

Universität Stuttgart

Biomechanik – Probeklausur

Prof. Dr.-Ing. Giorgio Cattaneo

Institut für Biomedizinische Technik

Universität Stuttgart

Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart



Probeklausur

Diese Probeklausur soll einen Überblick über die Art und vor allem die Tiefe der Fragen bei der bevorstehenden Klausur ermöglichen.

Die Musterlösung werden wir zeitnah in ILIAS hochladen.

Wichtig:

Der Umfang dieser Probeklausur, das heißt die Anzahl von Fragen, ist nicht unbedingt repräsentativ.

Die Klausur ist in den zwei zur Verfügung stehenden Stunden durchführbar.

Bitte betrachten Sie auch alle Aufgaben, die wir vorlesungsbegleitend bereitgestellt haben, als klausurvorbereitend.

Hilfsmittel:

In der Klausur wird es möglich sein:

- einen wissenschaftlichen, nicht programmierbaren Taschenrechner und
- eine eigenhändig, auf einem DIN-A5 Blatt (beidseitig) verfasste Formensammlung (ohne Textangaben) mitzunehmen.

Aufgabe 1

Was ist der Unterschied zwischen Biomechanik und Mechanobiologie? Erklären Sie anhand eines Beispiels.

Aufgabe 2

Schreiben Sie in das freie Feld, ob die Aussagen für Festkörper oder Fluide zutreffen. Eine Aussage trifft immer nur auf einen Festkörper oder ein Fluid zu.

_____ : Die Form ändert sich auch bei kleinen Kräften.

_____ : Ist formstabil bei kleinen Kräften.

_____ : Feste, sich wiederholende, dreidimensionale, oft kristalline Struktur.

_____ : Die Anordnung der Moleküle ist variabel.

_____ : Die wichtigsten Größen zur Beschreibung sind Masse und Kraft.

_____ : Die wichtigsten Größen zur Beschreibung Druck und Dichte

_____ : Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Kraft und der Deformationsgeschwindigkeit

_____ : Es besteht ein Zusammenhang zwischen Deformation und Kraft

Aufgabe 3

Als Modell einer Lunge soll in einem Versuch ein Luftballon verwendet werden, ein Gemisch aus N₂ und O₂ wird für Strömungsmessungen verwendet.

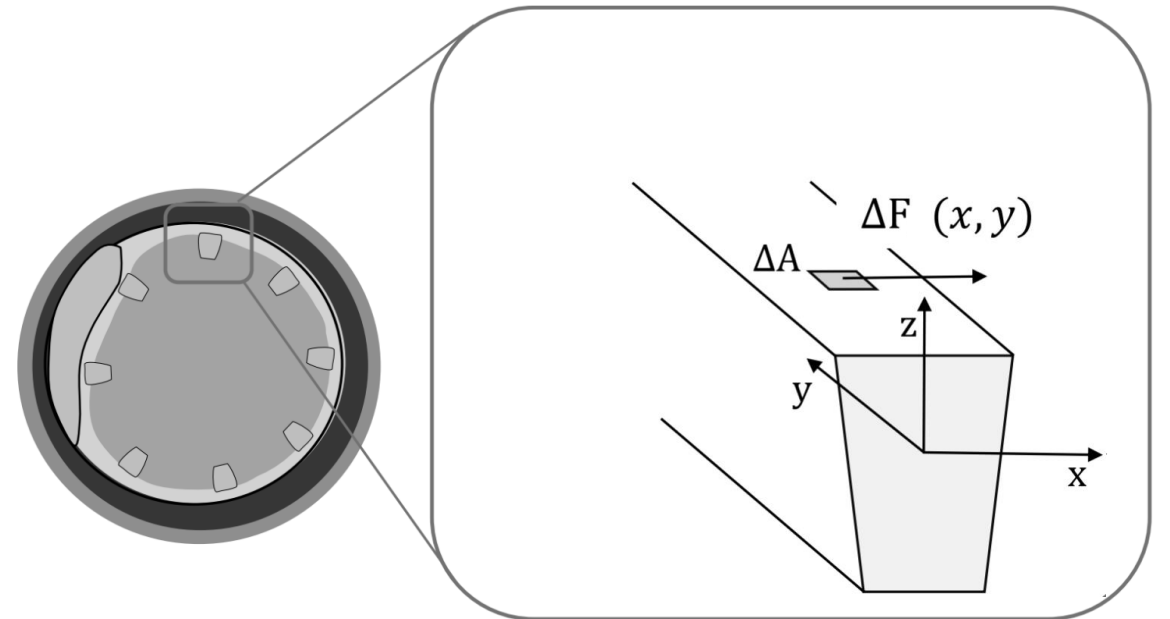
Welche der folgenden Parameter ist in Bezug auf die Nachbildung der Compliance von Bedeutung:

- ☐ Dicke des Ballons
- ☐ Durchmesser des Ballons
- ☐ Rauheit des Ballons
- ☐ E-Modul des Ballons
- ☐ Viskosität des Fluids
- ☐ Dichte des Fluids

Aufgabe 4

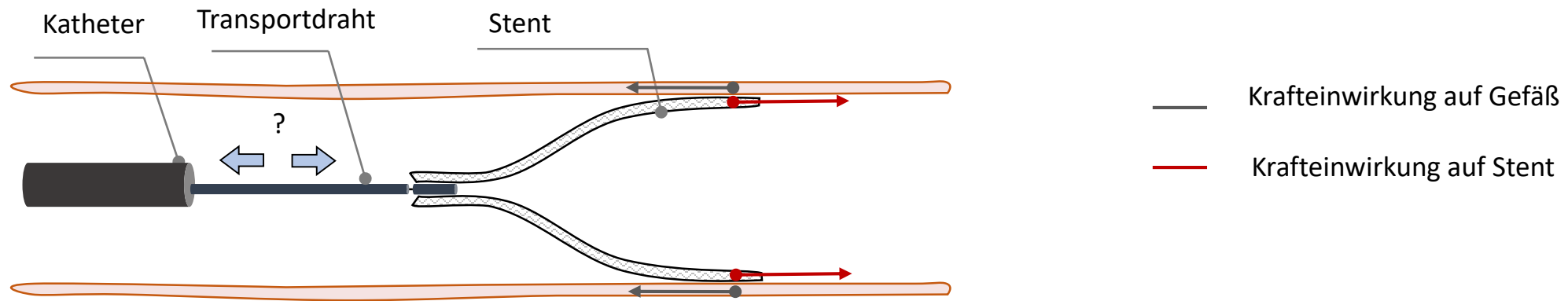
Auf ein infinitesimales Flächenelement ΔA wirkt eine tangentielle Kraft $\Delta F(x, y)$, wie in der Abbildung dargestellt. Kreuzen Sie die richtigen Antworten im Bezug auf die wirkende Spannung an.

- ☐ Die wirkende Spannung lautet: $\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x, y)}{\Delta A} = \tau_y$
- ☐ Die wirkende Spannung lautet: $\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x, y)}{\Delta A} = \tau_x$
- ☐ Die wirkende Spannung lautet: $\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x, y)}{\Delta A} = \sigma_y$
- ☐ Die wirkende Spannung ist eine Schubspannung.
- ☐ Die wirkende Spannung ist eine Dilatanz.
- ☐ Die wirkende Spannung ist eine Normalspannung.



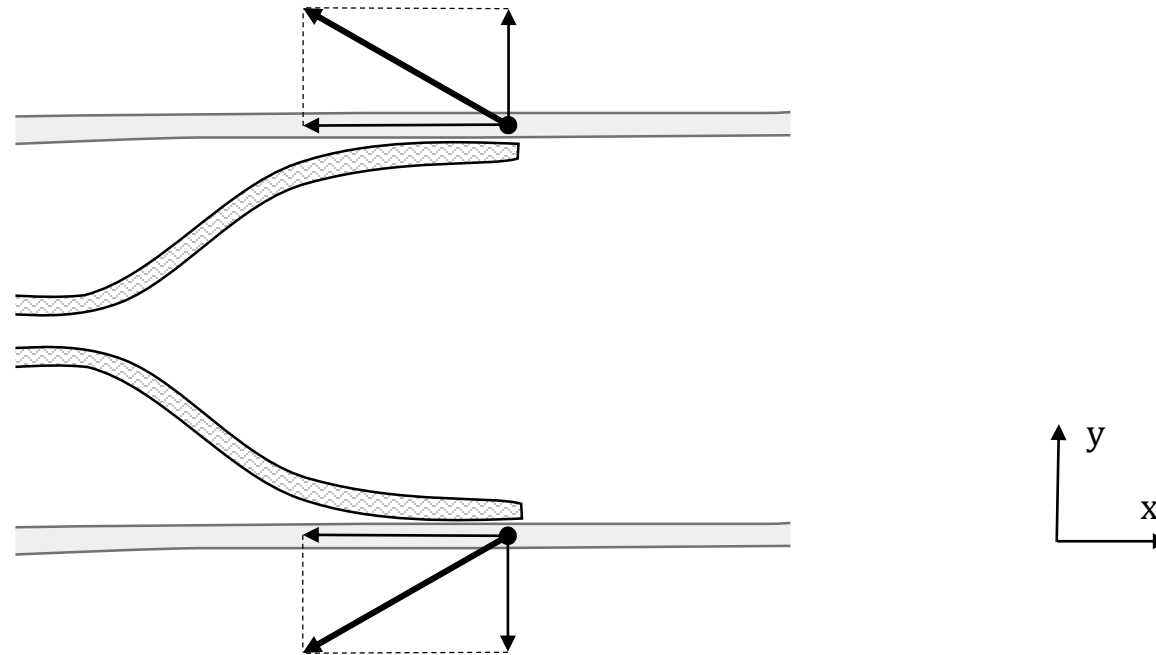
Aufgabe 5

- a) Das dritte Newtonsches Gesetz besagt, dass Kräfte immer paarweise auftreten. Woher entstehen die Kräfte, welche in der Abbildung dargestellt werden? Erklären Sie, in welcher Richtung der Transportdraht bewegt wird.



Aufgabe 5

- b) Die Abbildung zeigt einen Stent in einem Gefäß. Die resultierenden Kräfte und die x- und y-Komponenten sind für das Gefäß dargestellt. Zeichnen Sie qualitativ die resultierenden Kräfte und die x- und y-Komponenten auf den Stent ein. Die Umfangskraft wird nicht betrachtet.



Aufgabe 6

Der Oberschenkelknochen (Femur) wird bei einer Temperatur von $T = 37^\circ\text{C}$ mit einer Kraft von $F = 641,25 \text{ N}$ belastet. Der Knochen der Länge $L = 40 \text{ cm}$ längt sich dabei im elastischen Bereich um $0,5 \text{ cm}$. Gehen Sie von einem durchschnittlichen Querschnitt von $A = 3 \text{ mm}^2$ aus und geben Sie das Elastizitätsmodul E des Knochens in der Einheit MPa an.

Warum ist es bei der Aufgabestellung wichtig, den Knochen als Kontinuum zu betrachten?

Aufgabe 7

Kreuzen Sie die richtigen Aussagen zum physikalischen Druck an.

- ☐ Der Druck ist eine vektorielle Größe, vergleichbar mit kinematischen Größen wie der Geschwindigkeit oder der Beschleunigung.
- ☐ Der Druck ist definiert als Verhältnis zwischen einer Normalkraft und einer Fläche.
- ☐ Innerhalb eines infinitesimalen Flächenelements dA wird der Druck als unverändert angenommen.
- ☐ Die SI-Einheit für den Druck ist Pascal. Es gilt $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- ☐ Körperflüssigkeiten werden in der Maßeinheit Millimeter-Quecksilbersäule angegeben und $1 \text{ mmHg} \approx 133,322 \text{ Pa}$

Aufgabe 8

Bei der Eulerschen, ortsfesten Betrachtungsweise der Kinematik wird die Beschleunigung durch die unten Angegebene Formel beschrieben. Tragen Sie die Bezeichnungen für die beiden Terme auf den vorgegebenen Linien ein.

$$\vec{a} = \underbrace{\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}} + \overbrace{\frac{\partial \vec{v}}{\partial x} v_x + \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} \cdot v_y + \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \cdot v_z}$$

Aufgabe 9

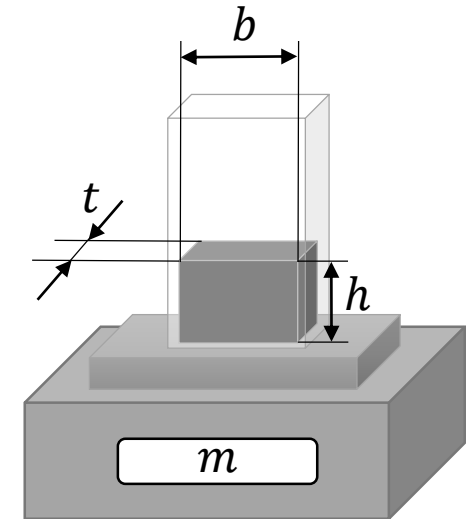
Vervollständigen Sie folgenden Lückentext:

Eine Bilanzgleichung kann als Erhaltungsgleichung definiert werden, wenn die _____ vernachlässigt wird und nur Zu- oder Abstrom betrachtet werden. Die _____ einer beliebigen Größe G kann dann als Formel $\frac{dG}{dt} = J_{G, Ein} - J_{G, Aus}$ formuliert werden.

Aufgabe 10

Zwei Studierende haben die Dichte von Blut vergessen. Sie nehmen ein rechteckiges Gefäß und füllen es bis zur Höhe $h = 10\text{cm}$ mit Blut. Sie stellen es auf eine Waage. Die Innenmaße des Behälters betragen $t = 5\text{cm}$ und $b = 7\text{cm}$. Die Waage zeigt $m = 742\text{ g}$ an und das leere Gefäß wiegt genau die Hälfte der angezeigten Masse. Bestimmen Sie die Dichte ρ_{Blut} des Blutes.

Wäre eine Selbstabnahme des gesamten Blutvolumens aus den beiden Studierenden möglich oder lebensgefährlich (☺)?

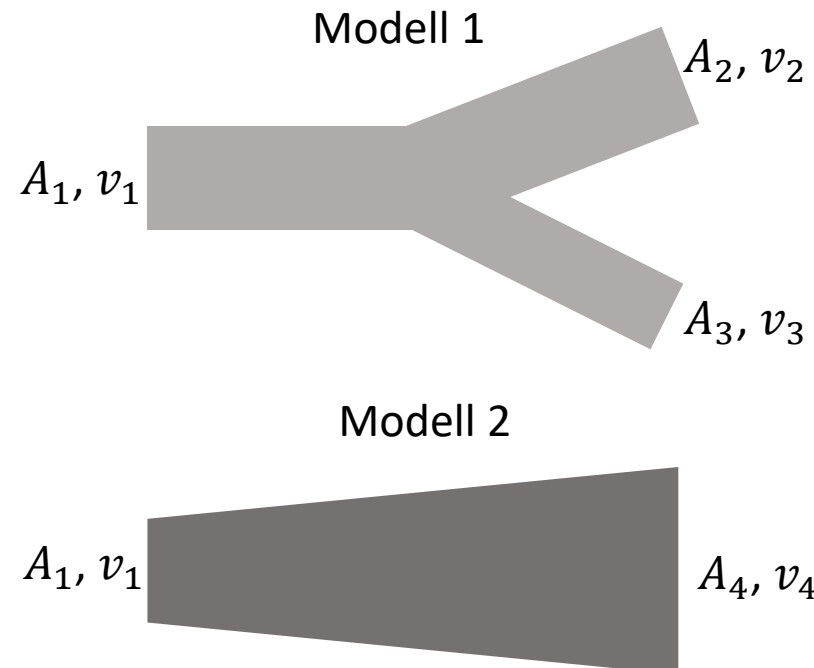


Aufgabe 11

Um Rechenleistung bei der Simulation eines komplizierten Gefäßsystems einzusparen soll eine Bifurkation (Modell 1) durch ein aufgeweitetes Rohrstück (Modell 2) ersetzt werden.

- a) Berechnen Sie die mittlere Geschwindigkeit v_3 in Modell 1 mit den Werten aus der Tabelle.
- b) A_1 und v_1 bleiben in Modell 2 unverändert. Berechnen Sie v_4 , wenn $A_4 = A_2 + A_3$ gilt.
- c) v_4 darf jeweils nur 10% von v_2 und v_3 abweichen. Wird diese Vorgabe eingehalten?

Fläche A_i	Geschwindigkeit v_i
$A_1 = 1,2 \text{ mm}^2$	$v_1 = 3,2 \text{ cm/s}$
$A_2 = 0,8 \text{ mm}^2$	$v_2 = 2,7 \text{ cm/s}$
$A_3 = 0,7 \text{ mm}^2$	$v_3 =$
$A_4 = A_2 + A_3$	



Aufgabe 12

Das Newtonsche Reibungsgesetz lautet: $\tau = \mu \left(\frac{dv_x}{dz} \right)$

Es wird genutzt um die Spannung auf ein infinitesimales Volumenelement eines Fluids herzuleiten.

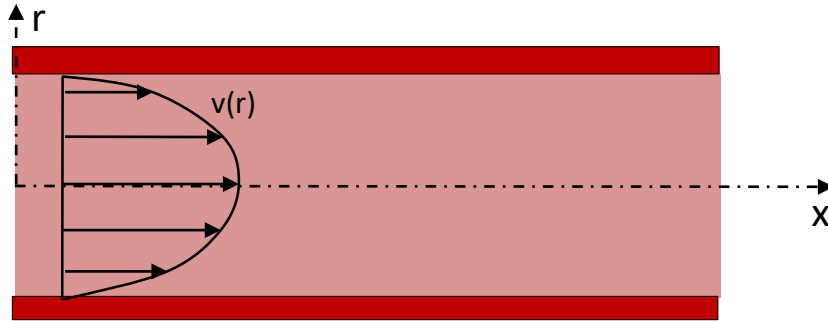
In der x-Koordinate lautet die Normalspannung:

$$\sigma_{xx} = 2 \cdot \mu \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right)$$

- a) Welchen Parameter beschreibt das Zeichen μ in beiden Gleichungen?
- b) Welche Eigenschaft hat ein Newtonsches Fluid?
- c) Nennen Sie ein Newtonsches Fluid und ein Fluid, das diese Eigenschaft nicht hat.

Aufgabe 13

- a) Zeichnen Sie ein laminares Geschwindigkeitsprofil in den gegebenen zylindrischen Gefäßlängsschnitt. Wo ist die entstehende Schubspannung am größten?



- b) Wie wird bestimmt, ob es sich um eine laminare oder turbulente Strömung handelt?
- c) Von welchen Dimensionen und flüssigkeitsspezifischen Größen hängt es ab, ob die Strömung im Gefäß laminar ist?
- d) Wie ändert sich der Gefäßwiderstand bei einer Halbierung des Durchmessers aufgrund einer Stenose (Annahme: laminare Strömung)?

Aufgabe 13

- e) Im herznahen Bereich der Aorta kommt es zu turbulenter Strömung. Darf das Hagen-Poiseuille Gesetz hier angewandt werden?

- f) Welche Aussage(n) sind richtig?
 - a) Blut ist ein newtonsches Fluid.
 - b) Die Viskosität von Blut hängt von der Scherrate ab.
 - c) Die Bildung von „Rouleaux“ erniedrigen die Viskosität von Blut bei geringen Scherraten.
 - d) Unterhalb einer Scherrate von 1000 s^{-1} wird eine konstante Viskosität für Blut angenommen

Aufgabe 14

- a) Warum muss bei einer Blutdruckmessung am Handgelenk dieses auf Herzhöhe gehalten werden?
- b) Nach Kontinuitätsgleichung steigt die Strömungsgeschwindigkeit bei einer Querschnittsverkleinerung an. In der Aorta mit einem Durchmesser von ca. 2 cm beträgt die Blutgeschwindigkeit etwa 2,5 m/s.
Wieso sinkt die Blutgeschwindigkeit in den Kapillaren auf nahezu 0 m/s, obwohl der Durchmesser einer einzelnen Kapillare ca. 5 μm beträgt?

Aufgabe 15

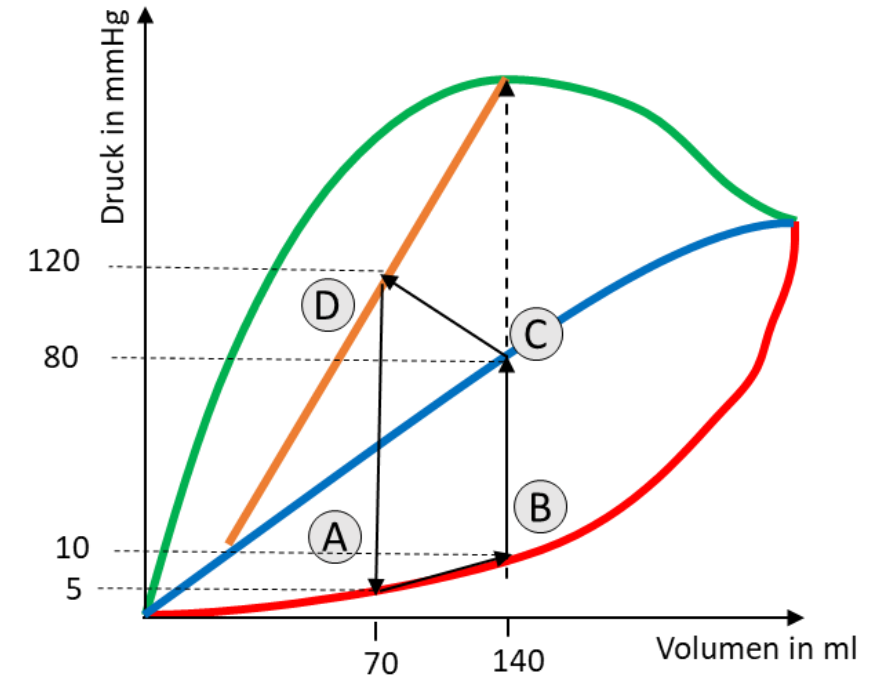
- a) Was beschreibt Hämostase und Hämolysen?
- b) Welche Aufgaben haben elastische Arterien und welche muskuläre Arterien?
- c) Welche Aussage(n) sind richtig?
 - a) Die Compliance von Arterien nimmt mit dem Alter ab.
 - b) Die Compliance ist bei Venen niedriger als bei Arterien.
 - c) Die Compliance von Arterien nimmt mit steigendem Durchmesser zu.
 - d) Je niedriger die Compliance, desto ausgeprägter ist der Windkesseneffekt.
- d) Benennen Sie die drei Schichten aus denen ein Blutgefäß aufgebaut ist und deren Funktion.

Aufgabe 15

- e) Skizzieren Sie qualitativ das Spannungs-Dehnungsdiagramm von Elastin, Kollagen und Gewebe. Erklären Sie weshalb es nicht reicht für das Gewebe einen einzigen Wert des E-Moduls anzugeben.
- f) Wie verändert sich die Pulswellengeschwindigkeit bzw. die Blutflussgeschwindigkeit zur Peripherie hin?
- g) Auf welche Gefäßveränderung weist eine erhöhte Pulswellengeschwindigkeit hin?

Aufgabe 16

- a) Erklären Sie den Frank-Starling-Mechanismus, der bei der Dehnung von Herzmuskelzellen auftritt.
- b) Erklären Sie, wie der linke Ventrikel nach dem Frank-Starling-Mechanismus auf eine erhöhte Füllung reagiert.
- c) Kennzeichnen Sie im Druck-Volumen-Diagramm die isovolumetrische Anspannungsphase, das Schließen der Aortenklappe, die isobare Maxima, die Ruhedehnungskurve, das Schlagvolumen und die Herzarbeit.
- d) Berechnen Sie die Herzarbeit mit den im Diagramm angegebenen Werten des Drucks und des Volumens
- e) Warum steigt die Ruhedehnungskurve nicht linear an?

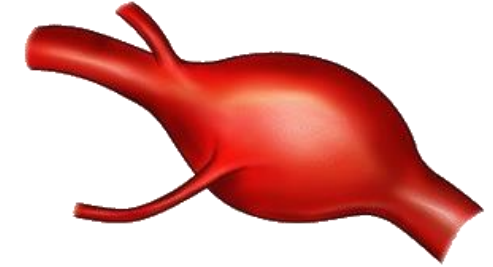


Aufgabe 17

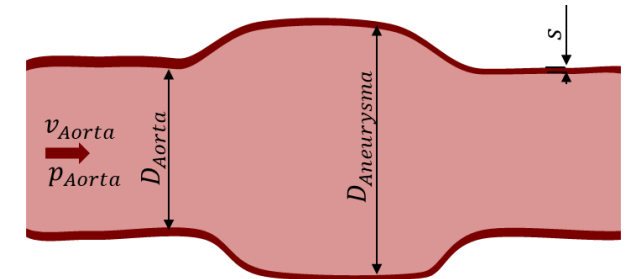
Ein Teil der Aorta mit Durchmesser $D_{Aorta} = 20 \text{ mm}$ hat sich aufgrund von Gewebeschaden auf einen Durchmesser von $D_{Aneurysma} = 50 \text{ mm}$ ausgebeult. Der durchschnittliche Blutdruck vor dem Aneurysma beträgt $p_{Aorta} = 100 \text{ mmHg}$ und das Blut strömt hier mit einer mittleren Geschwindigkeit von $v_{Aorta} = 20 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Die Blutdichte ρ_{Blut} beträgt $1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

- Wie groß ist die mittlere Blutgeschwindigkeit im Aneurysma? Wie groß ist der statische Druck im Aneurysma? Vergleichen Sie ihn mit dem Druck in der Aorta.
- Der Gefäßinnendruck muss von der Gefäßwand getragen werden. Bestimmen Sie die dabei auftretende tangentielle Gefäßwandspannung. Nehmen Sie dabei an, dass die Gefäßwanddicke $s = 1 \text{ mm}$ konstant bleibt.

Anmerkung: sowohl die viskösen Kräfte als auch der hydrostatische Druck werden vernachlässigt



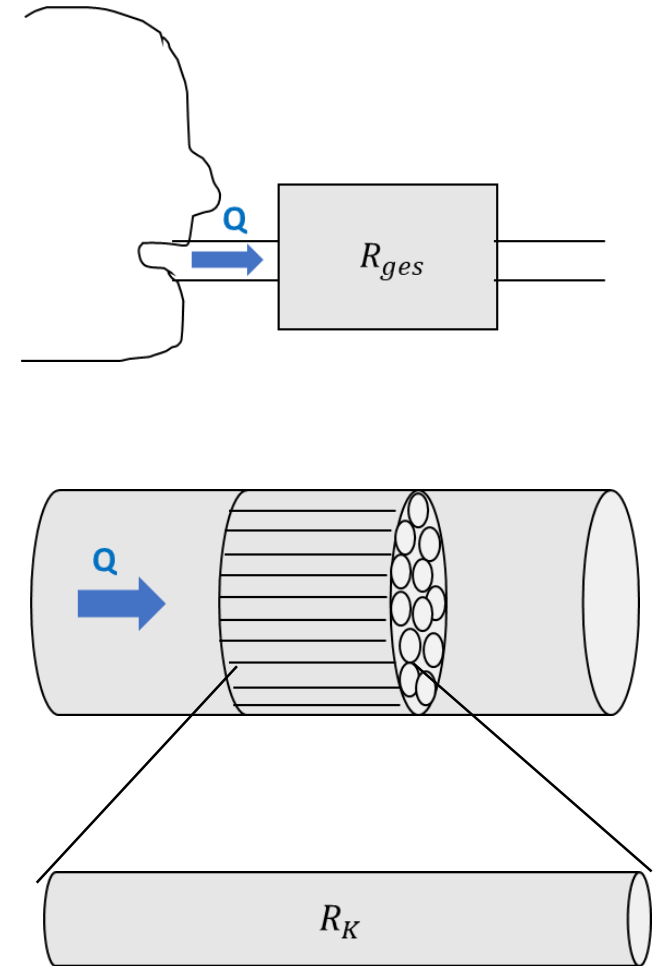
Vereinfacht:



Aufgabe 18

Zur Bestimmung des Atemdurchflusses eines Patienten werden Pneumotachographen verwendet. Der Patient atmet dabei gegen einen Strömungswiderstand aus, wie z.B. ein Bündel von kleinen Kapillaren. Eine Kapillare hat einen Durchmesser von 1 mm und eine Länge von 50 mm. Weiter gilt $\mu_{Luft} = 17,2 \mu Pa \cdot s$ und $\rho_{Luft} = 1,2041 kg/m^3$.

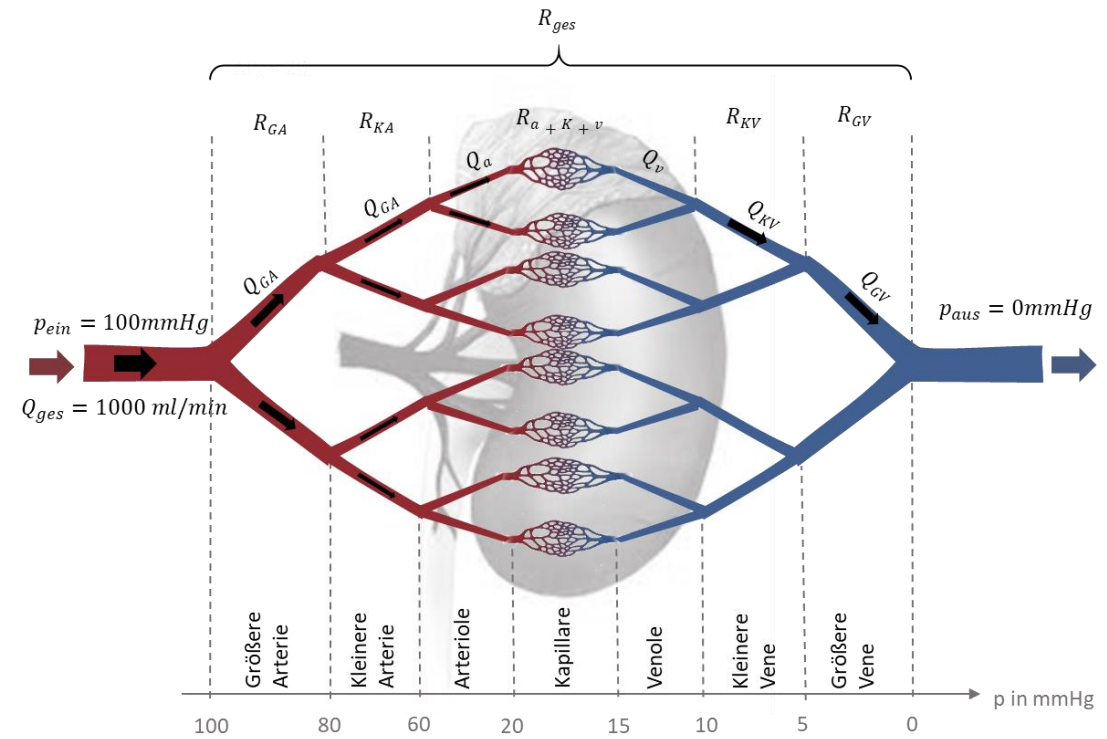
- Betrachten Sie eine einzelne Kapillare. Bis zu welcher mittleren Luftgeschwindigkeit handelt es sich um eine laminare Strömung?
- Berechnen Sie den Strömungswiderstand R_K einer einzelnen Kapillare mit der Annahme, dass es sich um eine laminare Strömung handelt.
- Der gesamte Strömungswiderstand berechnet sich aus der Parallelschaltung von 800 Kapillaren. Berechnen Sie den gesamten Strömungswiderstand R_K des Kapillarbündels.
- Wenn der Patient stark ausatmet wird ein Druckabfall über das Kapillarbündel von 0,5 mbar gemessen. Wie groß ist der Atemdurchfluss in diesem Moment?



Aufgabe 19

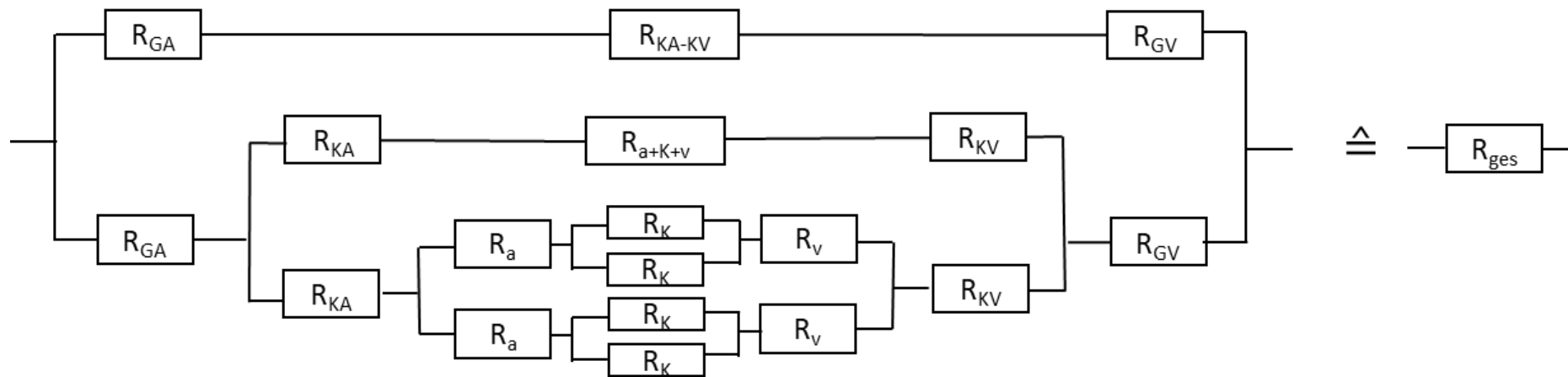
Hier ist beispielhaft die Blutversorgung einer Niere auf vereinfachter Weise dargestellt. Die Gefäße verzweigen sich bis zu den Kapillaren, in denen der Gasaustausch stattfindet.

- Wie groß ist der Durchfluss Q_a in jedem der dargestellten Kapillarbetten bei einem Gesamtdurchfluss Q_{ges} von 1000 ml/min?
- Berechnen Sie den gesamten Gefäßwiderstand R_{ges} , sowie den Widerstand einer größeren Arterie R_{GA} , einer kleineren Arterie R_{KA} , einer größeren Vene R_{GV} , einer kleineren Vene R_{KV} sowie den Widerstand R_{a+K+v} mithilfe der in der Abbildung angegebenen Druckabfälle.



Ersatzschaltbild in der nächsten Seite

Aufgabe 19



GA: große Arterie
 KA: kleine Arterie
 a: Arteriole
 K: Kapillarbett
 v: Venole
 KV: kleine Vene
 GV: große Vene

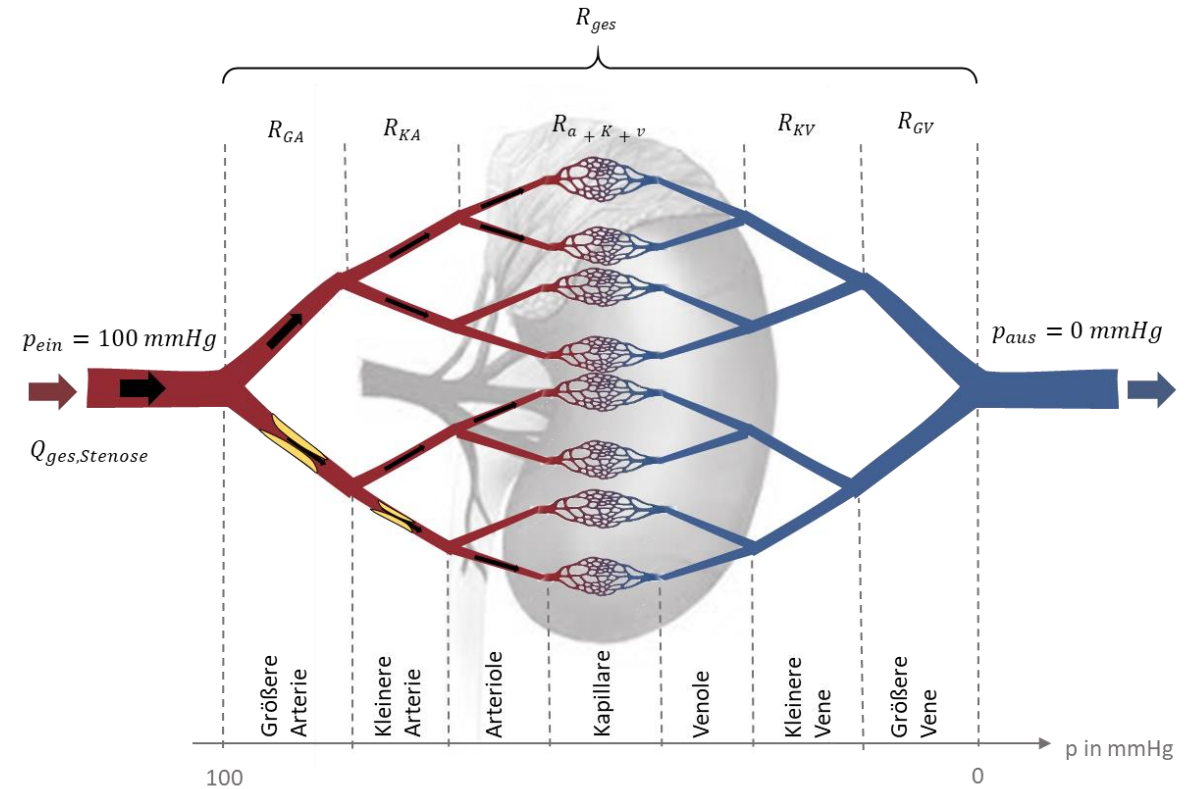
Die Gefäße haben vereinfacht angenommen auf jeder Ebene dieselben Dimensionen.

Aufgabe 19

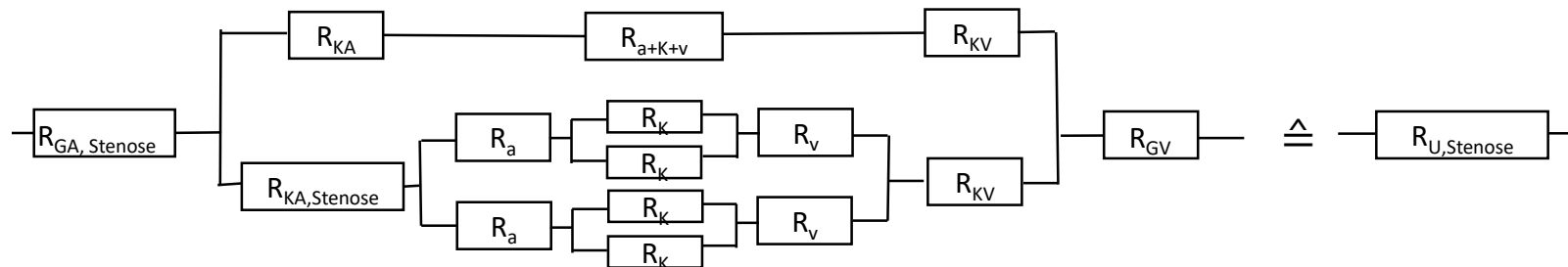
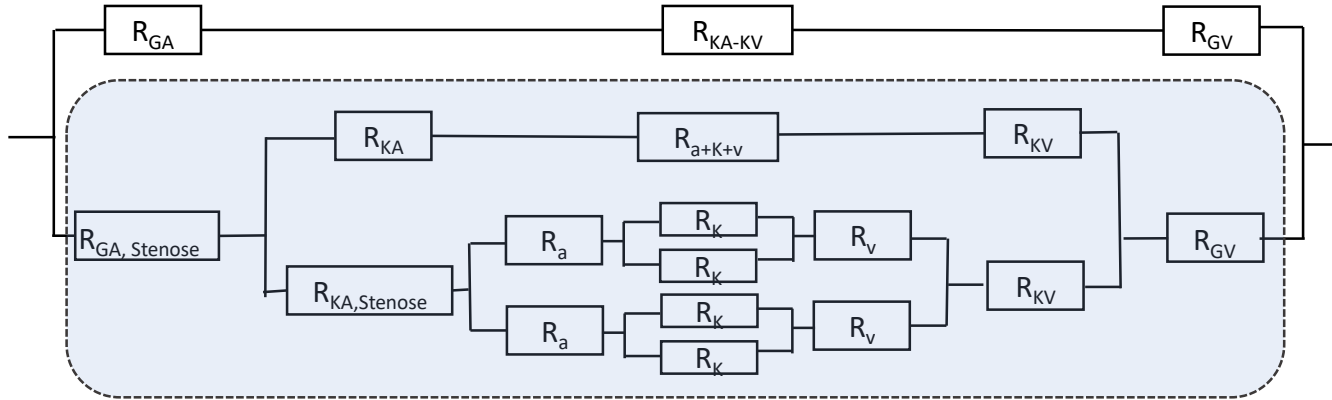
Eine stenotische Verengung in der größeren Arterie verdoppelt den Widerstand des Gefäßes. Eine weitere Stenose in einer kleineren Arterie verdoppelt auch hier den Gefäßwiderstand.

- c) Berechnen Sie die prozentuale Durchmesser-verringering in den beiden Gefäßen. Geben Sie weiterhin die Gleichung zur Berechnung des Widerstandes in dem gesamten unteren Kompartiment $R_{U, Stenose}$ an.

(**Tipp:** die Widerstände R_{a+K+v} so wie die Widerstände der nicht stenotischen Gefäße bleiben unverändert)



Aufgabe 19



GA: große Arterie
 KA: kleine Arterie
 a: Arteriole
 K: Kapillarbett
 v: Venole
 KV: kleine Vene
 GV: große Vene

Aufgabe 20

a) Kreuzen Sie die richtigen Aussagen zum respiratorischen System an.

- ☐ Der Rachenraum ist Teil der Oberen Atemwege.
- ☐ Der rechte und der linke Lungenflügel haben jeweils drei Lungenlappen.
- ☐ Der Transport von Gasen innerhalb der Lunge erfolgt über Gaskonvektion und Gasdiffusion.
- ☐ Die Gesetze der Thermodynamik können angewendet werden, um die Transportprozesse zu beschreiben.
- ☐ Der Bronchialbaum ist eingeteilt in eine Leitungszone, eine Übergangszone und eine Respirationszone.

Aufgabe 20

b) Kreuzen Sie die richtigen Aussagen zum respiratorischen System an.

- ☐ Die Ruheatmung wird vom somatischen (willkürlichen) Nervensystem gesteuert.
- ☐ Der Begriff Ventilation beschreibt die Belüftung der Lunge über die Lungenmuskulatur.
- ☐ Die Expiration erfolgt in Ruhe passiv durch die elastischen Eigenschaften der Lunge.
- ☐ Die Vitalkapazität beschreibt das Volumen, das bei jedem Atemzug aufgenommen und wieder abgegeben wird.
- ☐ Mit steigendem Alter nimmt die Vitalkapazität ab.

c) Vervollständigen Sie diesen Lückentext:

Der Pleuraspalt trennt die Pleura _____ und die Pleura _____ und ist mit einer Flüssigkeit gefüllt.

Die Flüssigkeit ermöglicht eine abgleitende Bewegung von _____ und _____. Die Flüssigkeit ist inkompressibel, würde beispielsweise Luft durch eine Perforation eindringen, kann die Lunge _____.

Aufgabe 21

Berechnen Sie die Totalkapazität und die Vitalkapazität der Lunge einer Probandin und entnehmen Sie die gemessenen Volumenwerte der Tabelle.

Bezeichnung	Volumen [ml]
Inspiratorisches Reservevolumen	1900
Atemzugvolumen	500
Funktionelle Residualkapazität	1800
Residualvolumen	1100

Aufgabe 22

Eine Probandin leistet bei einem Atemzug eine Lungenarbeit von $W = -0,5J$.

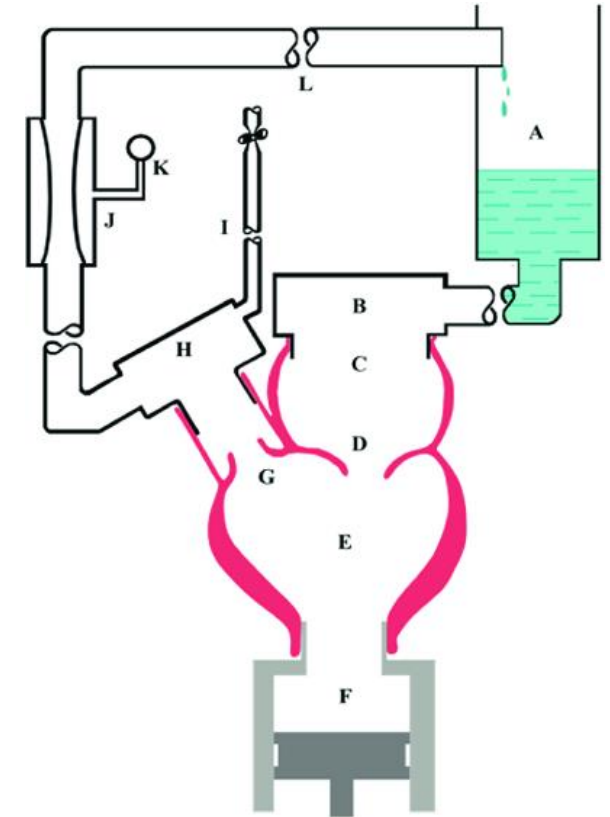
a) Berechnen Sie das bewegte Volumen ΔV bei diesem Vorgang, wenn der intrapleurale Druck von $p_{p1} = -5mmHg$ auf $p_{p2} = -7mmHg$ bei der Inspiration absinkt.

b) Zeichnen Sie quantitativ die Lungenarbeit in das Diagramm ein und markieren Sie diese farblich.

Hinweis: $1J = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$ und $1 mmHg = 133,322 \frac{kg}{m \cdot s^2}$

Aufgabe 23

- a) Geben Sie zwei Vorteile einer Schlauchpumpe an.
- b) Betrachten Sie den in vitro Aufbau in der Abbildung. Welche Vereinfachung wird im Bezug auf die Ventrikelbewegung getroffen?
- c) Bei der Strömungsmessung über PIV wird die Position von Partikeln zu zwei verschiedenen Zeitpunkten erfasst. Welche Schwierigkeit besteht bei der Rechnung der Geschwindigkeit, wenn der Zeitabstand zwischen den beiden Erfassungen sehr klein sein.



Zu Aufgabe b)

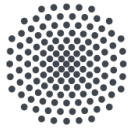
Aufgabe 23

d) Geben Sie zwei Nachteile der Strömungsmessung über PIV

e) Kreuzen Sie die richtige(n) Angabe(n).

Gerade Schläuche zur Modellierung eines Gefäßes:

- ☐ Kommen auf Grund der Vereinfachung (Gefäße sind gewunden) nicht zum Einsatz im Rahmen Laboruntersuchungen
- ☐ Werden beispielsweise im Chandler Loop verwendet
- ☐ können die Compliance eines Gefäßes nicht abbilden
- ☐ Sind von Vorteil, wenn eine laminare Strömung nachgebildet werden soll
- ☐ Werden beispielsweise für die Untersuchung der biologischen Wechselwirkung von Implantaten verwendet.



Universität Stuttgart

Biomechanik – Probeklausur

Prof. Dr.-Ing. Giorgio Cattaneo

Institut für Biomedizinische Technik

Universität Stuttgart

Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart

