

1 Einführung

1.1 Organisatorisches

1.1.1 Überblick über die Vorlesung

Das Ziel dieser Lehrveranstaltung ist es, einen Überblick zu geben über die Grundlagen, aber auch Einblicke in die aktuelle physikalische Forschung, welche auf medizinische Probleme angewandt wird. Dabei werden drei Teilgebiete behandelt:

- Teil I (Kapitel 1-9) der Vorlesung findet statt im Sommersemester. Dieser Teil umfasst die physikalische Beschreibung des menschlichen Körpers. Dazu gehören ausgewählte Teile der Biomechanik, der Hydrodynamik des Blutkreislaufs, des Sauerstofftransports, der Signalübertragung in Nerven und der Sinnesorgane Ohr und Auge. Die meisten dieser Themen haben einen engen Bezug zur Biophysik.
- Im Wintersemester stellt Teil II der Vorlesung die wichtigsten **diagnostischen Methoden** vor, wobei das Schwergewicht auf bildgebenden Verfahren liegt. Dazu gehören die Röntgendiagnostik, Nuklearmedizin, Ultraschall, Kernspintomographie (MRI) sowie Abbildung magnetischer und elektrischer Quellen. Darüber hinaus werden einige therapeutische Techniken behandelt (Ultraschall, Laser).
- Therapeutische Techniken auf der Basis von ionisierender Strahlung werden in einer getrennten Vorlesung behandelt.

1.1.2 Literatur

Es gibt eine Reihe von guten Lehrbüchern und Nachschlagewerken, welche Teile des hier behandelten Stoffes abdecken. Ohne den Anspruch der Vollständigkeit können folgende Werke empfohlen werden:

- Medizinische Physik, Band 1-3; J. Bille, W. Schlegel (Hrsg.); Springer-Verlag 2005

- Biophysics; R. Glaser; Springer-Verlag 2001
- Lehrbuch der Biophysik; E. Sackmann, R. Merkel; Wiley-VCH 2010
- Biophysik; W. Hoppe, W. Lohmann, H. Markl, H. Ziegler (Hrsg.); Springer-Verlag 1982
- Physiologie; P. Deetjen, E.-J. Speckmann, Urban-Fischer Verlag 2004
- Der Körper des Menschen, A. Faller, M. Schünke, Thieme Verlag, 2004

In den einzelnen Kapiteln wird nochmals separat auf relevante Literatur hingewiesen.

1.2 Medizin

1.2.1 Fachgebiete

Das Wort **Medizin** stammt aus dem Lateinischen *ars medicinae* ab, was Heilkunst oder Heilkunde bedeutet. Die Medizin ist die Wissenschaft vom gesunden und kranken Lebewesen und umfasst die Bereiche

- Humanmedizin
- Zahnmedizin
- Veterinärmedizin
- Phytomedizin (Behandlung von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen)

Von diesen vier Gebieten interessiert uns in erster Linie die **Humanmedizin**. Diese beschäftigt sich mit der Gesundheit und Krankheit des Menschen sowie der Zeugung, Schwangerschaft, Geburt und Tod.

Innerhalb der Humanmedizin unterscheidet man zwischen der physischen und der psychischen Gesundheit, respektive Krankheit. Diese Vorlesung konzentriert sich auf den körperlichen Teil, obwohl bestimmte bildgebende Techniken, insbesondere die

Kernspintomographie, immer stärker auch im Bereich der Psychologie und Psychiatrie eingesetzt werden.

Physikalische Techniken werden sowohl in der Vorbeugung (Prophylaxe), wie auch bei der Erkennung und Behandlung (Diagnostik und Therapie) von Krankheiten eingesetzt.

Die Vielfalt der Krankheiten und Behandlungsmöglichkeiten äußert sich in einer Aufgliederung in eine große Anzahl von Fachgebieten und Spezialisierungen. Als gute Übersicht dient die Weiterbildungsordnung (Version Juni 2013: http://www.bundesaerztekammer.de/downloads/20130628-MWBO_V6.pdf).

1. Allgemeinmedizin
2. Anästhesiologie
3. Anatomie
4. Arbeitsmedizin
5. Augenheilkunde
6. Biochemie
7. Chirurgie
8. Frauenheilkunde und Geburtshilfe
9. Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
10. Haut- und Geschlechtskrankheiten
11. Humangenetik
12. Hygiene und Umweltmedizin
13. Innere Medizin und Allgemeinmedizin
14. Kinder- und Jugendmedizin
15. Kinder- und Jugendpsychiatrie
16. Laboratoriumsmedizin
17. Mikrobiologie, Virologie und Infektionsepidemiologie
18. Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie
19. Neurochirurgie
20. Neurologie
21. Nuklearmedizin
22. Öffentliches Gesundheitswesen
23. Pathologie
24. Pharmakologie
25. Physikalische und rehabilitative Medizin
26. Physiologie
27. Psychiatrie und Psychotherapie
28. Psychosomatische Medizin und Psychotherapie
29. Radiologie
30. Rechtsmedizin
31. Strahlentherapie
32. Transfusionsmedizin
33. Urologie

Darüber hinaus gibt es 47 Zusatz-Weiterbildungen.

1.2.2 Die Anfänge der Medizin

Die Medizin ist ein Teilbereich der menschlichen Kultur, daher ist ihr Erscheinungsbild variabel. In primitiven Kulturen ist sie zwischen Empirie und Dämonenglaube angesiedelt, während sie in einer industriell orientierten Kultur von Naturwissenschaft und Technik sowie der Ökonomie dominiert wird.

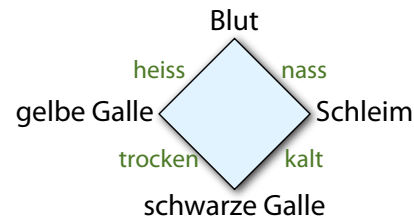


Abbildung 1.1: Die Lehre der 4 Säfte von Hippokrates.

Die Wurzeln der europäischen Medizin lassen sich zum Mindesten bis in griechische Zeit zurückverfolgen. Hippokrates von Kos (ca. 460-360 v. Chr.) schuf eine (für das damalige Umfeld) rationale Theorie der Medizin. Der Kern dieser Theorie war die Lehre von den vier Säften, welche auch im Mittelalter noch akzeptiert wurde. Bei den vier Säften handelte es sich um das Blut, den Schleim, die gelbe Galle und die schwarze Galle. Diesen wurden die Eigenschaften "warm", "kalt", "trocken" und "nass" zugeschrieben. Die Aufteilung in vier Grundbestandteile knüpft an die Vier-Elemente-Lehre der vorsokratischen Naturphilosophie und wurde später auch von Aristoteles in seiner Theorie der Elemente verwendet.

Krankheitssymptome werden in dieser Lehre nicht durch übernatürliche Ursachen hervorgerufen, sondern sie werden als Ungleichgewicht der Körpersäfte interpretiert. Aus den vier Säften ergeben sich somit vier grundlegende Krankheitsbilder, welche jeweils einem Überschuss an einem der Säfte entsprechen: Melancholiker (schwarze Galle dominiert), Choliker (gelbe Galle dominiert), Sanguiniker (Blut dominiert) und Phlegmatiker (Schleim dominiert).

Die Ärzte hatten zu dieser Zeit nur sehr begrenzte diagnostische Möglichkeiten; ihre Diagnosen beruhten vor allem auf einer sehr genauen Beobachtung

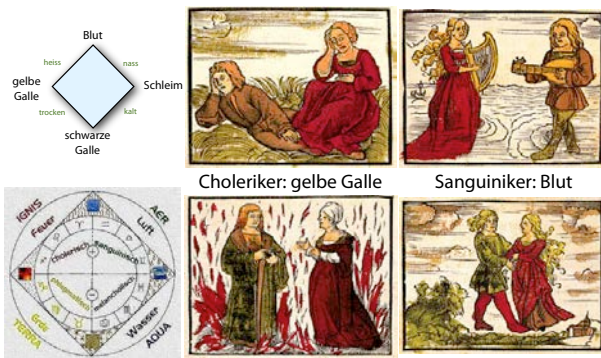


Abbildung 1.2: Die grundlegenden Erkrankungsbilder in der Temperamentenlehre.

des Zustands des Patienten. So war z.B. die Untersuchung des Urins sehr wichtig. Das Erlernen dieser Beobachtungsmethoden beruhte in erster Linie auf Erfahrung, welche nur im Rahmen einer langen Ausbildung bei einem anderen Arzt erworben werden konnte.



Abbildung 1.3: Hippokratische Heiltechniken: Aderlass (links) und Schröpfköpfe (rechts).

Auf der Basis dieses Erklärungsansatzes hatte der Arzt die Möglichkeit, bei einem gegebenen Krankheitsbild heilend einzugreifen. Er konnte versuchen, das Gleichgewicht zwischen den Säften wieder herzustellen indem er, z.B., den Patienten "zur Ader ließ", ihm eine Lebensumstellung, Diät oder Arzneimittel verordnete oder operative Eingriffe vornahm.

1.2.3 Wirkung von Hippokrates

Es gibt mindestens 60 Schriften, die Hippokrates zugeschrieben werden und als Corpus Hippocraticum bekannt sind. Das Entstehungsdatum dieser Schriften reicht vom 4. Jh. v. Chr. bis zum 1. Jh. n. Chr. Welche davon Hippokrates selbst verfasst hat, ist weitgehend unbekannt. Diese Schriften bildeten die Grundlage des medizinischen Wissens in griechisch-römischer Zeit. Auch im römischen Reich wurde die medizinische Literatur in griechischer Sprache weitergegeben.

Der Hippokratische Eid ist etwa um 400 v. Chr. entstanden. Er diente als Leitlinie für die Mediziner Ausbildung und für die Beziehung Arzt-Patient.

„Ich schwöre und rufe Apollon, den Arzt, und Asklepios und Hygeia und Panakeia und alle Götter und Göttinnen zu Zeugen an, dass ich diesen Eid und diesen Vertrag nach meiner Fähigkeit und nach meiner Einsicht erfüllen werde. Ich werde den, der mich diese Kunst gelehrt hat, gleich meinen Eltern achten, ihn an meinem Unterricht teilnehmen lassen, ihm wenn er in Not gerät, von dem Meinigen abgeben, seine Nachkommen gleich meinen Brüdern halten und sie diese Kunst lehren, wenn sie sie zu lernen verlangen, ohne Entgelt und Vertrag. Und ich werde an Vorschriften, Vorlesungen und aller übrigen Unterweisung meine Söhne und die meines Lehrers und die vertraglich verpflichteten und nach der ärztlichen Sitte vereidigten Schüler teilnehmen lassen, sonst aber niemanden. Ich werde ärztliche Verordnungen treffen zum Nutzen der Kranken nach meiner Fähigkeit und meinem Urteil, hüten aber werde ich mich davor, sie zum Schaden und in unrechter Weise anzuwenden. Auch werde ich niemandem ein tödliches Gift geben, auch nicht wenn ich darum gebeten werde, und ich werde auch niemanden dabei beraten; auch werde ich keiner Frau ein Abtreibungsmittel geben. Rein und fromm werde ich mein Leben und meine Kunst bewahren. Ich werde nicht schneiden, sogar Steinleidende nicht, sondern werde das den Männern überlassen, die dieses Handwerk ausüben.“

„In alle Häuser, in die ich komme, werde ich zum Nutzen der Kranken hineingehen, frei von jedem bewussten Unrecht und jeder Übeltat, besonders von jedem geschlechtlichen Missbrauch an Frauen und Männern, Freien und Sklaven. Was ich bei der Behandlung oder auch außerhalb meiner Praxis im Umgange mit Menschen sehe und höre, das man nicht weiterreden darf, werde ich verschweigen und als Geheimnis bewahren. Wenn ich diesen Eid erfülle und nicht breche, so sei mir beschieden, in meinem Leben und in meiner Kunst voranzukommen, indem ich Ansehen bei allen Menschen für alle Zeit gewinne; wenn ich ihn aber übertrete und breche, so geschehe mir das Gegenteil.“

Die moderne Form davon ist das “Genfer Gelöbniß” des Weltärztebundes:

“Bei meiner Aufnahme in den ärztlichen Berufsstand gelobe ich feierlich: mein Leben in den Dienst der Menschlichkeit zu stellen. Ich werde meinen Lehrern die schuldige Achtung und Dankbarkeit erweisen. Ich werde meinen Beruf mit Gewissenhaftigkeit und Würde ausüben. Die Gesundheit meines Patienten soll oberstes Gebot meines Handelns sein. Ich werde alle mir anvertrauten Geheimnisse auch über den Tod des Patienten hinaus wahren. Ich werde mit allen meinen Kräften die Ehre und die edle Überlieferung des ärztlichen Berufes aufrechterhalten. Meine Kolleginnen und Kollegen sollen meine Schwestern und Brüder sein. Ich werde mich in meinen ärztlichen Pflichten meinem Patienten gegenüber nicht beeinflussen lassen durch Alter, Krankheit oder Behinderung, Konfession, ethnische Herkunft, Geschlecht, Staatsangehörigkeit, politische Zugehörigkeit, Rasse, sexuelle Orientierung oder soziale Stellung. Ich werde jedem Menschenleben von seinem Beginn an Ehrfurcht entgegenbringen und selbst unter Bedrohung meine ärztliche Kunst nicht in Widerspruch zu den Geboten der Menschlichkeit anwenden. Dies alles verspreche ich feierlich und frei auf meine Ehre.“

1.2.4 Medizin im Mittelalter

Im Mittelalter beherrschten Tradition, Religion und Glaube die Heilkunst. Krankheiten und Gebrechen wurden häufig als Strafe Gottes interpretiert.



Abbildung 1.4: Kranke suchen Heilung und Almosen bei der Hl. Gertrud (Derick Baegert, Museum für Kunst und Kulturgeschichte, Dortmund).

Dementsprechend suchte man Heilung vor allem bei Gott oder bei seinen irdischen Vertretern. Diese Haltung wurde z.B. von Noah Gordon im Roman “Der Medicus” so ausgedrückt:

“Medicus, Chirurg oder Bader - sie alle leugnen die unbestreitbare Wahrheit, dass die Dreifaltigkeit und die Heiligen allein die Kraft haben, zu heilen.“

Medizinisches Wissen wurde vor allem in den Klöstern gepflegt; so gehörte die Fürsorge für Kranke, Schwache und Arme zu den Grundregeln des Benediktinerordens. Eine auch heute noch populäre Vertreterin der Klostermedizin war Hildegard von Bingen (1098-1179). Als Äbtissin des Klosters auf dem Rupertsberg bei Bingen sammelte sie das Wissen über die medizinische Wirkung von pflanzlichen, mineralischen und tierischen Arzneimitteln, welches sie in mehreren Büchern zusammenfasste. Dabei kombinierte sie das damalige Wissen über Krankheiten und Pflanzen aus der griechisch-lateinischen Tradition mit dem der

Volksmedizin.

Erst im zwölften Jahrhundert wurden die griechischen Schriften (sowohl Medizin wie Naturwissenschaft) wieder entdeckt, zum Teil über Umwege, insbesondere über orientalische Länder und Sprachen. Weil die Synode von Clermont 1130 den Klerikern das Studium der Medizin verbot, verschob sich die Medizin von den Klöstern in den weltlichen Bereich. Dies hing z.T. damit zusammen, dass die Medizin auch begann, chirurgische Eingriffe vorzunehmen. Einem Mönch oder Priester war es aber nicht gestattet, den Körper zu verletzen. Ausgehend von Salerno wurden im Spätmittelalter in den neu gegründeten Universitäten auch medizinische Fakultäten eingerichtet.

1.3 Naturwissenschaft und Medizin

1.3.1 Wissenschaftliche Ansätze

Im 16. und 17. Jh. begann sich die Medizin genauer mit dem Aufbau und der Funktionsweise des menschlichen Körpers zu beschäftigen.



Abbildung 1.5: Die Anatomie des Dr. Tulp, Rembrandt (1632).

Figur 1.5 zeigt ein Gemälde von Rembrandt aus dem Jahr 1632: "Die Anatomie des Dr. Tulp" (2,17 x 1,63 Meter, Mauritshuis in Den Haag). Es zeigt den Arzt Dr. Nicolaas Tulp, der einen Toten

(Adriaan Adriaanszoon, ein Straßenräuber, der gehängt worden war) sezirt und den anwesenden Zuschauern die Skelettmuskulatur erklärt. Anatomie-Vorführungen waren im 17. Jahrhundert ein gesellschaftliches Ereignis: Sie fanden in hösaalähnlichen so genannten anatomischen Theatern statt. Damit gelang es den Ärzten, ein weit besseres Verständnis für den Aufbau und die Funktion des menschlichen Körpers zu erlangen.

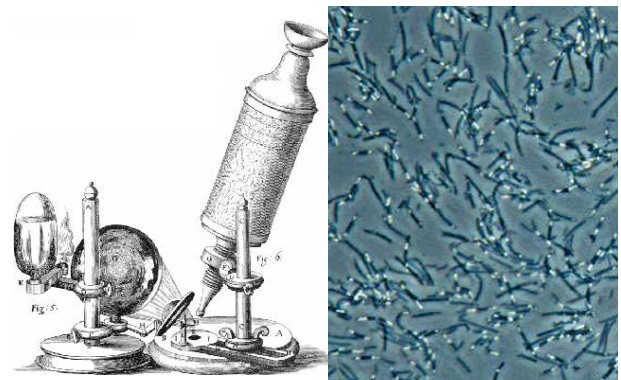


Abbildung 1.6: Mikroskop aus dem 17. Jhd und Bakterien.

Die Entwicklung naturwissenschaftlicher Technik (z.B. des Mikroskops im 17. Jhd. ermöglichte präzisere Untersuchungen und führte u.a. zur Entdeckung der Bakterien und damit zum Forschungsgebiet der Mikrobiologie.

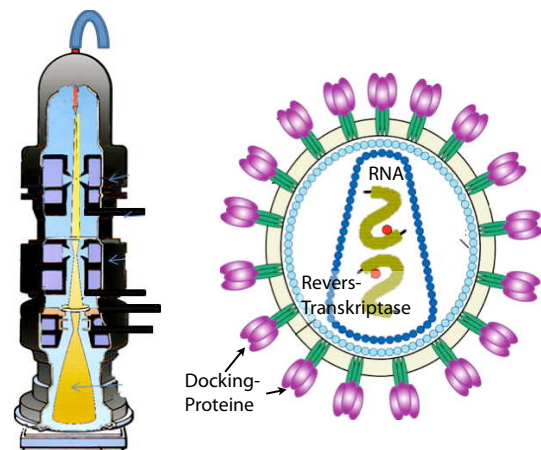


Abbildung 1.7: Elektronenmikroskop (links) und HIV-Virus (rechts).

Als 1940 das erste Elektronenmikroskop entwickelt

wurde, konnte man zum ersten Mal auch Viren sichtbar machen.

1.3.2 Naturwissenschaftliche Basis

Im 19. und 20. Jahrhundert wurde die Medizin vollständig auf naturwissenschaftliche Basis gestellt. Fortschritte in der Physik, Chemie und Biologie, sowie die Integration der Naturwissenschaften mit der Medizin führten zu neuen Untersuchungs- und Behandlungsmethoden sowie zu einem besseren Verständnis für die meisten Krankheiten.

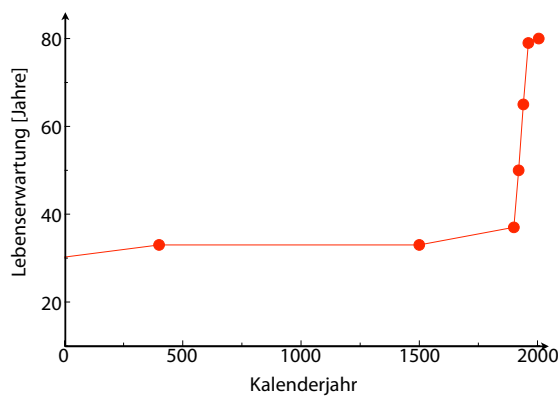


Abbildung 1.8: Anstieg der Lebenserwartung in den letzten 2000 Jahren.

Der Erfolg dieser Neuerung zeigte sich u.a. im rasanten Anstieg der Lebenserwartung (Siehe Abb. 1.8). Zu den wichtigsten Beispielen von technischen Entwicklungen, welche zu qualitativen Verbesserungen der Medizin führten, gehören die Röntgentechnik, die Entwicklung von Antibiotika und die Entwicklung der Molekularbiologie, welche das Verständnis für die Funktionen des menschlichen Körpers revolutionierte.

Die deutsche Gesellschaft für Medizinphysik (DGMP) formuliert das so:

”Der Fortschritt der Medizin gründet sich in praktisch allen Bereichen auf Beiträge aus Naturwissenschaft und Technik.”

Natürlich sollte in diesem Zusammenhang auch gesehen werden, dass die naturwissenschaftlich-technischen Einflüsse auf unseren Alltag auch zu

neuen Problemen, wie z.B. Zivilisationskrankheiten, Umweltgifte oder Allergien geführt haben. Solche negativen Entwicklungen sollten in einem ganzheitlichen Ansatz ebenso berücksichtigt werden.

1.3.3 Physik und Medizin

Querverbindungen zwischen Physik und Medizin existieren in vielen Gebieten, und bedeutende Physiker haben in beiden Gebieten gearbeitet. Galileo Galilei (1564-1642) studierte Medizin bevor er Physiker wurde. William Harvey (1578-1658), studierte 3 Jahre bei Galilei in Padua. Er untersuchte als Erster systematisch den Blutkreislauf. Harvey postulierte die Existenz eines Blutkreislaufs. Er stellte fest, dass das Herz pro Stunde ca. 200 l Blut pumpt, woraus er folgerte, dass das Blut unmöglich versickern konnte sondern zum Herzen zurück gelangen musste. Leonhard Euler (1707-1783) beschrieb die Ausbreitung gepulster Wellen in Arterien.

Hermann von Helmholtz (1821-1894), der in der Physik vor allem für seine Beiträge zur Thermodynamik bekannt ist, hat ursprünglich Medizin studiert und wichtige Arbeiten in Medizin, Physiologie und Psychologie verfasst. Auch seine ersten Professuren waren im Bereich Medizin und Physiologie. Er erklärte den Fokussiermechanismus des Auges, erfand diverse Geräte für die Augenoptik, bestimmte als erster die Geschwindigkeit von Nervensignalen (30 m/s) und fand heraus, dass die durch Muskelarbeit entstehende Wärme signifikant zur Körperwärme beiträgt.

Ein weiteres Beispiel ist Thomas Young (1773 – 1829), der in der Physik vor allem für seine Beiträge zur Wellenoptik und zur Mechanik bekannt ist, aber auch praktizierender Arzt war und wichtige Beiträge zur Hämodynamik und zur Funktion des Auges geleistet hat.

Die Entwicklung der physikalischen Messtechnik hat viele Fortschritte im grundlegenden Verständnis der Medizin ermöglicht. Klassische Beispiele sind die elektrophysiologischen Messungen von Andrew Huxley und Alan Hodgkin, am Axon eines Tintenfisches, welche die Basis für unser heutiges Verständnis der Nervenleitung bilden.

Dies setzt sich auch auf molekularer Ebene fort: so kann die Physik nicht nur die experimentellen Techniken zur Verfügung stellen, mit deren Hilfe z.B. die Struktur der DNA und der genetische Code entschlüsselt wurden, sondern sie kann auch die Wechselwirkung zwischen den Molekülen, welche für ihre Funktion entscheidend ist, beschreiben und erklären.

Weitere Beispiele lassen sich in allen Bereichen der Medizin finden. Allen gemeinsam ist, dass ein möglichst umfassendes Verständnis für die Grundlagen der verschiedenen Funktionen des menschlichen Körpers, und damit auch für Fehlfunktionen, zu den wichtigsten Voraussetzungen für die Therapie von Krankheiten gehört. Der physikalische Ansatz zur Funktion des menschlichen Organismus gehört deshalb genau so zur Medizinphysik wie die diagnostischen und therapeutischen Beiträge.

Für viele Teilgebiete der medizinischen Physik stellt die Quantenmechanik eine entscheidende Grundlage dar. Dazu gehören die Erzeugung von Röntgenstrahlen, ihre Wechselwirkung mit Gewebe oder die Eigenschaften von Kernspins für die Kernspintomographie. Beide Themen werden im WS behandelt.

Die DGMP unterscheidet drei Bereiche, in denen die Physik die Medizin unterstützt:

- Therapeutische Verfahren
- Biomedizinische Bildgebung
- Biomedizinische Messverfahren und Signalverarbeitung.

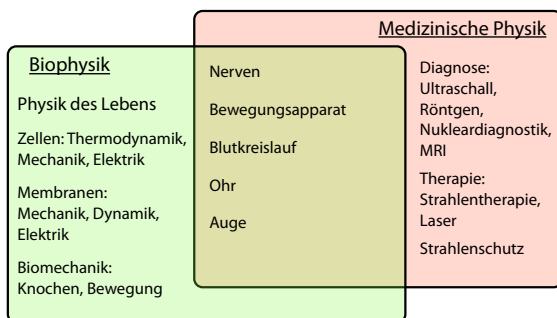


Abbildung 1.9: Vergleich zwischen Biophysik und Medizinphysik.

Es besteht ein gewisser Überlapp zwischen der Medizinphysik und der Biophysik. Die Biophysik befasst sich mit physikalischen Aspekten biologischer

Systeme. Dies beinhaltet den Energiehaushalt von Zellen und Organismen, Diffusionsprozesse in Flüssigkeiten oder durch Membrane, mechanisch und elastische Eigenschaften von Gewebe, oder die Wirkung von ionisierender Strahlung auf Lebewesen (Strahlenbiologie). Viele dieser Thematiken gehören auch zur Medizinischen Physik.

1.3.4 Berufliche Perspektiven in der Medizinphysik

Um die Möglichkeiten, welche der naturwissenschaftliche Ansatz in der Medizin bietet, effektiv nutzen und weiter entwickeln zu können, ist die Mitarbeit der PhysikerInnen immer stärker gefragt. Im Zuge dieser Entwicklung hat sich in manchen Feldern der Krankenversorgung eine enge Zusammenarbeit zwischen Ärzten, Physikern und medizinischem Assistenzpersonal herausgebildet. Dies betrifft sowohl den klinischen Alltag, wie auch die Forschungseinrichtungen der Biowissenschaften oder die Firmen, welche Geräte für den klinischen Einsatz entwickeln. Hier spielt außerdem die Zusammenarbeit mit weiteren naturwissenschaftlichen Disziplinen (Chemie, Biologie, etc.) und Ingenieuren eine entscheidende Rolle.

Beispiele für Gebiete, in denen PhysikerInnen direkt in einer klinischen Umgebung arbeiten, sind

- ionisierende Strahlung : Erzeugung, Wirkung
- Laser
- Roboter und Navigationstechniken
- Bildgebung
- Audiologie und die Ophthalmologie

Aktuell gibt es in Deutschland 22 Studiengänge in Richtung Medizinphysik¹. Der gegenwärtige Bedarf an Medizinphysikern im klinischen Bereich wird auf etwa 70-100 Medizinphysiker pro Jahr geschätzt.

Viele Medizinphysiker haben sich in der DGMP organisiert. Sie definiert ihre Aufgabe folgendermaßen:

¹<http://www.dgmp.de/de-DE/177/studiengaenge>

Aufgaben und Ziele der Gesellschaft sind, die Wissenschaft auf dem Gebiet "Medizinische Physik" einschließlich der medizinischen Technik, insbesondere die Anwendung physikalischer Methoden in der Medizin, zu fördern, die in diesem Bereich tätigen und an seiner wissenschaftlichen Fortentwicklung interessierten Personen zusammenzuschließen.