

VDE-Positionspapier



Biomedizinische Technik: Aus- und Weiterbildung in deutschsprachigen Ländern

**Empfehlungen zur Verbesserung der
Rahmenbedingungen für die Aus- und
Weiterbildung von Fachkräften sowie
für die Nachwuchsförderung**

Impressum:

VDE-Positionspapier

Biomedizinische Technik: Aus- und Weiterbildung in deutschsprachigen Ländern
Empfehlungen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften sowie für die Nachwuchsförderung

Aus dem DGBMT-Fachausschuss „Aus- und Weiterbildung – BMT im Studium“.

Autoren:

Dr. rer. medic. Anja Abdel-Haq, Technische Universität Dresden, Institut für Biomedizinische Technik
Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Martin Baumann, MME; RWTH Aachen University, Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik
Dipl.-Ing. Sabine Fincke, Bildungsportal Thüringen, Erfurt
Prof. Dr.-Ing. Marc Kraft, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Medizintechnik
PD Dr.-Ing. Ute Morgenstern, Technische Universität Dresden, Institut für Biomedizinische Technik
Prof. Dr.-Ing. Thomas Schmitt, Staatliche Studienakademie Bautzen
Dipl.-Ing. Karsten Seidl, Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik/Robert-Bosch-GmbH, Stuttgart
Dr. rer. biol. hum. Dipl.-Ing. Maria Zellerhoff, Forum MedTech Pharma e.V., Nürnberg/Universität Erlangen-Nürnberg, Zentralinstitut für Medizintechnik

Redaktion:

Dr. rer. medic. Anja Abdel-Haq, Dresden (Anja.Abel-Haq@tu-dresden.de)
Dr.-Ing. Ute Morgenstern, Dresden (ute.morgenstern@tu-dresden.de)
Prof. Dr.-Ing. Thomas Schmitt, Bautzen (schmitt@ba-bautzen.de)

Grafische Gestaltung:

Dipl.-Inf. Ines Hofmann, ines hofmann illustration+grafik, Dresden
Dipl.-Ing. Karsten Seidl, Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik/Robert-Bosch-GmbH, Stuttgart
Schaper Kommunikation, Grafikdesign & Werbung, Bad Nauheim

Bildnachweis Titelbild: Foto, Rainer Weisflog, Staatliche Studienakademie Bautzen

Herausgeber/Bezugsquelle:

VDE

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
DGBMT – Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE
Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main
Telefon +49 (0)69 6308 348
dgbmt@vde.com
www.vde.com/dgbmt

Erscheinungsdatum: Februar 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Einführung	7
3	Das Fachgebiet Biomedizinische Technik	9
4	Anforderungen des Arbeitsmarktes an Absolventen der BMT	12
5	Empfehlungen der Fachgesellschaften zur Akkreditierung von BMT-Studiengängen	17
6	BMT-Studienmöglichkeiten in deutschsprachigen Ländern	18
6.1	Überblick über die akademische Ausbildung im Fach Biomedizinische Technik in den deutschsprachigen Ländern	18
6.2	Entwicklung der Hochschullandschaft	20
6.3	Studienmöglichkeiten an Universitäten, Fachhochschulen und Studienakademien	21
6.4	Fachinhalte, Stundenumfang, Studiendauer, Abschlüsse, Sprachen	23
6.5	Anzahl der Studenten und Promovenden, Kriterien zur Studienwahl	25
6.6	Studienformen, Prüfungsformen, Studiengebühren, Akkreditierung	26
6.7	Verhältnis Forschung - Lehre, Nachwuchsförderung	27
7	Weiterbildung im Umfeld der Biomedizinischen Technik	28
7.1	Lebenslanges Lernen	28
7.2	Weiterbildungsbedarf	29
7.3	Weiterbildungsangebote	30
8	Analyse der Aus- und Weiterbildungssituation und Schlussfolgerungen	32
8.1	Bildung und Nachwuchsförderung in der Wissensgesellschaft	32
8.2	Die Hochschulausbildung im Wandel	33
8.3	Der Studienprozess im Wandel	34
8.4	Übergänge zwischen Bildungsstufen - interdisziplinäre Weiterbildung und Lebenslanges Lernen	35
9	Handlungsempfehlungen	36
9.1	Schaffen gesellschaftlicher Rahmenbedingungen für optimale BMT-Fachkräfteaus- und -weiterbildung sowie Nachwuchsförderung	36
9.2	Etablieren einer interaktiven akademischen Plattform für interdisziplinäres Expertenwissen Biomedizinische Technik	38
10	Quellen	40
11	Abkürzungsverzeichnis	43

1. Zusammenfassung

Die Biomedizinische Technik (BMT) gilt aufgrund der ihr eigenen Innovationskraft und der hohen Wissensintensität als Zukunftstechnologie. Für die Gesundheitsversorgung ist sie von grundlegender und wachsender gesellschaftlicher und ökonomischer Bedeutung. Innovationen basieren auf der Kreativität und Leistungsfähigkeit exzellent ausgebildeter Fachkräfte der Biomedizinischen Technik. Ingenieure, Naturwissenschaftler, Informatiker und Mediziner kooperieren auf diesem interdisziplinären Gebiet. Absolventen des Studienfaches Biomedizinische Technik treffen dabei auf folgende Anforderungen des Arbeitsmarktes: ausgeprägte ingenieurwissenschaftliche Grund- und vertiefte Fachkenntnisse, System- und Methodenkompetenz bzgl. biomedizintechnischer Problemlösungen (an interdisziplinären Projekten geschult), kombiniert mit hoher sozialer Qualifikation und Teamfähigkeit sowie vor allem Neugier, Kreativität und Lernfähigkeit.

Damit Deutschland mit seiner guten technologischen Wissensbasis im internationalen Wettbewerb bestehen und Marktanteile ausbauen kann, ist das Potential zur kontinuierlichen technologischen Innovation über Fachkräfteaus- und -weiterbildung sowie Nachwuchsförderung von zentraler Bedeutung. Daraus resultieren hohe Anforderungen an Lehrende wie Studierende.

Die DGBMT – Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE analysiert in diesem Positionspapier die aktuelle Situation der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften auf dem Gebiet der BMT und zeigt Probleme sowie Herausforderungen auf. Die Analyse stützt sich auf den Statusreport des DGBMT-Fachausschusses „Aus- und Weiterbildung – Biomedizinische Technik im Studium“ [DGBMT-FA 2012a, DGBMT-FA 2012b]. Die seit 1998 zusammengetragenen und ausgewerteten Daten zum Studium der Biomedizinischen Technik in den drei deutschsprachigen Ländern Österreich, Schweiz und Deutschland zeigen:

Immer mehr Universitäten, Fachhochschulen und auch eine Studienakademie widmen sich der Ausbildung im Fachgebiet der Biomedizinischen Technik. Im Zuge der europäischen Harmonisierung der Hochschulbildung steigen nicht nur die Anzahl und Vielfalt angebotener Bachelor-, Master- und Diplomstudiengänge in dem interdisziplinären Feld erheblich an. Auch die Absolutzahl der Absolventen von Hochschulen wie auch von Weiterbildungskursen wächst stetig. Obwohl klare Anforderungen an die Qualifikation von Absolventen des Fachgebiets seitens Industrie und Klinik als den beiden Haupteinsatzbereichen formuliert sind, werden Studieninhalte und Abschlussqualifikationen immer unübersichtlicher. Das erschwert nicht nur die Vergleichbarkeit und Bewertbarkeit aus Sicht der Arbeitgeber, sondern auch die Studienorientierung für Schüler und Abiturienten. Begleitend zu Forschungsvorhaben entstehen immer neue interdisziplinäre Spezialstudiengänge, die häufig stärker über hochschul- oder landesbegrenzte organisatorische und ökonomische Randbedingungen als über systematische, ergebnis- und qualitätsorientierte Ausbildungsplanung definiert werden. Eine bundesweite Förderung strukturierter, didaktisch untermauerter Aus- und Weiterbildungslinien, die fachliche Kooperation entsprechend Forschungsschwerpunkten gezielt forciert, fehlt genauso wie eine interdisziplinäre, gemeinsam nutzbare Wissens- und Informationsbasis. Moderne Blended-Learning-Studienformen scheitern an den fehlenden ökonomischen Ressourcen der Hochschulen und Forschungs- wie Weiterbildungsinstitutionen im Bildungsbereich. Es besteht eine Gefahr der „virtuellen Abwanderung“ Studierender zu attraktiven kostenlosen, über Internet zugänglichen Bildungsangeboten.

Der gegenwärtige Trend in der Biomedizintechnikaus- und -weiterbildung führt offensichtlich zu größerer Diversifizierung der Studiengänge und einem unübersichtlicher werdenden Absolventengefüge bzgl. Qualifikationen und Abschlüssen. Der Gegenstandskatalog des

Fachgebietes und die Akkreditierungsempfehlungen für BMT-Studiengänge stehen zur Verfügung, genügen aber aufgrund unzulänglicher Rahmenbedingungen nicht zur Bewertung und Koordinierung der Aus- und Weiterbildungsangebote. Die Trennung zwischen Aus- und Weiterbildung verschwimmt. Es gibt Defizite bei den existierenden Bildungsangeboten auf der einen und gleichzeitig ein solides zu hebendes Wissenspotential auf der anderen Seite.

So lassen sich einerseits fachliche Herausforderungen – etwa die adäquate Überwindung der Grenzen zwischen etablierten Strukturen einzelner Disziplinen in der interdisziplinären BMT oder die Einbeziehung neuer Technologiefelder, Technologieverknüpfungen und Rahmenbedingungen in die Ausbildungsgänge – identifizieren. Auf der anderen Seite verstärken Probleme auf der primär administrativen Ebene diese Herausforderungen: Gegenwärtig fehlt vor allem eine länder-, fächer-, ressort- und bildungsstufenübergreifende Koordinierungs- und Finanzierungsstrategie, um der Aus- und Weiterbildung im Fachgebiet der Biomedizinischen Technik die erforderliche Basis zu bieten.

So kann die Forderung der Gesellschaft nach exzellenter (Hochschul-)Ausbildung hinreichend vieler, „perfekt“ qualifizierter und hoch motivierter Absolventen inkl. lebenslanger Weiterbildung auf dem so stark interdisziplinären Gebiet der Biomedizinischen Technik nur bei verbesserten Rahmenbedingungen realisiert werden.

Im Statusreport werden Schlussfolgerungen für Lehrende, Lernende, Didaktiker und Organisatoren u. a. auch hinsichtlich der notwendigen Koordinierung des Bildungsprozesses in Deutschland gezogen. Es werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, mit deren Umsetzung sich die Situation der Aus- und Weiterbildung in der BMT nachhaltig verbessern lässt:

1. Schaffen optimaler Rahmenbedingungen für die Aus- und Weiterbildung ausreichend vieler hoch qualifizierter BMT-Fachkräfte
2. Überwindung interdisziplinärer Grenzen in Aus- und Weiterbildung durch stärkere Verzahnung von Medizin und Technik
3. Sichern der Finanzierung von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen und deren nachhaltige Koordinierung und Pflege
4. Etablieren einer interaktiven akademischen länder-, fächer-, ressort- und bildungsebenenübergreifenden Lehr- und Lernplattform für interdisziplinäres Expertenwissen der BMT.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in Deutschland ein Handlungsbedarf hinsichtlich Bündelung, Koordinierung, Erhalt und intelligenter Nutzung vorhandenen Wissens für die berufliche Aus- und Weiterbildung in der BMT existiert, wie er auch im Schlussbericht Nationaler Strategieprozess „Innovationen in der Medizintechnik“ [VDI 2012] formuliert wurde. Die derzeitige Spitzenposition der BMT kann nur mit beruflich hoch qualifizierten Fachkräften gehalten und ausgebaut werden, die sich lebenslang engagiert weiterbilden. Die Umsetzung der begründeten Handlungsempfehlungen obliegt allerdings den Bildungsinstitutionen der Länder eigenverantwortlich, die die Umsetzung jeweils allein nicht bewältigen können.

Die Bundesregierung ist daher aufgerufen, bundesweite Rahmenbedingungen für eine länder-, fächer-, ressort- und bildungsebenenübergreifende Kooperation auf dem interdisziplinären Gebiet der Biomedizinischen Technik zu schaffen und entsprechende Fördermittel bereitzustellen.

Das fachliche Ziel ist formuliert, der Weg vorgeplant, die Akteure im Bereich Biomedizinische Technik stehen bereit, nun sind die Rahmenbedingungen für koordiniertes Handeln zu schaffen und die Finanzierung zu sichern!

2. Einführung

Der Alltag moderner Krankenhäuser, Kliniken und Praxen ist durch einen hohen Grad an Technisierung geprägt. Letztere reicht vom implantierbaren Mikrosystem wie dem Herzschrittmacher bis zum Großgerät, beispielsweise einem Magnetresonanz-Tomographen. Insbesondere vor dem Hintergrund des demographischen Wandels wird der Bedarf an moderner Medizintechnik für Diagnostik und Therapie, aber auch für die Vorbeugung und die Rehabilitation in den kommenden Jahrzehnten weiter steigen. Hinzu kommt die Technik, die im Bereich der häuslichen Versorgung älterer Menschen eingesetzt und unter dem Begriff Ambient Assisted Living zusammengefasst wird.

Die Medizintechnikindustrie in Deutschland ist sehr erfolgreich und stellt sich als eine äußerst innovative Branche dar. Ein Drittel des Umsatzes von jährlich etwa 20 Milliarden Euro erzielen deutsche Hersteller mit Produkten, die nicht älter als 3 Jahre sind [Spectaris 2010]. Die Forschung auf dem Gebiet der Biomedizinischen Technik und die Entwicklung medizinischer Gerätetechnik erfolgt durch Ingenieure¹ im engen Zusammenwirken mit Medizinern, Naturwissenschaftlern und Informatikern. Ärzte formulieren die Anforderungen an die Gerätetechnik auch aus Sicht der Patienten. Ingenieure und Techniker wiederum sorgen in den medizinischen Einrichtungen gemeinsam für die ständige Einsatzbereitschaft und den sicheren Betrieb des Geräteparks.

Entsprechend einer Studie des Institutes der deutschen Wirtschaft in Köln und des Vereins Deutscher Ingenieure [iw 2010] treten in Deutschland bis 2012 jährlich etwa 36.000 Ingenieure in den Ruhestand. Bis zum Jahr 2027 erhöht sich diese Zahl auf etwa 48.000 Ingenieure jährlich. Auch die positive Entwicklung der Zahl der Ingenieurabsolventen seit 2002 kann den dadurch entstehenden Bedarf an neuen Fachkräften nicht decken, auch wenn die Lücke nach optimistischer Schätzung des Forschungsinstitutes für Bildungs- und Sozialökonomie (FiBS) kleiner ausfallen wird als bislang prognostiziert [Dohmen 2010, VDE 2010]. Diese Voraussagen basieren auf der Annahme, dass die Studienanfängerzahlen auch in den Ingenieurwissenschaften dem allgemeinen Trend folgen werden, der einen kräftigen Anstieg bis 2013 und danach einen leichten Rückgang beschreibt.

Der Statusreport zur Entwicklung der Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der BMT [DGBMT-FA 2012b] setzt sich mit der aktuellen Situation und den sich abzeichnenden Entwicklungen bei der Ausbildung von Ingenieuren im Bereich der Biomedizinischen Technik im deutschsprachigen Raum und deren beruflicher Weiterbildung auseinander. Es ist aus der Arbeit des Fachausschusses „Aus- und Weiterbildung – Biomedizinische Technik im Studium“ der DGBMT (Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE) [DGBMT 2012, DGBMT-FA 2012a] hervorgegangen. Dieser für alle Interessenten offene Fachausschuss beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Fragen der Qualifizierung von Fachkräften für die BMT und fördert eine enge Zusammenarbeit der Aus- und Weiterbildungseinrichtungen. Nachwuchsförderung ist eine der wichtigsten Aufgaben der Fachgesellschaft DGBMT.

Am Beginn des Statusreports steht eine Analyse der Arbeitsgebiete von Medizintechnikingenieuren, aus der sich unmittelbare Anforderungen an ihre Ausbildung ableiten lassen. Insbesondere die Wichtung der Einzelaspekte bzgl. der Absolventenqualifikation werden auch in den Ergebnissen der Befragungen von Kliniken und Industrieunternehmen deutlich. Inwieweit die speziellen BMT-Bildungsangebote diesen formulierten Anforderungen gerecht werden, lässt sich aus der Übersicht zu den Studienangeboten der Bildungseinrichtungen erkennen [DGBMT-FA 2012ü]. Das Papier gibt einen umfangreichen Überblick über die aktuellen

¹ nachfolgend ist die weibliche Form auch ohne explizite Nennung eingeschlossen

deutschsprachigen Studien- und Weiterbildungsangebote an Universitäten, Fachhochschulen und Berufsakademien. In diesem Zusammenhang beleuchtet es auch die Umsetzung der im Rahmen des Bologna-Prozesses gefassten Beschlüsse im Bereich des Medizintechnikstudiums. Die Empfehlungen zur Akkreditierung von Studiengängen in den Bereichen Biomedizinische Technik und Klinikingenieurwesen, die bereits 2005 unter Federführung der DGBMT formuliert wurden [DGBMT 2005], werden hier abermals bekräftigt.

Ein wichtiges Kapitel ist der Weiterbildung von Medizintechnikingenieuren während ihres gesamten Berufslebens gewidmet. Lebenslanges Lernen wird auch über den Einsatz interaktiver Lernsoftware unterstützt – kombiniert mit Präsenzstudien- und Weiterbildungsangeboten.

Aus den statistischen Erhebungen zu Aus- und Weiterbildungsangeboten lässt sich der aktuelle Trend für BMT-Aus- und -Weiterbildung ableiten, der hier im Kontext der gesellschaftlichen Randbedingungen diskutiert wird. Es werden Schlussfolgerungen abgeleitet, die hier im vorliegenden „Positionspapier Biomedizinische Technik: Aus- und Weiterbildung in deutschsprachigen Ländern“ zusammengefasst dargestellt sind. Die Handlungsempfehlungen basieren auf der Analyse der Entwicklung von Studiengängen und Weiterbildungsangeboten des Fachgebietes Biomedizinische Technik.

3 Das Fachgebiet Biomedizinische Technik

Biomedizinische Technik (BMT, auch gebräuchlich in der Kurzform Biomedizintechnik, engl. Biomedical Engineering (BME)): Erforschung, Beschreibung, Ersatz und/oder Ergänzung von Strukturen und/oder Funktionen lebender Systeme; umfasst die Bereitstellung ingenieurwissenschaftlicher Mittel und Methoden und deren Anwendung auf lebende Systeme in Biologie und Medizin

- in der Prozessgestaltung in der Forschung und in allen Phasen des Produktlebenszyklusses (Konzeption, Entwicklung, Prüfung und Zulassung, Herstellung, Anwendung, Aufbereitung und Entsorgung biomedizintechnischer Geräte und Systeme),
- im medizinischen Betreuungsprozess (Prophylaxe und Metaphylaxe, Diagnose und Prognose, Therapie und Rehabilitation) sowie zur Lebensqualitätsverbesserung,
- in verschiedenen Branchen (wie Medizintechnik, Biotechnologie, Gesundheitswirtschaft, Pharmazie, Umwelttechnik) sowie allgemein in den Lebenswissenschaften.

Das Kunstwort Biomedizinische Technik wurde als Kurzform für „ingenieurwissenschaftliche und technische Anwendungen in Biologie und Medizin“ als deutsches Pendant zu Biomedical Engineering (BME) des englischen Sprachraums eingeführt. Im Rahmen der Harmonisierung der BMT-Ausbildung in Europa hatte die internationale Biomedizintechnik-Föderation International Federation for Medical and Biological Engineering (IFMBE) formuliert [Nagel 2003]: „Medical and biological engineering integrates physical, mathematical and life sciences with engineering principles for the study of biology, medicine and health systems and for the application of technology to improving health and quality of life. It creates knowledge from the molecular to organ systems levels, develops materials, devices, systems, information approaches, technology management, and methods for assessment and evaluation of technology, for the prevention, diagnosis, and treatment of disease, for health care delivery and for patient care and rehabilitation.“ 2006 wird die Erweiterung des Begriffes BME auf Anwendungen in den grundlegenden Lebenswissenschaften hervorgehoben [Whitaker 2006, Katona 2006]. Die in diesem Papier dargestellten Begriffsdefinitionen stimmen im Grunde mit den von der amerikanischen Akkreditierungskommission ABET formulierten überein [Whitaker 2003, 2012].

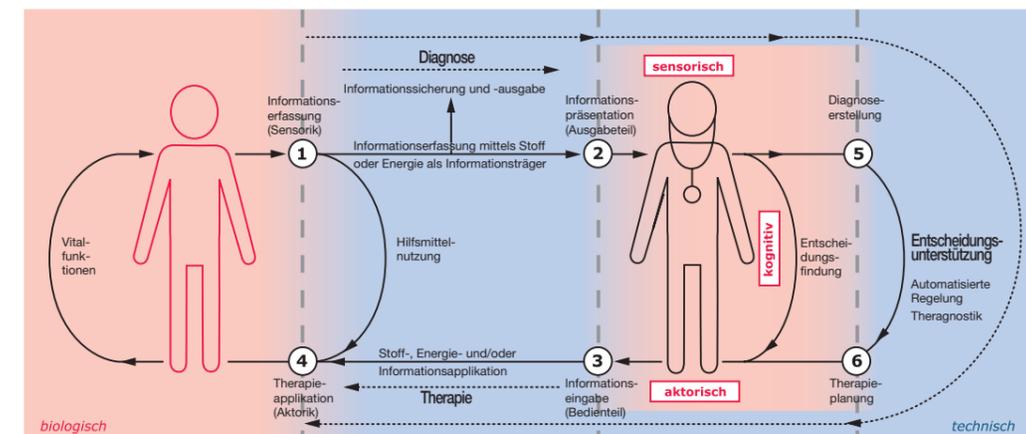


Bild 1: Das interdisziplinäre Fachgebiet Biomedizinische Technik mit Mensch-Maschine-Schnittstellen zwischen technischen und biologischen (Arzt, Patient) Systemteilen.

Die Anwendung technischer Mittel und Methoden auf lebende Systeme führt zu Wechselwirkungen in biologisch-technischen Gesamtsystemen (s. Bild 1), die hinsichtlich der Ziele und

Qualitätskriterien optimiert werden müssen. Diese Optimierung geschieht sowohl aus Sicht des lebenden Systems (patientengerecht: Gesunderhaltung bzw. Gesundheitswiederherstellung der Patienten), des Anwenders (arztgerecht: medizinisches Personal als verantwortlicher Anwender und Betreiber) als auch des Entwicklers/Produzenten (produktionsgerecht: Ingenieur, Informatiker, Naturwissenschaftler als Entwickler, Hersteller und Prüfer).

Biomedizintechnikingenieure wenden auf der Grundlage eines tiefen Verständnisses der Mathematik und Naturwissenschaften elektrische, mechanische, akustische, optische, chemische, biologische, informatische und andere Prinzipien und Werkzeuge an, um biologische Systeme zu verstehen, qualitativ und quantitativ abzubilden, zu modifizieren und/oder zu regeln, um technische Systeme (Produkte) zu entwerfen und herzustellen, Strukturen (Anatomie, Morphologie) und Funktionen (Physiologie) zu beobachten und zu untersuchen und dem Arzt bei Diagnose und Behandlung von Patienten zu assistieren und damit medizinisch relevante Probleme lösen zu helfen, u. a. nach [Bronzino 1995, Whitaker 2006, Linehan 2006].

Den Kern der Biomedizinischen Technik bildet das Gebiet Medizintechnik / Klinikingenieurwesen (Clinical Engineering). Es bezieht sich auf den konkreten Einsatz von Technik im klinischen Umfeld und umfasst die Bereitstellung und Anwendung technischer Mittel und Methoden in der Medizin sowie (im engeren Sinne) deren Vergegenständlichung.

Um es klar zu sagen: Die Biomedizinische Technik ist eine Ingenieurwissenschaft mit deutlich abgegrenztem Anwendungsgebiet in den Lebenswissenschaften. Angrenzende bzw. überlappende Fachgebiete wie Medizinische Physik, Medizinische Informatik, Bioengineering, Biotechnologie, Biometrie, Ambient Assisted Living, Gesundheitstechnologien (Health Technologies), Medizintechnologie u. a. werden im Statusreport [DGBMT-FA 2012b] vorgestellt.

Durch die DGBMT wurde ein Gegenstandskatalog Biomedizinische Technik erstellt (Bild 2), der die für eine BMT-Ausbildung notwendigen Wissensgebiete zusammenfasst und systematisiert. Er enthält auch anteilig Inhalte anderer Fachgebiete, deren Vielfalt für eine umfassende BMT-Ausbildung unabdingbar ist, und die sich in den Bezeichnungen bzw. Vertiefungsrichtungen der Studiengänge, zum großen Teil auch als Wahlfachangebot, wiederfinden.

Im Lehrfach „Biomedizinische Technik“ spiegeln sich neben medizinisch-biologischen, physikalisch-technischen, ingenieurwissenschaftlichen und methodischen Grundlagen (Anatomie, Physiologie, Terminologie, Biomaterialien, Bioengineering, Modellierung und Simulation) auch die Mess-, Kommunikations- und Informationstechnik (Biosignale und Monitoring, Bildgebung, Medizinische Informatik) sowie Therapieprozesse, Theragnostik, Orthopädie- und Rehabilitationstechnik wider. Auch die praktischen, ethischen, sicherheitstechnischen, ökonomischen und rechtlichen Aspekte der BMT-Anwendung sind hinsichtlich Produktentwicklung, Zulassung und Bewirtschaftung von Medizinprodukten nicht zu vernachlässigen.

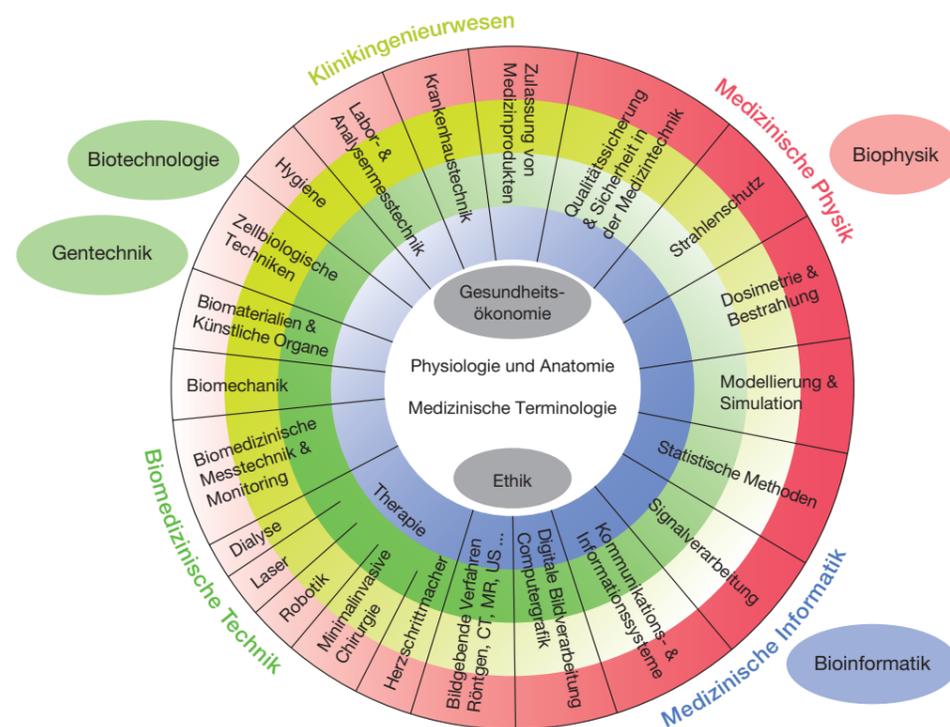


Bild 2: Grafische Darstellung der Schwerpunkte des Gegenstandskatalogs Biomedizinische Technik, Details s. [DGBMT 2002].

4 Anforderungen des Arbeitsmarktes an Absolventen der BMT

Im Mittelpunkt der Arbeit des (Bio-)Medizintechnikingenieurs steht die Lösung von (bio-)medizinischen Aufgaben mit technischen Mitteln. Dabei liegt der Fokus im industriellen Bereich auf der Bereitstellung einer optimalen technischen Lösung für ein Gerät, ein System, eine Komponente oder einen Prozess von der Festlegung des physikalischen Wirkprinzips bis zur konstruktiven, biologisch-technischen Realisierung und Zulassung. Im klinischen Umfeld dagegen geht es vor allem um Anpassungen der Technik, Maßnahmen zum sicheren Betrieb und die Begleitung von technikunterstützten Prozessen. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Vernetzungsgrades der medizintechnischen Geräte sind außerdem fundierte IT-Kenntnisse notwendig. Eine große Rolle spielen des Weiteren Kenntnisse über das Einzelgerät z. B. für klinikinterne Reparaturarbeiten sowie Prozesskenntnisse, um auf komplexe Abläufe wie beispielsweise im Bereich der Regulatory Affairs Einfluss nehmen zu können. Der Ingenieur muss sich darüber hinaus mit den korrespondierenden ökonomischen Aspekten im Rahmen seiner Tätigkeit in Unternehmen und Kliniken auseinandersetzen. Aus diesem Grunde sind betriebswirtschaftliches Grundwissen, erweitert um Kenntnisse zur Bewirtschaftung von Medizintechnik, zum Marketing, Qualitätsmanagement und ggf. Vertrieb von Medizinprodukten, von großer Bedeutung.

Empfehlungen zur Gestaltung von Studiengängen der Biomedizinischen Technik müssen sich am Bedarf der Arbeitgeber orientieren, die Hochschulabsolventen dieser Fachrichtung beschäftigen. Der wichtigste Arbeitgeber für Medizintechnikabsolventen ist die Medizintechnikindustrie. Des Weiteren kommen BMT-Absolventen in Kliniken sowie Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen zum Einsatz. Befragungen dieser Arbeitgeber fanden, organisiert über die DGBMT / FA Aus- und Weiterbildung in den Jahren 2007 (Industrie: 46 Unternehmen mit 5934 Ingenieuren) und 2009 (Klinik: 22 Kliniken mit 34.152 Betten) als Online-Umfragen der DGBMT statt [Kraft 2008, 2010]. Der in der Umfrage verwendete Fragenkatalog des Fachausschusses entstand im Rahmen von gemeinsamen Workshops des Fachausschusses Aus- und Weiterbildung der DGBMT mit Arbeitgebern bzw. Personalchefs. Der Mitglieder- und Interessentenkreis des Fachausschusses umfasst inzwischen ca. 250 auf dem Gebiet der Biomedizintechnik Tätige aus allen BMT-Anwendungsgebieten und Einsatzbereichen für Absolventen. Jährlich findet ein Workshop zu ausgewählten Themen der Aus- und Weiterbildung statt. Die Umfrage wurde initiiert, um den an Bildungseinrichtungen Tätigen Fakten und Argumente zur Gestaltung der Studiengänge und Weiterbildungsveranstaltungen zur Verfügung zu stellen.

Im Folgenden werden Absolventen von Studiengängen der Biomedizinischen Technik, der Medizintechnik bzw. des Klinikingenieurwesens entsprechend den Akkreditierungsempfehlungen als „Medizintechnikingenieure“ bezeichnet. Im Gegensatz dazu spricht man von „Ingenieuren“, wenn sie Absolventen von Elektrotechnik-, Maschinenbau- oder anderen technischen Studiengängen ohne BMT-Spezialisierung sind.

Einige Empfehlungen zur Gestaltung von BMT-Studiengängen ergaben sich schon aus den gemeinsamen Workshops des Fachausschusses Aus- und Weiterbildung der DGBMT mit Arbeitgebern bzw. Personalchefs vor der ersten Umfrage (2007 in der Industrie). So wurde darauf hingewiesen, dass ein zu stark medizintechnisch ausgerichtetes Studium für die Qualifikation der Ingenieure von Nachteil sein kann. Es beansprucht während des Studiums Zeit, die möglicherweise für eine solide Grundausbildung fehlt. Die Gestaltung interdisziplinärer Medizintechnik-Studiengänge muss deshalb mit Augenmaß geschehen und darf nicht zu

Lasten der Grundlagen erfolgen. Unabhängig von Titel und Abschluss ist es wichtig, dass die Absolventen Experten ihres Fachgebietes sind, dass sie ein Gespür für die jeweilige Fragestellung haben, Probleme sehen und beschreiben sowie Lösungen erarbeiten, bewerten und dauerhaft etablieren können. Für Ingenieure sind auch die Themenbereiche allgemeine Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft, Marketing und Projektmanagement wichtig.

Die ersten Themenkomplexe der o. g. DGBMT-Online-Befragung von Medizintechnikunternehmen betrafen den Einsatz und die Qualifikation der Ingenieure mit Spezialisierung auf Biomedizinische Technik [Kraft 2008]. Die Mehrzahl aller Ingenieure kommen in der Forschung und Entwicklung zum Einsatz, gefolgt von den Abteilungen Produktmanagement, Technischer Außendienst und Service sowie Qualitätsmanagement, Marketing und Vertrieb, Geschäftsleitung und Fertigung. In den Unternehmen lag der Anteil der Medizintechnikingenieure nach den Absolventen von Elektrotechnik- und Maschinenbaustudiengängen mit einem Anteil von 17 % auf Rang 3. Der Anteil der Elektrotechnikingenieure (23 % der Ingenieure) lag 4 % vor dem der Maschinenbauingenieure (19 %). Hinsichtlich des Stellenwertes der Medizintechnikabsolventen lässt sich dieses Ergebnis besser interpretieren, wenn die Einflüsse der Unternehmensgröße berücksichtigt werden.

Es zeigte sich, dass der Anteil an Medizintechnikingenieuren in großen (> 100 Mitarbeiter) wie in kleinen Unternehmen (< 20 Mitarbeiter) mit 14 - 16 % geringer ist als in Unternehmen mit 20 - 100 Mitarbeitern (dort 22 %, gemeinsam mit Maschinenbauabsolventen Rang 1). Die Ursache liegt im besonderen Spezialisierungsgrad der Ingenieure. In Großunternehmen finden Medizintechnikingenieure ihren Einsatz weniger in den hoch spezialisierten Forschungsabteilungen als an den Schnittstellen zum Markt (Produktmanagement, Service) und im Qualitätsmanagement. Auch Unternehmen mit weniger als 20 Mitarbeitern sind oft so hoch spezialisiert, dass der Überblick über verschiedene Medizintechnikanwendungen eines Absolventen des Studienganges „Biomedizinische Technik“ hier weniger gefragt ist. Anders sieht es bei mittleren Unternehmensgrößen von 20 bis 100 Mitarbeitern aus. Hier sind sowohl verschiedene Geschäftsfelder der Medizintechnik zu bedienen als auch mit abnehmender Unternehmensgröße zunehmende integrative Tätigkeiten erforderlich. Medizintechnikabsolventen bieten für diese Unternehmen die passende Qualifikation, sofern sie in der Lage sind, Tätigkeiten in der Entwicklung mit Aspekten des Produkt- und Qualitätsmanagements sowie teilweise auch der Fertigungssteuerung zu verbinden. Vorrangig gefordert sind also Generalisten mit Überblick. Unternehmen mittlerer Größe setzen 73 % der Medizintechnikingenieure in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen ein, 54 % im anwendungsorientierten Produktmanagement und 36 % im Qualitätsmanagement. Es folgen Marketing und Vertrieb (30 %) sowie Technischer Außendienst und Service (28 %). Die wenigsten Unternehmen haben Medizintechnikabsolventen in der Geschäftsleitung (6 %) oder in der Fertigung (4 %).

In den Kliniken ergab sich erwartungsgemäß ein völlig anderes Bild [Kraft 2010]. Hier lagen die wichtigsten Tätigkeitsbereiche der Ingenieure auf den Gebieten Medizinische Informationssysteme/Informationstechnik, Krankenhausbetriebstechnik/Medizintechnik und Medizinphysik. Dabei waren 53 % aller Ingenieure Absolventen von Medizintechnikstudiengängen, 16 % von Studiengängen der Informationstechnik/Informatik und 14 % Absolventen der Elektrotechnik.

In Anlehnung an die DGBMT-Empfehlung zur Akkreditierung von BMT-Studiengängen [DGBMT 2005] sollten in den Befragungen die wichtigsten Ausbildungsziele für Medizintechnikingenieure mit einer späteren Tätigkeit in der Klinik oder der Industrie ihrer Priorität nach

dargestellt werden. Die Hauptziele waren im Fragebogen vorgegeben und durch Beispiele wie folgt ergänzt:

- technische Grundkompetenzen: Beherrschen des aktuellen Wissens und der Methodik der Ingenieurwissenschaften (grundlegende Kenntnisse im Maschinenbau, der Elektrotechnik etc.)
- medizinisch-technische Fachkompetenzen: Verständnis medizinischer Fragestellungen und Kenntnis der Grundprinzipien der klinischen Arbeitsweise bei diagnostischen und therapeutischen Verfahren sowie die Fähigkeit zur Kommunikation mit Medizinern
- weitere Fachkompetenzen: Kenntnis der Sicherheitsaspekte der Medizintechnik (inklusive Qualitätsmanagement und Zulassung)
- fachübergreifende Kompetenzen: Fähigkeit, geeignete technische Lösungen zu entwerfen unter Kenntnis der besonderen Aspekte bei der Wechselwirkung technischer Systeme mit dem menschlichen Körper
- nicht-technische Kompetenzen: Methoden-, Sprach-, Sozialkompetenz, unternehmerische und juristische Kompetenzen.

Im Ergebnis der Umfrage (Bild 3) zeigt sich, dass technische Grundkompetenzen in der Industrie Vorrang vor den medizinisch-technischen und den fachübergreifenden Kompetenzen haben. In der Klinik dagegen liegen sie nach den medizinisch-technischen Fachkompetenzen an zweiter Position.

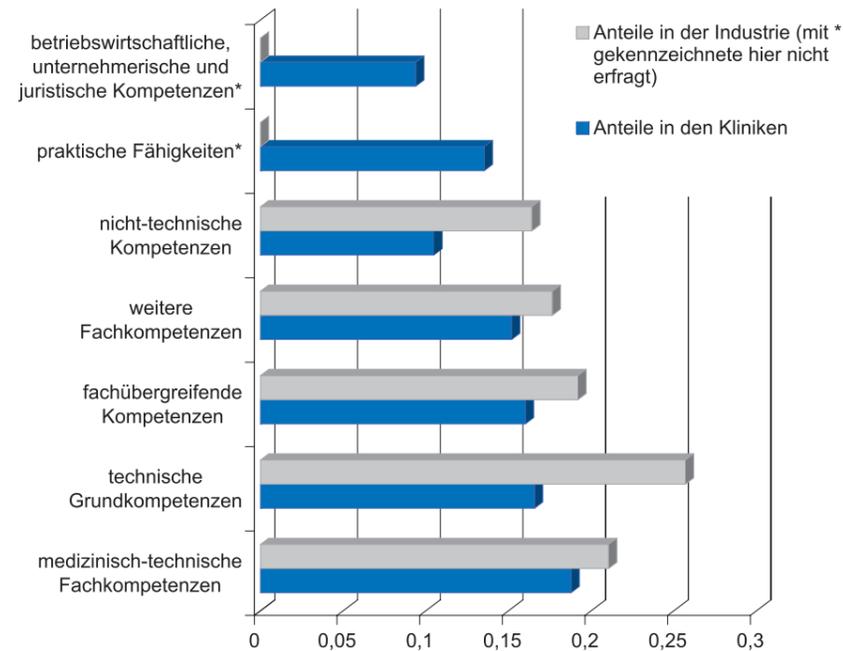


Bild 3: Ziele der Ausbildung von Medizintechnikingenieuren aus Sicht der Klinik/Industrie (die anteilige Wichtung der Antworten wurde auf 1 (= 100 %) normiert, technische Grundkompetenzen wurden z.B. mit ca. 25 von 100 % in der Industrie am höchsten priorisiert).

Die erbetene Bewertung notwendiger Fähigkeiten und Fertigkeiten mit einer sehr hohen Einstufung des anwendungsbezogenen Könnens und von Arbeitstechniken/Teamwork zeigt klar, dass das Grundlagenwissen auch tatsächlich beherrscht und anwendungsbereit verfügbar sein muss. Wichtig sind außerdem das theoretische Fachwissen, Fremdsprachenkompetenz und Kommunikation/Präsentation. Fähigkeiten in Management und Personalführung werden weniger erwartet, vermutlich, weil diese im Berufsleben noch erworben werden können. Selten beginnt die Tätigkeit der Absolventen mit reinen Managementaufgaben bzw. hoher Personalverantwortung. Die Bewertungen von Klinik und Industrie in der Wichtung der notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten waren erneut deckungsgleich.

Bei den erforderlichen Qualifikationen stehen die Lernfähigkeit und das fachübergreifende Denken zusammen mit der Kommunikationsfähigkeit auf den ersten Plätzen. Als weniger wichtig wurden eher managementorientierte Qualifikationen wie Durchsetzungsvermögen, Verhandlungsgeschick und Führungsqualitäten eingestuft.

Weiterhin sollten Fächer benannt werden, die im Curriculum eines Medizintechnikstudienganges unbedingt gelehrt werden sollten. Die Antwortmöglichkeiten waren vorgegeben und orientieren sich an den Empfehlungen zur Akkreditierung, s. Tabelle 1. Im Freitextfeld konnten diese Vorgaben ergänzende Antworten gegeben werden. Die Antworten aus der Umfrage betonen erneut den hohen Stellenwert der Grundlagenkenntnisse (Ergebnisse nachfolgend prozentual für die Industrie bzw. für die Klinik angegeben) mit folgenden Prioritäten (siehe Bild 4):

- mathematisch-naturwissenschaftliche Grundlagen (u. a. Mathematik, Physik, Mechanik) mit 20 % bzw. 15 %
- Ingenieurwissenschaften (z. B. Maschinenbau- und Elektrotechnikfächer) mit 19 % bzw. 15 %
- nicht-technische Fächer (z. B. Gesundheitswesen und Gesundheitsökonomie, Projekt- und Qualitätsmanagement, betriebswirtschaftliche Grundlagen) mit 12 % bzw. 11 %
- Physiologie & Anatomie, medizinische Terminologie etc. mit je 15 %
- Kernfächer der Medizintechnik (z. B. medizinische Mess- und Diagnosesysteme, medizinische Therapie-Systeme, Bildgebende Verfahren in der Medizin, Biomechanik, Biomaterialien, Biosignale und ihre Verarbeitung, Labor- & Analysetechnik in der Medizin, Medizinische Informatik) mit je 19 %
- Vertiefungsfächer der Medizintechnik (z. B. Laser in der Medizin, Telemedizin, Endoskopie, Systeme für minimal-invasive Techniken, medizinische Robotik und Manipulatoren, aktive und passive Implantate, Technik für die Rehabilitation, Prothetik, Mikrosystemtechnik für die Medizin) mit 15 % bzw. 16 %
- krankenhausspezifische Fächer (war nur in der Klinikumfrage wählbar, dort mit 10 % gewichtet).

Weitere gewünschte und im Freitext durch die Befragten außerhalb der Vorgaben der Umfrage benannte Fächer im Curriculum eines Medizintechnikstudienganges waren: Studienprojekte mit konkreten Fragestellungen aus der Industrie, Fremdsprachen, Rechtswissenschaften und Informatik.

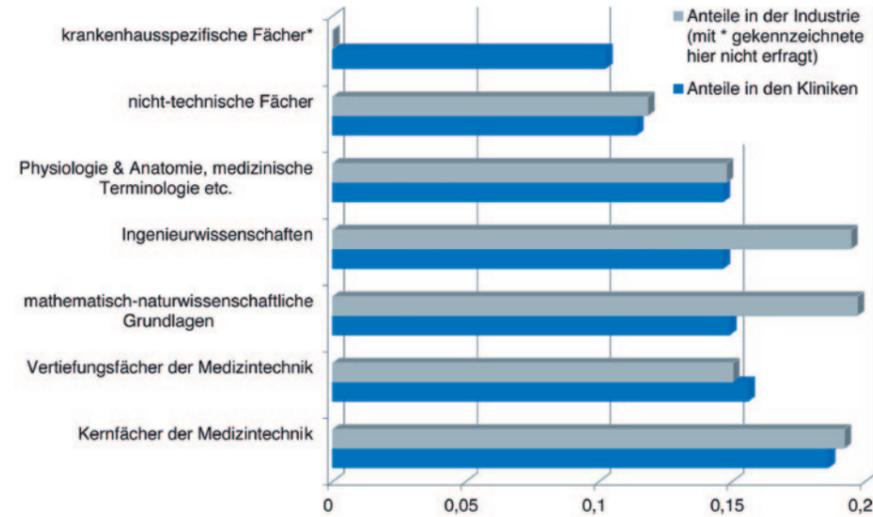


Bild 4: Gewünschtes Curriculum eines Medizintechnikstudienganges in der Klinik bzw. Industrie (die anteilige Wichtung der Antworten wurde auf 1 (= 100 %) normiert). Krankenhauspezifische Fächer waren nur in der Klinikumfrage wählbar.

Der letzte Frageblock betraf die Kriterien, die im Allgemeinen (möglichst unabhängig von spezifischen Tätigkeiten) in die Entscheidung über die Eignung eines neu einzustellenden Absolventen für eine Ingenieurstelle eingehen (Bild 5).

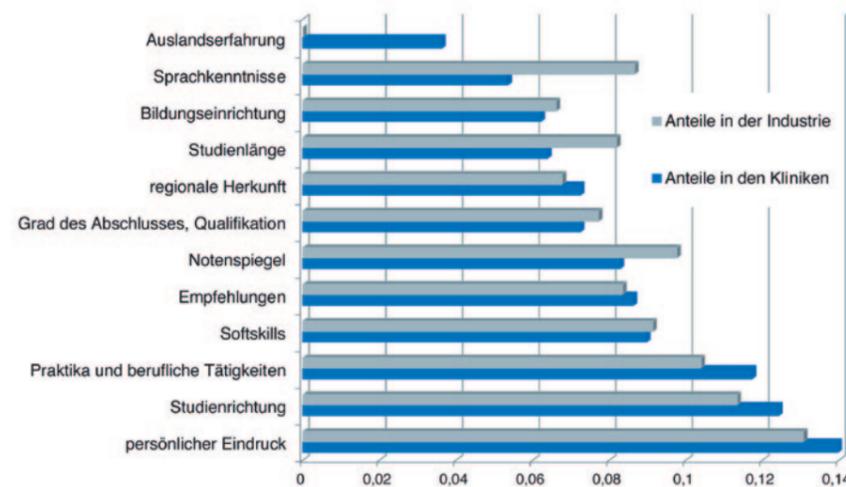


Bild 5: Eignungskriterien für Medizintechnikabsolventen (Das Kriterium „Auslandserfahrung“ wurde nur in den Kliniken erfragt; die anteilige Wichtung der Antworten wurde auf 1 (100 %) normiert).

An erster Stelle steht der persönliche Eindruck, gefolgt von der Studienrichtung, die dem fachlichen Anforderungsprofil der zu besetzenden Stelle entsprechen muss. Als eher unwichtig sind überraschenderweise die Bildungseinrichtung und der Grad des Abschlusses eingestuft worden. Wo und wie die Kenntnisse erworben wurden, ist scheinbar nebensächlich, wenn sie verfügbar sind und im Vorstellungsgespräch glaubhaft vermittelt werden können.

5 Empfehlungen der Fachgesellschaften zur Akkreditierung von BMT-Studiengängen

Mit der Einführung zahlreicher neuer Bachelor- und Masterstudiengänge neben etablierten Diplomstudiengängen zeigte sich die Notwendigkeit, Mindestanforderungen vorzugeben, um die bewährte Qualität technischer Studiengänge im Grenzgebiet zur Medizin zu erhalten. Bereits 2005 wurden die Empfehlungen zur Akkreditierung von Studiengängen in den Bereichen Biomedizinische Technik und Klinikingenieurwesen von der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik DGBMT im VDE, dem Fachverband Biomedizinische Technik fbmt [fbmt 2012] und dem Arbeitskreis Technik in der Medizin AKTIM formuliert [DGBMT 2005]. Diese Empfehlungen decken sich inhaltlich mit den von der Whitaker Foundation und der amerikanischen Akkreditierungskommission ABET 2006 formulierten [Whitaker 2006, 2012, Katona 2006].

Tabelle 1 zeigt die minimal erforderlichen Studienanteile unter Wahrung seriöser Grundlagen- ausbildung für Ingenieure bei gleichzeitiger Fachvertiefung in Biomedizinischer Technik. Berechnungsgrundlage bilden die im europäischen Hochschulraum wechselseitig anerkannten europäischen Kredit- oder Leistungspunkte KP, LP oder cr. (credits des European Credit Transfer and Accumulation System - ECTS), von denen 30 pro Semester erreicht werden sollen.

Bachelor	Bachelor in Biomedizinischer Technik			
	7 Semester einschließlich Fachpraktikum Mindestumfang ECTS-Punkte „7/3-Modell“	8 Semester einschließlich Fachpraktikum Mindestumfang ECTS-Punkte „8/2-Modell“		
Mathematik	20	30		
Physik	20	20		
Ingenieurwissenschaften	30	50		
Nicht-technische Fächer	20	20		
Physiologie & Anatomie	10	10		
Kernfächer BMT	25	25	Summe BMT-Anteile: 90 ECTS	Summe BMT-Anteile: 90 ECTS
Vertiefung BMT	25	25		
Flexibles Budget	30	30		
Abschlussarbeit (3-4 Monate)	15	15		
Fachpraktikum (5-6 Monate)	15	15		
Summe	210	240		
Master	Master			
	konsekutiv 3 Semester „7/3-Modell“	konsekutiv 2 Semester „8/2-Modell“	nicht konsekutiv 4 Semester „6/4-Modell“ (hier ohne BMT im Bachelor)	
Ingenieurwissenschaften	20	10	15	
Physiologie & Anatomie	0	0	10	
Kernfächer BMT	0	0	25	Summe BMT-Anteile: 75 ECTS
Vertiefung BMT	10	10	30	
Flexibles Budget	30	10	10	
Abschlussarbeit (6 Monate)	30	30	30	
Summe	90	60	120	

Tabelle 1: Mindestanforderungen lt. Akkreditierungsempfehlungen für Bachelor- und Masterstudiengänge Biomedizinische Technik und Klinikingenieurwesen, aus [DGBMT 2005], hier: „ECTS“ als Anzahl der erforderlichen Leistungspunkte (LP) angegeben.

6 BMT-Studienmöglichkeiten in deutschsprachigen Ländern

6.1 Überblick über die akademische Ausbildung im Fach Biomedizinische Technik in den deutschsprachigen Ländern

Die akademische Ausbildung im Fachgebiet Biomedizinische Technik zeigt sich genau wie das Fachgebiet selbst sehr facettenreich und inhomogen. Unter Ausbildung wird hierbei die Heranbildung von Fachkräften auf dem Gebiet der BMT im tertiären Bildungsbereich durch ein Studium an einer Hochschule verstanden, jedoch keine Berufsausbildung im Sinne einer Lehre für einen anerkannten Ausbildungsberuf. Eine Übersicht zu den Fachschulen, die zum „Staatlich geprüften Techniker – Fachrichtung Medizintechnik“ ausbilden, findet sich in [Cholt 2012]. Je nach Zugangsbedingungen sowie Ausbildungsart und -niveau kann „Biomedizinische Technik“ an Universitäten, Fachhochschulen und Berufs-/Studienakademien (im weiteren „Hochschulen“ genannt) studiert werden. Die Hochschulen bieten Präsenzstudiengänge mit unterschiedlich ausgeprägten Praxisanteilen an, ergänzt durch Weiterbildungsangebote verschiedener Formen.

Die im Folgenden dargestellten Zahlen und Entwicklungstrends beruhen auf Umfragen des DGBMT-Fachausschusses „Aus- und Weiterbildung – BMT im Studium“ aus den Jahren 1998, 2004 und 2011/12. Um sowohl zukünftigen Studienanfängern als auch der Industrie, den Kliniken und Forschungseinrichtungen, in denen Absolventen tätig werden, eine Orientierung zu ermöglichen, wurde 1998 ein erster Überblick über BMT-Studienangebote erarbeitet. Die ersten Studien zu Ausbildungsmöglichkeiten im deutschsprachigen Raum wurden bereits auf den Jahrestagungen der DGBMT 1998 in Dresden und 2004 in Ilmenau vorgestellt [Morgenstern 1998, 2005] und seitdem auf den Internetseiten des DGBMT-Fachausschusses unter der Rubrik „Studienmöglichkeiten“ veröffentlicht: Dieser aktuelle Überblick stellt, ausgehend von einer interaktiven Landkarte s. Bild 6, eine Informationsseite für jede Hochschule mit Links zur jeweiligen Homepage nach einheitlichen Kriterien im Internet unter [DGBMT-FA 2012ü] zur Verfügung.

In der Übersicht werden Informationen von den Hochschulen selbst zusammengestellt:

- Hochschule, Fakultät(en) und Institut(e), Kontakt
- Studiengänge: Kooperation, Zugangsvoraussetzungen, Semesterzahl, BMT-Anteil (in cr. bzw. SWS), Praktikumsanteil, Abschlüsse (Bachelor, Master, Diplom)
- durchschnittliche Anzahl der BMT-Studierenden, jährlichen Absolventen und Promovenden
- Ausbildungs- und Forschungsschwerpunkte
- Akkreditierung
- Mitarbeit der Hochschullehrer in Gremien
- Angebote für Gymnasiasten.

Weiterhin wurden von den Hochschulen folgende Informationen erfragt:

- Sprache der Lehrveranstaltungen / des Studienganges
- Anzahl der BMT-Hochschullehrer, davon weiblich
- Startjahr des BMT-Studienganges
- Studiengebühren.

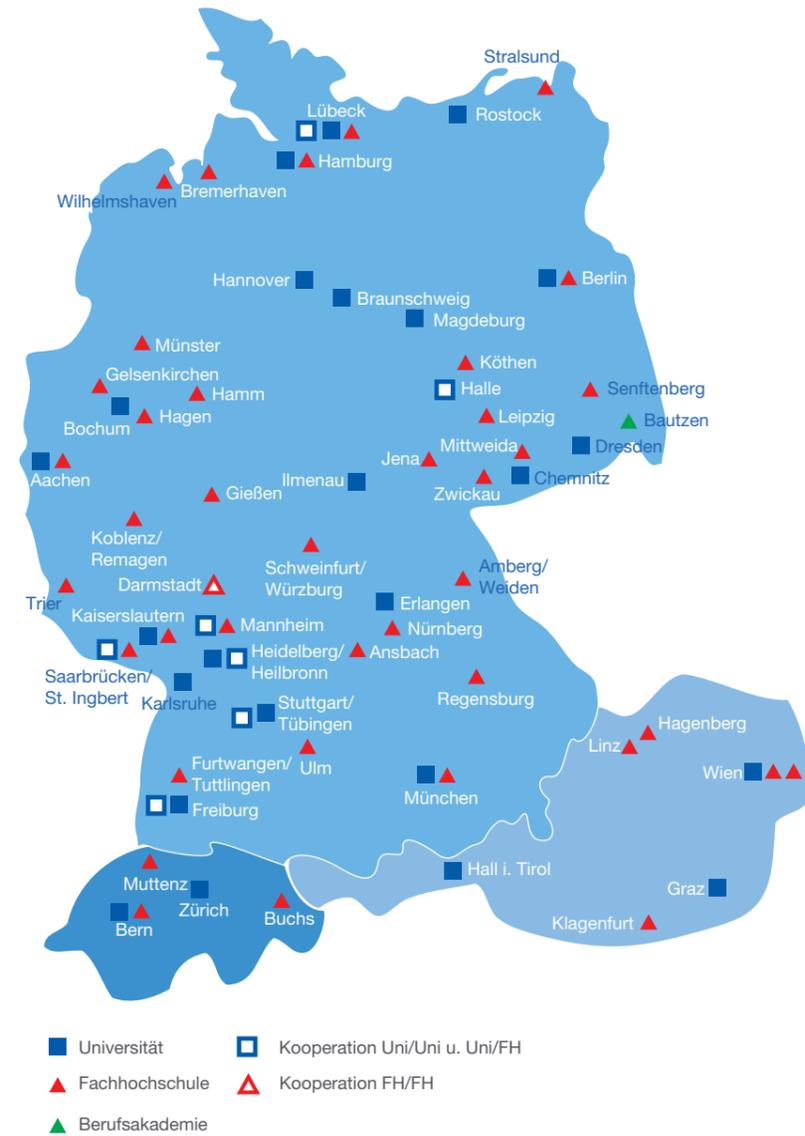


Bild 6: Hochschullandschaft Biomedizinische Technik im deutschsprachigen Raum 2012: 27 Universitäten (22 DE, 3 AU, 2 CH), 41 Fachhochschulen (33 DE, 5 AU, 3 CH), 1 Berufsakademie (1 DE) inkl. kooperativer Studienangebote.

Die Hochschullandschaft hat sich im Beobachtungszeitraum von 15 Jahren stark gewandelt: In Abhängigkeit von Forschung, technischer Entwicklung und personeller Situation sowie den Organisationsstrukturen an den Hochschulen unterliegen die Fachinhalte der Ausbildung einer ständigen Veränderung. Sie entwickeln sich im Zuge der europäischen Harmonisierung der Ausbildung und abhängig von gesellschaftspolitischen Vorgaben und Fördermöglichkeiten wie beispielsweise der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder. Eine ausführliche Darstellung inkl. aller Informationsseiten der Hochschulen findet man im Statusreport [DGBMT-FA 2012b].

6.2 Entwicklung der Hochschullandschaft

Mit der Entstehung des Fachgebietes Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik in der Mitte des vorigen Jahrhunderts bildeten sich auch entsprechende Ausbildungsschwerpunkte an nationalen wie internationalen Hochschulen heraus. Wesentlichen Einfluss auf diese Entwicklung hatte – neben dem technologischen Fortschritt in der Mess-, Automatisierungs-, Nachrichten- und Rechentechnik – die von Norbert Wiener begründete Lehre von der Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine, die Kybernetik. Die ersten BMT-Studiengänge waren daher eng mit Elektrotechnik und Elektronik sowie deren medizinischen Anwendungen verknüpft. Parallel zu Weiterentwicklungen auf technischer Seite weitete sich das Feld auf den Maschinenbau, die Verfahrenstechnik, Informatik und Physik aus. Und mit der Möglichkeit, auf zellulärer Ebene bis hin zu Mikro- und Nanostrukturen im molekularen Bereich Erkenntnisse und zielgerichtete Eingriffe an lebenden Systemen umzusetzen, kamen Zell- und Gewebs- sowie weitere Biotechnologien ergänzend hinzu.

Gesamtgesellschaftlich gesehen wird das Kerngebiet der Medizintechnik in Richtung Gesundheitswirtschaft erweitert. Das Studium der optimierten Wechselwirkungen lebender und nichtlebender Systeme erfordert und vermittelt damit eine umfassende Ausbildung nicht nur in mathematisch-naturwissenschaftlichen, ingenieurtechnischen sowie biologisch-medizinischen Grundlagen, sondern vor allem die Fähigkeit, technische Methoden, Verfahren und Werkzeuge zielgerichtet im biologisch-technischen Gesamtprozess zur Problemlösung einzusetzen (Methoden- und Systemkompetenz).

Der erste deutschsprachige BMT-Studiengang entstand 1953 in Ilmenau, gefolgt von Studiengängen in Karlsruhe, Berlin, Stuttgart, Gießen und Hamburg in den Jahren 1969 und 1970 (DE), sowie außerhalb Deutschlands in Zürich 1971 (CH) und in Graz 1973 (AU). In den 1970er Jahren war ein sprunghafter Anstieg der Zahl solcher Hochschulen zu beobachten. Die Anzahl steigt seitdem kontinuierlich an, inzwischen sind 69 Hochschulen mit BMT-Ausbildung verzeichnet (s. Bild 7).

Betrachtet man die Entwicklung der Anzahl BMT-ausbildender Hochschulen differenziert nach Hochschulart, so ist der große Anstieg 2011 besonders den Fachhochschulen in Deutschland und Österreich zuzuschreiben. Die Zahl der Universitäten mit BMT-Studiengängen stieg auf 27, wobei die Staatliche Studienakademie Bautzen bisher die einzige Berufsakademie blieb, die BMT-Inhalte lehrt.

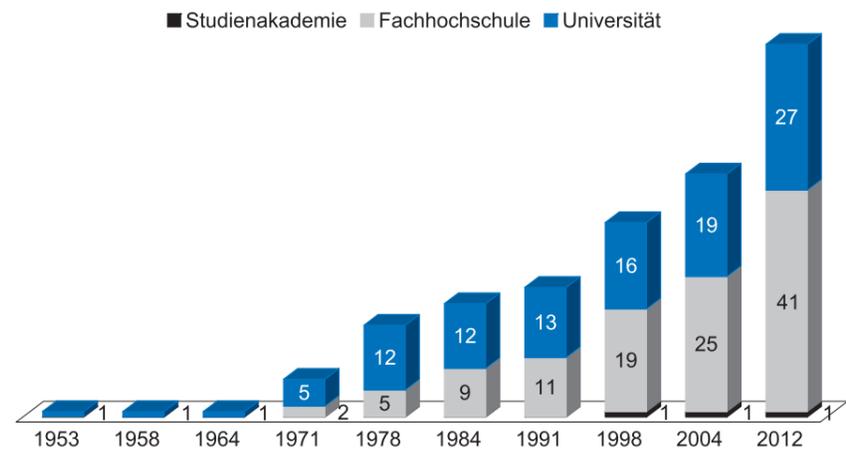


Bild 7: Entwicklung der Anzahl BMT-ausbildender Hochschulen im Zeitraum 1953 bis 2012 nach Hochschulart.

Differenziert nach der Entwicklung der deutschsprachigen Standorte stieg die Anzahl BMT-ausbildender Hochschulen in den vergangenen Jahren sowohl an österreichischen als auch an deutschen Fachhochschulen stark an (siehe Bild 8).

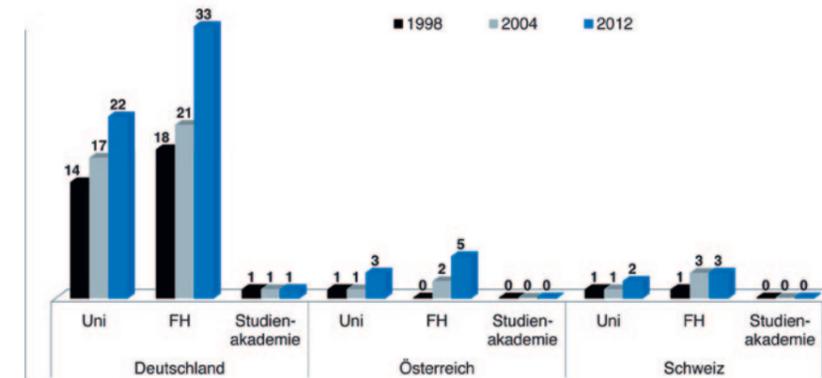


Bild 8: Entwicklung der Hochschullandschaft der Anzahl BMT-ausbildender Hochschulen im Zeitraum von 1998 bis 2012 nach Hochschulart in Deutschland, Österreich und der Schweiz geordnet.

6.3 Studienmöglichkeiten an Universitäten, Fachhochschulen und Studienakademien

Der im Folgenden dargestellte Überblick über BMT-Studienmöglichkeiten beruht auf der Befragung von mehr als 70 Hochschulen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz im Jahre 2012. Dabei sind Informationen von ca. 220 befragten Hochschullehrern in die Studie einbezogen worden.

Zu beobachten ist die klare Tendenz, dass mit der Anzahl ausbildender Hochschulen auch die Art und Anzahl unterschiedlicher Studiengänge beständig wächst: die Diversität der Studiengänge schnell in die Höhe (Bild 9). Dies lässt sich an der Statistik der Studiengangsbezeichnungen und möglichen Abschlüsse auf dem Gebiet der BMT ablesen: Im Jahr 2012 sind 70 unterschiedliche Studiengänge mit BMT-Inhalt an den 69 verschiedenen Hochschulen im Angebot.

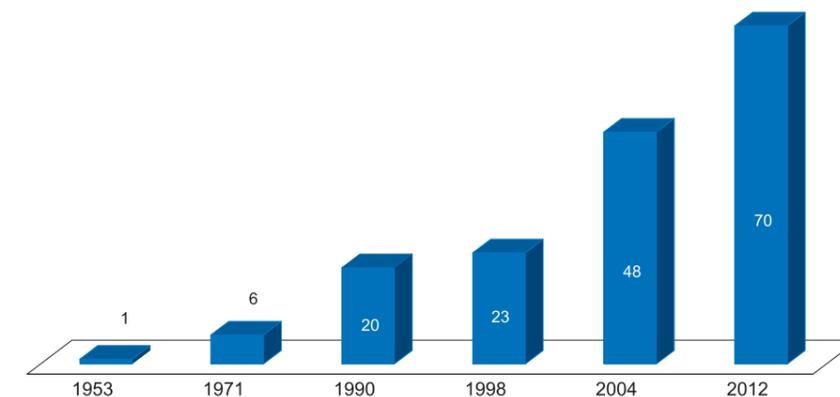


Bild 9: Diversifikation der Studiengänge als Trend in der BMT-Ausbildung: Anzahl der unterschiedlichen Studiengangsbezeichnungen mit BMT-Inhalt.

Von den 40 Studiengangsbezeichnungen ohne Bezug zu BMT sind 26 rein technischer Art. Nur 21 Studiengänge (mehrheitlich an Fachhochschulen) tragen Bezeichnungen, die im Zusammenhang mit „Medizin und Technik“ stehen, s. Tabelle 2.

Studiengangsbezeichnung	
Allgemeine Ingenieurwissenschaften	Medieninformatik
Applied Life Sciences	Medizin
Bioinformatik & Medizininformatik	Medizininformatik
Biologie	Medizininformatik und Biomedizintechnik
Biomechanik-Motorik-Bewegungsanalyse	Mediziningenieurwesen
Biomedical Engineering	Medizinische Informatik
Biomedical Engineering Sciences	Medizinische Informationstechnik
Biomedical Technologies	Medizinische Ingenieurwissenschaft
Biomedizinische Informatik	Medizinische Physik
Biomedizinische Technik	Medizinische Physik und Technik
Biomedizinische Technologie	Medizintechnik
Biomedizintechnik	Medizintechnik und Medizininformatik
Biotechnologie	Microsystems Engineering
Bio- und Prozesstechnologie	Mikrosystemtechnik
Chemie	Mikrosystem- und Nanotechnologie
Elektronische und Mechatronische Systeme	Mikro- und Medizintechnik
Elektrotechnik	Mikrotechnik und Medizintechnik
Elektro- und Informationstechnik	Molekulare und Technische Medizin
Elektrotechnik und Informationstechnik	Nano- und Oberflächentechnologien
Gesundheits- und Rehabilitationstechnik	Optotechnik und Bildverarbeitung
Health Care Information Technology	Physik
Humanmedizin	Physikalisch-Technische Medizin
Industrial Medtec	Physikalische Technik
Informatik	Physikalische Technik/Medizinphysik
Informationssystemtechnik	Physiotherapie
Informationstechnik/Medizintechnik	Radiologietechnologie
Ingenieurinformatik	Rettungsingenieurwesen
Life Science Technologies	Simulation Sciences
Maschinenbau	Sportmedizinische Technik
Maschinenwesen	Systemtechnik
Mathematik	Technische Wissenschaften
Mechatronik	Technologiemanagement
Mechatronik/Feinwerktechnik	Telematik
Medical Engineering	Verfahrenstechnik
Medical Systems Engineering	Wirtschaftsingenieurwesen

Tabelle 2: Diversität der Studiengangsbezeichnungen 2011/2012: 70 unterschiedliche Studiengangsbezeichnungen an 27 Universitäten, 41 Fachhochschulen und einer Berufsakademie; BMT-/MT-Fachinhalt bereits aus dem Namen erkennbar.

6.4 Fachinhalte, Stundenumfang, Studiendauer, Abschlüsse, Sprachen

Fachinhalte

Um die Breite des interdisziplinären Fachgebiets Biomedizinische Technik angemessen zu repräsentieren, werden die Studieninhalte unter teilweise auch einander überschneidenden Bezeichnungen zusammengefasst, z.B.

- Diagnostische und Therapeutische Gerätetechnik / Systeme
- Biosignalverarbeitung / Sensorik / Monitoring
- Medizinische Bildgebung / Bildverarbeitung
- Autonome und Kooperative Systeme
- Rehabilitationstechnik
- Medizinische Informatik und Informationstechnik
- Prüfung und Zulassung von Medizinprodukten
- Krankenhaustechnik und -management
- Biomechanik.

Diese Gebiete spiegeln sich in BMT-bezogenen Schwerpunktthemen im Studienplan wider, neben biologisch-medizinischen, naturwissenschaftlich-technischen, methodischen, rechtlichen, ökonomischen und anderen Grundlagen. Man findet sie als BMT-Schwerpunkte in den Modulbezeichnungen oder den Titeln einzelner Lehrveranstaltungen. Die Klassifizierung der BMT ist vor allem wegen unterschiedlicher Sichten auf das interdisziplinäre Gebiet und daraus abgeleiteter Klassifizierungskriterien schwierig, woraus sich ein sehr umfangreiches Begriffssystem ergibt, das sich auch im Gegenstandskatalog Biomedizinische Technik [DGBMT 2002] abbildet.

Stundenumfang

Der Umfang fachbezogener Lehrveranstaltungen der Spezialisierung Biomedizinische Technik kann über die Anzahl der Semesterwochenstunden (SWS) bzw. die anzurechnenden Kreditpunkte (cr. / LP ECTS) abgeschätzt werden. Während 2004 erkennbar war, dass der Umfang an Biomedizintechnik-Fachausbildung an Fachhochschulen weit größer war als an Universitäten, wo der Schwerpunkt mehr auf wissenschaftlicher Grundausbildung des jeweiligen Studienganges lag, haben Universitäten inzwischen den Anteil der (mehr anwendungs-/ praxisbezogenen) BMT-Fachausbildung stark erhöht. Geht man von der festgelegten Gesamtzahl an SWS für ein Studium aus, so bedeutet das eine Reduktion des Umfangs anderer (meist technischer) Grundlagenfächer und/oder eine Ausweitung des Wahlfachangebots in den BMT-Modulen.

Studiendauer

Die vielfältigen Studiengänge sind konsekutiv und nicht konsekutiv angelegt. Im Jahr 2005 wurde die unbedingt nötige Dauer von Bachelor-Studiengängen mit mindestens 7 Semestern für technische Studiengänge wie BMT von den vorwiegend technisch ausbildenden Hochschulen empfohlen [DGBMT 2005]. Durch die ländergemeinsamen Strukturvorgaben [KMK

2010] wird für Ingenieurstudiengänge inzwischen ein mindestens zweijähriger Master vorgegeben. Daraufhin hat sich besonders an Universitäten für das konsekutive Studium das „6/4“-Modell gegenüber dem „7/3“-Modell durchgesetzt.

Werden Bachelor- und Masterstudiengänge mit 6 oder 7 bzw. 4 oder 3 Semestern einzeln angeboten, haben die Studenten eingeschränkte Kombinationsmöglichkeiten. Suchen sie den ergänzenden Studienanteil inhaltlich passend oder nach anderen Kriterien als der Studierendauer aus, bedeutet eine 7/4-Kombination eine Studienverlängerung.

Die Kreditpunkte werden für Lehrveranstaltungen eines bestimmten Umfangs (Vorlesungen, Seminare, Übungen, Praktika) inkl. Selbststudium und Prüfung vergeben. Die Zahl der angebotenen Semesterwochenstunden SWS mit BMT-Inhalt variiert von Hochschule zu Hochschule erheblich.

Bei der Untersuchung der Anteile an Biomedizinischer Technik innerhalb des Fächerspektrums im Studiengang zeigt sich, dass die Universitäten den Anteil der (mehr anwendungs-/praxisbezogenen) BMT-Fachausbildung im Masterstudium zwar stark erhöht haben und damit etwa dem Umfang des BMT-Masters der Fachhochschulen entsprechen, im Bachelorstudium allerdings im BMT-Anteil unter dem der Fachhochschulen bleiben, um die wissenschaftlichen Ingenieurgrundlagen im nötigen Umfang vermitteln zu können.

Abschlüsse

Diplom- und Bachelorstudium führen als grundständige Studiengänge zum ersten berufsqualifizierenden Abschluss. Baut ein Masterstudiengang auf einem Bachelorstudiengang auf, bezeichnet man das Studium als konsekutiv - im Gegensatz zum nicht konsekutiven Masterstudiengang. Dieser stellt ein eigenständiges postgraduales (weiterbildendes) Studium nach einem ersten Abschluss (z. B. Diplom, Bachelor) dar, ggf. bereits einen Master mit anderem Fachschwerpunkt ergänzend.

Im Zuge der Bologna-Reform entstanden in den ersten Jahren vornehmlich an Fachhochschulen Bachelor- und Masterstudiengänge, welche die herkömmliche Diplomingenieurausbildung ablösten. Die Universitäten zogen nach, allerdings tendieren sie – angeführt von den TU9 und 4ING – inzwischen wieder zur Verleihung des Titels „Diplom-Ingenieur“ äquivalent zum „Master of Science“ [VDE 2010, Garbe 2011], basierend auf verbesserten Studienbedingungen und klar strukturierten modularisierten Studienplänen.

Folgende Studienabschlüsse sind sowohl an Universitäten als auch an Fachhochschulen und an der Berufsakademie bei der Zugangsvoraussetzung Fachhochschulreife bzw. Hochschulreife, z. T. auch Meisterabschluss, möglich:

D ... Diplom: Diplom (FH) / Diplom (BA), DAS (Diploma of Advanced Studies)

B ... Bachelor: B., B. Eng., B. Sc. (Bachelor of Engineering / Science)

M ... Master: M. Eng., M. Sc. (Master of Engineering / Science), MBT (Master Biomedizinische Technik), MAS (Master of Advanced Studies).

In Graz und Wien wird den Absolventen des Master-Studiums gemäß dem österreichischen Universitätsgesetz der Titel Dipl.-Ing. verliehen. In Bern lautet der Abschluss Master bzw. Diploma of Advanced Studies (MAS, DAS). In Deutschland laufen an einigen Hochschulen Diplomstudiengänge noch parallel zu Bachelor- und Masterstudiengängen, so dass auch

2012 noch der Titel Diplomingenieur verliehen wurde und weiter verliehen wird. In Sachsen ist z. B. im Hochschulgesetz der Abschluss Diplomingenieur gleichrangig mit Master of Science verankert, so dass u. a. an der TU Dresden auch weiterhin ein fünfjähriges Diplomstudium mit Vertiefung im Modul Biomedizinische Technik angeboten wird. Die Studenten können wählen, welche Abschlussbezeichnung zuerst auf der Urkunde genannt wird: Diplom oder Master of Science. Der jeweils äquivalente Abschluss wird auf derselben Urkunde mit dem Satz „... entspricht dem ...“ aufgeführt (in der überwiegenden Zahl wird das Diplom als primär genannter Abschluss bevorzugt). In Mecklenburg-Vorpommern wurde die Möglichkeit des Diplom-Abschlusses nach Landtagsbeschluss wieder eingeführt, in anderen Ländern werden separate Äquivalenzbescheinigungen vergeben.

Im deutschsprachigen Raum können Studierende ihr Studium an 53 Hochschulen mit einem Bachelor und an 53 Hochschulen mit einem Master abschließen. Von den 2011 noch ca. 20 Hochschulen, die das Diplom als Abschluss vergeben haben, bieten ab dem Wintersemester 2012/2013 nur noch die TU Dresden, die TU Graz sowie die TU Wien diesen Abschluss an. Für alle anderen Hochschulen läuft dieses Modell aus.

Sprachen

Zum Teil findet die Ausbildung in englischer Sprache oder auch bilingual statt. 2012 gibt es 10 englisch bezeichnete Studiengänge, von denen 3 Masterstudiengänge an 10 verschiedenen Hochschulen vollständig in englischer Sprache studiert werden können. Ausnahmen bilden die zwar englisch bezeichneten, aber rein deutschsprachigen Studiengänge „Medical Engineering“ an der TU Chemnitz und „Biomedical Engineering“ an der TU Graz.

6.5 Anzahl der Studenten und Promovenden, Kriterien zur Studienwahl

Anzahl der Studenten und Promovenden

Die durchschnittliche Studentenzahl pro Hochschule beträgt pro Jahr in den Kernfächern Biomedizinische Technik (minimaler (mittlerer) maximaler Wert):

- im Jahr 2004 an Universitäten 4(25)92, an Fachhochschulen 16(77)181,
- im Jahr 2012 an Universitäten 3(79)240, an Fachhochschulen 10(61)246.

Die Zahlen der Studenten, Absolventen und die Zahl der Promovenden pro Jahrgang beziehen sich dabei nicht auf den gesamten Studiengang (z.B. Elektrotechnik), sondern nur auf die BMT-Spezialisierung. Damit haben die Universitäten ihre durchschnittlichen BMT-Studentenzahlen pro Jahr innerhalb der vergangenen 14 Jahre verdreifacht und liegen nun mit den Fachhochschulen etwa gleichauf. Der Anteil an Studentinnen ist in der Biomedizinischen Technik mit 33 bis 55 % immer signifikant höher als in rein technischen Fächern (vgl. Informatik ca. 9 %, Elektrotechnik ca. 11 %, Maschinenbau ca. 6 %).

Während im Jahr 2004 ca. 380 Universitätsstudenten und 470 Fachhochschulstudenten mit BMT-Vertiefung pro Jahr studierten, waren es 2012 ca. 1900 Universitätsstudenten und 2400 Fachhochschulstudenten. Das Studiengebiet BMT absolvieren allerdings wesentlich weniger mit einem BMT-Abschluss als im Mittel studieren, da viele Absolventen BMT als Modul/Vertiefungsfach aus anderen Studiengängen heraus belegen. Die meisten Abschlussarbeiten (ca. 1200 pro Jahr) sind Bachelor-Absolventen an Fachhochschulen zuzuordnen. Insgesamt stehen ca. 2 500 Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten pro Jahr ca. 150 abgeschlossenen

Promotionen (105 an Universitäten, 46 kooperativ) direkt auf dem Gebiet der BMT gegenüber. In den vergangenen Jahren wurden im Durchschnitt pro Universität etwa 8 Promovenden pro Jahr mit BMT-Thema an BMT-ausbildenden Instituten betreut (minimal 2, maximal 40 an der TU München).

Kriterien zur Studienwahl

Die Kriterien, nach denen Studierende Studiengang und Hochschule ausgewählt haben, bleiben meist verborgen. Einer vom Arbeitgeberverband Gesamtmetall und vom Fachbereichstag Elektrotechnik/Informationstechnik initiierten Umfrage zufolge spielen fachliches Interesse, Neigungen / Begabungen, berufliche Entwicklungschancen, Verdienstmöglichkeiten und Arbeitsmarktsituation eine große Rolle. Studiendauer und Empfehlungen bzw. auch ein nicht realisierter Erststudienwunsch scheinen nicht so wesentlich zu sein [WSF 2008].

Persönliche Erfahrungen zweier Studierender zeigen, wie sie Studium und Hochschule bewusst durch das Testen von verschiedenen Hochschulen ausgewählt haben. Sie berücksichtigten für ihre Wertung der jeweiligen Hochschule bzgl. der Wahl des Studienortes nach Festlegung des Studiengangs BMT neben Kriterien, die die Organisation des Studiums an der Hochschule und die Verbindungen zur Industrie betreffen, auch Aspekte des Wohnens und des studentischen Lebens, s. Statusreport [DGBMT-FA 2012b].

6.6 Studienformen, Prüfungsformen, Studiengebühren, Akkreditierung

Studienformen

Traditionelle Lehr- und Lernformen (Vorlesung, Seminar/Übung, Praktikum) können sinnvoll durch problemorientiertes Lernen (Problem Based Learning (PBL) oder Project Oriented Learning (POL)) ergänzt werden. Die Unterstützung und Erweiterung der konventionellen Präsenzlehre durch interaktive, multimediale eLearning-Anteile („Blended Learning“) erfreuen sich zunehmenden Interesses. Das führt zu neuen Möglichkeiten des selbstgesteuerten, orts- und zeitunabhängigen internetbasierten Lernens („distance learning“) und Prüfens („e-Prüfungen“) und ist vorteilhaft für z. B. junge Mütter in der Babypause, Freiberufler, Arbeitslose und vor allem auch berufsbegleitend Lernende. Allerdings sollte der wichtige Kontakt zu Lehrpersonal und Kommilitonen bei allen Angeboten gewahrt bleiben. Der Betreuungsaufwand, der beispielsweise durch eLearning eingespart werden könnte, muss vor Einführung des Angebotes in die Erstellung und organisatorische Vorbereitung der Lehrmodule investiert werden, was häufig einen vielfach höheren Aufwand bedeutet. Zudem besteht eine Gefahr der „virtuellen Abwanderung“ Studierender zu attraktiven kostenlosen, über das Internet zugänglichen Bildungsangeboten [coursera 2012]. Entsprechende Angebote auf dem Gebiet der Biomedizinischen Technik finden sich in Boston oder Stanford [MIT 2012, Stanford 2012]. Erfahrungen mit elektronisch unterstützten Studien- und Prüfungsformen zu biomedizintechnischen Inhalten auf verschiedenen Bildungsstufen (im Technik- wie Medizinstudium, Weiterbildung, frühkindliche Bildung) liegen in Freiburg, Aachen und Dresden vor (z. B. s. [PTM 2012, Baumann 2011, IBMT 2012]).

Studiengebühren

An 12 Universitäten, 13 Fachhochschulen und für zwei kooperative Studiengänge sind Studiengebühren in einer Höhe zwischen 118 und 3.600 EUR bzw. 6.000 CHF pro Semester zu

entrichten. Die besonders hohen Gebühren an der Exzellenzuniversität Heidelberg beispielsweise wirken dabei keineswegs abschreckend - im Jahr 2011 gab es ca. 600 Bewerber auf 20 Masterstudienplätze, s. Statusreport [DGBMT-FA 2012b].

Akkreditierung

Alle neu einzuführenden Studiengänge müssen akkreditiert werden. Dazu stehen 2012 auf dem Gebiet der BMT 8 verschiedene Akkreditierungsagenturen im deutschsprachigen Raum zur Verfügung. Für das Fachgebiet BMT sollten die Empfehlungen zur Akkreditierung [DGBMT 2005] berücksichtigt werden. Die Akkreditierung von Studiengängen ist in einem vorgeschriebenen zeitlichen Rhythmus zu wiederholen.

Auf dem Gebiet BMT-bezogener Ausbildung waren 2004 5 Akkreditierungen von Bachelor- oder Master-Studiengängen bereits abgeschlossen und weitere 5 Verfahren waren beantragt. 2011 sind die Studiengänge an 19 Universitäten und 29 Fachhochschulen bereits akkreditiert, an 2 Hochschulen ist eine Akkreditierung geplant. Einige bereits akkreditierte Studiengänge wurden vor der Reakkreditierung (nach fünf Jahren) bereits wieder geschlossen.

6.7 Verhältnis Forschung - Lehre, Nachwuchsförderung

Die seitens des DGBMT-Fachausschusses „Aus- und Weiterbildung“ im Internet veröffentlichten Informationen der Hochschulen zur Charakterisierung ihrer BMT-Ausbildung [DGBMT-FA 2012ü] enthalten neben Ausführungen zur Fachausbildung auch Angaben zu Forschungsschwerpunkten, Sonderforschungsbereichen und Kompetenzzentren sowie zur Arbeit der BMT-Hochschullehrer in wissenschaftlichen Fachgesellschaften und Gremien. Auf diese Weise erhalten Studieninteressierte und auch die Industrie und Kliniken als potentielle Arbeitgeber der Absolventen Informationen, welche aktuellen Forschungsrichtungen die Lehre befruchten, und in welchen Gebieten Abschlussarbeiten und Kooperationen angesiedelt sind.

MINT-Fächer sind die Basis für alle ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge, somit auch für die Studiengänge der Biomedizinischen Technik. Die Abkürzung MINT steht für Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. Um eine aktive Studienwerbung zu betreiben und Abiturienten frühzeitig an Studium und wissenschaftliche Arbeit heranzuführen, gibt es neben Tagen der Offenen Tür, Schnupperstudium oder Projektwochen für Gymnasiasten eine Reihe von BMT-bezogenen Angeboten [DGBMT-FA 2012b].

Es zeigt sich, dass die Angebote für Schüler, bei denen sich die Gymnasiasten selbst unter Anleitung ausdauernd und kreativ mit der Lösung kniffliger Probleme befassen, besonders wirkungsvoll sind. Einerseits erkennen die Schüler, dass dieses technische Fach zwar anstrengend, aber äußerst interessant ist, und dass man es – obwohl es nicht direkt als Unterrichtsfach vertreten ist – studieren kann. Andererseits erhalten Schüler, die zu ungenauen oder falschen Vorstellungen vom Studienfach BMT hatten, ein realistischeres Bild für die eigene Zukunftsplanung.

7 Weiterbildung im Umfeld der Biomedizinischen Technik

7.1 Lebenslanges Lernen

Das Arbeitsumfeld der Beschäftigten der Biomedizintechnik ist geprägt durch Komplexität und Interdisziplinarität, extrem schnelle technische und technologische Entwicklungen sowie eine hohe Dynamik der regulatorischen Anforderungen. Dies erfordert für die Hochschulabsolventen der Biomedizintechnik auch nach dem ersten berufsqualifizierenden Abschluss und nach vielen Jahren Berufserfahrung eine regelmäßige Anpassung ihres Wissensstandes durch Weiterbildung („Lebenslanges Lernen LLL“). Diese Weiterbildung ist meist eng mit den aktuellen Anforderungen aus dem Arbeitsumfeld des Ingenieurs verbunden und dient der Vertiefung und Spezialisierung sowie der Einarbeitung in neue Aufgabenbereiche und Anwendungsgebiete.

Auf politischer Ebene wurde die Bedeutung des lebenslangen Lernens erkannt: „Das Lernen im Lebenslauf gehört zu den großen politischen und gesellschaftlichen Herausforderungen in Deutschland. Die Verwirklichung des Lernens im Lebenslauf ist entscheidend für die Zukunft des Einzelnen, der Gesellschaft und der Wirtschaft. Sie ist vorrangige bildungspolitische Aufgabe.“ [IKWB 2008, Präambel]. Auf europäischer Ebene unterstützen Maßnahmen wie die Einführung einer differenzierten Studienstruktur und die Modularisierung der Studienprogramme sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Durchlässigkeit zwischen einzelnen Studien- und Bildungsphasen die Anpassungen im Bildungssektor und fördern das Lebenslange Lernen [KMK 2008, KMK 2009]. Die Umsetzung des Deutschen Qualifikationsrahmens [DQR 2005] – komplementär zum Europäischen Qualifikationsrahmen [EQR 2004] – eröffnet die Chance, das deutsche Qualifikationssystem transparenter zu machen, Durchlässigkeit und Mobilität zu fördern sowie die Orientierung von Qualifikationen an Kompetenzen und Lernergebnissen zu unterstützen.

Betrachtet man das „Lebenslange Lernen“ über die gesamte Lebensspanne eines Menschen, so ist die Kompetenzentwicklung gekennzeichnet durch eine Lernbiographie mit formalen, non-formalen und informellen Lernphasen (Bild 10).

Die Ingenieurausbildung an Hochschulen ist durch das angestrebte Bildungsziel gekennzeichnet und deshalb im Bereich der formalen Bildung anzusiedeln. Man spricht bei der Hochschulausbildung auch vom tertiären Bildungsbereich. Die Weiterbildung (non-formal in organisierten Weiterbildungsveranstaltungen und informell durch Selbstlernen) wird dem quartären Bildungsbereich zugeordnet. Unter Weiterbildung soll im Kontext dieses Positionspapiers die berufliche oder betriebliche Weiterbildung und der Erwerb von Zusatzqualifikationen als Teil des quartären Bildungsbereiches verstanden werden.

Während Studium und Berufstätigkeit in der Vergangenheit sequentiell aufeinander folgten, zeichnen sich heute Veränderungen ab: Durch eine enge Verzahnung von Phasen des Studiums, der Berufstätigkeit und der Weiterbildung bei den Studierenden und Bildungsinteressenten wird eine Verschmelzung des tertiären und quartären Bildungsbereiches erwartet. Der Einzelne durchläuft im Allgemeinen mehrere Phasen des Studiums und der Berufstätigkeit, teilweise sogar gleichzeitig [Fincke 2010]. Dabei werden der Wechsel von Bildungseinrichtung und Studienfach/Berufsfeld eher die Regel als die Ausnahme sein (Bild 10).

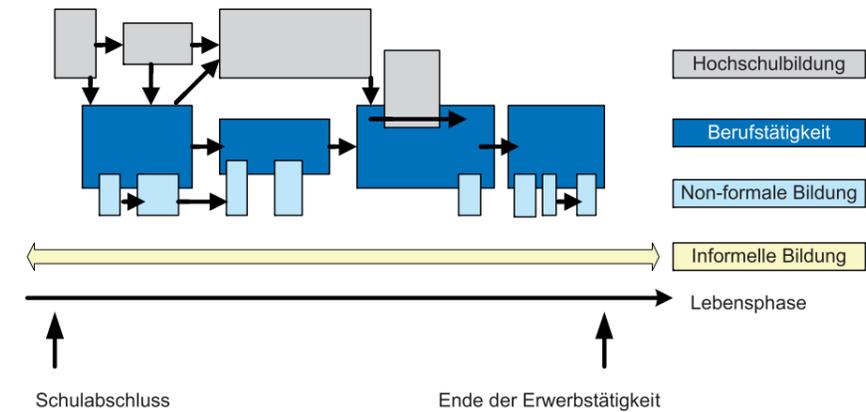


Bild 10: Verzahnung von Phasen der Bildung und Berufstätigkeit.

Diese individuellen Bildungswege der Lernenden mit spezifischen Bildungszielen, Zugangsvoraussetzungen, Bildungsorten, unterschiedlicher Berufserfahrung und unterschiedlichen organisatorischen Anforderungen stellen für alle Anbieter von Weiterbildungsmaßnahmen auch im Umfeld der Biomedizinischen Technik eine besondere Herausforderung dar.

7.2 Weiterbildungsbedarf

Die Notwendigkeit des lebenslangen Lernens ist inzwischen vielen Unternehmen und ihren Mitarbeitern bewusst: Unter den 19- bis 64-Jährigen hat sich in den Jahren 1979 – 1997 die Teilnahme an beruflicher Weiterbildung verdreifacht und betrug 2003 und 2007 26 % [Rosenblatt 2008]. In der Medizintechnik sind Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen die meistgenutzte Personalentwicklungsmaßnahme. Die Auswirkung bisher erfolgter Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen auf den Unternehmenserfolg beurteilten 99 % der Unternehmen „positiv“ bzw. „eher positiv“. Unabhängig von der Firmengröße und dem Branchenzweig sehen die Medizintechnik-Unternehmen die Weiterbildung ihrer Mitarbeiter als geeignetes Mittel zur Steigerung des Unternehmenserfolges an (Umfrage unter Medizintechnikfirmen mit 104 Antworten; „Umfrage Medizintechnikunternehmen“ [FMP 2008]).

Dabei werden externe und interne Kurse bzw. Seminare in der Medizintechnik bei Unternehmen mit mehr als neun Mitarbeitern am ehesten als besonders geeignet eingestuft, jedoch meist weniger genutzt als Fachtagungen und Messen [Fox 2007]. Vergleicht man die Nutzung interner und externer Weiterbildung, so überwiegen in der Medizintechnik wie in der Gesundheitsbranche die externen Angebote, lediglich bei kleineren Unternehmen gibt es Abweichungen [FMP 2008, Fox 2007, IHK BB 2007]. Branchenunabhängig ist in den Jahren 2002 bis 2007 in der betrieblichen Weiterbildung der Trend abzulesen, den Anteil offener Seminare gegenüber internen Maßnahmen zu verringern [Graf 2006, Graf 2009]. Demnach gewährten immerhin 59 % der befragten Firmen aus der Medizintechnik den Mitarbeitern eine Schulungsdauer von zwei und mehr Tagen pro Geschäftsjahr [FMP 2008]. Das entspricht dem branchenunabhängigen Durchschnitt für 2006, der in [Graf 2011] mit 59,7 % angegeben wird. Hieraus ist auch zu entnehmen, dass der durchschnittliche Schulungsaufwand pro Mitarbeiter bis 2009 keinen deutlichen Trend zeigt, jedoch an Hand der gesamtwirtschaftlichen Situation erklärbar ist.

Der größte Qualifizierungsbedarf wurde – bereits vor der 4. MPG-Novelle und der Einführung der MPKPV 2010 – in der Mehrzahl der befragten Unternehmen (80 %) im Bereich der klinischen Prüfung im Rahmen des Medizinproduktegesetzes gesehen. Dies ist vor dem Hintergrund der Dynamik in der (europäischen) Medizinproduktegesetzgebung sicherlich nicht verwunderlich.

Insbesondere für Mitarbeiter mit Hochschulabschluss sehen viele Unternehmen auch einen Qualifizierungsbedarf in den Bereichen Management, Projektmanagement und Personalführung, d. h. in jenen Bereichen, in denen Absolventen normalerweise noch keine Qualifikation mitbringen. Naturwissenschaftliche und technische Grundlagen spielen eine eher nachgeordnete Rolle, medizinische Grundlagen sind gar nicht gefragt, während die anwendungsbezogene Kombination als spezifisches medizintechnisches Wissen durchaus von Interesse ist [FMP 2008]. Dieses Ergebnis wird durch [Fox 2007] bestätigt, hier rangiert der Weiterbildungsbedarf auf dem Gebiet des fachlich-technischen Wissens vor dem des fachlich-betriebswirtschaftlichen Wissens, dicht gefolgt vom medizinischen, produktbezogenen Anwen-

7.3 Weiterbildungsangebote

Weiterbildungsanbieter im Umfeld der Biomedizinischen Technik sind einerseits die Hochschulen mit ihren Weiterbildungsstudiengängen (mit und ohne akademischen Abschluss). Sie dienen in erster Linie dem Erwerb von Zusatzqualifikationen im Sinne der Weiterqualifizierung, z. B. für den beruflichen Aufstieg, und sind in der Regel von vorn herein auf einen längeren, aber beschränkten Zeitraum angelegt und von den Lernenden langfristig geplant.

Die Deutsche Gesellschaft für wissenschaftliche Weiterbildung und Fernstudium e. V. (DGWF) unterstützt die Weiterentwicklung und Qualitätssicherung der wissenschaftlichen Weiterbildungsangebote an den deutschen Hochschulen. Viele Hochschulen berücksichtigen bei der Entwicklung und Qualitätssicherung von Angeboten der wissenschaftlichen Weiterbildung die Empfehlungen der DGWF [DGWF 2010]. Letztere raten zur Verwendung der Formate „weiterbildende und konsekutive Masterstudiengänge“, „weiterbildendes (Zertifikats-) Studium“, „Weiterbildungsmodul“ (i. d. R. Modul eines akkreditierten weiterbildenden Studienganges), „Weiterbildungsseminar“ und zu sonstigen Weiterbildungsformaten. Durch die in den vergangenen Jahren eingeführte Modularisierung der Studienprogramme ergeben sich zukünftig erweiterte Möglichkeiten zur Nutzung der Hochschulangebote auch für kurzfristige Anpassungsqualifizierungen. Hier müssen aber die zeitlichen Rahmenbedingungen Berufstätiger noch stärker berücksichtigt werden.

Für die Lösung einer konkreten Fragestellung oder zur Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen im Unternehmen oder im gesetzlichen Kontext werden eher kürzere, non-formale Weiterbildungsangebote in Anspruch genommen. Hochschulen bieten dieses Modell nur zu einem sehr geringen Anteil an, hier sind hauptsächlich private Anbieter tätig. Im Umfeld regulatorischer Anforderungen für Medizinprodukte gibt es zum Beispiel eine Vielzahl von Angeboten, die zahlenmäßig von den Angeboten im Bereich der Managementkenntnisse, der nicht medizintechnikspezifisch ist, weit übertroffen werden. Medizintechnisches Wissen wurde dagegen bis 2009 in Weiterbildungen nur gerätespezifisch, häufig vom Hersteller selber und in erster Linie für medizinisches Personal, Medizintechniker und Servicepersonal angeboten.

Das Forum MedTech Pharma hat im Herbst 2009 16 nicht-akademische Anbieter von Weiterbildungsveranstaltungen im Umfeld der Medizintechnik eingeladen, an einer Umfrage zu ihrem Angebot teilzunehmen. Sechs Anbieter sind der Einladung gefolgt („Umfrage Anbieter“). Alle Themenbereiche zusammen genommen hatten diese sechs Anbieter 2163 verschiedene Veranstaltungen im Programm; mit 30 Veranstaltungen beim kleinsten Anbieter und 1200 beim größten – ein guter Querschnitt. 405 dieser verschiedenen Veranstaltungen entfielen auf das Umfeld der Medizintechnik; auch hier bilden diese Anbieter mit einem Spezialisierungsgrad zwischen 9 % und 97 % in der Medizintechnik das Gesamt-Spektrum gut ab. Die Kosten pro Seminartag betragen bei den in der Umfrage berücksichtigten Angeboten zwischen 300,- und 1690,- EUR. Zur Sicherung der Qualität der Angebote setzten zwei Drittel der befragten Anbieter ein zertifiziertes QM-System nach ISO 9001 ein. Diese Anbieter hatten darüber hinaus nachgewiesen, auch bildungsspezifische Anforderungen in der Qualitätssicherung zu erfüllen. Der Rest der Anbieter verfügte über keinerlei zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem.

Unterschiede bestehen in der Bezeichnung der Bescheinigungen: Während bei einigen Anbietern eine Teilnahmebescheinigung die Anwesenheit nachweist und das Zertifikat nur nach einer Prüfung ausgegeben wird, bescheinigen andere Anbieter bereits die Anwesenheit mit einem Zertifikat [FMP 2011].

Allgemein herrscht in der Medizintechnikbranche Zufriedenheit mit dem bestehenden Weiterbildungsangebot. Der Großteil („Umfrage Medizintechnik-Unternehmen“, 104 Teilnehmer) bewertet es „eher positiv“ (62 %) bzw. „positiv“ (33 %). Trotz dieser im Allgemeinen positiven Bewertung zeigt die gezielte Nachfrage, dass eine qualitative und/oder quantitative Unzufriedenheit mit dem Weiterbildungsangebot besteht: Mehr als 40 % der befragten Unternehmen waren mit dem bestehenden Angebot auf dem Gebiet „Kenntnisse gesetzlicher Anforderungen, z. B. der Produktzulassung oder der Qualitätsprüfung“ nicht zufrieden. Über ein Drittel der befragten Unternehmen gab an, mit den Weiterbildungsmöglichkeiten im Bereich „Managementkenntnisse“ sowie „technisches Know-how“ unzufrieden zu sein. Diese Themenfelder ähneln denen, für die auch der größte Qualifizierungsbedarf bei den Mitarbeitern gesehen wird.

Kritisiert werden in erster Linie die Redundanz von Angeboten, die mangelnde Anpassung auf (i. A. differenzierte) Bedürfnisse der Teilnehmer sowie die zu allgemein und theoretisch und zu wenig interdisziplinär ausgerichteten Inhalte. So wünscht man sich z. B. im Bereich des technischen Know-how eine stärkere Orientierung auf Themen der medizinischen Informatik und der medizinischen Grundlagen jeweils in enger Verbindung mit Applikationen und Geräten sowie bzgl. des Umganges mit der EDV [FMP 2008].

Ein weiterer Kritikpunkt war die zu lange Dauer der Kurse, die mit 1-2 Tagen als ideal angegeben wurde [FMP 2008]. Auch die Health Care Industry fordert lt. [IHK BB 2007] zur Verstärkung der Weiterbildungsaktivitäten nach Steigerung der staatlichen Förderung eine Verringerung des zeitlichen Aufwandes der Einzelmaßnahmen.

Außerdem bemängeln die Medizintechnik-Unternehmen die Unübersichtlichkeit der Angebote [FMP 2008]. Der Schwachpunkt der Unübersichtlichkeit wird in [Kuan 2007] branchenunabhängig für den Weiterbildungsmarkt allgemein bestätigt. Ein erster Schritt für mehr Übersichtlichkeit ist mit dem Start der ersten überregionalen Weiterbildungsdatenbank für die Medizintechnik des Forums MedTech Pharma im Juli 2012 gemacht [MT-DB 2012]. Ergänzend bieten regionale Datenbanken teilweise ebenfalls Informationen für die Medizintechnik an, so z. B. das Bildungsportal Thüringen [BP 2012].

8 Analyse der Aus- und Weiterbildungssituation und Anforderungen mit Blick auf die Zukunft

Im Statusreport Biomedizinische Technik [DGBMT-FA 2012b] werden Stand und Trend auf dem Gebiet der Aus- und Weiterbildung in der Biomedizinischen Technik zusammengefasst und analysiert, Fragen aufgeworfen und unter verschiedenen Aspekten diskutiert, Probleme benannt sowie konkrete Lösungsvorschläge angeboten. Aus dieser sehr umfangreichen Analyse leiten sich die im Folgenden dargestellten konkreten Anforderungen an die BMT-Aus- und Weiterbildung mit Blick auf die Zukunft ab.

8.1 Bildung und Nachwuchsförderung in der Wissensgesellschaft

Auf dem Weg von der Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft in die Wissensgesellschaft [Dueck 2011] ist Deutschland gut beraten, durch exzellente Bildung sein Humankapital mit dem gesamten menschlichen Wissen (Human Resources) als den wichtigsten Rohstoff für zukünftige Innovationen zu fördern. Im Ingenieurbereich bedeutet das, rechtzeitig und nachhaltig für intelligenten Nachwuchs mit MINT-Spezialisierung zu sorgen [Renn 2012]. Da die Zahl der Hochschulabsolventen im Ingenieurbereich verglichen mit der Zahl der heute tätigen Ingenieure unter Beibehaltung des derzeitigen Trends [BAA 2012] in Deutschland bis 2020 um ca. 11 % steigt, dafür aber 22 % der derzeit tätigen Ingenieure in den Ruhestand wechseln [Grüneberg 2010, VDE 2010, Zukunft 2011], werden vielfältige Initiativen ergriffen, den drohenden Nachwuchsmangel im Ingenieurbereich wenigstens zu mildern.

Eine ausreichende Zahl an gut qualifiziertem Nachwuchs/Fachkräften in der BMT ist nur dann gewährleistet, wenn Bildung als wesentliche gesellschaftliche Aufgabe verstanden und finanziert wird, und Lehr- und Lernbedingungen optimiert werden. Lernen bedeutet, aufgrund einer Motivation über Erkenntnisgewinn zu bewusster Anwendung erworbener Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten (Wissen und Können) zu gelangen. Kenntnisse und Fähigkeiten müssen dabei erworben, verarbeitet, verstanden, umgesetzt und wiederholt unter wechselnden Randbedingungen gezielt angewendet werden – ein Prozess, der durch Lehren befördert, aber nicht allein bewältigt werden kann. Die Bedeutung selbstgesteuerten Lernens aufgrund eigener Motivation steigt. Der Aufwand zur Wissensvermittlung ist hoch und lässt sich schwer messen und finanzieren.

Im Einzelnen erweisen sich hier die folgenden Aspekte als wichtig:

- Voraussetzungen für ein erfolgreiches BMT-Ingenieurstudium
- studienvorbereitende Information und Werbung
- Anforderungen an Studierende zu Studienbeginn
- Anforderungen an die Hochschulausbildung und ihre Absolventen
- Bildungsmarkt und Finanzierung
- ambivalente Ziele der Hochschulen bzgl. Qualität und Quantität der Studienanfänger
- Nachwuchsmangel und Studienqualität.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- Schaffen eines Angebots fundierter BMT-Studieninformationen inkl. Rollenvorbilder
- Konzentration auf wenige einheitliche BMT-Studiengangsbezeichnungen
- Ausbau der BMT-Studienwerbung durch Kooperation Hochschule - Schule
- spezielle Studienwerbung bei Mädchen/Frauen mit dem Argument der BMT-Nähe zu Lebenswissenschaften
- Berücksichtigung der Anforderungen an Absolventen bei der Gestaltung von Studiengängen, speziell Ausweitung der BMT-Inhalte im Medizinstudium
- Schaffen von gemeinsam von Klinikern und Technikern getragenen BMT-Weiterbildungsveranstaltungen, u. a. zu Regulatory Affairs, Management/Projektmanagement und Klinischen Studien
- Gewährleisten der Nachhaltigkeit öffentlich geförderter Bildungsprojekte durch öffentliche Nutzbarkeit der Ergebnisse
- Schaffen von Anreizsystemen für BMT-Aus- und -Weiterbildung bzgl. exzellenter Lehre.

8.2 Die Hochschulausbildung im Wandel

Hochschullehrer engagieren sich in Lehre, Forschung und Selbstverwaltung der Hochschule. Einige Randbedingungen führen derzeit zur Schwerpunktverschiebung. Auf dem Gebiet der BMT gibt es durch die Modularisierung der Studiengänge und die Mobilität von Studenten wie Dozenten ein breites Spektrum unterschiedlicher Lehrfächer, die letztlich für einen BMT-Abschluss anerkannt werden können. Es besteht die Gefahr der Verflachung durch zu große Breite im interdisziplinären Fach der Biomedizinischen Technik.

Im Einzelnen erweisen sich hier die folgenden Aspekte als wichtig:

- Status der Lehre an den Hochschulen
- Schwerpunktverschiebung an den Universitäten von der Lehre zur Forschung
- Breite vs. Tiefe des Lehrstoffes im interdisziplinären Anwendungsgebiet BMT
- steigende didaktische Anforderungen durch Schwerpunktverschiebung von der Wissens- zur Methodenvermittlung an den Hochschulen.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- Stärkung des Status der Lehre an den Hochschulen
- Sicherung und Finanzierung qualitativ hochwertiger Lehre
- Verzahnung von Lehre und Forschung über aktive Einbindung der Studenten in Forschungsprojekte
- didaktische Ausbildung und Unterstützung der Hochschullehrer beim Übergang von der Wissens- zur Methodenvermittlung
- Anerkennung von Veröffentlichungen im Lehrbereich.

8.3 Der Studienprozess im Wandel

Der Studienprozess verändert sich beginnend bei der Motivation und Leistungsfähigkeit der Abiturienten über europäisch harmonisierte Studiengangorganisation bis hin zu lebenslangem Lernen. Für Studiengänge, aus deren Namen die BMT-Vertiefung im Fachstudium nicht hervorgeht, erschwert sich die Studienwerbung.

Im Einzelnen erweisen sich hier die folgenden Aspekte als wichtig:

- Motivation, subjektive Studienwahl der Abiturienten
- Lernstile Studierender und empfohlene Berufsfelder
- Europäische Harmonisierung der Hochschulausbildung
- Diplomingenieur als akademischer Abschluss und Berufsbezeichnung
- Veränderte Prüfungsformen bei modernen Lehr- und Studienformen
- Modularisierung des Studiums
- Praxisbezug und Dauer des Studiums
- Mobilitätsförderung
- Sprache
- Ingenieurpromotion als erste Berufsphase.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- Nutzung der Attraktivität des Fachs BMT zur Studienmotivation
- positive Beeinflussung der Motivation Studieninteressierter durch BMT-Absolventen und Hochschullehrer
- Benennung von Studiengängen mit BMT-Inhalt mit Bezug zu „Medizin/Biologie“ und „Ingenieurwissenschaften/Technik“
- Umsetzung der Ziele der europäischen Harmonisierung unter Beibehaltung einer bewährten maximal fünfjährigen Ingenieurausbildung
- Bewahrung des akademischen Abschlusses wie der Berufsbezeichnung Diplomingenieur neben Bachelor und Master
- Anpassung der Prüfungsformen an moderne, auch elektronische Studienformen
- systematische und tiefgreifende Vermittlung der Ingenieurgrundlagen auch im modularisierten BMT-Studium
- freie Wahl von BMT-Fachmodulen (s. Gegenstandskatalog BMT) unter Einhaltung der Akkreditierungsempfehlungen
- obligatorisches Industrie- und/oder Klinikpraktikum („Ingenieurpraktikum“) von mindestens 5 Monaten Dauer in möglichst hohem Studiensemester
- Ergänzung von Hochschullehrveranstaltungen durch technische wie klinisch-biologische Praktika

- Ergänzung (nicht Ersatz) von Hochschullehrveranstaltungen durch Kurse mit Dozenten aus allen Gebieten der BMT-Praxis
- Förderung gezielter Mobilität durch fachlich abgestimmte Angebote zu Auslandssemestern oder Teilstudien durch die Hochschulen
- vornehmliche Verwendung der deutschen Sprache i. A. für Aus- und Weiterbildung bis zum Masterabschluss; für Promotion und Forschung Nutzen der Wissenschaftssprache Englisch
- Widerspiegelung der Lehrsprache in der Studiengangsbezeichnung
- Bewahrung der Ingenieurpromotion als erste Berufsphase
- Gewährleistung der Qualität in Aus- und Weiterbildung durch ein von den Universitäten und Fachhochschulen selbst organisiertes Gütesiegel.

8.4 Übergänge zwischen Bildungsstufen - interdisziplinäre Weiterbildung und Lebenslanges Lernen

Während eine aktuelle Umfrage des VDI-Wissensforums zur Weiterbildung von Ingenieuren anderer Fachrichtungen zeigt, dass viele praktisch tätige Ingenieure mit dem aktuellen Weiterbildungsangebot nicht zufrieden sind [MT 2011], stellt sich die Situation in der Biomedizintechnik positiver dar. Trotzdem sind Kritikpunkte zu nennen: Die Angebotsstruktur im Weiterbildungsbereich der BMT ist derzeit sehr heterogen, die Maßnahmen sind oft mit hohem Aufwand verbunden und für den einzelnen Interessenten weder leicht durchschaubar noch qualitativ vergleichbar. Die Bewertung der Lernleistung nach einheitlichen Kriterien für vergleichbare Abschlüsse ist schwierig.

Im Einzelnen erweisen sich hier die folgenden Aspekte als wichtig:

- Qualität des Weiterbildungsangebotes
- verfügbare Informationen zum Angebot
- Anerkennung von Lernleistungen
- Studienformen in Aus- und Weiterbildung.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- Verbesserung des Weiterbildungsangebotes
- Schaffung von umfassenden und transparenten Informationen zum Angebot
- Anerkennung von Lernleistungen entsprechend vergleichbarer Bewertungskriterien
- Nutzung neuer elektronisch unterstützter Studienformen (Blended Learning, Projektorientiertes, Problembasiertes Lernen) lebenslang
- Ausbau des eLearning- und Blended-Learning-Angebotes für die berufsbegleitende Vermittlung von Lehrinhalten
- Schaffung einer Informationsplattform und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen zur Stärkung der BMT-Innovationskraft im Allgemeinen.

9 Handlungsempfehlungen

Nicht nur aufgrund ihrer ausgeprägten Innovationskraft und hohen Wissensintensität gilt die Medizintechnik als Zukunftsbranche, sondern auch ihre Beiträge für die Gesundheitsversorgung der Bevölkerung weisen der Medizintechnik eine wachsende gesellschaftliche und ökonomische Bedeutung zu [Lindner 2011, Schlötelburg 2010, VDE-DGBMT 2012a]. Medizintechnische Innovationen basieren auf der Kreativität und Leistungsfähigkeit exzellenter ausgebildeter Biomedizintechnikingenieure. Absolventen sollten aus der Sicht des Arbeitsmarktes solide ingenieurwissenschaftliche Grund- und vertiefte Fachkenntnisse aufweisen, geschult an interdisziplinären Projekten (System- und Methodenkompetenz), sowie persönliche Qualifikationen – vor allem Neugier und Kreativität – mitbringen (s. auch [VDE 2005, Kraft 2008, 2010]).

Damit Deutschland auf der derzeitigen guten technologischen Wissensbasis im internationalen Wettbewerb bestehen und Marktanteile ausbauen kann, ist die Fähigkeit zur kontinuierlichen technologischen Innovation über Fachkräfteaus- und -weiterbildung sowie Nachwuchsförderung von zentraler Bedeutung [Schlötelburg 2010, Grüneberg 2010, McKinsey 2011]. Im Positionspapier der DGBMT im VDE „Medizintechnische Innovation in Deutschland – Empfehlungen zur Verbesserung der Innovationsrahmenbedingungen für Hochtechnologie-Medizin“ [VDE-DGBMT 2012] wurden unter den 10 zentralen Empfehlungen zur nachhaltigen Verbesserung der Innovationsrahmenbedingungen für Hochtechnologie-Medizin in Deutschland als Punkte 4 und 5 genannt:

- Überwindung interdisziplinärer Grenzen in Aus- und Weiterbildung
- Etablierung einer Lern- und Lehrplattform in der Medizintechnik.

Aus dieser Zielstellung leiten sich hohe Anforderungen sowohl an die Lehrenden als auch an die Lerner, die Studierenden ab.

Die Forderung der Gesellschaft nach exzellenter (Hochschul-)Ausbildung ausreichend vieler, perfekt berufsqualifizierter und hoch motivierter Absolventen inkl. lebenslanger Weiterbildung auf dem Gebiet der Biomedizinischen Technik kann nur bei verbesserten Rahmenbedingungen realisiert werden.

9.1 Schaffen gesellschaftlicher Rahmenbedingungen für optimale BMT-Fachkräfteaus- und -weiterbildung sowie Nachwuchsförderung

Da wissenschaftlich-technische Bildung in Deutschland auf unterschiedlichen Ebenen verankert ist, bedarf es einer engen Zusammenarbeit auf Bundes- und Länderebene, eines breiten, auf Bundesebene moderierten Konsensprozesses zur Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Bildungsebenen, Förderressorts, Fachdisziplinen und Akteuren. Beginnend bereits vor dem Studium und fortgesetzt in gleichberechtigten Klinik- und Industriepraktika sollte das interdisziplinäre Arbeiten gelehrt und praktiziert werden. Studiengänge der Biomedizinischen Technik sind klar der Ingenieurwissenschaft zugeordnet, interdisziplinär aber eng mit Medizin/Biologie vernetzt. Mit Blick auf die ärztliche Ausbildung wird empfohlen, Medizintechnik stärker zu wichten und in die (fach-)ärztliche Ausbildung wirksamer zu integrieren. Forschungs- und Lehrprojekte im interdisziplinären Team müssen gefördert werden.

Zu begrüßen wäre auch eine stärkere Einbeziehung der Unternehmen in Studiengänge mit dem Schwerpunkt „Biomedizinische Technik“ an den Hochschulen, etwa in Form von Campuskonzepten. Die Zusammenarbeit zwischen Land, Kommune, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen sollte aktiv unterstützt werden, ohne den akademischen

Charakter der Ausbildung durch firmenfinanzierte, entwicklungsgetriebene Projekte zu schmälern. Über anteilig geförderte Forschungs Kooperationen kann der derzeitige Trend zur Abschottung akademischer Ausbildung von industrienahen studentischen Arbeiten zum allseitigen Vorteil gestoppt werden. Einem drohendem BMT-Fachkräftemangel ist durch nachhaltige Bildungs- und Nachwuchsförderung frühzeitig zu begegnen.

Folgende Schwerpunkte sind förderlich, um die nötigen Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Ausbildung exzellenter BMT-Fachkräfte beginnend bei frühkindlicher Begeisterung bis hin zu einer lebenslangen Bildung mit MINT-Schwerpunkt zu schaffen:

Schaffen optimaler Rahmenbedingungen für die Aus- und Weiterbildung ausreichend vieler hoch qualifizierter BMT-Fachkräfte:

- Stellenwert von Hochschulbildung durch Wiederherstellen der Einheit von Forschung und Lehre erhöhen u. a. durch Aufstocken qualifizierten Lehrpersonals, Schaffen eines Anreizsystems für exzellente Lehre sowie didaktische Aus- und Weiterbildung der Hochschullehrer im Zuge des Wandels von der Wissens- zur Methodenvermittlung
- Aus- und Weiterbildung auf Bundesebene mit Blick auf Lebenslanges Lernen koordinieren
- organisatorische Strukturen zur Umsetzung erfolgreicher Kooperationsmodelle Wirtschaft - Wissenschaft - Hochschule - Klinik schaffen
- Diversität der BMT-Studiengänge an Hochschulen senken durch Konzentration auf wenige einheitliche BMT-Studiengänge mit Wahlmöglichkeiten in der Vertiefung
- Mindeststandards für BMT-Bildungsqualität entsprechend Akkreditierungsempfehlungen aktualisieren und fixieren
- Leistungsanreizsystem für Studenten z. B. über Industriestipendien, geförderte Praktika und Abschlussarbeiten unter Einbeziehung der Industrie schaffen
- medizintechnische Aus- und Fortbildung von Medizinerinnen stärken
- frühkindliche Begeisterung und schulische Bildung im MINT-Bereich sowie Studierfähigkeit und Motivation von Abiturienten fördern durch methodisch begleitete Kooperation Schule - Hochschule als Voraussetzung für ein erfolgreiches BMT-Studium

Überwindung interdisziplinärer Grenzen in Aus- und Weiterbildung durch stärkere Verzahnung von Medizin und Technik:

- gemeinsame Förderstrukturen für Forschung UND Lehre im Medizin- UND Ingenieurbereich schaffen
- Ausbildungsschwerpunkte an den Erfordernissen der Praxis orientieren
- Verzahnung der medizinisch-biologischen mit den ingenieurwissenschaftlichen Inhalten
- technische und klinische Praktika im interdisziplinären Team für BMT-Bildungsmaßnahmen verbindlich einführen

Sicherstellung der Finanzierung von Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen und deren nachhaltiger Koordinierung und Pflege:

- Basiskompetenz der Hochschulen zur Konzeptionierung, Koordinierung und Leitung von Bildungsprojekten in der Wissensgesellschaft stärken unter Erhalt bewährter Ingenieurtra-

dition bzgl. modularisierter Diplomausbildung und Promotion als erster Berufsqualifikation im europäischen Rahmen

- Industrie und Krankenkassen an Fachkräfteaus- und Weiterbildung und Nachwuchsförderung beteiligen, z. B. über Campuskonzepte, Stipendien, Preise, Praktika, Forschungsprojekte
- Ergebnisse öffentlicher Förderung umfassender und leichter öffentlich zugänglich machen.

Die Rahmenbedingungen für ein Studium der Biomedizinischen Technik sind zukünftig nicht nur hinsichtlich eines schnelleren, preiswerten Studiums zu optimieren, sondern wir sollten vor allem die bewährte ingenieurwissenschaftliche BMT-Ausbildungsqualität in das europäische Netzwerk einbringen.

9.2 Etablieren einer interaktiven akademischen Plattform für interdisziplinäres Expertenwissen Biomedizinische Technik

Neues Wissen, das im hochinnovativen Umfeld der Medizintechnik kontinuierlich entsteht, hält nicht adäquat Einzug in die unterschiedlichen Ausbildungsgänge. Zudem mangelt es an Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen den Hochschulen in den unterschiedlichen Bundesländern. Die Mobilität von Studenten und Dozenten ist zwar im Rahmen der europäischen Harmonisierung der Ausbildung erwünscht, führt aber zu Verlängerung und inhaltlicher Verflachung des Studiums. Die hohe Nachfrage nach modernen, eLearning-basierten, präsenzkombinierten Lehr- und Lernkonzepten (Blended Learning) wird nicht ausreichend abgedeckt. Die Notwendigkeit des lebenslangen Lernens im Beruf wird nicht adäquat durch entsprechende Lehrangebote aufgegriffen. Weiterbildungsangebote erscheinen unübersichtlich und unkoordiniert und sind hinsichtlich der Anforderungen seitens der Nutzer nicht optimiert. Eine bundesweite Zusammenarbeit von Hochschulen und Weiterbildungsinstitutionen gestaltet sich durch die Länderhoheit für Bildung auf allen Ebenen schwierig.

Daher wird empfohlen, vorhandenes und neues Wissen der Biomedizinischen Technik in einer elektronischen interaktiven akademischen Lehr- und Lernplattform für Aus- und Weiterbildung systematisch zu konsolidieren, zu standardisieren und zu verbreiten (s. Bild 11).



Bild 11: Projektvorschlag „eMedTech - interaktive akademische Plattform für interdisziplinäres Expertenwissen BMT“ des Fachausschusses BMT-Aus- und -Weiterbildung 2011.

Um ein solches Projekt umzusetzen, wäre eine Finanzierung seitens des Bundes und/oder der Länder nötig. Da aktuelle Förderbekanntmachungen das Gesamtfeld nicht adressieren, müssen hier alternative Wege der Förderung gefunden werden, um das verfügbare Wissen des BMT-Spezialgebietes nachhaltig nutzbar zu machen und zu pflegen. Die Wissensplattform kann dann für die Gestaltung von Lehrinhalten seitens der Hochschulen und beruflichen Bildungsträger bis hin zu Patienteninformation und MINT-Nachwuchsgewinnung (vom Kindergarten über Schule, Hochschule bis zu Promotion/Habilitation) auf unterschiedlichen Bil-

dungsebenen genutzt werden. Sie trägt damit nachhaltig zur Stärkung des BMT-Nachwuchses und der Innovationskraft auf dem Gebiet der BMT bei. Um diese wichtige übergreifende Aufgabe anzustoßen, ist das BMBF aufgerufen, einen entsprechenden Impuls unter Beteiligung relevanter Akteure zu geben.

In diesem Zusammenhang erscheint es besonders wichtig, eine länder-, fächer-, ressort- und bildungsebenenübergreifende Lehr- und Lernplattform für interdisziplinäres Expertenwissen der Biomedizinischen Technik zu etablieren. Nur so wird es gelingen, Expertenwissen auf nachhaltige Art und Weise zu bündeln und problemorientiertes Lernen sowie Blended-Learning-Bildungsformen ergänzend zu konventionellen Präsenzveranstaltungen institutionenübergreifend zu etablieren.

Diese Handlungsempfehlung deckt sich mit den Empfehlungen des Wissenschaftsrates zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 [WR 2012]. Dort wird die Notwendigkeit einer Grundfinanzierung auch an Hochschulen, der Schaffung eines übergeordneten Koordinierungs- und Beratungsgremiums und der Bearbeitung der drängenden und zukünftigen Aufgabenfelder durch fach-, forschungsfeld- und medienbezogene Initiativen hervorgehoben. Es werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, die u. a. an Wissenschaftler und Fachgemeinschaften bzw. Akteure in interdisziplinären Forschungsfeldern adressiert sind. Das hier vorgeschlagene Projekt, das auch im laufenden „Nationalen Strategieprozess Innovationen in der Medizintechnik“ der Bundesregierung diskutiert wird, stellt den konkreten Fachbeitrag des interdisziplinären Gebiets der Biomedizinischen Technik dar.

Alle in diesem Positionspapier aufgeführten Fakten und Argumente sind ausführlich nachzulesen im Statusreport „Biomedizinische Technik: Aus- und Weiterbildung in deutschsprachigen Ländern - Entwicklung der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften sowie der Nachwuchsförderung von 1998 bis 2012 und Empfehlungen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen“ der DGBMT im VDE [DGBMT-FA 2012b].

10 Quellen

- [BAA 2012] Der Arbeitsmarkt in Deutschland. Arbeitsmarktberichterstattung Dezember 2011. Kurzinformation Frauen und MINT-Berufe. Bundesagentur für Arbeit (inkl. Glossar MINT-Berufe). Zentrale Arbeitsmarktberichterstattung (CF 7), Nürnberg 2011. Online im Internet: <http://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Arbeitsmarktberichte/Berichte-Broschueren/Arbeitsmarkt-Akademiker-Nav.html> (Stand: 23.1.2012).
- [Baumann 2011] Baumann, M.; Perlitz, V.: Can contextual online exams in practical biomedical education increase comprehension and motivation? A pilot project. *Biomed. Tech.* (2011)58, 351-8.
- [BP 2012] Bildungsportal Thüringen: Weiterbildung Medizintechnik. Online im Internet: <http://www.bildungsportal-thueringen.de/thema-medizintechnik> (Stand: 9.9.2012)
- [Bronzino 1995] Bronzino, J. D.: *The Biomedical Engineering Handbook*. CRC Press, IEEE Press, 1995.
- [Cholt 2012] Cholt: Gemeinsame Internetpräsenz aller Fachschulen für Medizintechnik mit Angebot zur Weiterbildung zum „Staatlich geprüften Techniker - Fachrichtung Medizintechnik“ in Deutschland. BSZ Dippoldiswalde 2012. Online im Internet: <http://www.fachschule-medizintechnik.de/schulen.html>. (Stand: 19.7.2012)
- [coursera 2012] coursera: Take the World's Best Courses, Online, For Free. From 16 universities. <https://www.coursera.org/> (Stand: 2.8.2012)
- [DGBMT 2002] Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik DGBMT im VDE, AWAZ; Dössel, O. (Edt.): Gegenstandskatalog Medizintechnik und Klinikingenieurwesen. Frankfurt am Main 2002. Online im Internet: www.vde.com/dgbmt > Studium und Beruf > Gegenstandskatalog (Stand Februar 2013)
- [DGBMT 2005] Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik DGBMT im VDE; Empfehlung zur Akkreditierung von Studiengängen Biomedizinische Technik und Klinik-Ingenieurwesen, Frankfurt am Main, Juli 2005, Online im Internet: www.vde.com/dgbmt
- [DGBMT 2012] Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik DGBMT im VDE. Online im Internet: www.dgbmt.de (Stand: 1.8.2012)
- [DGBMT-FA 2012a] Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik DGBMT im VDE: Fachausschuss „Aus- und Weiterbildung – BMT im Studium“. Online im Internet www.dgbmt.de/ausbildung = http://tu-dresden.de/Members/ute.morgenstern/ausbildung/dgbmt_ausbildung. (Stand: 1.8.2012)
- [DGBMT-FA 2012b] Fachausschuss „Aus- und Weiterbildung – Biomedizinische Technik im Studium“ der DGBMT im VDE: Abdel-Haq, A.; Baumann, M.; Fincke, S.; Kraft, M.; Morgenstern, U.; Schmitt, Th.; Seidl, K.; Zellerhoff, M. (Hrsg.): *Biomedizinische Technik: Aus- und Weiterbildung in deutschsprachigen Ländern. Empfehlungen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften sowie die Nachwuchsförderung. Statusreport 2012*. Online im Internet: Download über www.dgbmt.de/ausbildung
- [DGBMT-FA 2012ü] Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik DGBMT im VDE: Fachausschuss „Aus- und Weiterbildung BMT im Studium“. Übersicht über Studienmöglichkeiten Biomedizinische Technik in deutschsprachigen Ländern. Online im Internet: www.dgbmt.de/ausbildung = <http://www.vde.com/de/fg/DGBMT/Studium-Beruf/Studienmoeglichkeiten/Seiten/Homepage.aspx> = http://tu-dresden.de/Members/ute.morgenstern/ausbildung/dgbmt_ausbildung (Stand: 31.7.2012).
- [DGWF 2010] Deutsche Gesellschaft für wissenschaftliche Weiterbildung und Fernstudium e.V. DGWF: Empfehlungen zu Formaten der wissenschaftlichen Weiterbildung 2010. Online im Internet: http://www.dgwf.net/docs/DGWF-empfehlungen_formate_12_2010.pdf (Stand: 31.08.2011)
- [Dohmen 2010] Dohmen, D.: FiBS-Studienanfängerprognose 2010 bis 2020: Bundesländer und Hochschulpakt im Fokus, FiBS-Forum Nr. 48, Berlin, 2010.
- [DQR 2005] Deutscher Qualifikationsrahmen. Online im Internet: www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2005/2005_04_21-Qualifikationsrahmen-HS-Abschluesse.pdf (Stand: 31.08.2011)
- [Dueck 2011] Dueck, G.: *Bildung und Mensch im digitalen Zeitalter*. Online im Internet: <http://www.youtube.com/watch?v=Optk-gYgFo8&feature=related> (Stand: 20.1.2011)
- [EQR 2004] Europäischer Qualifikationsrahmen. Online im Internet: www.qualifikationsrahmen.eu (Stand: 31.08.2011)
- [fbmt 2012] Fachverband Biomedizinische Technik. Homepage des fbmt, u. a. zu Studienmöglichkeiten der Biomedizintechnik. Online im Internet: <http://www.fbmt.de> (Stand: 1.6.2012)
- [Fincke 2010] Fincke, S.; Wuttke, H.-D.: *Lifelong Learning Geschäftsfelder der Hochschulen - zukunftsweisende Dienste des Bildungsportals Thüringen*. 25. Oberhofer Kolloquium zur Praxis der Informationsvermittlung, Fachtagung der DGI: Deutsche Gesellschaft für Informationswissenschaft und Informationspraxis e.V., in Barleben/Magdeburg, 22.-24.04.2010. Tagungsband S. 83-98, ISBN 978-3-925474-68-2.
- [FMP 2008] Forum MedTech Pharma e.V.; Studie zur Aus-, Fort- und Weiterbildung in der Medizintechnik, Nürnberg, 2008. Online im Internet: Bestellung über <http://www.medtech-pharma.de> (Stand: 8.9.2011)
- [FMP 2011] Forum Medtech Pharma e.V.; Weiterbildung. Studium und Ausbildung. Online im Internet: <http://www.medtech-pharma.de/deutsch/unser-angebot/aus--und-weiterbildung/studium-und-ausbildung.aspx> (Stand: 08.07.2012)
- [Fox 2007] Fox, K.; Heinze, R.; G.; Hilbert, J.; Schalk, C.: Regionale Innovations- und Qualifizierungsstrategien in der Medizintechnik. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Nr. S-2005-723-4, Hans-Böckler-Stiftung. FIS Fachinformationssystem Bildung. Düsseldorf 2007. Online im Internet: http://www.fachportal-paedagogik.de/fis_bildung/suche/fis_set.html?Fid=804255 (Stand: 31.08.2011)
- [Garbe 2011] Garbe, H.: Halbjahresbericht 4Ing Fakultätentage Bauingenieurwesen und Geodäsie, Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik. Dachverein der Fakultätentage.5.8.2011 Online im Internet: <http://www.4ing.net> (Stand: 6.9.2011)
- [Graf 2006] Graf, J.: *Weiterbildungsszene in Deutschland 2006*, managerSeminare Verlags GmbH, 2006.
- [Graf 2009] Graf, J.: *Weiterbildungsszene in Deutschland 2009*, managerSeminare Verlags GmbH, 2009.
- [Graf 2011] Graf, J.: *Weiterbildungsszene in Deutschland 2011*, managerSeminare Verlags GmbH, 2011.
- [Grüneberg 2010] Grüneberg, J.; Wenke, I.-G.: *Arbeitsmarkt Elektrotechnik Informationstechnik*. 18. Auflage, VDE-Verlag GmbH Berlin Offenbach 2010 / 2011.
- [IBMT 2012] TheraGnosos - Interaktive Lernsoftware Biomedizinische Technik. - Lernsoftware „Unser Herz“ mit Bastelkoffer für Kindergarten und Grundschule. TU Dresden, Institut für Biomedizinische Technik. Online im Internet: www.theragnosos.de und http://tu-dresden.de/Members/ute.morgenstern/lernsoftware/herz_kiga (Stand: 1.8.2012)
- [IHK BB 2007] Industrie- und Handelskammer zu Berlin Feldstudie „Bildungsbedarf der Gesundheitswirtschaft in Berlin-Brandenburg“, Juni 2007. Online im Internet: http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-arbeit/fachkraeftestudie_langfassung.pdf (Stand: 31.08.2011)
- [IKWB 2008] Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Innovationskreis Weiterbildung: Empfehlungen des Innovationskreises Weiterbildung für eine Strategie zur Gestaltung des Lernens im Lebenslauf. Online im Internet: <http://www.innovation-weiterbildung.de/> = http://www.bmbf.de/pub/empfehlungen_innovationskreis_weiterbildung.pdf (Stand: 31.8.2011)
- [iw 2010] Informationsdienst Wissenschaft, Informationen aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Nr. 16, 2010, S. 6 ff.
- [Katona 2006] Katona P G: *Biomedical Engineering and The Whitaker Foundation: A Thirty-Year Partnership*. *Annals of Biomedical Engineering*, 34(2006)6, 904–916.
- [KMK 2008] Kultusministerkonferenz: Anrechnung von außerhalb des Hochschulwesens erworbenen Kenntnissen und Fähigkeiten auf ein Hochschulstudium (II), Online im Internet: www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_09_18-Anrechnung-Faehigkeiten-Studium-2.pdf (Stand: 31.08.2011)
- [KMK 2009] Kultusministerkonferenz: Bachelor- und Masterabschlüsse in der beruflichen Weiterbildung. Online im Internet: www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2009/2009_02_05-Bachelor-Master-berufliche_Weiterbildung.pdf (Stand: 31.08.2011)
- [KMK 2010] Ländergemeinsame Strukturvorgaben für die Akkreditierung von Bachelor- und Master-Studiengängen sowie (als Anlage) Rahmenvorgaben für die Einführung von Leistungspunktsystemen und die Modularisierung von Studiengängen. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 10. Oktober 2003 i.d.F.v. 4. Februar 2010) und aktuelle „Bologna Reader“. Online im Internet: Download über www.tu-dresden.de (Stand: 1.6.2011)
- [Kraft 2008] Kraft, M.: Fokusthema: Ergebnisse einer Umfrage zu Anforderungen an Medizintechnikabsolventen aus Sicht der Industrie. *Health Technologies* 2(2008), 2-8.
- [Kraft 2010] Kraft, M.: Ergebnisse einer Umfrage zu Anforderungen an Medizintechnikabsolventen aus Sicht der Industrie und der Klinik. Vortrag in der Hot-Topic Session: Biomedizinische Technik im Studium (Podiumsdiskussion) mit dem Schwerpunkt „Bewertung und Stellenwert der Lehrleistungen in forschenden Hochschulen“. BMT 2010: Dreiländertagung Biomedizinische Technik, DGBMT im VDE in Rostock 2010.
- [Kuwan 2007] Kuwan, H., Waschbüsch, E.: *Empirische Untersuchung der Wirkungen von Weiterbildungstests auf den deutschen Weiterbildungsmarkt*. Integrierter Gesamtbericht. München 2007.
- [Lindner 2011] Lindner, R.; Nusser, M.; Zimmermann, A.; Hartig, J.; Hüsing, B.: *Medizintechnische Innovationen - Herausforderungen für Forschungs-, Gesundheits- und Wirtschaftspolitik*. TAB-Arbeitsbericht Nr. 134. Berlin 2009, 276 Seiten. Online im Internet: <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/publikationen/berichte/ab134.html> (Stand: 1.6.2011)
- [Linehan 2006] Linehan, J. H.: *Introduction: The Whitaker Foundation*. *Biomedical Engineering Summit Meeting*. *Annals of Biomedical Engineering* 34(2006)2, 199.
- [McKinsey 2011] McKinsey Deutschland: *Wettbewerbsfaktor Fachkräfte – Strategien für Deutschlands Unternehmen*. Mai 2011, Online im Internet: http://www.mckinsey.de/downloads/presse/2011/wettbewerbsfaktor_fachkaefte.pdf (Stand: 31.08.2011)

- [MIT 2012] Massachusetts Institute of Technology, Harvard University, Berkeley University of California: MIT's Online Learning Initiative. The Future of Online Education. 20.2.2012 Online im Internet: <http://mitx.mit.edu/https://www.edx.org/> (Stand: 2.5.2012)
- [Morgenstern 1998] Morgenstern, U.; Freyer, R.: Ausbildung Biomedizinische Technik: woher - wozu - wohin? 32. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik, Dresden 1998. Biomedizinische Technik 43(1998) Ergänzungsband 1, 460-1.
- [Morgenstern 2005] Morgenstern, U.: Ausbildung in Biomedizinischer Technik in deutschsprachigen Ländern. DGBMT im VDE 2004. Biomedizinische Technik 50 (2005) 3 / Health Technologies 1 (2005), 70-4.
- [MT 2011] Zu wenig Weiterbildung für Ingenieure, Ergebnisse Umfrage „VDI-educating“, Pressemitteilung Düsseldorf, 17.12.2010. medizintechnik 1/2011, S.34-35. Online im Internet: <http://www.vdi.de/uploads/media/wf-2010-12-17-Ergebnisse-Weiterbildungsumfrage-educating.pdf> (Stand: 09.09.2011)
- [MT-DB 2012] Forum MedTech Pharma e. V. Nürnberg: Weiterbildungsdatenbank für die Medizintechnik. Online im Internet: <http://www.weiterbildung-medizintechnik.de> (Stand: 1.9.2012)
- [Nagel 2003] Nagel, J.H. (Ed.): White Paper on Accreditation of BME Programs in Europe. IFMBE Ad-Hoc Committee on European IFMBE Representation, IFMBE 2003.
- [PTM 2012] Hochschule Furtwangen - Universität Freiburg: Online-Masterstudiengang „Physikalisch-Technische Medizin“, berufsbegleitend neben der Arztstätigkeit. Online im Internet: <http://www.fernstudium-infos.de/uni-freiburg/29045-online-master-studiengang-physikalisch-technische-medin.html> (Stand: 1.8.2012)
- [Renn 2012] Renn, O.; Duddeck, H.; Menzel, R.; Holtfrerich, C.-L.; Lucas, K.; Fischer, W.; Allmendinger, J.; Klocke, F.; Pfenning, U.: Stellungnahmen und Empfehlungen zur MINT-Bildung in Deutschland auf der Basis einer europäischen Vergleichsstudie. Mitglieder der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Zur Zukunft technischer und naturwissenschaftlicher Bildung in Europa“, Brandenburger Akademie der Wissenschaften 2012.
- [Rosenblatt 2008] Rosenblatt, B. v.; Bilger, F.: Weiterbildungsverhalten in Deutschland Berichtssystem Weiterbildung und Adult Education Survey 2007, Band 1, Bertelsmann, Bielefeld 2008.
- [Schlötterburg 2010] Schlötterburg, C.; Becks, T.; Stieglitz, T.: Biomedizinische Technik heute. Eine Übersicht aus dem Blickwinkel der DGBMT. Bundesgesundheitsblatt 2010-53759 Springer-Verlag 2010.
- [Stanford 2012] Stanford University: z. B. Online-Anatomiekurs. Online im Internet: <http://www.anatomy-class.org/> (Stand: 2.5.2012)
- [Spectaris 2010] Spectaris: Weltweiter Umsatz der deutschen Industrie für Medizintechnik von 2003 bis 2010, Branchenbericht 2010: Hightech, Innovation und Wachstum – Die optische, medizinische und mechatronische Industrie in Deutschland.
- [VDE 2005] VDE: Ingenieurkompetenzen von Berufseinsteigern. Stellungnahme des VDE Ausschusses „Beruf, Gesellschaft und Technik“. VDE Frankfurt 2005. Online im Internet: Download über <http://www.vde.com/de/Karriere/Ingenieurausbildung/Seiten/Homepage.aspx> (Stand: 1.6.2011)
- [VDE 2010] VDE: Studie Ingenieurinnen und Ingenieure der Elektrotechnik / Informationstechnik. Trends, Studium und Beruf. Hrsg. Schanz, M., Frankfurt 2010. Online im Internet: Download über www.vde.com
- [VDE-DGBMT 2012] DGBMT im VDE: Medizintechnische Innovation in Deutschland – Empfehlungen zur Verbesserung der Innovationsrahmenbedingungen für Hochtechnologie-Medizin. Frankfurt 2012. Online im Internet: Download über www.vde.com (Stand: 5.5.2012)
- [VDI 2012] Nationaler Strategieprozess „Innovationen in der Medizintechnik“, Schlussbericht. Berlin 2012 Online im Internet/Download über <http://www.strategieprozess-medizintechnik.de/> (Stand: 1.12.2012)
- [Whitaker 2003], [Whitaker 2012] The Whitaker Foundation: Definition of Biomedical Engineering. Online im Internet www.whitaker.org 2003. Download über <http://www.bmesphotos.org/WhitakerArchives/glance/definition.html> (Stand: 5.5.2012)
- [Whitaker 2006] The Whitaker Foundation.] The Whitaker Foundation. Accreditation Board for Engineering and Technology, Biomedical Engineering Society (lead society for the accreditation of biomedical and bioengineering programs). Arlington 2006. Arlington 2006.
- [WR 2012] Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020. Berlin 13.07.2012. Online im Internet: Pressemitteilung vom 16.7.2012: <http://www.wissenschaftsrat.de/index.php?id=442&L=&PHPSESSID=b0dcc47e6107122073ca478addd2f036;> Download über: <http://wisspub.net/2012/07/16/empfehlungen-wissenschaftlichen-informationsinfrastrukturen-2020/> (Stand: 1.9.2012)
- [WSF 2008] Studienvoraussetzungen in Mathematik. Ergebnisse der Befragungen von Professoren, Erstsemestern, Mathematiklehrern. Abschlußbericht Mai 2008. Untersuchung der WSF Wirtschafts- und Sozialforschung Kerpen im Auftrag des Arbeitgeberverbandes Gesamtmetall und des Fachbereichstages Elektrotechnik/Informationstechnik 2008. Online im Internet: <http://www.think-ing.de/mint/materialien/studien> (Stand: 1.6.2011)
- [Zukunft 2011] Zukunftskonferenz Medizintechnik, gemeinsame Veranstaltung von Politik, Industrie und Wissenschaft 2011 Berlin. Online im Internet: www.zukunftskonferenz-medizintechnik.de

11 Abkürzungsverzeichnis

4ING	Fakultätentage der Ingenieurwissenschaften und der Informatik an Universitäten
AU	Österreich
BA	Berufsakademie, Studienakademie
BMT	Biomedizinische Technik
CH	Schweiz
CP	Leistungspunkte entsprechend ECTS (credit points), synonym für KP, cr., LP
cr.	credits, Leistungspunkte entsprechend ECTS (credit points), synonym für KP, CP, LP
DE	Deutschland
ECTS	Europäisches Kreditpunktesystem, European Credit Transfer and Accumulation System (manchmal synonym für cr., LP und KP gebraucht)
FH	Fachhochschule / Fachhochschulen
HS	Hochschule / Hochschulen
HSL	Hochschullehrer
KP	Kreditpunkte, Leistungspunkte entsprechend ECTS, synonym für CP, cr., LP
LLL	Lebenslanges Lernen
LP	Leistungspunkte entsprechend ECTS, synonym für KP, cr., CP
MPG	Medizinproduktegesetz
MPKPV	Verordnung über Klinische Prüfung von Medizinprodukten
PBL	Problem Based Learning
POL	Project Oriented Learning
QM	Qualitätsmanagement
SWS	Semesterwochenstunde (1 SWS = 45 Minuten Lehrveranstaltungszeit wöchentlich über ein Semester, d. h. über ca. 15 Wochen)
TU9	German Institutes of Technology e. V.
Uni	Universität / Universitäten
Z	Zertifikat

VDE

**VERBAND DER ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.**

Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main
Telefon 069-6308-0
Telefax 069-6312925
www.vde.com
service@vde.com



ISBN 978-3-925512-34-6



9 783925 512346