

Inhaltsverzeichnis

1	Biomechanik – Definitionen, Aufgaben und Fragestellungen	1
1.1	Definition der Biomechanik	1
1.2	Grundaufbau des menschlichen Bewegungsapparats	1
1.2.1	Passiver Bewegungsapparat oder Skelettsystem	2
1.2.2	Aktiver Bewegungsapparat oder Muskelsystem	3
1.2.3	Lage- und Richtungsbeschreibung beim Bewegungsapparat	4
1.2.4	Beschreibung der Relativbewegungen beim Bewegungsapparat	5
1.2.5	Gewichtsanteile des menschlichen Körpers	7
1.3	Aufgaben der Biomechanik	8
1.4	Einteilung der Biomechanik	8
1.5	Spezielle Fragestellungen der Biomechanik	9
1.6	Schwerpunkte und Inhalte des Buchs	13
	Literatur zu Kapitel 1	14
2	Statik des Stützapparates	15
2.1	Kräfte und ihre Wirkungen	15
2.1.1	Äußere Kräfte, wirkende Lasten	16
2.1.2	Reaktionskräfte und innere Kräfte	21
2.1.3	Axiome der Statik	22
2.1.4	Zerlegung einer Kraft in verschiedene Richtungen	25
2.1.5	Zerlegung einer Kraft in Komponenten	26
2.1.6	Rechnerische Ermittlung der resultierenden Kraft eines ebenen Kräftesystems	27
2.1.7	Rechnerische Ermittlung der resultierenden Kraft eines räumlichen Kräftesystems	29
2.2	Momente und ihre Wirkungen	31
2.2.1	Moment einer Kraft	31
2.2.2	Vektordarstellung eines Moments	32
2.2.3	Ermittlung des Moments einer ebenen Kräftegruppe	33
2.2.4	Ermittlung des Moments einer räumlichen Kräftegruppe	35
2.2.5	Moment eines Kräftepaars	36
2.3	Gleichgewichtsbedingungen	37
2.3.1	Gleichgewichtsbedingungen für ebene Probleme	37
2.3.2	Gleichgewichtsbedingungen für räumliche Probleme	38
2.4	Schwerpunkt	39
2.4.1	Schwerpunkt eines Körpers	39
2.4.2	Schwerpunkt des Menschen bei verschiedenen Körperhaltungen	41
2.4.3	Schwerpunkte von Flächen	43
2.5	Bewegungsapparat als mehrteilige Struktur	46
2.5.1	Passiver Bewegungsapparat	46
2.5.2	Aktiver Bewegungsapparat	46
2.5.3	Grundstrukturen der Statik	47
2.5.4	Gelenke	49

2.6	Wechselwirkung des Bewegungsapparats mit der Umgebung	50
2.6.1	Grundlegende Lagerungsarten der Technischen Mechanik	50
2.6.2	Freiheitsgrade, stabile Lagerung und statische Bestimmtheit von Tragwerken und Körpern	52
2.6.3	Stützen und Halten beim menschlichen Bewegungsapparat	53
2.6.4	Haftung, Haftreibung	54
2.6.5	Gleitreibung	56
2.7	Bestimmung von Reaktions- und Kontaktkräften bei einteiligen Systemen	57
2.7.1	Abstrahieren des Systems und Freischnitt	57
2.7.2	Ermittlung der Auflagerreaktions- bzw. Haltekräfte mittels der Gleichgewichtsbedingungen	58
2.8	Bestimmung von Reaktions- und Zwischenreaktionskräften bei mehrteiligen Systemen	59
2.8.1	Freiheitsgrade, stabile Lagerung und statische Bestimmtheit mehrteiliger Systeme	59
2.8.2	Freischnitt des Gesamtsystems	61
2.8.3	Freischnitt von Teilsystemen	61
2.8.4	Ermittlung von Reaktions- bzw. Kontaktkräften und Gelenkkräften	61
2.8.5	Hypothesen zur Berechnung von Stütz- und Haltekräften beim menschlichen Bewegungsapparat	62
2.9	Bestimmung von inneren Kräften, Schnittgrößen	63
2.9.1	Schnittprinzip nach EULER/LAGRANGE	63
2.9.2	Ermittlung der Schnittgrößen	64
2.10	Standfläche und Standsicherheit	75
2.10.1	Definition der Standfläche	75
2.10.2	Standsicherheit	76
2.11	Räumliche Kräftesysteme	77
	Literatur zu Kapitel 2	78
3	Festigkeit des Stütz- und Bewegungsapparats	79
3.1	Statik, Elastostatik, Festigkeitslehre	79
3.1.1	Statik	79
3.1.2	Elastostatik	79
3.1.3	Festigkeitslehre	79
3.2	Belastungs- und Verformungsarten	80
3.3	Spannungen	81
3.3.1	Beanspruchung durch Normalkräfte bei Zugbelastung	81
3.3.2	Beanspruchung durch Normalkräfte bei Druckbelastung	83
3.3.3	Beanspruchung durch Normalkräfte, Querkkräfte und Biegemomente	84
3.3.4	Beanspruchung durch Torsionsmomente	87
3.4	Verformungen	88
3.4.1	Verformungen bei einachsigen Zug	89
3.4.2	Verformungen durch Schubbelastungen	90
3.4.3	Allgemeine Formänderungen: Verzerrungen	90
3.4.4	Stoffgesetze	91
3.4.5	Längenänderungen und Federkonstanten von Seilen und Stäben	92
3.4.6	Durchbiegungen von Balken	93
3.4.7	Verdrehungen infolge Torsionsbelastungen	94

3.5	Kombinationen von Belastungen	96
3.5.1	Überlagerungen von Normalspannungen	96
3.5.2	Überlagerung von Normal- und Schubspannungen	96
3.6	Federschaltung elastischer Systeme	106
3.6.1	Reihenschaltung elastischer Systeme	107
3.6.2	Parallelschaltung elastischer Systeme	107
	Literatur zu Kapitel 3	108
4	Kinematik und Kinetik der Bewegungen	109
4.1	Idealisierungen	109
4.1.1	Massenpunkt	109
4.1.2	Massenpunktsystem	110
4.1.3	Starrer Körper	110
4.2	Einteilung der Bewegungen	111
4.3	Kinematik des Massenpunktes	111
4.3.1	Bewegungsbahn	111
4.3.2	Geschwindigkeit	112
4.3.3	Beschleunigung	113
4.3.4	Geradlinige Bewegung	114
4.3.5	Bestimmung von Geschwindigkeit und Beschleunigung aus bekannter Weg-Zeit-Beziehung	114
4.3.6	Bestimmung von Geschwindigkeit und Weg aus gegebener Beschleunigung	118
4.4	Kinematik des starren Körpers	126
4.4.1	Freiheitsgrade eines starren Körpers	126
4.4.2	Translation	127
4.4.3	Rotation	128
4.5	Kinetik des Massenpunktes	130
4.5.1	Axiome der Dynamik	131
4.5.2	NEWTONsches Grundgesetz in kartesischen Koordinaten	132
4.6	Kinetik des starren Körpers	132
4.6.1	NEWTONsches Grundgesetz für den starren Körper bei Translation, Schwerpunktsatz	132
4.6.2	NEWTONsches Grundgesetz für starre Körper bei Rotation	133
4.6.3	Massenträgheitsmomente einzelner starrer Körper	134
4.6.4	NEWTONsche Grundgleichungen für allgemeine ebene Bewegungen ...	135
4.6.5	Anwendungen der NEWTONschen Grundgleichungen	135
4.6.6	Impulssatz	141
4.6.7	Arbeit, Leistung, Energie	141
	Literatur zu Kapitel 4	146
5	Zusammenhang zwischen Aufbau und Funktion des Bewegungsapparats	147
5.1	Aufbau und Eigenschaften der Knochen	147
5.1.1	Funktion der Knochen	147
5.1.2	Mikroskopischer Aufbau der Knochen	148
5.1.3	Aufbau der Kortikalis	150
5.1.4	Aufbau der Spongiosa	150

5.1.5	Makroskopischer Aufbau der Knochen	151
5.1.6	Formen von Knochen	152
5.1.7	Materialeigenschaften der Knochensubstanzen	153
5.2	Anatomie und Funktionsweise der Gelenke	158
5.2.1	Einteilung der Gelenke	158
5.2.2	Aufbau und Einteilung der Synarthrosen	158
5.2.3	Aufbau der Diarthrosen	159
5.2.4	Einteilung der Diarthrosen oder echten Gelenke	160
5.3	Aufbau und Eigenschaften der Bänder und Sehnen	162
5.3.1	Funktion der Bänder	163
5.3.2	Funktion der Sehnen	164
5.4	Aufbau und Eigenschaften der Muskeln	165
5.4.1	Einteilung der Muskulatur	166
5.4.2	Funktion der Skelettmuskeln	166
5.4.3	Aufbau der Skelettmuskeln	167
5.4.4	Formen der Skelettmuskeln	168
5.4.5	Zusammenhang zwischen Muskelfaseranordnung und Leistung der Skelettmuskeln	170
5.5	Aufbau und Funktionsweise des Kniegelenks	175
5.5.1	Anatomie des Kniegelenks	175
5.5.2	Menisken des Kniegelenks	176
5.5.3	Bandapparat des Kniegelenks	177
5.5.4	Kinematik des Kniegelenks	178
5.5.5	Belastung des Kniegelenks	179
5.5.6	Alternative Betrachtung der Biomechanik des Kniegelenks	180
5.6	Anpassung des Bewegungsapparats an die mechanische Belastung	190
5.6.1	Gestaltung der Lasteinleitung in die tragenden Elemente	190
5.6.2	Anpassung der Gestalt eines tragenden Elements an die typische Belastung	196
5.6.3	Anpassung der Werkstoffeigenschaften an die lokale Beanspruchung	203
	Literatur zu Kapitel 5	205
6	Finite-Elemente-Analysen des Bewegungsapparats	209
6.1	Prinzipielles Vorgehen bei Finite-Elemente-Berechnungen	209
6.2	Modellerstellung und Festlegung der Randbedingungen	210
6.3	Modellierung der Materialkennwerte	211
6.4	Erstellung von FE-Netzen aus CT-Daten	212
6.4.1	Allgemeine Bemerkungen zu CT-Daten	213
6.4.2	Ermittlung der Knochengometrie aus radiologischen Bilddaten	214
6.4.3	^{FAM} GoFEG: Geometrieorientierte FE-Netzgenerierung	215
6.4.4	^{FAM} VoFEG: Voxolorientierte FE-Netzgenerierung	217
6.5	Beispiele für FE-Spannungsanalysen	219
6.5.1	Analyse für ein Kniegelenk	219
6.5.2	Analyse für ein Hüftgelenk	223
6.6	Simulation der Kniebeuge mit FE-Kontaktanalysen	225
6.7	Bewegungsstudien am ebenen Kniemodell	227
6.7.1	Modellbildung	227
6.7.2	Definition der Randbedingungen	230

6.7.3	Durchführung der FE-Analyse	231
6.7.4	Ergebnisse der FE-Analysen mit ebenem Kniemodell	232
6.8	Bewegungsstudien am räumlichen Kniemodell	238
6.8.1	Modellbildung	239
6.8.2	Definition der Randbedingungen	240
6.8.3	Durchführung der FE-Analyse	241
6.8.4	Auswertung der Ergebnisse	241
6.8.5	Entwicklung eines räumlichen Kniegelenkmodells auf der Basis der Hüllflächentheorie	244
	Literatur zu Kapitel 6	248
7	Anwendungsbeispiele der Biomechanik in Sport und Medizin	251
7.1	Ausgewählte Anwendungsfälle aus dem Bereich des Sports	251
7.1.1	Wurf- und Stoßbewegungen in der Leichtathletik	251
7.1.2	Fahrradfahren bei Windstille, Rücken- und Gegenwind	254
7.2	Untersuchung von Heilungsmaßnahmen sowie von Bewegungs- und Heilungshilfen	261
7.2.1	Betrachtung von REHA-Maßnahmen nach Implantation eines künstlichen Hüftgelenks	261
7.2.2	Knochenbrüche und ihre Heilung	267
7.2.3	Entwicklung eines künstlichen Kniegelenks	273
7.2.4	Präoperative Studien für einen Unterarm	277
	Literatur zu Kapitel 7	280
	Sachwortverzeichnis	282