen. Im Rahmen der Laborleistungen wird überprüft, ob die Studierenden Fertigkeiten in der Durchführung der üblichen Techniken und Labormethoden der Biochemie zur Analyse von Proteinen, Kohlenhydraten und Lipiden besitzen. In Übereinstimmung mit § 41 b FPSO ist neben der praktischen Durchführung der Versuche die Dokumentation und Auswertung sowie die Deutung der Ergebnisse hinsichtlich der zu erarbeitenden Erkenntnisse in Form eines Berichtes Bestandteil der Laborleistungen.

6.5. Master's Thesis

Die Master's Thesis soll in der Regel nach erfolgreicher Ablegung aller Modulprüfungen im vierten Fachsemester als eigenständige wissenschaftliche Arbeit zu einem Thema aus der Industriellen Biotechnologie unter der Betreuung eines Hochschullehrers oder einer Hochschullehrerin einer am Studiengang beteiligten Fakultät durchgeführt werden. Die Master's Thesis kann auf begründeten Antrag nach Erlangen von 60 Credits begonnen werden. Diese Möglichkeit kann insbesondere für Studierende vorteilhaft sein, die im Sommersemester beginnen.

Die Master's Thesis befähigt die Studierenden zum wissenschaftlichen Arbeiten. Dies meint, dass die Studierenden u. a. auf Grundlage des aktuellen Stands der Erkenntnisse und Entwicklungen Fragestellungen identifizieren, kritisch hinterfragen und formulieren können. Ferner sind die Studierenden in der Lage, Problemstellungen zu abstrahieren, einen Forschungsplan aufstellen und wissenschaftliche Untersuchungen einschließlich der Datenerhebung, Datenaufzeichnung und kritischen Interpretation unter Verwendung adäquater oder innovativer Forschungsmethoden durchführen. Des Weiteren sind die Studierenden befähigt, die Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeit schriftlich und mündlich zu kommunizieren.

6.6. Mobilität der Studierenden

Zur Unterstützung der Mobilität der Studierenden steht der Wahlbereich des Masterstudiengangs zur Verfügung, ohne dass diese jedoch zur Auflage gemacht wird. Im Umfang von 15 Credits können Module eingebracht werden, die an anderen auch ausländischen wissenschaftlichen Hochschulen erworben worden sind.

Weitere im Ausland erbrachte Studienleistungen werden anerkannt, wenn sie keine wesentlichen Unterschiede zu den Modulen aufweisen, die im Studiengang IBT an der TUM erbracht werden können.

Auch die Master's Thesis kann in Kooperation mit ausländischen wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen oder Universitäten erstellt werden, wobei der Themensteller ein Prüfungsberechtigter an einer am Studiengang beteiligten Fakultät der TUM sein muss.

Somit ist ein Mobilitätsfenster von einem Semester zur Erbringung von mindestens 30 ECTS an einer ausländischen Universität gegeben.

6.7. Studierbarkeit

Der systematische Aufbau des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie ermöglicht das überlappungsfreie Angebot von Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen und erlaubt den Studierenden einen Studienabschluss in Regelstudienzeit. Die Studierbarkeit lässt sich auch anhand der Semesterstundenpläne nachvollziehen (siehe Anlage 3). Da die Module manchmal für unterschiedliche Zielgruppen (IngenieurInnen oder NaturwissenschaftlerInnen) angeboten werden, gibt es auch bei einem zeitgleichen Angebot von Lehrveranstaltungen keine Überschneidungen für die Studierenden. Für Fahrzeiten zwischen den Standorten Weihenstephan und Garching ist jeweils mindestens eine Stunde vorgesehen.

Ein Studienbeginn ist sowohl im Wintersemester als auch im Sommersemester möglich. Zu empfehlen ist ein Start zum Wintersemester. Dennoch führt der Studienbeginn im Sommersemester nicht zu einer Verlängerung der Studienzeit.

Im Folgenden sind typische Studienpläne für IngenieurInnen und BiowissenschaftlerInnen für den Start im WS und im SS abgebildet.

Start WS Ingenieurwissenschaften

Proteine: Struktur, Funktion und Engineering	Bioinformatik für Biowissenschaften 1	Grundlagen Mikrobiologie mit Praktikum	Grundlagen rechnergestützter Methoden	Biochemie 1	Molekulare Bakteriengenetik
WZ2016 (WP) Klausur 3	WZ2634 (WP) Klausur 5	WZ2607 (WP) Klausur 8	MW2397 (WP) Übungsleistung 4	CH0936 (WP) Klausur/Laborleistung 8	WZ2013 (WP) Klausur 3
Modellierung zellulärer Systeme	Angewandte Mikrobiologie	Bioproduktaufarbeitung 1	Industrielle Bioprozesse	Enzyme Engineering	Modultitel
MW1141 (P) Klausur 5	WZ2626 (P) Klausur 5	MW1145 (P) Klausur 5	MW1386 (P) Klausur 5	CS0076 (P) Übungsleistung 5	(W) 6
Konzeption biokatalytischer Systeme	Bioreaktoren	Bioproduktaufarbeitung 2	Praktikum Bioproszesstechnik	Modultitel	Modultitel
CH0160 (P) Klausur 5	MW0019 (P) Klausur 5	MW1146 (P) Klausur 5	MW1388 (P) Laborleistung 5	(W) 6	(W) 3
Masterarbeit					
SE002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30					

Start SS Ingenieurwissenschaften

Angewandte Mikrobiologie	Bioproduktaufarbeitung 1	Genetik	Datenanalyse und Versuchsplanung	Modultitel	Modultitel
WZ2626 (P) Klausur 5	MW1145 (P) Klausur 5	WZ0703 (WP) Klausur 5	MW2248 (WP) Klausur 5	(W) 6	(W) 3
Konzeption biokatalytischer Systeme	Bioreaktoren	Bioproduktaufarbeitung 2	Praktikum Bioproszesstechnik	Technische Biokatalyse	Grundlagen Mikrobiologie mit Praktikum
CH0160 (P) Klausur 5	MW0019 (P) Klausur 5	MW1146 (P) Klausur 5	MW1388 (P) Laborleistung 5	CS0056 (WP) Klausur 5	WZ2607 (WP) Klausur 8
Modellierung zellulärer Systeme	Industrielle Bioprozesse	Enzyme Engineering	Modultitel	Reaktionstechnik und Kinetik	Zellbiologie
MW1141 (P) Klausur 5	MW1386 (P) Klausur 5	CS0076 (P) Übungsleistung 5	(W) 6	CH4114 (WP) Klausur 5	CH3187 (WP) Klausur 5
Masterarbeit					
SE002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30					

Start SS Ingenieurwissenschaften Variante

Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5	Genetik WZ0703 (WP) Klausur 5	Enzyme Engineering CS0076 (P) Übungsleistung 5
Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5	Biochemie 1 CH0936 (WP) Klausur/Laborleistung 8	Enzymtechnologie CH2104 (WP) Laborleistung 4	Proteine: Struktur, Funktion und Engineering WZ2016 (WP) Klausur 3	Grundlagen Mikrobiologie mit Praktikum WZ2607 (WP) Klausur 8	Bioinformatik für Biowissenschaften 1 WZ2634 (WP) Klausur 5
Masterarbeit SE002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30					
Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5	Praktikum Bioprosesstechnik MW1388 (P) Laborleistung 5	Modultitel (W) 6	Modultitel (W) 6	Modultitel (W) 3

Start WS Biowissenschaften

						Semester	Credit-summe	Prüfungsleistungen
Datenanalyse und Versuchsplanung MW2248 (WP) Klausur 5	Grundlagen der technischen Chemie CH4110 (WP) Klausur 5	Mechanische Verfahrenstechnik CH0604 (WP) Klausur 5	Thermische Verfahrenstechnik 1 MW1930 (WP) Klausur 5	Modultitel (W) 6	Modultitel (W) 3	1.	29	6
Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5	Enzyme Engineering CS0076 (P) Übungsleistung 5	Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik MW2102 (WP) Klausur 5	2.	30	6
Konzeption biokatalytischer CH0160 (P) Klausur 5	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5	Praktikum Bioprosesstechnik MW1388 (P) Laborleistung 5	Thermische Verfahrenstechnik 2 MW0129 (WP) Klausur 5	Modultitel (W) 6	3.	31	6
Masterarbeit SE002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30						4.	30	1
							120	19

Start WS Biowissenschaften

Angewandte Ingenieursmathematik MW1378 (WP) Klausur 8	Grundlagen der technischen Chemie CH4110 (WP) Klausur 5	Mechanische Verfahrenstechnik CH0604 (WP) Klausur 5	Thermische Verfahrenstechnik 1 MW1930 (WP) Klausur 5	Modultitel (W) 6	Modultitel (W) 3
Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5	Enzyme Engineering CS0076 (P) Übungsleistung 5	Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik MW2102 (WP) Klausur 5
Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5	Praktikum Bioprosesstechnik MW1388 (P) Laborleistung 5	Thermische Verfahrenstechnik 2 MW0129 (WP) Klausur 5	Modultitel (W) 6
Masterarbeit SE002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30					

Start SS Biowissenschaften

Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5	Modultitel (W) 6	Reaktionstechnik und Kinetik CH4114 (WP) Klausur 5	Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik MW2102 (WP) Klausur 5	Datenanalyse und Versuchsplanung MW2248 (WP) Klausur 5
Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5	Praktikum Bioprosesstechnik MW1388 (P) Laborleistung 5	Mechanische Verfahrenstechnik CH0604 (WP) Klausur 5	Angewandte Ingenieursmathematik MW1378 (WP) Klausur 8
Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5	Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5	Enzyme Engineering CS0076 (P) Übungsleistung 5	Modultitel (W) 6	Modultitel (W) 3	Praktikum Enzymoptimierung WZ8105 (WP) Übungsleistung 4
Masterarbeit SE002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30					

Start SS Biowissenschaften (Variante)					
Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5	Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik MW2102 (WP) Klausur 5	Enzyme Engineering CS0076 (P) Übungsleistung 5
Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5	Angewandte Ingenieurmathematik MW1378 (WP) Klausur 8	Grundlagen der technischen Chemie CH4110 (WP) Klausur 5	Thermische Verfahrenstechnik 1 MW1930 (WP) Klausur 5	Mechanische Verfahrenstechnik CH0604 (WP) Klausur 5	Modultitel (W) 3
Masterarbeit SE002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30					
Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5	Praktikum Bioproszesstechnik MW1388 (P) Laborleistung 5	Bioverfahrens-technik MW1903 (WP) Klausur 5	Modultitel (W) 6	Modultitel (W) 6

Tabelle 1: Exemplarische Darstellung typischer Studienpläne

7. Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten

7.1. Organisatorische Anbindung

Der Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie ist der Munich School of Engineering (MSE) zugeordnet. Am Studiengang beteiligt sind die Fakultät für Maschinenwesen, die Fakultät für Chemie sowie das Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW) und der Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit.

Mit der Koordination wurde Herr Prof. Dr.-Ing. Dirk Weuster-Botz (Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik, Fakultät für Maschinenwesen) beauftragt.

7.2. Administrative Zuständigkeiten

Die administrativen Zuständigkeiten sind wie folgt festgelegt:

- Studienberatung: Abt. Studienberatung und Schulprogramme des Studierenden Service Zentrums (SSZ)
- Fachstudienberatung: MSE
- Bewerbung, Zulassung und Immatrikulation: Abt. Bewerbung und Immatrikulation des SSZ
- Eignungsverfahren: MSE (fachliche Prüfung) und Abt. Bewerbung und Immatrikulation des SSZ (formale Prüfung)
- Studiengangsmanagement (z.B. Studienorganisation, QM, Evaluation): MSE
- Öffentlichkeitsarbeit: MSE in Kooperation mit dem CCC
- Prüfungsmanagement:
 - Dezentrale Prüfungsverwaltung: MSE
 - Schriftführung Prüfungsausschuss: MSE
 - Ausstellen von Abschlussdokumentationen (Urkunde, Zeugnis, Diploma Supplement, Transcript of Records) und Bescheide: Abt. zentrale Prüfungsangelegenheiten des SSZ, Campus Garching