

Medizintechnik

Life Science Engineering

Erich Wintermantel · Suk-Woo Ha

Medizintechnik

Life Science Engineering

Interdisziplinarität · Biokompatibilität ·
Technologien · Implantate · Diagnostik ·
Werkstoffe · Business

4. überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 932 Abbildungen und 200 Tabellen

 Springer

Prof. Dr. med. Dr.-Ing. habil. Erich Wintermantel
Ordinarius
TU München
Lehrstuhl für Medizintechnik
Boltzmannstr. 15
85748 Garching
Germany
E-Mail: wintermantel@medtech.mw.tum.de

Dr. Suk-Woo Ha
IVF Hartmann AG
Victor-von-Bruns-Str. 28
8212 Neuhausen
Switzerland

Das Titelbild zeigt *im Vordergrund* die perspektivische Darstellung der vermutlich kleinsten vollelektrischen Mikrospritzgießmaschine der Welt mit Linearantrieb, entwickelt und gefertigt am Lehrstuhl für Medizintechnik der TU München. Konstruktion: Dipl.-Ing. Daniel Ammer, Dipl.-Ing. Ingo Jumpertz, Fertigung: Technisches Labor des Lehrstuhls, Leitung: Meister im Feinwerkmechanikerhandwerk Uli Ebner. *Im Hintergrund* Einblick in einen offenporigen angioplolaren Zellträger aus Metalloxidkeramik.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

DOI: 10.1007/978-3-540-74925-7

ISBN-13: 978-3-540-74924-0

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995, 1997, 2000, 2004, 2008

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz: perform electronic publishing GmbH, Heidelberg
Herstellung: LE-TEX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig
Einbandgestaltung: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier SPIN: 12122806 62/3180/YL - 5 4 3 2 1 0

Unseren Familien

*Nicola Wintermantel
mit unseren Kindern Philipp,
Viviane, Selina, Sherene und Chiara*

*Madeleine Ha-Kopal
mit unseren Kindern Jae-Min, Jae-Son
und Ayelin*

*sowie den Familien aller Co-Autoren
des Buches*

*gewidmet, denen wir für ihre wiederholte
Geduld danken.*

Vorwort zur erweiterten 4. Auflage

Die Medizintechnik bleibt eine thematisch weitverzweigte und sehr erfolgreiche internationale wirtschaftliche Grösse des Life Science Engineerings. Sie zählt zu den stabilsten Wachstumsgebieten und sie ist unverändert gut in allen Kulturen vermittelbar. Die vierte Auflage des Standardwerkes der Medizintechnik soll bisherige inhaltliche Lücken schliessen: Herz und Kreislauforgane mit zugehörigen Technologien treten hinzu, die Stammzell-Thematik als Teil des Cellular Engineering, die Wundheilung und Wound Care, moderne Knochenbruchbehandlung, neue Verfahren der Bildverarbeitung, die Vervollständigung der Therapien an Mittel- und Innenohr, lasttragende Implantate kleiner und grosser Gelenke sowie das dynamisch wachsende Gebiet der Dentalimplantate, endoskopische Verfahren der Viszeralchirurgie und der Urologie sowie Verfahren der Nieren- und Leberdialyse. Ein Reiraumkapitel weist auf das Potential künftiger Sterilfertigung hin.

Gern haben wir der Bitte um unveränderte Wiederaufnahme des Kapitels „Ökocompatible Werkstoffe“ aus der längst vergriffenen 2. Auflage entsprochen. Es wurde mit dem Ziel der intensiven Diskussion im Umfeld der wissenschaftlichen Lehre und mit Blick auf die breitere Integration der Medizintechnik in das Life Science Engineering erneut eingeführt, ein Zukunftstrend, der sich deutlich verstärken wird. Damals in Zürich waren „die Ökocompatiblen“ ein durchaus gewagter hochinnovativer Beitrag zu den Biokompatiblen Werkstoffen, heute werden sie aus Fürsorge für die Umwelt vom Leser nachgefragt, Zeichen einer gewachsenen integrativen Betrachtung der Umwelt-Wechselwirkungen mit dem menschlichen Körper.

Da der eigene Lebensweg einige Zeit der Forschungs-, Entwicklungs- und Lehr-tätigkeit umfasst, sollten die gemachten guten Erfahrungen bevorzugt jenen jungen Menschen zur Verfügung gestellt werden, die sich in diesem faszinierenden Technologiegebiet entfalten wollen. Dies geschieht in einem kondensierten Rückblick auf 25 Berufsjahre in der Interdisziplinarität der Medizintechnik, als Editorial. Teil II dieses allgemeinen Blocks wird den technologischen Kapiteln nachgestellt. Es sind Kapitel zu Finanzierungsinstrumenten für Firmengründer, Methoden der Marktanalyse und -evaluation im Gesundheitswesen, eine Darstellung des Patentwesens und der Patentierung sowie eine aktuelle Betrachtung des Zertifizierwesens. Entrepreneure, junge Firmengründer sollen begeistert werden. Man lese mit Genuß

und Hochachtung die Stories I und II, Zeugnisse dafür, daß sich Durchhalten lohnt und der Markt bestimmt.

Die bestehenden Kapitel der 3. Auflage sind an nur sehr wenigen Stellen korrigiert worden: dort wo offensichtliche und entdeckte Fehler sich hartnäckig hielten. Auch die vierte Auflage wird einladen, solche Fehler zu finden: Der Leser ist gebeten, sie uns bekanntzumachen, damit wir sie künftig vermeiden können.

Es sind für individuellen Dank in diesem Vorwort zuviele Autoren geworden, die bereitwillig unter höchstem Zeitdruck ihren wertvollen Beitrag verfassten und denen wir allen höchste Wertschätzung entgegenbringen. Jeder Autor möge den hiermit ausgesprochenen und tiefempfundenen Dank individuell entgegennehmen. Das Buch festigt seine Markstellung durch die neuen Beiträge nachhaltig. Und es ist für alle Autoren der Leistungsnachweis eines Netzwerkes. Gestalten wir es gemeinsam weiterhin.

Ein Mitarbeiter des Lehrstuhls für Medizintechnik sei besonders hervorgehoben, der alles zur geschliffenen Einheit mit Diplomatie eintrieb und mit fokussierter Kraft zusammenzuführen: Herr Dipl.-Ing. Stefan Pfeifer, Maschineningenieur und Doktorand: Stefan, namens aller Ko-Autoren des Buches: Hab' ganz herzlichen Dank für Deine Mühe und die geopfert Zeit. Ohne Deine wertvolle Arbeit gäbe es eine vierte Auflage nicht.

Herrn Dr. Merkle und Frau Jantzen des Hauses Springer gebührt Anerkennung für die erwiesene Treue in der Zusammenarbeit von nunmehr über 10 Jahren.

München und Schaffhausen,
September 2007

Erich Wintermantel
und Suk-Woo Ha

Geleitwort zur 3. Auflage

Die erste und zweite Auflage der Monografie „Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen“ hat im deutschsprachigen Raum einen gewichtigen Beitrag zum Schliessen einer Lücke geleistet, die zwischen den Ingenieurwissenschaften und der Medizin klaffte. Erich Wintermantel und Suk-Woo Ha sowie das hinter ihnen stehende Autorenteam haben es verstanden, den Wissensstand der jeweiligen anderen Disziplin gut verständlich darzulegen. Ein Ingenieur und Werkstoffwissenschaftler findet in dem Buch in der gebotenen Kürze und Korrektheit wichtige Aussagen zum lebenden Gewebe und umgekehrt kann sich der Mediziner mit dem Aufbau und den Eigenschaften von metallischen, keramischen und polymeren Werkstoffen sowie deren Verbunden vertraut machen. So bildet diese Monografie gleichermaßen für Lernende und für Lehrende eine Grundlage für den Einstieg in ein sich rasch entwickelndes interdisziplinäres Fachgebiet. Darüber hinaus ist es auch bestens als Nachschlagewerk für den bereits in diesem Gebiet Tätigen geeignet.

Vor dem Hintergrund eines als sprunghaft zu bezeichnenden Erkenntniszuwachses auf dem Gebiet der molekularen Zellbiologie -man denke an die Aufschlüsselung des menschlichen Genoms -vollzieht sich gegenwärtig in der Implantologie ein Paradigmenwechsel. In zunehmendem Mass ist das Bestreben erkennbar, körperfremdes durch körpereigenes oder -ähnliches Material zu ersetzen. Es ist von vornherein klar, dass dies ein Prozess ist, der gerade erst begonnen hat und der u.a. von der mechanischen Belastung eines Implantates abhängig ist. Gegenwärtig gelingt dieses Vorhaben bereits in einigen ausgesuchten Fällen, in anderen ist bis zur Anwendungsreife noch erhebliche Forschungsarbeit nötig. Im Falle von lasttragenden Implantaten werden sicherlich neue Wege beschritten werden müssen, die unter dem Begriff Biosurface Engineering zusammengefasst werden können. Die Folge der skizzierten Entwicklung ist unverkennbar. Der Werkstoffwissenschaftler und Ingenieur muss sich künftig mehr als bisher mit Materialien beschäftigen, die bislang weniger zu seinem Handwerkszeug gehörten, wie z. B. die Biopolymere. In der Materialsynthese wird er darüberhinaus die lebende Zelle -wie beim Tissue Engineering oder beim Biosurface Engineering bereits vollzogen - mit einzubeziehen haben.

Dieser Entwicklung trägt die 3. Auflage mit dem Titel „Medizintechnik mit Biokompatiblen Werkstoffen und Verfahren“ voll Rechnung. Neben der Charakterisie-

rung von verfügbaren Materialien und Werkstoffen werden, wie bereits in den ersten beiden Auflagen geschehen, verwendete Bauweisen und Fertigungstechnologien in die Darlegungen einbezogen. Diese Herangehensweise kommt dem Ingenieur sehr entgegen, weil sie an das ihm bekannte Tätigkeitsfeld der Konstruktion, Berechnung und Fertigung anknüpft und es auf spezifisch neue Bereiche erweitert. Die ingenieurtechnisch geprägten Betrachtungen erfahren in den neu hinzugekommenen Kapiteln Therapeutische Medizintechnik und Diagnostische Medizintechnik eine anwendungsbezogene Abrundung. Somit leistet die Monografie abermals einen bedeutenden Beitrag zur Weiterentwicklung der stark interdisziplinär geprägten Medizin- und Biomedizintechnik. Möge auch die dritte Auflage vor dem Hintergrund, dem Patienten dienen zu wollen, wiederum einen breiten interessierten Leserkreis finden.

Dresden im Juli 2001

Dr. Hartmut Worch
Professor für Werkstoffwissenschaft
an der Technischen Universität Dresden

Geleitwort zur 1. Auflage

In den industrialisierten Ländern nehmen die meisten Patienten und Ärzte ganz selbstverständlich die Hilfen in Anspruch, die die Medizintechnik heute erbringen kann. Nach wie vor wird auch in diesem Technologiebereich sehr intensiv an weiteren Fortschritten gearbeitet, um für einen immer grösseren Kreis von Behandlungsbedürftigen immer bessere technische Lösungen bereitzustellen. Wer möchte nicht nach Unfall, Krankheit oder altersbedingter schmerzhafter Funktionseinbusse wieder eine höhere Lebensqualität erreichen, als noch vor kurzem möglich schien? Konkret bedeutet hier Fortschritt beispielsweise, das Risiko von Misserfolgen (etwa bei Implantationen) herabzusetzen oder die Schwere eines operativen Eingriffs und damit den Umfang der Nachfolgetherapie zu reduzieren. Da es für lebensrettende Organtransplantationen immer häufiger an menschlichen Ersatzorganen fehlt, kommt den Bemühungen um die Entwicklung künstlicher Organe eine vorrangige Bedeutung zu. Und schliesslich müssen nicht nur aus Gründen der unternehmerischen Konkurrenz und der Wirtschaftlichkeit die Kosten medizintechnischer Lösungen so tief als möglich gehalten werden.

Es gehört zu den Merkmalen unserer Zeit, dass technische Innovationen sich vorwiegend als Frucht von Erfolgen in der Werkstoffwissenschaft und -technik in der Praxis durchsetzen. Dies gilt insbesondere für weite Bereiche der Medizintechnik ausserhalb moderner diagnostischer Verfahren, die sich hauptsächlich auf physikalische Methoden (wie z.B. die Laseroptik oder die Kernspintomographie), die Elektronik und die Informatik stützen. Wenn jedoch Werkstoffe für den Einsatz in Bauteilen für die medizinische und chirurgische Praxis vorgesehen sind, muss in jedem Fall eine unabdingbare Voraussetzung erfüllt sein: Der betreffende Werkstoff und das daraus gefertigte Bauteil müssen sich mit den Zellen, Geweben und lasttragenden Strukturen des menschlichen Körpers auf Dauer problemlos vertragen, d.h. nachweisbar biokompatibel sein.

Der vorliegenden Monographie von Prof. Dr. E. Wintermantel und Dipl.-Ing. S.-W. Ha wird deshalb eine zeitgemässe sorgfältig formulierte Definition des Begriffes Biokompatibilität zugrundegelegt. Dem gegenwärtigen Stand der Medizintechnik entsprechend fasst Wintermantel diesen weiter als bisher üblich, indem beispielsweise auch die lange vernachlässigte Strukturkompatibilität berücksichtigt und in eine Gesamtschau integriert wird.

Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen lebenden Organismen, darunter Zellen, Organe und ihre Bestandteile sowie anorganischen Substanzen wie Werkstoffe werden heutzutage nicht nur in der Medizintechnik gebraucht, sondern überall wo das Verständnis zahlreicher Erscheinungen und Vorgänge im Spannungsfeld zwischen einer industrialisierten Zivilisation und der Natur, etwa bei umweltbewusstem Wirtschaften, die Grundlage für verantwortungsvolles Handeln bilden.

Die Abteilung für Werkstoffe der ETH Zürich hatte deshalb für die Planungsperiode 1992-1995 eine Professur für biokompatible Werkstoffe beantragt. Die Schulleitung und der ETH-Rat unterstützten das Vorhaben tatkräftig und schufen mit der Wahl von Privatdozent Dr. med. E. Wintermantel die Voraussetzung dafür, dass dieser seine bisher an der ETH Zürich ausgeübte Forschungs- und Lehrtätigkeit ab Herbst 1992 erheblich intensivieren und mit erweiterter Zielsetzung auf aktuelle medizinische Bedürfnisse ausrichten konnte.

Die nach so kurzer Aufbauphase vorliegende Monographie mit Lehrbuchcharakter setzt bei Nichtmedizinern ein Grundstudium in Natur- oder Ingenieurwissenschaften voraus und wendet sich an einen viel weiteren Leserkreis, als der Titel vermuten lässt. Gewiss will sie in erster Linie mithelfen, Medizin, Werkstoffwissenschaften und Maschinenbau über den Werkstoffaspekt zu verbinden. Doch vermitteln die Ergebnisse der technologieorientierten Forschung, die in diesem Band einen breiten Raum einnehmen, auch grundlegende neue Einsichten für technische Fachgebiete, in denen medizinische Anwendungen keine nennenswerte Rolle spielen. So können beispielsweise der Vorrichtungsbau oder Konstrukteure, die auf der Suche nach neuen für die Bildung von Freiformflächen geeigneten Werkstoffen sind, von der intensiven Beschäftigung mit neuen Verarbeitungsmethoden profitieren, denen die Gruppe Wintermantel einen grossen Teil ihrer Aktivitäten widmet. Das vorliegende Werk bietet übertragbare Fertigungstechnologien an.

Wer in der heutigen Situation Werkstoffe optimal einsetzen will, kommt nicht darum herum, die verfügbaren Werkstoffklassen (Metalle, Polymere, Keramiken) als gegenseitig konkurrierende Mengen von Funktionsträgern zu betrachten. Ausschlaggebend für die Wahl eines Werkstoffs unter mehreren, denen die erforderlichen Eigenschaften attestiert werden, ist meistens die Art und Weise, wie er verarbeitet werden kann, denn von diesen Prozessen hängen schliesslich Qualitäten wie auch die Kosten eines Produktes ab. Die Entwicklung neuer Verarbeitungsmethoden und Prozesstechniken für medizinisch bewährte Werkstoffe macht es möglich, verhältnismässig rasch neue Anwendungsgebiete zu erschliessen, weil die für neue Werkstoffe sehr aufwendigen Grundagentests für Zulassungsprüfungen entfallen.

Möge dieses neue Lehrmittel und Nachschlagewerk zu weiteren Forschungen anregen und dazu beitragen, die Realisierung mancher ärztlicher Wunschträume zum Wohl der Patienten näherzubringen. Daher wünsche ich dem neuen Buch eine möglichst grosse Verbreitung.

Februar 1996

Dr. E. Freitag
Professor Emeritus für Werkstoffwissenschaften
der ETH Zürich

Vorwort zur 1. Auflage

Fortschritte in der Medizin und Chirurgie hängen im wesentlichen von Fortschritten in Technologien ab. Neue Werkstoffe mit neuen Eigenschaften und neue Bauteile, z. B. Implantate, Instrumente oder Geräte, können sich von ihren Vorgängern nur erfolgreich abheben, wenn sie einen erheblichen medizinischen oder volkswirtschaftlichen Nutzen versprechen. Patient und Arzt stehen aus der Sicht des Ingenieurs daher am Ende von oft langjährigen, teuren Entwicklungsketten, denen sie durch Erfolgs- oder Misserfolgs-Rückmeldung neue Impulse geben. Dabei schliessen präklinische Tests ein Restrisiko für die Anwendung eines neuen Implantates oder eines Verfahrens nicht aus. Forschung mit biokompatiblen Werkstoffen und Bauweisen ist Risikoforschung, jedoch sehr häufig gut kalkulierbar. Die Akzeptanz des Risikos kann dabei zu völlig neuen Therapien führen und zu neuen Märkten für die herstellende Industrie, z. B. zu Zelltransplantaten, zu Ersatzgeweben oder zu neuen Verfahren der Tumorbehandlung.

Neue Technologien sind auf grundlagen- und auf anwendungsorientierte Forschungen bis hin zu Wirtschaftlichkeits- und ethischen Betrachtungen angewiesen. Diese Forschung muss mehrdisziplinär sein, um die komplexen Fragen, beispielsweise bei der Entwicklung eines neuen Hüftgelenkersatzes, in nützlicher Zeit zu beantworten oder sie als derzeit nicht beantwortbar zu identifizieren. Wir sprechen dabei von „Syndisziplinarität“, da mehrere Fachgebiete, z. B. die Werkstoffwissenschaften, der Maschinenbau, die Produktionswissenschaften, die Biologie, die Physik, die Chemie, der feinmechanische Werkzeugbau, die Informatik, in einem einzelnen Projekt zusammen auf einen bestimmten Punkt hin, einen Fokus, auf das zu lösende Problem hin, zentripetal wirken müssen. Dieser Zusammenschluss von Disziplinen ist nur temporär, um neu auftretende Fragen mit einem neu zusammengestellten Team zeitgerecht bearbeiten zu können. Forschung mit biokompatiblen Werkstoffen und Bauweisen ist daher syndisziplinär und schliesst keine Technologie aus. Forscher in diesem Gebiet müssen ein dauerndes Innovations-screening in benachbarten Disziplinen durchführen, um Entwicklungen zusammenzuführen. Dazu ist eine disziplinäre Ausbildung Voraussetzung.

Werkstoffe und Bauteile erhalten ihre Eigenschaften durch den Verarbeitungs- oder Herstellprozess. Daher sind neue Prozesstechnologien zu entwickeln, wenn man neue Werkstoffe will, die bisher unlösbare Probleme lösen sollen. Hierzu tragen

Modellerstellung, z.B. mit Finiten Elementen, und Laborversuch gleichberechtigt zur Lösungsfindung bei. Ein unablässiger Begleiter aller Vorrichtungen für neue Prozesse ist die Konstruktion. Diese Einheit von Prozesstechnik, Vorrichtungsbau und Konstruktion wird mit dem Begriff der Bauweisen umschrieben. Bauweisen sind bauteilbezogen und prozessabhängig. In einer so intensiv vernetzten Forschung ist die Grenze zwischen Grundlagenforschung und Anwendungsforschung unbedeutend, es gibt dann auch keine Superioritäten. Der Erkenntnisgewinn liegt im Verstehen von Grundlagen, im Erreichen einer neuen Funktion oder in einer neuen Therapie.

Das vorliegende Buch ist aus Vorlesungen des Erstautors an den Departementen Werkstoffe sowie Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETH Zürich und aus aktuellen Forschungsthemen des Lehrstuhls für Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen entstanden. Wir halten es für eine der vornehmsten Aufgaben eines Forschers, auch für die Konvertierung seiner Forschung in den vorindustriellen Wettbewerb hinein zu sorgen. Er bringt damit sich und seine Mitarbeiter in einen nutzbringenden Dialog mit der Industrie, mit Ärzten und Patienten, ganz im Sinn der Syndisziplinarität. Schliesslich dient der Dialog der Bildung fachlicher Netzwerke, mit dem Ziel, mit Netzwerken von Personen und nicht mit Einzelpersonen allein zu kommunizieren.

Das Buch kann von einem technisch vorgebildeten Leser optimal genutzt werden, zusammen mit einem klinischen Wörterbuch, und der medizinisch-biologisch Vorgebildete tut gut an einer Ergänzung durch ein entsprechendes Werk aus dem Gebiet Maschinenbau und Werkstoffe. Es sollen mit dieser Monographie folgende Ziele beim Leser erreicht werden können:

- Erlernen der Grundlagen der Biokompatibilität, darunter der Struktur- und der Oberflächenkompatibilität,
- Übertragung dieser Grundlagen von medizinischen auf nichtmedizinische Gebiete der Umwelt, auch, um einen Multiplikatoreffekt zu nützen,
- Entdecken der Kombinationsvielfalt an klassischen naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen für neue Werkstoffe und daraus gefertigte Bauteile,
- Anregungen für eigene Neuentwicklungen.

Die Autoren möchten ausdrücklich nicht nur einen aktuellen Stand der Technik und des Wissens vorstellen, sondern zu Entwicklungen, anhand vorgestellter Beispiele, anregen. Wenn verständlich gemacht werden kann, dass sich Disziplinen auf gleicher Stufe und zu gleicher Zeit effizient austauschen müssen, um ein gemeinsames Forschungs- und Entwicklungsziel zu erreichen und um völlig neue Lösungen und oft unvorhersehbare nützliche Entwicklungen einzuleiten, ist ein wichtiger Schritt gelungen. Das Buch soll zugleich Dozenten für die Erstellung eines Lehrplanes und Studenten in der Bewältigung des Lehrstoffes hilfreich sein. Um dem Werk die Originalität der Entstehung zu belassen, wurden oft, vor allem in den umweltbezogenen Kapiteln, Verhältnisse in der Schweiz angegeben. Der Leser wird ermuntert, diese auf die Verhältnisse in seinem Land im Rahmen des Möglichen zu übertragen. Das Buch ist kein auf Vollständigkeit bedachtes Nachschlagewerk nationaler Normen, Vorschriften und Verhältnisse.

Wir danken besonders Herrn Prof. Dr. E. Freitag für die Gedanken im Geleitwort. Ein weiterer grosser Dank geht an Veronika Sieger und Christoph Flueler für ein an Bemühungen reiches Lektorat sowie an Brigitte Shah-Derler für die Anfertigung zahlreicher Zeichnungen. Schliesslich dürfen wir allen Co-Autorinnen und Autoren, allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, herzlich für Ihre Beiträge und für zahlreiche Lektorate danken. Dem Springer-Verlag und besonders Herrn Dr. Merkle gebührt unser aller Dank für eine ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Dr. Erich Wintermantel
Ordentlicher Professor
für Biokompatible Werkstoffe
und Bauweisen

Dipl.-Ing. Suk-Woo Ha
ETH Zürich
Wagistrasse 23
CH - 8952 Schlieren

Zürich, im Februar 1996

Inhaltsverzeichnis

Part I Impulse – Teil 1

1 Editorial	3
<i>E. Wintermantel</i>	

Part II Grundlagen der Medizintechnik

2 Einleitung	55
<i>S.-W. Ha, E. Wintermantel</i>	
2.1 Literatur	58
3 Biokompatibilität	59
<i>E. Wintermantel, B. Shah-Derler, A. Bruinink, M. Petitmermet, J. Blum, S.-W. Ha</i>	
3.1 Normen	59
3.2 Definitionen	59
3.3 Implantat-Gewebe-Interaktionen	62
3.4 Bestimmung der Biokompatibilität mittels <i>in vitro</i> und <i>in vivo</i> Methoden	64
3.4.1 <i>In vitro</i> -Systeme	64
3.4.2 <i>In vitro</i> Tests	71
3.4.3 <i>In vivo</i> -Tests	82
3.4.4 Vergleich zwischen <i>in vitro</i> - und <i>in vivo</i> -Tests	83
3.5 Reaktionen des menschlichen Körpers auf Werkstoffe und Bauteile	84
3.5.1 Entzündungsreaktionen	85
3.5.2 Allergische Reaktionen	85
3.5.3 Abwehr partikulärer Substanzen, welche über die Atmung in den Körper eingetragen werden.	87
3.5.4 Asbestproblematik	90
3.6 Ausblick	92
3.7 Literatur	94

4 Biofunktionalität	97
<i>S.-W. Ha, E. Wintermantel</i>	
4.1 Lastübertragung	97
4.2 Gelenkersatz	98
4.2.1 Tribologie	98
4.2.2 Reibung	99
4.2.3 Schmierung	99
4.2.4 Verschleiss	99
4.3 Transport von Flüssigkeiten	100
4.4 Optische und akustische Übertragung	102
4.5 Kontrolle der Freisetzung von Arzneistoffen	103
4.6 Literatur	104
5 Sterilisation	105
<i>S.-W. Ha, M. Koller, G. Göllner</i>	
5.1 Einleitung	105
5.2 Sterilisationsverfahren	107
5.3 Hitzesterilisation	109
5.4 Niedertemperatur-Gas-Verfahren / Kaltsterilisationsverfahren	112
5.5 Sterilisation mit ionisierender Strahlung	115
5.6 Sterilisationsverfahren mit wässrigen Lösungen	115
5.7 Literatur	117

Part III Biologische Grundlagen

6 Zellen	121
<i>B. Shah-Derler, J. Hubbell, E. Wintermantel, S.-W. Ha</i>	
6.1 Einleitung	121
6.2 Zellaufbau	122
6.2.1 Zellmembran	122
6.2.2 Zytoplasma	123
6.2.3 Zellkern	124
6.2.4 Mitochondrien	125
6.2.5 Endoplasmatisches Retikulum	125
6.2.6 Golgi-Apparat	126
6.2.7 Lysosomen	126
6.2.8 Zytoskelett	127
6.3 Zellteilung	127
6.4 Differenzierung der Zelle	130
6.5 Zelladhäsion und extrazelluläre Matrix	130
6.5.1 Einleitung	130
6.5.2 Extrazelluläre Matrixproteine und ihre Rezeptoren	133

6.5.3	Modellsysteme für die Untersuchung von Matrix-interaktionen	139
6.5.4	Die Bildung von Zellmuster durch Oberflächen- funktionalisierung	141
6.6	Literatur	143
7	Blut	147
	<i>B. Shah-Derler, E. Wintermantel, S.-W. Ha</i>	
7.1	Zusammensetzung und Funktion	147
7.2	Zelluläre Bestandteile des Blutes	148
7.2.1	Erythrozyten	148
7.2.2	Leukozyten	149
7.2.3	Thrombozyten	150
7.3	Blutkreislauf	150
7.4	Blutstillung und Blutgerinnung	151
7.5	Blutkontakt und Hämokompatibilität	152
7.6	Literatur	154
8	Gewebe	155
	<i>B. Shah-Derler, E. Wintermantel, S.-W. Ha</i>	
8.1	Einleitung	155
8.1.1	Epithelgewebe	155
8.1.2	Binde- und Stützgewebe	156
8.1.3	Muskelgewebe	156
8.1.4	Das Nervengewebe	157
8.2	Knorpelgewebe	158
8.3	Knochengewebe	159
8.3.1	Struktureller Aufbau	160
8.3.2	Chemische Zusammensetzung	162
8.3.3	Mechanische Eigenschaften	162
8.3.4	Knochenzellen	163
8.3.5	Knochenentstehung (Ossifikation)	164
8.3.6	Knochenwachstum	167
8.3.7	Knochenbruchheilung	167
8.4	Literatur	170
9	Immunsystem	171
	<i>J. Blum, M. Petitmermet, E. Wintermantel</i>	
9.1	Die Zellen des Immunsystems	171
9.1.1	Granulozyten	173
9.1.2	Monozyten und Makrophagen	174
9.1.3	Lymphozyten	175
9.2	Phagozytose und Pinozytose	176

Part IV Werkstoffe in der Medizintechnik

10 Einleitung	181
<i>S.-W. Ha</i>	
11 Metalle	183
<i>S.-W. Ha, E. Wintermantel</i>	
11.1 Einleitung und geschichtlicher Rückblick	183
11.2 Mechanische Eigenschaften	185
11.3 Korrosion	187
11.3.1 Untersuchung der Korrosionsbeständigkeit	
von metallischen Implantatwerkstoffen	188
11.3.2 Passivierung	189
11.3.3 Korrosionsarten	191
11.3.4 Weitere Korrosionsarten	192
11.4 Biokompatibilität	193
11.4.1 In vitro-Korrosionsuntersuchungen	193
11.4.2 Korrosion und Gewebereaktion	194
11.4.3 Löslichkeit und Toxizität	196
11.4.4 Schlussbemerkung zur Biokompatibilität von Metallen ..	196
11.5 Rostfreie Stähle	197
11.5.1 Korrosionsbeständigkeit	197
11.5.2 Mechanische Eigenschaften	199
11.5.3 Biokompatibilität	199
11.6 Kobaltlegierungen	199
11.6.1 Korrosionsbeständigkeit	201
11.6.2 Mechanische Eigenschaften	202
11.6.3 Biokompatibilität	202
11.7 Titanlegierungen	203
11.7.1 Korrosionsbeständigkeit	203
11.7.2 Mechanische Eigenschaften	205
11.7.3 Biokompatibilität	205
11.8 Literatur	207
12 Polymere	211
<i>S.-W. Ha, E. Wintermantel, G. Maier</i>	
12.1 Polymerisationsreaktionen	213
12.1.1 Polymerisation	214
12.1.2 Polykondensation und Polyaddition	220
12.2 Synthetische Polymere	222
12.2.1 Polyethylen (PE)	222
12.2.2 Polyethylenterephthalat (PET)	224
12.2.3 Polyvinylchlorid (PVC)	226
12.2.4 Polycarbonate (PC)	227
12.2.5 Polyamide (PA)	228

12.2.6	Polytetrafluorethylen (PTFE)	230
12.2.7	Polymethylmethacrylat (PMMA)	232
12.2.8	Polyurethane	237
12.2.9	Polysiloxane	241
12.2.10	Polyetheretherketon (PEEK)	243
12.2.11	Polysulfon (PSU)	245
12.2.12	Weitere synthetische Polymere	246
12.3	Natürliche Polymere	248
12.3.1	Kollagen	248
12.3.2	Chitin und Chitosan	251
12.3.3	Fibrin	253
12.4	Biodegradable Polymere	254
12.4.1	Poly lactide und Polyglykolide	257
12.4.2	Polyhydroxyalkanoate (PHA)	260
12.4.3	Polycaprolacton (PCL)	261
12.4.4	Polyanhydride	262
12.4.5	Polyorthoester	263
12.5	Literatur	264
13	Keramische Werkstoffe	269
	<i>S.-W. Ha, E. Wintermantel</i>	
13.1	Aluminiumoxid	270
13.1.1	Klinische Ergebnisse	270
13.2	Zirkonoxid	271
13.2.1	Klinische Ergebnisse	273
13.3	Hydroxylapatit	273
13.3.1	Einleitung	273
13.3.2	Herstellung	274
13.3.3	Chemische Zusammensetzung und Kristallstruktur	275
13.3.4	Eigenschaften	276
13.3.5	Hydroxylapatitbeschichtungen	278
13.3.6	Plasmagespritzte HA-Beschichtungen für die medizinische Anwendung	282
13.3.7	Klinische Ergebnisse	282
13.4	Bioglas	283
13.4.1	Einleitung	283
13.4.2	Herstellung	284
13.4.3	Chemische Zusammensetzung	284
13.4.4	Eigenschaften	286
13.4.5	Klinische Ergebnisse und Anwendungen	286
13.5	Literatur	288

14 Faserverbundwerkstoffe	291
<i>J. Mayer, R. Tognini, M. Widmer, H. Zerlik, E. Wintermantel, S.-W. Ha</i>	
14.1 Einleitung	291
14.2 Funktionelle Einheiten eines kohlenstofffaserverstärkten Verbundwerkstoffes	293
14.2.1 Faser.	293
14.2.2 Matrix	293
14.2.3 „Interphasen“ und „Interfaces“ in Verbundwerkstoffen ...	294
14.2.4 Faser-Matrix-Verbund	298
14.2.5 Einfluss der Faserarchitektur (textile Anordnung von Fasern)	303
14.3 Gestricken als 3-dimensionale Verstärkungsstrukturen	305
14.3.1 Die Struktur gestrickverstärkter Verbundwerkstoffe	305
14.3.2 Mechanische Eigenschaften	308
14.3.3 Versagensverhalten	310
14.4 Ausgewählte Fertigungsverfahren für Bauteile	313
14.4.1 Einleitung.	313
14.4.2 Pressverfahren für spanende und „net-shape“-Fertigung, am Beispiel einer Osteosyntheseplatte	314
14.4.3 „Net-shape“-Pressverfahren	317
14.4.4 Spanende Fertigung aus einem gepressten Halbzeug	317
14.4.5 Vergleich der mechanischen Eigenschaften der beiden Platten	318
14.5 Spritzguss kurzfaserverstärkter Verbundwerkstoffe	320
14.5.1 Faserorientierungsverteilung im spritzgegossenen Verbundwerkstoff	320
14.5.2 Gegentaktspritzguss	323
14.6 Fliesspressen endlosfaserverstärkter Verbundwerkstoffe	324
14.6.1 Eigenschaften von fließgepressten Kortikalisschrauben ..	325
14.6.2 Mechanische Eigenschaften	326
14.6.3 Diskussion	328
14.7 Schlussfolgerungen.	330
14.8 Literatur	331
15 Radioaktive Biomaterialien	335
<i>W. Assmann</i>	
15.1 Wechselwirkung radioaktiver Strahlung mit Zellen	336
15.2 Dosisbegriffe und Dosimetrie radioaktiver Implantate	339
15.3 Radionuklide für die Verwendung in Implantaten	340
15.4 Verfahren zur Herstellung radioaktiver Implantate	343
15.5 Beispiele für radioaktive Implantate.	345
15.5.1 Seeds	345
15.5.2 Stents	346
15.6 Ausblick	347
15.7 Literatur	348

Part V Tissue Engineering/Stammzell Engineering

16 Grundlagen des Tissue Engineering	351
<i>J. Mayer, J. Blum, E. Wintermantel</i>	
16.1 Trägerstrukturen (scaffolds)	354
16.1.1 Struktur und Aufbau natürlicher Gewebe	354
16.1.2 Struktur und Aufbau künstlicher Gewebe	356
16.1.3 Funktionale Elemente: Die Oberfläche	356
16.1.4 Funktionale Elemente: Die Architektur	358
16.1.5 Architektur: Das Anordnungsprinzip.	359
16.1.6 Architektur: Hierarchisierung durch Superstrukturen.	360
16.2 Methodik.	361
16.3 Literatur	363
17 Mikroreaktortechnik für Tissue Engineering	365
<i>W. Minuth, K. Schumacher, R. Strehl, U. de Vries</i>	
17.1 Einleitung	365
17.2 Funktionelle Epithelien	366
17.3 Innovative Kulturtechniken	366
17.4 Epithelgewebe unterliegt permanentem Stress.	368
17.5 Kulturbedingungen und Epithelbarriere	371
17.6 Proliferation und funktionelle Differenzierung	373
17.7 Modulierung der Gewebeeigenschaften	375
17.8 Aufrechterhaltung der Differenzierungsleistung	377
17.9 Literatur	379
18 Electrospinning	381
<i>N. Laar, S. Köppl, E. Wintermantel</i>	
18.1 Einleitung	381
18.2 Der Electrospinning-Prozess	382
18.2.1 Funktionsprinzip und Aufbau	382
18.2.2 Einflussparameter	383
18.3 Variationen des Electrospinning-Aufbaus	385
18.3.1 Manipulation des elektrischen Feldes	385
18.3.2 Unterschiedliche Kollektortypen.	385
18.3.3 Sonstige Variationen	386
18.4 Variationen im Aufbau der Nanofasern	388
18.4.1 Geperlte Fasern	388
18.4.2 Poröse Fasern.	389
18.4.3 Bandförmige Fasern	391
18.5 Verwendete Polymere und Lösungsmittel	391
18.6 Anwendungsbeispiele.	393
18.6.1 Drug-Delivery-Systeme.	394
18.6.2 Scaffolds für das Tissue Engineering	396

18.7	Ausblick	398
18.8	Literatur	400
19	Tissue Engineering in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie	403
	<i>M. Bücheler, F. Bootz</i>	
19.1	Einleitung	403
19.2	Gewebeersatz nach Tumorchirurgie	403
19.3	Trachealstenosen	404
19.4	Speicheldrüsen	406
19.5	Literatur	408
20	Zellträgersysteme	409
	<i>K.-L. Eckert, J. Blum, E. Wintermantel</i>	
20.1	Immobilisation der Zellen	411
20.2	Zellvermehrung auf den Trägersubstraten	412
20.3	Nährstoffversorgung der Zellen auf den Trägersubstraten	412
20.4	Schutz gegen körpereigene Immunabwehr	413
20.5	Zellträgersysteme	413
	20.5.1 Angiopolare Zellträger	414
	20.5.2 Resorbierbare Polymersysteme	418
20.6	Literatur	420
21	Stammzellen	421
	<i>M. Eblenkamp, S. Neuß-Stein, S. Salber, V. Jacobs, E. Wintermantel</i>	
21.1	Einleitung	421
21.2	Definitionen und Systematik	422
	21.2.1 Definition	422
	21.2.2 Gliederung nach Ausmaß des Differenzierungspotentials	425
	21.2.3 Gliederung nach Richtung des Differenzierungspotentials	426
	21.2.4 Gliederung nach Ursprung	426
21.3	Identifizierung von Stammzellen	427
	21.3.1 Morphologie	428
	21.3.2 Oberflächenmerkmale	428
	21.3.3 Funktionelle Eigenschaften	428
21.4	Verfahren zur Gewinnung von Stammzellen	429
	21.4.1 Isolation	429
	21.4.2 Aufreinigung	429
	21.4.3 Kultivierung	431
21.5	Differenzierung von Stammzellen	431
	21.5.1 In-vivo-Situation	431
	21.5.2 In-vitro-Differenzierung	432
21.6	Ausgewählte Stammzellen im Detail	434
	21.6.1 Embryonale Stammzellen	434
	21.6.2 Hämatopoetische Stammzellen	435

21.6.3	Mesenchymale Stammzellen.....	436
21.6.4	Stammzellen der Haut.....	437
21.6.5	Endotheliale Vorläuferzellen.....	438
21.6.6	Stammzellen des Geburtsgewebes.....	438
21.7	Stem Cell Engineering.....	440
21.7.1	Wechselwirkung mit Biomaterialien.....	440
21.7.2	Mechanisch-physikalische Einflüsse / Bioreaktoren.....	441
21.8	Klinischer Einsatz.....	443
21.9	Ausblick.....	446
21.10	Literatur.....	447
22	Vaskuläres Tissue Engineering.....	451
	<i>H. Perea, H. Methe, E. Wintermantel</i>	
22.1	Einleitung.....	451
22.2	Anatomischer Aufbau von Blutgefäßen.....	452
22.3	Zelluläres Kompartiment.....	454
22.3.1	Endotheliale Progenitorzellen und andere Stammzellen... ..	455
22.3.2	Genetisch modifizierte EZ.....	456
22.4	Scaffold.....	457
22.4.1	Synthetische Scaffolds.....	457
22.4.2	Biologische Scaffolds.....	464
22.4.3	Scaffold Beschichtungen.....	465
22.4.4	Immunogenität von Gefäßprothesen.....	466
22.5	Zelluläre Besiedelungstechniken – Bioreaktoren.....	467
22.6	Klinische Erfahrung.....	473
22.6.1	Endothelzell-beschichtete Gefäßimplantate.....	473
22.6.2	Tissue Engineering vollständiger Gefäßprothesen.....	475
22.7	Zusammenfassung.....	478
22.8	Literatur.....	480
Part VI	Prozesstechnologien für medizintechnische Entwicklungen	
23	Kunststoffverarbeitung für die Medizintechnik.....	489
	<i>I. Jumpertz, E. Krampe, E. Wintermantel</i>	
23.1	Einführung.....	489
23.1.1	Medizintechnik – eine Herausforderung für die Kunststoffverarbeitung.....	489
23.1.2	Kunststoffe in der Medizintechnik.....	492
23.1.3	Kunststoffverarbeitung – ein Überblick.....	492
23.2	Literatur.....	494
24	Spritzgießen.....	495
	<i>E. Bürkle, D. Ammer, M. Würtele</i>	
24.1	Grundlagen.....	495

24.2	Spritzgießprozess	497
24.2.1	Plastifizieren und Dosieren	497
24.2.2	Einspritzen, Nachdrücken und Abkühlen	498
24.2.3	Entformen	498
24.2.4	Formteilbildung	500
24.2.5	Werkzeuginnendruckverlauf und Einflussnahme	502
24.2.6	Prozessführung im pVT-Diagramm	504
24.2.7	Prägen – Prozessführung für spannungsarme Formteile	504
24.2.8	Einfluss der Formmasse (amorph, teilkristallin) auf den Druckverlauf	506
24.3	Spritzgießmaschine	509
24.4	Spritzeinheit	511
24.5	Plastifiziereinheit	511
24.5.1	Leistungsfähigkeit	511
24.5.2	Schnecken, Geometrie und Aufgaben	514
24.5.3	Rückstromsperre	525
24.5.4	Antrieb für Schnecke und Einspritzvorgang	526
24.6	Schließeinheit	527
24.7	Qualitätssicherung und Prozessüberwachung	529
24.8	Prozessdokumentation	529
24.9	Überwachung von Prozessparametern	529
24.10	Besonderheiten an der Spritzgießmaschine für den Betrieb in reinen Räumen	530
24.11	Literatur	532
25	Sonderverfahren des Spritzgießens	535
	<i>W. Michaeli, C. Lettowsky</i>	
25.1	Mehrkomponenten-Spritzgießen	535
25.1.1	Additionsverfahren	536
25.1.2	Verfahrenstechnische Aspekte	540
25.1.3	Anwendungen	541
25.1.4	Sandwich-Spritzgießen	542
25.2	Fluidinjektionstechnik	547
25.2.1	Gasinjektionstechnik	549
25.2.2	Wasserinjektionstechnik	550
25.3	Thermoplast-Schaumspritzgießen	551
25.3.1	Eigenschaften von Thermoplastschäumen	552
25.3.2	Treibmittelarten	553
25.3.3	Mechanismen der Schaumbildung	554
25.3.4	Anlagentechnik zur Beladung von Polymerschmelzen mit physikalischen Treibmitteln	555
25.3.5	Verfahren für das Thermoplast-Schaumspritzgießen	558
25.3.6	CESP – Ein Verfahren zur Herstellung geschäumter, resorbierbarer, Wirkstoff tragender Implantate	559

25.4	Hinterspritztechnik	561
25.5	Mikro-Spritzgießen	564
25.6	Spritzprägen	567
25.7	Schmelzkerntechnik	570
25.8	Insert- / Outsert- / Hybridtechnik	570
25.9	Pulverspritzgießen	571
25.10	Literatur	574
26	Extrusion & Compoundierung	579
	<i>H. Collin, V. Schulze</i>	
26.1	Einleitung	579
26.2	Grundlagen Schneckenmaschinen	580
26.3	Extrusion im Einschneckenextruder	581
26.3.1	Maschineller Aufbau von Einschneckenextrudern	581
26.3.2	Einteilen der Extruderzylinder in Verfahrenszonen	582
26.3.3	Schneckengeometrie	583
26.4	Typische Extruder-Nachfolgeeinheiten	585
26.4.1	Rohr/Schlauch	585
26.4.2	Blasfolie	591
26.4.3	Flachfolien und Tafeln	599
26.5	Grundlagen der Compoundierung	602
26.5.1	Der Doppelschneckenextruder	604
26.5.2	Typischer Verfahrensaufbau mit Nachfolgeeinrichtungen	608
26.5.3	Einsatz in der Medizintechnik	610
26.6	Ausblick	612
26.7	Literatur	613
27	Mikrospritzgießen	615
	<i>K.-H. Ebert, D. Ammer, M. Hoffstetter, E. Wintermantel</i>	
27.1	Definition des Mikrospritzgießens	615
27.2	Märkte und Anwendungen	617
27.3	Anlagentechnik	620
27.4	Werkzeugbau	623
27.5	Prozesstechnik	628
27.6	Messtechnik	632
27.7	Literatur	636
28	Reinraumtechnik für die Medizintechnik	639
	<i>M. Petek, M. Jungbluth, E. Krampe</i>	
28.1	Funktionsprinzip eines Reinraumes	640
28.1.1	Konstruktionsprinzip	640
28.1.2	Filter für die Reinraumtechnik	645
28.1.3	Belüftung	646
28.1.4	Druck und Druckstufen der (Zu-)Luft	649

28.1.5	Klimatisierung	649
28.1.6	Sterilisation und Ionisation	651
28.2	Qualität, Qualifizierung und Beurteilung eines Reinraumes	652
28.2.1	Reinraumklassen / zulässige Partikelanzahl	652
28.2.2	Partikelmessung.	655
28.2.3	Luftgeschwindigkeit, Luftmenge, Luftwechsel.	657
28.2.4	Luftdruck und Lufruckstufen	658
28.2.5	Reinraumtemperatur und Reinraumfeuchte.	658
28.2.6	Filterlecktest	659
28.2.7	Visualisierung der Luftströmung.	659
28.2.8	Erholzeit.	660
28.2.9	Bakterien und Keime.	660
28.3	Peripherie eines Reinraumes	660
28.3.1	Material- und Personalschleusen.	661
28.3.2	Anlagen und Maschinen im Reinraum	664
28.4	Anwendungsbeispiele.	668
28.4.1	Reinraum zur Fertigung von Implantaten	668
28.4.2	Reinraum zur Fertigung von Verpackungen	670
28.5	Ausblick	671
28.6	Literatur	673
29	Cell 3D: Kunststoffschäume für dreidimensionale Zellkultivierung	675
	<i>A. Walter, S. Leicher, E. Wintermantel</i>	
29.1	Einleitung	675
29.2	Prozesstechnologie zur Herstellung geschäumter Polymere	677
29.2.1	Einleitung.	677
29.2.2	Grundlagen	677
29.2.3	Schaumspritzguss	680
29.2.4	Schaumextrusion	682
29.2.5	Einfluss der Prozessparameter auf die Schaumstruktur	684
29.3	Oberflächenmodifikation von Kunststoffschäumen	691
29.3.1	Einleitung.	691
29.3.2	Plasmabehandlung.	691
29.3.3	Auswirkung von Niederdruckplasma auf die Benetzbarkeit von Polymerschäumen.	693
29.4	Analyse der Porenstruktur	694
29.4.1	Ein- und zweidimensionale Porenanalyse.	694
29.4.2	Dreidimensionale Porenanalyse	695
29.5	Besiedelung von Kunststoffschäumen mit Zellen	697
29.6	Nachweis dreidimensionalen Zellwachstums.	698
29.7	Genexpressionsprofile dreidimensionaler Zellkulturen	699
29.8	Zusammenfassung und Ausblick	701
29.9	Literatur	702

30 Dünne Beschichtungen auf Biomaterialien	707
<i>D. Klee, J. Lahann, W. Plüster</i>	
30.1 Beschichtung von Biomaterialien.	707
30.2 Schichtdickenbereiche der Beschichtungsverfahren	707
30.3 Zielsetzung der dünnen Beschichtung	708
30.4 Verfahren zum Aufbringen von dünnen Schichten auf Biomaterialien	709
30.4.1 Erzeugung von dünnen Schichten durch Plasmaprozesse ..	709
30.4.2 Beschreibung der Plasmaprozesse	710
30.4.3 Niedertemperaturplasmabehandlung zur Oberflächenmodifizierung von Biomaterialien	711
30.4.4 Chemical Vapour Deposition (CVD) – Beschichtung von Biomaterialien	715
30.5 Ausblick	719
30.6 Literatur	720
31 Polymer-/Medikamentenbeschichtung von oberflächenstrukturierten metallischen Werkstoffen	723
<i>M. Renke-Gluszko, M. Stöver, E. Wintermantel</i>	
31.1 Einleitung	723
31.2 Polymere für kontrollierte Medikamentengabe	724
31.3 Technische Umsetzung	725
31.4 Medikamentenfreisetzung	727
31.5 Polymerfreie Medikamentenbeschichtung von Implantaten	728
31.6 Literatur	732
32 Titanisierung polymerer und kollagener Implantatoberflächen	733
<i>H. Zimmermann, M. Heinlein, N. W. Guldner</i>	
32.1 Einleitung	733
32.2 Oberflächentitanisierung	734
32.2.1 Technische Grundlagen	734
32.2.2 Schichtcharakterisierung	735
32.2.3 Wirksamkeit titanisierter Implantatoberflächen im Zellversuch	740
32.2.4 Einsatz titanisierter polymerer Netzhimplantate im Großtiermodell	742
32.2.5 Titanisierung polymerer und kollagener Blutkontaktflächen	744
32.2.6 Detoxifizierung glutaraldehydfixierter kollagener Prothesen	746
32.3 Zusammenfassung	749
32.4 Literatur	751
33 Mikrostrukturtechnik und Biomaterialien	753
<i>A. E. Gruber, V. Saile, K.-F. Weibezahn</i>	
33.1 Einleitung	753

33.2	Fertigungsverfahren in der Mikrostrukturtechnik	754
33.2.1	Silizium-Mikromechanik.	754
33.2.2	LIGA-Verfahren.	754
33.2.3	Lasermikromaterialbearbeitung.	757
33.2.4	Mikroerspanen.	758
33.2.5	Mikrofunkenerosion (μ EDM-Technik)	759
33.3	Anwendungsbeispiele.	761
33.3.1	Miniaturisierte Instrumente für die endoskopische Chirurgie	761
33.3.2	Gefäßendoprothesen (Stents)	762
33.3.3	Mikrocontainer für Zellkulturen	763
33.3.4	μ TAS- und Lab-on-Chip-Anwendungen	764
33.4	Ausblick	765
33.5	Literatur	767
34	Oberflächenstrukturierung metallischer Werkstoffe	769
	<i>M. Stöver, E. Wintermantel</i>	
34.1	Einleitung	769
34.2	Sandstrahlen	769
34.3	Ätzen.	770
34.4	Mikrostrukturierung durch elektrochemisches Korngrenzenätzen. .	771
34.5	Technische Umsetzung	771
34.6	Anwendungsmöglichkeiten	773
34.7	Ausblick	774
34.8	Literatur	775
35	Sticktechnologie für medizinische Textilien und Tissue Engineering .	777
	<i>E. Karamuk, J. Mayer, E. Wintermantel</i>	
35.1	Einleitung	777
35.2	Gestricke für technische Anwendungen.	777
35.3	Gestricke für medizinische Anwendungen	778
35.4	Gestricktechnik für scaffolds im Tissue Engineering	779
35.5	Fertigungsprozess für technische Stickereien.	779
35.6	Strukturelle und mechanische Aspekte.	780
35.7	Anwendungsbeispiele für medizinische Gestricke	782
35.7.1	Textil für einen angiopolaren Wundverband	782
35.7.2	Textile Scaffolds für Zellkulturstudien	782
35.8	Zusammenfassung und Ausblick	784
35.9	Literatur	786
36	Wundversorgung	787
	<i>R. Bruggisser, I. Potzmann, M. Dudler</i>	
36.1	Geschichtliche Entwicklung.	787
36.2	Moderne Wundversorgung	795
36.2.1	Einleitung	795

36.2.2	Wundauflagen für die feuchte Wundbehandlung	799
36.3	TenderWet® – die hydroaktive Wundaufgabe zur Wundreinigung . .	804
36.3.1	Konzept der hydroaktiven Wundaufgabe TenderWet®	804
36.3.2	Die Hydroaktive Wundaufgabe im klinischen Einsatz	811
36.3.3	Zusammenfassung	814
36.4	Literatur	815
37	Die Fadeninjektion	817
	<i>P. Lüscher, E. Wintermantel</i>	
37.1	Literatur	820

Part VII Diagnostische Medizintechnik und minimalinvasive Verfahren

38	Magnetresonanztomographie	823
	<i>S. C. Göhde, M. E. Ladd, L. Papavero, P. Köver, M. Semadeni, E. Wintermantel</i>	
38.1	MRI Bildgebung	823
38.1.1	Einleitung	823
38.1.2	Grundlagen der Magnetresonanztomographie	824
38.1.3	Relaxationsphänomene	825
38.1.4	MR Bildgebungstechnik und Anwendungen	829
38.2	Klinische Anwendungen der MRT	835
38.2.1	Gehirn	835
38.2.2	Wirbelsäule	835
38.2.3	Thorax	836
38.2.4	Herz	837
38.2.5	Abdomen	838
38.2.6	Gelenke	839
38.2.7	Muskuloskelettales System	839
38.2.8	Kontrastmittel-verstärkte 3D MR-Angiographie	839
38.2.9	3D MR-Colonographie	840
38.3	MRI-Kompatibilität	841
38.3.1	Statisches Magnetfeld	844
38.3.2	Gradienten	844
38.3.3	HF-Energie	845
38.3.4	Artefaktbildung	847
38.3.5	Aktuelle Entwicklungen	849
38.3.6	Potential von iMRI	851
38.4	Beispiele von MRI kompatiblen Instrumenten	851
38.4.1	Neurochirurgie/ Halswirbelsäulenchirurgie	851
38.4.2	Fertigung eines MRI-kompatiblen Retraktorblattes aus kohlenstofffaserverstärkten Thermoplasten	855
38.4.3	Ausblick auf weitere Entwicklungen	862
38.5	Literatur	864

39 Medizinische Bildgebung – Einführung und Überblick	865
<i>G. Wessels</i>	
39.1 Allgemein	865
39.2 Ultraschall – Bildgebung (Sonographie)	866
39.3 Röntgen-Bildgebung	878
39.4 Computertomographie (CT)	889
39.5 Nuklearmedizinische Bildgebung (Szintigraphie / SPECT / PET) .	897
40 Theragnostik: Diagnostische Systeme mit integrierter Therapie	907
<i>R. Birkenbach</i>	
40.1 Einleitung	907
40.2 Vorbereitende Massnahmen	907
40.2.1 Image fusion	908
40.2.2 Segmentierung	909
40.3 Patientenregistrierung	909
40.3.1 Registrierung mit Hilfe eines Localizers	909
40.3.2 Paired Point Methode (PPM)	910
40.4 Therapie	910
40.4.1 Radiochirurgie als nicht-invasive Therapie	910
40.4.2 Bildgestützte Navigation	911
40.4.3 Intraoperative Bildgebung	912
40.5 Ausblick	913
41 Endoskopie, minimal-invasive Chirurgie und navigierte Systeme ...	915
<i>H. Feußner, A. Schneider, A. Meining</i>	
41.1 Die dritte Phase der wissenschaftlichen Chirurgie	915
41.2 Flexible Endoskopie	916
41.3 Laparoskopische Chirurgie	921
41.3.1 Apparative Grundausstattung	921
41.3.2 Der minimal-invasive OP	942
41.3.3 Diagnostische und therapeutische Einsatzmöglichkeiten der laparoskopischen Chirurgie	942
41.3.4 Perspektiven	944
41.4 Sogenannte „Transluminale Eingriffe,, (NOTES)	948
41.4.1 Prinzip, derzeitige Indikationen, Forschungsbedarf	949
41.4.2 Perspektiven, innovative Instrumente/Geräte	953
41.5 Literatur	955
42 Endoskopie, minimal invasive chirurgische und navigierte Verfahren in der Urologie	957
<i>J. Grosse, M. von Walter, G. Jakse</i>	
42.1 Einleitung / Zusammenfassung	957
42.2 Laparoskopische Tumorchirurgie	959
42.2.1 Niere und Harnleiter	959

42.2.2	Prostata	961
42.2.3	Harnableitung	963
42.3	Virtuelle Histologie der Harnblase	966
42.4	Minimal invasive Verfahren zur Behandlung der Belastungsinkontinenz	971
42.5	Minimal-invasiv applizierte Drug-Delivery-Systeme in der Urologie	974
42.6	Literatur	979
43	Bildanalyse in Medizin und Biologie Beispiele und Anwendungen ..	983
	<i>M. Athelougou, R. Schönmeier, G. Schmidt, A. Schäpe, M. Baatz, G. Binnig</i>	
43.1	Einleitung	983
43.2	Objektbasierte Bildanalyse am Beispiel der Cognition Network Technology (CNT)	986
43.3	Grundelemente und Definitionen	987
43.4	Anwendung der Cognition Network Technology	991
43.5	Diskussion	1002
43.6	Literatur	1004

Part VIII Therapeutische Medizintechnik

44	Stenting und technische Stentumgebung	1009
	<i>M. Hoffstetter, S. Pfeifer, T. Schratzenstaller, E. Wintermantel</i>	
44.1	Einleitung	1009
44.2	Medizinische und technische Grundlagen	1010
44.2.1	Arteriosklerose	1010
44.2.2	Behandlungsmethoden	1012
44.3	Koronare Stent-Delivery-Systeme (SDS)	1013
44.3.1	Ballonkatheter	1013
44.3.2	Stent-Design	1015
44.3.3	Werkstoffe	1018
44.3.4	Herstellung von Stent-Delivery-Systemen	1022
44.4	Limitierende Faktoren	1026
44.4.1	Restenose	1026
44.4.2	Geometrie des Gefäßes	1029
44.4.3	Technische Grenzen	1030
44.5	Mechanisches Verhalten der Stents während der Expansion	1031
44.6	Optimierungsansätze	1033
44.6.1	Senkung der Thrombogenität von Stents	1033
44.6.2	Lokale Applikation antiproliferativer Medikamente	1034
44.6.3	Optimierung des Implantationsverfahrens	1035
44.6.4	Optimierung des Stent-Designs	1036
44.6.5	Alternatives Verfahren der Optimierung	1036
44.7	Literatur	1038

45 Chirurgisches Nahtmaterial und Nahttechniken	1043
<i>W. Götz, R. Lange</i>	
45.1 Nahtmaterial	1043
45.2 Chirurgische Nadeln	1043
45.3 Nahttechnik	1047
45.4 Literatur	1051
46 Technische Systeme für den Herzersatz und die Herzunterstützung	1053
<i>R. Schöb, H. M. Loree II</i>	
46.1 Einleitung	1053
46.2 Historische Entwicklung	1054
46.3 Ventrikularunterstützung contra Herzersatz	1056
46.4 Ein modernes, elektrisch angetriebenes LVAD	1057
46.5 Ein modernes TAH System	1059
46.6 Blutpumpen der nächsten Generation	1060
46.7 Implantierbares LVAD mit magnetisch gelagertem Rotor	1062
46.8 Zusammenfassung	1065
46.9 Literatur	1066
47 Die Herz-Lungen-Maschine	1069
<i>M. Krane, R. Bauernschmitt, R. Lange</i>	
47.1 Geschichtlicher Rückblick	1069
47.2 Komponenten und Funktionsprinzip der Herz-Lungen-Maschine ..	1070
47.2.1 Blutpumpen	1070
47.2.2 Oxygenatoren	1072
47.2.3 Wärmetauscher	1074
47.2.4 venöses Reservoir/Kardiotomiereservoir	1074
47.2.5 Schlauchsysteme	1075
47.2.6 arterieller Filter	1075
47.2.7 Arterielle Kanülierung	1075
47.3 Venöse Kanülierung	1076
47.4 Ventkatheter und Maschinensauger	1076
47.5 Priming der Herz-Lungen-Maschine	1077
47.6 Myokardprotektion	1077
47.7 Hypothermie	1078
47.8 Blutgerinnung	1078
47.9 Hämodynamik	1079
47.10 Die mobile Herz-Lungen-Maschine – LIFEBRIDGE B ₂ T®	1080
47.11 Literatur	1082
48 Herzklappenchirurgie	1083
<i>D. Ruzicka, I. Hettich, E. Eichinger, R. Lange</i>	
48.1 Grundlagen	1083
48.1.1 Anatomie	1083
48.2 Herzklappenerkrankungen	1084

48.2.1	Aortenklappe	1084
48.2.2	Mitralklappe	1088
48.2.3	Trikuspidalklappe	1092
48.3	Herzklappenprothesen	1092
48.3.1	Biologische Prothesen	1092
48.3.2	Mechanische Prothesen	1095
48.4	Literatur	1097
49	Innovative Aortenklappenimplantation	1099
	<i>P. Libera, W. Götz, C. Schreiber, R. Bauernschmitt, R. Lange</i>	
49.1	Einführung	1099
49.2	Entwicklung	1100
49.3	Cribier-Edwards™ Klappenprothese	1103
49.4	CoreValve-Klappenprothese (CoreValve Revalving™ System) ...	1105
49.5	Zugangswege zur nativen Aortenklappe	1108
49.6	Ergebnisse bei transapikalem Zugang	1109
49.7	Ausblick	1110
49.8	Literatur	1112
50	Minimalinvasive endovaskuläre Stent-Therapie bei Erkrankungen in der thorakalen Aorta	1115
	<i>B. Voss, R. Bauernschmitt, G. Brockmann, R. Lange</i>	
50.1	Einführung	1115
50.2	Stent Grafts	1118
50.3	Planung und Durchführung des endovaskulären Eingriffs	1122
50.4	Diskussion	1123
50.5	Literatur	1125
51	Prothetischer Ersatz der thorakalen Aorta	1127
	<i>B. Voss, R. Bauernschmitt, G. Brockmann, R. Lange</i>	
51.1	Einführung	1127
51.2	Chirurgische Therapie mit Gefäßprothesen (allgemeiner Teil) ...	1129
51.3	Spezielle chirurgische Techniken	1133
51.3.1	Aorta ascendens Ersatz	1134
51.3.2	Aortenbogenersatz	1137
51.3.3	Aorta descendens-Ersatz	1138
51.3.4	Hybridtechniken	1139
51.4	Diskussion	1140
51.5	Literatur	1142
52	Chirurgie angeborener Herzfehler	1143
	<i>C. Schreiber, P. Libera, R. Lange</i>	
52.1	Einführung	1143
52.2	Implantate	1144
52.3	Literatur	1150

53 Endoskopische Entnahme der Bypassgefäße	1151
<i>S. Bleiziffer, R. Lange</i>	
53.1 Allgemeines	1151
53.2 Generelle Überlegungen	1153
53.3 Entnahmesysteme	1154
53.4 Endoskopische Venenentnahme	1154
53.4.1 Offenes System	1154
53.4.2 Geschlossenes System	1156
53.4.3 Halboffenes System	1157
53.5 Endoskopische Radialisentnahme	1157
53.5.1 Offenes System	1158
53.6 Vor- und Nachteile der endoskopischen Graftentnahme	1159
53.7 Literatur	1161
54 Homograft Bank in der Herzchirurgie	1163
<i>W. Götz, N. Mendler, R. Lange</i>	
54.1 Begriffsbestimmung	1163
54.2 Geschichtliche Entwicklung	1163
54.3 Gewinnung der Homografts	1164
54.4 Auswahlkriterien für Gewebespende (Einschlusskriterien)	1164
54.5 Ausschlusskriterien für Gewebespende	1164
54.6 Verarbeitung der Homografts	1165
54.7 Verpackung der Homografts	1166
54.8 Der Gefriervorgang	1167
54.9 Lagerung der Homografts	1169
54.10 Auftauen der Homografts	1170
54.11 Implantation des Homografts (Indikation)	1170
54.12 Langzeitüberleben des Homografts	1172
54.13 Literatur	1173
55 Kalzifizierung biologischer Herzklappenprothesen	1175
<i>B. Glasmacher, M. Deiwick</i>	
55.1 Grundlagen der Herzklappenprothetik	1175
55.1.1 Einführung	1175
55.1.2 Mechanische Herzklappenprothesen	1176
55.1.3 Biologische Herzklappenprothesen	1178
55.2 Kalzifizierung biologischer Herzklappenprothesen	1180
55.2.1 Einführung	1180
55.3 In vitro Kalzifizierung biologischer Herzklappenprothesen	1182
55.3.1 Einführung	1182
55.3.2 Pulsatiles Herzklappentestgerät	1182
55.3.3 <i>In vitro</i> Kalzifizierungstestprotokoll	1183
55.3.4 Korrelation von <i>in vitro</i> Kalzifizierung und mechanischer Belastung	1184
55.4 Literatur	1188

56 Grundlagen der Nieren- und Leberdialyse	1191
<i>C. Schreiber, A. Al-Chalabi, O. Tanase, B. Kreyman</i>	
56.1 Entgiftungsorgane des Körpers.	1191
56.1.1 Niere	1195
56.1.2 Leber	1198
56.1.3 Vergleich der Funktion von Niere und Leber	1200
56.2 Grundlagen der extrakorporalen Blutreinigungsverfahren für Niere und Leber	1201
56.2.1 Physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten	1202
56.2.2 Vaskuläre Zugänge	1204
56.2.3 Die Entgiftungseinheiten: Dialysatoren und Adsorber	1206
56.2.4 Biokompatibilität und Antikoagulation	1210
56.2.5 Dialysatzzusammensetzung.	1211
56.2.6 Normen und Leitlinien	1215
56.3 Dialysetechnik	1217
56.3.1 Extrakorporale Nierenunterstützungssysteme.	1217
56.3.2 Intrakorporales Nierenunterstützungssystem: Peritonealdialyse	1221
56.3.3 Unterschiedliche Behandlungsdauern	1221
56.3.4 Aufbau einer Dialysemaschine mit integrierter Dialysataufbereitung	1222
56.4 Leberunterstützungstherapien.	1242
56.4.1 Plasmaaustausch: Das Prinzip der Plasmapherese	1245
56.4.2 Albumindialyse	1246
56.4.3 Single-Pass-Albumindialyse (SPAD)	1247
56.4.4 Molecular Adsorbent Recirculating System (MARS®).	1247
56.4.5 Prometheus®.	1248
56.4.6 Bioartifizielle Leberunterstützungssysteme.	1249
56.4.7 Hepa Wash	1251
56.5 Literatur	1253
57 Resorbierbare Implantate	1257
<i>K. Ruffieux, E. Wintermantel</i>	
57.1 Einleitung	1257
57.2 Anwendungsgebiete und -beispiele	1259
57.2.1 Zahnmedizin	1259
57.2.2 Gesichts- und Schädelchirurgie	1260
57.2.3 Sportmedizin	1261
57.2.4 Traumatologie	1262
57.2.5 Fusschirurgie	1262
57.2.6 Wirbelsäulenchirurgie	1262
57.2.7 Knochenersatzwerkstoffe	1264
57.3 Restriktionen beim Einsatz von resorbierbaren Implantaten	1264
57.3.1 Eigenschaften.	1264
57.3.2 Kriechbeständigkeit.	1265

57.3.3	Kristallinität	1266
57.3.4	Degradation	1266
57.3.5	pH-Veränderung	1266
57.3.6	Quellen des Polymers	1266
57.4	Beispiele neuer Technologien	1267
57.4.1	Biocomposite	1267
57.4.2	Sonic Fusion	1268
57.4.3	Shape Memory Implantate	1269
57.4.4	Resorbierbarer Röntgenmarker	1270
57.5	Ausblick	1270
57.6	Literatur	1271
58	Biokeramik für Anwendungen in der Orthopädie	1273
	<i>G. Willmann</i>	
58.1	Keramische Implantate	1273
58.2	Herstellung von Keramik	1273
58.3	Das Prinzip der Trennung von Funktionen	1274
58.4	Bioinerte Keramik für die Orthopädie	1275
58.5	Konstruktive Konzepte für Keramik bei Hüftgelenkersatz	1275
58.6	Bewertung von Gleitpaarungen	1278
58.7	Zulassung	1279
58.8	Zukünftige Entwicklungen	1280
58.9	Literatur	1281
59	Hüftgelenks-Endoprothesen	1283
	<i>M. Widmer, U. Von Felten-Rösler, E. Wintermantel</i>	
59.1	Der Hüftprothesenschaft	1284
59.1.1	Design des Prothesenschaftes	1284
59.2	Die Hüftpfanne	1287
59.2.1	Design der Hüftpfanne	1287
59.3	Die Hüftgelenksgugel	1289
59.4	Die zementierte Prothese	1290
59.5	Die zementlos implantierte Prothese	1290
59.6	Entwicklung eines neuen Hüftprothesenschaftes aus einem anisotropen Werkstoff	1291
59.6.1	Material	1292
59.6.2	Generierung eines 3D-CAD-Modells	1292
59.6.3	Entwickeln des zugehörigen Instrumentariums	1294
59.7	Fertigung der Schafhüftprothesen	1295
59.7.1	Das Spritzgusswerkzeug	1295
59.7.2	Spritzgiessen von kurzfaserverstärkten Schafhüftprothesen	1295
59.8	Faserorientierungsverteilung in Abhängigkeit der Fertigungsparameter	1298
59.9	Mechanische Eigenschaften der Schafhüftprothesen	1298
59.9.1	Statische Prüfung	1298

59.9.2	Thermische Nachbehandlung	1300
59.9.3	Ermüdungsprüfung	1300
59.10	Folgerungen aus den mechanischen Untersuchungen	1300
59.11	Relativbewegung der Schafshüftprothesenschäfte	1301
59.11.1	Resultate	1302
59.12	Diskussion	1305
59.13	Literatur	1307
60	Aktuelle Entwicklungen – orthopädische Implantate	1309
	<i>M. Riner</i>	
60.1	Aktuelle Trends in der Hüftendoprothetik	1309
60.1.1	Schenkelhalsprothesen.	1309
60.1.2	Oberflächenersatz	1310
60.2	Kleingelenke.	1311
60.2.1	Fingergelenksimplantate	1312
60.3	Knieendoprothetik	1314
60.3.1	Einleitung.	1314
60.3.2	Unikondylärer Oberflächenersatz	1315
60.3.3	Bikondylärer Oberflächenersatz	1317
60.4	Schulterendoprothetik.	1321
60.4.1	Anatomie	1321
60.4.2	Humerusschaftimplantate	1322
60.4.3	Glenoidimplantate	1324
60.4.4	Inverse Systeme	1325
60.4.5	Frakturprothesen	1327
60.5	Oberflächenersatz	1328
60.6	Literatur	1329
61	Implantate für den Bandscheibenersatz	1331
	<i>M. Mathey, E. Wintermantel</i>	
61.1	Einleitung	1331
61.2	Die Wirbelsäule	1332
61.2.1	Anatomie der Wirbelsäule	1332
61.2.2	Die Bandscheibe	1332
61.3	Biomechanik der Bandscheibe	1332
61.3.1	Die mechanische Funktion der Bandscheibe	1332
61.3.2	Kennwerte von lumbalen Bandscheiben	1334
61.4	Krankhafte Bandscheibenveränderungen	1334
61.4.1	Behandlungsmöglichkeiten bei Bandscheibenschäden	1335
61.4.2	Postdiskotomiesyndrom	1337
61.5	Implantate für den Bandscheibenersatz	1337
61.5.1	Wirbelkörperverblockende Implantate	1338
61.5.2	Implantate mit Erhaltung der Segmentbeweglichkeit	1340
61.6	Literatur	1343

62 Innovation durch Paradigmenwechsel – zur Bone Welding® Technologie	1345
<i>J. Mayer, G. Plasonig</i>	
62.1 Einleitung: Innovationsprozesse	1345
62.2 Paradigmenwechsel in der Verankerung von Implantaten: die BoneWelding® Technologie	1346
62.2.1 Geschichtliche Entwicklung	1346
62.2.2 Einführung in das Grundkonzept des BoneWelding® Verfahrens	1347
62.3 Entwicklung zu einer Plattformtechnologie	1351
62.3.1 Klinische Problemstellungen	1351
62.3.2 Schlüsselfragen zur Machbarkeit	1353
62.3.3 Klinische Anwendung in der cranio-maxillofazialen Chirurgie	1359
62.3.4 Weitere Anwendungsgebiete	1360
62.4 Literatur	1362
63 Biomaterialien für die Knochenregeneration	1365
<i>W. Lüthkehermölle, P. Behrens, S. Burch, M. Horst</i>	
63.1 Einleitung	1365
63.2 Klassifizierung und Anforderungen an Knochenersatzmaterialien	1365
63.2.1 Synthetische, anorganische Knochenersatzmaterialien	1367
63.2.2 Synthetische, organische Knochenersatzmaterialien	1373
63.2.3 Biologisch, organische Knochenersatzmaterialien	1374
63.2.4 Komposite	1374
63.3 Ausblick	1375
63.4 Literatur	1376
64 Einführung in die Hörerätetechnik	1379
<i>E. Karamuk, S. Korl</i>	
64.1 Einleitung	1379
64.2 Hörerätetypen	1380
64.2.1 HDO-Geräte	1380
64.2.2 IDO Geräte	1381
64.2.3 Ex-Hörer Geräte	1382
64.3 Aufbau und Komponenten von Hörgeräten	1383
64.3.1 Mikrophone	1384
64.3.2 Hörer (Lautsprecher)	1385
64.3.3 Telefonspule (T-Coil)	1386
64.3.4 Stromversorgung	1386
64.3.5 Elektronikmodul (Hybrid)	1387
64.4 Signalverarbeitung in Hörgeräten	1388
64.4.1 Einleitung	1388
64.4.2 Hörverlust-Kompensation	1389
64.4.3 Verbesserung der Sprachverständlichkeit	1390

64.4.4	Verbesserung des Hörkomforts	1390
64.4.5	Optimale Anpassung	1392
64.4.6	Zusatzfunktionen	1393
64.5	Akustische Ankopplung von Hörgeräten	1393
64.5.1	Akustische Messung von Hörgeräten	1393
64.5.2	Otoplastik und IDO Schale	1394
64.5.3	Herstellung von Otoplastiken und IDO Schalen	1395
64.5.4	Offene Anpassung von Hörgeräten	1397
64.6	Zusammenfassung	1398
64.7	Literatur	1399
65	Funktionsersatz des Innenohres	1401
	<i>T. Lenarz</i>	
65.1	Physiologische Grundlagen des Hörens	1401
65.2	Pathophysiologie der Schwerhörigkeit und Taubheit	1404
65.3	Therapie	1404
65.4	Das Bionische Ohr – Cochlear Implant	1404
65.5	Leistungsfähigkeit und Grenzen heutiger CI-Systeme	1408
65.6	Verbesserungen der Elektroden-Nerven-Schnittstelle	1410
65.6.1	Elektrodenmaterial.	1410
65.6.2	Physikalische Strukturierung der Oberfläche	1411
65.6.3	Chemische und biochemische Funktionalisierung	1412
65.6.4	Zellbeschichtung des Elektrodenträgers	1413
65.7	Elektro-akustische Stimulation und Erhalt des Resthörvermögens	1413
65.8	Zusammenfassung und Ausblick	1414
65.9	Literatur	1416
66	Transplantate und Implantate im Mittelohrbereich –	
	Teil 1 (Stand 2002)	1419
	<i>H.-G. Kempf, T. Lenarz, K.-L. Eckert</i>	
66.1	Einleitung	1419
66.2	Otosklerose-Chirurgie.	1420
66.3	Alloplastische Implantate zur Rekonstruktion der Schalleitungskette.	1420
66.3.1	Keramische Mittelohrimplantate	1421
66.3.2	Ionomezement	1422
66.3.3	Polyethylen, Teflon	1422
66.3.4	Gold	1423
66.4	Zusammenfassung und Ausblick	1423
66.5	Literatur	1424
67	Implantate im Mittelohrbereich – Teil 2 (Ergänzungen 2007).	1425
	<i>M. Stieve, T. Lenarz</i>	
67.1	Einleitung	1425
67.2	Anatomische Grundlagen und Pathophysiologie	1425

67.2.1	Äußeres Ohr	1426
67.2.2	Mittelohr	1427
67.2.3	Pneumatische Räume	1429
67.2.4	Pathophysiologie	1429
67.3	Gehörverbessernde Operationen	1431
67.4	Alloplastische Implantate zur Rekonstruktion der Schalleitungskette	1433
67.4.1	Keramische Mittelohrimplantate	1434
67.4.2	Kunststoffe	1435
67.4.3	Metalle	1435
67.4.4	Andere organisch/anorganische Hybridkeramiken	1436
67.5	Zukünftige Entwicklung	1436
67.6	Literaturverzeichnis	1439
68	Implantate in der Augenheilkunde	1441
	<i>J. H. Dresp</i>	
68.1	Einleitung	1441
68.2	Historische Entwicklung	1442
68.3	Intraokularlinsen	1443
68.4	Viskoelastika	1445
68.5	Silikonöl	1446
68.6	Perfluorcarbone	1448
68.7	Fluorierte Alkane (FALK)	1449
68.8	Orbita-Implantat	1450
68.9	Implantierbare Medikamententräger	1451
68.10	Literatur	1453
69	Dentalwerkstoffe und Dentalimplantate	1455
	<i>H. Lüthy, C. P. Marinello, W. Höland</i>	
69.1	Einleitung	1455
69.2	Keramische Dentalwerkstoffe	1455
69.3	Ausgewählte Implantate und Werkstoffanwendungen	1458
69.3.1	Einleitung	1458
69.3.2	Faktoren für eine erfolgreiche Osseointegration	1460
69.3.3	Erfolgs- und Misserfolgskriterien	1461
69.3.4	Klinisches Vorgehen an einem Beispiel (Brånemark)	1463
69.4	Schlussfolgerungen und Zukunftsaussichten	1463
69.5	Literatur	1465
70	Werkstoffe in der Zahnmedizin	1467
	<i>A. Faltermeier</i>	
70.1	Einleitung	1467
70.2	Zahnärztliche Implantate	1468
70.3	Knochentransplantate und Knochenersatzmaterialien	1471
70.4	Abformwerkstoffe	1472

70.5	Polymere in der Zahnmedizin.	1474
70.5.1	Prothesenbasismaterialien	1474
70.5.2	Füllungswerkstoffe (Komposite).	1477
70.6	Zahnärztliche Zemente	1481
70.7	Dentalkeramiken.	1484
70.8	CAD/CAM in der Zahnmedizin	1486
70.9	Ausblick	1488
70.10	Literatur	1489
71	Biokompatible Implantate und Neuentwicklungen in der Gynäkologie	1491
	<i>V. R. Jacobs, M. Kiechle-Bahat</i>	
71.1	Einleitung	1491
71.2	Brustimplantate.	1491
71.2.1	Chemie und Eigenschaften von Silikon.	1492
71.2.2	Brustimplantate aus Silikon.	1493
71.2.3	Aspekte der Implantation: Trends und Komplikationen . . .	1494
71.2.4	Operative Anlage von Brustimplantaten	1496
71.2.5	Alternativen zu Silikonbrustimplantaten.	1497
71.2.6	Diskussion	1498
71.3	Verhütungsmethoden mit biokompatiblen Implantaten	1499
71.3.1	Transabdominelle Sterilisation: Dauerhafter Tubenverschluss mit dem Filshie Clip™.	1499
71.3.2	Intratubale Sterilisation: Permanenter Tubenverschluss mit dem STOP™ Device . .	1501
71.3.3	Intrauterine Kontrazeption: Befristete Implantation der Hormonspirale Mirena™.	1503
71.4	Intraoperative Adhäsionsprophylaxe mit SprayGel™	1505
71.4.1	Bedeutung von Peritonealverwachsungen.	1505
71.4.2	Polyethylenglykol (PEG) zur Adhäsionsprophylaxe.	1506
71.5	Literatur	1508
72	Maschinengestütztes Operieren, Mechatronik und Robotik	1511
	<i>G. Hirzinger</i>	
73	Kontrollierte therapeutische Systeme (Controlled drug delivery systems)	1519
	<i>S. W. Ha., E. Wintermantel</i>	
73.1	Einleitung	1519
73.1.1	Definitionen	1519
73.1.2	Therapeutischer Index	1521
73.1.3	Konzept	1522
73.2	Konventionelle Arzneimittel.	1523
73.2.1	Grenzen der konventionellen Darreichungsformen.	1523

73.3	Kontrollierte therapeutische Systeme	1524
73.3.1	Konzept und Definition	1524
73.4	Anforderungen und Klassifizierung von Polymeren	1524
73.5	Membransysteme	1528
73.5.1	Osmotische Pumpen	1528
73.6	Matrixsysteme	1529
73.6.1	Degradable Systeme	1529
73.7	Trägersysteme.	1531
73.8	Anwendungsbeispiele.	1532
73.8.1	Okulares therapeutisches System	1532
73.8.2	Transdermales therapeutisches System	1533
73.9	Ausblick	1533
73.10	Literatur	1534

Part IX Qualitätsmanagement

74	Qualitätsmanagementsysteme, Zertifizierung und Zulassungen –	
	Teil 1 (Stand 2002)	1537
	<i>H. D. Seghezzi, R. Wasmer</i>	
74.1	Anforderungen des Gesetzgebers an Medizinprodukte	1537
74.1.1	Einleitung.	1537
74.1.2	Richtlinien der EU und Medizinprodukte-Verordnung der Schweiz	1538
74.1.3	Medizinprodukte	1539
74.1.4	Klassifizierung	1540
74.1.5	Die grundlegenden Anforderungen	1541
74.1.6	Die Anwendung der harmonisierten CEN-Normen.	1542
74.2	Qualitäts-Managementsystem nach den Normenreihen ISO 9000 und EN 46000	1543
74.2.1	Überblick über die Anforderungen der ISO 9000 und der EN 46000	1543
74.2.2	Eigenverantwortung und Eigenkontrolle.	1548
74.2.3	Aufbau eines Qualitätsmanagement-Systems	1549
74.3	Die Zulassungsverfahren zur Inverkehrbringung von Medizinprodukten	1550
74.3.1	Verfahren der europäischen und schweizerischen Konformitätsbescheinigung.	1550
74.3.2	Modulares Konzept	1550
74.3.3	Konformitätsbewertungsstellen in den EU-Mitgliedstaaten	1551
74.3.4	Konformitätsbewertungsstellen in der Schweiz	1552
74.3.5	Aufgaben einer Konformitätsbewertungsstelle	1553
74.3.6	Zertifizierungsablauf	1553

75 Qualitätsmanagement – Teil 2 (Ergänzungen 2007)	1557
<i>M. Alzner</i>	
75.1 Kurzüberblick über gesetzliche Änderungen	1557
75.1.1 EG-Richtlinien	1557
75.1.2 Normen zum Qualitätsmanagement	1558
75.2 Voraussetzungen für das Inverkehrbringen von Medizinprodukten in Europa	1558
75.3 Konformitätsbewertung	1559
75.3.1 Klassifizierung	1559
75.3.2 Konformitätsbewertungsverfahren	1560
75.4 Technische Dokumentation	1561
75.5 Risikomanagement	1562
75.5.1 Risikobeurteilung	1562
75.5.2 Risikokontrolle	1566
75.6 Qualitätsmanagement-Systeme	1566
75.6.1 Normenreihe DIN EN ISO 9000 ff	1567
75.6.2 DIN EN ISO 13485:2003	1568
75.6.3 Neue Struktur und Aufbau	1569
75.7 Zitierte Richtlinien und Normen	1571

Part X Impulse, Teil 2

76 Ökokompatible Werkstoffe	1577
<i>C. Bourban, J. Mayer, E. Wintermantel</i>	
76.1 Nachwachsende Rohstoffe	1578
76.2 Ökokompatible Polymere	1579
76.2.1 Biodegradable Fasern	1579
76.3 Degradationsverhalten von cellulosefaser-verstärktem PHB/V(Biopol®)	1581
76.3.1 Degradationsverhalten der Faser	1582
76.3.2 Degradationsverhalten des Verbundwerkstoffes	1585
76.4 Diskussion und Anwendungen	1586
76.5 Literatur	1588
77 Erweiterung der Biokompatibilität auf Ökosysteme und Werkstoffe	1589
<i>M. Petitmermet, A. Bruinink, E. Wintermantel</i>	
77.1 Einleitung	1589
77.2 Gesetzliche Grundlagen	1589
77.3 Recycling – Downcycling – Upcycling	1592
77.4 Schwerpunktprogramm Umwelt	1593
77.5 Umweltchemie	1594
77.6 Ökotoxikologie und geogene Referenz	1595
77.7 Ökologie, Ökobilanzierung, Ökotoxikologie, Ökokompatibilität ..	1596
77.8 Abfallverwertung	1597

77.8.1	Herkömmliche Rostfeuerung	1597
77.8.2	Siemens-Schwel-Brenn-Verfahren	1601
77.8.3	Thermoselect-Verfahren	1603
77.8.4	HSR-Verfahren (Holderbank-Schmelz-Redox-Verfahren)	1603
77.8.5	Abfallverwertung	1605
77.9	Toxizitätsuntersuchungen	1606
77.9.1	Einleitung	1606
77.9.2	Chemische Toxizitätstests	1606
77.9.3	Biologische Toxizitätstests	1607
77.9.4	Toxizität von behandelten und unbehandelten Rückständen	1610
77.10	Quantitative Toxizitätstests	1614
77.11	Literatur	1615
78	Story I: Impella – Eine Erfolgsgeschichte mit Achterbahnfahrt	1617
	<i>T. Siess, C. Nix, D. Michels</i>	
78.1	Literatur	1632
79	Story II: Kommerzialisierung innovativer Technologien – das Beispiel der WoodWelding SA	1633
	<i>J. Mayer, G. Plasonig</i>	
79.1	Transformationsprozess von universitärer Initiation zur industrieller Entwicklung von Innovation	1634
79.2	Der Innovationsprozess als unternehmerische Meta-Fähigkeit	1634
79.3	Innovationsentwicklung durch unternehmerische Inkubation	1635
79.4	Literatur	1638
80	Strategische Planung in der Medizintechnik	1639
	<i>J. Leewe</i>	
80.1	Die vier Schritte der strategischen Planung	1639
80.2	Die Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) als Orientierungsmuster	1640
80.3	Die fünf Kräfte der Marktattraktivitätsanalyse	1641
80.3.1	Kraft 1: Substitute	1642
80.3.2	Kraft 2: Stärke der Käufer	1643
80.3.3	Kraft 3: Stärke der Lieferanten	1644
80.3.4	Kräfte 4 und 5: Existierende und zukünftige Wettbewerber	1644
80.4	Analyse und Optimierung von Kostenstrukturen	1647
80.4.1	Skaleneffekte	1647
80.4.2	Entscheidungen über die Wertschöpfungstiefe	1649
80.5	Die vier P's im Marketing-Mix	1650
80.5.1	Product: Die Ausgestaltung des Produktes	1651
80.5.2	Price: Der Preis als Marketinginstrument	1654
80.5.3	Place: Verfügbarkeit als Erfolgsfaktor	1656
80.5.4	Promotion: Wie sich der Absatz fördern lässt	1658
80.6	Zusammenfassung	1659
80.7	Literatur	1660

81 Venture Kapital und Life Science	1661
<i>S. Moss, C. Beermann</i>	
81.1 Einleitung	1661
81.2 Beteiligungsfinanzierung im Life Science Bereich	1662
81.2.1 Venture Capital	1662
81.2.2 Struktur einer VC-Beteiligung	1663
81.2.3 Finanzierungsrisiken	1664
81.2.4 Finanzierungszyklen eines Unternehmens	1665
81.2.5 Ablauf einer Beteiligungsfinanzierung	1666
81.3 Venture Capital im Bereich der Life Sciences	1669
81.3.1 Traditionelle Investitionsschwerpunkte	1669
81.3.2 Fördernahe Beteiligungsgesellschaften und Gründerfonds	1670
81.3.3 Early Stage Investitionen	1671
81.3.4 Finanzierungskriterien der Beteiligungsgesellschaften	1672
81.3.5 Beispiele erfolgreicher Unternehmensgründungen im Bereich der Life Sciences	1673
81.4 Ausblick	1674
81.5 Literatur	1676
82 Patentierung und Patentlage	1677
<i>U. Herrmann</i>	
82.1 Voraussetzungen des Patent und Gebrauchsmusterschutzes	1677
82.1.1 Vorliegen einer Erfindung	1678
82.1.2 Gewerbliche Anwendbarkeit	1678
82.1.3 Neuheit	1679
82.1.4 Erfinderische Tätigkeit / erfinderischer Schritt	1680
82.2 Entstehung von Patenten und Gebrauchsmustern	1681
82.2.1 Deutsche und Europäische Patente	1682
82.2.2 Gebrauchsmuster	1683
82.2.3 Schutzrechte im Ausland	1684
82.3 Vernichtung von Patenten und Gebrauchsmustern	1685
82.3.1 Deutsche und Europäische Patente	1685
82.3.2 Gebrauchsmuster	1687
82.4 Wirkung von Patenten und Gebrauchsmustern	1687
82.4.1 Feststellung einer Verletzungshandlung	1687
82.4.2 Ansprüche des Schutzrechtsinhabers	1688
82.4.3 Geltendmachung der Ansprüche des Schutzrechtsinhabers	1689
82.5 Literatur	1690
83 Technologie-Management in der Medizintechnik	1691
<i>J. Nassauer, Th. Feigel</i>	
83.1 Innovation	1691
83.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung	1691
83.1.2 Innovationsprozess	1692
83.1.3 Plattformen für Innovation	1692

83.2	Innovationsindikatoren	1692
83.2.1	Makroindikatoren	1693
83.2.2	Mikroindikatoren	1693
83.3	Technologie-Management in Wirtschaft und Wissenschaft	1694
83.3.1	Beispiele für Technologie-Management in der Medizintechnik	1694
83.4	Weiterführung der Medizintechnik zur Gesundheitstechnologie . .	1695
83.5	Realistische Visionen für die wissenschaftliche Medizintechnik . .	1696
84	Die KTI Medtech Initiative, ein Unikum in der Innovationsförderung	1699
	<i>G. Bestetti</i>	
84.1	Medizintechnik in der Schweiz	1699
84.1.1	Aspekte der Schweizer Wirtschaft	1699
84.1.2	Clusters	1700
84.1.3	Medizintechnik: Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Schweiz	1701
84.2	KTI Medtech Initiative	1702
84.2.1	Struktur und Inhalte	1703
84.2.2	Zielerreichung	1706
84.3	Literatur	1710
	Stichwortverzeichnis	1711

Liste und Anschriften der Co-Autorinnen und -Autoren

Ahmed N. AR. Al-Chalabi M.A.

Hepa Wash GmbH, Boltzmannstr. 11a, 85748 Garching

Marion Alzner

ITEM GmbH, Innovationszentrum Therapeutische Medizintechnik GmbH –
The Biotooling Company, Boltzmannstr 11a, 85748 Garching

Daniel Ammer

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Dr. Walter Assmann

Ludwig-Maximilians-Universität München, Sektion Physik, Beschleunigerlabor,
85748 Garching

Dr. Maria Athelougou

Definiens AG, Trappentreustrasse 1, 80339 München

Dr. Martin Baatz

Definiens AG, Trappentreustrasse 1, 80339 München

Prof. Dr. Robert Bauernschmitt

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Christian Beermann

EICON Beratung und Beteiligungen GmbH & Co. KG, Fünf Höfe, Theatinerstrasse 12,
80333 München

Dr. Peter Behrens

Medizinische Universität zu Lübeck, Klinik für Orthopädie

Prof. Dr. Gilberto Bestetti

NOVO Business Consultants AG, Stadtbachstrasse 63, 3012 Bern, Schweiz

Prof. Dr. Gerd Binnig

Definiens AG, Trappentreustrasse 1, 80339 München

Rainer Birkenbach

BrainLAB AG, Ammerthalstrasse 8, 85551 Heimstetten

Dr. Sabine Bleiziffer

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Dr. Janaki Blum

Tufts University, Department of Chemical Engineering, 4 Colby st., Medford,
MA 02155, USA

Prof. Dr. Friedrich Bootz

Universitätsklinikum Bonn, Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde/Chirurgie,
Sigmund-Freud-Str. 25, 53105 Bonn

Dr. Christophe Bourban

Pilatus Aircraft Ltd., 6371 Stans, Schweiz

Dr. Gernot Brockmann

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Dr. Regina Bruggisser

IVF HARTMANN AG, Victor-von-Bruns-Strasse 28, 8212 Neuhausen, Schweiz

Dr. Arie Bruinink

EMPA St.Gallen, Biokompatible Materilien für Medizin, Lerchenfeldstrasse 5,
9014 St. Gallen, Schweiz

Dr. Markus Bücheler

Universitätsklinikum Leipzig, Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde/
Plastische Operationen, Liebigstrasse 18a, 04103 Leipzig

Dr. Sara Burch

Geistlich Pharma AG, Bahnhofstrasse 40, 6110 Wolhusen, Schweiz

Dr. Erwin Bürkle

Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Str. 2, 80997 München

Dr. Heinz Collin

DR. COLLIN GmbH, Sportparkstrasse 2, Postfach / P.O.Box 11 23, 85560 Ebersberg

Dr. Uwe de Vries

Universität Regensburg, Anatomisches Institut, Universitätsstrasse 31,
93053 Regensburg

PD Dr. Michael Deiwick

Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Gefässchirurgie,
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Albert-Schweitzer-Strasse 33, 48129 Münster

Dr. Joachim H. Dresp

Bausch & Lomb Surgical Deutschland, Max-Planck-Strasse 6, 85609 Dornach

Markus Dudler

IVF HARTMANN AG, Victor-von-Bruns-Strasse 28, 8212 Neuhausen, Schweiz

Karl-Herbert Ebert

Horst Scholz GmbH + Co. KG, Nalser Straße 39, 96317 Kronach, Gundelsdorf

Dr. Markus Eblenkamp

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Karl-Ludwig Eckert

IVF HARTMANN AG, Victor-von-Bruns-Strasse 28, 8212 Neuhausen, Schweiz

Dr. Walter Eichinger

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München, Klinik an der
Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Dr. Andreas Faltermeier

Universität Regensburg, Klinik für Kieferorthopädie, Franz-Josef-Strauss-Allee 11,
93053 Regensburg

Dr. Thomas Feigl

Forum Medizintechnik und Pharma in Bayern e.V. , Nürnberg

Prof. Dr. Hubertus Feußner

Chirurgische Klinik und Poliklinik, Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität
München, Ismaninger Str. 22, 81675 München

Dr. Birgit Glasmacher

Biowerkstoffe und Biomaterialien, Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik, RWTH
Aachen, Pauwelsstrasse 20, 52074 Aachen

Dr. Susanne C. Göhde

Universitätsklinikum Essen, Zentralinstitut für Röntgendiagnostik, Hufelandstrasse 55,
45122 Essen

Gerald Göllner

MMM Münchener Medizin Mechanik GmbH, Semmelweisstr. 6, 82152 Planegg

Dr. Wolfgang Götz

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Dr. Joachim Grosse

Universitätsklinikum der RWTH Aachen, Klinik für Urologie, Pauwelsstr. 30, 52074 Aachen

Dr. Andreas E. Guber

Universität Karlsruhe und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH,
Institut für Mikrostrukturtechnik, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Prof. Dr. Norbert W. Guldner

Klinik für Herzchirurgie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein,
Campus Lübeck Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck

Dr. Suk-Woo Ha

IVF HARTMANN AG, Victor-von-Bruns-Strasse 28, 8212 Neuhausen, Schweiz

Dr. Markus Heinlein

GfE Medizintechnik GmbH, Höfener Str. 45, 90431 Nürnberg

Dr. Uwe Herrmann

Lorenz - Seidler - Gossel, Rechtsanwälte - Patentanwälte, Widenmayerstrasse 23,
80538 München

Dr. Ina Hettich

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Prof. Dr. G. Hirzinger

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Robotik und Mechatronik,
Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling

Marc Hoffstetter

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Prof. Dr. Wolfram Höland

Ivoclar Vivadent AG, Bendererstr. 2, 9494 Schaan, Fürstentum Liechtenstein

Prof. Dr. Martin Horst

Geistlich Pharma AG, Bahnhofstrasse 40, 6110 Wolhusen, Schweiz

Prof. Dr. Jeffrey Hubbell

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne, Schweiz

PD Dr. Volker R. Jacobs

Klinikum rechts der Isar, Frauenklinik der TU München, Ismaninger Strasse 22, 81675 München

Prof. Dr. Gerhard Jakse

Universitätsklinikum der RWTH Aachen, Pauwelsstr. 30, 52074 Aachen

Ingo Jumpertz

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Martin Jungbluth

Max Petek Reinraumtechnik GmbH, Wilhelm-Moriell-Str. 1, 78315 Radolfzell

Dr. Erdal Karamuk

Phonak AG, Advanced Products, Laubisrütistrasse 28, 8712 Stäfa, Schweiz

Prof. Dr. Hans-Georg Kempf

Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde der Medizinischen Hochschule Hannover, Konstanty Gutschow Str. 8, 30625 Hannover

Prof. Dr. Marion Kiechle-Bahat

Klinikum rechts der Isar, Frauenklinik der TU München, Ismaninger Strasse 22, 81675 München

Prof. Dr. Doris Klee

Institut für Technische und Makromolekulare Chemie, Lehrstuhl für Textilchemie und Makromolekulare Chemie, Pauwelsstr. 852056, Aachen

Michael Koller

MMM Münchener Medizin Mechanik GmbH, Semmelweisstr. 6, 82152 Planegg

Susanne Köppl

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Dr. Sascha Kori

Phonak AG, Advanced Products, Laubisrütistrasse 28, 8712 Stäfa, Schweiz

Dr. Pierre Köver

STRATEC Medical, Eimattstrasse 3, 4436 Oberdorf, Schweiz

Erhard Krampe

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Dr. Markus Krane

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München, Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Dr. Bernhard Kreymann

Hepa Wash GmbH, Boltzmannstr. 11a, 85748 Garching, II. Medizinische Klinik und Poliklinik, Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München, Ismaninger Str. 22, 81675 München

Nina Laar

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Dr. Mark E. Ladd

Universitätsklinikum Essen, Zentralinstitut für Röntgendiagnostik, Hufelandstrasse 55, 45122 Essen

Dr. Jörg Lahann

RWTH Aachen, Lehrstuhl für Textilchemie und Makromolekulare Chemie, Abt. Biomaterialien,
Veltmanplatz 8, 52062 Aachen

Prof. Dr. Rüdiger Lange

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Dr. Jörn Leewe

Novumed GmbH – Life Science Consulting, Widenmayerstr. 43, 80538 München,
www.novumed.com

Stefan Leicher

Gerresheimer Wilden GmbH, Bischof-von-Henle-Straße 2 b, 93051 Regensburg

Prof. Dr. Thomas Lenarz

Medizinische Hochschule Hannover, Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde,
Carl-Neuberg-Strasse 1, 30625 Hannover

Christoph Lettowsky

Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen,
Pontstr. 49, 52062 Aachen

Dr. Paul Libera

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Dr. Howard M. Loree II

Thoratec Corporation, 470 Wildwood street, Woburn, MA 01888-2697, USA

Dr. Patrik Lüscher

Zimmer GmbH, Sulzer-Allee 8, 8404 Winterthur, Schweiz

Prof. Dr. Heinz Lüthy

Universität Zürich, Klinik für Kronen- und Brückenprothetik, Plattenstrasse 11,
8028 Zürich, Schweiz

Dr. Walburga Lütkehermölle

Medizinische Universität zu Lübeck, Klinik für Orthopädie

Dr. Gerhard Maier

polyMaterials AG, Sudetenstrasse 5, 87600 Kaufbeuren

Prof. Dr. Carlo P. Marinello

Zentrum für Zahnmedizin der Universität Basel, Klinik für Prothetik und Kaufunktionslehre,
Hebelstrasse 3, 4056 Basel, Schweiz

Michael Mathey

Phonak AG, Advanced Products, Laubisrütistrasse 28, 8712 Stäfa, Schweiz

Dr. Jörg Mayer

WoodWelding SA, Bundesstrasse 3, 6304 Zug, Schweiz

PD Dr. Alexander Meining

II. Medizinische Klinik und Poliklinik, Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität
München, Ismaninger Str. 22, 81675 München

Dr. Heiko Methe

Medizinische Klinik I, Klinikum Grosshadern, Ludwig-Maximilians-Universität München,
Marchioninstr. 15, 81377 München

Prof. Walther Michaeli

Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen,
Pontstr. 49, 52062 Aachen

Dirk Michels

Schwalmstr. 15, 40547 Düsseldorf

Prof. Dr. Will W. Minuth

Universität Regensburg, Anatomisches Institut, Universitätsstrasse 31, 93053 Regensburg

Sebastian Moss

EICON Beratung und Beteiligungen GmbH & Co. KG, Fünf Höfe, Theatinerstrasse 12,
80333 München

Prof. Dr. Josef Nassauer

Bayern Innovativ GmbH, Gewerbemuseumsplatz 2, 90403 Nürnberg

Dr. Sabine Neuss-Stein

Institut für Pathologie / IZKF „BIOMAT“, Universitätsklinikum Aachen,
Pauwelsstr. 8, 52056 Aachen

Christoph Nix

Leonhard-Schleicher-Str. 9, 52222 Stolberg

PD Dr. Luca Papavero

Schön Kliniken, Klinikum Eilbek, Zentrum für Spinale Chirurgie, Dehnhaiide 120,
22081 Hamburg

Héctor Perea Saavedra

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Max Petek

Max Petek Reinraumtechnik GmbH, Wilhelm-Moriell-Str. 1, 78315 Radolfzell

Dr. Marc Petitmermet

ETH Hönggerberg, Departement of Materials, Wolfgang-Pauli-Strasse 10, 8093 Zürich, Schweiz

Stefan Pfeifer

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Dr. Gerhard Plasonig

WoodWelding SA, Bundesstrasse 3, 6304 Zug, Schweiz

Dr. Wilhelm Plüster

RWTH Aachen, Lehrstuhl für Textilchemie und Makromolekulare Chemie, Abt. Biomaterialien,
Veltmanplatz 8, 52062 Aachen

Isabella Potzmann

IVF HARTMANN AG, Victor-von-Bruns-Strasse 28, 8212 Neuhausen, Schweiz

Magda Renke-Gluszko

Lehrstuhl für Medizintechnik der TU-München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching

Dr. Marc A. Riner

MedfTech Composites GmbH, Muristrasse 20, 5628 Aristau, Schweiz

Dr. Kurt Ruffieux

Degradable Solutions AG, Wagistrasse 23, 8952 Schlieren, Schweiz

Dr. Daniel Ruzicka

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazaretstr. 36, 80636 München

Prof. Dr. Volker Saile

Universität Karlsruhe und Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Institut
für Mikrostrukturtechnik, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Dr. Jochen Salber

Deutsches Wollforschungsinstitut an der RWTH Aachen e.V., Pauwelsstr. 8, 52056 Aachen

Arno Schäpe

Definiens AG, Trappentreustrasse 1, 80339 München

Günther Schmidt

Definiens AG, Trappentreustrasse 1, 80339 München

Armin Schneider

Arbeitsgruppe MITI, Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München,
Troger Str. 26, 81675 München

Dr. Reto Schöb

Levitronix GmbH, Technoparkstrasse 1, 8005 Zürich, Schweiz

Ralf Schönmeier

Definiens AG, Trappentreustrasse 1, 80339 München

Dr. Thomas Schratzenstaller

B. Braun Melsungen AG, Vascular Systems, Sparte Aesculap, Sieversufer 8, 12359 Berlin

Catherine E. Schreiber

Hepa Wash GmbH, Boltzmannstr. 11a, 85748 Garching

Dr. Christian Schreiber

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazarettstr. 36, 80636 München

Verena Schulze

DR. COLLIN GmbH, Sportparkstrasse 2, Postfach / P.O.Box 11 23, 85560 Ebersberg

Dr. Karl Schumacher

Universität Regensburg, Anatomisches Institut, Universitätsstrasse 31, 93053 Regensburg

Prof. Dr. Hans-Dieter Seghezzi

Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Management-Systeme (SQS),
Bernstrasse 103, 3052 Zollikofen, Schweiz

Dr. Marco Semadeni

SEMADENI – Glasbetonbau, Bockenweg 85, 8810 Horgen-Arn, Schweiz

Dr. Brigitte Shah-Derler

Rosengartenstrasse 4, 8125 Zollikerberg, Schweiz

Dr. Thorsten Sieß

Abiomed, Kirchenstr. 8, 52146 Würselen

Dr. Michael Stöver

ITEM GmbH, Innovationszentrum Therapeutische Medizintechnik GmbH –
The Biotooling Company, Boltzmannstr 11a, 85748 Garching

Dr. Raimund Strehl

Universität Regensburg, Anatomisches Institut, Universitätsstrasse 31, 93053 Regensburg

Oana Tanase

Hepa Wash GmbH, Boltzmannstr. 11a, 85748 Garching

Dr. Roger Tognini

icotec AG, innovative composite technology, Industriestrasse 12, 9450 Altstätten, Schweiz

Ursula von Felten-Rösler

Bodenacker 12, 5016 Obererlinsbach, Schweiz

Dr. Matthias von Walter

Universitätsklinikum der RWTH Aachen, Klinik für Urologie, Pauwelsstr. 30, 52074 Aachen

Dr. Bernhard Voss

Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Deutsches Herzzentrum München,
Klinik an der Technischen Universität München, Lazaretstr. 36, 80636 München

Dr. Alexander Walter

Gerresheimer Wilden GmbH, Bischof-von-Henle-Straße 2 b, 93051 Regensburg

René Wasmer

Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Management-Systeme (SQS), Bernstrasse 103,
3052 Zollikofen, Schweiz

Dr. Karl-Friedrich Weibezahn

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Medizintechnik und Biophysik,
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Prof. Dr. Gerd Wessels

Siemens Medical Solutions, Henkestr. 127, 91052 Erlangen

Dr. Markus Widmer

Schleuniger AG, Bierigutstrasse 9, 3608 Thun, Schweiz

Prof. Dr. Gerd Willmann †

CeramTec AG, Innovative Ceramic Engineering, Fabrikstrasse 23–29, 73207 Plochingen

Martin Würtele

Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH, Krauss-Maffei-Str. 2, 80997 München

Heiko Zerlik

St. Jude Medical AG, Pfingstweidstrasse 60, 8005 Zürich, Schweiz

Hanngörg Zimmermann

GfE Medizintechnik GmbH, Höfener Str. 45, 90431 Nürnberg