Studiengangsdokumentation

Masterstudiengang *Biomedical Engineering & Medical Physics*

TUM School of Natural Sciences &
Munich Institute of Biomedical Engineering

Technische Universität München

Bezeichnung	Biomedical Engineering and Medical Physics (BEMP)
Organisatorische Zuordnung	TUM School of Natural Sciences (NAT) Munich Institute of Biomedical Engineering (MIBE)
Abschluss	Master of Science (M.Sc.)
Regelstudienzeit & Credits	Semesterzahl 4 Anzahl der ECTS-Credits: 120 Credit Points (CP)
Studienform	Vollzeit
Zulassung	Eignungsverfahren (EV)
Starttermin	SoSe 2020
Sprache	Englisch
Studiengangs-verantwortliche	Prof. Dr. Julia Herzen
Ggf. ergänzende Angaben für besondere Studiengänge	Kooperation mit dem TranslaTUM
Ansprechperson bei Rückfragen	Prof. Dr. Julia Herzen julia.herzen@tum.de Tel. 089 / 289 - 14532
Stand, vom	Oktober 2023

Inhaltsverzeichnis

1 Studiengangsziele 3
1.1 Zweck des Studiengangs 3
1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs 4
2 Qualifikationsprofil 5
3 Zielgruppen 7
3.1 Adressatenkreis 7
3.2 Vorkenntnisse der Studienbewerber 7
3.3 Zielzahlen 8
4 Bedarfsanalyse 10
5 Wettbewerbsanalyse 12
5.1 Externe Wettbewerbsanalyse 12
5.2 Interne Wettbewerbsanalyse 13
6 Aufbau des Studiengangs 15
7 Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten 19
8 Entwicklungen im Studiengang 21

1 Studiengangsziele

1.1 Zweck des Studiengangs

Bioengineering ist ein breit gefächertes Wissenschaftsgebiet, in welchem Prinzipien der Natur- und Ingenieurwissenschaften auf biologisches Gewebe oder ganze Organismen zu verschiedenen Zwecken angewendet werden. Es umfasst Themenfelder wie beispielsweise Biomedical Computing, Bioinformatik, Biomassetechnologie, industrielle Biotechnologie, Technologie und Biotechnologie der Lebensmittel, Bioelectrical Engineering, Biosystems Engineering, Biophysik, Biochemie, Molekulare Biotechnologie, Nutrition and Biomedicine, Radiation Biology und Biomedical Engineering.

Der Begriff des **Biomedical Engineering** versteht sich als Spezialisierung des weiter gefassten, allgemeinen Überbegriffs Bioengineering. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Anwendung von neuen forschungsgetriebenen natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien und Erkenntnissen in der Medizin und den Lebenswissenschaften, um so neue Methoden für eine bessere Prävention, Diagnostik oder Therapie zu entwickeln. Seit jeher spielen die Verbesserung und Entwicklung neuartiger Bildgebungsmodalitäten für die Mikroskopie und die medizinische Bildgebung eine große Rolle. Dieser Teilbereich, der sich auf die Entwicklung der bildgebenden Verfahren des Biomedical Engineerings stützt, wird auch unter dem Begriff **Medical Physics** zusammengefasst. Biomedical Engineering wird jedoch wesentlich weiter gefasst, so gehören beispielsweise die Entwicklung von Lab-On-Chip Technologie für die Biosensorik, die Anwendung von künstlicher Intelligenz für die Analyse von medizinischen Daten, die Verbesserung therapeutischer Methoden, die Entwicklung von Tracern, die Entwicklung von Methoden zur Unterstützung der Strahlentherapie, die Entwicklung neuer Biomaterialien, das Tissue-Engineering und Theranostik sowie verschiedenste biomedizinische Anwendungen von Biomechanik und Biophysik ebenfalls zum weiten Feld des Biomedical Engineering.

Biomedical Engineering, in seiner modernen und englisch ausgelegten Form, geht klar über die deutsche Begrifflichkeit „Medizintechnik“ hinaus, indem es aktuelle Forschung aus Naturwissenschaften (beispielsweise Physik, Chemie, Biologie), Ingenieurwissenschaften (beispielsweise Informatik, Elektrotechnik, Maschinenbau) und der Medizin kombiniert. Der vorwiegend im deutschsprachigen Raum genutzte Begriff der „Medizintechnik“ umfasst im Wesentlichen die Entwicklung medizinischer Geräte, die Materialwissenschaften für medizinische Anwendungen sowie die Entwicklung medizinischer Instrumente. Die klassische Medizintechnik wird daher als nahezu reine Ingenieursdisziplin betrachtet. **Biomedical Engineering and Medical Physics** vereint die Natur- mit den Ingenieurwissenschaften und der Medizin. Die dabei entstehenden Synergieeffekte werden beispielsweise genutzt, um neuartige Methoden für bereits vorhandene medizinische Bildgebungsverfahren wie beispielsweise Röntgen oder Kernresonanztomographie zu verbessern und weiterzuentwickeln, neue Bildgebungsmodalitäten wie beispielsweise MR-PET (Magnetresonanz-Positronenemissionstomographie) oder Magnetic Particle Imaging sowie neue Tracer zu etablieren oder neuartige Lab-On-Chip Technologien, wie beispielsweise nicht-invasive Glucosemessung oder Theranostika, zu entwickeln. Der Studiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics (BEMP)** ist, im Gegensatz zu den Studiengängen der klassischen Medizintechnik, stark naturwissenschaftlich ausgelegt. Der Studiengang wird mit dem Fokus auf den beiden Schwerpunkten *bildgebende Verfahren (Imaging)* und *Biosensorik* angeboten und steht, nach dem Mentorengespräch auch der individuellen Schwerpunktsetzung offen. Weiterhin ist geplant den Studiengang zukünftig auf weitere Themenbereiche wie beispielsweise Tracerentwicklung oder Drug Delivery Verfahren zu erweitern.

Biomedical Engineering and Medical Physics leistet einen wertvollen Beitrag zur gesellschaftlichen Weiterentwicklung der Bevölkerung. So ist zum einen der marktwirtschaftliche Umfang dieses

Fachgebiets sowohl national, als auch international ein großer Wachstumsmarkt, zum anderen werden Weiterentwicklungen und neue Forschungsergebnisse, gerade vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, immer wichtiger, um die Gesundheit der Menschen zu erhalten. So führten 2008 laut einem Bericht der Bundesärztekammer fehlerhafte Diagnosen mittels medizinischer Bildgebung mit zu den häufigsten Behandlungsfehlern in deutschen Arztpraxen und Krankenhäusern. Dies verdeutlicht die gesellschaftliche Relevanz, die die Verbesserung, Weiterentwicklung und Forschung im Bereich der Bildgebung bietet. Moderne Computerverfahren, künstliche Intelligenz oder Big-Data Analysen werden hierzu einen wichtigen Beitrag liefern. Auch die Forschung im Bereich der Biosensorik wird zukünftig einen großen Stellenwert innerhalb der Gesellschaft einnehmen. Beispielsweise steigen seit einiger Zeit die Zahl der Patienten, die an einer Stoffwechselerkrankung (beispielsweise Diabetes Mellitus) leiden und daher regelmäßig den Glucoseanteil ihres Blutes messen müssen. Hier können nicht-invasive Sensoren, Messmethoden und Algorithmen mithelfen, solche Messungen zu vereinfachen, zu automatisieren oder diese kontinuierlich durchzuführen. Daher kommt dem Studiengang eine Rolle im Sinne der präventiven Nachhaltigkeit in der Medizin zu.

Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler sowie Ingenieurinnen und Ingenieure mit dem Schwerpunkt in Biomedical Engineering und in Medical Physics nehmen bei diesen wichtigen Entwicklungen und Problemstellungen mehrere Schlüsselrollen ein.

Neben der Grundlagenarbeit an Universitäten und Forschungsinstituten werden sie als Wissensmultiplikatoren auf allen Ebenen der Anwendung (beispielsweise in Krankenhäusern, medizinischen Instituten oder Praxen) benötigt um die neuesten Entwicklungen auch an die entscheidende Stelle zu bringen. Dabei wird für diese Positionen neben einer vollumfänglichen fachlich-inhaltlichen Ausbildung benötigt um für die Patientinnen und Patienten bessere und individuellere Therapieformen zu erreichen.

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs

Der Studiengang BEMP hat besondere Relevanz für die Profilbildung der TUM in diesem interdisziplinären Forschungsfeld und bietet die Basis um entsprechend geschaffenen Strukturen (vor allem des Munich Insitute of Biomedical Engineering und des TranslaTUMs) mit studentischer Aktivität zu beleben und den interdisziplinären Forschungsschwerpunkt der Gesundheitsforschung gesellschaftlich relevant voranzubringen. Folglich bindet sich der Studiengang vor allem im interdisziplinären Forschungsschwerpunkt *Gesundheit & Ernährung* des Leitbilds der TUM ein.

Das Lehrangebot des Professional Profile Physik besteht zurzeit aus einem grundständigen Bachelorstudiengang Physik sowie den Masterstudiengängen Biophysik, Kern-, Teilchen- und Astrophysik, Kondensierte Materie und Applied and Engineering Physics sowie Quantum Science & Technology. Der Masterstudiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** ergänzt als interdisziplinärer Studiengang das Lehrportfolio des Professional Profile Physik. Wegen seiner multidisziplinären Struktur ist der Studiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** thematisch und inhaltlich mit mehreren TUM Schools verbunden.

Darüber hinaus zeigte das Ergebnis der Fakultätsevaluierung der damaligen Fakultät für Physik im Jahr 2017 eine ganz klare Empfehlung, den Bereich des **Biomedical Engineering and Medical Physics** auch im Bereich der Lehre an der TUM stärker auszubauen. Dieser in der Forschung bereits sehr stark ausgeprägte Bereich hat über die letzten Jahre nachweislich immer mehr Studierende fakultätsübergreifend in die, zu diesem Zeitpunkt bereits angebotenen, Spezialvorlesungen gelockt. Dies zeugt von einer sehr großen Nachfrage nach dieser Spezialisierung. Insbesondere war die Zahl der internationalen Studierenden in diesem Bereich sehr hoch.

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 Masterstudiengang **Biomedial Engineerings and Medical Physics** anhand der Anforderungen

(i) Wissen und Verstehen,
(ii) Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen,
(iii) Kommunikation und Kooperation und
(iv) Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität

definiert werden. In dem folgenden Kapitel sind die einzelnen Aspekte benannt. Die formalen Aspekte gemäß HQR (Zugangsvoraussetzungen, Dauer, Abschlussmöglichkeiten) sind in den Kapiteln 3 und 6 sowie in den entsprechenden Fachprüfungs- und Studienordnungen ausgeführt.

Nach Abschluss des Masterstudiums sind die Absolventinnen und Absolventen in der Lage, über die interdisziplinären Grenzen zwischen Natur- und Ingenieurwissenschaften und Medizin hinweg, erfolgreich Fragestellungen auf dem Gebiet des **Biomedial Engineerings and Medical Physics** zu beantworten und zu erklären (i). Sie sind in der Lage, Aufwand und Ablauf von Fragestellungen dieses Fachgebiets nach dem aktuellen Stand der Forschung zu bewerten (ii). Darüber hinaus sind sie befähigt, mögliche und notwendige Tätigkeiten, die das herkömmliche Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren erweitern können, zu verstehen und zweckorientiert einzusetzen, um gesellschaftlich relevante Resultate zu erzielen (ii+iv).

Sie sind in der Lage Besonderheiten, Grenzen, Terminologien und Lehrmeinungen in den Spezialgebieten der biomedizinischen Physik, der medizinischen Bildverarbeitung, der Biosensorik, der Informatik und dem maschinellen Lernen sowie gemäß den selbstgewählten Modulen zu definieren und zu interpretieren (i+iii). Absolventinnen und Absolventen mit dem Schwerpunkt *Imaging* sind in der Lage bildgebende Verfahren wie beispielsweise Kernspintomographie, Computertomographie, Ultraschall oder optoakustische Methoden zu verstehen und weiterzuentwickeln (i+ii). Absolventinnen und Absolventen mit dem Schwerpunkt *Biosensorik* sind in der Lage Zell-Chip Schnittstellen zu verstehen und weiterzuentwickeln (i+ii). Die Absolventinnen und Absolventen können diese Kenntnisse anwenden, an Fach- und Nichtfachleute weitergeben sowie schriftlich niederlegen (ii+iii). Zusätzlich zu dem bereits vorhandenen Spezialwissen besitzen die Absolventinnen und Absolventen ein vertieftes Verständnis für selbstständige Problemlösung und individuelle Projektplanung im Bereich des Bioengineerings und deren Anwendung in Industrie und Forschung (iv).

Die Absolventinnen und Absolventen haben die Fähigkeit, aktuelle Themen und Publikationen auf diesem Gebiet zu verstehen und gegebenenfalls auf experimentelle Weise nachzuvollziehen (ii). Sie besitzen zudem die Fähigkeit, vorhandenes Fachwissen systematisch zu erweitern, Prozesse in ihrer Gesamtheit zu erkennen und sie fundiert kritisch zu hinterfragen, ihre Risiken (beispielsweise in der Strahlentherapie) zu bewerten sowie dabei insbesondere Qualitätsanforderungen und ethnische Anforderungen zu berücksichtigen (ii+iv).

Außerdem sind die Absolventinnen und Absolventen in der Lage, ihre praktischen Fähigkeiten kontinuierlich weiterzuentwickeln und sind somit befähigt, eigene Projekte selbständig, professionell und gezielt voranzutreiben, aufkommende Probleme zu lösen und Projekte somit effizient umzusetzen (ii+iv).

Ebenso haben sie die Fähigkeit, ihre erlangten Kenntnisse in Präsentationen und auf Tagungen vorzustellen und in Publikationen der internationalen Fachwelt bekannt zu geben und zu reflektieren (iii). Von besonderem Vorteil ist hierbei die anwendungsbezogene Ausbildung.

Durch die schoolübergreifende Struktur des Studiums sind die Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs **Biomedical Engineerings and Medical Physics** in der Lage, solidarisch und tolerant miteinander umzugehen (iii).

Die Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs **Biomedical Engineerings and Medical Physics** können ihre Stärken und Schwächen sehr gut einschätzen und mit diesen konstruktiv umgehen (iii+iv). Sie arbeiten sehr zielstrebig und sind in der Lage, ausdauernd an Fragestellungen und Problemen zu arbeiten und diese dann zu lösen (ii). Sie können ihre Ziele und Wünsche konkret benennen und selbstsicher präsentieren (iii+iv). Sie haben damit die fachliche Kompetenz erworben, Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zu übernehmen. Sie besitzen darüber hinaus die für Fach- und Führungskräfte notwendigen sozialen Kompetenzen. Dies schließt sowohl die Fähigkeiten zur Präsentation und Diskussion, als auch die notwendigen Kompetenzen zur Vorbereitung und Moderation von Entscheidungsprozessen ein (iii).

Ein wichtiges Ziel des Studiengangs ist es, den Studierenden die Fähigkeiten und Grundlagen zu vermitteln, die es Ihnen erlauben über die interdisziplinären Grenzen zwischen Medizin, Natur- und Ingenieurwissenschaften hinweg, Forschungs- oder Industrieprojekte erfolgreich durchführen zu können. Neben dem notwendigen Hintergrundwissen und praktischen Knowhow erlangen die Absolventinnen und Absolventen die geeigneten Selbst- und Sozialkompetenzen, welche notwendig sind um im akademischen oder industriellen Umfeld des Biomedical Engineering erfolgreich zu sein.

3 Zielgruppen

3.1 Adressatenkreis

Der Masterstudiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** richtet sich an hervorragende Hochschulabsolventinnen und -absolventen in- oder ausländischer Hochschulen mit Bachelor of Science oder gleichwertigem Abschluss in den Studiengängen Physik, Elektro- und Informationstechnik, Informatik, Maschinenwesen, Chemie, Lebenswissenschaften (wie molekulare Biotechnologie, Biochemie, Biotechnologie, Biologie, Bioprozesstechnik) oder vergleichbaren Studiengängen, welche ein besonderes Interesse an den physikalischen Zusammenhängen, wie zum Beispiel der Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit biologischer Materie, haben.

3.2 Vorkenntnisse der Studienbewerber

Grundvoraussetzung für den Studiengang **Biomedial Engineering and Medical Physics** ist ein Bachelorabschluss (Bachelor of Science oder gleichwertiger Abschluss) mit mindestens 180 CP (beziehungsweise sechs Semester). Weitere Grundvoraussetzungen für den Studienerfolg und das Erreichen des angestrebten Studienabschlusses sind Fachkenntnisse in Physik, Mathematik, Chemie und Biologie. In diesen Fächern werden fundierte Grund- und Methodenkompetenzen erwartet und vor der Zulassung zum Eingangsverfahren abgeprüft. Gefordert sind Fähigkeiten zu wissenschaftlicher bzw. grundlagen- und methodenorientierter interdisziplinärer Arbeitsweise, eine ingenieur- oder naturwissenschaftliche Neigung, die Fähigkeit zum Denken mit Raumbezug sowie eine gute sprachliche Ausdrucksfähigkeit.

Die Bewerberinnen und Bewerber müssen ein Eignungsverfahren absolvieren, bei dem die fachliche Qualifikation, die Note, das Begründungsschreiben für den Masterstudiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** sowie sonstige Qualifikationen der Bewerberinnen und Bewerber berücksichtigt werden. Bewerberinnen und Bewerber mit ausreichender fachlicher Qualifikation haben Vorkenntnisse aus den mehreren Bereichen:

- Grundlagen der Experimentalphysik (Mechanik, Elektrodynamik, Optik, Thermodynamik, Kern- und Atomphysik)
- Fortgeschrittene Experimentalphysik (Einführung in Kern-, Teilchen- und Astrophysik, Einführung in die Physik der kondensierten Materie)
- Grundlagen der Theoretischen Physik (Mechanik, Elektrodynamik, Quantenmechanik, Thermodynamik und Statistik)
- Grundkurs Mathematik (Grundlagen der Lineare Algebra, Grundkurs Analysis)
- Grundkurs Chemie (Organische und anorganische Chemie, Biochemie) und Grundkurs Biologie (Allgemeine Biologie, Physiologie)
- Labor- oder Praxiserfahrungen

Die rechtlichen Informationen zum Eignungsverfahren sind in der Fachprüfungsordnung beschrieben. Aufgrund der starken Forschungsausrichtung wird der Studiengang in Englisch durchgeführt, um sich im internationalen Wettbewerb sowie im Labor- und Publikationsalltag bewähren zu können, daher werden Englischkenntnisse vorausgesetzt.

3.3 Zielzahlen

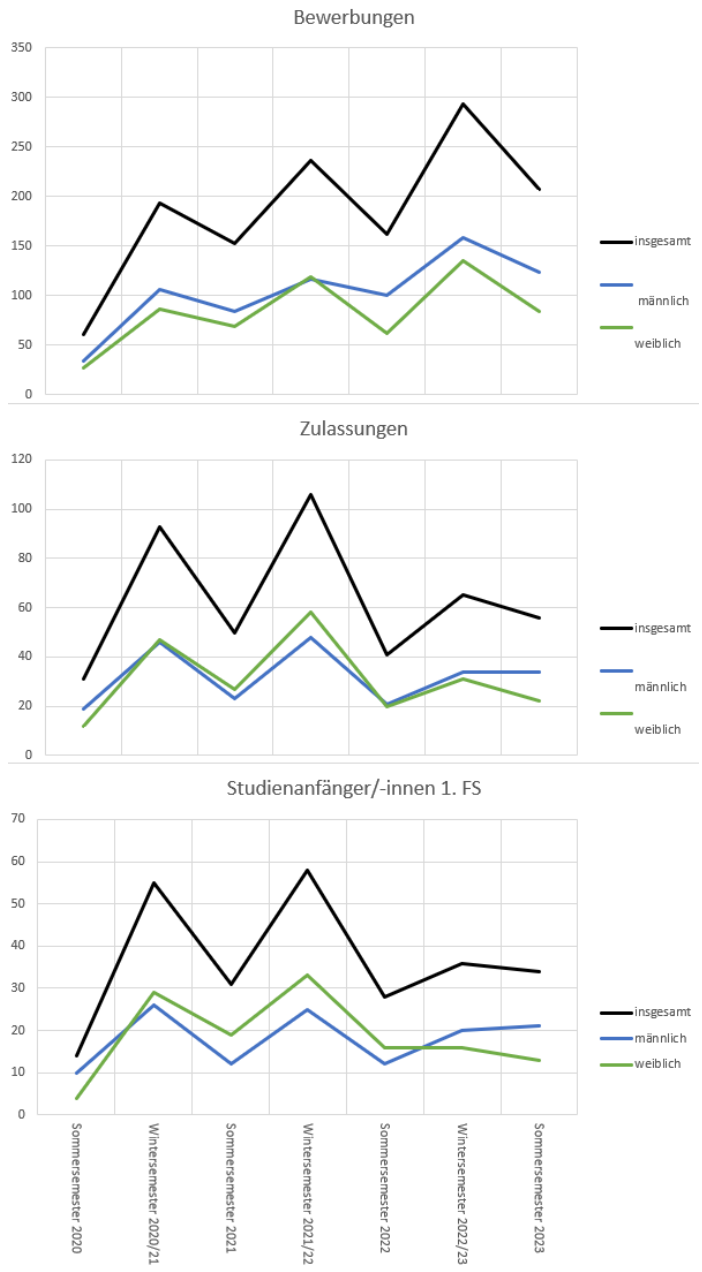

Abbildung 1: Bewerbungen, Zulassungen und Anzahl an Studienanfänger/-innen im 1. FS (Fälle) ab dem Sommersemester 2020 bis zum Sommersemester 2023.

Der Masterstudiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** startete im Sommersemester 2020 mit 14 Studierenden. Trotz der zuerst zu erwartenden Stagnation, der Start des Studiengangs fiel in die Anfangsjahre der Covid-19 Pandemie, pendelte sich die Anzahl an Immatrikulationen danach bei ca. 80-90 Immatrikulationen für die darauffolgenden akademischen Jahre (Wintersemester und Sommersemester zusammen) ein. Eine Abweichung ist im Akademischen Jahr 2022/23 zu sehen; im Wintersemester 2022/23 ist ein Einbruch bei der Anzahl zugelassener Bewerbungen und von Studienanfänger/-innen zu sehen, siehe Abbildung 1. Durch die Satzungsänderung 2022 wurde im Eignungsverfahren verstärkt auf Mathematik- und Physikkenntnisse wert gelegt. Insgesamt nahmen in dem akademischen Jahr 2022/23 jedoch 70 Studierende ihr 1. Fachsemester auf. Die Studierendenschaft ist sehr international aufgestellt, siehe Tabelle 1. Derzeit sind Studierende aus 42 verschiedenen Staaten immatrikuliert, somit ist der BEMP-Studiengang ein sehr internationaler Studiengang.

Die Anzahl an Studienanfängerinnen und Studienanfängern reicht aus, um einen signifikanten Beitrag zum Bedarf auf dem Arbeitsmarkt zu leisten und um eine exzellente Lehre garantieren zu können. Limitierende Faktoren, welche die Anzahl der Studienanfängerinnen begrenzen, sind die Personalressourcen, welche zur Betreuung von praktischen Arbeiten eingesetzt werden können, die Anzahl und Größe der zur Verfügung stehenden Hörsäle und Seminarräume sowie die vorhandenen Instrumente, Geräte und Rechnerarbeitsplätze für Module des Masterstudiengangs **Biomedical Engineering and Medical Physics**.

	Anzahl Studierende (Fälle)			
	insgesamt	männlich	weiblich	Bildungs-ausländer
Im gesamten Studiengang	220	109	111	170
Afrika	14	12	2	14
Amerika	18	10	8	18
Asien	67	26	41	67
Europa (EU)	88	47	41	39
Europa (Nicht-EU)	33	14	19	32

Tabelle 1: Anzahl an Studierenden des BEMP-Studiengangs, Stand Sommersemester 2023.

4 Bedarfsanalyse

Biomedical Engineering and Medical Physics ist ein bereits fest etabliertes, aber auch ein immer noch stark wachsendes Forschungsfeld, das auch gerade im süddeutschen Raum in der MedTech-Industrie stetig ansteigend nachgefragt wird. Allein in Deutschland sind insgesamt mehr als 215.000[1] Menschen in über 13.000 Firmen in der MedTech Branche beschäftigt und in den Jahren wurden mehr als 12.000 Stellen neu geschaffen. Die Branche sichert zudem Arbeitsplätze in anderen Bereichen, wie beispielsweise Zulieferern, und hatte 2020 einen Gesamtumsatz von 34 Milliarden Euro[1]. Als Indikator für den Bedarf kann die Medizintechnik herangezogen werden, weil sich das Berufsbild „Biomedical Engineer" im deutschsprachigen Raum noch nicht gefestigt hat und das Fachgebiet Biomedical Engineering bisher mit unter dem Schlagwort Medizintechnik firmiert.

„Die MedTech-Branche ist innovativ und hat sehr kurze Produktzyklen. Rund ein Drittel ihres Umsatzes erzielen die deutschen Medizintechnikhersteller mit Produkten, die nicht älter als 3 Jahre sind. Im Durchschnitt investieren die forschenden MedTech-Unternehmen rund 9 Prozent ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung. Deshalb ist für uns eine zusammenhängende, abgestimmte Innovationspolitik zwischen Forschungs-, Wirtschafts- und Gesundheitsressort von großer Bedeutung, um die Innovationskraft der MedTech-Branche zu erhalten." [1]

Neben den bereits etablierten Forschungs- und Innovationsbereichen der medizinischen und biologischen Bildgebung, Mikroskopie und Biophotonik stecken andere Bereiche, wie beispielsweise Lab-On-Chip Technologie für die Biosensorik, die Anwendung von künstlicher Intelligenz für die Analyse von medizinischer Big Data, die Entwicklung neuer Biomaterialien und das Tissue-Engineering gerade erst im Anfangsstadium einer rasanten zukünftigen Entwicklung.

Nachfrage der Absolventinnen und Absolventen auf dem Arbeitsmarkt

Der Bedarf an gut ausgebildeten Masterstudentinnen und -studenten im Bereich des Biomedical Engineerings ist - gerade im süddeutschen Raum mit einigen sehr großen Industrieunternehmen in diesem Bereich (beispielsweise Siemens Healthineers, Zeiss, FAU Engineering, ARRI Medical, Roche Diagnostics, Sanofi, Novartis oder Brainlab) - groß und steigt kontinuierlich.

„Die Beschäftigtenzahlen sind in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen. Trotz der Umsatzeinbrüche ist nach den Ergebnissen der BVMed-Herbstumfrage erkennbar, dass die Unternehmen ihr Personal halten wollen. Trotz der tiefgreifenden Krise sehen sich nur 18 Prozent der Unternehmen gezwungen, in diesem Jahr Personal abzubauen. 55 Prozent halten ihre Mitarbeiterzahl. 27 Prozent schaffen sogar zusätzliche Arbeitsplätze (2019: 48 Prozent)."[1].

Der Bedarf an Fachkräften im Bereich des Biomedical Engineering im süddeutschen Raum, aber auch auf internationaler Ebene zeigt sich konkret auch an den Positionen der Alumni des Lehrstuhls für Biomedizinische Physik (Professor Franz Pfeiffer) in den Jahren 2010-2018: Von insgesamt 22 Personen sind fünf in der Wissenschaft als Professoren oder PostDocs an internationalen Forschungseinrichtungen weiterhin im Bereich der Röntgenbildgebung tätig. Weitere 17 Personen haben eine Anstellung in der Industrie, überwiegend im süddeutschen Raum, gefunden. Die Positionen reichen von Consulting im Bereich der Bildgebung, über Produktmanager (beispielsweise. bei Brainlab) oder Entwickler (beispielsweise im Bereichen Optik bei Arri, oder non-destructive Testing bei BMW), bis zum Software Entwickler im Bereich der Bildverarbeitung (beispielsweise Definiens). Diese Beispiele zeigen den enormen Bedarf an exzellent ausgebildeten Kräften vor allem im Bereich Biomedical Engineering, aber auch in benachbarten Disziplinen, die ebenfalls vom Knowhow der Bewerberinnen und Bewerber profitieren.

---

[1] Branchenbericht Medizintechnologien 2020, Bundesverband Medizintechnologie BVMed, Berlin, 26.04.2021

Eine Suche nach offenen Stellen mit den Schlagworten Bioengineering oder Biomedical Engineering am 03.08.2018 ergab alleine für Deutschland 237 offene Stellen. Diese konzentrierten sich weitestgehend auf stark forschungsorientierte Themen im süddeutschen Raum und umfassten 115 verschiedene Firmen. Aufgrund der weiter wachsenden Bioengineeringbranche werden die zukünftigen Absolventinnen und Absolventen sehr gute Chancen auf dem Arbeitsmarkt haben. In diesen Stellenausschreibungen wurden fast ausschließlich Masterabsolventinnen und –absolventen, teilweise mit Promotion nachgefragt.

Nach erfolgreichem Abschluss des Masterstudiums **Biomedical Engineering and Medical Physics** ist es den Absolventinnen und Absolventen möglich, einen nahtlosen Übergang in die Promotion auf allen Forschungsgebieten des Bioengineerings zu realisieren. Im Bereich der Forschung ist der Masterabschluss für ein Promotionsvorhaben unerlässlich. Eine wissenschaftliche Laufbahn könnte ebenfalls für einige Absolventinnen und Absolventen ein aussichtsreicher Karriereweg sein.

Typische Einsatzfelder für die Absolventinnen und Absolventen dieses Masterstudienganges sind in der experimentellen Forschungstätigkeit, in der Planung und Dokumentation von Forschungsprojekten sowie in angrenzenden Tätigkeitsfeldern der Biotech- und Medizintechnikindustrie, beispielsweise im Patentwesen, der Entwicklung, der Projektplanung oder auch in Behörden.

Die Absolventinnen und Absolventen des Studiengangs werden dafür ausgebildet, in forschenden interdisziplinären Teams an Universitäten und in der MedTech Industrie tätig zu werden. Die Gründung oder Mitwirkung in Start-ups, die in der MedTech-Branche oft direkt aus Universitäten heraus gegründet werden, ist eine weitere Karrieremöglichkeit. Die strategische Verbindung zur UnternehmerTUM bietet hier eine besonders günstige Synergie-Konstellation. Weitere Möglichkeiten sind Karrieren in der beratenden Tätigkeit sowie im Patentwesen, wobei der Bedarf gerade im Patentwesen in jüngster Vergangenheit drastisch gestiegen ist.

5 Wettbewerbsanalyse

5.1 Externe Wettbewerbsanalyse

Die Aktualität und die bestehende Nachfrage für das Thema Bioengineering beziehungsweise Biomedical Engineering wird dadurch betont, dass beispielsweise internationale Spitzenuniversitäten wie das MIT ein Department of Biological Engineering unterhält, oder dass die ETH Zürich schon seit längerem ein Masterprogramm M.Sc. Biomedical Engineering anbietet. Auch die Universitäten Stanford (US, M.Sc. Bioengineering), Oxford (UK, Institute of Biomedical Engineering) und der UCL London (UK, MEng Biomedical Engineering) bieten Studiengänge mit Ausrichtung hin zu Biomedical Engineering an. Im deutschlandweiten Vergleich sind die TU Dresden (M.Sc. Molecular Bioengineering), die Universität Heidelberg (M.Sc. Biomedical Engineering) und die RWTH Aachen (M.Sc. Biomedical Engineering) bereits mit eigenen Masterstudiengängen im Fachgebiet Biomedical Engineering aufgestellt. Die Einführung eines derartigen Studiengangs - mit der bereits vorhandenen, aber inkohärent verteilten Kompetenz der TUM - ist daher überfällig und birgt darüber hinaus auch die Chance, noch eine Vorreiterrolle innerhalb Deutschlands mit einzunehmen und begabte Studierende aus dem nationalen und internationalen Bereich anzuwerben.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Studiengänge der anderen deutschen Universitäten strukturell mit dem Studiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** vergleichbar sind (vier Semester, 120 CP, englischsprachig, sechs Monate Masterarbeit am Ende). Der fachliche Fokus unterscheidet sich aber teilweise erheblich, gerade auch der Umfang im dem medizinische Grundlagen vorkommen. Mögliche fachliche Spezialisierungsmöglichkeiten variieren ebenfalls stark. Es bleibt im nationalen Vergleich allerdings festzustellen, dass die TUM entscheidende Standortvorteile gegenüber den nationalen Wettbewerbern, wie eine sehr enge Anbindung an das Klinikum Rechts der Isar oder bereits vorhandenen Kompetenzen auf allen relevanten Themenfeldern hat. Da das Klinikum Rechts der Isar eine TUM-eigene Klinik ist und die TUM damit über eine eigene medizinische Fakultät verfügt, ist die Verzahnung von Natur- und Ingenieurwissenschaften mit der Medizin in Forschung und Lehre sehr eng. Damit ist die TUM im nationalen Vergleich konkurrenzlos.

Der Studiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** an der TUM wird dazu beitragen, ein für Bewerberinnen und Bewerber attraktives und auf aktuelle Themen fokussiertes Studium anzubieten und damit die Vorreiterrolle im nationalen Vergleich einzunehmen.

Von den internationalen Studiengängen ist in erster Linie der der ETH Zürich vergleichbar strukturiert. Gerade in den USA ist eine Tendenz zur Verkürzung der Studiendauer zu beobachten und es gibt auch viele Universitäten, die das Studium komplett online anbieten[2]. Es wird damit geworben, möglichst schnell an den Mastertitel zu kommen, am extremsten ist hier die University of Maryland aufgefallen: ***„In just 10 courses, you'll earn a masters degree that combines the principles of biology, medicine, and engineering to pioneer innovative engineering solutions that improve human health around the world.[3]"*** Die Masterarbeit ist oft optional, je nachdem ob man sich später auf Forschung oder andere Bereiche fokussieren möchte.

[2] https://thebestschools.org/rankings/best-online-masters-biomedical-engineering, Abrufdatum 13.09.2018
[3] https://grad-bioengineering.umd.edu/, Abrufdatum 13.09.2018

5.2 Interne Wettbewerbsanalyse

An der Technischen Universität München finden sich keine vergleichbaren Masterstudiengänge. Bachelorabsolventen, die das Thema Biomedical Engineering and Medical Physics im Master verfolgen möchten, können an der TUM bislang auf kein derartig interdisziplinäres Programm zurückgreifen.

Der Studiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** vervollständigt das Angebot der TUM durch einen interdisziplinären, synergistischen Studiengang aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften, um die Bereiche der Bildgebung und der Biosensorik abzudecken. Die Ausrichtung des Studiengangs liegt thematisch an der Schnittstelle zwischen Forschung aus Naturwissenschaften (beispielsweise Physik, Chemie, Biologie), Ingenieurwissenschaften (beispielsweise Informatik, Elektrotechnik, Maschinenbau) und Medizin und soll zukünftig auch weitere Themenbereiche des Biomedical Engineerings umfassen. Das Alleinstellungsmerkmal des Studiengangs **Biomedical Engineering and Medical Physics** ist die interdisziplinäre Schnittmenge von Informatik, Biologie, Physik, Chemie, Lebens- und Ingenieurwissenschaften.

Ähnliche Studiengänge an der TUM sind:

- Neuroengineering, TUM School of Computation, Information and Technology,
- Biomedical Neuroscience, Fakultät für Medizin,
- Radiation Biology, Fakultät für Medizin,
- Biophysik, TUM School of Natural Sciences, Professional Profile Physik,
- Medizintechnik und Assistenzsysteme, TUM School of Engineering and Design,

Die Studiengänge Neuroengineering und Biomedical Neuroscience sind auf die Neurowissenschaften fokussiert. Sie vermitteln einerseits die Anwendung neuronaler Informationen im Bereich der künstlichen Intelligenz und Robotik und andererseits die Grundlagen neuropsychiatrischer Erkrankungen und Wissen über die Funktionsweise des menschlichen Gehirns. Der Studiengang Radiation Biology ist ebenfalls ein interdisziplinärer Studiengang, allerdings mit dem Fokus auf Strahlenbiologie, -therapie und den daraus resultierenden Auswirkungen auf beispielsweise Tumorwachstum oder Zellbiologie. Der Studiengang ist damit sehr stark auf die biologischen Grundlagen und weniger auf die Methodenentwicklung fokussiert.
Der Studiengang Biophysik ist im Gegensatz zu dem Studiengang **Biomedical Engineering and Medical Physics** kein interdisziplinärer Studiengang und damit auf die Grundlagen der Biophysik, im Wesentlichen auf die molekulare, zelluläre oder theoretische Biophysik fokussiert. Im Studiengang Medizintechnik und Assistenzsysteme erfolgt nach individueller Studienplanung die Spezialisierung in den Gebieten Werkstoffe & Implantate, Mechatronik & Gerätetechnik, regulatorische Anforderungen & Studiendesign sowie muskuloskelettale Assistenzsysteme und stellt somit einen stark ingenieurtechnischen Studiengang dar.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass es an der TUM keinen vergleichbaren Masterstudiengang gibt und somit keine Wettbewerbssituation mit anderen Masterstudiengängen der TUM besteht. Lediglich über den Umweg des Masterstudiengangs Biophysik können bisher einzelne Aspekte zum Thema **Biomedical Engineering and Medical Physics** in Wahlmodulen belegt werden. In der Konsequenz bleiben den Studierenden entweder im medizinischen, biologischen oder ingenieurwissenschaftlichen Bereich Wissens- und Knowhow-Lücken, die sie meist in den ersten Jahren der Doktorarbeit aufholen müssen. Biophysikerinnen und -physiker haben beispielsweise üblicherweise Nachholbedarf hinsichtlich der medizinischen Grundlagen, biologischer Prozesse und in der organischen Chemie, wohingegen Ingenieurinnen und Ingenieure Nachholbedarf in den experimentellen Ansätzen und anspruchsvoller Datenanalyse haben. Mit einem speziell zugeschnittenen Studien-

gang in **Biomedical Engineering and Medical Physics** können die verschiedenen Forschungsrichtungen dieses multidisziplinären Feldes bereits im Studium beleuchtet werden und die Studierenden werden besser auf ihre Tätigkeit in Forschung und Industrie vorbereitet.

6 Aufbau des Studiengangs

Der Studiengang **Biomedial Engineering and Medical Physics** ist auf vier Semester mit 120 CP angelegt. Der Studienplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Studienbeginn ist nach §5 APSO in der Regel das Wintersemester.

	Semester	Module				Credits/ Anzahl Prüfungen
Studienphase	1.	Pflichtmodule (zwei von vier) (Pflicht) schriftlich 10 CP	Wahlmodule der Fokussierungsrichtungen (Wahl) diverse insgesammt 20 CP			30/6
Studienphase	2. Mobilitäts-fenster	Pflichtmodule (zwei von vier) (Pflicht) schriftlich 10 CP	Wahlmodule der Fokussierungsrichtungen (Wahl) diverse insgesammt 10 CP	Advanced Lab Course (Wahl) Laborleistung 6 CP	Allgemeinbildende Fächer (Wahl) diverse 4 CP	30/6
Forschungsphase	3.	Master's Seminar (Pflicht) Präsentation 15 CP	Master's Work Experience (Pflicht) Bericht 15 CP			30/2
Forschungsphase	4.	Master's Thesis 30 CP				30/2
	Legende:	hellgrau = Pflichtmodule der Semester 1 und 2 hellblau = Wahlmodulkatalog der Fokussierungsrichtungen dunkelgrau = Wahlmodulkatalog Advanced Lab Course schwarz = Allgemeinbildende Fächer dunkelblau = Forschungsjahr (Masterseminar, Masterpraktikum und Master's Thesis)				

Abbildung 2: Studienplan mit dem grundlegenden Aufbau des Studiengangs

In den ersten beiden Semestern müssen neben den vier Pflichtmodulen *Biomedical Physics 1* und *Biomedical Physics 2,* sowie *Introduction to Bioengineering* und *Biostatistics* (insgesamt 20 CP) noch insgesamt 30 CP aus dem Wahlmodulkatalog der Fokussierungsrichtungen, ein Advanced Lab Course-Modul (sechs CP) und vier CP aus dem überfachlichen Wahlkatalog erbracht werden. Die ersten beiden Semester legen die Grundlagen für die darauf aufbauende einjährige Forschungsphase, die in einem Fachgebiet bzw. an einer Professur durchgeführt wird.

Mit Hilfe der Pflichtmodule erhalten die Studierenden, welche auf Grund der unterschiedlichen Fachrichtungen im Bachelor ein unterschiedliches Vorwissen einbringen, eine Einführung in die Themenbereiche des Studiengangs (*Biomedical Physics 1*, *Biostatistics* und *Introduction to Bioengineering*) sowie erste vertiefende Kenntnisse in diesem Fachgebiet (*Biomedical Physics 2*). Die Wahlmodule der Fokussierungsrichtungen beinhalten die beiden thematischen Säulen *bildgebende Verfahren (Imaging)* und *Biosensorik* des Studiengangs und vermitteln die vertiefenden Inhalte für einen Master of Sience im Bereich des **Biomedical Engineerings and Medical Physics**. Zudem werden Physiologie Kenntnisse und Ethische Aspekte des Bioengineerings vermittelt (*Introduction to Bioengineering*). Bei der Auswahl des Schwerpunkts *Imaging* sind die Studierenden in der Lage bildgebende Verfahren zu verstehen, zu analysieren und weiterzuentwickeln, sowie neue Methoden zu erschließen. Bei Belegung des Schwerpunkts *Biosensorik* sind die Studierenden in der Lage Zell-Chip Schnittstellen zu verstehen, zu analysieren, Messmethoden weiterzuentwickeln, sowie die erfassten Daten zu interpretieren. Die Wahlmodule lassen eine Individualisierung des Studienplans zu, wobei

ein breites Spektrum an Methoden und Anwendungsfeldern für die Studentinnen und Studenten zugänglich gemacht wird. Der Wahlmodulkatalog ist in der FPSO offen formuliert und wird durch den Prüfungsausschuss ergänzt. Die Module der Fokussierungsrichtungen sind in drei Kategorien eingeordnet. Von diesen Kategorien müssen Module vom Umfang von mindestens 10 Credits der Kategorie *Advanced Fundamentals*, mindestens 10 Credits der Kategorie *Methods* und mindestens 5 Credits der Kategorie *Computing* belegt werden. Somit wird sichergestellt, dass das Qualifikationsprofils des Studiengangs erreicht wird.

Zur Orientierung im breiten Wahlangebot des Masterstudiums nehme die Studierenden am Mentorensystem teil. Hierbei werden sie von Beginn des Studiums an insbesondere bei der Ausrichtung und Zusammenstellung des individuellen Studienplanes unterstützt. In Absprache mit den Mentorinnen und Mentoren ist es möglich auch einen individuellen Studienschwerpunkt, abweichen von Imaging oder Biosensorik, zu setzen. Die Teilnahme am Mentorengespräch ist Voraussetzung zur Zulassung zur Master's Thesis. Die hohe Wahlmöglichkeit im Rahmen der Wahlmodule garantiert den Studierenden zum einen eine hohe Flexibilität bei der Studiengangsgestaltung und zum anderen fördert sie die Selbstständigkeit der Studierenden.

Der Wahlmodulkatalog *Advanced Lab Course*, welcher im zweiten Semester abzuleisten ist, wird in der Regel en-bloc am Ende der Vorlesungszeit durchgeführt. Ein Team von in der Regel drei Teilnehmerinnen und Teilnehmern bearbeitet dabei einen Versuch, welcher in jeweils einem Modul angeboten wird. Ein Versuch umfasst in der Regel die Versuchsvorbereitung, die Versuchsdurchführung, die schriftliche Ausarbeitung sowie eine Präsentation als abschließende Besprechung und Prüfung. In der Präsentation sind die Teilergebnisse im Kontext des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik darzustellen. Beispielsweise könnte in dem Modul eine Laborleistung zur Computertomographie verbunden mit individuellen Präsentationen zu aktuellen Methoden der Bildrekonstruktion, zur Detektortechnologie oder zur Strahlenbelastung von Patientinnen und Patienten absolviert werden. Die benotete Gesamtleistung besteht in der Regel aus einer Laborleistung.

Die Studentinnen und Studenten bringen aus dem weiten Bereich allgemeinbildender Fächer (Sprachenzentrum, Carl von Linde-Akademie, …) Wahlmodule im Umfang von vier CP ein. Hier erweitern die Studierenden individuell ihr Kompetenzportfolio zum Beispiel im Bereich der Kommunikation, Kooperation, Nachhaltigkeit oder Professionalität.

Im dritten und vierten Semester wird die individuelle Forschungsphase an einer Professur beziehungsweise in einem Fachgebiet wie zum Beispiel am Lehrstuhl für Zellbiophysik, Physik der Biomedizinischen Bildgebung, Angewandte Biophysik, Physik Synthetischer Biosysteme, Radiologie oder beispielsweise bei der Professur für Neuroelektronik oder Healthcare and Rehabilitation Robotics, und weitere erbracht. Im dritten Semester werden im Rahmen des Masterseminars (15 CP) die notwendigen theoretischen Grundlagen sowie der wissenschaftliche Hintergrund der Master's Thesis durch die Studentinnen und Studenten selbstständig erarbeitet, präsentiert und diskutiert. Zeitgleich erlernen die Studentinnen und Studenten im Masterpraktikum (15 CP) die für die Master's Thesis notwendigen technischen und experimentellen Methoden, wie auch die konzeptionelle Herangehensweise im Forschungsalltag. Die Module *Masterseminar* und *Masterpraktikum* dienen der optimalen Vorbereitung auf die Master's Thesis. Diese wird regulär, inklusive dem dazugehörigen Masterkolloquium, (30 CP) im vierten Semester durchgeführt.

Die angebotenen Module erstrecken sich im Normalfall jeweils auf ein Semester; damit werden große zeitliche Flexibilität und die Möglichkeit zur optimalen Individualisierung für die Studierenden sichergestellt. Exemplarisch sind zur Veranschaulichung eines typischen Studienverlaufs schematische Studienpläne für die Fokussierung auf den beispielhaften Schwerpunkt *Imaging* (Abbildung 3

und Abbildung 4) und einmal mit einer Fokussierung auf den beispielhaften Schwerpunkt *Biosensorik* (Abbildung 5 und Abbildung 6) erstellt worden. Die Studierenden haben durch die flexible Gestaltung ihres Studienplans darüber hinaus die Möglichkeit, in den ersten beiden Mastersemestern ein Auslandssemester zu absolvieren.

Das dritte und vierte Semester ist für jede Fokussierung gleich strukturiert und wird hier nicht explizit dargestellt.

	Module						Credits/ Anzahl Prüfungen
1.	Biomedical Physics 1 PH2001 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Introduction to Biomedical Engineering MEBB256 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Fundamental Algorithms IN2157 (Wahl) schriftlich 5 CP	Quantitative X-ray imaging - from pictures to material-specific numbers NAT3026 (Wahl) schriftlich 5 CP	Physics of Magnetic Resonance Imaging ME703 (Wahl) schriftlich 5 CP	Introduction to Biological Imaging ME562 (Wahl) schriftlich 5 CP	30/6
2.	Biomedical Physics 2 PH2002 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Biostatistics NAT3025 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Wissenschaftliches Publizieren auf Englisch für Physiker PH8116 (Wahl) schriftlich 4 CP	High-Resolution Micro-Computed Tomography Blockveranstaltung in der VL-freien Zeit PH1036 (Wahl) Laborleistung 6 CP	Photonics and Ultrafast Physics 1 PH2158 (Wahl) mündlich 5 CP	Image Processing in Physics PH2181 (Wahl) schriftlich 5 CP	30/6

hellgrau = Pflichtmodule der Semester 1 und 2
schwarz = Allgemeinbildende Fächer
dunkelgrau = Advanced (BEMP) Lab Course
orange = Kategorie Advanced Fundamentals
grün = Kategorie Methods
violett = Kategorie Computing

Abbildung 3: Beispielhafter Studienplan der Studienphase mit der Fokussierungsrichtung Bildgebende Verfahren (Imaging) bei Studienbeginn im Wintersemester

	Module						Credits/ Anzahl Prüfungen
1.	Biomedical Physics 1 PH2001 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Introduction to Biomedical Engineering MEBB256 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Image Processing in Physics PH2181 (Wahl) schriftlich 5 CP	Modern X-Ray Physics PH2182 (Wahl) schriftlich 5 CP	Quantitative X-ray imaging - from pictures to material-specific numbers NAT3026 (Wahl) schriftlich 5 CP	Physics of Magnetic Resonance Imaging ME703 (Wahl) schriftlich 5 CP	30/6
2.	Biomedical Physics 2 PH2002 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Biostatistics NAT3025 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Wissenschaftliches Publizieren auf Englisch für Physiker PH8116 (Wahl) schriftlich 4 CP	High-Resolution Micro-Computed Tomography Blockveranstaltung in der VL-freien Zeit PH1036 (Wahl) Laborleistung 6 CP	Fundamental Algorithms IN2157 (Wahl) schriftlich 5 CP	Photonics and Ultrafast Physics 1 PH2158 (Wahl) mündlich 5 CP	30/6

hellgrau = Pflichtmodule der Semester 1 und 2
schwarz = Allgemeinbildende Fächer
dunkelgrau = Advanced (BEMP) Lab Course
orange = Kategorie Advanced Fundamentals
grün = Kategorie Methods
violett = Kategorie Computing

Abbildung 4: Beispielhafter Studienplan der Studienphase mit der Fokussierungsrichtung Bildgebende Verfahren (Imaging) bei Studienbeginn im Sommersemester

Semester	Module						Credits/ Anzahl Prüfungen
1.	Biomedical Physics 1 PH2001 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Introduction to Biomedical Engineering MEBB256 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Techniques and Data Analysis in Biophysics 1 PH2251 (Wahl) mündlich 5 CP	Medical Technology 1 - An Organ System Based Approach MW0056 (Wahl) schriftlich 5 CP	Tissue Engineering and Regenerative Medicine: Fundamentals and Applications ED160004 (Wahl) schriftlich 5 CP	Physical Biology of the Cell 1 PH2013 (Wahl) schriftlich 5 CP	30/6
2.	Biomedical Physics 2 PH2002 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Biostatistics NAT3025 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Wissenschaftliches Publizieren auf Englisch für Physiker PH8116 (Wahl) schriftlich 4 CP	Blood Gas Analysis Laboratory Blockveranstaltung in der VL-freien Zeit EI78061 (Wahl) Laborleistung 6 CP	Medical Technology 2 - an Organ System Based Approach MW0017 (Wahl) schriftlich 5 CP	Physical Biology of the Cell 2 PH2014 (Wahl) mündlich 5 CP	30/6
Legende:	hellgrau = Pflichtmodule der Semester 1 und 2 schwarz = Allgemeinbildende Fächer dunkelgrau = Advanced (BEMP) Lab Course orange = Kategorie Advanced Fundamentals grün = Kategorie Methods violett = Kategorie Computing						

Abbildung 5: Beispielhafter Studienplan der Studienphase mit der Fokussierungsrichtung Biosensorik bei einem Studienbeginn im Wintersemester.

Semester	Module						Credits/ Anzahl Prüfungen
1.	Biomedical Physics 1 PH2001 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Introduction to Biomedical Engineering MEBB256 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Biostatistics NAT3025 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Advanced Microfluidics EI71082 (Wahl) schriftlich 5 CP	FPGA based detector signal processing PH2101 (Wahl) mündlich 5 CP	Medical Technology 2 - an Organ System Based Approach MW0017 (Wahl) schriftlich 5 CP	30/6
2.	Biomedical Physics 2 PH2002 (Pflicht) schriftlich 5 CP	Wissenschaftliches Publizieren auf Englisch für Physiker PH8116 (Wahl) schriftlich 4 CP	Blood Gas Analysis Laboratory Blockveranstaltung in der VL-freien Zeit EI78061 (Wahl) Laborleistung 6 CP	Design of Safe Medical Devices and Boards EI71045 (Wahl) schriftlich 5 CP	Physical Biology of the Cell 1 PH2013 (Wahl) schriftlich 5 CP	Techniques and Data Analysis in Biophysics 1 PH2251 (Wahl) mündlich 5 CP	30/6
Legende:	hellgrau = Pflichtmodule der Semester 1 und 2 schwarz = Allgemeinbildende Fächer dunkelgrau = Advanced (BEMP) Lab Course orange = Kategorie Advanced Fundamentals grün = Kategorie Methods violett = Kategorie Computing						

Abbildung 6: Beispielhafter Studienplan der Studienphase mit der Fokussierungsrichtung Biosensorik bei einem Studienbeginn im Sommersemester.

7 Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten

Der Masterstudiengang **Biomedial Engineering and Medical Physics** wird vom Professional Profile Physik der TUM School of Natural Sciences in Zusammenarbeit mit dem Munich Institute of Biomedical Engineering und in Kooperation mit dem TranslaTUM angeboten, wobei die TUM School of Natural Science für die Durchführung des Studiengangs verantwortlich ist. Zusätzlich sind über Lehrimport die nachfolgenden TUM Schools und Fakultäten in den Studiengang involviert:

- TUM School of Computation, Information and Technology (CIT),
- TUM School of Medicine and Health (MH),
- TUM School of Management (MGT),
- TUM School of Engineering and Design (ED),
- TUM School of Life Sciences Weihenstephan (LS).

In den Studiengang sind Lehrbeauftragte eingebunden, welche spezifische Kompetenzen und Kenntnisse aus den im Raum München angesiedelten Forschungsinstituten und Behörden vermitteln können.

Allgemeine Studienberatung *Allgemeine Informationen für Studieninteressierte und Studierende*	**TUM Center for Study and Teaching (CST)** https://www.tum.de/studium/hilfe-und-beratung
Fach-Studienberatung *Studienplanung, allgemeine Fragen, Studienordnung, Beratung in Prüfungsausschussangelegenheiten wie Modulkataloge, Anerkennung bereits erbrachter Studienleistungen etc.*	**TUM School of Natural Science** https://www.nat.tum.de/nat/studium/beratung/ studium@nat.tum.de
Zentrale Prüfungsangelegenheiten *Prüfungsangelegenheiten, Prüfungsbescheide, Leistungsnachweise, Abschlussdokumente, Bescheinigungen etc. für Studierende der Studiengänge*	**TUM CST, Abteilung Abschlussdokumente und Prüfungsbescheide, Garching** https://www.tum.de/studium/im-studium/das-studium-organisieren/pruefungen-und-ergebnisse
Studienbüro *Dezentrale Prüfungsverwaltung, Prüfungsmanagement, Prüfungstermin- /Raumplanung, Prüfungsangelegenheiten*	**TUM School of Natural Science** studium@nat.tum.de
Prüfungsausschuss	**Vorsitz**: Prof. Julia Herzen **Schriftführung**: Dr. Marianne Köpf
Bewerbung und Immatrikulation *Bewerbung, Immatrikulation, Student*	**TUM Center for Study and Teaching** https://www.tum.de/studium/tumcst

Card, Beurlaubung, Rückmeldung, Verifikation von Studienabschlüssen, etc.	
Zulassungsverfahren *Durchführung Eignungsverfahrens, Eignungskommission*	**TUM School of Natural Science** Kontakt über die Fach-Studienberatung studium@nat.tum.de
International Office *Beratung Auslandsaufenthalt / Internationalisierung*	Zentral: **TUM Global&Alumny Office** https://www.international.tum.de/global/startseite/ Dezentral: **TUM School of Natural Science** studium@nat.tum.de
Beiträge / Stipendien *Studienbeiträge, Stipendien, Studienbeitragsdarlehen, Befreiungen und Rückerstattungen von Beiträgen, etc.*	**TUM Abteilung Beiträge und Stipendien** https://www.tum.de/studium/studienfinanzierung/ E-Mail: beitragsmanagement@zv.tum.de
Beratung barrierefreies Studium	Zentral: **TUM Center for Study and Teaching – Servicestelle für behinderte und chronisch kranke Studierende und Studieninteressierte** https://www.tum.de/studium/hilfe-und-beratung/gesundheit/studieren-mit-behinderung Dezentral: Dr. Katja Block
Gleichstellung	**Frauenbeauftragte der TUM School of Natural Science**: https://www.nat.tum.de/nat/wir/chancen/familie/ Dr. Oksana Storcheva frauenbeauftragte@nat.tum.de
Qualitätsmanagement *Evaluation und Qualitätsmanagement, Organisation QM-Zirkel*	Zentral: Studium und Lehre - Qualitätsmanagement (TUM CST) https://www.tum.de/studium/tumcst/teams-cst/#c64671 Dezentral: **TUM School of Natural Science** Kontakt über die Fach-Studienberatung studium@nat.tum.de

8 Entwicklungen im Studiengang

In der Überarbeitung zum Sommersemester 2024 hat der Prüfungsausschuss BEMP unter anderem die Anmerkungen und Hinweise sowohl der externen Expertinnen und Experten sowie der Studierenden berücksichtigt.

Einführung der beiden neuen Pflichtmodule Introduction to Bioengineering und Biostatistics

In den beiden bisherigen Pflichtmodulen war der einführende Teil zu Bioengineering (Biosensors, Nanomedizin, etc.) zu gering, außerdem wurde erkannt, dass für die Studierenden Physiologie Kenntnisse und Ethische Aspekte des Bioengineerings relevant sind. Von den externen Expertinnen und Experten wurde betont, dass die Verwendung von Programmiersprachen ebenfalls wichtig ist. In den akademischen Jahren 2021/22 und 2022/23 haben Lehrende des Studiengangs festgestellt, dass Themen der Biostatistik, wie Experimental Design of Experiment oder Analysemethoden ebenfalls notwendig sind. Daher werden ab dem Sommersemester 2024 neben der beiden bisherigen Pflichtmodulen *Biomedical Physics 1* und *Biomedical Physics 2* noch die beiden Pflichtmodule *Introduction to Bioengineering* und *Biostatistics* eingeführt. Von den vier Pflichtmodulen, welche alle jedes Semester angeboten werden, müssen die Studierenden zwei Module bis Ende ihres zweiten Fachsemesters bestehen.

Überarbeitung und Gruppierung der Fokussierungskataloge in Kategorien

Die Studierenden haben mehrfach angemerkt, dass die Fokussierungskataloge inzwischen sehr umfänglich sind und die Auswahl insbesondere neu ankommende Studierende überfordert. Die externen Expertinnen und Experten lobten die hohe Wahlfreiheit. Sie wiesen auf die Gefahr der Dopplungen von Inhalten hin und dass teilweise thematisch weit entfernte Module aufgenommen wurden.
Einerseits sollen die Studierenden die Möglichkeit haben Module zu belegen, die sich mit diversen Methoden wie beispielsweise der KI oder weiterführenden Programmierkenntnissen auseinandersetzen, andererseits muss das Erreichen des Qualifikationsprofils des Studiengangs sichergestellt sein. Daher wurden die Fokussierungskataloge überarbeitet und es wird eine Gruppierung der bestehenden Fokussierungskataloge *Biosensorik* und *Bildgebende Verfahren (Imaging)* in die folgenden drei Kategorien *Advanced Fundamentals*, *Methods* und *Computing*, sowie eine Belegungsregel eingeführt. Diese Gruppierung dient den Studierenden zur besseren Übersicht. Die Belegungsregel soll zudem das Studiengangsziel der Methodenentwicklung stärken.