



University of Stuttgart
Institute of Biochemical Engineering (IBVT)
Allmandring 31, 70569 Stuttgart, Germany
www.ibvt.uni-stuttgart.de

Chemie- und Bio- ingenieurwesen

Ralf Takors

13. Juli 2020

Einführung, BIO

Unabhängig von der Vertiefung gilt: Sie ...

- verfügen über ein **breites und fundiertes mathematisches, natur- und ingenieurwissenschaftliches Grundlagenwissen**, das sie befähigt, die grundlegenden Probleme und Aufgabenstellungen der Verfahrenstechnik zu verstehen sowie den multidisziplinären Zusammenhang der Ingenieurwissenschaften zu verstehen.
- verfügen über grundlegendes **Fachwissen auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik** und können Aufgabenstellungen (Prozesse, Produkte) der Verfahrenstechnik grundlagen-orientiert erkennen, beschreiben und lösen, analysieren und bewerten.
- haben ein grundlegendes **Verständnis für Entwicklungsmethoden** und verfügen über die Fertigkeit, Entwürfe für verfahrenstechnische Produkte, Prozesse sowie Ausrüstungen entsprechend dem Stand ihres Wissens und Verstehens und nach spezifizierten Anforderungen zu erarbeiten.

Unabhängig von der Vertiefung gilt: Sie ...

- haben **grundlegendes Verständnis über experimentelle Untersuchungsmethoden in den Naturwissenschaften und der Verfahrenstechnik** und verfügen über die Fertigkeit, Experimente zu planen und durchzuführen, die Daten grundlegend zu interpretieren und daraus geeignete Schlüsse zu ziehen.
- besitzen Verständnis für in verschiedenen Arbeitsfeldern anwendbare verfahrenstechnische Prozesse und Ausrüstungen, für deren Grenzen und können ihr **Wissen unter Berücksichtigung prozesstechnischer, energetischer, wirtschaftlicher, ökologischer und sicherheitstechnischer Erfordernisse verantwortungsbewusst anwenden.**
- können mit **Spezialisten verschiedener Disziplinen kommunizieren** und zusammenarbeiten, verfügen über eine verantwortliche und selbständige wissenschaftliche Arbeitsweise.

Sie sind qualifiziert für ein Master-Studium.

Studienverlaufsplan

Makrostruktur Studiengang B. Sc. Chemie- und Bioingenieurwesen, PO 2017

1. Semester (WS)	2. Semester (SS)	3. Semester (WS)	4. Semester (SS)	5. Semester (WS)	6. Semester (SS)
Höhere Mathematik I / II 9LP		Höhere Mathematik III 6LP	Strömungsmechanik 6LP	Grundlagen der Mechanischen Verfahrenstechnik 6LP	
Technische Mechanik I 6LP	Technische Mechanik II 6LP	Technische Mechanik 6LP		Chemische Reaktionstechnik I 6LP	Thermische Verfahrenstechnik I 6LP
Maschinen- und Apparatekonstruktion mit Einführung in die Festigkeitslehre 6LP		Technische Thermodynamik I / II 6LP		Thermodynamik der Gemische 6LP	Grundlagen der Stoff- und Wärmeübertragung 6LP
Einführung in die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 3LP			Numerische Methoden I 6LP		
Einführung in die Biotechnik 3LP	Physik (für Chemie- und Bioingenieurwesen) 3LP	Naturwissenschaftliches Vertiefungsfach (Container) <i>Biologie oder Chemie oder Material</i> 6LP		Naturwissenschaftliches Vertiefungsfach (Container) <i>Biologie oder Chemie oder Material</i> 6LP	
	Einführung in die Chemie 6LP	Praktikum 3LP	Systemdynamische Grundlagen der Regelungstechnik 3LP		Nichttechnisches Wahlmodul 3LP
		Arbeitstechniken und Projektarbeit 3LP		Semesterarbeit 6LP	Bachelorarbeit 12LP

Naturwissenschaftliches Vertiefungsfach

Biologie
Bioverfahrenstechnik
Zellphysiologie
Einführung in die Biochemie

oder

Chemie
Physikalische Chemie
Organische Chemie
Theoretische Chemie
Instrumentelle Analytik

oder

Material
Physikalische Chemie
Materialwissenschaft II
Physik, Materialeigenschaften
Strukturanalyse & Mikroskopie

Summe: 27 LP Summe: 33 LP Summe: 30 LP Summe: 30 LP Summe: 30LP Summe: 30LP

Gesamtzahl der Leistungspunkte = 180

Legende

= Basismodule Ing.

= Kernmodule

= Schlüsselqualifikationen (fü)

= Basismodule Naturw.

= Schlüsselqualifikationen (fa)

= Ergänzungsmodule

= Ergänzungsfächer (Vertiefung)

= Bachelorarbeit

Plan

1. Semester (WS)	2. Semester (SS)	3. Semester (WS)	4. Semester (SS)	5. Semester (WS)	6. Semester (SS)
Höhere Mathematik 1 / 2 9 LP		Höhere Mathematik 3 6 LP	Strömungsmechanik 6 LP	Grundlagen der Mechanischen Verfahrenstechnik 6 LP	
Technische Mechanik I 6 LP	Technische Mechanik II 6 LP	Technische Mechanik III 6 LP		Chemische Reaktionstechnik I 6 LP	Thermische Verfahrenstechnik I 6 LP
Maschinen- und Apparatekonstruktion mit Einführung in die Festigkeitslehre 6 LP		Technische Thermodynamik I / II 6 LP		Thermodynamik der Gemische 6 LP	Grundlagen der Stoff- und Wärmeübertragung 6 LP
Einführung in die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 3 LP			Numerische Methoden I 6 LP		
Einführung in die Biotechnik 3 LP (Siemann-Herzberg)	Physik (für Chemie- und Bioingenieurwesen) 3 LP	Zellphysiologie 3 LP + 6 LP (Sprenger, Siemann-Herzberg)		Einführung in die Biochemie 3LP + 3 LP (Jeltsch)	
Einführung in die Chemie 6 LP		Bioverfahrenstechnik 6LP (Takors)	Systemdynamische Grundlagen der Regelungstechnik 3 LP		Nichttechnisches Wahlmodul 3 LP
	Praktikum 3 LP	Arbeitstechniken und Projektarbeit 3 LP		Semesterarbeit 6 LP	Bachelorarbeit 12 LP

36 / 180 = 20%

Summe: 33 LP

Summe: 30 LP

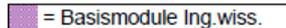
Summe: 30 LP

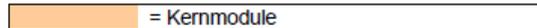
Summe: 27 LP

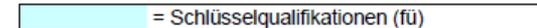
Summe: 30 LP

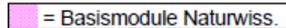
Summe: 30 LP

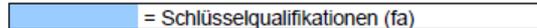
Legende

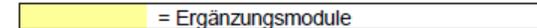
 = Basismodule Ing.wiss.

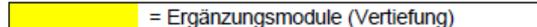
 = Kernmodule

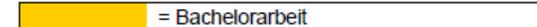
 = Schlüsselqualifikationen (fü)

 = Basismodule Naturwiss.

 = Schlüsselqualifikationen (fa)

 = Ergänzungsmodule

 = Ergänzungsmodule (Vertiefung)

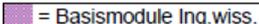
 = Bachelorarbeit

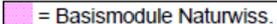
Plan

1. Semester (WS)	2. Semester (SS)	3. Semester (WS)	4. Semester (SS)	5. Semester (WS)	6. Semester (SS)
Höhere Mathematik 1 / 2 9 LP		Höhere Mathematik 3 6 LP	Strömungsmechanik 6 LP	Grundlagen der Mechanischen Verfahrenstechnik 6 LP	
Technische Mechanik I 6 LP	Technische Mechanik II 6 LP	Technische Mechanik III 6 LP		Chemische Reaktionstechnik I 6 LP	Thermische Verfahrenstechnik I 6 LP
Maschinen- und Apparatekonstruktion mit Einführung in die Festigkeitslehre 6 LP		Technische Thermodynamik I / II 6 LP		Thermodynamik der Gemische 6 LP	Grundlagen der Stoff- und Wärmeübertragung 6 LP
Einführung in die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 3 LP			Numerische Methoden I 6 LP		
Einführung in die Biotechnik 3 LP (Siemann-Herzberg)	Physik (für Chemie- und Bioingenieurwesen) 3 LP	VL Mikrobiologie für Ingenieure L/02: Mikrobiologische Grundlagen	L /10: Bioprozesstechnik	Einführung in die Biochemie 3LP + 3 LP (Jeltsch)	
Einführung in die Chemie 6 LP		Bioverfahrenstechnik 6LP (Takors)	Systemdynamische Grundlagen der Regelungstechnik 3 LP		Nichttechnisches Wahlmodul 3 LP
		Arbeitstechniken und Projektarbeit 3 LP		Semesterarbeit 6 LP	Bachelorarbeit 12 LP
Summe: 33 LP	Summe: 30 LP	Summe: 30 LP	Summe: 27 LP	Summe: 30 LP	Summe: 30 LP

36 / 180 = 20%

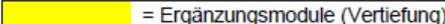
Legende

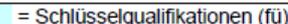
 = Basismodule Ing.wiss.

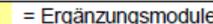
 = Basismodule Naturwiss.

 = Kernmodule

 = Schlüsselqualifikationen (fa)

 = Ergänzungsmodule (Vertiefung)

 = Schlüsselqualifikationen (fü)

 = Ergänzungsmodule

 = Bachelorarbeit

Wer sollte die Vertiefung ‚Bio-‘ wählen ?

... die, die sich den Nachhaltigkeitszielen der UN verpflichtet fühlen



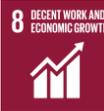
- Entwicklung von Medikamenten und deren Produktion (Rote Biotechnologie)



- Vermeidung von Produktionsprozessen, die in Konkurrenz mit Nahrungsmitteln stehen
- Herstellung von Nahrungsmitteln



- Co-Production von Nachhaltiger Energie z.B. aus Biomasse



- Nachhaltiges wirtschaftliches Wachstum durch Jobs, die die Umwelt nicht gefährden



- Technologische Prozesse mit höherer energetischen und Ressourcen Effizienz



- Wiederverwendung von CO₂ und CO in Richtung einer Kreislaufwirtschaft



- Reduktion des CO₂ Fußabdrucks zur Reduktion der globalen Erwärmung

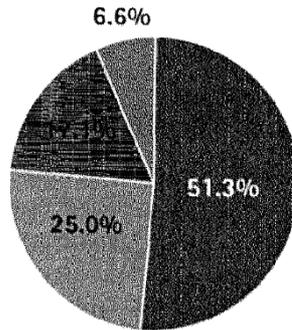


- Vermeidung der Waldrodung durch Erschließung anderer Substratquellen

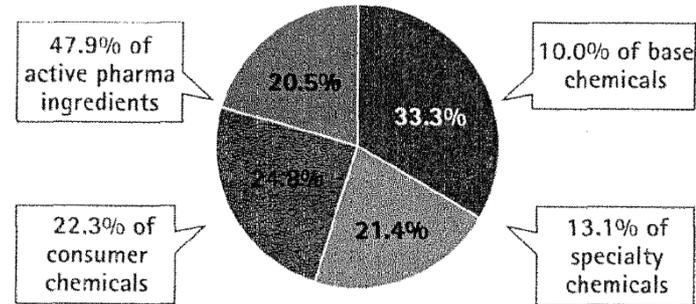
Industrielle Biotechnologie: Marktvolumen Ausblick 2017

Festel, G. *Industrial Biotechnology* (2010), 4, 88-94

Chemical sales
(100% = €2.212 billion)



Biotech sales
(100% = €340 billion)



■ Base chemicals ■ Specialty chemicals ■ Consumer chemicals ■ Active pharma ingredients

Biotech Umsätze werden 15.4% der chemischen Umsätze erreichen.

- **höchste (absolute) Biotech Umsätze: Chemie**
- **wichtigstes Biotech Subsegment: aktive Pharmastoffe, Polymere, Faserstoffe**

Produkte der Weißen Biotechnologie – Beispiel: Grundstoffe

Straathof Chem Rev 2014

Table 3. Industrial Production and Biochemical Yield Data for Formation of Some Major Commodity Chemicals from Glucose

product	production (millions t/a)	biochemical production (millions t/a)	x in eq 1 (mol/mol)	y in eq 1 (mol/mol)	theoretical yield based on eq 1 (g/g)	theoretical yield of used pathway (g/g)	achieved yield (g/g)
methane	>200	>1	3	3	0.27	0.27	0.27
ethene	115	research	2	2	0.31	0.12	<0.01
ethanol	99	99	2	2	0.51	0.51	0.50
hydrogen	48	research	6	6	0.13	0.04	0.02
ethylene glycol	18	research	2.4	1.2	0.83	0.41	0.27
acetic acid	11	0.19	3	0	1.00	1.00	0.8
isobutene	10	research	1	2	0.31	0.31	<0.01
phenol	9	research	0.86	0.86	0.45		0.035
fatty acids	8	research	0.26	1.91	0.37		0.28
fructose	6.5	6.5	1	0	1.00	1.00	1.00
2-butanol	5	research	1	2	0.41	0.41	0.01
acrylic acid	4.5	research	2	2	0.80	0.80	<0.03
acetone	3	0.15	1.5	1.5	0.48	0.32	0.11
1-butanol	2.8	0.5	1	2	0.41	0.41	0.36
isopropanol	2.3	research	1.33	2	0.44	0.33	0.24
l-glutamate	2.5	2.5	1.33	-0.67	1.09	0.82	0.6
citric acid	1.7	1.7	1.33	-2	1.42	1.07	0.88
l-lysine	1.4	1.4	0.86	0.86	0.70	0.60	0.44
1,2-propanediol	1.4	research	1.5	1.5	0.63	0.51	0.20
1,4-butanediol	1.3	pilot	1.09	1.64	0.55	0.5	
acetaldehyde	1.0	research	2.4	1.2	0.59	0.49	0.42
butanone	1.0	research	1.09	1.64	0.55	0.40	<0.01
isobutyraldehyde	1	research	1.09	1.64	0.55	0.40	0.18
isoprene	0.8	pilot	0.85	1.71	0.32	0.25	0.11
isobutanol	0.5	pilot	1	2	0.41	0.41	0.35
butyric acid	0.5	pilot	1.2	1.2	0.59	0.49	0.46
lactic acid	0.37	0.37	2	0	1.00	1.00	1.00

„Unser Land lebt von Menschen, die Verantwortung übernehmen und Brücken schlagen. Von Menschen, die mutig und offen sind für das Unerwartete. Und die mit ihren Ideen Zusammenhalt stiften in unserer Gesellschaft. Ich danke Ihnen für dieses Engagement für unser Land.“

Frank-Walter Steinmeier

Die Initiative „Deutschland - Land der Ideen“ verleiht dem Projekt

Bio-Anilin –
Chemikalie aus Pflanzen

die Auszeichnung

Ausgezeichneter Ort
2018

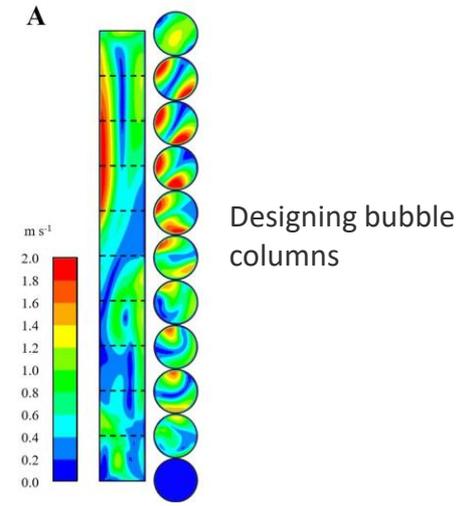
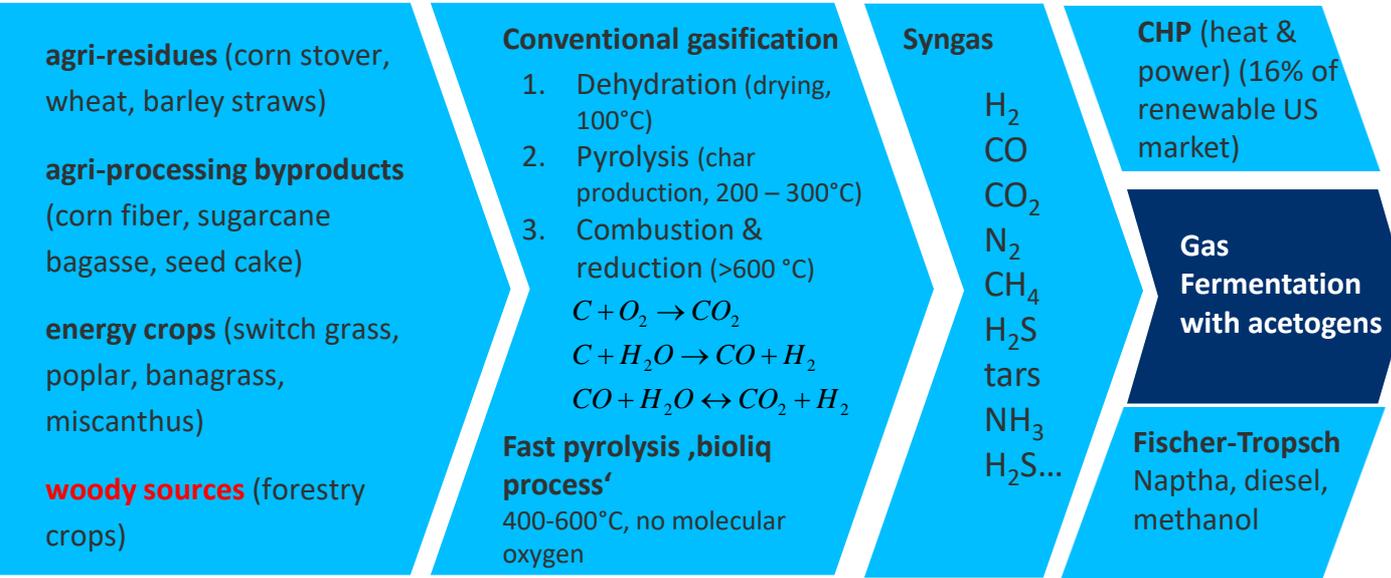


Frank-Walter Steinmeier
Bundespräsident

Deutschland
Land der Ideen



Produkte der Weißen Biotechnologie – Beispiel: CO2 als Substrat



Warum? – Um den CO2 Anstieg zu stoppen und Wertstoffe nachhaltig zu gewinnen

Beispiel: LanzaTech



Produkte der Roten Roten Biotechnologie

Nine Mayor Product Classes

Aggarwal, Nature Biotechnol. (2012)

- monoclonal antibodies (mAb)
- hormones
- growth factors
- fusion proteins
- cytokines
- blood factors
- therapeutic enzymes
- recombinant vaccines
- anti-coagulants

Monoclonal Antibodies Continue to Reign Supreme...

Walsh, Nature Biotechnol. (2018)

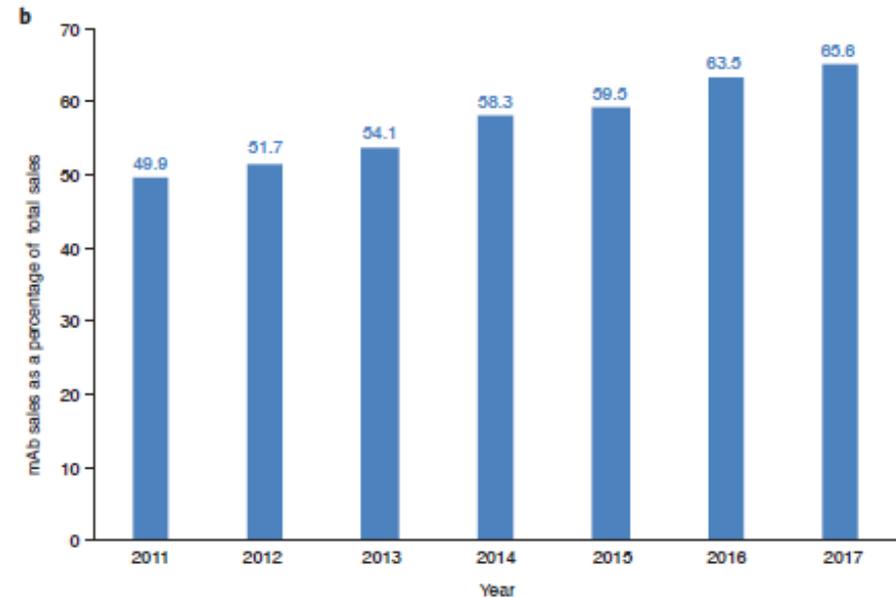


Figure 2 Overview of mAb approvals. (a) mAbs approved for the first time in the indicated periods, expressed as a percentage of total biopharmaceuticals approved for the first time in the same time period. (b) mAbs global annual sales value expressed as a percentage of total biopharmaceutical global sales for the indicated years. Financial data from La Merie Business Intelligence.

... but gene therapy gets momentum...

Trends für die Biopharmazeutika

Walsh, Nature Biotechnol., 2018

Table 3 The 20 top-selling biopharmaceutical products in 2017

Rank	Product	Sales, 2017 (\$ billions) ^a	Cumulative sales, 2014–2017 (\$ billions)	Year first approved	Company	Patent expiry ^b	Biosimilar version(s) approved
1	Humira (adalimumab; anti-TNF)	18.94	62.6	2002	AbbVie, Eisai	2016 (US) 2018 (EU)	Halimatof/Hefiya/Hyrimoz, Argevita/Arjevita/Solymbic, Cyltezo, Imraldi
2	Enbrel (etanercept; anti-TNF)	8.34	35.4	1998	Amgen, Pfizer, Takeda Pharmaceuticals	2015 (EU) 2028 (US)	Erelzi, Benepali
3	Rituxan/MabThera (rituximab; anti-CD20)	7.78	29.1	1997	Roche, Biogen Idec	2013 (EU) 2016 (US)	Blitzima/Truxima, Ritermia, Rituzena, Rixathon/Riximyo
4	Remicade (infliximab; anti-TNF)	7.77	35.6	1998	Johnson & Johnson, Merck, Mitsubishi Tanabe Pharma	2015 (EU) 2018 (US)	Zessly, Ixifi, Renflexis/Flixabi, Inflectra/Remsima
5	Herceptin (trastuzumab; anti-HER2)	7.39	27.1	1998	Roche	2014 (EU) 2019 (US)	Herzuma, Kanjinti, Trazimera, Ogivri, Ontruzant
6	Avastin (bevacizumab; anti-VEGF)	7.04	27.0	2004	Roche	2017 (US) 2019 (EU)	Mvasi
7	Lantus (insulin glargine)	6.72	27.4	2000	Sanofi	2014 (EU & US)	Semglee, LUSDUNA, Abasaglar/Basaglar
8	Eylea (afibercept; anti-VEGF)	5.93	18.0	2011	Regeneron, Bayer	2020 (EU) 2021 (US)	
9	Opdivo (nivolumab; anti-PD-1 receptor)	5.79	11.4	2014	Bristol-Myers Squibb, Ono Pharmaceutical	2027 (US) 2026 (EU)	
10	Neulasta (pegfilgrastim)	4.53	20.1	2002	Amgen, Kyowa Hakkō Kirin	2014 (US) 2015 (EU)	Fulphila
11	Stelara (ustekinumab; anti-IL-12 & IL-23)	4.01	12.2	2009	Janssen Cilag (Johnson & Johnson)	2023 (US) 2024 (EU)	
12	Keytruda (pembrolizumab; anti-PD-1)	3.81	5.7	2014	Merck	2036 (US) 2028 (EU)	
13	Prolia/Abgeva (denosumab; anti-RANKL)	3.54	11.6	2010	Amgen	2025 (US) 2022 (EU)	
14	Lucentis (ranibizumab; anti-VEGF)	3.38	14.3	2006	Roche, Novartis	2016 (EU & US)	
15	Novolog/Novorapid (insulin aspart)	3.31	11.7	1999	Novo Nordisk	2015 (EU & US)	
16	Soliris (eculizumab; anti-C5 complement protein)	3.14	10.7	2007	Alexion Pharmaceuticals	2021 (US) 2020 (EU)	
17	Simpsoni (golimumab; anti-TNF)	2.94	9.7	2009	Merck, Janssen, Mitsubishi Tanabe	2024 (EU & US)	
18	Humalog mix 50:50 (insulin lispro)	2.86	11.3	1996	Eli Lilly	2014 (US) 2015 (EU)	Insulin lispro Sanofi
19	Xolair (omalizumab) anti-IgE	2.75	8.7	2003	Roche, Novartis	2017 (EU & US)	
20	Aranesp/Nesp (darbepoetin alfa)	2.62	10	2001	Amgen, Kyowa Hakkō Kirin	2016 (EU) 2024 (US)	

^aFinancial data from La Motte Business Intelligence. ^bPatent data from various sources, including <http://www.gabonline.net/Biosimilars/General/Biologicals-patent-expiries>. HER2, human epidermal growth factor receptor 2; IgE, immunoglobulin E; IL, interleukin; PD-1, programmed cell death receptor 1; RANKL, receptor activator of nuclear factor-κB ligand; VEGF, vascular endothelial growth factor.

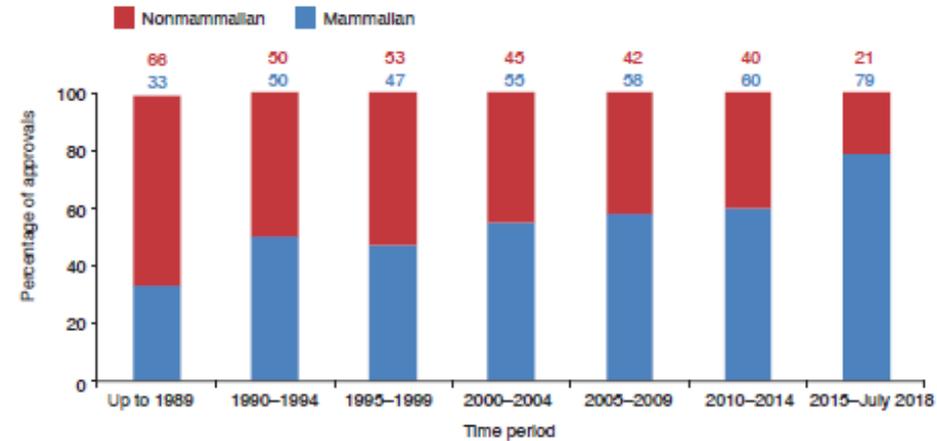


Figure 3 Relative use of mammalian- versus nonmammalian-based production cell lines in the manufacture of biopharmaceuticals approved over the indicated periods. Each dataset is expressed as a percentage of total biopharmaceutical product approvals for the period in question.

Beispiele:



Kleine Auswahl von Unternehmen mit Biotech Produktion ...



Die Vertiefung Bioingenieurwesen vermittelt die zusätzlichen Qualifikationen ...

- Überblick über Art und Einsatzbereiche biotechnischer Prozesse
- aktuelle und zukünftige Bedeutung biotechnischer Verfahren und Produkte
- Spezifisches Knowhow zu deren Entwicklung, Auslegung und Betrieb
- Theoretische biologische Grundlagen (Biochemie, Mikrobiologie, Physiologie)
- Praxiseinführung (monoseptisches Arbeiten, Grundlagen im Labor, Fermentation...)
- ...

1. Semester: Einführung in die Biotechnik (Basismodul, 3 LP, Siemann-Herzberg)

Inhalt:

Kapitel 1: Einführung in die Biotechnologie

Kapitel 2: Biomasse und Energie

ausgewählte Beispiele aus der:

Kapitel 3: Umweltschutztechnik

Kapitel 4: Mikrobiologische/Industrielle Biotechnologie

Kapitel 5: Agrarbiotechnologie

Kapitel 6: Pharmazeutischen/Medizinischen Biotechnologie

KLAUSUR: OHNE Hilfsmittel; Grundlage ist die Vorlesung + Fragenkatalog. Anmeldung **NUR** über das Prüfungsamt.



3. Semester:

Bioverfahrenstechnik (Vertiefungsfach, 6 LP, Takors)

Lernziele:

Die Studierenden kennen die Grundlagen zur

- **kinetischen Modellierung biologischer Systeme,**
- **der Bilanzierung,**
- **Prozessführung,**
- **Maßstabsübertragung** und
- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung** von **Bioprozessen,**

um diese dementsprechend auslegen zu können. Die Studierenden kennen und verstehen die für diese Aufgabe notwendigen Ansätze und sind in der Lage, diese auch an einfachen Beispielen anzuwenden.

3. Semester:

Bioverfahrenstechnik (Vertiefungsfach, 6 LP, Takors)

- Grundlagen der chemischen / enzymatischen Reaktionstechnik
- Kinetik enzymkatalysierter Reaktionen
- Wiederholung substanzieller Eigenschaften des mikrobiellen Stoffwechsels
- Einführung in die Bioreaktionstechnik
- unstrukturierte Modelle des Wachstums und der Produktbildung
- Maintenance
- Prinzipien der Prozessführung und Bilanzierung von Bioprozessen
- Grundlagen des Stofftransports in Biosuspensionen
- Grundtypen von Bioreaktoren
- Leistungseintrag, Mischzeit, Wärmetransport
- scale-up
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

3.+4. Semester: Zellphysiologie (Vertiefungsfach, 6 LP + 3LP, ...)

Lernziele:

1. Die Studierenden kennen die biologischen Zusammenhänge des zellulären Wachstums (Bakterien, Hefen).
2. Sie kennen die Grundlagen des monoseptischen Arbeitens bis in den Bioreaktor.

Diese wenden Sie zur Herstellung von Wertstoffen in produktionsnahen Prozessen an.

3. Semester: Zellphysiologie (Vertiefungsfach, 6 LP + 3LP, ... Sprenger)

VL: Mikrobiologie für Ingenieure (Sprenger 3 LP, WS)

- Vorkommen und Isolierung Sporenbildung
- Aufbau von Bakterien und Hefen
- Prinzipien des Stoffwechsels
- Vorstellung ausgewählter Biosynthesewege
- Grenzen des Wachstums (Temperatur, pH, Sterilisation, Antibiotika)
- Einführung in die Molekularbiologie und Genetik



3. Semester:

Zellphysiologie (Vertiefungsfach, 6 LP + 3LP, ...Takors/Siemann-Herzberg)

Übung: Praktische Grundlagen Biologischer Arbeiten (Takors/Siemann-Herzberg 3 LP, SoSe)

Blockveranstaltung: 1 Woche

Vermittelt werden mikrobiologische Grundlagen:

- Steriles Arbeiten im Labor (u.a. Sterilisationstechniken, Sterilwerkbank)
- Kultivierungstechniken auf Fest- und in Flüssigkultur
- Impf- und Probennahmetechniken
- Bestimmung der Zellzahl und Zellmasse in Populationen
- Lichtmikroskopische Untersuchungen von Mikroorganismen



4. Semester: Zellphysiologie (Vertiefungsfach, 6 LP + 3LP, ...Takors/Blombach

Übung: Laborpraktikum Bioprozesstechnik (Siemann-Herzberg 3 LP, WS)

Blockveranstaltung: 1 Woche

- Messtechnik und Bioreaktoren
- Technik der Kultivierung in Bioreaktoren
- Beschreibung des Wachstums-und Produktionsverhaltens von produktions-relevanten Organismen in Bioreaktoren



5.+ 6. Semester: Einführung in die Biochemie (Vertiefungsfach, 3 + 3 LP, Jeltsch)

Teil 1 (WS)

- Grundlagen der Chemie
- Struktur und Eigenschaften von Aminosäuren
- Proteinstruktur und –Faltung und -Funktion
- Enzym Mechanismen und Kinetik
- Nukleotides und Struktur von Nukleinsäuren

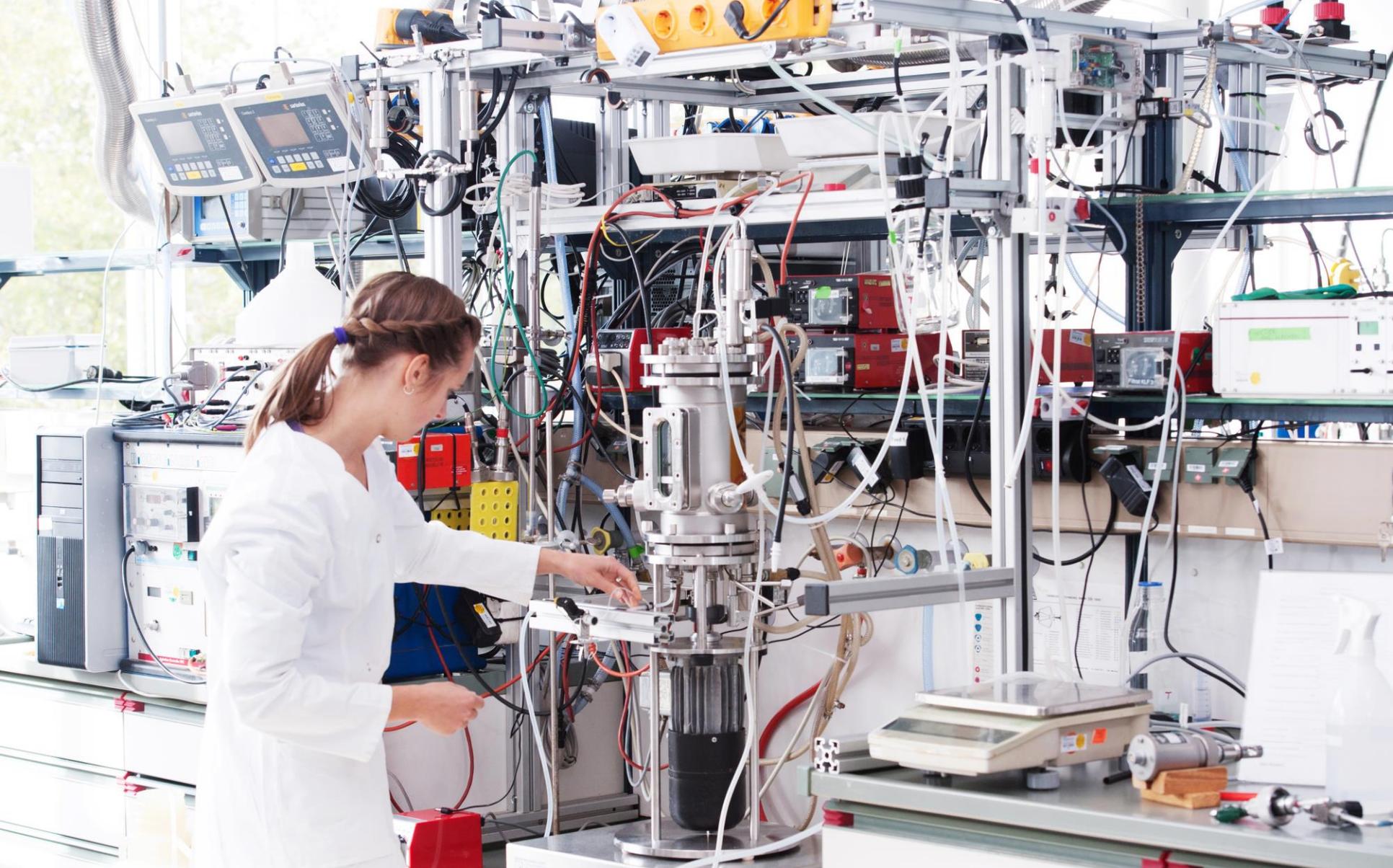


Teil 2 (SoSe)

- Metabolismus: Konzepte und Design
- Kohlenhydrate
- Lipide
- Glycolyse und Fermentationen
- TCA Zyklus
- Oxidative Phosphorylierung
- Pentose Phosphate Zyklus
- Lipolyse und Fettsäure β -Oxidation

Die Verfahrenstechnik-Studierenden nehmen nicht an den zusätzlichen Übungen teil.









Wir freuen uns über Eure Wahl

