Studiengangsdokumentation Bachelorstudiengang Bioinformatik

Teil A

Fakultät für Informatik
Technische Universität München

Allgemeines:

- Organisatorische Zuordnung: Technische Universität München (TUM)
  - Fakultät für Informatik

  Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München
  - Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik
- Bezeichnung: Bachelor Bioinformatik
- Abschluss: Bachelor of Science (B.Sc.)
- Regelstudienzeit und Credits: 6 Fachsemester und 180 Credit Points (CP)
- Studienform: Vollzeit
- Zulassung: Eignungsfeststellungsverfahren (EFV - Bachelor)
- Starttermin: Wintersemester (WiSe)
- Sprache: Deutsch/Englisch
- Hauptstandort: München, Garching, Weihenstephan, Großhadern, Martinsried
- Ergänzende Angaben: Gemeinsamer Studiengang der LMU und TUM. Am Studiengang sind fünf Fakultäten beteiligt:
  - Fakultät für Informatik, TUM
  - TUM School of Life Sciences, TUM
  - Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik, LMU
  - Fakultät für Biologie, LMU
  - Fakultät für Chemie und Pharmazie, LMU

  Im Rahmen des DFG Zentrum Bioinformatik sind das Helmholtz Zentrum München und das Max Planck Institut für Biochemie in Martinsried beteiligt.
- Studiengangsverantwortliche: Prof. Dr. Thomas Neumann (Studiendekan)

  Operative Studiengangsverantwortung:

  Prof. Dr. Burkhard Rost (TUM-IN)

  Prof. Dr. Ralf Zimmer (LMU-IN)
- Ansprechperson bei Rückfragen zu diesem Dokument:

  Dr. Lothar Richter (Studiengangskoordination)

  Email: richter@in.tum.de

  Telefon: 089-289-19438

- Stand vom: 13.12.21

Inhaltsverzeichnis

1 Studiengangsziele 4

1.1 Zweck des Studiengangs 4

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs 6

2 Qualifikationsprofil 8

2.1 Wissen und Verstehen 9

2.2 Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen 10

2.3 Kommunikation und Kooperation 10

2.4 Wissenschaftliches Selbstverständnis / Professionalität 10

3 Zielgruppen 11

3.1 Adressatenkreis 11

3.2 Vorkenntnisse 11

3.3 Zielzahlen 11

4 Bedarfsanalyse 15

5 Wettbewerbsanalyse 16

5.1 Externe Wettbewerbsanalyse 16

5.2 Interne Wettbewerbsanalyse 18

6 Aufbau des Studiengangs 20

7 Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten 32

8 Entwicklungen im Studiengang 36

1 Studiengangsziele

1.1 Zweck des Studiengangs

Die Fachgruppe Bioinformatik, die sich 2014[1] aus den entsprechenden Fachgruppen der Fachgesellschaften gegründet hat und seitdem als Plattform für viele Bioinformatikerinnen und Bioinformatiker in Deutschland fungiert, definiert Bioinformatik wie folgt: „Die Bioinformatik wendet Methoden aus der Informatik auf wissenschaftliche Probleme aus den Lebenswissenschaften an und hat sich als verbindende Disziplin zwischen der Informatik und den Lebenswissenschaften in den letzten Jahrzehnten zu einer eigenständigen Teildisziplin entwickelt."[2] Ursprüngliche Entwicklungen in den Elterndisziplinen Informatik, Mathematik, Biologie, Biochemie und Medizin haben sich längst zu einem interdisziplinären, aber eigenständigen Fach entwickelt, das über genug Inhalte und Konzepte verfügt, um als eigene Disziplin zu gelten. Diese Entwicklung geschah und geschieht in enger Abstimmung mit den parallel dazu eingeführten dedizierten Studiengängen für Bioinformatik in Deutschland und weltweit. Die Bioinformatik stellt somit die Forschung und die problembezogene Unterstützung der Lebenswissenschaften in den Mittelpunkt. Mit „Lebenswissenschaften" sind im Folgenden explizit alle biologischen und biotechnologischen Wissenschaften aber auch Medizin und Tiermedizin, hier insbesondere die forschungsorientierte Biomedizin, gemeint. Insbesondere sind auch Anwendungen des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz in diesen Fächern von wachsender Bedeutung in der Bioinformatik.

Die Bedeutung der Bioinformatik für die Gesellschaft ergibt sich aus der Tatsache, dass sich die Biologie – aber mehr und mehr auch die Biomedizin – zu genomorientierten, personalisierten Informationswissenschaften transformieren. Die Sektoren Gesundheit, Pharma und Biotechnologie wachsen und sind aktuell schon die größten ökonomischen Bereiche sowohl hinsichtlich von Arbeitsplätzen als auch Anteil am Bruttosozialprodukt. Exemplarisch lässt sich das an zwei Beispielen illustrieren: Das aktuelle Rahmenprogramm Gesundheitsforschung der Bundesregierung[3] nimmt explizit auf die Bioinformatik und ihre Teilgebiete als förderungswürdige Komponenten oder als Basistechnologie Bezug. Ein anderes aktuelles Beispiel bietet die COVID-19 Pandemie, wo Bioinformatik hilft, das Krankheitsgeschehen auf molekularer Ebene zu verstehen und Zielstrukturen für mögliche Impfstoffe schnell und effektiv vorzuselektieren und die neuartigen mRNA Impfstoffe zu designen bzw. auf Virus-Mutationen anzupassen.

Die Bioinformatik insgesamt stellt sich der Herausforderung der systematischen Bearbeitung biologischer Daten durch geeignete theoretische Verfahren und Algorithmen unter Berücksichtigung der aktuellen technischen Möglichkeiten, natürlich insbesondere auch aktueller Entwicklungen im maschinellen Lernen („deep learning") und der künstlichen Intelligenz. Moderne Technologien der molekularen und zellulären Biologie und Biochemie generieren große, komplexe und hoch informative Datenmengen. Mit dem Ziel, diese Daten zu auszuwerten, steht die Bioinformatik im Mittelpunkt der Wertschöpfung zwischen Grundlagenforschung bis hin zu datenbasierten Methoden der medizinischen Diagnose und Therapie. Nur mit den von der Bioinformatik entwickelten,

[1] https://www.bioinformatik.de/de/ abgerufen am 20.4.2021, 17 Uhr
[2] https://www.bioinformatik.de/de/bioinformatik-3/was-ist-bioinformatik.html abgerufen am 20.4.2021, 17 Uhr
[3] https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/files/Rahmenprogramm_Gesundheitsforschung_barrierefrei.pdf

ausgefeilten Computersystemen und Softwarewerkzeugen ist die Extraktion von Wissen möglich, auf dessen Basis dann z. B. Fachkräfte aus der Biologie oder Medizin weitere Entscheidungen treffen können. Ohne die Möglichkeit zur Auswertung wären diese Daten nutzlos. Damit ist die Bioinformatik vor allem eine forschende Disziplin. Vorhandene Daten werden aus eigenem Antrieb zum Zweck des Wissensgewinns für die Lebenswissenschaften ausgewertet oder es wird direkt problembezogene Unterstützung für Lebenswissenschaftler geleistet. Die dabei auftretenden technischen Herausforderungen können wiederum als Entwicklungsimpulse ins Feld der Informatik zurück gespiegelt werden.

Der sechssemestrige Bachelorstudiengang Bioinformatik vermittelt einen ersten berufsqualifizierenden Abschluss und dient außerdem als fundierte Grundlage für den vertiefenden, forschungsbefähigenden Masterstudiengang Bioinformatik. Er ist zudem erster Schritt für eine sich eventuell anschließende Promotion. Die Bioinformatik bewegt sich per se an der Schnittstelle zwischen Informatik, Biologie (insbesondere Molekularbiologie) sowie den Bereichen Biochemie und der Medizin- und Pharmaforschung – dies setzt bereits im Bachelor eine anspruchsvolle interdisziplinäre Ausbildung voraus.

Ziel des Bachelorstudiengangs ist eine grundlagenorientierte Ausbildung in den Bereichen Theoretische und Praktische Informatik, Mathematik sowie Biologie, Biochemie und Genetik, welche die Absolventinnen und Absolventen dazu befähigt, an Bioinformatikprojekten sowie an Projekten in angrenzenden Fachgebieten methodisch-systematisch mitzuarbeiten. Bei der Lösung von Problemen aus den Lebenswissenschaften mit Hilfe computergestützter Methoden sind sie insbesondere für die Aufgaben der Umsetzung und Durchführung qualifiziert; also die Implementierung beschriebener Verfahren im Rahmen der Softwareentwicklung, die Erstellung, Wartung und Erweiterung projektbezogener Datenbanken oder Webseiten sowie die Durchführung und Auswertung bioinformatischer Analysen mit vorgegebenen Methoden. Der Studiengang zielt auch auf die Ausbildung von bereits partiell vertieften Kenntnissen einschlägiger Algorithmen, Analyseverfahren und mathematischer Modelle.

Diese Methodenkenntnisse werden mit dem Ziel der selbstständigen Forschungsbefähigung dann im konsekutiven Master weiter ausgebaut, in dem vertiefend State-of-the-Art Analysemethoden anhand forschungsrelevanter Fragestellungen sowie weitere vertiefende Fachkompetenzen aus den Bereichen Biologie/Biochemie und Informatik/Statistik erlernt werden.

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs

Die Technische Universität München hat als eine der ersten Universitäten in Deutschland einen Studiengang Informatik angeboten. Mittlerweile beläuft sich das Angebot der Fakultät auf 12 Studiengänge. Folgende Abbildung gibt einen aktuelle Überblick über das Gesamtlehrportfolio der Fakultät für Informatik[4]:

Abbildung 1: Studiengänge an der Fakultät für Informatik der TUM

Zum Wintersemester 2000/2001 wurde der Bachelorstudiengang Bioinformatik gemeinsam von der Ludwig-Maximilians-Universität und der Technischen Universität München errichtet. Am Studiengang beteiligt sind zudem das Max-Planck- Institut für Biochemie und das Helmholtz Zentrum München (Vgl. Kapitel 7).

Die Bioinformatik ist ein vergleichsweise junge Wissenschaft, die aus Spezialisierungen der Bereiche Informatik und Biologie entstanden ist. Deswegen stehen einer großen Vielfalt an Forschungsgebieten an den einzelnen Fakultäten jeweils nur wenige einschlägige Anbieter zur Verfügung. Daher wurden gezielt die Ressourcen aus den fünf beteiligten Fakultäten der Ludwig-Maximilians-Universität und der Technischen Universität München gebündelt, um ein umfassendes und forschungsnahes Lehrangebot zu schaffen. Die Einbettung in beide Universitäten erlaubt es, für die Studierenden ein exzellentes Import-Lehr- bzw. Modulangebot in den Grundlagen der Informatik, Mathematik, Biologie und Biochemie bereitzustellen; in der Bioinformatik können sich die dedizierten

[4] Mit Abschluss der Transformation des Fakultätssystems an der TUM in die neue School-Struktur werden die Studiengänge künftig von der School of Computation, Information and Technology (CIT) verantwortet.

Wissenschaftsgruppen beider Universitäten gegenseitig komplementieren und ein auf dem neuesten Stand der Forschung entsprechendes, umfängliches Lehrangebot unter Einbeziehung aktueller Forschungsthemen anbieten. Auch die engen Kontakte zu den lebenswissenschaftlichen und medizinischen Fakultäten sowie den beteiligten externen Forschungsinstituten erlauben es, aktuelle Entwicklungen zeitnah und umfänglich in Forschung sowie in die Bachelor- und Masterausbildung einzubinden. Die externen Institute erweisen sich oft als hilfreich, da sie durch die Einrichtung von thematisch fokussierten Nachwuchsgruppen neben den universitären Tenure-Track-Professuren eine schnellere Reaktion auf neueste Entwicklungen zeigen können als dies z. B. durch die Neubesetzung von Lehrstühlen möglich ist.

Die Fakultät für Informatik nimmt in Forschung und Lehre eine Spitzenposition ein, gemessen an Größe, thematischer Breite, wissenschaftlichem Ruf, Vernetzung mit der Industrie, Innovation durch Ausgründungen und Einbettung in die internationale Wissenschaftslandschaft. Der Bachelorstudiengang Bioinformatik fügt sich damit in die strategische Ausrichtung der Fakultät für Informatik ein, die in allen Phasen der akademischen Ausbildung nationale und internationale Standards setzen will. Als interdisziplinäres Programm stärkt der Studiengang die Beziehungen zu anderen Fächern, Fakultäten/Schools sowie explizit zu einer anderen Universität (LMU). Die forschungsnahe Ausbildung im Bachelor und Master Bioinformatik entspricht dem Anspruch der Fakultät, Spitzenforschung und exzellente Lehre zu verknüpfen. Gleiches gilt hinsichtlich der strategischen Ausrichtung der TUM: Als ein fakultäts-/ universitätsübergreifendes Programm hat der Bachelorstudiengang Bioinformatik die disziplinären Barrieren überwunden, fördert das interdisziplinäre Denken und Handeln der Studierenden und erfüllt durch seine Allianzen mit führenden außeruniversitären Lehr- und Forschungseinrichtungen (Max-Planck- Institut/ Helmholtz Zentrum München) wissenschaftlich höchste Standards. Entsprechend dem TUM-Selbstverständnis als eine international führende Lehrinstitution (TUM Lehrverfassung[5]) bietet der Bachelor Bioinformatik eine akademische Ausbildung mit fachlichem Tiefgang. Um Studierende zu Talenten mit Wertebewusstsein auszubilden, sollen im Bachelor Bioinformatik neben wissenschaftlicher Fachkompetenz und Urteilsfähigkeit auch die Persönlichkeitsentwicklung (Teamfähigkeit, Verantwortungsbewusstsein) gefördert werden. Hervorzuheben ist zudem der vergleichsweise hohe Frauenanteil im Studiengang, was dem TUM-weiten Ziel der Gleichstellung von Talenten unabhängig ihres Geschlechts entspricht - und insbesondere zur Steigerung von Frauen in MINT-Berufen beiträgt.

[5] https://www.lehren.tum.de/themen/tum-lehrverfassung

2 Qualifikationsprofil

Ziel des Bachelorstudiengangs ist es, grundlegende Kenntnisse und Fähigkeiten zur Entwicklung und Anwendung entsprechender bioinformatischer Methoden und Infrastrukturen auf dem Niveau angeleiteter wissenschaftlicher Arbeit zu vermitteln. Dabei können die Absolventen die im Studium erlernten und erarbeiteten Kenntnisse und Techniken auf vorgegebene Problemstellungen anwenden und Experimente entsprechend durchführen. Dies kann auf dem Gebiet der biomedizinischen Grundlagenforschung, der mathematischen Modellierung biologischer Prozesse, der Biotechnologie und der klinischen Forschung einschließlich der Entwicklung neuer diagnostischer und therapeutischer Verfahren erfolgen. Absolventinnen und Absolventen können im Rahmen ihres Wissens bereits eine erste Interpretation der Ergebnisse vornehmen. Insgesamt arbeiten sie in Forschungsvorhaben anderen Wissenschaftlern zu.

Als Basis für die hier beschriebenen Tätigkeiten erwerben die Absolventinnen und Absolventen im Bachelor Studium umfangreiches Grundwissen in den Gebieten Bioinformatik, Informatik, Mathematik sowie Biologie und Biochemie.

Die Absolventinnen und Absolventen des Bachelorstudiengangs Bioinformatik verfügen sowohl über die Kernfähigkeiten aus der Informatik als auch über Kenntnisse aus den Biowissenschaften. Dazu können die Absolventinnen und Absolventen die Formalismen der Informatik zur Beschreibung komplexer lebender Systeme nutzen, um biologische Daten aus hochdimensionalen Datenräumen im Kontext biologischen Wissens zu analysieren und zu interpretieren. Die rationale systematische Analyse der Daten ersetzt die intuitive Interpretation biologischer Phänomene. Die Verschränkung dieser komplementären Konzepte und Begrifflichkeiten (Informatik vs. Biologie) ist eines der spezifischen, zentralen Anliegen der Bioinformatik-Ausbildung. Dazu bedarf es fundierten Grundwissens aus den Gebieten der Informatik, Mathematik, Biologie und Biochemie, um die komplexen Konzepte der Bioinformatik in vollem Umfang verstehen zu können. Dies ist auch der Grund dafür, dass es im Bachelor Bioinformatik relative wenig Wahlfächer gibt.

Die Studierenden werden in Grundlagen und Technologien eingeführt; sie verfügen damit über Grundlagen in Vorbereitung auf den forschungsorientierten Masterstudiengang. Für den erfolgreichen Abschluss steht das Ziel im Vordergrund, biologische Beobachtungen digital mit den Methoden der Bioinformatik darzustellen, bioinformatische Werkzeuge zur Analyse experimenteller Daten einzusetzen und in der Lage zu sein, mit den Kolleginnen und Kollegen innerhalb der Disziplin und mit den kooperierenden Parteien aus den Lebenswissenschaften über konkrete Problemstellungen der Bioinformatik kompetent zu kommunizieren. Das Qualifikationsprofil setzt sich aus den folgenden Aspekten zusammen[6]:

[6] Das Qualifikationsprofil entspricht inhaltlich den Vorgaben des Qualifikationsrahmens für Deutsche Hochschulabschlüsse (Hochschulqualifikationsrahmen - 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. Formale Aspekte gemäß HQR (Zugangsvoraussetzungen, Dauer, Abschlussmöglichkeiten) sind in den Kapiteln 3 und 6 und in der Fachprüfungs- und Studienordnung ausgeführt.

2.1 Wissen und Verstehen

Ausgehend von einem Wissenstand der der Allgemeinen Hochschulreife entspricht oder gleichwertig ist, erlernen die Studierenden die Grundlagen der Bioinformatik, Informatik, Mathematik, Biologie, Chemie und Biochemie. Da die Studierenden im Wesentlichen noch kein einschlägiges Vorwissen aufweisen können, wird hier nicht weiter zwischen Wissensverbreiterung und Wissensvertiefung unterschieden.

- Sie verfügen über Kenntnisse in der Software-Entwicklung und in der Algorithmik, d.h. sie können für eine gegebene Spezifikation Softwareprojekte planen, die benötigten grundlegenden Datenstrukturen und Algorithmen auswählen und das zugehörige Programm implementieren.

- Sie verfügen über fundierte Kenntnisse im Bereich Datenbanksysteme und der theoretischen Informatik, d.h. sie können die für eine Softwarelösung benötigten Datenbankschemata konzeptionieren und erstellen, für einfache zustandsorientierte Spezifikationen Modellierungen mittels Automaten vornehmen und für konkrete Problemstellungen deren Komplexität abschätzen und ggf. alternative Methoden (wie Approximationsalgorithmen oder Heuristiken) einsetzen.

- Sie kennen die grundlegenden mathematischen Methoden, die in der Bioinformatik (und Informatik) eingesetzt werden, d.h. sie können für die Analyse von Laufzeit- und Speicherplatzverhalten von Algorithmen die benötigten mathematischen Verfahren auswählen und einsetzen, sie können die für die Implementierung von Softwareprodukten benötigte Modellierung sowohl mittels diskreter als auch stochastischer Konzepte bewerten und einsetzen.

- Sie verfügen über vertiefte Kenntnisse in der Biologie und Biochemie, d.h. sie sind mit den grundlegenden Konzepten der Biologie, insbesondere der Zellbiologie, Genetik und Evolution, aber auch mit den biochemischen Konzepten der Molekularbiologie und des Stoffwechsels vertraut. Sie können sich in neue Anwendungen der Molekularbiologie und in die Prinzipien neuer biotechnologischer Verfahren eigenständig einarbeiten, um die daraus resultierenden experimentellen Daten für bioinformatische Fragestellungen einsetzen zu können.

- Sie sind mit dem Arbeiten im Labor im Bereich der Molekularbiologie und Biochemie vertraut, können einfache Experimente durchführen und kennen die Problematik bei der Erhebung experimenteller Daten.

- Sie kennen die grundlegenden Methoden und Algorithmen der Bioinformatik und die gängigsten Fragestellungen der Bioinformatik mit den aktuellen Lösungsansätzen und sind in der Lage, diese für gegebene Fragestellungen auszuwählen oder ggf. geeignet anzupassen.

- Sie sind in der Lage, eigenständig für konkrete einfache biologische Fragestellungen eine automatisierte Lösung zu spezifizieren, zu planen und diese als Softwarelösung zu

implementieren und die Ergebnisse im biologischen Kontext zu analysieren, zu evaluieren und zu validieren.

- Sie sind mit den grundlegenden Ideen des maschinellen Lernens vertraut und können selbst einfache Modelle für gegebene Problem trainieren, anwenden und die Ergebnisse interpretieren.

- Sie sind in der Lage, eine konkret umrissene wissenschaftliche Problemstellung eigenständig zu lösen und die Ergebnisse schriftlich und in einer Präsentation darzustellen (Bachelor's Thesis).

2.2 Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen

Die Absolventinnen und Absolventen können das vermittelte Wissen aktiv einsetzen und Bioinformatikprobleme bekannter Struktur lösen. Da im Bachelor vorrangig grundlegende Inhalte behandelt werden, können die Absolventinnen und Absolventen diese zwar auf Fragestellungen ähnlicher Struktur übertragen und anwenden, selbstständige wissenschaftliche Innovationen sind aber in der Regel nicht zu erwarten.

2.3 Kommunikation und Kooperation

Die Absolventinnen und Absolventen sind in der Lage untereinander sowie mit Betreuerinnen und Betreuern und Kooperationspartnerinnen und -partnern ihrer Projekte Fragestellungen, Resultate und Schlussfolgerungen klar in der Fachsprache Englisch zu kommunizieren.

2.4 Wissenschaftliches Selbstverständnis / Professionalität

Die Absolventinnen und Absolventen des Studiengangs Bachelor Bioinformatik sind bereits mit den Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis bei der Durchführung ihrer Arbeit in Kontakt gekommen. Daneben aber sind sie sich genauso der Bedeutung ihrer Ergebnisse bewusst, wenn es sich z.B. um gesundheitlich relevante Aussagen handelt. Sie wissen um die Belange des Datenschutzes und damit verbundener Konsequenzen beim Umgang mit personalisierten Daten und können entsprechende Vorgaben berücksichtigen. Als wissenschaftlich ausgebildete Mitglieder der Gesellschaft wissen sie um die Prozesse der Meinungsbildung und Entscheidungsfindung und können aktiv daran teilhaben.

Diese Basis befähigt sie, sowohl mit der Entwicklung der technischen Möglichkeiten auf Seiten der Informatik als auch mit den umfangreichen Datensätzen aus einer wachsenden Zahl von experimentellen Technologien umzugehen (z.B. Sequenzierung, Strukturbiologie, Expressionsanalyse, Populationsgenetik), ihr Wissen auf dem aktuellen Stand zu halten und projektbezogen zu erweitern. Mit den Konzepten aus Biologie und Informatik vertraut, bilden sie häufig die Schnittstelle zwischen verschiedenen Arbeitsgruppen und überbrücken die häufig bestehenden Hürden für eine erfolgreiche Zusammenarbeit. Mit diesen Qualifikationen sind Absolventinnen und Absolventen des Bachelorstudiengangs Bioinformatik in der Lage, sowohl einen Einstieg in die Industrie als auch das mehr forschungsorientierte und vertiefende Masterstudium aufzunehmen.

3 Zielgruppen

3.1 Adressatenkreis

Der Bachelorstudiengang Bioinformatik richtet sich an motivierte inländische und ausländische Studieninteressierte mit Hochschulzugangsberechtigung. Bewerberinnen und Bewerber bringen ein Interesse an biologischen Fragestellungen, an formalisierten computergestützten Vorgehensweisen sowie ein Verständnis für abstrakt-logische Zusammenhänge mit. Bioinformatik ist eine interdisziplinäre Forschungsrichtung, die sich enorm schnell entwickelt und die Digitalisierung der Lebenswissenschaften prägt. Folglich sollten Studieninteressierte ein Interesse an Aufgaben an der Schnittstelle von Informatik, Biologie und Medizin sowie an forschungsorientierter Tätigkeit haben. Die Lösung komplexer Probleme ebenso wie die Abstraktion biologischer Prozesse erfordern kreative, teils unkonventionelle Lösungen – daher ist Flexibilität, Vielseitigkeit, Ausdauer, Experimentierfreudigkeit und Kooperationsbereitschaft gefragt.

3.2 Vorkenntnisse

Die rasante Entwicklung der dynamischen Disziplin Bioinformatik wird - wie alle Entwicklungen in der modernen Biologie – international von Institutionen in Europa, den USA und Kanada, Japan und neuerdings auch in China vorangetrieben. Publikationen und internationale Konferenzen als Informationsquellen werden ausschließlich auf Englisch angeboten. Daher ist es beinahe undenkbar, diese Disziplin auf hohem Niveau zu studieren, ohne fließend Englisch zu sprechen und zu schreiben. Um beurteilen zu können, ob eine Bewerberin bzw. ein Bewerber für das Bioinformatik-Bachelorstudium geeignet ist, fließen im Eignungsfeststellungsverfahren[7] (EFV) die Noten in den Fächern Mathematik, Informatik, Biologie, Chemie, Physik, Englisch und Deutsch bereits in der ersten Stufe mit ein. Englischkenntnisse werden vorausgesetzt und nachgefragt, sie sind jedoch kein formales Zulassungskriterium. In einem möglicherweise notwendigen Auswahlgespräch werden Fähigkeiten in den Bereichen Logik, Algorithmisches Denken, Abstraktionsvermögen, Analytisches Denken, Mathematik, sowie Englisch (passiv) und Deutsch (aktiv und passiv) getestet. Besondere Vorkenntnisse, die – insbesondere in den Bereich Informatik und Biologie – über das allgemeine Gymnasialwissen hinausgehen, sind willkommen, werden aber nicht ausdrücklich geprüft. Das Eignungsfeststellungsverfahren hat sich bewährt, wie aus dem Rückgang der Zahl der Studienabbrechenden ersichtlich ist.

3.3 Zielzahlen

In den letzten Semestern sind die Zahlen der BIM Bachelorstudierenden sehr stabil und zeigen einen positiven Trend (Abbildung 2), wobei sich die Anzahl der Bewerber seit 2012 in etwa verdoppelt hat. Der Frauenanteil ist dabei von unter 30% auf mittlerweile über 50% angewachsen. Der Anteil von internationalen Studierenden ist in derselben Zeit auf etwas über 25% angewachsen. Der Anteil abgelehnter Bewerberinnen und Bewerber ist in etwa konstant geblieben. Darüber hinaus sind die

[7] https://cms-cdn.lmu.de/media/contenthub/amtliche-veroeffentlichungen/177.pdf

Bewerbungszahlen der Bioinformatik als neues Feld ähnlich wie die Biotechnologie stärker von den aktuell wahrgenommenen Zukunftschancen abhängig.

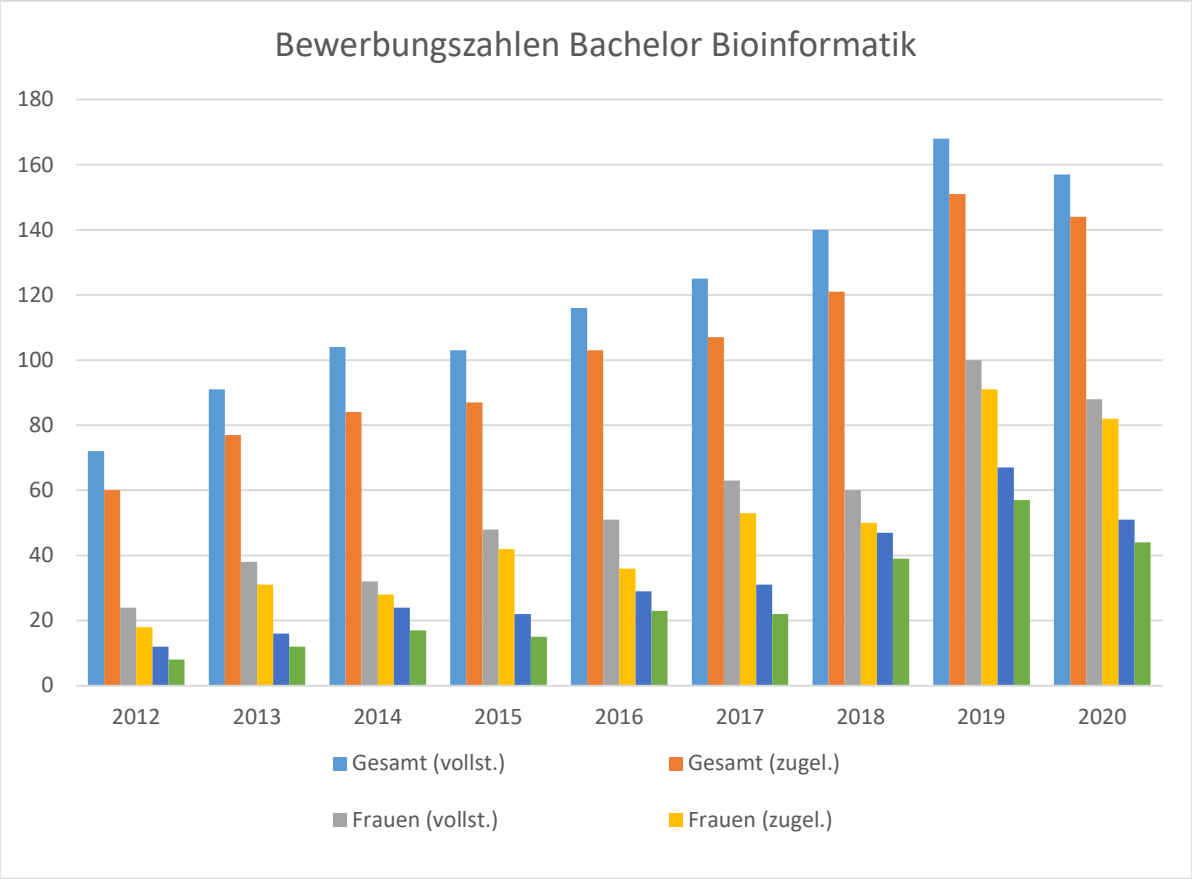

Abbildung 2: Bewerbungszahlen im Bachelorstudiengang Bioinformatik (jeweils für das Sommersemester und das darauffolgende Wintersemester zusammengefasst). Vollst.: Vollständige Bewerbungsunterlagen eingereicht, zugel: Zum Studium zugelassen.

Die tatsächlich eingeschriebenen Studienanfängerinnen und -anfänger kann man der folgenden Abbildung 3 entnehmen. Erfreulich hoch für ein MINT-Fach ist dabei der über 50% liegende Frauenanteil. Mit der gegenwertigen Anzahl an Lehrpersonal stellen 60-80 Studienanfänger die derzeit gerade zu bewältigende Anzahl an Studierenden dar. Sollte die Anzahl der Studienanfänger*innen weiter steigen, so müssen die Studiengangsverantwortlichen entweder eine Aufstockung des Lehrpersonals oder eine Begrenzung der Studienanfänger*innen ins Auge fassen.

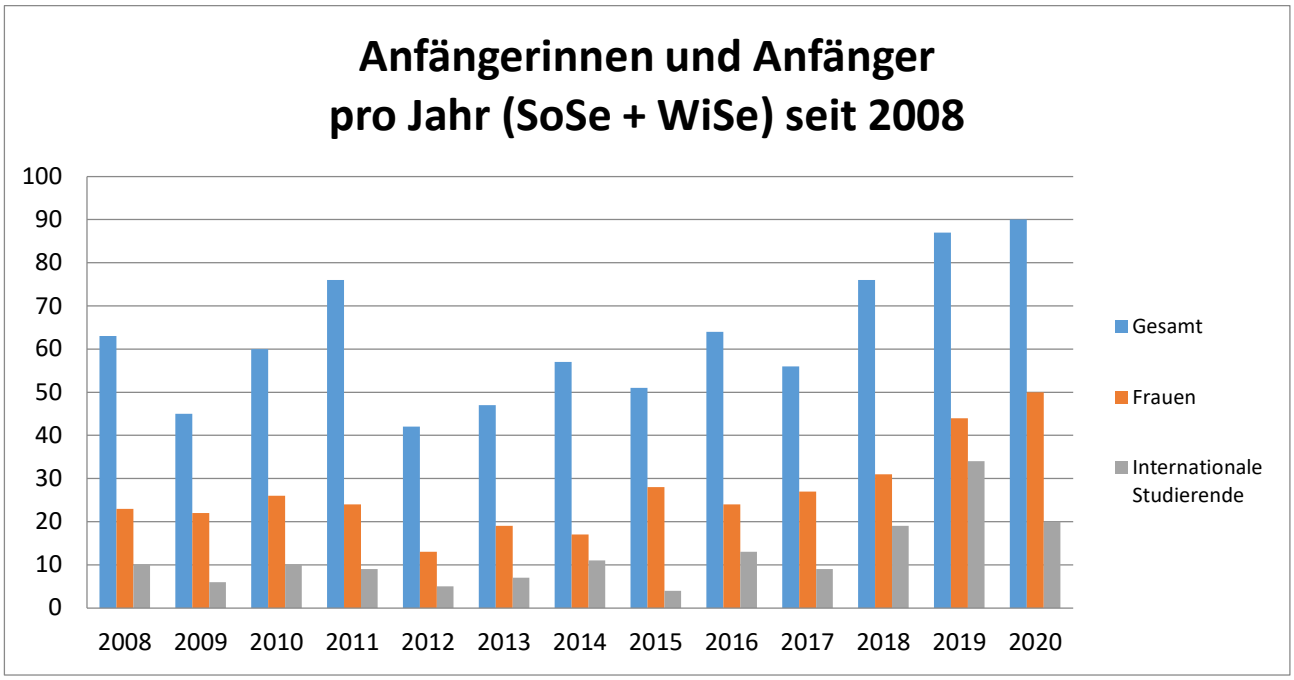

Abbildung 3: Anzahl der Studienanfängerinnen und -anfänger Bachelor Bioinformatik seit 2008.

Die Anzahl aller Studierenden im Bachelorstudiengang Bioinformatik ist kontinuierlich gestiegen (Abbildung 4). Allein der doppelte Abiturjahrgang in Bayern aufgrund der G8-Einführung hat zu einem verstärkten Anstieg der Studierendenzahlen im WS11/12 geführt. Zusammen mit dem bereits erwähnten verspäteten Studienbeginn einiger G8-Studierenden an die Universitäten erklärt sich der folgende leichte technische Einbruch der Studierendenzahlen im WS12/13 und WS13/14. Seitdem wächst die Anzahl der Studierenden im Bachelor Bioinformatik beständig.

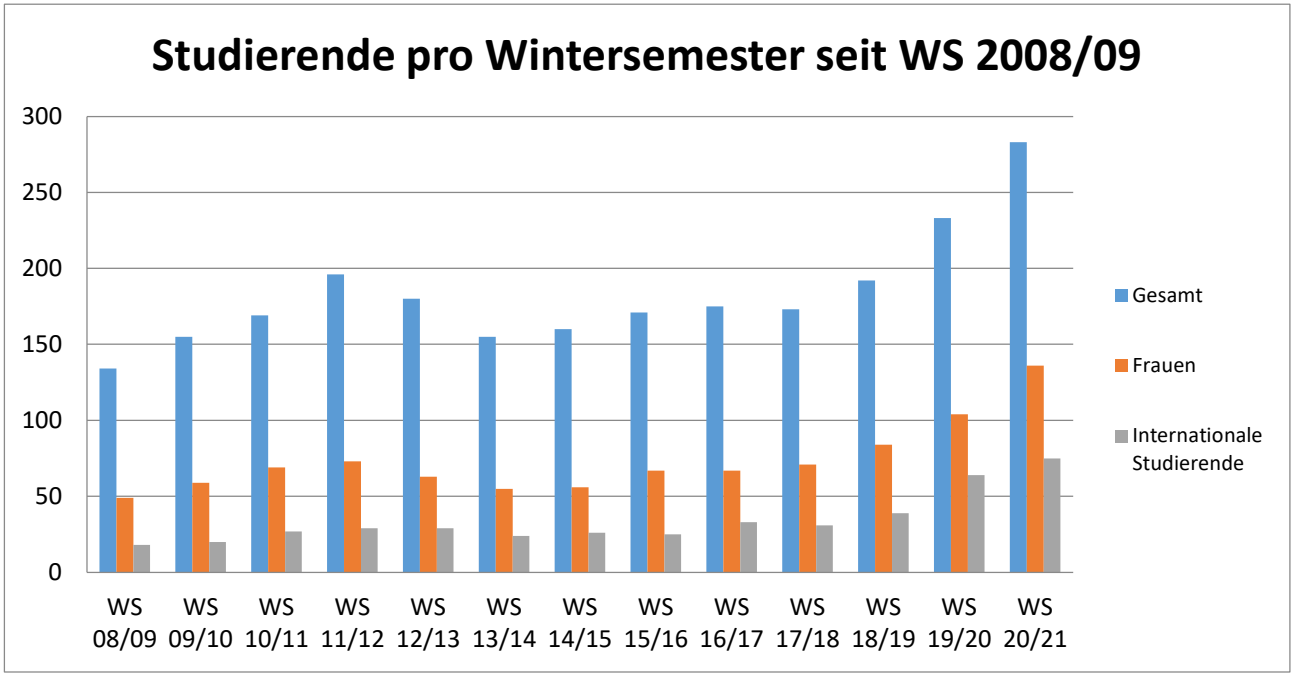

Abbildung 4: Studierendenzahlen im Bachelorstudiengang Bioinformatik (jeweils die konsolidierten Zahlen für das Wintersemester).

Wenn wir die Absolventinnen und Absolventen des BIM-BS berücksichtigen, wird deutlich, dass der Erfolg dieser außergewöhnlichen Ausbildung relativ stabil ist (Abbildung 5): Seit dem Studienjahr 2010/11 erwerben etwa 20-30 Studierende jährlich ihren Abschluss. Dabei ist ein Nachlauf hinter den Zahlen der Anfängerinnen und Anfänger von 3-4 Jahren zu beobachten. Das Minimum 2017/18 ist somit auf die relativ (nach 2011) niedrigeren Zahlen von Anfängerinnen und Anfängern der Jahre 2013/14 zurück zu führen.

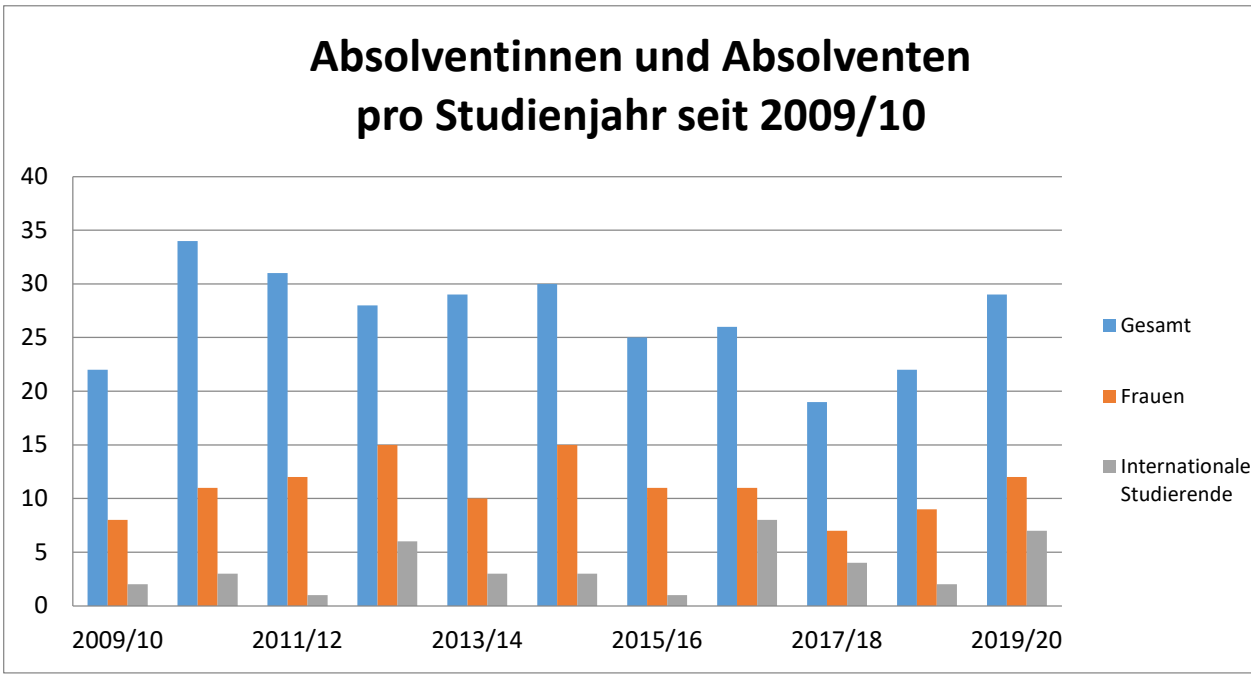

Abbildung 5: Zahlen der Absolventinnen und Absolventen im Bachelorstudiengang Bioinformatik (jeweils für ein Studienjahr, also das Wintersemester und das darauffolgende Sommersemester zusammengefasst).

4 Bedarfsanalyse

Im Münchner Branchenmix ist die Informations- und Kommunikationstechnologie eine tragende Säule. Daneben stellt die Region München und Oberbayern eine der wichtigsten Biotechnologieregionen Deutschlands dar und ist mit zwei Gewinnern der Exzellenzinitiative des Bundes sowie mehreren Max-Planck-Instituten und anderen Großforschungseinrichtungen des Bundes einer der renommiertesten Wissenschaftsstandorte in Deutschland. Deswegen schließen die meisten Absolventinnen und Absolventen des BIM-Bachelorstudiums immer noch das BIM-Masterstudium an und helfen somit den immer noch wachsenden Bedarf an Nachwuchskräften im Bereich der Grundlagenforschung zu decken.

Die Bioinformatik ist jung, dynamisch und relativ klein und deswegen nicht gut in den großen Branchenverbänden wie Bitkom e.V. oder DECHEMA e.V. aufgeführt. Bioinformatikerinnen und Bioinformatiker arbeiten (1) an Universitäten, der Max-Planck Gesellschaft und Forschungszentren des Bundes in spezialisierten Arbeitsgruppen (an insgesamt 75 Einrichtungen mit insgesamt 209 Arbeitsgruppen, die Bioinformatikthemen als Teil ihrer Forschung sehen[8]), (2) in kleinen und mittleren Unternehmen der Bioinformatik (Biomax, Genomatix, GenXPro, Brain, BioSolveIT etc.), (3) in den Unternehmen der Biotechnologie (Qiagen, GATC, Eurofins, Medigene, Morphosys, Pieris, etc.), (4) in Unternehmen der Agro- und Pharmaindustrie (Bayer, BASF, Clariant, Merck, Roche, Boehringer Ingelheim, KWS, etc.).

Aktuelle Zahlen für die gesamte Bundesrepublik (jeweils zum 30. September) der Bundesagentur für Arbeit[9] über die Entwicklung der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigungsverhältnisse in der Berufsgattung „43145 Bio-, Medizininformatik-Experte“ der KldB2 2010 nach den Berufsabschlüssen zeigen einen klaren Wachstumstrend wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Die Gesamtzahl der dem Bereich Bio- und Medizininformatik zugeordneten Beschäftigungsverhältnisse ist im Zeitraum von 2013 bis 2020 um circa 50% von 900 auf 1472 gestiegen. Die Anzahl der Beschäftigten mit einem einschlägigen Bachelorabschluss hat sich anteilig dabei mit einem Anstieg von 54 auf 132 mehr als verdoppelt. Während der Anteil der Studierenden mit einem einschlägigen Masterabschluss durch einen Anstieg von 483 auf 681 um circa 40% in etwa dem Gesamttrend folgte, zeigte sich der größte proportionale Anstieg im Bereich der Promovierten: Von 181 stieg deren Anteil auf 416 um circa 230% an. Dies ist ein klares Indiz für die guten Arbeitsplatzchancen wissenschaftlich ausgebildeter Absolventinnen und Absolventen bereits des Bachelor Bioinformatik und noch mehr im konsekutiven Master Bioinformatik.

[8] http://www.bioinformatik.de, Stand Juni 2021
[9] **Service-Haus der Bundesagentur für Arbeit** Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung https://statistik.arbeitsagentur.de/

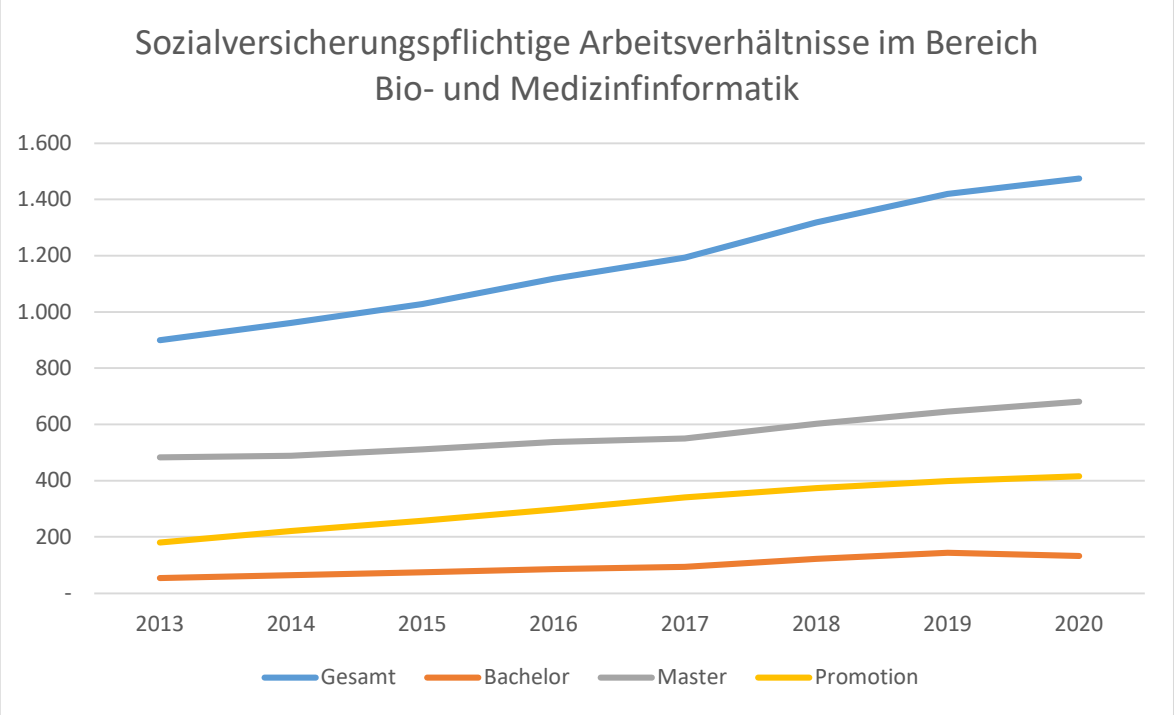

Abbildung 6: Sozialversicherungspflichtige Beschäftigungsverhältnisse im Bereich „Bio- und Medizininformatik-Experte“ bezogen auf die Bundesrepublik Deutschland von 2013 bis 2020.

5 Wettbewerbsanalyse

5.1 Externe Wettbewerbsanalyse

Der Bachelorstudiengang Bioinformatik ist als Teil des BIM-Programms als einer von fünf DFG-Preisträgern 2001 entstanden und gehört zu den prominentesten Bioinformatikstudiengängen im deutschsprachigen Bereich. Der Studiengang rangiert im europäischen Raum an der Spitze der Bioinformatik-Curricula: (1) Zahl der beteiligten Institute: im Studiengang werden exzellente Forschungs- und Lehrerfahrung zweier Universitäten sowie führender Forschungseinrichtungen verknüpft; dies ist nur noch mit nationalen Verbünden von Forschungsgruppen in kleineren Ländern (SIB: Swiss Institute Bioinformatics bzw. NBIC: Netherlands Bioinformatics Center) oder denen der deutschen Metropolregionen Berlin und Heidelberg/Mannheim vergleichbar. (2) Die Zahl der beteiligten Bioinformatik-Professuren, die den Studiengang aktiv mitgestalten, hat inzwischen 9 erreicht (6 TUM, davon 3 am WZW, 3 LMU).

Mindestens 37[10] bzw. 41[11] universitäre Einrichtungen in Deutschland bieten im Wintersemester 2020/21 die Möglichkeit eines Studiums der Bioinformatik im Haupt- oder Nebenfach an. In 11 von diesen ist ein Abschluss in der Bioinformatik das Hauptziel (Tabelle 1), in den anderen ist

[10] https://www.bioinformatik.de/de/bioinformatik-in-deutschland-3/ausbildung/bachelor-of-science.html
[11] https://www.hochschulkompass.de/studium/studiengangsuche/erweiterte-studiengangsuche/search/1/studtyp/3/view/wide.html?tx_szhrksearch_pi1%5Bfach%5D=Bioinformatik&tx_szhrksearch_pi1%5Babschluss%5D%5B0%5D=24&tx_szhrksearch_pi1%5Bresults_at_a_time%5D=50

Bioinformatik eine mögliche Spezialisierung in einem anderen Fach. BIM ragt aus der Liste der Einrichtungen, die in Deutschland Bioinformatik lehren, eindeutig in Bezug auf die Anzahl der international in dem Feld der Bioinformatik renommierten, an der Lehre beteiligten Forschungsgruppen heraus. Der Studiengang in München hat in seiner Breite der Forschungsthemen und des Lehrangebots ein absolutes Alleinstellungsmerkmal, vor allem durch die gelungene Kooperation der führenden Lehrstühle für Bioinformatik an TUM und LMU sowie der Integration der Lehre der beteiligten Fakultäten. Dieses Angebot ist in Europa ohne Beispiel, München gehört zu den prominentesten Standorten der Bioinformatikausbildung. Im Hinblick auf die Anzahl der vor Ort vorhandenen Forschungsgruppen kommt München nach Heidelberg und Berlin nur an dritter Stelle[12], aber in München tragen praktisch alle Gruppen aktiv zum Curriculum bei, während der Großteil von Heidelberg und Berlin durch außeruniversitäre Groß-forschungseinrichtungen beigetragen wird.

Am Ort der meisten Forschungsgruppen – Heidelberg/Mannheim mit dem EMBL (*European Molecular Biology Laboratory*) und dem DKFZ (Das Deutsche Krebsforschungszentrum) – wird sogar weder ein Bachelor- noch ein Masterstudiengang Bioinformatik angeboten.

International ist die Bachelorausbildung der Bioinformatik nur sehr schwach vertreten und wird deshalb nicht gesondert betrachtet. In den angelsächsischen Ländern werden meist Masterstudiengänge zum Aufbau auf einem Bachelor in Biologie oder Informatik angeboten. In USA sind die Masterstudiengänge auch weniger eng definiert als in Europa.

Tabelle 1: Studiengänge in Deutschland mit Abschluss „Bioinformatik Bachelor“.

Universität	*Bioinformatik Gruppen*	*Seit*	*Sprache*
FU Berlin	*3-5*	*2000*	*Deutsch*
Univ. Bielefeld	*5*	*2000*	*Deutsch*
Techn. Hochschule Bingen	*1*	*2012*	*Deutsch*
J.-W.-Goethe-Univ. Frankfurt	*1*	*2006*	*Deutsch/Englisch*
Techn. Hochschule Mittelhessen – THM, Gießen	*3*	*2016*	*Deutsch*
Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg	*3*	*2005*	*Deutsch*
Friedrich-Schiller-Univ. Jena	*2*	*2001*	*Deutsch/Englisch*
LMU/TUM München	*8-12*	*2000*	*Deutsch*
Univ. Saarland, Saarbrücken	*4-7*	*2000*	*Deutsch*
Eberhard Karls Univ. Tübingen	*5*	*2000*	*Deutsch*

[12] https://www.bioinformatik.de/de/bioinformatik-in-deutschland-3/forschung/zentren.html

5.2 Interne Wettbewerbsanalyse

Ausgehend von biologischen Inhalten haben sich an der TUM mittlerweile eine Vielzahl von Studiengängen gebildet, die biologisches Wissen in technische, medizinische oder lebensmitteltechnische Anwendungsfelder transportieren.

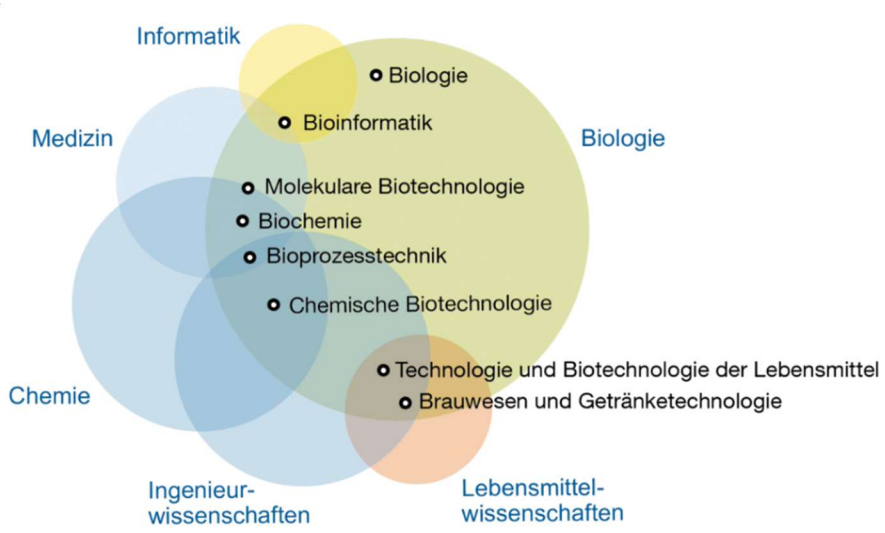

Abbildung 7: „Biowissenschaftliche“ Studiengänge an der TUM[13]

An der TUM gibt es - neben dem Bachelor- und Masterstudiengang Bioinformatik und dem Bachelor- und Masterstudiengang Biologie (Abgrenzung siehe nächster Absatz) - weitere Studiengänge, die „Bio“ im Namen tragen (Vgl. Abbildung 7: „Biowissenschaftliche“ Studiengänge an der TUM): Bioökonomie, Pharmazeutische Bioprozesstechnik, Chemische Biotechnologie, Molekulare Biotechnologie und Biochemie.

Die Ausbildung in der Bioökonomie befasst sich mit Nachhaltigkeit, Umweltschutz und mit der Umstellung auf biogene Rohstoffe. Die pharmazeutische Bioprozesstechnik verbindet naturwissenschaftliche und ingenieurswissenschaftliche Grundlagen für die biotechnologische Produktion in der pharmazeutischen Industrie. Die chemische Biotechnologie versucht konventionelle industrielle Prozesse kostengünstiger und ökologischer zu gestalten und verbindet Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik. Die molekulare Biotechnologie dagegen widmet sich der Aufgabe, natürliche und künstliche Biomoleküle zu konstruieren und zu gewinnen. Die Biochemie selbst beschäftigt sich mit der Erforschung von Struktur und Funktion von Biomolekülen. Anders als in der Bioinformatik liegt der Schwerpunkt der Ausbildung in diesen Bereichen auf den molekularbiologischen, biochemischen und verfahrenstechnischen Verfahren. Die Bioinformatik beschäftigt sich dagegen in erster Linie mit der Anwendung von Methoden aus der Informatik (Entwicklung von Modellen und Softwaresystemen), um biologische Vorgänge auf mikroskopischer und makroskopischer Ebene zu untersuchen, zu verstehen und zu simulieren. Damit grenzt sich der

[13] www.tum.de/studium/studienangebot/biowissenschaften-bachelor/

Fokus der Ausbildung in der Bioinformatik klar von den genannten TUM-Studienangeboten ab, wenngleich die Methoden und Werkzeuge aus dem Feld der Bioinformatik auch in den anderen Studiengängen zum Einsatz kommen können.

Als verbindende Disziplin zwischen der Informatik und der Biologie hat sich die Bioinformatik zu einer eigenständigen Teildisziplin entwickelt. Im Vergleich zu den „Eltern"-Studiengängen Informatik und Biologie grenzt sich die Ausbildung in der Bioinformatik an der TUM wie folgt ab:

Der aktuelle Bachelorstudiengang Life Sciences – Biologie (an der School of Life Science) ermöglicht Studierenden eine breite grundlegende Orientierung in den Lebenswissenschaften. Im Bachelorstudiengang Biologie steht das molekulare und systemische Verständnis aller biologischer Prozesse im Mittelpunkt. Hierfür werden – anders als im Bachelor Bioinformatik – Grundlagen auf dem gesamten Gebiet der Biologie vermittelt, die auch fundiertes Fach- und Methodenwissen in den Bereichen der Botanik, Zoologie, Mikrobiologie etc. umfassen. Im Bachelor Bioinformatik steht dagegen die Ausbildung in computergestützten Methoden im Fokus, mit denen die Studierenden lernen, gezielt biologische Systeme und Zusammenhänge zu abstrahieren und zu untersuchen. Überschneidungen gibt es – neben mathematischen, physikalischen und chemischen Grundlagen – hinsichtlich theoretischer Grundlagen aus der Physiologie, der Biochemie und der Genetik. Die Studiengänge zielen damit auf unterschiedliche Profile (Lebenswissenschaftler und Bioinformatiker) ab, die sich in Wissenschaft und Praxis ergänzen: die Bioinformatiker leisten (durch Softwareentwicklungen und mathematischen Modellen) problembezogene Unterstützung für Lebenswissenschaftler.

Während der Bachelor Informatik auf die Konstruktion von informationsverarbeitenden Systemen sowohl für allgemeine und als auch spezielle Anwendungen abzielt, konzentriert sich die Ausbildung im Bachelorstudiengang Bioinformatik auf die Durchführung datenbasierter Methoden zur Untersuchung biologischer, biochemischer, molekularbiologischer Prozesse. Im Bachelor Bioinformatik konzentriert sich die informatische Ausbildung damit eher auf theoretische und algorithmische Aspekte (um dann im Master Prototypen für den Forschungsgebrauch zu entwickeln). Im Bachelorstudiengang Informatik werden dagegen auch technische Grundlagen und Ingenieursaspekte hinsichtlich Planung und Erstellung von Software berücksichtigt. Anders als im Bachelor Informatik stehen im Bachelor Bioinformatik zudem wichtige Bereiche der Biologie (insb. die Molekularbiologie) und der Biochemie/Chemie auf dem Lehrplan.

6 Aufbau des Studiengangs

Bioinformatik nutzt die Werkzeuge der Informatik (inkl. anderer theoretischer Fächer), um Fragen der Biologie (inkl. anderer Lebenswissenschaften und der Medizin) zu beantworten. Diesen Brückenschlag spiegelt der Aufbau des Bachelorstudiengangs wider. Bioinformatik, Informatik, und Biologie bilden dementsprechend die drei Disziplinen bzw. „Säulen“, auf denen das BIM-BS (Bioinformatik München Bachelorstudiengang) aufbaut. Das BIM-BS-Curriculum basiert somit auf der Vermittlung von Grundkenntnissen in drei Disziplinen: (1) Bioinformatik, (2) Informatik, Mathematik, Statistik, und (3) Biologie, Biochemie. Die Grundkenntnisse sind Voraussetzung für die Anwendung bioinformatischer Werkzeuge in der Praxis: Ohne das Verständnis der mathematischen und informatischen Grundlagen der Bioinformatik einerseits, und ohne die Kenntnis der wesentlichen biologischen Prinzipien und des aktuellen Stands der biologischen Forschung andererseits, können die Studierenden weder Funktion bioinformatischer Algorithmen noch die Sinnhaftigkeit ihrer Anwendungen verstehen und beurteilen. Dies bedeutet, dass besonders das Hauptfach Bioinformatik inhaltlich und didaktisch stark von den beiden anderen Säulen abhängig ist. Für das Verständnis der Anwendung und der Relevanz von Bioinformatik sowie bei der Interpretation von Ergebnissen bedarf es des biologischen Hintergrundwissens. Zur Formalisierung, Lösungskonzeption und Implementierung dagegen bedarf es der entsprechenden Voraussetzungen aus den Gebieten der Mathematik und Informatik. Nur wenn beide Abhängigkeiten erfüllt sind, kann man den darauf aufbauenden Bioinformatikbaustein verstehen und benutzen.

Die Fach- und Methodenkompetenzen der drei genannten Säulen werden in Modulen vermittelt, die den jeweiligen übergeordneten Disziplinen zugeordnet sind. Insbesondere die obligatorischen Informatik-, Mathematik- und Statistik-Grundmodule sind hinsichtlich der Lernergebnisse identisch zu jenen Modulen, die auch für den Bachelorstudiengang Informatik abzuschließen sind. Zusätzlich werden die grundlegenden Einführungsmodule aus Biologie und Biochemie belegt. Das Bindeglied bilden spezielle Bioinformatikmodule in einer eigenen Säule. Diese werden durch einschlägige Seminare und Praktika mit der Bearbeitung typischer Bioinformatikfragestellungen ergänzt. Die Abbildungen 8a und 8b veranschaulichen die inhaltlichen und sekundär auch zeitlichen Abhängigkeiten der Module im Bachelor Bioinformatik. Daneben zeigt die Farbgebung in den Abbildungen 8a und 8b einzelner Module auch die Auswahlmöglichkeiten der Studenten hinsichtlich von behandelten Themen bzw. der abhaltenden Universität an.

Die für das Qualifikationsprofil notwendige Sicherstellung von Grundlagenkenntnissen aus der Mathematik/Informatik sowie aus der Biologie und Biochemie führt damit zu einem vergleichsweise hohen Pflichtanteil im Studiengang. Der Studiengang ist so konzipiert, dass er den Studierenden dennoch Freiräume für ein flexibles und selbstbestimmtes Studium eröffnet. So besteht – neben einem Wahlbereich von insgesamt 6 Credits – im Rahmen verschiedener Pflichtmodule aus dem Bereich der Bioinformatik (siehe unten) die Möglichkeit, aus verschiedenen Lehrveranstaltungen/Dozierenden und damit aus verschiedenen Themen und Inhalten zu wählen. Das wird dadurch erreicht, dass es im Rahmen dieser Module mehrere parallele Lehrveranstaltungs- und Themenangebote gibt (häufig auch aus Kapazitätsgründen), die zwar in den Lernergebnissen gleichwertig, inhaltlich aber unterschiedlich sein können. Über das Angebot werden die Studierenden vorab informiert (im Laufe der Vorlesungszeit des vorherigen Semesters) und können entsprechend ihrer Interessen auswählen.

Der Studiengang bietet – wie weiter oben bereits angesprochen – einen Wahlbereich (6 Credits) für eine erste fachliche Profilierung in den Bereichen Bioinformatik, der Biologie und Biochemie und/oder einer Wissenserweiterung im Feld der Mathematik/Statistik/Informatik. Neben den Modulen, die im Wahlmodulkatalog in Anlage 1 der FPSO gelistet sind, können in der Regel auch Fachmodule aus dem Wahlmodulkatalog des Master Bioinformatik sowie auf Einzelantrag Fachmodule aus weiteren TUM-Studiengängen eingebracht werden. Explizit im Wahlfachkatalog in Anlage 1 aufgeführt sind Module, die mit den bis dahin erworbenen Kenntnissen im Bachelor Bioinformatik zu absolvieren sind und aus Erfahrung häufiger gewählt werden. Zudem gibt es für den Bereich der überfachlichen Qualifikationen ein Wahlmodul „Ethik und Bioinformatik“ (IN5084, 3 Credits), dass die Studierenden auf Wunsch ebenso in diesem Bereich einbringen können. In dem Modul werden ethische Fragestellungen behandelt, die für Fragen in der Bioinformatik relevant sind. So können ethische Fragestellungen – neben dem Modul „problembasiertes Lernen“ (IN2343) – nochmals verstärkt behandelt werden.

Trotz hohem Pflichtanteil lässt der Studiengang Freiräume für ein selbstbestimmtes Studium zu. Neben dem genannten Wahlbereich gibt es weitere Wahloptionen im Studium, die im Folgenden (mit Blick auf Abbildung 8a und 8b) erläutert werden. Dabei unterscheiden sich Abbildung 8a und 8b in dem Punkt, an welcher Universität (Abbildung 8a = TUM, Abbildung 8b = LMU) Module belegt werden können. In den gelb markierten Pflichtmodulen wird den Studierenden eine thematische Wahl eröffnet. Bei den grün, blau, rot, orange gefärbten Modulen wählen die Studierenden aus, ob sie diese an der TUM oder LMU belegen möchten (siehe auch FPSO). In der Regel werden Module der LMU in der Innenstadt und in Großhadern, Module der TUM in Garching und in Weihenstephan abgehalten. Die Entscheidung der Modulauswahl ist somit auch eine über den individuell bevorzugten Studienort. Es ist anzumerken, dass bei einer Abweichung von der empfohlenen Belegung[14] ein überschneidungsfreies Studium nicht umfänglich gewährleistet werden kann.

- Gelb markiert sind die Module IN2343, WZ8008, WZ8006, IN2294 und IN2325. Hier handelt es sich im engeren Sinne um Modulcontainer, in denen die Studierenden eine thematische/inhaltliche Wahl treffen sollen.
    - Bereits im zweiten Semester werden die Studierenden thematisch vor die Wahl gestellt: Im zweisemestrigen Seminar IN2343 „Problembasiertes Lernen“ sollen die Studierenden an die wissenschaftliche Arbeitsweise in der Bioinformatik anhand verschiedener Themen bzw. Fragestellungen herangeführt werden. Der Fokus liegt auf dem Erlernen einer wissenschaftlich korrekten Arbeitsweise (insbesondere auf dem Literaturstudium) sowie einer reflektierten Diskussionsweise; die zu erwerbenden Kompetenzen sind eher themenunabhängig. Mit Blick auf eine Gruppengröße von ca. 15 Studierenden werden je nach Bedarf mehrere Seminar-Lehrveranstaltungen parallel von den am Studiengang beteiligten Lehrenden der jeweiligen Fakultäten angeboten. Die Fragestellungen in den verschiedenen Seminaren können thematisch sehr unterschiedliche Bereiche ansprechen (z.B. Algorithmik, Genomik, Proteomik,

[14] Aus stundenplantechnischen Gründen wird empfohlen die grundständigen Mathmatik- und Informatik-module an derselben Universität abzulegen. Siehe dazu die Studienpläne in den Tabellen 2 und 3.

Transkriptomik, Maschinelles Lernen, Systembiologie, etc.). Die Themenauswahl wird frühzeitig am Ende der Vorlesungszeit des vorherigen Semesters bekannt gegeben. Die Studierenden können mit Erst- und Zweitwunsch ihre Wahl treffen und werden entsprechend ihrer Themenpräferenz zugeteilt. In der Regel ist von mindestens fünf Seminaren/Themen auszugehen.

- Das Modul „Praktikum Genomorientierte Bioinformatik“ (WZ8006) im fünften Semester läuft hinsichtlich der Wahl wie Modul IN2343 ab. Im Praktikum arbeiten sich die Studierenden im Team unter Anleitung systematisch in ein klar umrissenes Forschungsprojekt ein. Auch hier sind die zu erwerbenden Kompetenzen themenunabhängig. Den Studierenden stehen vorab verschiedene Forschungsprojekte zur Auswahl, die von den ausrichtenden Lehrstühlen/Fakultäten vorgegeben werden; sie orientierten sich an aktuellen Forschungsthemen der Lehrstühle der Bioinformatik (z.B. -omics Datenanalyse, System-biologie, Analyse und Interpretation biologischer Netzwerke, Analyse von Proteinstruktur- und Proteinfunktionsdaten, genetisch bedingte Krankheiten). Auch hier werden die Themen rechtzeitig (Ende der Vorlesungszeit des vorherigen Semesters) bekannt gegeben.
- Im Rahmen des Moduls WZ8008 „Praktikum Molekularbiologie und Biochemie“ lernen die Studierenden Technologien und Standardmethoden der Molekularbiologie und Biochemie unter Anleitung im Labor anzuwenden. Die Studierenden können im Rahmen verfügbarer Laborkapazitäten aus zwei Praktika wählen, in denen teilweise unterschiedliche Standardmethoden behandelt werden. Im TUM-Praktikum sind sie in einen Gesamtarbeitsablauf eingebettet, im LMU-Praktikum werden sie eher unabhängig voneinander in verschiedenen Organismen eingesetzt. Im TUM-Praktikum wird die Klonierung eines rekombinanten Proteins behandelt (u.a. Plasmidreinigung, Restriktion, Ligation, Transformation, PCR, DNA Sequenzierung, Expression, Enzymkinetik), an der LMU werden u.a. folgende Standardmethoden behandelt: DNS-Extraktion, RNS-Extraktion, Protein-Extraktion, Gel-Elektrophorese, molekulare Klonierung, Enzymkinetik. Untersuchungen werden hier mit Bakterien, Pilzen und Insekten durchgeführt.
- Die Bachelor-Thesis (IN2325) kann, sofern das Thema der Bioinformatik entnommen wurde, laut FPSO (§46) von „fachkundigen Prüfenden der am gemeinsamen Studiengang beteiligten Fakultäten“ betreut werden. Darüber hinaus werden auf Antrag auch Themensteller aus der Medizin oder der Mathematik der TUM zugelassen. Für das Modul „Praktische Arbeit“ (IN2294), das als vorbereitendes Modul der Bachelor-Thesis gesehen werden kann, gilt dies analog. Das bedeutet, dass die Studierenden aus einem sicherlich im Vergleich zu anderen Bachelorstudiengängen besonders großen Pool an Themen und betreuenden Dozierenden wählen kann.

In den Pflichtbereichen Informatik und Mathematik wählen die Studierenden, ob sie das Angebot der LMU oder TUM nutzen möchten. Hinsichtlich Lernergebnissen und Inhalten ist das

Modulangebot von LMU und TUM insgesamt im Wesentlichen gleich; bezüglich Reihenfolge und Zuordnung der Themen/Lernergebnisse in den Modulen gibt es aber vereinzelt Unterschiede.[15]

Die grünen („Grundlagen Datenbanken“ (IN0008/TUM) und „Datenbanksysteme“ (IN5006/LMU)) und blauen Module („Grundlagen Algorithmen und Datenstrukturen“ (IN0007/GAD,TUM), „Algorithmen und Datenstrukturen“ (IN5004/ADS, LMU)) sind jeweils äquivalente Angebote. Die Studierenden wählen, an welcher Universität sie die Module absolvieren. Die roten Pflichtmodule aus der Informatik müssen komplett in folgender Kombination entweder an der TUM oder an der LMU erbracht werden: IN2342, IN0007, IN0011 an der TUM oder IN5002, IN5112, IN5004 und IN5005 an der LMU. Dies gilt auch für die orangefarbenen Mathematikmodule (IN0015, MA0902, MA0901, IN0018/TUM oder IN5007, IN5008, IN5009, IN5010/LMU).

[15] Siehe hierzu die etwas unterschiedlichen Modulkonzeptionen/-größen im Modulbereich „Theoretische Informatik“ und „Grundlagen der Informatik“.

Abhängigkeitsgraph der Kompetenzen (TUM)

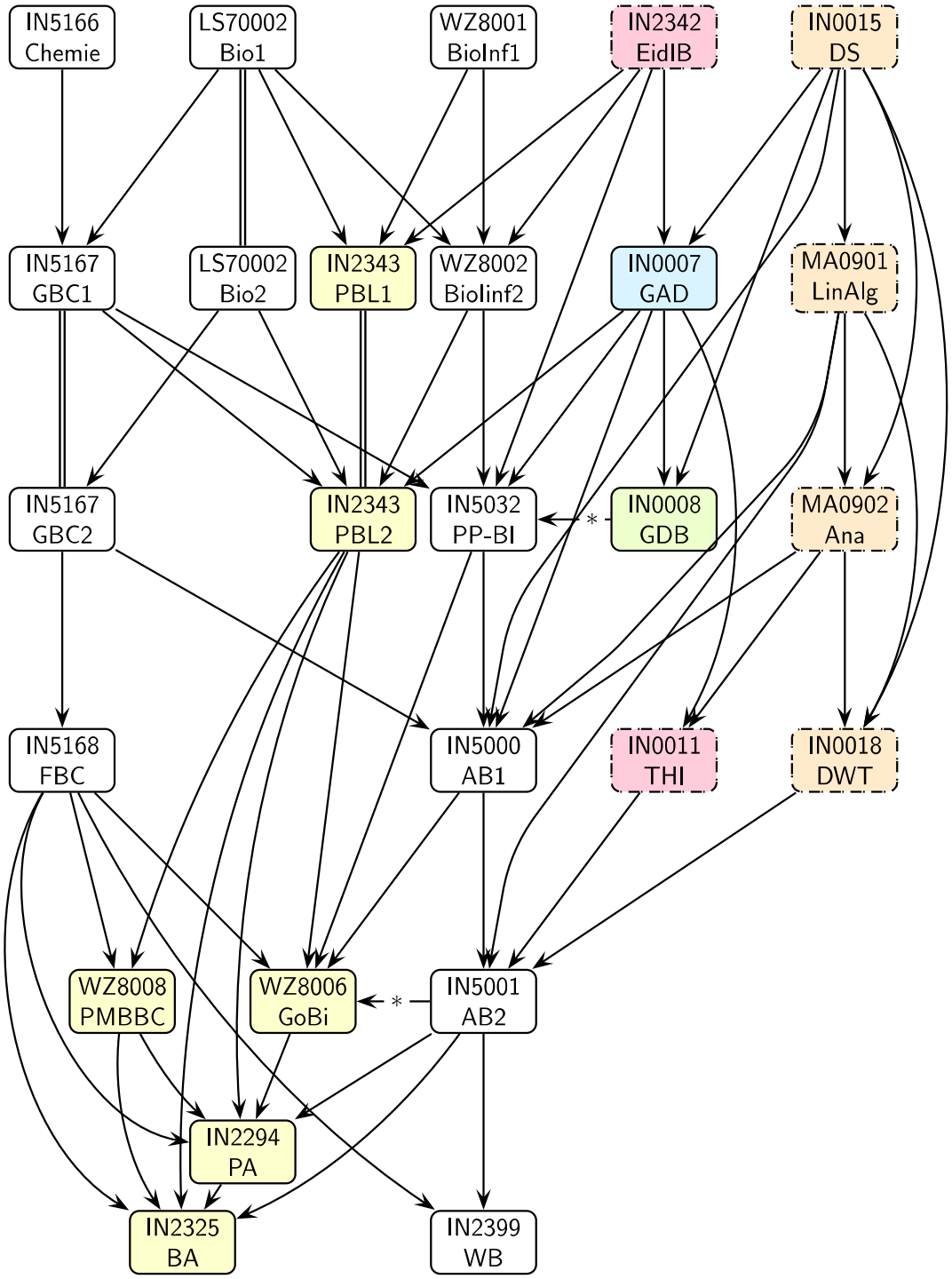

Abbildung 8a: Abhängigkeiten der einzelnen Module des Bachelor Bioinformatik bei Belegung der Mathematik/Informatik Module an der TUM

Abhängigkeitsgraph der Kompetenzen (LMU)

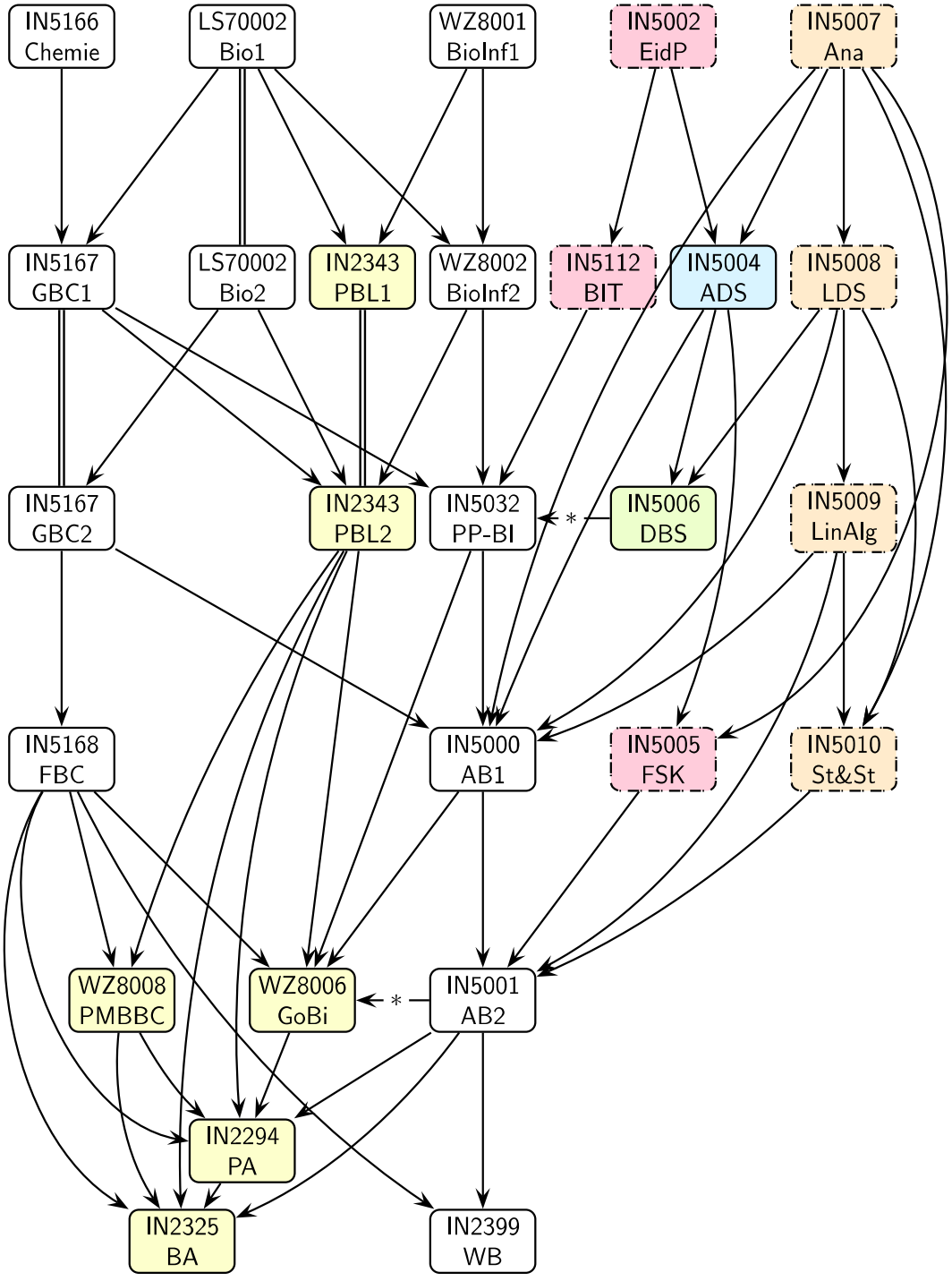

Abbildung 8b: Abhängigkeiten der einzelnen Module des Bachelor Bioinformatik bei Belegung der Mathematik/Informatik Module an der LMU

Der skizzierte Studienplan (siehe Tabelle 2 bzw. Tabelle 3) gibt einen Überblick über den Ablauf des BIM-BS. Die drei Säulen – Bioinformatik (90 ECTS), Biologie (+Biochemie, +Chemie, 30 ECTS), Informatik (30 ECTS) und Mathematik/Statistik (30 ECTS) – sind jeweils unterschiedlich gefärbt. In der letzten Spalte sind jeweils die pro Semester zu erzielenden ECTS und die Anzahl der Prüfungen angegeben. Den größten Teil nehmen die dedizierten Bioinformatikmodule ein, die sich ohne die Bachelor's Thesis (12 ECTS) auf insgesamt 78 ECTS belaufen. Diese Module werden kollegial von den Bioinformatikprofessorinnen und -professoren beider Universitäten gehalten.

Tabelle 2: Schematischer Studienplan des 6-semestrigen Bachelor Bioinformatik bei Belegung der Mathematik/Informatikmodule an der LMU.

Module						Credit Points/ Prüfungsanzahl
WZ8001 Einführung in die Bioinformatik I (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN5007 Analysis (Pflicht) schriftlich 9 CP	IN5002 Einführung in die Programmierung (Pflicht) schriftlich 9 CP	IN5166 Chemie (Pflicht) schriftlich 3 CP	LS70002 Biologie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP		30 / 4
WZ8002 Einführung in die Bioinformatik II (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN2343 Problem basiertes Lernen (Pflicht) Präsentation 4 von 9 CP	IN5004 Algorithmen und Datenstrukturen (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN5112 Bioinformatik-Tutorium (Pflicht) schriftlich 3 CP	IN5008 Logik und Diskrete Strukturen (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN5167 Grundlagen zur Biochemie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP	LS70002 Biologie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP	31 / 5
IN2343 Problem basiertes Lernen (Pflicht) Präsentation 5 von 9 CP	IN5032 Programmierpraktikum Bioinformatik (Pflicht) Laborleistung 9 CP	IN5009 Lineare Algebra (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN5006 Datenbanksysteme (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN5167 Grundlagen zur Biochemie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP			29 / 5
IN5000 Algorithmische Bioinformatik I (Pflicht) schriftlich 9 CP	IN5005 Formale Sprachen und Komplexität (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN5010 Stochastik und Statistik (Pflicht) schriftlich 9 CP	IN5168 Fortgeschrittene Biochemie (Pflicht) schriftlich 6 CP				30 / 4
IN5001 Algorithmische Bioinformatik II (Pflicht) schriftlich 9 CP	WZ8006 Praktikum Genomorientierte Bioinformatik (Pflicht) Laborleistung 12 CP	WZ8008 Praktikum Molekularbiologie und Biochemie (Pflicht) Laborleistung 9 CP					30 / 3
Bachelor's Thesis (Pflicht) 12 CP	IN2399 Weiterführende Bioinformatik (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN2294 Praktische Arbeit (Pflicht) wissenschaftliche Ausarbeitung 6 CP	- Wahlmodul (Wahl) - 6 CP				30 / 4

Legende:	
	grün = Bioinformatik
	blau = Informatik/Mathematik/Statistik (LM
	gelb = Biologie/Biochemie/Chemie
	schraffiert = Wahlmodul

Summe: 90 CP
Summe: 60 CP
Summe: 30 CP

In Tabelle 2 bzw. Tabelle 3 sind die Studienpläne jeweils mit allen Modulen der zweiten Säule Informatik, Mathematik und Statistik von der LMU bzw. von der TUM angegeben. Beide Studienpläne entsprechen den Vorgaben der Kultusministerkonferenz (KMK) und sind, wie in den Stundenplänen dargelegt, auch studierbar. Den Studierenden steht es frei, unter Berücksichtigung der im folgenden Absatz genannten Äquivalenzen von Modulen, die Module der zweiten Säule Informatik, Mathematik und Statistik frei zu wählen. Aufgrund der kombinatorischen Explosion der möglichen Studienpläne kann sich dabei sowohl die ECTS-Belastung pro Semester ändern als auch die Überschneidungsfreiheit der Module im Stundenplan und bei Prüfungen nicht immer gewährleistet werden. Daher wird den Studierenden vor einer solchen Entscheidung der Besuch der Fachstudienberatung empfohlen.

Tabelle 3: Schematischer Studienplan des 6-semestrigen Bachelor Bioinformatik bei Belegung der Mathematik/Informatikmodule an der TUM.

Semester	Module						Credit Points/ Prüfungsanzahl
1.	WZ8001 Einführung in die Bioinformatik I (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN0015 Diskrete Strukturen (Pflicht) schriftlich 8 CP	IN2342 Einführung in die Informatik für Bioinformatiker (Pflicht) schriftlich 10 CP		IN5166 Chemie (Pflicht) schriftlich 3 CP	LS70002 Biologie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP	30 / 4
2.	WZ8002 Einführung in die Bioinformatik II (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN2343 Problem basiertes Lernen (Pflicht) Präsentation 4 von 9 CP	IN0007 Grundlagen: Algorithmen und Datenstrukturen (Pflicht) schriftlich 6 CP	MA0901 Lineare Algebra (Pflicht) schriftlich 8 CP	IN5167 Grundlagen zur Biochemie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP	LS70002 Biologie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP	30 / 4
3.	IN2343 Problem basiertes Lernen (Pflicht) Präsentation 5 von 9 CP	IN5032 Programmierpraktikum Bioinformatik (Pflicht) Laborleistung 9 CP	MA0902 Analysis (Pflicht) schriftlich 8 CP	IN0008 Grundlagen: Datenbanken (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN5167 Grundlagen zur Biochemie (Pflicht) schriftlich 3 von 6 CP		31 / 5
4.	IN5000 Algorithmische Bioinformatik I (Pflicht) schriftlich 9 CP	IN001 Einführung in die Theoretische Informatik (Pflicht) schriftlich 8 CP	IN0018 Diskrete Wahrscheinlichkeitstheorie (Pflicht) schriftlich 8 ECTS	IN5168 Fortgeschrittene Biochemie (Pflicht) schriftlich 6 CP			29 / 4
5.	IN5001 Algorithmische Bioinformatik II (Pflicht) schriftlich 9 CP	WZ8006 Praktikum Genomorientierte Bioinformatik (Pflicht) Laborleistung 12 CP		WZ8008 Praktikum Molekularbiologie und Biochemie (Pflicht) Laborleistung 9 CP			30 / 3
6.	Bachelor's Thesis (Pflicht) 12 CP	IN2399 Weiterführende Bioinformatik (Pflicht) schriftlich 6 CP	IN2294 Praktische Arbeit (Pflicht) wissenschaftliche Ausarbeitung 6 CP	- Wahlmodul (Wahl) - 6 CP			30 / 4

Legende:	
	grün = Bioinformatik
	blau = Informatik/Mathematik/Statistik (TU
	gelb = Biologie/Biochemie/Chemie
	schraffiert = Wahlmodul

Summe: 90 CP
Summe: 60 CP
Summe: 30 CP

Die Lernergebnisse der Module in Informatik an der LMU bzw. der TUM sind im Wesentlichen gleichwertig, ebenso sind die Lernergebnisse der Module im Bereich Mathematik und Statistik an der LMU bzw. an der TUM im Wesentlichen gleichwertig. Bei der Wahl der Module in der zweiten Säule Informatik, Mathematik und Statistik ist jedoch dabei zu beachten, dass sowohl im Bereich Informatik als auch im Bereich Mathematik und Statistik jeweils genau 30 ECTS zu erbringen sind. Somit ergeben sich die folgenden äquivalenten Modulgruppen an der LMU und der TUM, die jeweils gemeinsam an einer der beiden Universitäten absolviert werden müssen:

- *Einführung in die Programmierung*, *Bioinformatik-Tutorium*, und *Formale Sprachen und Komplexität* [alle LMU] zu *Einführung in die Informatik für Bioinformatiker* und *Einführung in die Theoretische Informatik* [alle TUM]

- *Algorithmen und Datenstrukturen* [LMU] zu *Grundlagen: Algorithmen und Datenstrukturen* [TUM]

- *Datenbanksysteme* [LMU] zu *Grundlagen: Datenbanken* [TUM]

- *Analysis*, *Logik und Diskrete Strukturen*, *Lineare Algebra, Stochastik und Statistik* [alle LMU] zu *Diskrete Strukturen, Lineare Algebra*, *Analysis* und *Diskrete Wahrscheinlichkeitstheorie* [TUM]

Da gleichnamige Module an LMU und TUM in unterschiedlichen Fachsemestern gehalten werden, kann es sein, dass sie sich aus didaktischen Gründen inhaltlich in allgemeinen Grundlagen und damit auch in den ausgewiesenen Credit Points (CP) unterscheiden.

Die Disziplin Bioinformatik dient dem Erwerb der zentralen Kompetenzen des Studiengangs: so werden in den Modulen Einführung in die Bioinformatik I, II und der Weiterführenden Bioinformatik die Grundlagen der Sequenz- und Genomanalyse, der Strukturbioinformatik, der sog. –omics-Technologien vermittelt. Theorie und Praxis des Entwurfs und der Anwendung bioinformatischer Algorithmen werden im 3. mit 5. Semester sowohl mit den Modulen Algorithmische Bioinformatik I und II als auch mit dem Programmierpraktikum Bioinformatik und dem Praktikum Genomorientierte Bioinformatik vermittelt. Diese Kenntnisse werden in Übungen, Seminaren und Praktika weiter vertieft.

Das zweisemestrige Modul „Problembasiertes Lernen“ (Semester 2 und 3) führt die Studierenden unter Anleitung in den Umgang mit wissenschaftlicher Literatur in der Bioinformatik ein und hat einen Seminarcharakter. Hier wird die Kompetenz erworben, sich mit konkreten wissenschaftlichen Fragestellungen aus der Bioinformatik selbständig vertraut zu machen, d.h. dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sich für eine gegebene Fragestellung selbständig in die Literatur einarbeiten können, die wesentlichen Konzepte verstehen und reproduzieren können, diese sowohl in einem Vortrag als auch schriftlich wiedergeben können und ihre Ergebnisse in einer Diskussion wissenschaftlich verteidigen können. Daneben werden auch die ethischen und rechtlichen Rahmenbedingungen und Prozesse in den Grenzbereichen Medizin, Bioinformatik, Ethik, Datenschutz und Künstliche Intelligenz in einem eigenen Block von circa einer Woche mit Vorträgen und Diskussionen betrachtet, was der Befähigung der Studierenden zur gesellschaftlichen Teilhabe dient.

Im Vergleich zum Bachelorstudiengang Informatik an der TUM trägt die technische Informatik nicht zum Qualifikationsprofil des BIM-BS bei und wurde daher nicht in das Curriculum aufgenommen, genauso wie auf ausgewiesene Module zu überfachlichen Grundlagen verzichtet wurde. Überfachliche Fähigkeiten („Softskills“, wie Zeit-und Selbstmanagement, Projektplanung und Konfliktlösung in der Gruppe) werden im Rahmen von Praktika („Programmierpraktikum Bioinformatik“, Semester 3 und „Praktikum Genomorientierte Bioinformatik“, Semester 5) sowie im Modul „Problembasiertes Lernen“ (Semester 2 und 3) erworben.

Die Fähigkeit, informatische Methoden und mathematische Modelle auf Probleme in den Lebenswissenschaften anwenden zu können, kann nicht alleine aus Vorlesungen und Übungen angeeignet werden. Hierzu sind im Curriculum Seminare und Praktika vorgesehen, um den interdisziplinären Brückenschlag an praktischen Beispielen auszuführen. Im Gegensatz zur Informatik ist neben der reinen Entwicklung und Implementierung von Algorithmen auch die Fähigkeit, mit in der Regel unvollständigen Spezifizierungen der Problemstellungen aus den Lebenswissenschaften und den nicht einheitlichen bzw. in unterschiedlich vorliegenden Formaten umgehen zu können, eine wesentliche Herausforderung in der Bioinformatik, auf die in den Praktika eingegangen wird.

Im „Programmierpraktikum Bioinformatik“ im dritten Fachsemester wird die konkrete Implementierung vorgegebener Algorithmen für reale Daten aus den Lebenswissenschaften erlernt, wobei hier die Spezifikationen relativ vollständig sind, jedoch auch die Aufbereitung der biologischen Daten und die sinnvolle Interpretation der Ergebnisse Teil des Lernergebnisses ist. Das weiterführende „Praktikum Genomorientierte Bioinformatik“ im fünften Fachsemester basiert auf

einer vorgegebenen biologischen bzw. bioinformatischen Fragestellung mit einer unvollständigen Spezifikation, so dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Spezifikation und die Modellierung der Fragestellung sowie die Methoden zum Beantworten der Fragestellung und zur Validierung der Ergebnisse unter Anleitung selbst auswählen.

Auch das „Praktikum Molekularbiologie und Biochemie“ im fünften Fachsemester spielt in diesem Kontext eine bedeutende Rolle. Hier werden nicht nur Kompetenzen zur eigenständigen Durchführung einfacher Laborexperimente erworben, sondern insbesondere auch das Verständnis für die und das Problembewusstsein bei der Erstellung experimenteller Daten im Labor geschärft, insbesondere für die damit verbundenen Probleme exakte Ergebnisse aufgrund der biologisch limitierenden Randbedingungen ermitteln zu können.

Insgesamt bereiten die Seminare und Praktika auf die „Praktische Arbeit“ und die „Bachelor Thesis“ vor. Das Modul „Praktische Arbeit“ dient zur selbständigen Vertiefung in einen engeren Bereich der Bioinformatik, aus dem sich in der Regel dann das Thema der Bachelor Thesis ergibt. Hierzu wird unter Anleitung der Themenstellerin bzw. des Themenstellers als Ergebnis eine bioinformatische Fragestellung ausformuliert und so weitgehend spezifiziert, dass die ausführliche Bearbeitung als Bachelor’s Thesis erfolgen kann. Das Modul wird mit einer wissenschaftlichen Ausarbeitung abgeschlossen. In der Bachelor Thesis soll für diese Problemstellung aus der Bioinformatik selbständig zuerst eine geeignete Modellierung und mit deren Hilfe eine rechnergestützte Lösung gefunden werden. Darauf aufbauend sollen die damit erzielten Ergebnisse aus wissenschaftlicher Sicht im Kontext der Themenstellung evaluiert und diskutiert werden.

Für die Bachelor Thesis ist eine Bearbeitungszeit von vier Monaten vorgesehen, da zum einen parallel auch andere Module samt deren studienbegleitenden Prüfungen einschließlich Prüfungsvorbereitung zu absolvieren sind und zum anderen experimentelle Teile der Bachelor Thesis die unverzügliche Weiterarbeit in Vollzeit nicht erlauben. Die Rechenzeiten zur Ausführung der eigenen Implementierung, zur Bestimmung von Modellparametern, zur Validierung der Ergebnisse, zur Evaluierung der Methoden oder zur Simulation können aufgrund der großen biologischen Datenmengen beträchtlich sein. Darüber hinaus kann sich auch erst während der ersten Berechnungen herausstellen, dass die Daten nicht im erwarteten Format vorliegen bzw. Änderungen an den Modellierungen erforderlich sind. Daher hat es sich als sinnvoll herausgestellt, die Bachelor Thesis größtenteils in Teilzeit über einen längeren Zeitraum zu absolvieren und die freie Zeit während der experimentellen Phasen für andere Module sinnvoll zu nutzen.

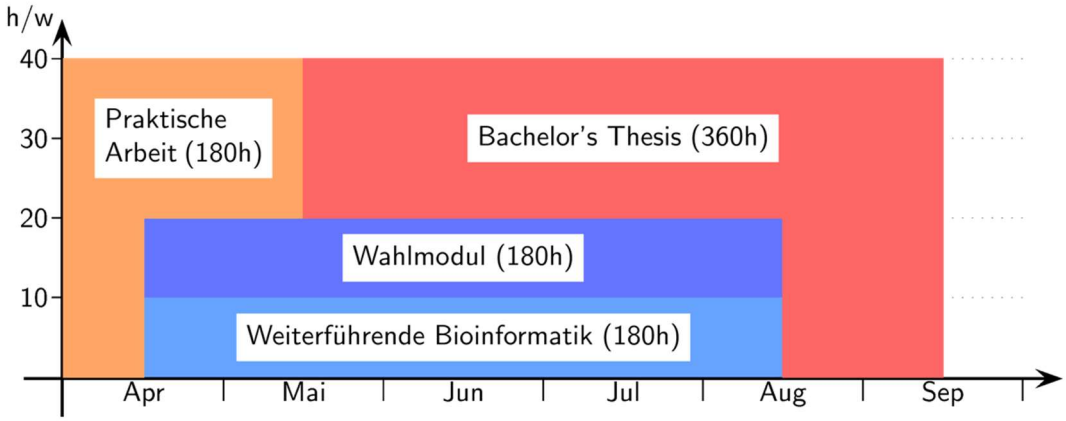

Abbildung 98: Schematische Darstellung der Arbeitsbelastung im letzten Fachsemester.

Der Workload im sechsten Fachsemester ist in Abbildung 98 schematisch dargestellt. Während der ersten drei Monate der Bachelor Thesis wird dabei von einer Belastung von knapp 20 Stunden pro Woche ausgegangen, in der zunächst einige experimentelle Teile ohne Aufsicht automatisiert durchgeführt werden können. Im Vorfeld wird in der Regel das zeitlich recht flexibel durchzuführende Modul „Praktische Arbeit“ durchgeführt; parallel zur Bachelor Thesis werden das Modul „Weiterführende Bioinformatik“ sowie Wahlmodul/e (Umfang 6 Credits) absolviert. Im letzten Monat, insbesondere zum Ausformulieren der Ergebnisse, ist dann eine Arbeit in Vollzeit (40 Stunden) vorgesehen.

Die Informatik-Module umfassen eine Einführung in die Programmierung mit einer praktischen Umsetzung speziell für Problemstellungen aus der Bioinformatik, eine Einführung in Datenbanksysteme, eine Einführung in die Algorithmik sowie in die theoretischen Grundlagen der Informatik, insbesondere im Bereich der Komplexität von Problemen und der formalen Modellierungstechniken. Die Mathematik-Module behandeln die grundlegenden Konzepte und Techniken sowohl in der kontinuierlichen als auch in der diskreten Mathematik und darauf aufbauend werden die Konzepte und Modellierungstechniken in Stochastik und Statistik vermittelt.

In der dritten Säule (Biologie, Chemie und Biochemie) werden die Grundlagen in organischer Chemie und Biologie vermittelt. Darauf aufbauend werden in den Modulen der Biochemie die grundlegenden Prinzipien und Techniken der Molekularbiologie vermittelt, die in einem Praktikum unter Laborbedingungen praktisch vertieft werden. Als Wahlmodule gelten Module aus allen oben genannten drei Säulen. Der Katalog an zugelassenen Wahlmodulen besteht im Wesentlichen aus den gleichen Modulen wie für den Master Bioinformatik und wird fortlaufend angepasst.

Unter Einhaltung der Regelstudienzeit von sechs Semestern ist das vierte Fachsemester am besten für einen Aufenthalt an einer anderen Universität (Mobilitätsfenster) geeignet. Die in diesem Semester vorgesehenen Module der Informatik und Biologie/Biochemie werden häufig in äquivalenter Form an verschiedenen Universitäten angeboten. „Algorithmische Bioinformatik I“ gehört hinsichtlich der Lernergebnisse ebenso oft zum Standardkanon vieler Bioinformatikstudiengänge anderer Universitäten. Auf Antrag ist es möglich bei geeignetem Thema und gastgebender Gruppe die Thesis an einer anderen Institution anzufertigen.

Ein Grund, warum wenige Studierende einen Aufenthalt an anderen Universitäten im Bachelor umsetzen, könnten u.a. die frühzeitigen Bewerbungsfristen vieler Förderprogramme sein, die oft

einen Vorlauf von 1,5 Jahren haben. Demnach müssten sich Studierende schon wenige Wochen nach Studienbeginn für ein Auslandssemester bewerben. Aus Rückmeldungen im Qualitätszirkel (QM-Zirkel) geht zudem hervor, dass Studierende ihren Auslandsaufenthalt erst im Master planen. Um interessierten Studierenden dennoch eine bestmögliche Beratung an die Hand zu geben, wurde im QM-Zirkel im Oktober 2021 mit den Studierendenvertreterinnen und –vertretern vereinbart, eine Liste mit bereits im Ausland anerkannten Modulen verschiedener Universitäten zu erstellen, die allen Studierenden zugänglich gemacht wird.

Im Studiengang weisen zwei Pflichtmodule (IN5166 Chemie, IN5112 Bioinformatik Tutorium) weniger als 5 ECTS auf, die damit strukturell von den „Ländergemeinsame(n) Strukturvorgaben für die Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen“ (KMK) abweichen. Diese Strukturvorgaben lassen Ausnahmen vom Regelfall zu, wenn diese wie im vorliegenden Fall hinreichend begründet sind. Es entsteht hierdurch jedoch keine übergroße Prüfungslast pro Semester.

Begründung Modulgröße (Chemie IN5166): Die in diesem Modul erworbenen Fertigkeiten und Kompetenzen in der Beherrschung der grundlegenden Konzepte, Modelle und Arbeitstechniken in der organischen Chemie (wie die Kenntnis der chemischen Bindung, wichtiger organischer Stoffklassen und deren Synthese sowie der organischer Reaktionstypen) ist eine notwendige Voraussetzung für das grundlegende Verständnis der Biochemie und somit für das Modul Grundlagen zur Biochemie (IN5167).

Begründung Modulgröße (Bioinformatik-Tutorium IN5112): Die in diesem Modul erworbenen Fertigkeiten und Kompetenzen in der Beherrschung der grundlegenden Befehle der interaktiven Shell sowie zur Implementierung einfacher Programme in einer objektorientierten Programmiersprache inklusive der Grundkenntnisse der Bedienung einer integrierten Entwicklungsumgebung ist eine notwendige Voraussetzung für das Modul Programmierpraktikum Bioinformatik (IN5032).

7 Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten

Der Bachelor-Studiengang Bioinformatik wird gemeinsam von der Technischen Universität München (TUM) und der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) angeboten. An der TUM sind die Fakultät für Informatik und die TUM School of Life Sciences (TUM-SoLS), an der LMU die Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik, die Fakultät für Biologie und die Fakultät für Chemie und Pharmazie beteiligt.

Das Entscheidungsgremium für Studienangelegenheiten ist der gemeinsame Prüfungsausschuss für Bioinformatik (BIPA). Der Prüfungsausschuss Bioinformatik ist keiner Fakultät zugeordnet. Er besteht aus je drei Mitgliedern der TUM und LMU und setzt sich aus je einer Vertreterin/einem Vertreter pro beteiligter Fakultät zusammen. Ausnahme ist die TUM-SoLS mit zwei Vertreterinnen bzw. Vertretern. Der Prüfungsausschuss tagt regelmäßig ein bis zweimal pro Semester.

Bewerbung, Immatrikulation und Eignungsverfahren werden von der LMU federführend durchgeführt, auch die Fachstudienberatung erfolgt an der LMU. Die Prüfungsverwaltung unter Federführung der TUM wird von der Fakultät für Informatik[16] übernommen, die die Vorsitzende bzw. den Vorsitzenden des BIPA stellt. Das Servicebüro „Studium“ der Informatik (TUM) stellt die operative Schriftführerin bzw. den operativen Schriftführer. Der BIPA arbeitet eng und einvernehmlich mit den Dozierenden, der Studiengangskoordination und der Schriftführung zusammen. So können die unterschiedlichen Einheiten der beteiligten Universitäten ihre spezifischen Zuständigkeiten problemlos verknüpfen, der BIPA und die Schriftführung übernehmen die Koordination.

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

- Studiengangsverantworklicher — Prof. Dr. Thomas Neumann (Studiendekan TUM-IN)

  Operative Studiengangsveranwortung:

  Prof. Dr. Burkhard Rost (TUM-IN)
  Prof. Dr. Ralf Zimmer (LMU-IN)

- Studiengangskoordination: — Prof. Dr. Volker Heun, LMU,
  E-Mail: Volker.Heun@bio.ifi.lmu.de,

  Tel: 089-2180-4341

  Dr. Lothar Richter, TUM,

  E-Mail: richter@in.tum.de

  Tel: +49 89-289-19438

[16] Mit Abschluss der Transformation des Fakultätssystems an der TUM in die neue School-Struktur wird der Bachelorstudiengang in Sachen Prüfungsangelegenheiten künftig von der School of Computation, Information and Technology (CIT) verwaltet.

- Allgemeine Studienberatung:
  zentral:
  Studienberatung und -information (TUM CST)
  E-Mailadresse: studium@tum.de
  Telefonnummer: +49 (0)89 289 22245
  bietet Informationen und Beratung für:
  Studieninteressierte und Studierende
  (über Hotline/Service Desk)
- Fachstudienberatung:
  Prof. Dr. Volker Heun, LMU,
  E-Mail: Volker.Heun@bio.ifi.lmu.de,

  Tel: 089-2180-4341

  Prof. Dr. Ralf Zimmer, LMU,

  E-Mail: Ralf.Zimmer@bio.ifi.lmu.de

  Tel: +49 89-2180-4052
- Studienbüro, Infopoint oder Ähnliches:
  Fakultät f. Informatik,
  Raum MI 00.10.014 Tel: 089/289-17593
- Beratung Auslandsaufenthalt/Internationalisierung:
  zentral:

  TUM Global & Alumni Office
  E-Mail: internationalcenter@tum.de

  LMU Referat Internationale Angelegenheiten
  E-Mail: international@lmu.de
  dezentral: Fakultät f. Informatik der TUM

  Martina von Imhoff,
  E-Mail: imhoff@in.tum.de

  Tel: +49 89-289-17553
- Frauenbeauftragte:
  Fakultät f. Informatik der TUM

  Prof. Dr. Anne Brüggemann-Klein,
  E-Mail: frauenbeauftragte@in.tum.de

  Tel: +49 89-289-18659

  Fakultät f. Mathematik, Informatik und Statistik der LMU

  Prof. Dr. Caroline Friedel
  E-Mail: Caroline.Friedel@bio.ifi.lmu.de

  Tel: +49-89-2189-4056
- Beratung barrierefreies Studium:
  zentral:

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

LMU Beratungsstelle der Zentralen Studienberatung (ZSB)
E-Mail: Behindertenberatung@lmu.de
Tel: +49-89-2180-5816

dezentral: Fakultät f. Informatik,
Sibylle Roden-Kinghorst
E-Mail: studienberatung@in.tum.de

Tel: +49 89-289-17284

- Bewerbung und Immatrikulation: Studentenkanzlei der LMU

  Geschwister-Scholl-Platz 1
  80539 München

  Tel: +49 89-2180-9000
- Eignungsfestellungsverfahren: Fakultät f. Mathematik, Informatik und Statistik der LMU

  Prof. Dr. Ralf Zimmer,
  E-Mail: Ralf.Zimmer@ifi.lmu.de
  Tel: +49 89-2180-4052
- Zentrale Prüfungsangelegenheiten: zentral: Zentrale Prüfungsangelegenheiten (TUM CST), Campus Garching
  Abschlussdokumente, Prüfungsbescheide, Studienabschlussbescheinigungen
- Dezentrale Prüfungsverwaltung: Fakultät f. Informatik,
  Willemijn van Gemert
  E-Mail: gemert@in.tum.de
- Prüfungsausschuss: Prof. Dr. Burkhard Rost (Vorsitzende/r)
  Willemijn van Gemert (Schriftführer/in)
- Qualitätsmanagement Studium und Lehre:
  zentral: Studium und Lehre - Qualitätsmanagement (TUM CST)
  www.lehren.tum.de/startseite/team-hrsl/
  dezentral: Fakultät f. Informatik,
  Prof. Dr. Thomas Neumann (Studiendekan)
  E-Mail: neumann@in.tum.de

Birgit Rosenbaum (QM-Beauftragte),
Dr. Monica Serbu (Organisation QM-Zirkel)

8 Entwicklungen im Studiengang

Laut QM-System der TUM findet die operative Weiterentwicklung des Studiengangs durch die Fakultät (bzw. im Fall Bioinformatik durch die beteiligten Fakultäten für Informatik der TUM, der TUM School of Life Sciences, der Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik der LMU und der Fakultät für Biologie und der Fakultät für Chemie und Pharmazie der LMU) statt. Dabei werden Änderungen im Studiengang von verschiedenen Faktoren getrieben: Weiterentwicklungen im Feld der Bioinformatik, Verschiebungen von Zuständigkeiten zwischen den Dozierenden sowie Rückmeldungen und Wünsche von Seiten der Studierenden. Im Fall der Bioinformatik gibt es sogar zwei Ebenen der Rückkopplung mit den Studierenden: Im Rahmen des semesterweise stattfindenden Qualitätszirkels der Fakultät für Informatik an der TUM werden die Rückmeldungen aus der aktuellen Studierenden- und Alumnibefragung gemeinsam mit den Studierendenvertreterinnen und –vertretern eingeordnet und interpretiert und daraus Maßnahmen abgeleitet. Daneben gibt es noch einen informellen Stammtisch, im Rahmen dessen viele Studierende und Dozierende anstehende Fragen diskutieren und so im kontinuierlichen Dialog (etwa einmal pro Semester) stehen. In beiden Fällen werden Protokolle erstellt und die Ergebnisse hinsichtlich der Erwartungen auf dem folgenden Stammtisch sowie im Rahmen des QM-Zirkels überprüft.

Im Zuge der aktuellen Satzungsänderung am 13. Oktober 2021 wurden die Wahlmodulkataloge in der FPSO umbenannt und dem aktuellen Angebot angepasst, da z. B. einzelne Module nicht mehr (in der bekannten Form) abgehalten oder neue Module in den Katalog aufgenommen wurden. Bezüglich des Pflichtmoduls „Biologie“ (LS70002) wechselt die Zuständigkeit von der Fakultät für Biologie der LMU an die School of Life Sciences der TUM und damit auch die Modulnummer. Inhaltlich und prüfungstechnisch finden keine Änderungen statt.

Das Modul „Praktikum Molekularbiologie und Biochemie“ (WZ8008) wird in zwei parallelen Lehrveranstaltungen (Laborpraktika) angeboten, einmal an der TUM School of Life Sciences in Weihenstephan und einmal an der Fakultät für Biologie an der LMU in Großhadern; die Studierenden wählen dabei ein Laborpraktikum aus. Bisher fand das Laborpraktikum an der LMU während der Vorlesungszeit und an der TUM in der vorlesungsfreien Zeit im Anschluss an das Wintersemester statt, in der auch ein Teil des „Praktikums Genomorientierte Bioinformatik“ (WZ8006) stattfindet. Dies hat bei Teilnahme am Laborpraktikum an der TUM zu einer erhöhten zeitlichen Belastung bei den Studierenden in der vorlesungsfreien Zeit geführt. Auf Wunsch der Studierenden wird das Laborpraktikum an der TUM in Weihenstephan nun ebenfalls während der Vorlesungszeit stattfinden. Damit wurde zum einen die zeitliche Belastung in der vorlesungsfreien Zeit für die Studierenden verringert, zum anderen die Wahl der Studierenden zwischen den Laborpraktika an LMU und TUM verbessert: Beide finden montags in der Vorlesungszeit statt; damit gelten für beide Laborpraktika nun dieselben terminlichen Rahmenbedingungen.

Neu ist zudem, dass im Rahmen des Pflichtmoduls „Genomorientierte Bioinformatik“ (WZ8006) nun aus verschiedenen Themengebieten der Bioinformatik (NGS-Daten, Systembiologie, Proteinstruktur- und Funktionsvorhersage, -omics-Daten, etc.) gewählt werden kann. Hierfür werden parallele Lehrveranstaltungen (mind. 3) von jeweils verschiedenen Dozierenden (und ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern) angeboten. Infolge des Wegganges des Lehrstuhlinhabers in Weihenstephan ging die Zuständigkeit für das Modul „Weiterführende Bioinformatik“ an die Fakultät IN über (neue Modulnummer IN2399). Das Modul wurde zudem inhaltlich neu

ausgerichtet. Die entsprechende Anpassung der formalen Zuständigkeit für das Modul „Genomorientierte Bioinformatik“ (WZ8006) ist aus demselben Grund derzeit in Arbeit.

Ebenso neu ist, dass in Modul „problembasiertes Lernen“ (IN2343) verstärkt ethische Aspekte bei der Betrachtung von Prozessen in den Grenzbereichen Medizin, Bioinformatik, Ethik, Datenschutz etc. in den Blick genommen werden, um so die Persönlichkeitsentwicklung der Studierenden frühzeitig zu stärken. Zusätzlich können die Studierenden im Wahlbereich das neue Modul „Ethik und Bioinformatik“ (IN5084, 3 Credits) belegen, das sich ebenso mit ethischen und rechtlichen Aspekten der Bioinformatik auseinandersetzt.

Bei der Überprüfung der noch im Juli 2021 eingereichten und im Oktober 2021 verabschiedeten FPSO hat sich herausgestellt, dass das Modul WZ2489 Humangenetik für Biologen nicht mehr angeboten wird. Es wird deshalb auch nicht mehr im Teil B der Studiengangsdokumentation aufgeführt. Auf die Wahlmöglichkeiten der Studierenden hat dies keinen nennenswerten Einfluss, da auch immer wieder neue Module zum Wahlkatalog hinzukommen.

Im QM-Zirkel im Oktober 2021 wurde mit den Studierendenvertreterinnen und -vertretern vereinbart, eine Liste mit bereits aus dem Ausland anerkannten Modulen verschiedener Universitäten zu erstellen, um an einem Auslandssemester interessierte Studierende besser über passende Modulangebote an anderen Universitäten informieren zu können. Im Rahmen der Diskussion zum Thema Flexibilität und Selbstbestimmung im Studium wurde die vorgeschlagene Streichung des Pflichtmoduls IN2399 „Weiterführende Bioinformatik“ zugunsten einer Vergrößerung des Wahlbereichs von den Studierendenvertretern vorerst abgelehnt. Den Vorschlag einer dauerhaften Überführung des Moduls IN2399 in den Wahlbereich (was keine Streichung des Modulangebotes bedeuten würde) bei gleichzeitiger Vergrößerung des Wahlbereichs soll in den kommenden QM-Zirkeln nochmals eingehender diskutiert werden.