

Studiengangsdokumentation

Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie

Teil A
School of Engineering and Design
Technische Universität München

Allgemeines:

- Organisatorische Zuordnung: School of Engineering and Design
- Bezeichnung: Industrielle Biotechnologie
- Abschluss: Master of Science
(M. Sc.)
- Regelstudienzeit und Credits: 4 Fachsemester und 120 Credit Points (CP)
- Studienform: Vollzeit, Präsenzstudiengang
- Zulassung: Eignungsverfahren (EV - Master)
- Starttermin: Wintersemester (WiSe) 2010/2011
- Sprache: Deutsch
- Hauptstandort: Garching, Weihenstephan (Freising)
- Academic Program Director: Prof. Dipl. Arch. ETH Mark Michaeli
- Ansprechpersonen bei Rückfragen zu diesem Dokument:
Prof. Dr.-Ing. Dirk Weuster-Botz
E-Mail: dirk.weuster-botz@tum.de
Tel.: +49 (89) 289 - 15712
Prof. Dr.-Ing. Andreas Kremling
E-Mail: a.kremling@tum.de
Tel.: +49 (89) 289 - 15760
- Stand vom: 18.04.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Studiengangsziele	4
1.1	Zweck des Studiengangs	4
1.2	Strategische Bedeutung des Studiengangs	5
2	Qualifikationsprofil	8
3	Zielgruppen	11
3.1	Adressatenkreis	11
3.2	Vorkenntnisse	11
3.3	Zielzahlen	12
4	Bedarfsanalyse	17
5	Wettbewerbsanalyse	19
5.1	Externe Wettbewerbsanalyse	19
5.2	Interne Wettbewerbsanalyse	19
6	Aufbau des Studiengangs	22
6.1	Grundlagenbereich	23
6.2	Ausbildungsschwerpunkte	27
6.3	Begründung der Modulgröße	30
6.4.	Master's Thesis	31
6.5.	Mobilität der Studierenden	31
6.6.	Studierbarkeit	32
6.7	Studienorganisatorische Maßnahme	35
7	Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten	36
8	Entwicklungen im Studiengang	39

1 Studiengangsziele

1.1 Zweck des Studiengangs

Die Industrielle Biotechnologie nutzt Mikroorganismen und Zellen oder deren Komponenten (Enzyme) als Biokatalysatoren für die industrielle Stoffproduktion. Zu den Produkten gehören Spezial- und Feinchemikalien, Lebensmittel und Lebensmittelzusatzstoffe, Agrar- und Pharmavorprodukte, Pharmazeutika und Hilfsstoffe für die verarbeitende Industrie, zunehmend aber auch großvolumige Chemieprodukte. Die Industrielle Biotechnologie setzt auch auf nachwachsende Rohstoffe und wandelt diese mit Hilfe biologischer Systeme selektiv in wertveredelte Materialien und Produkte um. Im Kontext des Klimawandels spielt die Industrielle Biotechnologie daher eine entscheidende Rolle.

Die weltweite Reduktion von Treibhausgas-Emissionen fossilen Ursprungs ist eine der Herausforderungen der Zukunft, um die negativen Folgen des Klimawandels zumindest begrenzen zu können. Dies macht den weltweiten Ersatz fossiler Rohstoffe für die industrielle Herstellung aller kohlenstoffhaltigen Produkte innerhalb weniger Jahrzehnte erforderlich. Alternative Kohlenstoffquellen sind CO₂ (aus der Atmosphäre) oder alle Arten nachwachsender Pflanzenmaterialien. Um beide Kohlenstoffquellen zukünftig wirtschaftlich in großem Umfang auch tatsächlich nutzbar machen zu können, spielt die Industrielle Biotechnologie die zentrale Rolle. Herausforderungen sind die Verfügbarmachung industriell geeigneter, neuartiger Biokatalysatoren und deren optimaler Einsatz in skalierbaren und hocheffizienten Produktionsverfahren, um beispielsweise Monomere für Kunststoffe oder neuartige Performance-Materialien direkt aus CO₂ oder nachwachsenden Rohstoffen (und Ammoniak) herstellen zu können.

Aber auch die Freisetzung von Treibhausgasemissionen zur Ernährung der Menschheit – insbesondere bei der Fleischproduktion werden große Mengen an Treibhausgasen (Methan) freigesetzt – muss zukünftig deutlich reduziert werden. Auch hier wird die Industrielle Biotechnologie das wichtigste technologische Zukunftswerkzeug darstellen. Ziel wird die direkte Herstellung von Lebensmitteln aus nachwachsenden Rohstoffen und Ammoniak im Bioreaktor sein, wie beispielsweise mikrobielle Kakaobutter und Milchproteine und -fette als Kuhmilchersatz, Fleischersatzmaterialien aus Pilzen oder aber auch künstliches Fleisch (*artificial meat* oder *cultivated meat*) aus tierischen Gewebezellen, die beliebig vermehrt werden können.

Nicht zuletzt wird die Industrielle Biotechnologie weiterhin auch unverzichtbar zur Herstellung moderner pharmazeutischer Produkte bleiben. Durch die Individualisierung von therapeutischen Ansätzen werden zwar die Produktionsvolumina immer kleiner werden, was aber insbesondere durch Automatisierung und Digitalisierung von bioverfahrenstechnischen Prozessen wettgemacht werden muss, um zukünftig überhaupt gesellschaftlich finanzierbare Individualtherapeutika herstellen zu können. Auch hierzu wird die Industrielle Biotechnologie durch die Verknüpfung von Biowissenschaften und Bioverfahrenstechnik maßgebliche Beiträge leisten.

Die Industrielle Biotechnologie stellt damit eine Schlüsseltechnologie dar. Ein an Rohstoffen armes Land wie Deutschland ist im Besonderen auf zukunftsfähige und innovative Technologien, wie die der Industriellen Biotechnologie, angewiesen. Die Industrielle Biotechnologie steht für Innovation, Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit in zentralen Branchen, wie unter anderem der Chemie-, Pharma- und Lebensmittelindustrie.

Als hochgradig interdisziplinäre Wissenschaft umfasst die Industrielle 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 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 daher die Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren 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 und Bioseparation Engineering und fokussieren damit auf die wissenschaftlich-technischen Kernkompetenzen der Industriellen Biotechnologie an dieser Schnittstelle. Übergeordnetes Ziel ist die Ausbildung von Studierenden, die sich den komplexen Zukunftsherausforderungen mit Verantwortungsbewusstsein für Mensch und Erde insbesondere in der stoffwandelnden Industrie und darüber hinaus stellen können.

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs

Die Technische Universität München (TUM) stellt in ihren Zielen und Werten¹ den Menschen, die Natur und die Gesellschaft hinsichtlich eines nachhaltigen Innovationsfortschritts in den Mittelpunkt. Im Streben nach verantwortungsvollen und gesellschaftsfähigen Innovationen erweitert die TUM gedanklich das Ingenieurwesen und öffnet es hin zu den Geistes- und Sozialwissenschaften, indem Werte, Bedürfnisse und Erwartungen der Gesellschaft in die zu entwickelnden Technologien einfließen. Die Umstellung des Fakultätssystems auf eine innovationsfördernde Matrixorganisation von Schools und interdisziplinären Forschungszentren spiegelt dieses Konzept wider. Es prägt auch das Grundverständnis der Lehre und die Zielsetzung der School of Engineering and Design (ED), der größten dieser neu gegründeten Schools, die mit ihren derzeit fast 40 Studiengängen² die Vielfalt der Ingenieurwissenschaften an der TUM vereinigt. Durch die Integration verschiedener Disziplinen und eine standortübergreifende Zusammenarbeit werden an ihr neues Wissen und Methoden generiert. Der Tätigkeitsschwerpunkt liegt in der Analyse, Simulation und Entwicklung in den Feldern Technik, Mobilität, Energie, Natur, Material und gebauter Umwelt – Expertinnen, Experten und neue Talente stellen sich komplexen Herausforderungen mit Verantwortungsbewusstsein für Mensch und Planet Erde. In Innovationspartnerschaften werden Lösungen für eine nachhaltige Zukunft gestaltet³.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Anzahl der in den Studienrichtungen der ED angebotenen Studiengänge:

¹ <https://www.tum.de/ueber-die-tum/ziele-und-werte> (aufgerufen am 31.01.2024)

² <https://ed.tum.de/ed/studium/studienangebot/> (aufgerufen am 31.01.2024)

³ <https://www.ed.tum.de/ed/ueber-uns/> (aufgerufen am 31.01.2024)

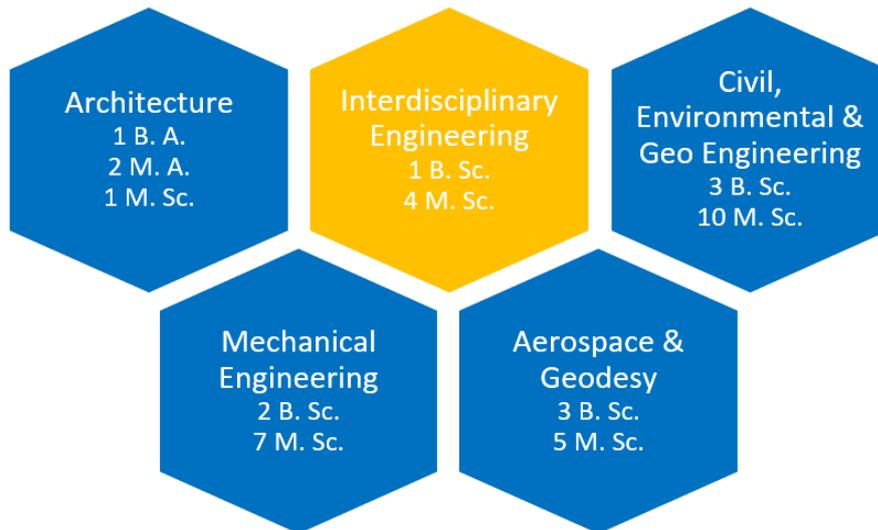


Abbildung 1: Studiengänge in den Studienrichtungen an der ED

Der Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie ist der Studienrichtung *Interdisciplinary Engineering* der ED zugeordnet und verkörpert in Aufbau, Ausgestaltung und Zielsetzungen (siehe Kapitel 6) die Zukunftsherausforderungen auf den Gebieten der Nachhaltigkeit und Interdisziplinarität in inhärenter Weise. Die Industrielle Biotechnologie steht wie kaum eine andere Ingenieurdisziplin für den Ersatz fossiler Rohstoffe als Kohlenstoffquelle in der industriellen Stoffproduktion. Dies kann nur durch die Integration verschiedener Fachdisziplinen (Biowissenschaften und Ingenieurwissenschaften) in einer standortübergreifenden Zusammenarbeit gelingen, wie sie im Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie abgebildet ist.

Die TUM verfügt über hervorragende Voraussetzungen, um die Industrielle Biotechnologie als starken interdisziplinären Forschungs- sowie Ausbildungsschwerpunkt auszugestalten. Die beteiligten Schools (ED und Natural Sciences in Garching, Life Sciences in Freising) und der Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit ermöglichen mit ihren sich ergänzenden fachlichen Ausprägungen (u. a. Mikrobiologie, Biochemie, Biotechnologie, Synthetische Biotechnologie, Bioverfahrenstechnik, Systembiotechnologie, Chemische Verfahrenstechnik, Bioanalytik, Biopolymere, Biophysik, Biogene Rohstoffe, Bioinformatik und Informatik) die Ausbildung Industrieller Biotechnologinnen und Biotechnologen auf höchstem Niveau. Insbesondere auch die Verfügbarkeit spezifischer wissenschaftlich-technischer Einrichtungen (wie beispielsweise Technikum für Industrielle Biotechnologie in Garching oder Algentechnikum auf dem Ludwig Bölkow Campus in Ottobrunn) ermöglichen dabei einen einzigartigen Praxisbezug zur Industriellen Biotechnologie, wie es ihn an keiner anderen Universität weltweit gibt.

Das industrielle Umfeld in der Metropolregion München ist unter anderem mit der Wacker Chemie AG als internationalem Chemieunternehmen mit Sitz in München, der Roche Deutschland Holding GmbH in Penzberg mit einem der größten industriellen Biotechnologiezentren in Europa und insbesondere auch kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) wie beispielsweise AMSilk und

anderen Ausgründungen der TUM, sowie vielen ähnlichen Firmenneugründungen im Münchner Umfeld in vielfältiger Weise gegeben. 2022 gründeten TUM und Wacker beispielsweise das TUM WACKER Institute for Industrial Biotechnology. Ziel ist die gemeinsame Weiterentwicklung der Forschung in der industriellen Biotechnologie auf internationalem Spitzenniveau.

Die Industrielle Biotechnologie trägt in ihrer inhärent fachübergreifenden Ausrichtung direkt und indirekt in vielfältiger Weise zu zentralen Forschungszielen der TUM bei. Dies sind insbesondere die Forschungsziele ‚Neue Materialien und Fertigungstechnologien‘, ‚Nachhaltiger Lebensraum‘, ‚Gesundheit erhalten und Krankheiten therapieren‘ und ‚Forschung und Innovation im Dienst der Gesellschaft‘⁴.

⁴ <https://www.tum.de/forschung/forschungsziele> (gesehen am 19.02.2024)

2 Qualifikationsprofil

Das nachfolgende Qualifikationsprofil entspricht inhaltlich den Anforderungen des Qualifikationsrahmens für Deutsche Hochschulabschlüsse (Hochschulqualifikationsrahmens - HQR) und den darin enthaltenen Anforderungen (i) Wissen und Verstehen, (ii) Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen, (iii) Kommunikation und Kooperation und (iv) Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität. Die formalen Aspekte gemäß HQR (Zugangsvoraussetzungen, Dauer, Abschlussmöglichkeiten) sind in den Kapiteln 3 und 6 sowie in der entsprechenden Fachprüfungs- und Studienordnung (FPSO) ausgeführt.

Wissen und Verstehen

Die Absolventinnen und Absolventen sind nach erfolgreichem Abschluss ihres Masterstudiums der Industriellen Biotechnologie in der Lage, Biokatalysatoren für die Industrielle Biotechnologie auszuwählen und neu zu gestalten (*Enzyme Engineering*), sowie Stoffwechselnetzwerke in Zellen und Mikroorganismen zu analysieren sowie gezielt zu verändern oder neu zu gestalten (*Metabolic Engineering*), um zu neuen Produktionsorganismen für die Industrielle Biotechnologie zu gelangen. Sie können optimierte Biokatalysatoren in Bioreaktoren und Bioprozessen technisch nutzbar machen, sowie deren industrielle und wirtschaftliche Auswertbarkeit ermöglichen (*Bioprocess Engineering*). Ferner sind sie in der Lage, Bioprodukte aufzuarbeiten (*Bioseparation Engineering*), um die im Bioreaktor erzeugten Materialien in der erforderlichen Reinheit industriell und wirtschaftlich bereitstellen zu können.

Die im Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie ausgebildeten Studierenden sind in der Lage, alle vier Schwerpunkte der Industriellen Biotechnologie (*Enzyme Engineering*, *Metabolic Engineering*, *Process Engineering* und *Bioseparation Engineering*) interdisziplinär miteinander zu vernetzen und auf konkrete Problemstellungen anzuwenden. Sie verfügen über ein detailliertes und kritisches Verständnis der hierzu erforderlichen biowissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen und der in diesen Schwerpunkten abgebildeten Kompetenzen zur gezielten Gestaltung von Biokatalysatoren und deren technischen Nutzbarmachung für eine industrielle Auswertung, welches es ihnen ermöglicht, entsprechende Fragestellungen kompetent zu analysieren und passende Lösungen zu entwickeln.

Grundlagen und Kompetenzen umfassen hierbei insbesondere das Wissen und die Methoden zur (1) Konzeption biokatalytischer Systeme und zur gezielten Verbesserung und Erzeugung von Biokatalysatoren mit neuen biokatalytischen Eigenschaften (*Enzyme Engineering*), zur (2) Modell gestützten Analyse von Stoffwechselnetzwerken und deren gezielten Gestaltung, um Kohlenstoffflüsse effizient und mit hohen Ausbeuten zu den gewünschten, auch nicht natürlichen Produkten in Zellen und Mikroorganismen zu lenken (*Metabolic Engineering*), zum (3) Entwurf und zur modellgestützten Ausgestaltung von skalierbaren biotechnologischen Produktionsprozessen mit neuartigen Biokatalysatoren, sowie zur passgenauen Auswahl, Auslegung und Skalierung von Bioreaktoren für industrielle Anwendungen (*Bioprocess Engineering*) und zur (4) Isolierung von niedermolekularen und hochmolekularen Bioprodukten mit skalierbaren Verfahrensschritten, sowie zur Prozessintegration, also zur effizienten Gestaltung einer Prozesskette, um zu ökonomisch und ökologisch sinnvollen Lösungen zu gelangen (*Bioseparation Engineering*).

Nicht zuletzt durch die eigenständige und völlig freie Auswahl eines individuellen Anwendungs-, Vertiefungs- oder fachlichen Ergänzungsthemas im Umfang wie eines der Schwerpunkte sind sie besonders befähigt, ihr Wissen zu erweitern und verfügen damit über fortgeschrittene Fähigkeiten zum Erlernen und selbständigen Erwerb und die Anwendung von weiteren Konzepten und Methoden, um diese in praktische und theoretische Entwicklungs- und Forschungsprojekte einzubringen.

Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen

Durch die inhärente interdisziplinäre Ausrichtung dieses Masterstudiengangs haben die Absolventinnen und Absolventen ein breites Methoden- sowie vertieftes Fachwissen erworben und sind damit besonders zum Einsatz an der Schnittstelle zwischen Biowissenschaften und Prozesstechnik zur Gestaltung und Umsetzung neuer biologischer Erkenntnisse in industrielle Produktionsverfahren befähigt. Das übergeordnete Verständnis für fachübergreifende Interaktionen ist eine Schlüsselqualifikation, die in der Industriellen Biotechnologie gefordert ist.

Die Absolventinnen und Absolventen sind zum wissenschaftlichen Arbeiten befähigt und sind besonders in der Lage, das im Masterstudium erworbene Fachwissen sowohl auf ingenieur- und biowissenschaftliche als auch anwendungsorientierte Problemstellungen selbständig anzuwenden und insbesondere auch anwendungsorientierte Forschungsprojekte autonom (selbstgesteuert) durchzuführen. Das interdisziplinäre Studium befähigt sie in besonderem Maße, wissenschaftliche Innovationen voranzutreiben, Forschungsfragen fachübergreifend zu entwerfen und die erhaltenen Forschungsergebnisse sachgerecht zu interpretieren, sowie Lösungen für aktuelle und zukünftige Forschungsfragen aus der Industriellen Biotechnologie kompetent zu erarbeiten. Sie sind hierzu in der Lage, geeignete Forschungsmethoden aus einem breiten Spektrum sowohl ingenieurwissenschaftlicher als auch naturwissenschaftlicher Ansätze auszuwählen und können damit besonders kreative und innovative Lösungen erarbeiten.

Kommunikation und Kooperation

Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie können wissenschaftlich fundierte Entscheidungen treffen und kritisch mögliche Folgen auch im gesellschaftlichen Kontext reflektieren. Darüber hinaus versetzen die in diesem interdisziplinären Masterstudiengang mit nationalen und internationalen Bachelorabsolventinnen und Bachelorabsolventen⁵ sowohl aus den Biowissenschaften als auch Ingenieurwissenschaften schon während des gesamten Masterstudiums in vielfältiger Weise erworbenen sozialen und interkulturellen Kompetenzen die ausgebildeten Studierenden insbesondere in die Lage, ihre Fach- und Methodenkompetenzen 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 und zielgruppengerecht

⁵ Siehe Kapitel 8, Abbildung 11.

zu präsentieren und damit zu Entscheidungsprozessen beizutragen, oder diese selbständig zu treffen und umzusetzen.

Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität

Durch den Praxisbezug des Studiums sind die Absolventinnen und Absolventen sowohl für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im betrieblichen als auch wissenschaftlichen Umfeld der Industriellen Biotechnologie qualifiziert. Sie sind in besonderem Maße befähigt und in der Lage, die Herausforderungen der Spitzentechnologie Industrielle Biotechnologie interdisziplinär zu meistern. Sie können sich auf das sich ständig weiterentwickelnde Aufgabenfeld und die großen zukünftigen Herausforderungen der Industriellen Biotechnologie einstellen und reflektieren kritisch ihr berufliches Handeln in Bezug auf gesellschaftliche Erwartungen und Folgen. Sie haben ein ausgeprägtes Bewusstsein für Aspekte der Nachhaltigkeit, da diese die Grundlage für die breite Anwendung der Industriellen Biotechnologie darstellen. Ihr berufliches Handeln wird neben den Aspekten der Nachhaltigkeit insbesondere auch hinsichtlich der gesellschaftlichen Akzeptanz neuer Produktionsweisen und Kommunikation neuartiger Technologien geprägt. Dabei orientieren sie sich an den Standards professionellen Handelns.

3 Zielgruppen

3.1 Adressatenkreis

Der Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie richtet sich an gute Hochschulabsolventinnen und Hochschulabsolventen in- oder ausländischer wissenschaftlicher Hochschulen mit einem mindestens sechssemestrigen qualifizierten Bachelorabschluss (Bachelor of Science) oder gleichwertigen Abschluss in den folgenden Studiengängen oder mit diesen vergleichbaren Studiengängen:

- Biochemie,
- (Molekulare) Biotechnologie,
- Biologie,
- Bioprozesstechnik,
- Bioinformatik,
- Bioingenieurwesen,
- Technologie und Biotechnologie der Lebensmittel,
- Chemieingenieurwesen,
- Verfahrenstechnik,
- Ingenieurwissenschaften,
- Maschinenwesen,
- Chemische Biotechnologie,
- Brauwesen und Getränketechnologie oder
- Nachwachsende Rohstoffe.

Die Absolventinnen und Absolventen sollten 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

Die Vorkenntnisse und Fähigkeiten der Bewerberinnen und Bewerber sollen dem Berufsfeld Industrielle Biotechnologie entsprechen. So müssen die Bewerberinnen und Bewerber die Fähigkeit zu wissenschaftlicher beziehungsweise grundlagen- und methodenorientierter Arbeitsweise mitbringen. Gute sprachliche Ausdrucksfähigkeit sowohl in Deutsch als auch in Englisch ist unerlässlich, da die Module hauptsächlich auf Deutsch und teilweise in Englisch angeboten werden, und die Fachliteratur überwiegend 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 biowissenschaftlichem 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 (beispielsweise durch Praktika in Unternehmen der Biotechnologie und/oder entsprechende Labor- oder Technikausbildung vor dem Bachelorstudium).

3.3 Zielzahlen

Bevorzugter Studienbeginn für den nicht-konsekutiven Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie ist das Wintersemester. Da einige Studierende jedoch nicht rechtzeitig ihr Bachelorstudium zum Wintersemester abschließen können, wurde auch der außerturnusmäßige Studienbeginn zum Sommersemester ermöglicht. Studierende können damit Studienleistungen, die sie im Wintersemester, ihrem letzten Bachelorsemester, bereits für den Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie erworben haben, mit einbringen. Daher werden in dieser Studiengangsdokumentation die Bewerberinnen und Bewerber sowie die Studienanfängerinnen und Studienanfänger des Wintersemesters (Mehrzahl) mit denen des folgenden Sommersemesters zusammengefasst dargestellt.

Für den Studiengang wird eine Anfängerkohorte von 25 – 30 Studierenden mit einem Frauenanteil von rund 50 % pro Jahr angestrebt. Dies bedeutet etwa 50 – 60 Studierende bei Vollbelegung und 4 Semestern Regelstudienzeit und einer Einstiegsmöglichkeit im Winter- und Sommersemester. Mit bis zu 30 Studierenden pro Jahrgang ist eine optimale Ausbildung gewährleistet, da insbesondere für die Praktika dann ein angemessenes Betreuungsverhältnis zwischen Dozentinnen und Dozenten und Studierenden gewährleistet werden kann und ausreichende Arbeitsplätze im TUM-Technikum für Industrielle Biotechnologie zur Verfügung gestellt werden können.

Die Zahl an Bewerbungen stieg bisher mit Ausnahme des 3. Jahrgangs von 43 im 1. Jahrgang stetig auf 100 im 6. Jahrgang an. Nachdem die Bewerberzahlen im 7. Jahrgang überraschend gesunken waren, blieben sie, von statistischen Schwankungen abgesehen, seit 6 Jahren nahezu konstant zwischen 90 und 106 Bewerbungen (siehe Abb. 2).

Die Zahlen der Studienanfängerinnen und Studienanfänger stiegen bisher von 17 im ersten Jahrgang auf über 30 ab dem 8. Jahrgang bis maximal 40 im Studienjahr 2021/22 (siehe Abb. 3), Die Zielzahlen sind somit seit 6 Jahren erreicht beziehungsweise überschritten. Dies trifft auf eine zunehmende Marktnachfrage nach Masterabsolventinnen und Masterabsolventen der Industriellen Biotechnologie sowohl aus dem akademischen als auch dem industriellen Bereich (siehe Kapitel 4 Bedarfsanalyse).

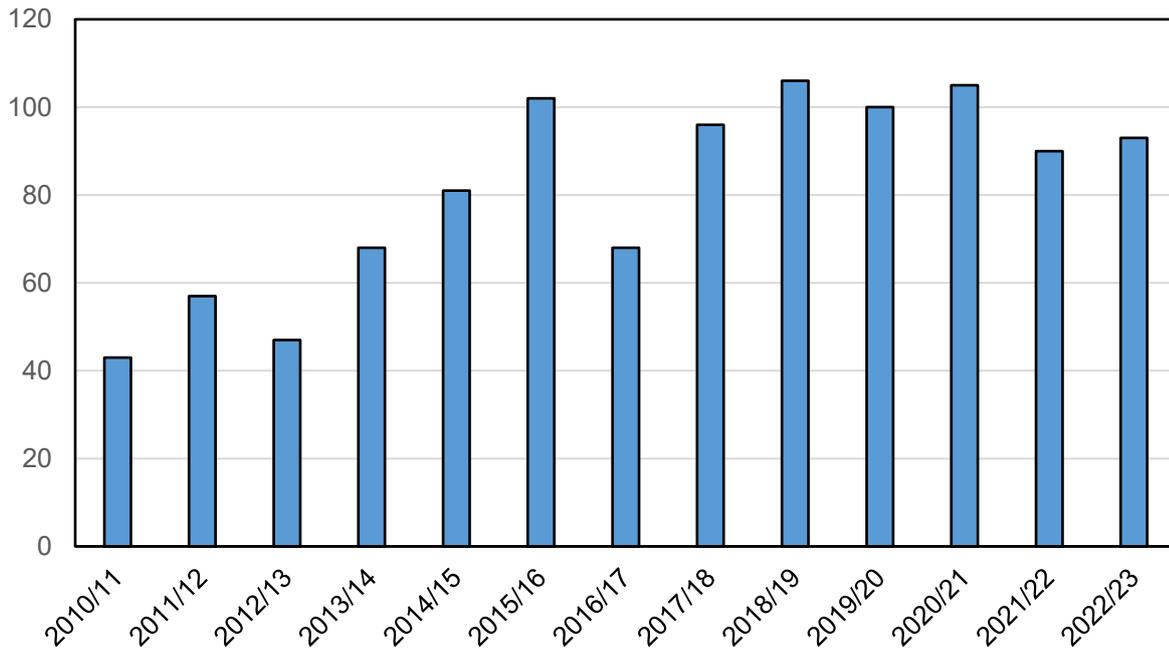


Abbildung 2: Bewerbungen pro Jahrgang für den Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie seit Gründung

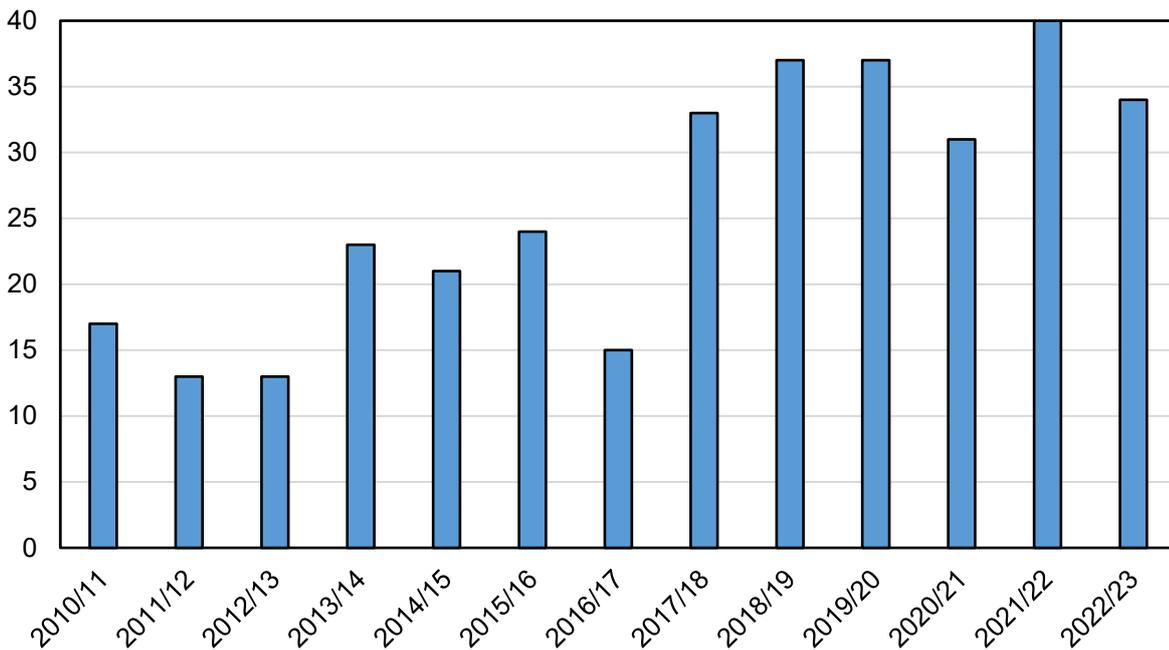


Abbildung 3: Anzahl Studienanfängerinnen und Studienanfänger pro Jahrgang im M.Sc. Industrielle Biotechnologie seit Gründung

Der Frauenanteil schwankt je nach Jahrgang zwischen rund 27 % und 67 % (siehe Abb. 4). Im Durchschnitt liegt er bei 49 %, was für einen ingenieurwissenschaftlichen Studiengang vergleichsweise hoch ist. In den letzten 6 Jahren lag der Frauenanteil von einer Ausnahme abgesehen bei rund 60 % (57 – 67 %).

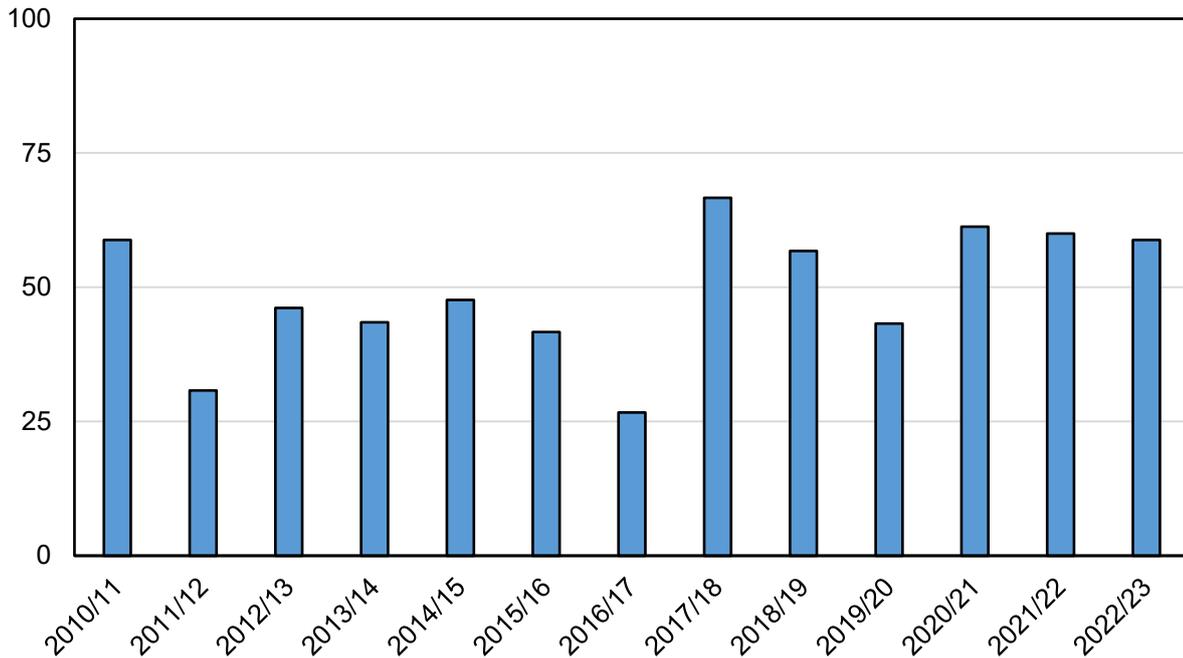


Abbildung 4: Prozentualer Frauenanteil unter den Erstsemesterstudierenden nach Jahrgang (Quelle: TUM-internes Kennzahlen-Dashboard)

Der Anteil an Studierenden aus dem Ausland variiert zwischen 4 % und 33 %, wobei seit mehr als 6 Jahren ein kontinuierlicher Anstieg festzustellen ist (siehe Abb. 5).

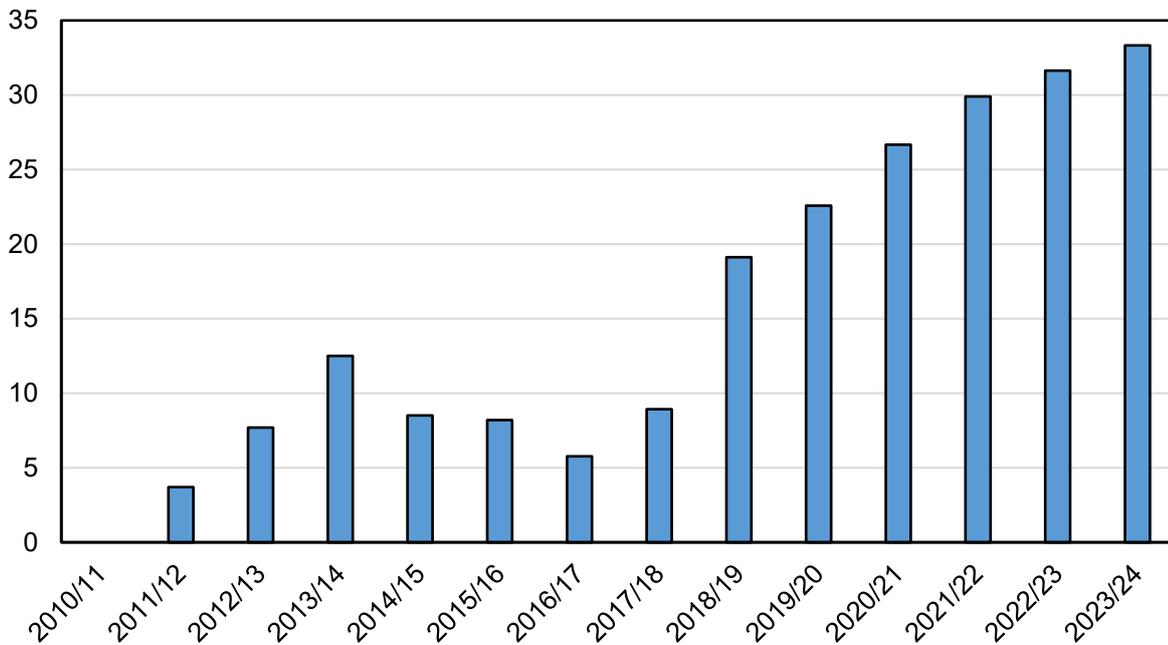


Abbildung 5: Prozentualer Anteil Studierender aus dem Ausland nach Jahrgängen (Quelle: TUM-internes Kennzahlen-Dashboard)

Der Anteil von Erstsemesterstudierenden mit ausländischem Vorstudium weist große Schwankungen auf (siehe Abb. 6). Während in den ersten 6 Jahren dieser Anteil mit einer Ausnahme bei 5 – 8 % lag, hatten in den letzten 6 Jahren Erstsemesterstudierende mit ausländischem Bachelorabschluss mit einer Ausnahme einen Anteil zwischen 18 % und 33 %.

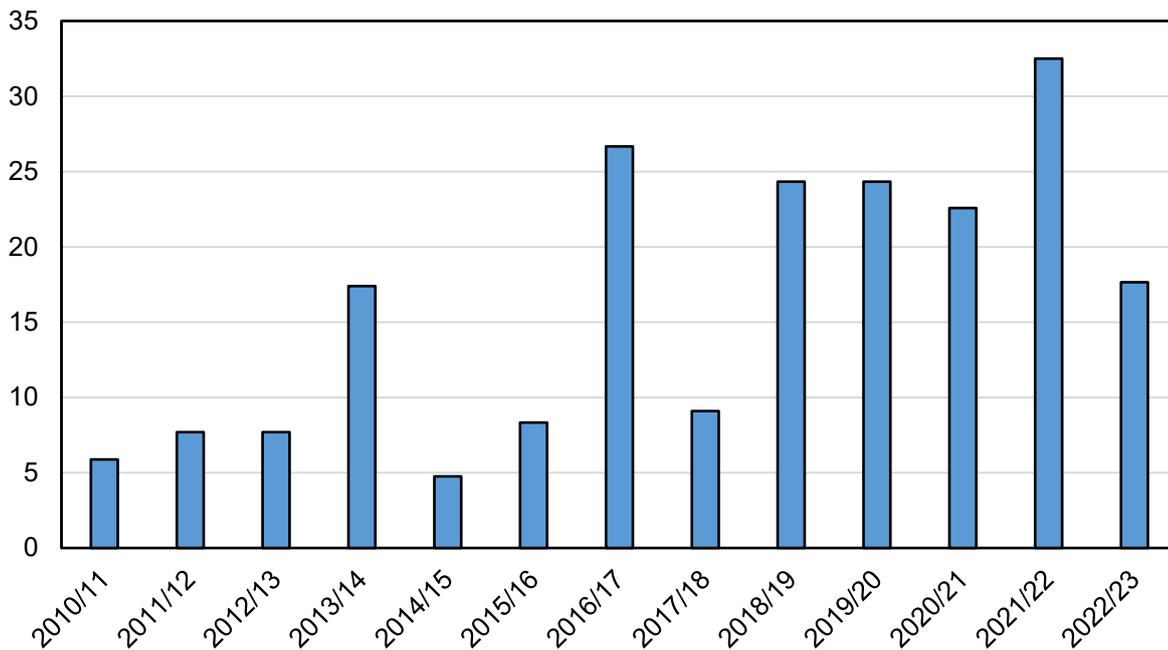


Abbildung 6: Prozentualer Anteil an Studienanfängerinnen und -anfänger mit ausländischem Vorstudium (Quelle: TUM-internes Kennzahlen-Dashboard)

Der Anteil der Bachelorabsolventinnen und Bachelorabsolventen der TUM, die in den Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie aufgenommen werden, unterliegt ebenfalls großen Schwankungen (siehe Abb. 7).

In den letzten 6 Jahren haben zwischen 25 – 60 % Studierende je Jahrgang mit einem TUM-Bachelorabschluss ihr Masterstudium der Industriellen Biotechnologie aufgenommen. Umgekehrt bedeutet dies, dass zwischen 40 – 75 % der Erstsemester ihren Bachelorabschluss außerhalb der TUM erworben hatten, was für einen hinreichenden Bekanntheitsgrad dieses Masterstudiengangs über die Grenzen der TUM hinaus spricht.

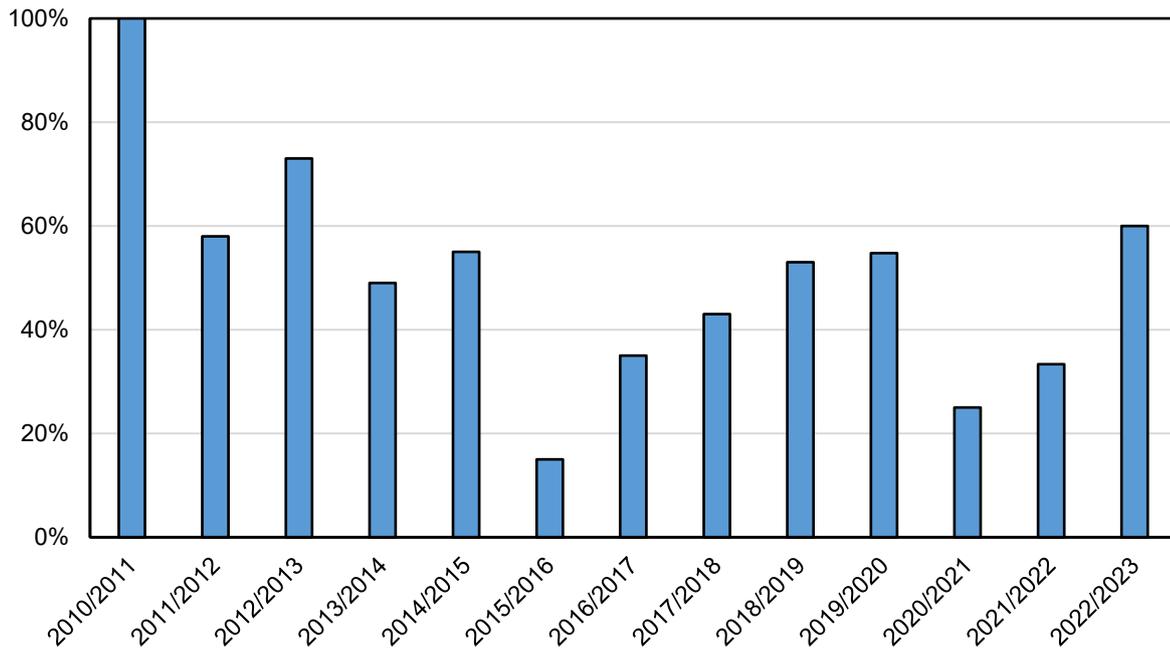


Abbildung 7: Anteil TUM-Absolventinnen und Absolventen unter den Erstsemesterstudierenden (Quelle: Interne Bewerbungsstatistik auf Basis des Eignungsverfahrens).

4 Bedarfsanalyse

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.

Ein wesentliches Merkmal der Industriellen Biotechnologie ist deren Forschungs- und Wissensintensität. Dies gilt für die Bereiche Forschung, Entwicklung, Zulassung, Herstellung und Vermarktung von Methoden, Prozessen, Produkten und Dienstleistungen. Damit ergibt sich eine große Beschäftigungswirkung in den universitären und außeruniversitären Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Gleichzeitig bestehen Engpässe bei hoch qualifizierten Fachkräften in der Industriellen Biotechnologie, so dass die Nachfrage nach Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie klar gegeben ist.

Dies wird auch in der letzten Befragung der Absolventinnen und Absolventen im Wintersemester 2020/21 bestätigt: 60 % hatten in weniger als 1 Monat nach Bewerbungsbeginn eine Arbeitsstelle. Knapp 50 % waren im akademischen Bereich tätig (Universität), rund 30 % in einem großen Unternehmen und mehr als 20 % in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Die genannten Branchen waren die Biotechnologie (44 %), die Chemie- und Pharmaindustrie (33 %) und Zulieferer bzw. Sonstige (23 %).

Die oben genannten Einschätzungen zur ökonomischen Entwicklung der Industriellen Biotechnologie werden nach wie vor 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 erwartet⁶.

Auch eine 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 verknüpfen⁷. Dies ist der zentrale Ansatz des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie.

⁶ Vgl. 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

⁷ Vgl. acatech (Hrsg.): Innovationspotentiale der Biotechnologie (acatech IMPULS), München, Herbert Utz Verlag 2017

Aktuelle Beschäftigungszahlen in dezidierten Biotech-Unternehmen im Bereich der Industriellen Biotechnologie in Deutschland zeigen einen ungebrochenen Trend: Fast 19 % konnten die Unternehmen der Industriellen Biotechnologie 2022 im Vergleich zu 2021 zulegen. Die Industrielle Biotechnologie zeigte in Deutschland 2022 auch den größten Zuwachs an neuen Unternehmen. Dies wird als „wenig überraschend in Zeiten des Klimawandels (gesehen) – birgt die Industrielle Biotechnologie doch enormes Potential zur Transformation“⁸.

⁸ Vgl. Andreas Mietzsch (Hrsg): BioTechnologie Kursbuch 2023. BIOCUM AG, Berlin 2023

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). Dieser orientiert sich zwar prinzipiell am TUM-Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie, verzichtet in seiner konsekutiven Ausrichtung auf Bachelorabsolventinnen und Bachelorabsolventen der Industriellen Biotechnologie der Hochschule Biberach aber auf wichtige Elemente des TUM-Masterstudiengangs, insbesondere auf den ausgeprägten Grundlagenbereich (siehe Abschnitt 6).

In den letzten Jahren sind viele Studiengänge der Verfahrenstechnik oder des Chemieingenieurwesens durch zusätzliche biotechnologische Ausbildungsinhalte erweitert worden, was sich auch in den entsprechenden Namen dieser konsekutiven Studiengänge niedergeschlagen hat (Bioingenieurwesen oder Chemie- und Bioingenieurwesen, bzw. Bioprozesstechnik). 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 werden 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) angeboten. Deren inhaltliche Ausgestaltungen sind stark durch die jeweiligen bereits im Titel angegebenen Fokussierungen geprägt (Bioenergy, Environmental Biotechnology oder Commercial Biotechnology).

Mit der zunehmenden wirtschaftlichen Bedeutung der Industriellen Biotechnologie ist mit hoher Sicherheit davon auszugehen, dass in naher Zukunft international neben den Studiengängen ‚Biotechnology‘ auch vermehrt Masterstudiengänge ‚Industrial Biotechnology‘ angeboten werden könnten.

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 oder Studienvertiefungen oder Modulen nachgebildet werden.

Der Masterstudiengang **Chemieingenieurwesen** (School of Natural Sciences NAT) ermöglicht zwar durch Wahl des Vertiefungsfachs Bioprozesstechnik eine Ergänzung der Ausbildung zum Chemieingenieur bzw. zur Chemieingenieurin mit biotechnologischen Grundkenntnissen, vermittelt jedoch bei weitem nicht das biowissenschaftliche Grund- und Fachwissen zum Enzyme Engineering oder Metabolic Engineering.

Dem Masterstudiengang **Energie- und Prozesstechnik** (ED) fehlen nahezu alle stofflichen Ausbildungsaspekte (Chemie und biowissenschaftliche Grundlagen).

Der Masterstudiengang **Pharmazeutische Bioprozesstechnik** (School of Life Sciences LS) 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** (LS) spielen wichtige Aspekte der Industriellen Biotechnologie aufgrund der strikten Branchenorientierung (Lebensmittelindustrie) keine oder nur eine untergeordnete Rolle.

Sowohl der Masterstudiengang **Molekulare Biotechnologie** (LS), als auch der Masterstudiengang **Biochemie** (NAT) 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 zum Wintersemester 2019/20 neu eingeführte englischsprachige Masterstudiengang **Chemische Biotechnologie** (TUM Campus Straubing) fokussiert auf die biotechnologische Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Stoffproduktion in der chemischen Industrie und bietet auch Einblicke in spezielle Bereiche wie Elektrobiotechnologie oder Materialwissenschaften. In diesem konsekutiven Masterstudiengang können Spezialisierungen dieser Art erfolgen, da die grundlegenden Kernkompetenzen der chemischen Biotechnologie bereits im zugehörigen Bachelorprogramm erworben werden. Zwar sind Lehrinhalte, wie sie auch im Master Industrielle Biotechnologie im Bereich Enzyme Engineering angeboten werden, in diesem englischsprachigen Masterstudiengang nachbildbar, eine Fokussierung auf die zentralen Ausbildungsschwerpunkte des Masterprogramms Industrielle Biotechnologie in ihrer Gesamtheit ist jedoch nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.

Der Masterstudiengang **Industrial Chemistry** (ein Joint Degree der TUM und der National University of Singapore) 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.

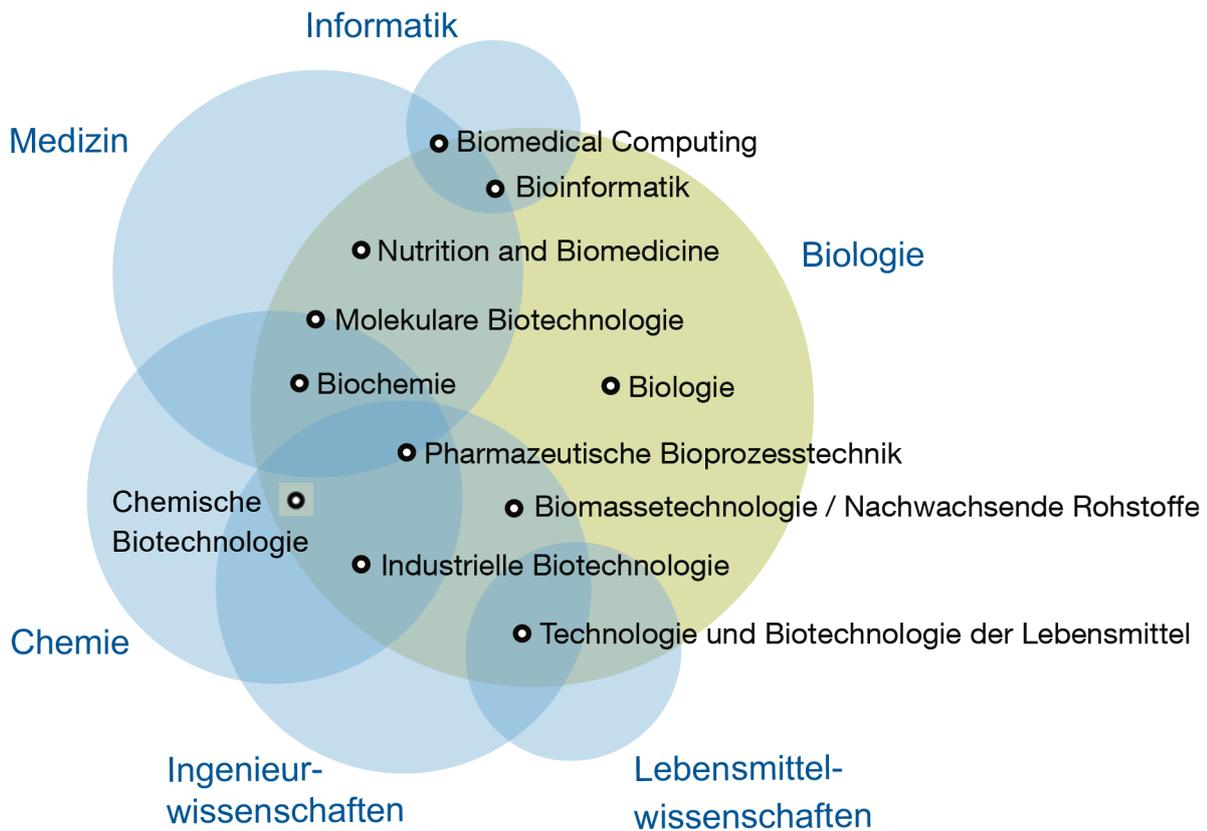


Abbildung 8: Interdisziplinäre Masterstudiengänge der TUM mit der Biologie als gemeinsame Schnittmenge

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 Wahlpflichtmodulen sowie mindestens 15 Credits in Wahlmodulen zu erbringen. Jedes Semester sollen 30 Credits erlangt werden.

Der Grundaufbau des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie wird durch die folgende Abbildung 9 verdeutlicht.

		Semester		
Master of Science (120 Credits)	4	Master Thesis (30 Credits)		
	1 – 3	Wahlpflichtmodule (mind. 30 Credits)	Pflichtmodule (45 Credits)	Wahlmodule Überfachliche Ergänzung (mind. 15 Credits)
		· Biowissenschaftliche Grundlagen · Prozesstechnische Grundlagen · Biotechnologische Grundlagen	Ausbildungsschwerpunkte: · Enzyme Engineering · Metabolic Engineering · Bioprocess Engineering · Bioseparation Engineering	· Allgemeinbildende Module (mind. 5 Credits) · Frei wählbare Fachmodule (mind. 10 Credits)

Individuelle Betreuung durch Mentor oder Mentorin

Abbildung 9: Aufbau des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie

Die Unterrichts- und Prüfungssprachen sind Deutsch und in einzelnen Modulen auch Englisch. Der Studiengang ist jedoch vollständig auf Deutsch studierbar.

Die Inhalte des Studiums sind in folgende Blöcke gegliedert:

- Grundlagenbereich, in dem biowissenschaftliche Grundlagen für Ingenieurinnen und Ingenieure, biotechnologische Grundlagen für Prozesstechnikerinnen und Prozesstechniker und prozesstechnische Grundlagen für Biowissenschaftlerinnen und Biowissenschaftler vermittelt werden (Wahlmodule von mindestens 30 Credits),
- vier verpflichtende Ausbildungsschwerpunkte (Pflichtmodule von 45 Credits),
- der Wahlmodulbereich „Überfachliche Ergänzung“ (mindestens 15 Credits) und
- die Master's Thesis (30 Credits).

6.1 Grundlagenbereich

Da für diesen interdisziplinären Studiengang ein Zugang sowohl von geeigneten Bachelorabsolventinnen und Bachelorabsolventen biowissenschaftlicher Studiengänge als auch von ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen möglich ist, werden überwiegend im ersten Fachsemester wesentliche biowissenschaftliche Grundlagen für Ingenieurinnen und Ingenieure, biotechnologische Grundlagen für Bioprozesstechnikerinnen und Bioprozesstechniker oder ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der Prozesstechnik für Biowissenschaftlerinnen und Biowissenschaftler vermittelt. Hierzu stellen Mentorinnen und Mentoren in Absprache mit den jeweiligen Studierenden einen individuellen Semesterstudienplan (abhängig vom fachspezifischen Bachelorprofil der Studierenden) aus entsprechenden Wahlmodullisten zusammen. Bei den Wahlmodullisten für die biowissenschaftlichen Grundlagen für Ingenieurinnen und Ingenieure (Wahlmodulliste 1), für die prozesstechnischen Grundlagen für Biowissenschaftlerinnen und Biowissenschaftler (Wahlmodulliste 2) oder für die biotechnologischen Grundlagen für Bioprozesstechnikerinnen und Bioprozesstechniker (Wahlmodulliste 1 und 2) handelt es sich aufgrund des geforderten Grundlagencharakters zum großen Teil um Module, die an der TUM bereits in anderen Bachelorstudiengängen angeboten werden. Dabei stellt die Mentorin oder der Mentor sicher, dass Studierende im Masterstudium Industrielle Biotechnologie nur Module belegen, die einen wesentlichen Unterschied zu den Modulen ihres ehemaligen Bachelorstudiengangs aufweisen und es gleichzeitig ermöglichen, fehlende für das erfolgreiche Bestehen des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie erforderliche Kompetenzen zu erwerben.

Der Grundlagenbereich umfasst die folgenden biowissenschaftlichen Grundlagen für überwiegend ingenieurwissenschaftlich geprägte Bachelorabsolventinnen und Bachelorabsolventen (Wahlmodulliste 1):

Nr.	Modultitel	Credits	Sprache*
1	Biochemie	5	DE
2	Biochemisches Praktikum	5	DE
3	Biochemie	6	DE
4	Proteine: Struktur, Funktion und Engineering	3	DE
5	Proteine, Protein-Engineering und Immunologische Grundlagen	6	DE
6	Grundlagen Genetik und Zellbiologie	6	DE
7	Grundlagen Mikrobiologie mit Übungen	8	DE

8	Enzymtechnologie	5	DE
9	Bioinformatik für Biowissenschaften 1	5	DE/EN
10	Molekulare Bakteriengenetik	3	DE
11	Molekulare Bakteriengenetik und Metabolic Engineering	6	DE
12	Zelluläre Biochemie 1	5	DE/EN
13	Praktikum Enzymoptimierung	4	DE/EN
14	Technische Biokatalyse	5	DE/EN
15	Einführung in die Genetik	5	DE
16	Grundlagen rechnergestützter Methoden in der Biotechnologie	4	DE/EN

*DE: Deutsch; EN: Englisch

Die prozesstechnischen und ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen für überwiegend biowissenschaftlich geprägte Bachelorabsolventinnen und Bachelorabsolventen sind in der Wahlmodulliste 2 zusammengestellt:

Nr.	Modultitel	Credits	Sprache
16	Grundlagen rechnergestützter Methoden in der Biotechnologie	4	DE/EN
17	Datenanalyse und Versuchsplanung	5	DE/EN
18	Optimierung und Modellanalyse	5	DE/EN
19	Angewandte Ingenieursmathematik	8	DE/EN
20	Grundlagen der Technischen Chemie	5	DE
21	Thermische Verfahrenstechnik 1	5	DE
22	Mechanische Verfahrenstechnik	5	DE

23	Einführung in die Prozess- und Anlagentechnik	5	DE
24	Reaktionstechnik und Kinetik	5	DE
25	Thermische Verfahrenstechnik 2	5	DE
26	Bioverfahrenstechnik	5	DE
27	Umweltbioverfahrenstechnik	5	DE/EN

(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 StoffwechsellLeistungen 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 ‚Molekulare Bakteriengenetik‘ vermittelt grundlegendes theoretisches Verständnis und Fachwissen zur molekularen Genetik und Regulationsphysiologie von Bakterien.
- (11) 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.
- (12) Im Modul ‚Zelluläre Biochemie 1‘ werden Kenntnisse über molekulare, biochemische Prozesse in Pro- und Eukaryonten sowie den detaillierten Zellaufbau von Pro- und Eukaryonten vermittelt.
- (13) Im Modul ‚Praktikum Enzymoptimierung‘ werden Methoden und Verfahren zur Suche und Identifikation neuer Enzymaktivitäten, als auch zur Enzymentwicklung vermittelt.
- (14) 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.
- (15) Das Modul ‚Einführung in die Genetik‘ vermittelt ein grundlegendes Verständnis genetischer Prinzipien sowie der molekularen Grundlagen der Vererbung. Des Weiteren werden praxisrelevante Einblicke in Forschung und Anwendung gewonnen. Die Studierenden können abstrakte genetische Logik anwenden und haben erste Fähigkeiten zur wissenschaftlichen Problemlösung erworben.
- (16) Das Modul ‚Grundlagen rechnergestützter Methoden in der Biotechnologie‘ behandelt die Anwendung numerischer Verfahren an Hand von Beispielen aus der Biotechnologie und Systembiologie.
- (17) 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).
- (18) 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.
- (19) Das Modul ‚Angewandte Ingenieurmathematik‘ 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.

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

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

(22) Im Modul ‚Mechanische Verfahrenstechnik I‘ 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.

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

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

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

(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 folgenden vier Ausbildungsschwerpunkten, die in ihrer Gesamtheit die 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 Bioprozesstechnik 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.

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

6.2.1 Ausbildungsschwerpunkt Enzyme Engineering:

Nr.	Modultitel	Credits	Sprache
1	Enzym Engineering	5	DE/EN
2	Konzeption biokatalytischer Systeme	5	DE

(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, computergestützte, 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.	Modultitel	Credits	Sprache
3	Modellierung zellulärer Systeme	5	DE
4	Angewandte Mikrobiologie	5	DE

(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 Stoffwechselformen 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 Stoffwechselleistungen von Mikroorganismen wiederholt, erweitert und vertieft. Schwerpunkte liegen im Bereich des Zentralstoffwechsels und die Abbaupfade für Zucker, Polysaccharide, Lignin, Proteine, Lipide, Nucleinsäuren, Xenobiotika. Anhand von ausgewählten Beispielen wird die Anwendung von Organismen bzw. ihrer Enzyme in der Biotechnologie behandelt.

6.2.3 Ausbildungsschwerpunkt Bioprocess Engineering

Nr.	Modultitel	Credits	Sprache
5	Industrielle Bioprozesse	5	DE
6	Bioreaktoren	5	DE

(5) Das Modul ‚Industrielle Bioprozesse‘ gibt einen Überblick über die technische Nutzung biologischer Stoffumwandlungen anhand konkreter Prozessbeispiele. Darüber hinaus werden die Methodik der Bioprocessentwicklung und die ökonomische und ökologische Analyse von biotechnologischen Produktionsprozessen (Ökoeffizienzanalyse) behandelt. Hierbei werden auch Aspekte zur Kommunikation neuartiger Technologien, die Reflexion von Entscheidungen im gesellschaftlichen Kontext und die Berücksichtigung von gesellschaftlicher Akzeptanz neuer Produktionsweisen vermittelt.

(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.	Modultitel	Credits	Sprache
7	Bioproduktaufarbeitung 1 (Adsorptive Verfahren)	5	DE/EN
8	Bioproduktaufarbeitung 2 (Membranverfahren)	5	DE/EN

(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.	Modultitel	Credits	Sprache
9	Praktikum Bioprozesstechnik	5	DE

(9) Im ‚Praktikum Bioprozesstechnik‘ soll anhand eines ausgewählten Prozessbeispiels ein vollständiger biotechnologischer Produktionsprozess ‚vom Gen bis zum Produkt‘ (Rohstoffvorbereitung, Vorkulturherstellung, Fermentation und Aufarbeitung) bis zum 1000 L Maßstab im Technikum für Industrielle Biotechnologie experimentell durchlaufen werden.

6.2.6 Überfachliche Ergänzung

In ähnlichem Umfang wie einer der vier verpflichteten Ausbildungsschwerpunkte sind Wahlmodule entsprechend der Interessen der einzelnen Studierenden völlig frei aus den Modulen der TUM oder anderer wissenschaftlicher Hochschulen zu wählen. Von den 15 Credits sind mindestens 5 Credits aus dem Bereich „Allgemeinbildende Module“ (Soft Skills und überfachliche Kompetenzen) und mindestens 10 Credits sind aus dem Bereich „Frei wählbare Fachmodule“ zu erbringen.

6.3 Begründung der Modulgröße

Die Zielgruppe des Studiengangs Industrielle Biotechnologie sind sowohl Ingenieurinnen und Ingenieure als auch Biowissenschaftlerinnen und Biowissenschaftler. Im Wahlpflichtbereich sollen komplementäre Grundlagen vermittelt werden, um die Studierenden auf denselben Wissensstand

zu bringen. Biowissenschaftlerinnen und Biowissenschaftler benötigen die ingenieurwissenschaftlichen, Ingenieurinnen und Ingenieure 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; Enzymtechnologie; Grundlagen rechnergestützter Methoden in der Biotechnologie; Molekulare Bakteriengenetik und Praktikum Enzymoptimierung) 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. 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 einer Hochschullehrerin oder eines Hochschullehrers einer am Studiengang beteiligten School 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.

6.5. Mobilität der Studierenden

Zur Unterstützung der Mobilität der Studierenden steht der Wahlbereich des Masterstudiengangs zur Verfügung. Im Umfang von 15 Credits können beispielsweise im dritten Fachsemester Module eingebracht werden, die an anderen, auch ausländischen wissenschaftlichen Hochschulen erworben worden sind. Weitere im Ausland erbrachten Module werden anerkannt, wenn sie keine wesentlichen Unterschiede zu den Modulen aufweisen, die im Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie an der TUM erbracht werden können.

Den Studierenden stehen dafür die zahlreichen Angebote des TUM Global and Alumni Office zur Verfügung (z. B. Erasmus, TUMexchange), welche durch Hochschulpartnerschaften unterstützt werden. Auch selbst initiierte Auslandsaufenthalte sind möglich (Freemover). Über das europäische Austauschprogramm Erasmus können die Studierenden Partnerhochschulen in Frankreich, Italien, Spanien, Kroatien, Luxemburg und Dänemark besuchen. Darüber hinaus bietet TUMexchange zahlreiche Möglichkeiten für Auslandsaufenthalte an Partnerhochschulen außerhalb der EU. Erweitert wird das Spektrum durch das neue Angebot an EuroTeQ-Modulen. Im Rahmen dieser

virtuellen Mobilität können die Studierenden ausgewählte Module von europäischen Partnerhochschulen absolvieren.

Auch die Master's Thesis kann in Kooperation mit ausländischen wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen oder Universitäten erstellt werden, wobei die Themenstellerin oder der Themensteller eine prüfungsberechtigte Person an einer am Studiengang beteiligten School der TUM sein muss. Somit ist ein Mobilitätsfenster von einem Semester zur Erbringung von mindestens 30 Credits an einer ausländischen Universität gegeben.

6.6. Studierbarkeit

Der systematische Aufbau des Masterstudiengangs Industrielle Biotechnologie ermöglicht das überlappungsfreie Angebot von Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen und erlaubt den Studierenden einen Studienabschluss in Regelstudienzeit. Da die Module manchmal für unterschiedliche Zielgruppen (Ingenieurinnen / Ingenieure oder Biowissenschaftlerinnen / Biowissenschaftler) 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 bzw. Ingenieure und Biowissenschaftlerinnen bzw. Biowissenschaftler für den Start im Wintersemester und im Sommersemester abgebildet.

Legende zu den Abbildungen 10 bis 13
Pflicht (P)
Wahlpflichtmodule (WP)
Wahlmodule (W)
Abschlussarbeit

Sem.	Module						Creditsumme/ Prüfungs- anzahl
1.	Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5 CP	Bioinformatik für Biowissenschaften I WZ2634 (WP) Klausur 5 CP	Grundlagen Mikrobiologie mit Übungen WZ0132 (WP) Klausur, Laborleistung (SL) 8 CP	Proteine: Struktur, Funktion und Engineering WZ2016 (WP) Klausur 3 CP	Einführung in die Genetik WZ2002 (WP) Klausur 5 CP	Enzymtechnologie CH2104 (WP) Klausur 5 CP	31 / 6
2.	Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5 CP	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5 CP	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5 CP	Enzyme Engineering CS0076 (P) Klausur, Bericht 5 CP	Praktikum Enzym-optimierung WZ8105 (WP) Laborleistung 4 CP	29 / 7
3.	Praktikum Bioprozessechnik MW1388 (P) Übungsleistung 5 CP	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5 CP	Wissenschaftliches Schreiben - Theorie und Praxis BGU40064 (W) Wiss. Ausarbeitung 5 CP	Regenerative Energien, neue Energie-technologien WZ5127 (W) Klausur 5 CP	Chromatographie mit ChromX Simulations-seminar MW2410 (W) Bericht 5 CP	30 / 6
4.	Master's Thesis SE0002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30 CP						30/1
							120/20

Abbildung 10: Studienplan ingenieurwissenschaftlicher Bachelorabschluss (Start Wintersemester)

Sem.	Module						Creditsumme/ Prüfungs- anzahl
1.	Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5 CP	Grundlagen Genetik und Zellbiologie WZ0128 (WP) Klausur 6 CP	Praktikum Enzym-optimierung WZ8105 (WP) Laborleistung 4 CP	Biochemisches Praktikum CH4121 (WP) Laborleistung 5 CP	Zelluläre Biochemie 1 CH0663 (WP) Klausur 5 CP	30 / 6
2.	Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5 CP	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5 CP	Praktikum Bioprozessechnik MW1388 (P) Übungsleistung 5 CP	Biochemie CH4117 (WP) Klausur 5 CP	Enzymtechnologie CH2104 (WP) Klausur 5 CP	30 / 6
3.	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5 CP	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5 CP	Enzyme Engineering CS0076 (P) Klausur, Bericht 5 CP	Wissenschaftliches Schreiben - Theorie und Praxis BGU40064 (W) Wiss. Ausarbeitung 5 CP	Werkstoffkunde WZ5005 (W) Klausur 5 CP	Auslegung thermischer Apparate MW1147 (W) Klausur 5 CP	30 / 7
4.	Master's Thesis Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30 CP						30/1
							120/20

Abbildung 11: Studienplan ingenieurwissenschaftlicher Bachelorabschluss (Start Sommersemester)

Sem.	Module						Creditsumme/ Prüfungs- anzahl
1.	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5 CP	Praktikum Bioproszesstechnik MW1388 (P) Übungsleistung 5 CP	Bioverfahrenstechnik MW1903 (WP) Klausur 5 CP	Grundlagen der Technischen Chemie CH4110 (WP) Klausur 5 CP	Mechanische Verfahrenstechnik CH0604 (WP) Klausur 5 CP	Thermische Verfahrenstechnik 1 MW1930 (WP) Klausur 5 CP	30 / 6
2.	Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5 CP	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5 CP	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5 CP	Enzyme Engineering CS0076 (P) Klausur, Bericht 5 CP	Einführung in die Prozess- und Anlagen- technik MW2102 (WP) Klausur 5 CP	30 / 7
3.	Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5 CP	Thermische Verfahrenstechnik 2 MW0129 (WP) Klausur 5 CP	Regenerative Energien, neue Energie- technologien WZ5127 (W) Klausur 5 CP	Grundlagen der Physikalischen Chemie CH4104 (W) Klausur 5 CP	Wissenschaftliches Schreiben - Theorie und Praxis BGU40064 (W) Wiss. Ausarbeitung 5 CP	30 / 6
4.	Master's Thesis SE0002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30 CP						30/1
							120/20

Abbildung 12: Studienplan biowissenschaftlicher Bachelorabschluss (Start Wintersemester)

Sem.	Module						Creditsumme/ Prüfungs- anzahl
1.	Modellierung zellulärer Systeme MW1141 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 1 MW1145 (P) Klausur 5 CP	Umweltbio- verfahrenstechnik MW2258 (WP) Klausur 5 CP	Reaktionstechnik und Kinetik CH4114 (WP) Klausur 5 CP	Einführung in die Prozess- und Anlagen- technik MW2102 (WP) Klausur 5 CP	Datenanalyse und Versuchsplanung MW2248 (WP) Klausur 5 CP	30 / 6
2.	Konzeption biokatalytischer Systeme CH0160 (P) Klausur 5 CP	Bioproduktaufarbeitung 2 MW1146 (P) Klausur 5 CP	Bioreaktoren MW0019 (P) Klausur 5 CP	Praktikum Bioproszesstechnik MW1388 (P) Übungsleistung 5 CP	Grundlagen der Technischen Chemie CH4110 (WP) Klausur 5 CP	Optimierung und Modellanalyse MW2249 (WP) Klausur 5 CP	30 / 6
3.	Industrielle Bioprozesse MW1386 (P) Klausur 5 CP	Angewandte Mikrobiologie WZ2626 (P) Klausur 5 CP	Enzyme Engineering CS0076 (P) Klausur, Bericht 5 CP	Grundlagen der Physikalischen Chemie CH4104 (W) Klausur 5 CP	Auslegung thermischer Apparate MW1147 (W) Klausur 5 CP	Wissenschaftliches Schreiben - Theorie und Praxis BGU40064 (W) Wiss. Ausarbeitung 5 CP	30 / 7
4.	Master's Thesis SE0002 Abschlussarbeit Wissenschaftliche Ausarbeitung 30 CP						30/1
							120/20

Abbildung 13: Studienplan biowissenschaftlicher Bachelorabschluss (Start Sommersemester)

6.7 Studienorganisatorische Maßnahme

Seit dem Wintersemester 2019/20 gibt es für Studierende, die vor dem Masterstudium nicht an der TUM studiert haben, ein Buddy-Programm. Den angehenden Studierenden wird bereits nach der Zulassung auf Wunsch ein Studierender aus einem höheren Fachsemester des gleichen Studiengangs zur Seite gestellt. Der Kontakt wird durch das Studienbüro zur Verfügung gestellt. Diese Maßnahme unterstützt die neuen Studierenden in der Phase des Einstiegs und der Orientierung im Masterstudium. Das Angebot ist niedrigschwellig und themenoffen; individuell können sowohl studienorganisatorische Fragen, als auch Themen, die Aspekte am Rande des Studiums betreffen, besprochen werden (z.B. Tipps zur Wohnungssuche).

7 Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten

Organisatorisch ist der Studiengang an der TUM School of Engineering and Design verortet.

Darüber hinaus sind am Studiengang die TUM School of Natural Sciences (NAT), die TUM School of Life Sciences (LS) sowie der TUM Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit (CS) beteiligt.

Folgende Lehrstühle und Professuren sind an der Realisierung der Lehre des M. Sc. Industrielle Biotechnologie beteiligt:

TUM School of Engineering and Design (ED):

- Professur für Systembiotechnologie
- Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik
- Lehrstuhl für Bioseparation Engineering
- Lehrstuhl für Anlagen- und Prozesstechnik

TUM School of Natural Sciences (NAT):

- Lehrstuhl für Synthetische Biotechnologie
- Lehrstuhl für Biochemie
- Lehrstuhl für Technische Chemie I
- Ehemaliger Lehrstuhl für Technische Chemie II
- Lehrstuhl für Biotechnologie

TUM School of Life Sciences (LS):

- Lehrstuhl für Mikrobiologie
- Lehrstuhl für Biologische Chemie
- Professur für Entwicklungsbiologie der Pflanzen
- Professur für Bioinformatik
- Professur für Biotechnologie der Naturstoffe

TUM Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit (CS):

- Lehrstuhl für Chemie biogener Rohstoffe

Für administrative Aspekte der Studienorganisation sind teils die zentralen Arbeitsbereiche des TUM Center for Study and Teaching (TUM CST), teils Einrichtungen der School zuständig (s. folgende Übersicht):

Allgemeine Studienberatung: TUM CST
Studienberatung und -information (Information und Beratung für Studieninteressierte über Hotline/Service Desk)

E-Mail: studium@tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 22245

- Fachstudienberatung ED: Dr. Heike Pleisteiner
 E-Mail: mscibt@ed.tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 15027

- Studienbüro: TUM School of Engineering and Design, Study and Teaching
 E-Mail: mscibt@ed.tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 15027

- Beratung Auslandsaufenthalt/Internationalisierung:
 TUM Global & Alumni Office
 E-Mail: internationalcenter@tum.de
 ED: Dr. Markus Eblenkamp
 E-Mail: international.ie@ed.tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 15026

- Beauftragte die Gleichstellung von Frauen in der Wissenschaft:
 ED: Dr. Ann-Kathrin Goldbach
 E-Mail: kathrin.goldbach@tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 22423

- Diversity: ED: Michaela Wenzel
 E-Mail: diversity@ed.tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 25261

- Beratung barrierefreies Studium: TUM CST - Servicestelle für behinderte und chronisch kranke Studierende und Studieninteressierte
 E-Mail: Handicap@zv.tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 22737

- Bewerbung und Immatrikulation: TUM CST - Bewerbung und Immatrikulation (Bewerbung, Immatrikulation, Student Card, Beurlaubung, Rückmeldung, Exmatrikulation)
 E-Mail: studium@tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 22245

- Eignungsverfahren: TUM CST - Bewerbung und Immatrikulation
 E-Mail: studium@tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 22245

ED: Dr. Heike Pleisteiner
 E-Mail: mscibt@ed.tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 15027

- Beiträge und Stipendien: TUM CST - Beiträge und Stipendien
 (Semesterbeiträge, Stipendien)
 E-Mail: beitragsmanagement@zv.tum.de

- Zentrale Prüfungsangelegenheiten: TUM CST - Zentrale Prüfungsangelegenheiten
 (Abschlussdokumente, Prüfungsbescheide,
 Studienabschlussbescheinigungen), Campus
 Garching

- Dezentrale Prüfungsverwaltung: Dr. Heike Pleisteiner
 E-Mail: mscibt@ed.tum.de
 Tel.: +49 (0)89 289 15027

- Prüfungsausschuss: Prof. Dr.-Ing. Dirk Weuster-Botz (Vorsitzender)
 Dr. Heike Pleisteiner (Schriftführerin)

- Qualitätsmanagement Studium und Lehre:
 TUM CST - Studium und Lehre -
 Qualitätsmanagement
www.lehren.tum.de/startseite/team-hrsl/

ED:

Prodekan Studium und Lehre: Prof. Dipl.-Arch. Mark Michaeli
 E-Mailadresse: vd.study_teaching@ed.tum.de

Qualitätsmanagement Brit Krieger
 E-Mail: qualitymanagement@ed.tum.de

QM-Zirkel: Dr. Heike Pleisteiner
 E-Mail: mscibt@ed.tum.de

Evaluationen: E-Mail: evaluation@ed.tum.de

Modulmanagement: E-Mail: modulverwaltung@ed.tum.de

8 Entwicklungen im Studiengang

Änderungen im Curriculum des Studiengangs Industrielle Biotechnologie wurden in den Änderungen der Satzung im Jahr 2016, der Neufassung der Satzung 2019 und den Änderungen der Satzung 2024 beschlossen.

2016 erfolgten geringfügige Änderungen im Curriculum, da die anbietenden damaligen Fakultäten Module im Wahlpflichtbereich umgestaltet oder in ein anderes Semester verschoben hatten.

Die Änderungen im Curriculum in der Neufassung der Fachprüfungs- und Studienordnung (FPSO) im Jahr 2019 betrafen den Pflicht- und den Wahlpflichtbereich.

Die Umgestaltung eines Schwerpunktes des Pflichtbereichs (Enzyme Engineering) war einerseits motiviert durch die wiederholten Rückmeldungen und Anregungen der Studierenden in den Feedbackrunden, die jedes Semester durchgeführt werden. Andererseits wurde der Wunsch zur Umgestaltung dieses Bereiches auch von den betroffenen Dozentinnen und Dozenten unterstützt.

In den Wahlpflichtbereich wurden in erheblichem Umfang neue Module aufgenommen, da die Studierenden in den Feedbackrunden und Studiengangsbefragungen angaben, dass aufgrund der Verschiebungen der Module durch die anbietenden Fakultäten der Workload im Sommersemester zu hoch geworden war. Durch die größere Auswahl an Modulen können nun verstärkt auch Module im Wintersemester belegt sowie eine größere fachliche Breite an Modulen ausgewählt werden, um noch spezifischer als zuvor die individuell sehr unterschiedlichen Kompetenzen aus dem jeweiligen Bachelorstudiengang fachlich zielgerichtet ergänzen können.

Im Masterstudiengang Industrielle Biotechnologie werden jedes Semester Feedback-Runden mit den Studierenden durchgeführt. Hierbei werden auch regelmäßig Anregungen und Wünsche aufgenommen und daraufhin neuartige, oftmals methodisch sehr aufwändige und auf die Studierenden der Industriellen Biotechnologie zugeschnittene Wahlmodule aufgebaut und angeboten.

Ein Beispiel ist das seit 2021 angebotene Modul ‚Industrial Biotechnology‘ (MW 2456) zu dem jeweils Gastdozenten aus verschiedenen Industrieunternehmen eingeladen werden. Ziel ist die Vermittlung eines breit gefächerten Überblicks über aktuelle Forschungsaktivitäten und Entwicklungen in verschiedenen Branchen mit Bezug zur Industriellen Biotechnologie. Darüber hinaus sollen Einblicke in Berufsfelder und Karrierewege nach Abschluss des Studiums ermöglicht werden. Expertinnen und Experten, sowie Führungspersönlichkeiten aus unterschiedlichsten Unternehmen (KMU, internationale Konzerne) vermitteln die industrielle Sichtweise zu aktuellen Herausforderungen in der Industriellen Biotechnologie und stellen sich der Diskussion mit Studierenden. Die Vorstellung der Vortragenden und die Diskussionsleitung werden in diesem Modul jeweils von den Studierenden selbst nach einem Vorgespräch mit den Vortragenden übernommen. Die Prüfungsleistung wird in Form einer Übungsleistung über elektronische Tests (E-Tests) erbracht.

Ein weiteres Beispiel ist das ebenfalls seit 2021 neu angebotene digitale Projektmodul ‚Advances in Biotechnology‘ (MW2473). Ziel ist die Erarbeitung des Standes der Forschung zu einer aktuellen Fragestellung der Industriellen Biotechnologie jeweils in einem Team aus 3-5 Studierenden und die gemeinsame schriftliche Dokumentation der Ergebnisse. Hierzu werden im Rahmen einer zweitägigen Auftaktveranstaltung zu Beginn des Semesters zunächst die methodischen Grundlagen

durch verschiedene Dozentinnen und Dozenten vermittelt (Grundprinzipien wissenschaftlichen Arbeitens, Literaturrecherchen unter Nutzung elektronischer Datenbanken, elektronische Literaturverwaltung, wissenschaftliches Publizieren, Arbeiten in Teams - Konfliktmanagement, Kommunikation, emotionale Intelligenz, Empathie, sowie gemeinsames Erstellen von Dokumenten mit einem cloudbasierten Editor). In den nachfolgenden wöchentlichen Übungen werden unter Anleitung und Betreuung durch wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in ausschließlich digitaler Form unter Nutzung von Zoom, Fidus Writer und Moodle jeweils ein gemeinsam abgestimmter wissenschaftlicher Text inklusive Abbildungen und Tabellen zum Stand der Forschung zur selbst ausgewählten biotechnologischen Fragestellung in Englisch erarbeitet. Auf Basis der erarbeiteten Erkenntnisse zum Stand der Forschung sollen auch im Team Schlussfolgerungen abgeleitet werden, beispielsweise wie Wissenslücken durch zukünftige Forschungsaktivitäten geschlossen werden könnten. Die in digitalen Gruppenarbeiten erstellten wissenschaftlichen Texte zum Stand der Forschung sollen entweder in Form eines wissenschaftlichen Übersichtsartikels zur Publikation in einer wissenschaftlichen Zeitschrift oder in Form einer Aufgabenstellung für eine wissenschaftliche Arbeit (Projektplan: Stand der Forschung und Forschungsplanung) abgefasst werden. Das finale vom jeweiligen Studierendenteam vorgelegte in Englisch abgefasste Dokument wird benotet. Die Beiträge der einzelnen Teammitglieder sind für die Betreuerinnen und Betreuer über den Cloud basierten Editor jederzeit nachvollziehbar, so dass das Erreichen des jeweiligen Lernergebnisses individuell festgestellt werden kann.

Im Wahlmodul ‚Fortgeschrittene rechnergestützte Methoden in der Biotechnologie‘ (MW2424, seit 2019) wird in Gruppenarbeit ein mathematisches Modell eines biotechnologischen Produktionsreaktors erstellt, in der Software Matlab implementiert und dann durch Simulationsstudien analysiert. Mit dem Modul wird der ganzheitlichen Beschreibung und Analyse eines biotechnologischen Prozesses von der Bereitstellung der Substrate bis zur Produkternte in Form einer theoretischer/ simulativen Arbeit mit entsprechender Software Rechnung getragen. Dies ergänzt die experimentellen Arbeiten in den verschiedenen Laborpraktika in idealer Weise und zeigt den Studierenden eine gute Übereinstimmung zwischen praktischen und theoretischen Lehrinhalten.

Um den Start des Masterstudiums zu unterstützen und zu erleichtern, wurde ab dem Wintersemester 2019/20 ein Buddy-Programm für Studierende eingeführt, die vorher nicht an der TUM studiert haben.

Die Änderungen im Curriculum in der Neufassung der Fachprüfungs- und Studienordnung (FPSO) im Jahr 2024 betrafen im Wesentlichen die Verschiebung der Credits innerhalb des Wahlbereichs zugunsten der allgemeinbildenden Module sowie die Aufnahme der oben beispielhaft aufgeführten neuartigen und spezifisch auf die Studierenden der Industriellen Biotechnologie zugeschnittenen Wahlmodule.