

Biomechanik – Fragenkatalog

(Es handelt sich mehr um eine Art Zusammenfassung → die Fragen beziehen sich auch auf Themen, die in der Form nicht auswendig gelernt werden müssen)

1. Einführung

- (1.1) Definition: Biomechanik
- (1.2) Aufgaben der Biomechanik
- (1.3) Historischer Überblick
- (1.4) Modellierung

2. Skelett

- (2.1) Modelle, Daten
- (2.2) Kinematik von Starrkörpermechanik
- (2.3) Kinetik
- (2.4) Antrieb in Gelenken

3. Gelenke

- (3.1) Kinematik, Kopplung von unterschiedlichen Bewegungen
- (3.2) Nachgiebigkeiten im Gelenk
- (3.3) Anpassung von Gelenkfunktionen

4. Knochen

- (4.1) Knochenarten, Strukturen
- (4.2) Mechanische Eigenschaften und Zeitverhalten
- (4.3) Modellierung

5. Weichgewebe

- (5.1) Wichtige Molekülketten
- (5.2)
- (5.3) Viskoelastische Modelle
- (5.4) Knorpel, Bänder, Sehnen

6. *Biokompatible Werkstoffe (nicht relevant)*

7. Muskeln

8. Kreislauf

- (8.1) Exkurs in die Kontinuumsmechanik
- (8.2) Einteilung, Klassifizierung von Strömungen
- (8.3) Abschätzungen durch vereinfachte Betrachtung
- (8.4) Ähnlichkeitsgesetze
- (8.5) Blutrheologie

Kapitel 1: Einführung (Vorlesung 1)

1. Was versteht man unter Biomechanik?

Mechanische Beschreibung und Erklärung von Ursachen der Bewegungen

2. Was sind die Aufgaben der Biomechanik?

Erkennen der natürlichen Prozesse und Funktionen → durch Anwendung der physikalischen Grundlagen, Modellbildung (mathematische Beschreibung) und Identifikation durch Bestimmung der Modellparameter

3. Welche Formen der Modellierung gibt es?

Reduktion (bestimmter Bereiche und Effekte) und *Abstraktion* (Vereinfachung und Modellannahmen) → Nutzung: abhängig von Fragestellung

4. Welche Kriterien muss ein Modell erfüllen?

So einfach wie möglich, so komplex wie möglich; konform zum Lösungsverfahren
(→ iterativer Prozess: zunehmende Verfeinerung)

5. Welche Annahme trifft man bei Mechanischen Systemen?

„Eigenschaften“ (z.B. Massenteilchen, Nachgiebigkeiten) werden als verschmiert betrachtet (Homogenisierung)

6. Für welche Strukturen ist die Homogenisierung nicht in jedem Fall zulässig?

Bei „Bälkchenstruktur“: Muskeln, Haut, Blutströmung, Wärmeaustausch, Nervenreize

7. Nenne 3 Modellierungsmethoden.

- | | |
|----------------------------|---|
| 1) kontinuierliche Systeme | → Anwendung nur für einfache Geometrien (partielle DGL) |
| 2) Finite Elemente Systeme | → Diskretisierung bereits in der Modellierungsphase (DGL) |
| 3) Mehrkörpersysteme | → Diskretisierung bereits in der Modellierungsphase (DGL) |

8. Wie bezeichnet man die Ebenen am Körper?

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1) Frontalebene (y-z-Ebene) | → Einteilung in vorderen und hinteren Teil |
| 2) Medianebene (x-y-Ebene) | → Symmetrieebene: Einteilung in links und rechts
→ Sagittalebene: parallel zu Medianebene |
| 3) Transversalebene (x-z-Ebene) | → Horizontalebene: Einteilung in oben und unten |

9. In welchem Bezug stehen „median“ und „lateral“ zur Medianebene?

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| „median“: mittelwärts | → zur Medianebene hin |
| „lateral“: seitwärts | → von der Medianebene weg |

10. Was versteht man unter „proximal“ und „distal“?

„proximal“ → rumpfnah, „distal“ → von Rumpfmittle entfernt

11. Was versteht man unter „cranial“ und „caudal“?

„cranial“ → kopfwärts, „caudal“ → schwanzwärts

12. Was versteht man unter „anterior“, „posterior“, „inferior“ und „superior“?

„anterior“: vorderer, „posterior“: hinterer, „inferior“: unterer, „superior“: oberer

13. Was versteht man unter Abduktion und Adduktion?

Abduktion: Abspreizen eines Gliedes von Körpermitte nach außen

Adduktion: Heranbringen eines Gliedes zur Körpermitte

14. Was versteht man unter Rotation, Pronation und Supination?

Rotation:	Drehbewegung um die Längsachse eines Gliedes
Pronation:	Drehbewegung der Hand/Fuß bei gleichzeitiger Hebung des äußeren und Senkung des inneren Handballens/Fußrandes
Supination:	Drehbewegung der Hand/Fuß bei gleichzeitiger Hebung des inneren Handballens/Fußrandes

15. Was ist der Unterschied zwischen Flexion und Extension?

Flexion:	Beugebewegung
Extension:	Streckbewegung in einem Gelenk

16. Was versteht man unter Dorsal-, Plantar- und Volarflexion?

Dorsalflexion:	Hebung der Fußspitze/Hand in Richtung Fuß-/Handrücken
Plantarflexion:	Senken der Fußspitze zur Sohle
Volarflexion:	Beugen der Hand in Richtung Innenfläche (auch: Volar-Palmar-Flexion)

17. Welche Körperteile gehören zum Stamm, Rumpf und zu den Extremitäten?

Stamm:	Kopf, Hals, Rumpf
Rumpf:	Brustkorb, Bauch, Becken
Extremitäten:	Oberarm, Unterarm, Hand, Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß

Kapitel 2: Skelett (Vorlesungen 2-7)

(2.1) Modelle und Daten

1. **Definiere Freiheitsgrade. Wie viele hat ein freier Körper in der Ebene bzw. im Raum?**
Zahl der notwendigen kinematischen Angaben zur eindeutigen Beschreibung von Lage und Orientierung des Körpers.
2D: 3 Freiheitsgrade (2 Translation, 1 Rotation)
3D: 6 Freiheitsgrade (3 Translation, 3 Rotation)
2. **Wie berechnet man die Freiheitsgrade (2D,3D)?**
 $f=3n-a$ bzw. $f=6n-q$
3. **Was ist eine holonome und was eine nicht-holonome Bindung?**
Holonom (q) schränkt Lage und Geschwindigkeit ein; Nichtholonom schränkt nur Geschwindigkeit ein
4. **Welcher Zusammenhang besteht zwischen Lage, Geschwindigkeit und Beschleunigung?**
Lage: x , Geschwindigkeit: 1. Ableitung nach t , Beschleunigung: 2. Ableitung nach t
5. **Wie sind die lineare Feder- und Dämpferkraft allgemein definiert?**
 $F_c = -cx$ (c : Federkonstante) $\rightarrow$ proportional zum Ort
 $F_d = -d\dot{x}$ (d : Dämpfungskonstante) $\rightarrow$ proportional zur Geschwindigkeit
 $\rightarrow$ wirken immer entgegen der Bewegung!
6. **Wie berechnet sich die Federkraft in der Ruhelage?**
 F_{c0} : Berechnet sich aus Gleichgewichtsbetrachtung von Freischnitt
7. **Wie lautet der Impulssatz (Newtonsche Gleichung)?**
 $m\ddot{x} = \text{Summe}(F) (= F_c + F_d + F_e)$ [F_e : Erregerkraft]
8. **Wie lautet die allgemeine Bewegungsgleichung? (für F_c , F_d und F_e)**
$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \nu_0^2 x = \frac{F_e}{m}$$
9. **Welcher Sonderfall gilt für ein freies/autonomes System?**
Erregerkraft ist 0 ($F_e = 0$)
10. **Was ist der Unterschied zwischen Zwangs- und eingeprägten Kräften?**
Zwangskraft: Kraft, die bewirkt, dass Körper sich aus bestimmtem Zustand nicht herausbewegen kann ($\rightarrow$ Auflagerkräfte)
Eingeprägte Kraft: Äußere Kraft, bei der Größe und Richtung physikalisch festgelegt sind
11. **Handelt es sich bei der Gewichtskraft um eine Zwangs- oder eine eingeprägte Kraft?**
Eingeprägte Kraft
12. **Wie ist die Eigenfrequenz definiert? (ungedämpft/schwach gedämpft)**
Ungedämpft: $\nu_0 = (c/m)^{1/2}$
Schwach gedämpft: $\nu = (\nu_0^2 - \delta^2)^{1/2}$
13. **Wie ist das Lehrsche Dämpfungsmaß definiert?**
 $D = \delta$ (Dämpfungskonstante) / d_k (kritische Dämpfungskonstante)

14. Wie unterscheidet man zwischen starker und schwacher Dämpfung? Welche Systeme sind schwingungsfähig?

Stark: $D > 1$

Grenzfall: $D = 1$

Schwach: $D < 1$: $0 < \delta^2 < d_k^2 \rightarrow$ schwingungsfähig

15. Was sind anthropometrische Punkte?

Grenzen zwischen (Körper-)Segmenten

16. Was gehört alles zu der „Messung der anthropometrischen Daten“?

Schwerpunkte, Massen, Massenverteilung

17. Wie berechnet man Masse und Länge eines Segmentes aus den anthropometrischen Daten?

m (Segmentmasse) = M (Gesamtmasse) $\times$ „Verhältnis“

l (Segmentlänge) = H (Gesamtlänge) $\times$ „Verhältnis“

18. Wie berechnet man den Schwerpunkt allgemein und für einen zusammengesetzten Körper?

Allgemein: $r_{s,i} = \frac{1}{m} \int_{K,i} r \, dm$

Zusammengesetzt: $r_s = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n r_{s,i} * m_i$

19. Was versteht man unter dem Trägheitstensor? Wie ist er Bezüglich O definiert?

Eigenschaft eines starren Körpers, beschreibt Trägheit gegenüber Änderungen seines Drehimpulses, hier: Trägheitstensor für ein System von Massepunkten:

20. Was gibt der Satz von Steiner an? Wofür gilt er?

Berechnung des Trägheitsmomentes eines starren Körpers für parallel verschobene Drehachsen
Gilt zwischen 2 körperfesten Punkten Q und S

21. Was gibt der Satz von Steiner an? Wofür gilt er?

Berechnung des Trägheitsmomentes eines starren Körpers für parallel verschobene Drehachsen
gilt zwischen 2 körperfesten Punkten Q und S. Vom Schwerpunkt weg: + Term, zum Schwerpunkt hin – Term.

$$J_O = \int_K r^2 dm = \sum_{i=1}^n J_{i,S} = \sum_{i=1}^n J_{i,S} + r_{Si}^2 m_i$$

22. Was ist der Trägheitsradius?

Abstand von der gegebenen Drehachse, in dem man die punktförmig gedachte Masse m des Körpers anbringen muss, um das Trägheitsmoment J zu erhalten (Einheit: [m])

$$k = \sqrt{\frac{J_{O,zz}}{m}}$$

23. Was gibt der Drallsatz (Eulersche Gleichung) an? Was muss beachtet werden?

$$J_{O,zz} \ddot{\phi} = \sum M_O \quad \ddot{\phi} + 2\delta\dot{\phi} + \nu_0^2\phi = \frac{M_e}{J_{O,zz}}$$

Physikalisches Gesetz: besagt, dass zur Änderung des Drehimpulses eines Körpers ein Drehmoment an ihm aufgebracht werden muss

→ *Bezugspunkt* muss beachtet werden: günstige Punkte, so dass möglichst viele Reaktionskräfte herausfallen (körperfeste Fixpunkte), Vorsicht bei bewegten Bezugspunkten

24. Was versteht man unter dem polaren Flächenträgheitsmoment?

$$I_p = \int_A r^2 dA$$

Es gilt: $I_p = I_y + I_z$ (da: $r^2 = y^2 + z^2$)

25. Wann nutzt man den Satz von Huygens-Steiner?

Wie ist er bezüglich der Flächenträgheits-momente definiert?

Bei *Parallelverschiebung* mit $y^* = y-a$ und $z^* = z-b$

26. Was kann man aus dem Satz von Steiner folgern?

Flächenmomente sind für Achsen durch Schwerpunkt minimal

27. Wie verändert sich das polare Flächenmoment gegenüber Drehungen des Bezugssystems?

Gar nicht → I_p ist nur abhängig von r

(2.2) Kinematik von Starrkörpersystemen

1. Welche Art von Punkten kann man (in einem KOS) unterscheiden?

- 1) Fixpunkte: fixierte Systeme, Inertialsysteme
- 2) beliebig bewegte Punkte: mitbewegtes KOS
- 3) körperfeste Punkt: Schwerpunkte, Gelenkpunkte...

2. Wie ist der menschliche Körper als „Starrkörpersystem“ einzuordnen?

Kein Starrkörper, aber aufgeteilt in Starrkörpersegmente (Modell)

3. Welche repräsentativen Punkte und Achsen des Körpers gibt es? Wie verändert sich das KOS?

Repräsentative Punkte: Schwerpunkte, Gelenkpunkt der Segmente:
Repräsentative Achsen: Stehen: y-Achse, z-Achse; Sitzen: Schräge (?)
→ mitbewegtes KOS (Hüfte, Schultergürtel)

4. Welche Vektorarten gibt es (bzgl. der Kinematik)?

Orts-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Verschiebungsvektor

5. Wie werden ein Koordinatensystem K und ein Vektor a_k angegeben?

$\{O; x, y, z\}$ und $a_k = [a_x, a_y, a_z]$

6. Was wird für eine eindeutige Lagebeschreibung eines Körpers bei einer Rotation um einen festen Punkt benötigt? Wie wird die endliche Drehung gekennzeichnet?

3 voneinander unabhängige Winkel: Drehmatrix

7. Was ist der Unterschied zwischen Kardan- und Eulerwinkel?

Kardan: XYZ/123 → Alpha, Beta, Gamma

Euler: ZXZ/313 → Psi, Theta, Phi

→ daraus folgen unterschiedliche Drehmatrizen und Winkelgeschwindigkeitsvektoren

8. Wann werden Euler und Kardan genutzt? Wofür ist das wichtig?

Euler: Kreiseltheorie

Kardan: technische Probleme, Luftfahrt

→ Wechsel der Beschreibungsart: Vermeidung von Singularitäten und Gewährleistung der Eindeutigkeit der Beschreibung

9. Definiere Geschwindigkeit:

Zeitliche Änderung des Ortes (Translations-) oder der Orientierung (Rotationsgeschwindigkeit)

10. Was ist der Unterschied zwischen Absolut- und Relationsgeschwindigkeit?

Absolut: Änderung eines Ortsvektors gegen Inertialsystem

Relativ: Änderung eines Ortsvektors gegen bewegtes KOS

11. Wie wird die Absolutgeschwindigkeit berechnet?

Einfache Rechenoption: Ableitung der Koordinaten (Alle Koordinaten sind in I , Änderung gegen I)

12. Wie wird die Relativgeschwindigkeit berechnet?

Mehrere Koordinaten:

Änderung gegenüber (i) = Relativgeschw. gegen (i) = Ableiten der Koordinaten für ${}_{(i)}r$

13. Was ist das Ziel der Homogenen Koordinatentransformation?

Translation und Rotation zusammenfassen

14. Was versteht man unter homogenen Koordinaten?

Einbetten eines Vektors in einen Vektor einer höheren Dimension

$P = (x, y, z)$: *homogenen* Koordinaten $[w, x_h, y_h, z_h]$ mit $w \neq 0$ (hier: $w=1$)

15. Welche Anwendungsbereiche für Koordinatentransformation in der Biomechanik gibt es?

Mehrkörpersystem mit Kettenstruktur und mit Schleifen

16. Was versteht man unter einer Kettenstruktur?

Ein Mehrkörpersystem, das durch die Verbindung von Einzelkörpern mit Gelenken entsteht.

17. Welche „Zwangsbedingung“ muss eine Schleife erfüllen?

Algebraische „Schließbedingung“ → beide Pfade müssen zum selben Ziel führen

18. Was versteht man unter einer Bindung?

Einschränkung der Bewegungsmöglichkeiten

19. Was ist der Unterschied zwischen einer holonomen und einer nicht holonomen Bindung?

Holonom: Schränken Lage und Geschwindigkeit ein (q)

Nicht holonom: nur Geschwindigkeit ist eingeschränkt

(Bsp.: Schlittschuh: keine Geschwindigkeit quer zur Hufe möglich)

20. Was wird zur eindeutigen Beschreibung eines holonomen Systems gebraucht?

f ($=6n-q$) verallgemeinerte Koordinaten (Bsp.: nur ein Freiheitsgrad → Φ , x oder y reichen aus)

21. Was sind Vorwärts- und Rückwärtskinematik?

Vorwärts: direkte Kinematik → $\underline{z} = \underline{f}(\underline{q})$ [f : im Allgemeinen nicht lineare Vektorfunktion]

Rückwärts: inverse Kinematik → $\underline{q} = \underline{f}^{-1}(\underline{z})$ [eindeutig lösbar, wenn $\underline{z}$ vollständig bekannt]

(2.3) Kinetik

1. Was versteht man unter Kinetik? Was ist der Unterschied zur Kinematik

Teilgebiet der technischen Mechanik → beschreibt Änderung der Bewegungsgrößen (r , v , a) unter Einwirkung von Kräften und Berücksichtigung der Masse der bewegten Körper
<-> Kinematik: keine Berücksichtigung der Kräfte/Massen

2. Welche „Kräfte“ und „Momente“ treten im menschlichem Körper auf?

Nur Zugkräfte in Bändern und Muskeln an einem Element/Gelenk
→ mehrere Muskeln beteiligt, arbeiten teilweise gegeneinander: Koordinaten notwendig, Bewegungen können „gesperrt“ werden (evtl. durch interne Arbeit)

3. Welche Aufgabe hat die Inverse Kinetik? Was ist das Problem in der Biomechanik?

Aus vorgegebener Bewegung eingeprägte Kräfte bestimmen
→ kinematische Überbestimmtheit mit überzähligen Freiheitsgraden (überzählige Muskeln)

(2.4) Antrieb in Gelenken

1. Welche unterschiedlichen Modellierungsvarianten für den Antrieb in Gelenken gibt es?

- 1) Pro Drehfreiheitsgrad ein eingprägtes Moment
→ idealisierte Vorstellung (geeignet für Gelenkbewegungen)
- 2) Kräfte aus Muskeln gemäß Anatomie → Anzahl Muskeln, geometrische Anordnung

2. Welche Systeme unterscheidet man beim Modell „Einzelmomente pro Drehfreiheitsgrad“?

- 1) Vorwärtskinematik: Bewegung durch vorgegebene Gelenke eindeutig beschreibbar (ohne/mit Schleifen)
- 2) Vorwärtskinetik: -II-
- 3) Rückwärtskinematik: Gelenke bei Vorgabe von Endpunktbewegung nicht eindeutig bestimmbar (ohne/mit Schleifen)
- 4) Rückwärtskinetik: ohne Schleife: Momente bei vorgegebener Bewegung bestimmbar
mit Schleife: Momente nicht eindeutig bestimmbar

3. Wie hängen die Berechnung von Momente und Bewegungen zusammen?

Es gilt: Bewegung kann aus Moment berechnet werden, Momente aber nicht aus Bewegungen!

4. Wie misst man Aufstandskräfte?

Kraftmessplattverfahren (Elektroden umgeben von elastischer Zwischenschicht):
Änderung der Kapazität oder Widerstand → Maß für Kraft → Signale von Einzelzellen:
Gesamtkraft N , Aufstandspunkt, Abstand a

5. Was ist der Unterschied zwischen statischem und dynamischem Gleichgewicht?

Statisch: Aufstandspunkt und Schwerpunkt liegen auf einer Senkrechten $x_{sp}=a$
 $X''=x'=0$
Dynamisch: Stabilisierung durch Moment („Muskelmoment“ möglich)

6. Für welche Punkte liegt ein stabiles dynamisches Gleichgewicht vor?

M ungleich 0 ; Eigenfrequenz reell

7. Was gilt für die Bewegung von Muskeln?

Nur Zugkräfte, an jeder Bewegung mind. 2 Muskeln beteiligt, können über mehrere Gelenke hinweg wirken → Kräfte/Momente in mehrerer Muskeln

8. Was passiert, wenn beteiligte Muskelzüge nicht richtig koordiniert sind?

Hohe Gelenkkräfte, hohe Muskelkräfte, hoher Energieverbrauch

9. Wie lassen sich Gelenkkräfte beim Menschen berechnen?

→ nicht eindeutig bestimmbar, da Kontaktkraft im Gelenk nicht eindeutig bestimmbar
Gemittelt: Flächenpressung $\Sigma = (\text{Resultierende Kraft}) / \text{Gelenkfläche}$

Kapitel 3: Gelenke (Vorlesung 8-9)

1. Weshalb sind Gelenke „nicht ideal“ im Sinne der Mechanik?

- 1) geometrisch: Oberflächen sind meist nicht kongruent (Punkt- oder Linienberührung), oft Rotation und Translation gemischt
- 2) nachgiebig: elastische Gelenkschalen
- 3) reibungsbehaftet: *in Biomechanik untergeordnet*

2. Welche Gelenkarten kann man unterscheiden?

Fibrose (Verbund mittels Gewebe), knorpelige (Knorpel) und synoviale Gelenke (Bänder)

3. Was sind Eigenschaft und Beispiele für fibrose Gelenke?

Dienen der Stabilisierung, lassen keine/sehr kleine Bewegungen zu
Bsp.: Schienbein, Schädeldecke

4. Was sind Eigenschaft und Beispiele für knorpelige Gelenke?

Dienen der Stabilisierung, lassen geringe Bewegungen zu
Bsp.: Rippenbereich, Wirbelsäule

5. Was sind Eigenschaft und Beispiele für synoviale Gelenke?

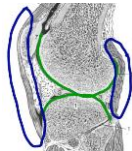
Dienen der Bewegung, kleine Translation und große Rotationen
Bsp.: Knie, Hüfte

6. Aus welchen Elementen ist ein synoviales Gelenk aufgebaut?

Knochen, knorpelige Gelenkschale, Bänder, Muskeln
→ Elemente sind stark miteinander verkoppelt → komplexe Wechselwirkung

7. Wofür dienen die Bänder im Kniegelenk?

Knochen: zwei konvexe Oberflächen → Bänder sind zur Stabilisierung notwendig



8. Welche Elemente gehören zum komplexen Bänderapparat des Knies?

Kreuzbänder, Seitenbänder, Meniskus, Muskeln



9. Was versteht man unter „joint adaption“?

Bei Ausfall/Veränderung eines Elements (oder einem Teil davon) wird das mechanische Verhalten verändert und die anderen Elemente können sich anpassen

10. Was passiert bei einer Katze (Beispiel), wenn man ihr vorderes Kreuzband durchtrennt?

Kinematik verändert: stärkere Beugung beim Laufen, keine komplette Streckung beim Stehen
 Kinetik verändert: abgeschwächte Kräfte zwischen Fuß und Boden

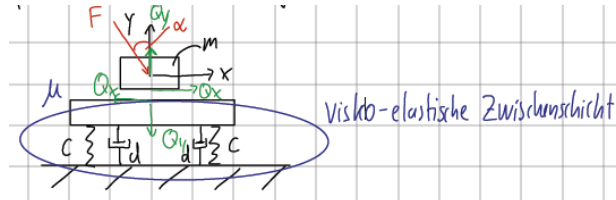
11. Welche mechanischen und biologischen Veränderungen treten bei dem Beispiel auf?

Mech.: Schubladeneffekt: Steifigkeit gegen Verschiebungen des Unterschenkels nach vorne/hinten ist geringer
 Steifigkeit des Verdrehens des Unterschenkels nach Innen ist geringer
 Steifigkeit insgesamt ist geringer

Biologisch: Wachstumsprozesse durch geänderte Gelenkräfte
 → Verdickung der Knorpelschichten (Knorpel wird nachgiebiger)
 → Verdickung der Seitenbänder (insbesondere des Inneren)

12. Wie kann man ein nicht-ideales Gelenk darstellen?

Durch eine Visko-elastische Zwischenschicht



13. Welcher Unterschied besteht zwischen „Gleiten“ und „Haften“ bezüglich der Kräfte (Q_x , Q_y)?

Gleiten: eingeprägte Kraft

$$Q_x = -\mu_{\text{Gleit}} \cdot \text{sign}(\dot{x}) \cdot |Q_y|$$

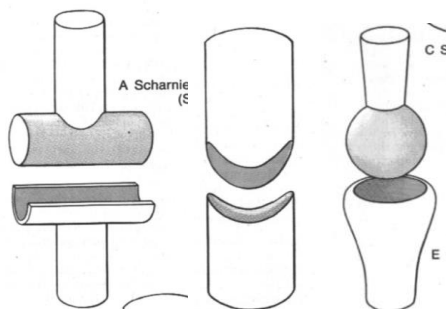
Haften: Reaktionskraft

$$Q_x \leq \mu_0 \cdot |Q_y|$$

14. Wie viele Freiheitsgrade haben die Gelenke von Knie, Ellenbogen, Schultergelenk und Hüfte?

Zu welcher Klasse gehören sie und wie kann man sie (sehr stark) vereinfacht darstellen?

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 1) Scharniergelenk – 1 Freiheitsgrad: | Knie |
| 2) Sattelgelenk – 2 Freiheitsgrade: | Ellenbogen |
| 3) Kugelgelenk – 3 Freiheitsgrade: | Schultergelenk, Hüfte |



15. Wodurch wird die Wertigkeit von Gelenken/Lagern bestimmt?

Anzahl der Bindungen (Zwangs- oder Reaktionskräften) = Anzahl der „gesperrten Bewegungen“

16. Was ist die Eigenschaft von idealen Zwangskräften?

Leisten im Gegensatz zu eingepprägten Kräften keine Arbeit an der Bewegung

17. Was muss bei der Modellbildung von biologischen Gelenken beachtet werden?

Oft liegen alle 6 Bewegungsmöglichkeiten vor (mehr oder weniger stark)

→ Je nach Signifikanz der Bewegung bzw. Zielstellung der Aufgabe solche Bewegungen weglassen, die vernachlässigbar klein oder unbedeutend sind.

18. Welche simultan geregelten Muskelaktivitäten gibt es?

Agonist und Antagonist, Agonist oder Antagonist

19. Welche kinematischen Bindungen unterscheidet man? Nenne Beispiele.

1) skleronome Bindungen: keine explizite Zeitabhängigkeit

Bsp.: aufrechtes Stehen, fixe Haltung beim Turmspringen

2) rheonome Bindungen: Zeit taucht explizit auf

Bsp.: vorgeschriebene Beuge- oder Streckbewegungen

20. Wieso sind Zwangskräfte bei makroskopische Betrachtungen nicht bestimmbar?

Wegen möglicher Verspannungen

21. Wann spielt die Nachgiebigkeit im Gelenk eine Rolle? Wann nicht?

Bei Betrachtung der Gelenkkräfte (Milderung von Stößen, Verteilung der Flächenpressung)

Spielt keine Rolle bei makroskopischen Betrachtungen

22. Was ist der Momentanpol?

Punkt (beim Rollen), der momentan in Ruhe ist

23. Welche Formen der Gelenkflächen gibt es?

1) lose-pached: Knochen weit entfernt (Knie)

2) close-pached: Knochen nah beieinander (Schulter, Hüfte)

Kapitel 4: Knochen (Vorlesungen 10-11)

1. Welche Funktion haben Knochen?

- 1) Stabilisieren den Körper (Stützskelett)
- 2) Übertragen Muskelkräfte (Arm, Bein...)
- 3) Schutz vor äußeren Einwirkungen auf Organe (Schädel, Brustkorb, Kniescheibe...)

2. Welchen sind die wichtigsten Kompositmaterialien des Knochens?

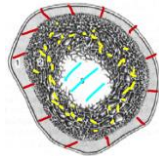
Mineralien (HAp), Wasser, Kollagen, Elastin

3. Welche Knochenformen unterscheidet man?

Lang, kurz, flach, lufthaltig; irregulär (z.B. Wirbel), sesamoid (z.B. Kniescheibe um Hebel zu vergrößern)

4. Welche Schichten sieht man bei einem Querschnitt durch ein Os longum?

- 1) **Rindenschicht** (Substantia compacta)
- 2) **Bälkchenstruktur** (Substantia spongiosa)
- 3) **Markhöhle** (Cavitas medullaris)



5. Wie sind die Kollagenfasern der äußeren Generallamelle ausgerichtet?

Richten sich nach Hauptspannungsrichtungen

6. Welche Knochenstrukturen kann man unterscheiden?

- 1) Geflechtknochen: Kollagenfibrillen (10-20mm lang) ungeordnet (z.B. bei Kallusbildung)
- 2) Lamellenknochen: Kollagenfasern geordnet

7. Was versteht man unter „Bone adaption“?

Veränderung des Knochens mit der Zeit

Alterung: Geflechtknochen → Lamellenknochen

8. Welche für die „Bone adaption“ relevanten Knochenzellen gibt es?

- 1) Osteoblasten (**b**auen): Knochenaufbauende Zellen (bone modelling)
- 2) Osteoclasten (**k**laue): Knochenabbauende Zellen (bone remodelling)

9. Welche Einflüsse haben die verschiedenen Formen der Belastung?

- 1) Unterbelastung: Knochenabbau
- 2) Physiologischer Belastungsbereich: Abbau und Aufbau ausgeglichen
- 3) Stärkere Belastung: Verstärkte Knochenbildung
- 4) Überlast: Geflechtknochenbildung

10. Wodurch kann Überlast auftreten?

- 1) Natürliche Struktur überlastet
- 2) geschwächte Struktur normal belastet, angerissener Knochen
- 3) degenerierter Knochen (Degenerationsbruch)
(Knochen mit Schiene, Implantate)

11. Was sagt das Wolffsche Gesetz aus? Ist es noch zeitgemäß?

„Knochenform wird durch statische Last beeinflusst“

→ Knochen baut sich auf und nimmt an Festigkeit zu, wenn er belastet wird. Wird der Knochen hingegen nicht oder nur wenig belastet, baut er sich ab

→ wurde inzwischen verfeinert (ist überholt)

12. Wozu dienen Piezoelemente?

Abbau von Spannungskonzentrationen (Kerbwirkung) → Brüche heilen schneller



13. Wann können sich die mechanischen Eigenschaften unterscheiden?

Von Mensch zu Mensch, von Knochen zu Knochen, von Ort zu Ort

14. Welche mechanischen Eigenschaften des Knochens müssen beachtet werden?

inhomogen (Mineralien), rheonom (zeitabhängig), elasto-plastisch, anisotrop (richtungsabhängig)

15. Wozu führt es, dass der Knochen rheonom ist?

Bruchspannung und E-Modul abhängig von Belastungsgeschwindigkeit: $\sigma_B, E \sim \dot{\epsilon}^{0,06}$

16. Wieso unterscheiden sich die Kennwerte von Knochen zu Knochen?

Material, Bauformen und Struktur der Elemente

17. Welcher allgemeine Zusammenhang besteht zwischen Zug- & Druckspannungen im Knochen?

$$\sigma_{B\text{Druck}} \approx 1,4 \sigma_{B\text{Zug}}$$

(Hohe Druckfestigkeit)

18. Was gilt für die Werte der Spongiosa im Vergleich zu den Werten der Kompakta?

Werte etwa eine Zehnerpotenz kleiner

19. Wodurch können die mechanischen Eigenschaften gemessen werden?

Zugversuche, Ultraschall

20. Was gilt für die Berechnung mehrachsiger Spannungszuständen und Dauerbruchverhalten?

Mehrachsig: besondere Anstrengungskriterien → Umrechnung von einachsig auf mehrachsig anders als bei technischen Werkstoffen

Dauerbruch: „bone modelling“

→ Vorsicht bei Anwendung gebräuchlicher Programmsysteme

21. Was muss bei der Modellierung des Knochens beachtet werden?

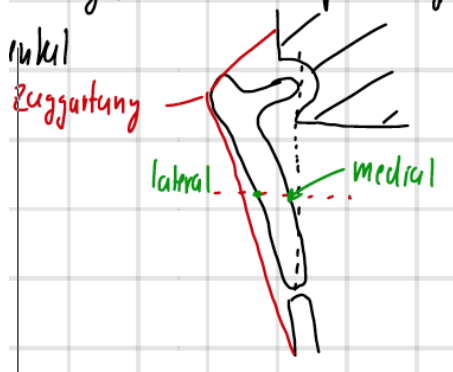
- Materialverhalten äußerst komplex
- unterschiedliche Angaben von Festigkeitswerten in der Literatur
- Unterscheidung zwischen Festigkeitsangaben
(Material: lokale Eigenschaften, Elemente: gesamter Knochen, Bänder, Muskeln)

22. Wozu führt eine Zuggurtung im Oberschenkel?

Reduktion des Biegemoments durch Vernetzung der Muskelaktivität und der Spannungen in den Knochen und Gelenken

Lateral (Zug): 690 → 80 MPa

Medial (Druck): 830 → 480 MPa



5. Kapitel: Weichgewebe (Vorlesungen 11-12)

1. Was bezeichnet man als Weichgewebe?

Fasern, die Wasser binden können

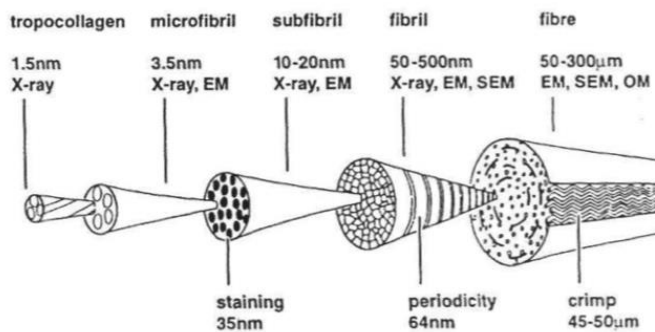
2. Welches sind die beiden wichtigsten Molekülketten?

Kollagen, Elastin

3. Wie ist Kollagen aufgebaut?

Fibröses Protein, unverzweigt

→ Gewundene Faserbündel (dreifach Helix) unterschiedlicher Anordnung, enthalten Fibroblasten (bilden Zellen)



Schematic illustration depicting the hierarchical structure of collagen in ligament midsubstance, EM = electron microscope; SEM = scanning EM; OM = optical microscope (from Kastelic et al., 1978)

4. Wie ist Elastin aufgebaut?

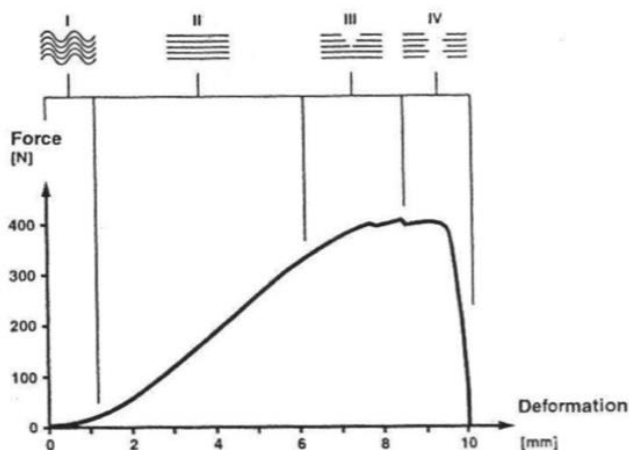
Fibröses Protein, unverzweigt → extrem elastische Molekülkette, stark gewunden

5. Was passiert bei den Kollagenfasern, wenn die Dehnung sich erhöht?

sie straffen sich (gewunden → gestreckt)

6. Für welchen Bereich der Modellierungskurve kann man das Hooksche Gesetz anwenden?

Fasern gestreckt → Linearer Bereich (II)



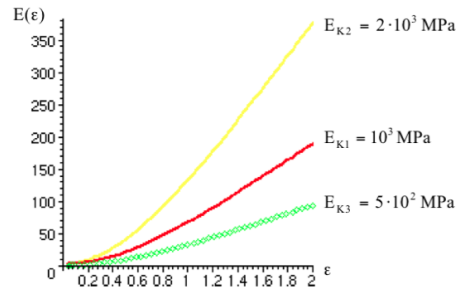
(III: Mikrorisse, IV: Bruch)

7. Welche Ansätze für das E-Modul gibt es?

- 1) Kompositmaterial mit Elastin und Kollagen
- 2) Approximation von gemessenen Deformationskurven

8. Was passiert mit steigendem Kollagen-E-Modul?

E-Modul steigt schneller, Zunehmende Straffung (Kurve wird steiler)



9. Wovon hängt es ab, ob eine Deformation bei „visko-elastischen Elementen“ (wie hier) eher elastisch oder plastisch ist?

Einwirkzeit t , Beanspruchung(-shöhe), Beanspruchungsgeschwindigkeit (σ'), Temperatur

10. Welche Vereinfachungen und Ansätze gibt es?

- 1) Thermodynamik elastischer Deformation
- 2) Formulierung von inkrementellen Gesetzen
- 3) Pseudoelastizität

11. Wann ist der Ansatz der Pseudoelastizität anwendbar? Was muss beachtet werden?

Anwendbar für periodische Be- und Entlastungen nach „Vorkonditionierung“ der Materialien (Material hat „Gedächtnis“)

- unterschiedliche Materialgesetze für Be- und Entlastung (Hysterese)
- Quasilineare visko-elastische Materialien

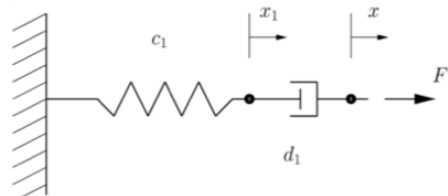
12. Welche Viskoelastischen Modelle gibt es?

Maxwell, Voigt, Kelvin (eindimensional, aber räumliche Erweiterung möglich)

13. Was gibt der Frequenzbereich...

Ansatz: harmonische Funktion als Eingangsgröße, Lösung im eingeschwungenen Zustand
→ Amplitude & Phase unterschiedlich → frequenzabhängig → komplexe Schreibweise

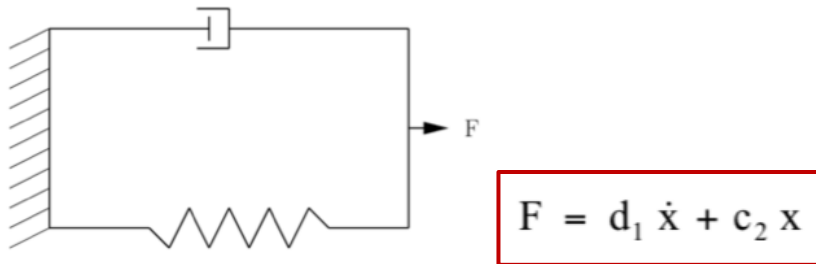
14. Wie sind Feder und Dämpfer bei Maxwell angeordnet? Wie lautet DGL?



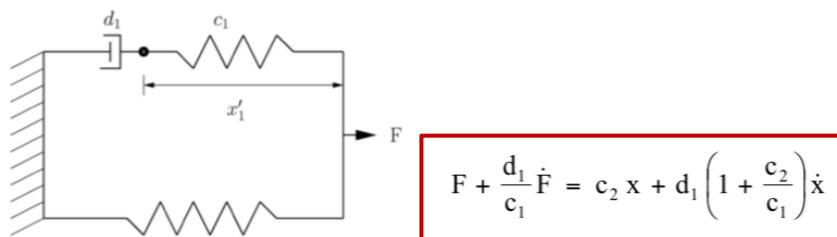
$$\text{Dgl: } F + \frac{d_1}{c_1} \dot{F} = d_1 \dot{x}$$

(F : Dämpferkraft)

15. Wie sind Feder und Dämpfer bei Voigt angeordnet? Wie lautet DGL?



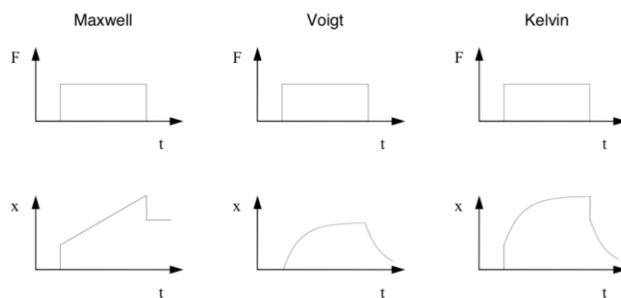
16. Wie sind Feder und Dämpfer bei Kelvin angeordnet? Wie lautet DGL?



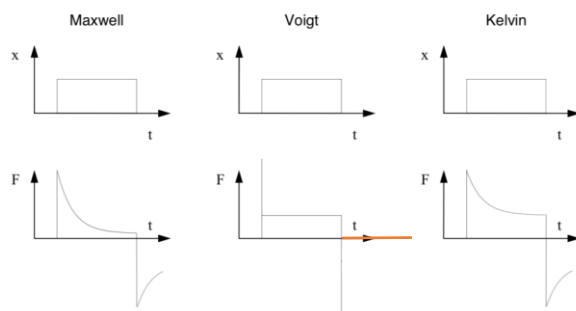
17. Welche Kombination von den Modellen ist möglich?

Beliebige Kombinationen → insbesondere aber Serienschaltung von Kelvin-Elementen mit unterschiedlichen Zeitkonstanten

18. Wie sehen die Kriechfunktionen (Sprung in F) für die verschiedenen Modelle aus?



19. Wie sehen die Relaxationsfunktionen (Sprung in x) für die verschiedenen Modelle aus?



20. Wie kann man viskose und elastische Eigenschaften eines Materials ermitteln?

Oszillationsmessung: oszillierende Beanspruchung → Schwingungsmessung

1) Eingang: z.B. Auslenkung: $x(t) = x \cdot \sin(\omega t)$ (x – Effektivwert!)

2) Ausgang: z.B. Kraft: $F(t) = F(x, t, \omega)$ (x – Effektivwert!)

21. Welche Knorpeltypen unterscheidet man?

Hyalin (strukturlos, z.B. Gelenkknorpel), faserig (z.B. Bandscheibe), elastisch

22. Wie ist Knorpel allgemein zusammengesetzt?

75-80% Flüssigkeiten, 20-25% Feststoffe (60-70% Kollagen, mit Alter zunehmend)

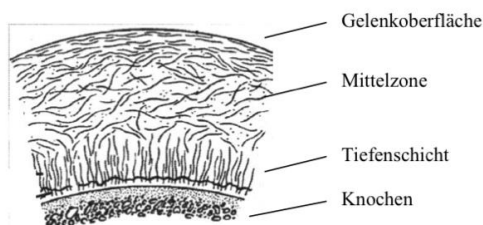
→ Flüssigkeitsanteil belastungsabhängig

23. Wozu führt ein Flüssigkeitsaustausch im Knorpel?

Flüssigkeitsaustausch → Nährstoffaustausch

24. Wodurch wird der Stoßdämpfereffekt im Knorpel erzielt?

Dreischichtiger Aufbau mit unterschiedlichen Faserrichtungen



25. In welcher Zone ist das E-Modul am größten?

Mittlere Zone (> Tiefenschicht > Oberfläche)

26. Was gilt für den Spannungs-/Dehnungsverlauf im Knorpel?

Progressive Kennlinie, visko-elastisch Verhalten (*porös, unterschiedlicher Flüssigkeitsgehalt*)

27. Wozu führen zyklische Belastung und Ruhe im Knorpel?

Zyklische Belastung: Nährstoffversorgung, verstärkte Knorpelbildung

Ruhe: Knorpelabbau

28. Wie sind Bänder aufgebaut? Welche Funktion haben sie?

Kollagenfasern nahezu parallel (teilw. vorgespannt) → verbinden Knochen (Gelenkfunktion)

29. Wie sind Sehnen aufgebaut? Welche Funktion haben sie?

Kollagenfasern parallel → verbinden Muskeln mit Knochen

30. Wozu dient die elastische Formänderungsenergie?

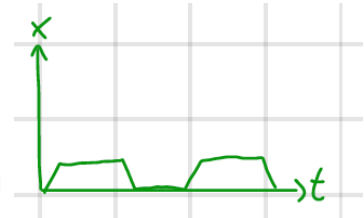
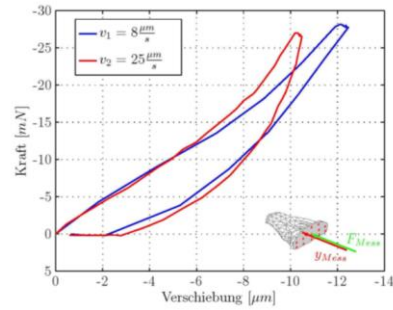
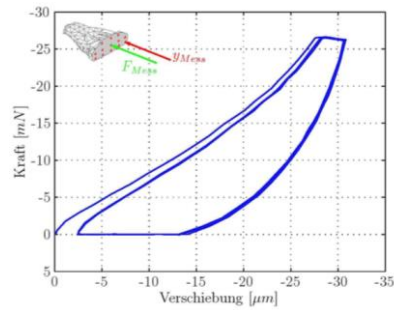
Wird in Sehnen gespeichert → Muskel muss sich oft für große Verformung der Sehne kaum bewegen (große Rolle bei Laufen, Hüpfen, Rennen)

31. Aus was sind Sehnen zusammengesetzt?

60-70% Flüssigkeit, 30-40% Feststoffe (<3% Elastin, 70-80% Kollagen, umgekehrt bei Bändern)

32. Welche Eigenschaften hat die Kraft-Verschiebungskurve?

Vorkonditionierung (erster Zyklus anders als die Zukünftigen), nichtlinear, Hysterese (Energiedissipation), geschwindigkeitsabhängig, Steifigkeit nicht direkt ablesbar, Kriechen an den Umkehrpunkten (siehe Skizze)



Kapitel 7: Muskeln (Vorlesung 12)

1. Als was kann man Muskeln bezeichnen?

Kraftstellglieder

2. Welche Muskelarten gibt es?

Glatter Muskel (Blutgefäße, Peristaltik), Herzmuskel, Skelettmuskel

3. Wodurch sind abgestufte Kräfte im Skelettmuskel möglich?

Nervenende übertragen Signale vom ZNS

4. Was sind I-Bande, A-Bande und Sarkomer?

I-Bande (hell): nur Aktin (nur I-Filament)

A-Banden (dunkel): überall wo Myosin ist (A-Filament, teilw. Überschneidung mit I-Filament)

Sarkomer: von Mitte der I-Bande, bis Mitte der nächsten I-Bande
(kleinste Einheit, die sich kontrahieren kann)

5. Wie lässt sich ein Skelettmuskel untergliedern?

Muskel → Muskelfaser → Myofibrille → Sarkomer

6. Was sind crossbridges?

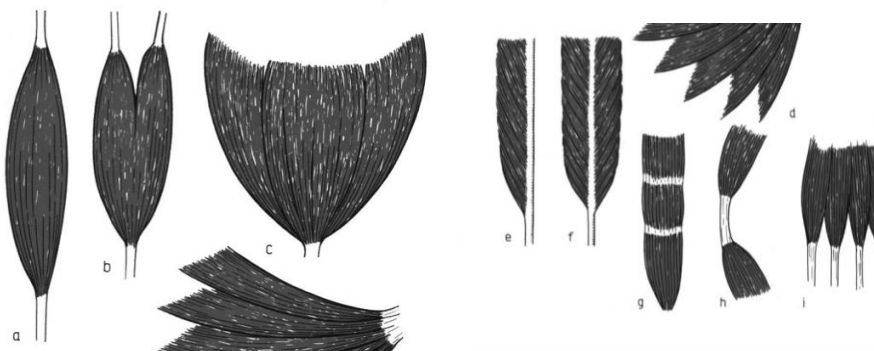
Sitzen auf A-Filament; Proteinfüßchen wo sich der Muskel zusammenzieht

7. Welche Fasertypen unterscheidet man? Nenne Anwendung und Beispiele.

- 1) Langsame Fasern (slow-twitch): $T_{\text{Kontr.}} = 60\text{ms}$ → energieeffizient (Ausdauersport),
Bsp.: Wadenmuskel
- 2) Schnelle Fasern (fast-twitch): $T_{\text{Kontr.}} = 25\text{-}50\text{ms}$ → Sprint, Hammerwurf
Bsp.: Bizeps, hoher Energieverbrauch

8. Welche Muskelformen (und Sehnenansätze) unterscheidet man?

Einfach, spindelförmig (a), zweiförmig (b), dreiteiliger Muskel (c), vielfach gezackter Muskel (d), einseitig gefiedert (e), doppelseitig gefiedert (f), mit sehnigen Einschreibungen (g), zweibäuchig (h), mehrschwänzig (i)



9. Was ist der Unterschied zwischen parallelfaserigen und gefiederten Muskeln?

Parallel: Sehne und Fasern parallel → Schnelligkeitsmotoren

Gefiedert: Sehne und Fasern senkrecht → Kraftmotoren mit großem physiologischem Querschnitt A_{ph}

10. Welche Modelle für Muskelaktivität gibt es?

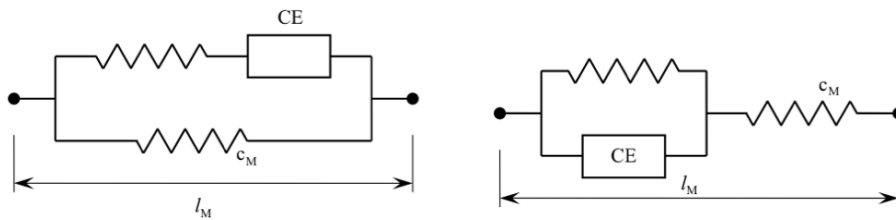
Klassisch: Hillsche M., Cross-Bridge M., Makroskopische M. (einfach, nichtlinear)

Molekulare Modelle: Chemie → Mechanik

Verteilte Modelle: Kombination Hill-Typ Modelle und Molekularmodelle

11. Wie sind die Modelle vom Hill-Typ aufgebaut?

- Federelemente c und kontraktiles Element CE in verschiedenen Kombinationen
- CE („Wegstellglied“) kann parallel oder schräg zur Sehne stehen



(l_M : Muskellänge)

12. Welche Nachteile hat das Modell vom Hill-Typ?

Keine Dämpfer, keine Massen

13. Was muss zur Beschreibung der Kräfte zwischen Knochen berücksichtigt werden?

Sehnenelastizität

14. Was ist der Unterschied zwischen isometrischer und isotonischer Aktivität?

Isometrisch: Kraftänderung bei konstanter Länge (Kraft in Motoreinheit ist abhängig von aktueller Muskellänge l_M , optimale Muskellänge l_0)

Isoton: Verkürzung bei konstanter Kraft: $l_M = l_0$

15. Was versteht man unter einem voll aktivierten Muskel?

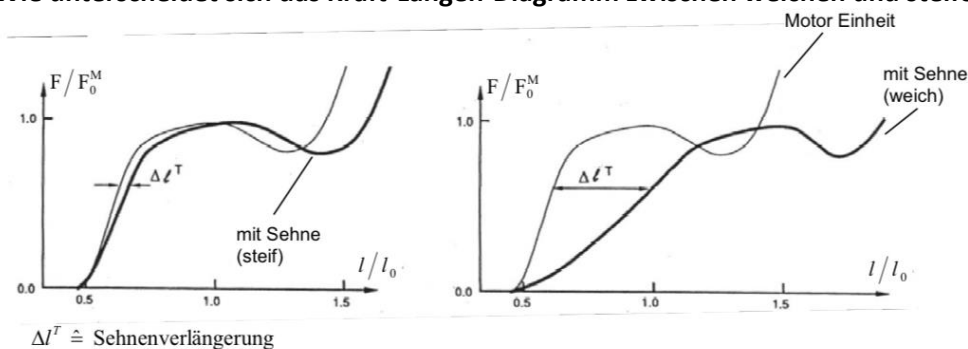
Alle Sarkomere aktiviert

16. Welche Modelannahmen trifft man für den Muskel-Sehnen-Komplex?

Sehne ist nichtlineare Feder, Muskel und Sehne sind seriell

→ isometrisch: Muskelverkürzung+ Sehnenverlängerung

17. Wie unterscheidet sich das Kraft-Längen-Diagramm zwischen weichen und steifen Sehnen?



18. Welche sensorischen Elemente spielen bei der Muskelkontraktion eine Rolle? Was melden diese?

1) Muskelspindel: Afferente Nerven von Muskelspindel (parallel zu Muskelfasern → ZNS melden: **Muskellänge**, Muskelgeschwindigkeit, behindern Kontraktion des Antagonisten)

2) Golgiorgane: Afferente Nerven von Muskel-Sehnen-Übergängen (Golgiorganen) → ZNS melden: **Muskelkraft**, behindern Kontraktion des Antagonisten

→ Behinderung des Antagonisten weitgehend ohne „Hirnaktivität“

Kapitel 8: Kreislauf (Vorlesung 13-14)

1. Was wird im Körperkreislauf transportiert?

Blutgase (Sauerstoff, Kohlendioxid), Nährstoffe (Kohlenhydrate, Aminosäuren, Vitamine, Mineralstoffe), Wärme, Hormone, Abwehrstoffe (Antikörper), Wasser, Schlackenstoff

2. Wie sind großer und kleiner Kreislauf aufgebaut?

Klein: Rechte Kammer → Lungenarterie → Lunge → Lungenvene → linker Vorhof

Groß: Linke Kammer → Kopf/Arme, Rumpf/innere Organe, untere Extremitäten → rechter Vorhof

→ *hintereinander liegende Sektionen (seriell), nicht getrennt*

3. Aus welchen Bestandteilen besteht das Blut?

Blutplasma (90% Wasser; Serum nach Entzug von Fibrinogen), Formelemente (Erythrozyten, Leukozyten, Thrombozyten)

4. Wie hoch ist der Hämatokritgehalt? Was gibt er an?

Konzentration der Formelemente: Mann 46%, Frau 41%

5. Was versteht man unter Bahnlinie, Stromlinie und Streichlinie?

Bahnlinie: von einem materiellen Punkt mit der Zeit durchlaufene Bahn

Stromlinie: Integralkurven des Richtungsfeldes von $\mathbf{v}$
(Tangenten an momentane Geschwindigkeit)

Streichlinie: Ort aller mat. Punkte zum Zeitpunkt t_0 , die zu irgendeiner Zeit einen bestimmten Ort passiert haben oder diesen passieren werden

6. Wann sind Bahn-, Strom- und Streichlinie unterschiedlich?

Bei instationärer Strömung

7. Was ist die kinematische Zähigkeit?

Verhältnis von Viskosität und Dichte: $\nu = \mu / \rho$ [m^2s^{-1}], 1 Stoke = $10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

8. Welche Einheit hat die Viskosität/dyn. Zähigkeit?

$\text{Nsm}^{-2} = \text{Pa s}$; 1 Poise = 0,1 Pa s

9. Wie berechnet man Schubspannungen?

$$\tau = \mu \, du/dy = \mu \, \dot{\gamma} \quad (\dot{\gamma} \text{ Schergeschwindigkeit})$$

10. Wie verhält sich die Viskosität mit zunehmender Temperatur?

Sie nimmt ab

11. Wie lassen sich Strömungen einteilen?

- 1) Eindimensional, eben, räumlich
- 2) Reibungsfrei <-> zäh
- 3) Laminar <-> turbulent
- 4) Stationär <-> instationär
- 5) Kompressibel <-> inkompressibel
- 6) Volumen von Druck abhängig <-> unabhängig
- 7) Starre oder nachgiebige Berandung

12. Was tritt alles in reibungsbehafteten Strömungen auf?

Turbulenz, Ausbildung von Grenzschichten, Strömungsablösung

13. Wovon sind Turbulenzen in reibungsbehafteten Strömungen abhängig?

Reynoldszahl: $Re = \rho V d / \mu$

14. Was gibt die kritische Reynoldszahl an? Wie hoch ist sie in Rohren?

$Re_{krit} = 2300 \rightarrow$ darüber turbulent

15. Wozu führen Turbulenzen?

Erhöhte Wandscherkräfte, erhöhter Druckabfall, erhöhte Widerstandskräfte an umströmten Objekten, erhöhter Wärme- und Stoffübergang

16. Wozu führt die Ausbildung von Grenzschichten?

Entmischungsprozesse, erhöhter Durchsatz in Rohren

17. Wozu führen Strömungsablösung?

Wirbelbildung $\rightarrow$ erhöhter Druckabfall, Wandscherkräfte erhöht

18. Wie lautet das Gesetz von Hagen-Poiseuille?

$$\Delta p = \frac{32 \mu L V}{d^2}$$

(v : mittlere Strömungsgeschwindigkeit; L : Rohrlänge)

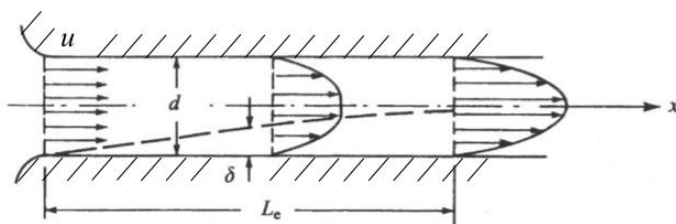
19. Was versteht man unter einem Haagen-Poiseuille-Profil? Wann bildet es sich aus?

Druck am Rand Null und in der Mitte Maximal $\rightarrow$ Parabel

Bildet sich nach gewisser Entfernung vom Einlauf (ab dann gilt das Gesetz)

$$\frac{\delta}{x} \approx 5.0 \sqrt{\frac{\mu}{\rho u x}}$$

(x : Lauflänge, u : Einstömungsgeschwindigkeit)



20. Was ist die Grenzschicht?

Übergang von einer zur nächsten Geschwindigkeit $\rightarrow$ Grenzschicht hat schon neue Geschwindigkeit (Grenzschichten können laminar und turbulent sein), siehe Skizze

21. Was passiert bei einer Strömungsablösung?

Einengung des Rohrs $\rightarrow$ Wideranlegen der Strömung (dahinter): erzeugt turbulente Druckschwankungen auf Gefäßwände, Totwasserbereich entsteht

22. Wo treten Ablösungen im Körperkreislauf auf?

Stenosen, Herzklappen, (turbulentes Anlegen auf Gefäßwände)

23. Was passiert mit der Strömung in gekrümmten Rohren?

Verzerrung der Poiseuille-Strömung → Sekundärströmungen, gegenläufige Wirbel im Querschnitt, erhöhter Druckabfall

24. Was gilt für umströmte Objekte?

Widerstand von Reynoldszahl abhängig, Auftriebseffekte

25. Wo treten instationäre Strömungen auf?

Pulsation im Herz/Arterien, Dämpfung durch viskos Dissipation, nachgiebige Gefäße/Kapillaren

26. Was gilt für die schnelle Pulsation?

$$\delta_s \approx 5 \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}$$

Grenzschicht (Stokes-Layer):

$$\alpha = a \sqrt{\frac{\omega}{\nu}}$$

Womersley Parameter:

(Harmonische Reynoldszahl)

27. Was muss bei der Strömungsbetrachtung bei Gefäßen beachtet werden?

Gefäße sind/haben...

- 1) Nachgiebig (Weichgewebe: nichtlinear, inhomogen, anisotrop, Vorspannung)
- 2) komplexe Geometrie (Verengungen und Verzweigungen (konisch), gekrümmte Bahnen)
- 3) teilweise aktiv (Regelung)
- 4) können kollabieren

28. Welche Vereinfachungen kann man für Gefäße treffen?

Visko-elastisches Material, dickwandige/dünnwandige Rohre

29. Welche Materialien überwiegen in der Aorta (im Vgl. zu Arterien, Arteriolen, Sphinktern)?

Elastinfasern > Kollagenfasern > glatter Muskel >> Endothel

Bei anderen: glatter Muskel überwiegt (desto kleiner, desto kleiner der Anteil von Kollagen und Elastin; Sphinkter: fast nur Muskel)

30. Wie groß sind Kapillaren, Venolen, Venen und die Vena Cava? Aus was bestehen sie?

Kapillaren: 8 µm, 1 µm → nur Endothel

Venolen: 20 µm, 2 µm → Kollagenfasern > Endothel

Venen: 6 mm, 0,5 mm → glatter Muskel > Elastin > Kollagen > Endothel

Vena cava: 30 mm, 1,5 mm → Kollagen > glatter Muskel > Elastin > Endothel

31. Was gilt für die Strömungsbildung in Gefäßen?

Gefäße meist so kurz, dass die Strömung nach Einlauf oft nicht vollständig ausgebildet ist

32. Was ist das besondere an der Viskosität des Blutes?

Dynamische Viskosität → Blut ist Newtonsches Fluid mit Korrekturfaktor

33. Welche zwei wichtigen Formeln gelten für die Reibungsfreie Strömung?

$$\int_{x_0}^x \frac{\partial v}{\partial t} dx + \frac{1}{2} v^2 + gz + \frac{p}{\rho} = \frac{1}{2} v_0^2 + gz_0 + \frac{p_0}{\rho} = \text{const.}$$

1) Bernoulligleichung:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(uA)}{\partial x} = 0$$

2) Kontinuitätsgleichung:

$$Q = A * V$$

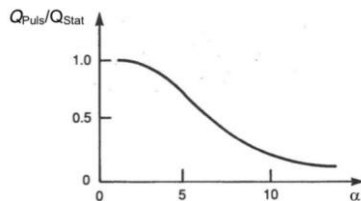
34. Wie lautet die Bernoulligleichung für stationäre Strömung? Wie lautet sie für horizontale Strömungen?

Stationäre Strömung: Integral wird 0, Rest siehe oben

Horizontale Strömung: $z=0$, Rest siehe oben

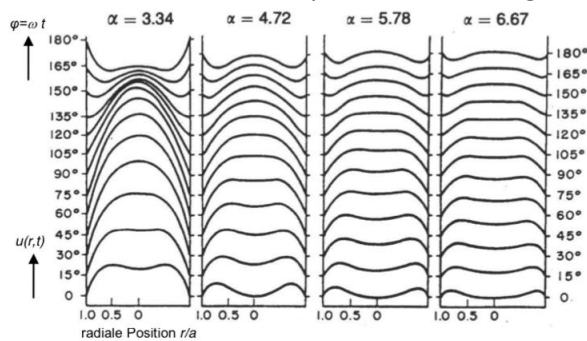
35. Was gibt der bezogene Durchfluss an?

Durchfluss bezogen auf stationären Wert (Q_{Puls}/Q_{Stat}) → abhängig von Alpha (Womersley-Parameter)



36. Wie stellt man die Kompressionswellen auf?

x-Achse: radiale Position, y-Achse: Phasenlage bzw. Zeit, Darstellung für verschiedene Alpha



37. Wie erfolgt die Dämpfung der Pulswellen in der Aorta?

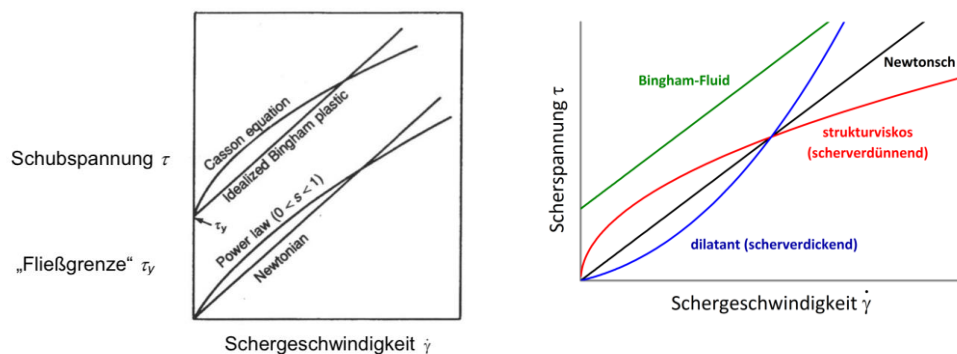
Über die Gefäßwände → Große Wellenlänge $\lambda = c/f \approx 6$ m ($c \approx 6$ m/s in Aorta): Dämpfung von untergeordneter Bedeutung

38. Wovon ist die Zähigkeit des Bluts abhängig?

Schergeschwindigkeit, Temperatur, Gefäßdurchmesser, HK-Wert

39. Welche 4 Modelle der Blutrheologie gibt es?

Potenzgesetz (Ostwald-De Waele), Newtonsches Fluid, Bingham (plastisch), Casson (plastisch):



40. Ist das Potenzgesetz thixotrop oder rheopex?

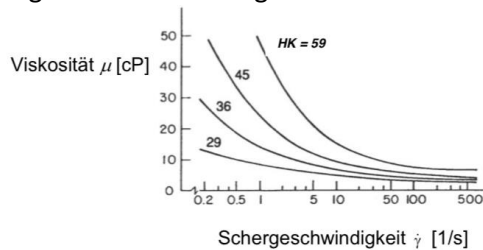
Thixotrop: beim Scheren dünnflüssiger (rot)

Rheopex: beim Scheren dickflüssiger (blau)

41. Wovon verändert sich die Viskosität abhängig von Schergeschwindigkeit bzw. HK-Gehalt?

Steigende Schergeschwindigkeit → Viskosität sinkt

Steigender Hämatokritgehalt → Viskosität steigt



42. Was versteht man unter dem Fahraeus-Lindquist Effekt?

Kleiner Gefäßdurchmesser → Kleinere Viskosität: Verhinderung der kapillären Stase
(5-10 mal größer als bei Hagen-Poiseuille)

43. Worauf beruht der Fahraeus-Lindquist Effekt?

Verformbarkeit (Fluidität) der roten Blutkörperchen, Verdrängung der Erythrozyten in die Mitte (zellarme Randströmung)

44. Wie nennt man die Prozesse, die eine Veränderung der Viskosität verursachen?

- 1) Skimming: Blutplättchenkonzentration am Rand geringer
- 2) Entmischung: Plasma am Rand, Festkörperchen im Kern
(abhängig von Re-Zahl:
niedrig → elastische Teilchen ins Zentrum, starre außen
hoch → elastische und starre Teilchen bilden Röhre)

45. Welches Modell nutzt man für Arterien und welches für Arteriolen?

Arterie: Newtonsches Fluid

Arteriole: Casson

46. Welches Modell nutzt man für Kapillaren?

Blut ist nicht als homogene Flüssigkeit modellierbar → Bewegung der Teilchen müssen im Fluid betrachtet werden, Strömung weitgehend stationär ohne Pulsation (Re-Zahl sehr klein = 10^{-3})

$D = 8\mu\text{m}$: Erythrozyten als undeformierte „Pfropfen“, Bewegungsgleichung ist linear, Schleichströmung

$3 < D < 7\mu\text{m}$: Erythrozyten kappenförmig deformiert, Grenzschicht am Gefäßrand, Bewegungsgleichung ist linear

$D < 3\mu\text{m}$: Erythrozyten sind gefaltet

47. Was ist für eine Modellierung des Venensystems zu beachten?

Kleine Pulsation vom Herz, Blutdruck ist niedrig, Bluttransport u.a. durch Muskeln in Gefäßnähe, Rückflussverhinderung durch Venenklappen, Weitgehend stationäre Strömung, Druck innerhalb oft niedriger als außerhalb der Vene → Gefäße können kollabieren

48. Wie ist der Verlauf von Druck, Pulsation und Durchmesser von Aorta zu Venae cavae?

