

Mitglieder der Vorstandskommission „Ausbildung in der Biotechnologie“ der DECHEMA

Prof. Dr. Claudia Baldauf	HTW Berlin
Prof. Dr. Martin Bertau	TU Freiberg
Dr. Michelangelo Canzoneri	Sanofi-Aventis Deutschland GmbH, Frankfurt am Main
Dr.-Ing. Ute Dechert	B.R.A.I.N. Biotechnology Research and Information Network AG, Zwingenberg
Prof. Dr. Lutz Fischer	Universität Hohenheim
Dr. Stephan Freyer	BASF SE, Ludwigshafen
Prof. Dr.-Ing. Klaus-Uwe Gollmer	Hochschule Trier
Prof. Dr.-Ing. Percy Kampeis	Hochschule Trier
Dr. Guido Melzer	Corden BioChem GmbH, Frankfurt am Main
Prof. Dr.-Ing. Kai Muffler	TH Bingen
Prof. Dr.-Ing Ralf Pörtner	TU Hamburg
Prof. Dr. Karlheinz Preuß	Hochschule Mannheim
Dr. Carsten Roller	Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland e.V. (VBIO), München
Prof. Dr. Wolfgang Sand	Universität Duisburg-Essen
Prof. Dr. Rolf Schauder	Proxadis Hochschule, Frankfurt am Main
Prof. Dr. Andreas Schmid	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
Dr.-Ing. Karsten Schürle	DECHEMA e.V., Frankfurt am Main
Dr. Frank Stahl	Leibniz Universität Hannover
Prof. Dr.-Ing. Ralf Takors	Universität Stuttgart

IMPRESSUM**Herausgeber**

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Verantwortlich im Sinne des Presserechts

xxxxxxxxxx

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt/Main

www.dechema.de

Erschienen im Januar 2017

Präambel

Mit diesem Positionspapier machen die Autoren Vorschläge für die inhaltliche Ausgestaltung von biotechnologischen und bioverfahrenstechnischen Studiengängen, an denen sich die jeweils involvierten Fachbereiche in Deutschland orientieren können, um Studiengänge zu strukturieren und die Mobilität zwischen Studiengängen zu ermöglichen.

Jeder Studiengang in diesen Fachrichtungen sollte die im Nachfolgenden genannten Grundlagen behandeln. Es werden ausschließlich inhaltliche Vorschläge gemacht. Es geht den Autoren nicht um die Organisation und Struktur der Studiengänge.

Neben der fachlichen Kompetenz legen Unternehmen großen Wert auf Unternehmertum, Führungsfähigkeiten, soziale Interaktion und Kooperation. Kann und muss ein Studium auch auf diese Schwerpunkte eingehen, um Absolventen auf den Arbeitsmarkt vorzubereiten? Wie weit sollte und kann in die freie Gestaltung der Lehre eingegriffen werden, um interdisziplinäre Studiengänge zu ermöglichen? Welche Voraussetzungen müssen für ein effizienteres Studieren geschaffen werden? Diese Fragen sollten bei der Strukturierung von Studiengängen berücksichtigt werden. Sie fallen in den Bereich der jeweiligen Profilbildung der Hochschule und werden hier nicht detaillierter betrachtet. Darunter fällt auch die Integration eines fakultativen externen Praxisanteils.

1 Einleitung

Die ingenieurwissenschaftlichen Fächer, wie z. B. die Verfahrenstechnik, und die naturwissenschaftlichen Fächer, wie Chemie und Biologie, haben in ihren Forschungsaktivitäten die traditionellen Grenzen ihres jeweiligen Faches methodisch und inhaltlich überschritten. Dies führt zwangsläufig sowohl zu einer gegenseitigen Öffnung dieser Disziplinen als auch zur Kooperation mit weiteren naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern wie der Physik oder der Informatik. Im modernen Projektmanagement ist es Praxis, dass Biologen, Chemiker, Pharmazeuten und Verfahrenstechniker intensiv zusammenarbeiten. Für die rasant wachsenden Aufgabenfelder in der Biotechnologie werden Hochschulabsolventen mit fachübergreifendem Verständnis benötigt. In der Vorstandskommission „Ausbildung in der Biotechnologie“ der DECHEMA haben Vertreter aus den Fakultäten von Universitäten und anderen Hochschulen, der Industrie sowie wissenschaftlichen Fachverbänden über die Inhalte von biotechnologischen Studiengängen diskutiert. Die Ergebnisse dieser Diskussionen sind in diesem Konzeptpapier beschrieben. Die hier gemachten Empfehlungen für naturwissenschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge dienen dazu, angesichts der Dynamik der Branche, Hinweise für Verbesserungen in der Ausbildung zu geben. Die im

Folgenden angeführten Lehrveranstaltungen stellen die Grundanforderung an die Curricula grundständiger Studiengänge in der Biotechnologie dar. Die genannten Bereiche spiegeln bewährte Ausbildungsinhalte wider, die in den ersten sechs Semestern absolviert werden sollten. Es ist für die Autoren selbstverständlich, dass die Hochschulen darüber hinaus für ihre Profilbildung bestimmte Schwerpunkte setzen werden. Das macht den Reiz eines föderalen Bildungssystems aus. Daher ist in den Curricula ausreichend Platz für eine solche Profilbildung gegeben. In den Diplomstudiengängen stehen hierfür insbesondere die höheren Semester zur Verfügung. Im Bachelor- und Mastersystem beginnt die Profilbildung im Bachelorstudiengang, wird schwerpunktmäßig aber sicherlich im Masterbereich angesiedelt werden.

2 Grundanforderungen an die Curricula

Biotechnologische und bioverfahrenstechnische Studiengänge sind in Deutschland bereits an vielen Universitäten und Hochschulen etabliert. Bei der Etablierung von Bachelor- und Mastersystemen entstehen weitere Studiengänge mit biotechnologischer Ausrichtung. Ziel der Vorstandskommission „Ausbildung in der Biotechnologie“ der DECHEMA ist es, die Grundlagen zu definieren, die in allen Studiengängen enthalten sein sollten, um als „biotechnologischer“ Studiengang gelten zu können. Die Angaben beziehen sich auf rund 60% des Curriculums. Die Profilbildung erfolgt durch die Vertiefung und Spezialisierung in den weiteren ca. 40% des Curriculums. Da von Seiten der Industrie unterschiedliche Anforderungen an die Absolventen gestellt werden, wird im Folgenden zwischen dem naturwissenschaftlichen „Biotechnologiestudiengang“ und dem ingenieurwissenschaftlichen „Bioverfahrenstechnikstudiengang“ unterschieden. So wird von einem/einer naturwissenschaftlichen Absolventen/Absolventin eher erwartet, dass er/sie über vertiefte Kenntnisse aus dem Bereich der biologischen Systeme (z. B. Biochemie, Molekularbiologie, Gentechnik, Mikrobiologie, Zellbiologie) verfügt, der/die Ingenieur/Ingenieurin dagegen deutlich mehr Wissen in den verfahrenstechnischen Grundlagen (z. B. Wärme- und Stofftransport, Reaktorauslegung, Bilanzierung und Modellierung) mitbringt. Die Absolventen beider Ausrichtungen sollen in der Lage sein, den gesamten biotechnologischen Herstellungsprozess bis zum Endprodukt zu verstehen und zu beurteilen. Die Vermittlung entsprechender Lerninhalte ist daher von besonderer Bedeutung.

2.1 Studiengänge mit naturwissenschaftlicher Ausrichtung

Ein Studiengang Biotechnologie mit naturwissenschaftlicher Ausrichtung soll die Absolventen in die Lage versetzen, die molekularen und zellulären Mechanismen biotechnischer Prozesse zu verstehen und zu analysieren. Dies eröffnet neue und vertiefende Grundlagenfragen für ein Systemverständnis und ermöglicht in der Anwendung eine gezielte Verfahrensentwicklung und -optimierung auf molekularer, Populations- oder Prozessebene. Darum be-

steht der Schwerpunkt der vorgeschlagenen Themenbereiche aus einer fundierten, interdisziplinären naturwissenschaftlichen Ausbildung. Die molekulare und zelluläre Betrachtung sollte jedoch immer vor dem Hintergrund der technischen Randbedingungen eines realen Prozesses erfolgen, so dass ein eigenständiger Themenbereich Verfahrenstechnik zwingend notwendig ist. Darüber hinaus sind spezielle biotechnologische Fachinhalte wie das Handling und die Immobilisierung von Enzymen oder der Einsatz von tierischen Zellen oder Mikroorganismen in Bioreaktoren in einem eigenständigen Block zusammengefasst. Hier werden Kenntnisse und Fertigkeiten direkt an der Schnittstelle zwischen biologischen Systemen (molekular, zellulär) und technischen Apparaten vermittelt. Eine Klammer bilden quantitative Beschreibungen von Stoff- und Energieumwandlungen. Die neu hinzugekommenen und immer bedeutsamer werdenden Bereiche mit naturwissenschaftlicher Prägung wie Nanobiotechnologie, synthetische Biologie, Systembiologie, Biomedizin und Bioinformatik können ergänzend zu den hier vorgeschlagenen Kernkompetenzen Gegenstand individueller Ausgestaltung der Studiengänge sein.

Die Vorstandskommission schlägt die folgenden Grundanforderungen vor:

Grundlagenbereich bei naturwissenschaftlichem Schwerpunkt

60 % des Gesamt-Curriculums (= 100 % der nachfolgenden Auflistung)

davon 60 % naturwissenschaftliche Grundlagen (Themenbereiche I, II und III)

20 % verfahrenstechnische Grundlagen (Themenbereich IV)

20 % Biotechnologie (Themenbereich V)

Mindestens 25% der Ausbildung sollten aus Praktika (Labor, Technikum) an der Hochschule bzw. Universität bestehen. Inhalte des Themenbereichs VI, der die zunehmende Bedeutung von rechtlichen und zulassungsrelevanten Aspekten widerspiegelt, können auch praxisnah unter den Themenbereichen I-V vermittelt oder in nachfolgenden Masterstudiengängen vertieft werden.

Themenbereich I – Biologie**Mikrobiologie**

- » Pro- und eukaryotische Mikroorganismen
- » Mikrobielle Evolution und Systematik
- » Mikrobieller Stoffwechsel, Wachstum
- » Physiologie & Ökologie von Mikroorganismen
- » Hygiene, steriles Arbeiten, Konservierung

Zellbiologie

- » Struktur und Funktion von Mikroorganismen, Tier- und Pflanzenzellen
- » Kompartimentierung, Struktur und Funktion der Organellen
- » Proliferation, Zellzyklus, Apoptose, Differenzierung

Molekulargenetik und Molekularbiologie

- » Grundlagen der Genetik
- » Molekularbiologische Elementarprozesse (u. a. Replikation, Transkription, Translation, virale Systeme)
- » Organisation und Regulation der Genexpression
- » Gendesign, Gensynthese
- » Gentechnische Arbeitsmethoden
- » Transgene Organismen, Gentherapie
- » Omics-Technologien
- » Metabolic engineering

Themenbereich II – Chemie und Physik**Chemische und biochemische Grundlagen**

- » Atombau und chem. Bindung, Stöchiometrie
- » Kinetik (u. a. Michaelis-Menten)
- » Säure-Base-Reaktionen
- » Redox-Reaktionen, Elektrochemie
- » Katalyse (heterogene, homogene und Biokatalyse)
- » Struktur, Funktion und Eigenschaften von Biomolekülen
- » Stoffwechselwege
- » Sekundärmetabolite

Thermodynamik und Wärme- und Stoffübergang

- » Hauptsätze der Thermodynamik
- » Phasengleichgewichte
- » Gastheorie
- » Wärme- und Stoffübergang

Organische Chemie

- » Stereochemie
- » Chemie funktioneller Gruppen und Stoffklassen
- » Grundlegende Reaktionsmechanismen

Analytische Chemie

- » Chromatographische und elektrochemische Trenn- und Analysemethoden
- » Spektroskopische Verfahren
- » Massenspektrometrie
- » Strukturaufklärung organischer Moleküle
- » Analytische Qualitätssicherung, Methodenvalidierung
- » Biosensorik, Chip-Technologie

Physik

- » Physikalische Größen und Einheiten, Impuls- und Energieerhaltung
- » Mechanik
- » Optik
- » Elektrizitätslehre

Themenbereich III – Mathematik und Informatik**Mathematische Grundlagen und Anwendungen**

- » Lineare Algebra
- » Analysis
- » Statistische Methoden
- » Numerische Methoden

Informatik und Bioinformatik

- » Grundlagen der Bioinformatik
- » Algorithmen, Grundlagen der Programmierung
- » Datenbanken, Datenstrukturen
- » Genom-Informatik (u. a. Sequenzanalyse)

Themenbereich V – Biotechnologie

- » Biotechnologische Produkte und Verfahren
- » Enzymtechnik und Biokatalyse
- » Biotransformationen
- » Handhabung von Mikroorganismen in technischen Prozessen
- » Fermentations- und Zellkulturtechnik (auch Single-use-Systeme)
- » Steriltechnik

Themenbereich IV – Verfahrenstechnik

- » Grundlagen der Verfahrenstechnik (u. a. Werkstoffeigenschaften, Strömungslehre, Bilanzierung)
- » Grundoperationen
- » Reaktionstechnik
- » Verfahrensfließbilder
- » Maßstabsvergrößerung
- » Messen, Steuern und Regeln
- » Downstream-processing
- » Prozessökonomie

Themenbereich VI – Rechtliche Grundlagen

- » Biologische Sicherheit, Biostoffverordnung
- » Gefahrstoffverordnung
- » Gentechnikrecht
- » GLP, GMP
- » Sicherheit in der Produktion
- » Qualitätsmanagement

2.2 Studiengänge mit ingenieurwissenschaftlicher Ausrichtung

Von ingenieurwissenschaftlichen Absolventen/Absolventinnen aus bioverfahrenstechnischen Studiengängen wird erwartet, dass sie neben fundierten Kenntnissen über die biologischen Systeme auch vertiefte Kenntnisse über die Technik von Bioprozessen haben. Sie bilden die Grundlage zur Analyse, aber auch zum Design neuartiger Prozesse und Verfahren. Nicht selten besteht ihre Aufgabe zudem darin, neue Anlagen auf Basis neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu entwickeln und bestehende Anlagen für neue Bioprozesse zu modifizieren. Dieses ist ohne Kenntnisse über die klassischen verfahrenstechnischen Fragestellungen (z. B. Durchmischung, Leistungseintrag) nicht möglich. Gleichzeitig muss aber auch das Wissen vorhanden sein, welche Auswirkungen Veränderungen des technischen Systems (z. B. durch einen Scale-up-Prozess) auf das biologische System haben können. Die Ausrichtung der Studiengänge, z. B. in Richtung rote, grüne, weiße Biotechnologie oder Umweltbiotechnologie, ist durch die Profilbildung möglich.

Es werden nachfolgende Grundanforderungen vorgeschlagen.

Grundlagenbereich ingenieurwissenschaftlicher Studiengang

60 % des Gesamt-Curriculums (= 100 % der nachfolgenden Auflistung)

davon 30 % naturwissenschaftliche Grundlagen (Themenbereich I und II)

35 % verfahrenstechnische Grundlagen und Mathematik (Themenbereich III und IV)

35 % Biotechnologie (Themenbereich V und VI)

Mindestens 25% der Ausbildung sollte aus Praktika (Labor, Technikum) an der Hochschule bzw. Universität bestehen. Um die zunehmende Bedeutung von rechtlichen und zulassungsrelevanten Aspekten zu reflektieren, können Inhalte des Themenbereichs VII auch praxisnah unter den Themenbereichen I-VI vermittelt oder in nachfolgenden Masterstudiengängen vertieft werden. Themen aus den Bereichen Prozess- und Anlagenprojektierung und -betrieb (z. B. Kostenrechnung) können Bestandteil der Ausbildung im Vertiefungsbereich oder im Masterstudium sein.

Themenbereich I – Biologie

Angewandte Mikrobiologie und Zellbiologie

- » Pro- und eukaryotische Mikroorganismen (industrielle relevante Produktionsstämme)
- » Struktur und Funktion von Mikroorganismen, Tier- und Pflanzenzellen
- » Stoffwechsel und Wachstum (u. a. Kultivierung, Reinkultur)
- » Hygiene, steriles Arbeiten, Konservierung

Molekulargenetik und Molekularbiologie

- » Grundlagen der Genetik
- » Molekularbiologische Elementarprozesse (u. a. Replikation, Transkription, Translation, virale Systeme)
- » Organisation und Regulation der Genexpression
- » Gentechnische Arbeitsmethoden und transgene Organismen
- » Metabolic engineering

Themenbereich II – Chemie und Physik

Chemische und biochemische Grundlagen

- » Atombau und chem. Bindung, Stöchiometrie
- » Kinetik (u. a. Michaelis-Menten)
- » Säure-Base-Reaktionen
- » Redox-Reaktionen, Elektrochemie
- » Katalyse (heterogene, homogene und Biokatalyse)
- » Struktur, Funktion und Eigenschaften von Biomolekülen
- » Stoffwechselwege
- » Sekundärmetabolite

Thermodynamik und Wärme- und Stoffübergang

- » Hauptsätze der Thermodynamik
- » Phasengleichgewichte
- » Gastheorie
- » Wärme- und Stoffübergang

Grundlagen der organischen Chemie

- » Stereochemie
- » Chemie funktioneller Gruppen und Stoffklassen
- » Grundlegende Reaktionsmechanismen

Analytische Chemie

- » Chromatographische und elektrophoretische Trenn- und Analysemethoden
- » Spektroskopische Verfahren
- » Massenspektrometrie

Physik

- » Physikalische Größen und Einheiten, Impuls- und Energieerhaltung
- » Mechanik
- » Optik
- » Elektrizitätslehre

Themenbereich III – Mathematik und Informatik**Mathematische Grundlagen und Anwendungen**

- » Lineare Algebra
- » Analysis
- » Statistische Methoden
- » Numerische Methoden

Informatik

- » Grundlagen der Informatik
- » Algorithmen, Grundlagen der Programmierung
- » Datenbanken, Datenstrukturen

Themenbereich IV – Verfahrenstechnik**Grundlagen der Verfahrenstechnik (Unit Operation)**

- » Grundlagen der Verfahrenstechnik
- » Grundoperationen
- » Bilanzierung
- » Strömungslehre
- » Wärme- und Stofftransport
- » Reaktionstechnik
- » Reaktorgrundtypen und Verschaltung idealer Reaktoren
- » Verfahrensfließbilder
- » Maßstabsvergrößerung
- » Prozessmodelle
- » Prozessauslegung und -simulation
- » Prozessökonomie

Themenbereich V – Bioprosesstechnik**Bioreaktortechnik**

- » Ausführungen von Bioreaktoren (auch Single-use-Systeme)
- » Wärme- und Stofftransport in biotechnischen Systemen
- » Maßstabsvergrößerung von biotechnischen Systemen
- » Reinigungs- und Steriltechnik (u. a. CIP, SIP)
- » Werkstoffkunde und Materialanforderungen (u. a. Apparatebau und -technik)

Upstream-processing

- » Biotechnische Produkte und Verfahren
- » Enzymtechnik und Biokatalyse
- » Biotransformationen
- » Handhabung von Mikroorganismen in technischen Prozessen
- » Fermentations- und Zellkulturtechnik
- » Typen der biotechnischen Reaktionsführung (u. a. chemostatisch, turbidostatisch, nutristatisch)
- » Abfall, Abwasser und Abluft

Downstream-processing

- » Zellinaktivierung
- » Zellernte und -aufschluss
- » Produkt-Aufarbeitung und Kopplung von Aufbereitungsverfahren
- » Integrierte Bioprosesse (u. a. Kopplung von Downstream-processing und Bioreaktor)
- » Modellierung von Aufbereitungsverfahren
- » Produktformulierung
- » Prozessökonomie

Themenbereich VI – Prozessautomatisierung und -vernetzung**Messtechniken am Bioprozess**

- » Klassische Messgrößen des biotechnischen Prozesses
- » Sensorik am biotechnischen Prozess
- » Messdatenverarbeitung

Steuerungs- und Regelungstechnik

- » Grundlagen der Steuerungs- und Regelungstechnik
- » Lineare Regelungstheorie
- » Nichtlineare Regler
- » Einstellverfahren für Steuerungs- und Regelungsparameter
- » Beschreibung von Regelkreisen mit Blockschaltbildern

Prozessführungssysteme

- » Prozessführungsstrategien
- » Datenerfassung
- » Prozessleitsysteme
- » Programmierbare Steuerung
- » Vernetzte Systeme/ Cyber-physische Systeme

Themenbereich VII – Rechtliche Grundlagen

- » Biologische Sicherheit, Biostoffverordnung
- » Gefahrstoffverordnung
- » Bundesimmissionsschutz-Verordnungen
- » Gentechnikrecht
- » GLP, GMP
- » Sicherheit in der Produktion (u. a. Gesundheit der Mitarbeiter)
- » Qualitätsmanagement

3 Flexibilität und Profilbildung

Flexibilität bei der Gestaltung des Studiums unter Berücksichtigung einer soliden und anerkannten Grundausbildung fördert generell die Studienqualität und erlaubt es, individuelle Neigungen optimal zu fördern. Auch interdisziplinäre Studiengänge wie die Biotechnologie und Bioverfahrenstechnik können dazu Wahlmöglichkeiten schaffen. Dafür sollten die Fachbereiche oder Fakultäten entsprechende Module anbieten, die von den Studierenden kombiniert werden können. Dieses ist insbesondere im Vertiefungsbereich der Curricula sinnvoll, der bis zu 40% des grundständigen Bachelor-Studienganges ausmachen sollte und in diesem Positionspapier bewusst ausklammert wurde. Die Autoren dieses Textes sehen in den verbleibenden Studieninhalten die Möglichkeit, dass die Hochschulen mit dem Lehrangebot auf lokale Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte (SFBS, Forschergruppen, etc.) eingehen und die Studierenden auch mit stark fokussierten Fachgebieten in Kontakt bringen. Die auf einer soliden Grundausbildung aufbauende, lokale Spezialisierung erlaubt den Studierenden, ihren Interessen und Talenten zu folgen und ermöglicht einen gesunden Wettbewerb um die besten Köpfe sowie eine individuelle Profilbildung der Hochschulen. Vor diesem Hintergrund ist das vorliegende Positionspapier gerade nicht der Versuch einer „Gleichmacherei“ sondern dient der Profilbildung auf Basis einer allgemein anerkannten Grundausbildung. In das verbleibende Lehrangebot gehört auch die Vermittlung der sogenannten Schlüsselkompetenzen, die Industrieunterneh-

men von den Stellenbewerbern zunehmend einfordern und die auch für eine akademische Karriere grundlegend sind. In diesem Bereich sind lokale Unterschiede allein auf Grund der jeweiligen Gegebenheiten und Ressourcen unvermeidlich, so dass spezielle Lehrinhalte, die über den Grundlagenbereich hinausgehen, im Rahmen der Profilbildung durch die jeweiligen Hochschulen frei gestaltet werden können (z. B. Elektrobiokatalyse, Systembiologie, Synthetische Biologie, Geobiotechnologie).

Die im Bachelorstudiengang in der Regel stattfindende Straffung der Lehrinhalte macht aber auch deutlich, dass spezielle Lehrveranstaltungen für die biotechnologischen Studiengänge geschaffen werden müssen. So ist es nicht sinnvoll, dass die Studiengänge im Grundlagenbereich lediglich aus bereits bestehenden Modulen anderer Studiengänge (z. B. Chemie, Biologie, Maschinenbau) „konstruiert“ werden. Vielmehr ist eine angepasste Überarbeitung der Lehrinhalte erforderlich. Interessant für die Industrie sind Absolventen, die nach dem Stand der Technik ausgebildet werden. Dasselbe gilt für den Einstieg in eine akademische Karriere, die eine solide Grundlagenausbildung, die auch laborpraktische Kompetenz beinhaltet, voraussetzt. Die Dynamik der Wissensentwicklung in den Bereichen Biotechnologie und Bioverfahrenstechnik muss sich daher in den Lehrinhalten widerspiegeln.

