



## **Biophysikalische Grundlagen des Blutkreislaufes**

- *Strömung und Strömungsfeld*
- *Hämostatik und Hämodynamik*
- *Blutdruckmessung*



## Biophysikalische Grundlagen des Blutkreislaufes

*Lehrziel: Verständnis*

*der Wirkungen des hydrostatischen Druckes,*

*der laminaren und turbulenten Strömung,*

*des hämostatischen und hämodynamischen Druckverlaufes im Gefäßsystem,  
der Physik des Blutkreislaufs.*

*Lehrziel: Kenntnis*

*des hydrostatischen Druckes und Auftriebs,*

*des Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes,*

*der Messung hydrostatischer und hydrodynamischer Drucke,  
der Blutdruckmeßverfahren.*



## Strömung und Strömungsfeld

*Dichte von Flüssigkeiten*

*Flüssigkeiten unter dem Einfluß der Schwerkraft*

*Strömende Flüssigkeiten*

*Ideale Strömung*

*Laminare und turbulente Strömung*

*Strömungswiderstand*

*Bernoullische Gleichung*



## Dichte von Flüssigkeiten

- Die Dichte ist der Quotient aus Masse und Volumen :  $d = m/V$
- Durch die thermische Volumsausdehnung ist die Dichte temperaturabhängig.
- Die Dichte einer Flüssigkeit kann durch Wiegen oder durch Auftriebsverfahren (Aräometer) bestimmt werden.
- Die Anomalie des Wasser, das die größte Dichte bei 4°C hat, sichert den Fischen im Winter das Überleben.



$$d = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{m}^3)$$

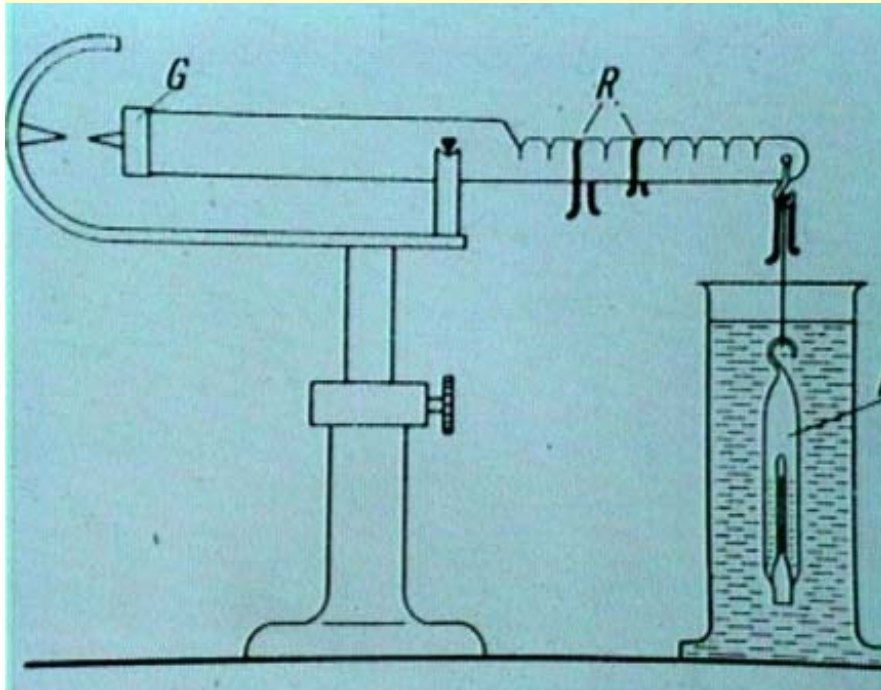
$$d = d(T)$$

Dichte von Wasser (4°C)  
 $1 \text{g/cm}^3 = 1 \text{kg/dm}^3 = 1000 \text{kg/m}^3$

Aräometer = Senkwaage



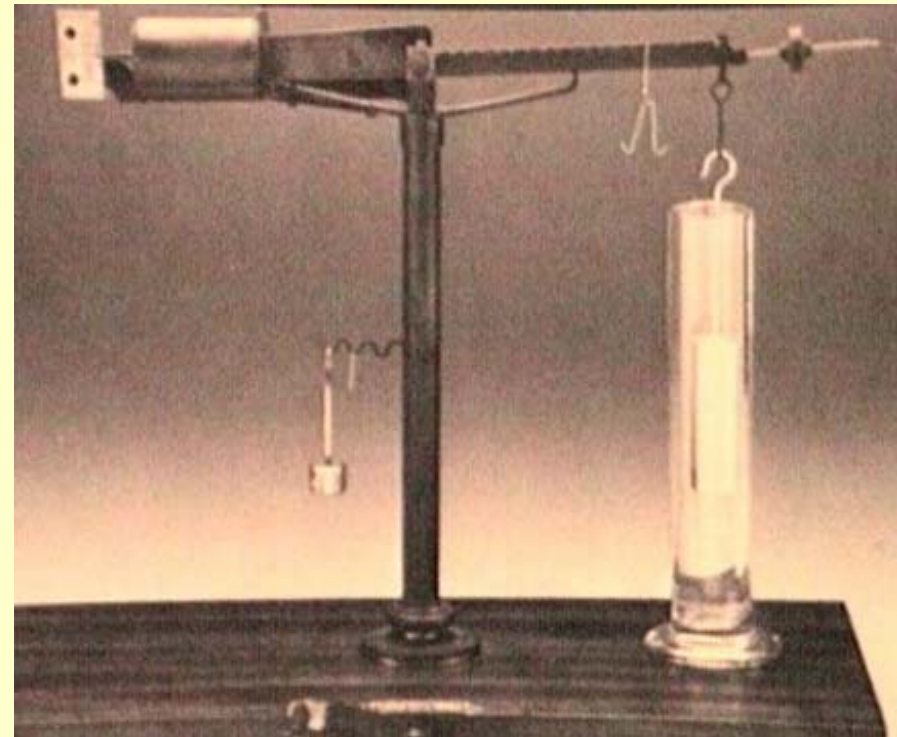
# Westphalsche Waage



$$d = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{m}^3)$$

$$d = d(T)$$

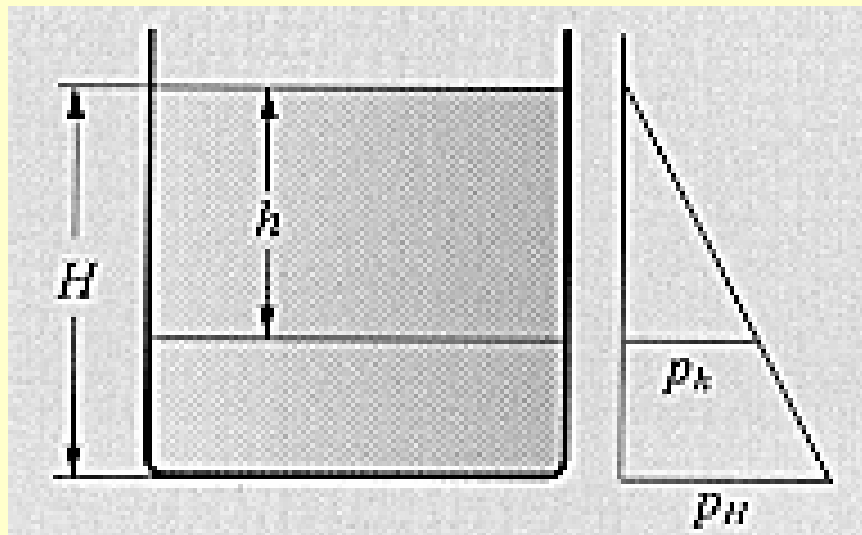
Westphalsche Waage





## Flüssigkeiten unter dem Einfluss der Schwerkraft

- In einer ruhenden Flüssigkeit können nur Druckkräfte (Normalspannungen), niemals Schubspannungen (Tangentialspannungen) wirken.
- In jedem Punkt einer ruhenden Flüssigkeit ist der Druck nach allen Richtungen gleich groß.
- Auf Flüssigkeiten können die Schwerkraft, Trägheitskräfte (Zentrifuge) oder mechanische Kräfte (Zylinder-Kolben) wirken.



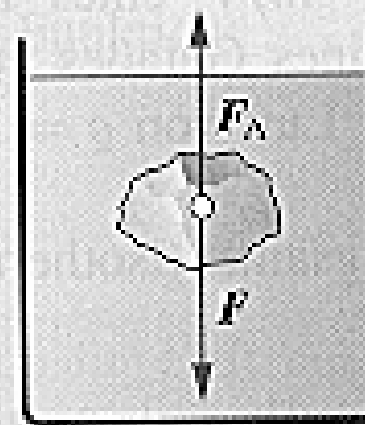
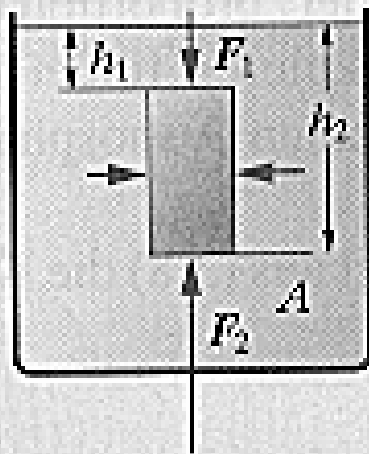
$$p_h = \frac{F}{A} = g \cdot d \cdot h$$

Hydrostatischer Druck  $p_h$



# Archimedisches Prinzip

- Das Archimedische Prinzip besagt, daß ein Körper in einer Flüssigkeit soviel an Gewicht verliert, wie die Flüssigkeitsmenge wiegt, die er durch sein Volumen verdrängt.
- Auf einen Körper in einer Flüssigkeit wirken sein Gewicht und der entgegengesetzt gerichtete Auftrieb.
  - Schwimmen : Auftrieb > Körpergewicht
  - Sinken : Auftrieb < Körpergewicht
  - Schweben : Auftrieb = Körpergewicht



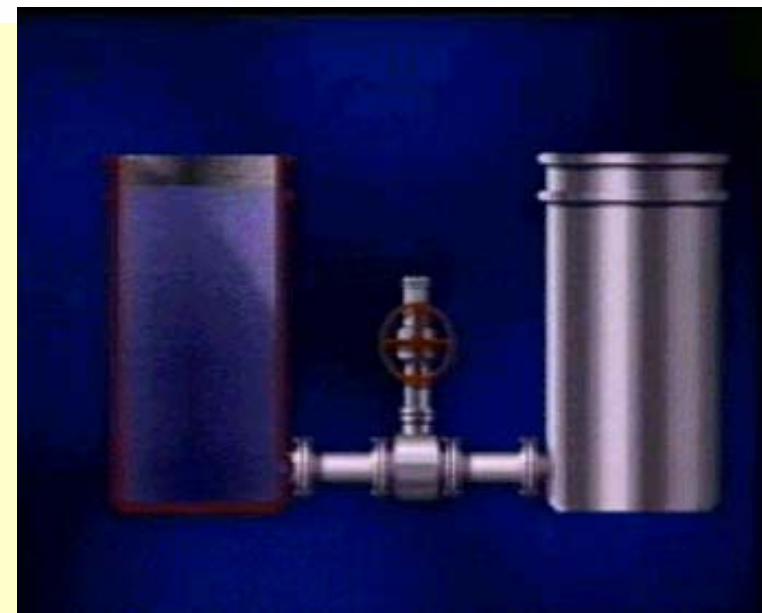
$$\text{Auftrieb} = F_2 - F_1 = g \cdot d \cdot V$$

Schweben



## Strömende Flüssigkeiten

- Das Strömen von Flüssigkeiten wird durch innere und durch äußere Kräfte verursacht.
- Äußere Kräfte sind die Schwerkraft oder Druckdifferenzen zwischen verschiedenen Strömungsquerschnitten.
- Äußere Kräfte wirken auf jedes Volumselement.
- Innere Kräfte wirken nur bei realen Flüssigkeiten. Sie sind für die Viskosität verantwortlich und werden Reibungskräfte genannt.
- Für jedes Volumselement müssen die äußeren Kräfte, die Reibungskräfte und die Trägheitskräfte im Gleichgewicht sein.

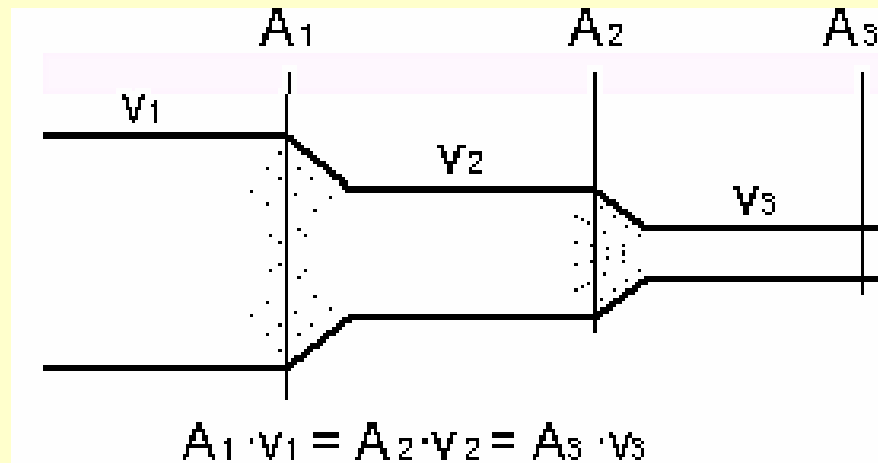
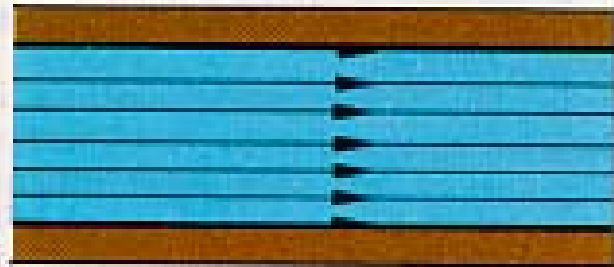


Strömende Flüssigkeit



# Strömung in einer idealen Flüssigkeiten

- Eine ideale Strömung liegt bei einer reibungsfreien und inkompressiblen Flüssigkeit vor.
  - Die Geschwindigkeit ist über den Rohrquerschnitt konstant.
- Der Fluß  $\Phi$  ist jene Flüssigkeitsmenge, die pro Zeiteinheit durch einen Strömungsquerschnitt fließt:  
 $\Phi = d \cdot v \cdot A$
- Es gilt die Kontinuitätsbedingung, d.h. : in jedem Querschnitt ist der Fluß konstant :



$$\Phi = d \cdot v \cdot A$$

Kontinuitätsbedingung



# Bernouillesche Gleichung

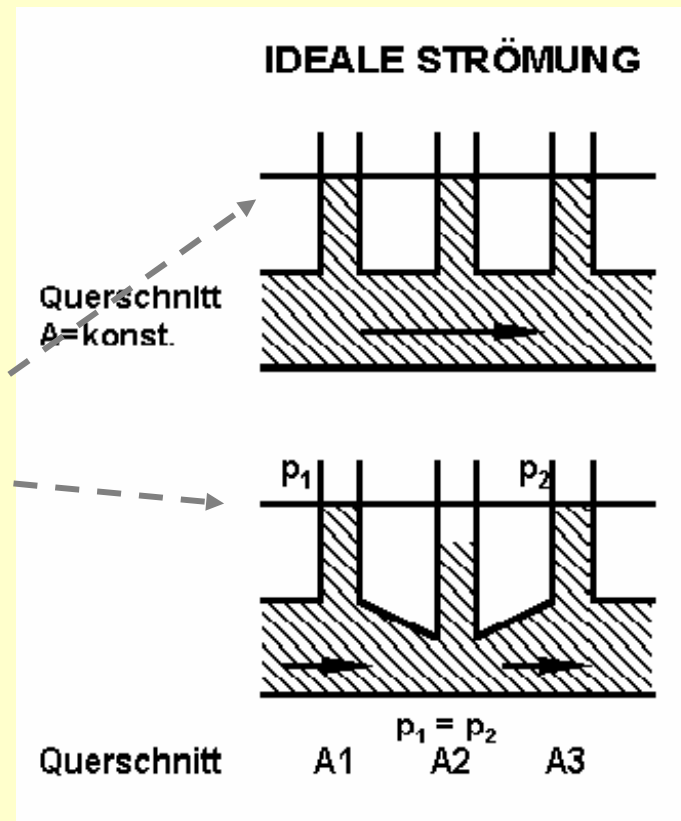
- Die Bernouillesche Gleichung besagt, daß der Gesamtdruck in einer idealen Strömung die Summe aus statischem Druck und dynamischen Staudruck ist :
- Sinkt in einer Strömung  $v$ , dann steigt der statische Druck  $p_0$ , nimmt die Geschwindigkeit  $v$  zu, dann sinkt der statische Druck  $p_0$ .

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 = p = \text{const}$$

$p$ .....Gesamtdruck

$p_0$ .....statischer Druck

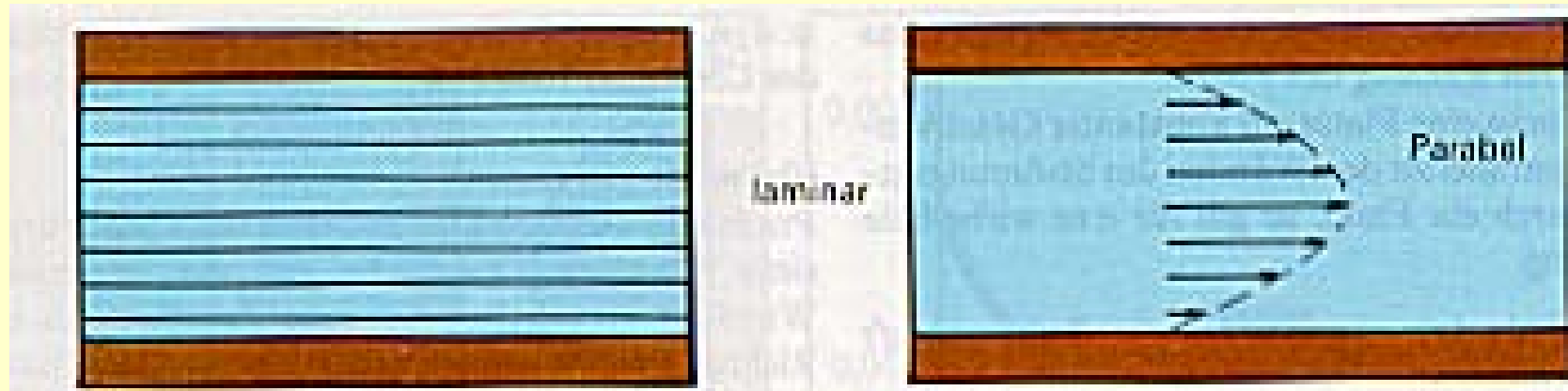
$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ .....Staudruck





## Reale, laminare Strömung

- Bei der laminaren Strömung nimmt die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsschichten von der Wand bis zur Achse des Rohres hin kontinuierlich zu.
  - Laminare Strömungen haben ein parabolisches Strömungsprofil.
  - Die Flüssigkeitsteilchen unmittelbar an der Gefäßwand sind in Ruhe.
  - Die Stromlinien verlaufen parallel.
  - Die mittlere Geschwindigkeit  $v = v_{\max}/2$



$$R_S \approx \bar{v}$$

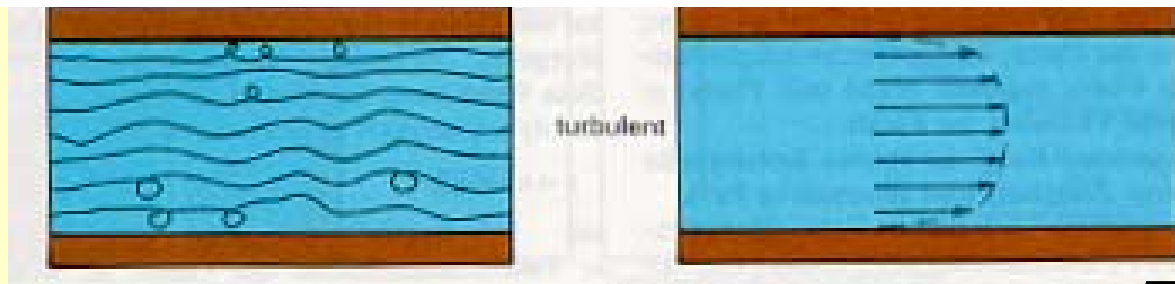
$$\bar{v} = \frac{v_{\max}}{2}$$

$R_S$ ....Strömungswiderstand ~ mittlerer Geschwindigkeit



# Reale, turbulente Strömung

- Steigt die Geschwindigkeit der Strömung an, beginnen sich die Flüssigkeitsschichten zu verwirbeln und es entsteht eine turbulente Strömung.
  - Das Geschwindigkeitsprofil flacht ab, da sich die Flüssigkeitsteilchen auch quer zur Rohrachse bewegen.
  - Der Strömungswiderstand steigt an.
- Der Übergang in die turbulente Strömungsform hängt
  - von der Viskosität, von der Dichte,
  - vom Gefäßradius und von der mittleren Geschwindigkeit ab,
  - die in der dimensionslosen Reynoldsen Zahl  $R_e$  zusammengefaßt werden.
- Wenn  $R_e$  den Wert von 1000-2000 überschreitet, sind die Bedingungen für eine turbulente Strömung gegeben.



$$R_s \approx \bar{v}^2$$

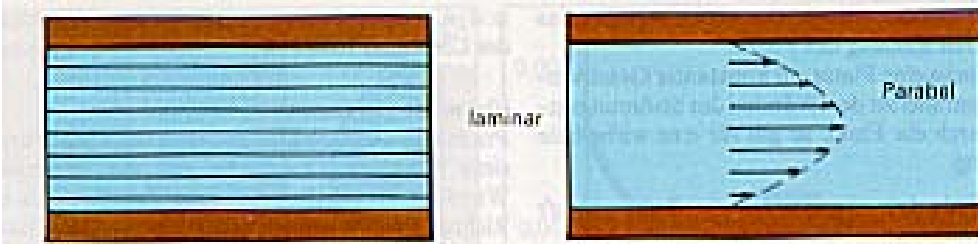
$R_s$ ....Strömungswiderstand

$$R_e = \frac{\bar{v} \cdot L \cdot d}{\eta}$$

$R_e$ ...Reynoldsen Zahl

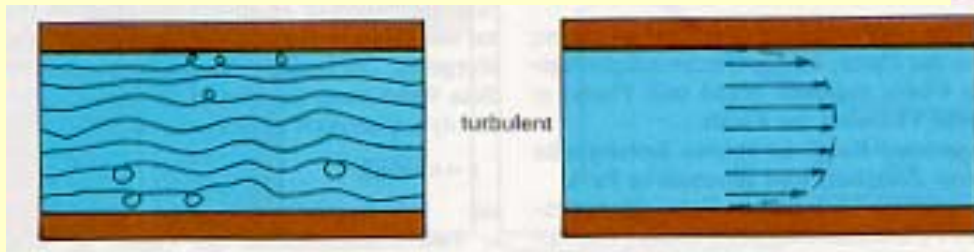
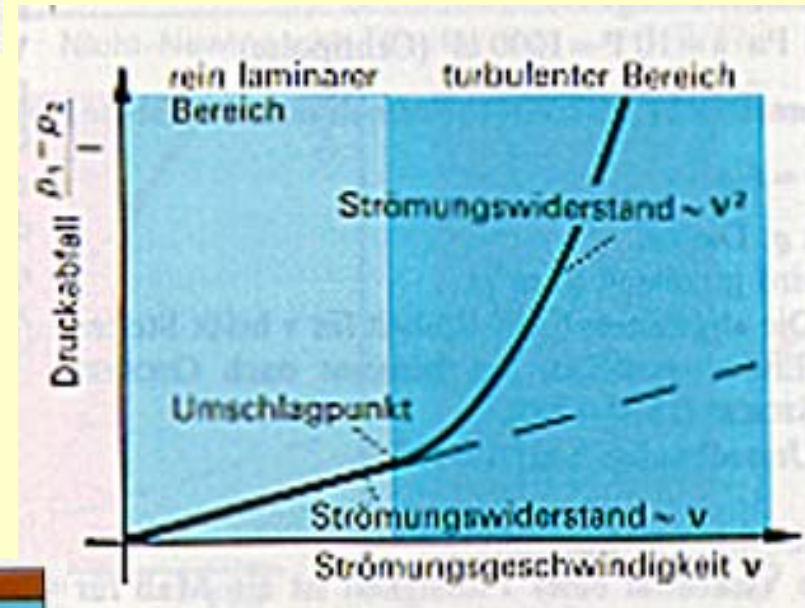


# Laminare vs turbulente Strömung



$$R_S \approx \bar{v}$$

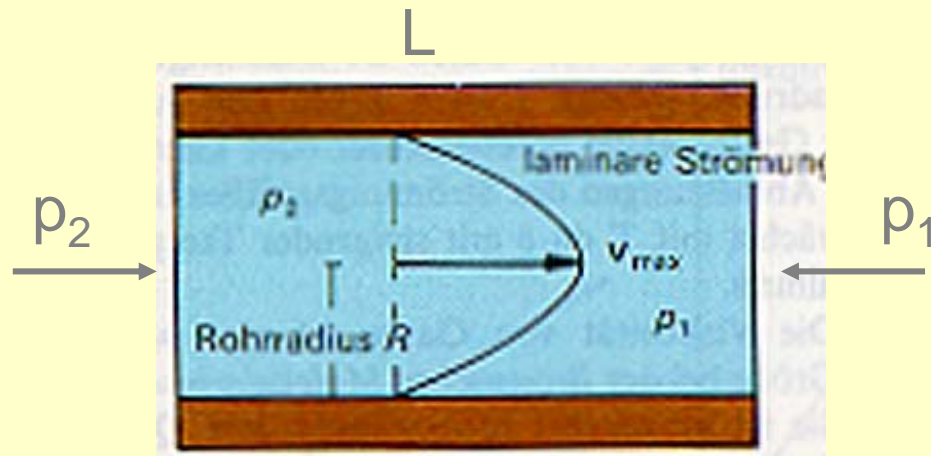
$$R_e = \frac{\bar{v} \cdot L \cdot d}{\eta}$$



$$R_S \approx \bar{v}^2$$



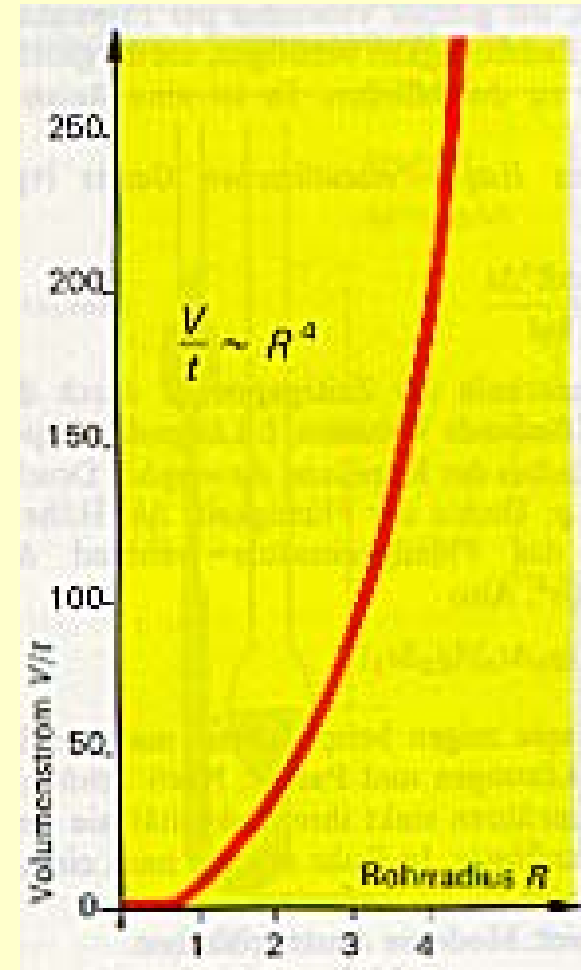
# Hagen-Poiseuille-Gesetz



$$\Phi = \frac{V}{\Delta t} = \frac{p_2 - p_1}{R_s} = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot L \cdot \eta} \Delta p$$

$\Phi$ ...Volumenfluss

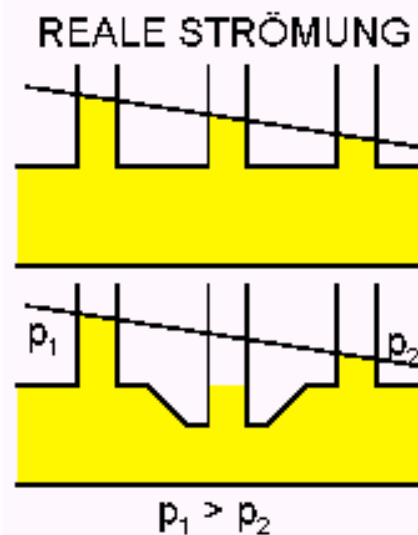
$\eta$ ...dynamische Viskosität





# Strömungswiderstand

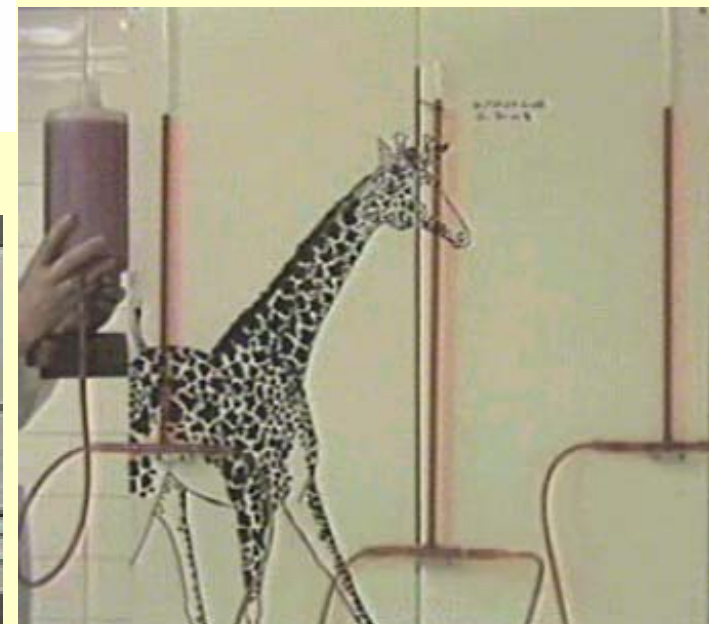
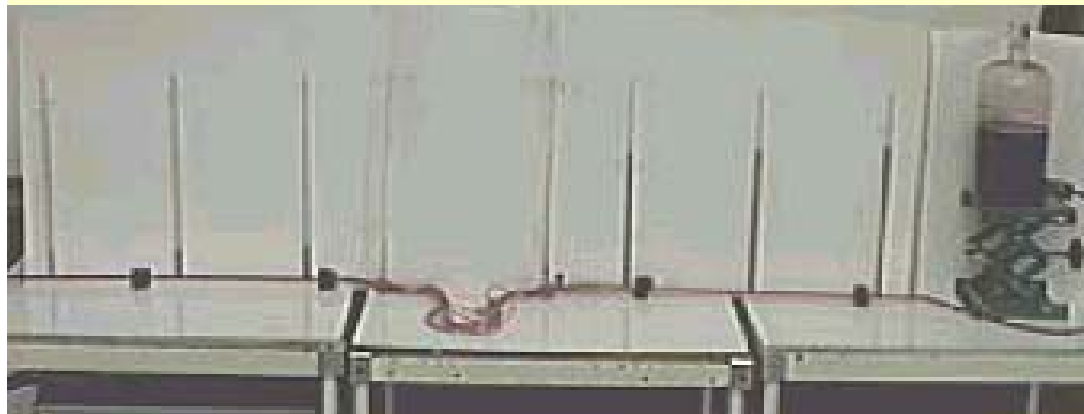
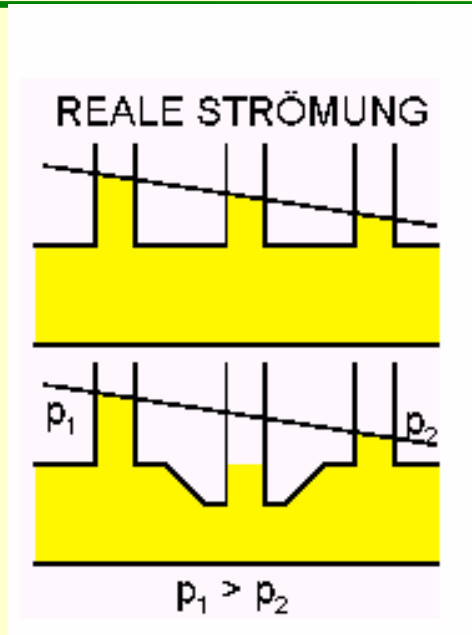
- Die Druckdifferenz  $p_1 - p_2$  zwischen dem Anfang und dem Ende des Rohres verursacht das Strömen der Flüssigkeit.
- Wegen des Strömungswiderstandes nimmt der Druck linear über die Rohrlänge ab.
  - Verringert sich der Querschnitt des Rohres, erhöht sich der Strömungswiderstand und der Druckabfall wird stärker.
  - An größeren Querschnitten haben wir einen geringeren Druckabfall.
- Der Gesamtströmungswiderstand  $R_s$  ergibt sich aus der Serienschaltung der Rohre :  
 $R_{s\text{ges}} = R_{s1} + R_{s2} + R_{s3}$ .
- Verlaufen mehrere Gefäße parallel, dann ergibt sich der reziproke Gesamtwiderstand als Summe der reziproken Einzelströmungswiderstände :  
 $1/R_{s\text{ges}} = 1/R_{s1} + 1/R_{s2} + 1/R_{s3}$ .



$$R_{sG} = R_{s1} + R_{s2} + \dots$$
$$\frac{1}{R_{sG}} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}} + \dots$$



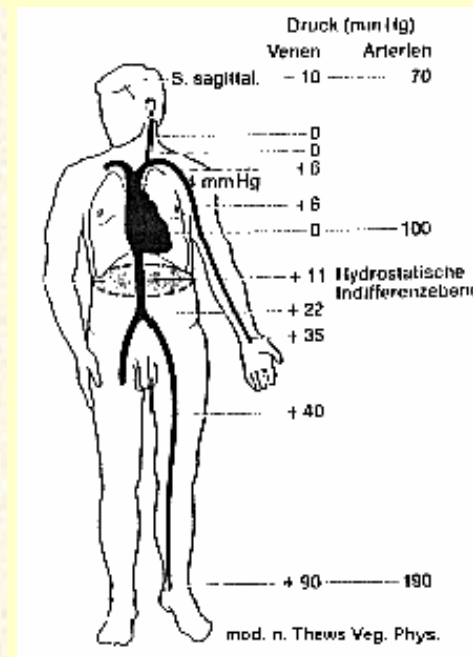
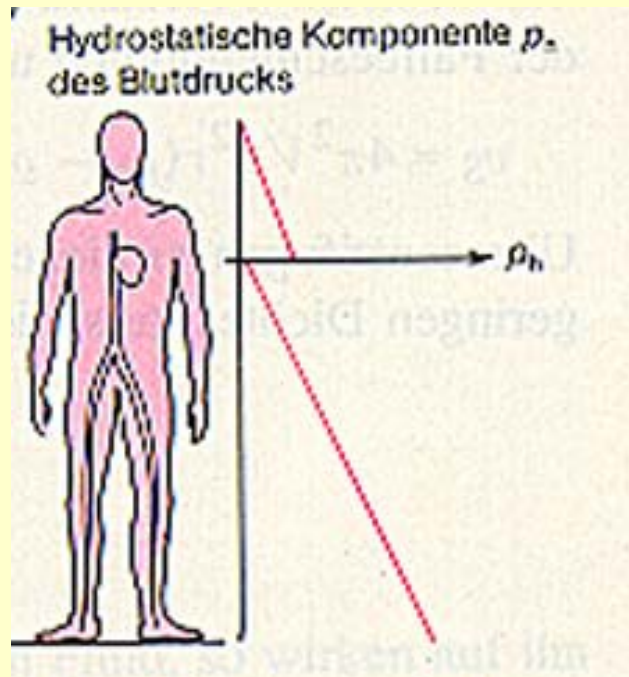
# Strömungsversuche





# Hämostatik

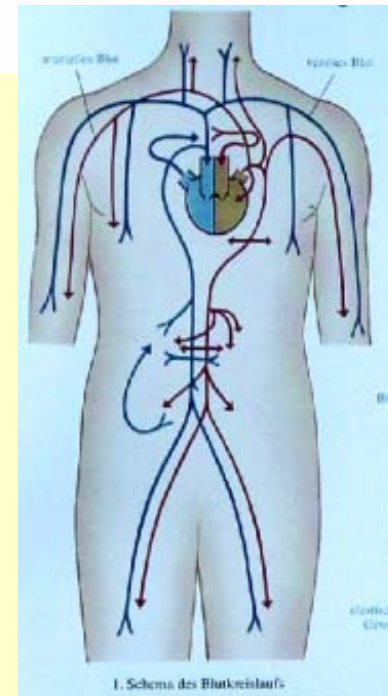
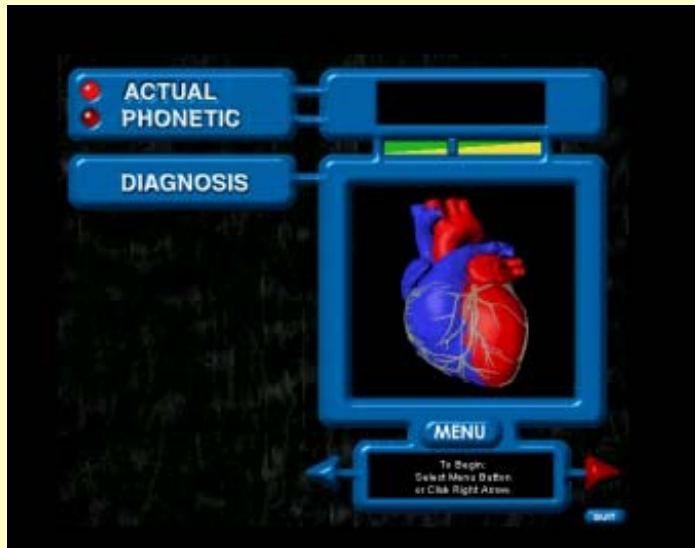
- Die Hämostatik untersucht die statischen Druckverhältnisse im Körper des Menschen/des Tieres.
  - Orthostase bezeichnet die aufrecht stehende Körperhaltung.
- Die Schwerkraft bewirkt, daß in der Orthostase der hämostatische Druck um 0,11 kPa/cm (0,8 mm Hg/cm) in der oberen Körperhälfte abnimmt und nach unten im gleichen Maße ansteigt.
  - In den Fußvenen beträgt der Venendruck bei Orthostase 90-100 mm Hg.
- Der hydrostatische Indifferenzpunkt ist jener Ort im Venensystem, dessen Druck sich beim Positionswechsel vom Liegen zum Stehen nicht ändert.





# Der Blutkreislauf

- ist ein geschlossenes System, in dem das Blut, angetrieben vom Herzen, zirkuliert.
- ist das Transportsystem für den Zellstoffwechsel, den Wasser-und Mineralhaushalt, für die Temperaturregulation, für die hormonale Steuerung und für das Abwehrsystem.
- besteht aus in Serie und parallel geschalteten Blutgefäßen, in die als Pumpe das rechte und das linke Herz eingeschaltet sind.
- umfaßt den Körperkreislauf mit dem linken Herzen, den parallel geschalteten Arterien der Organe, den kleineren Arterien und Arteriolen, den Kapillaren, sowie den kleinen und großen Venen,
- und den Lungenkreislauf mit dem rechten Herzen, der Lungenarterie und dem Lungengefäßsystem sowie den großen Lungenvenen.





# Auskultation Simulator

**FamilyPractice.com**  
• SEARCH • HOME • HELP • MY PRACTICE

**HeartLab™**

Review  
Heart Sounds  
S1 & S2  
Murmurs  
Clicks  
Opening Snap  
Gallops  
Unknown

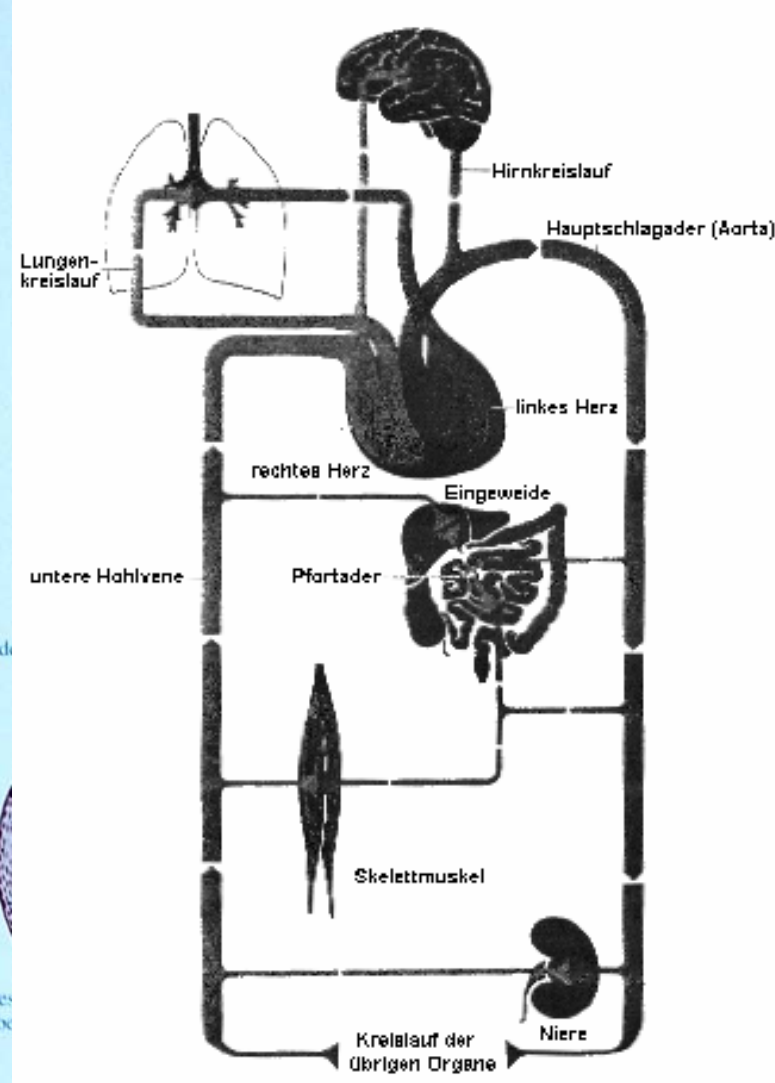
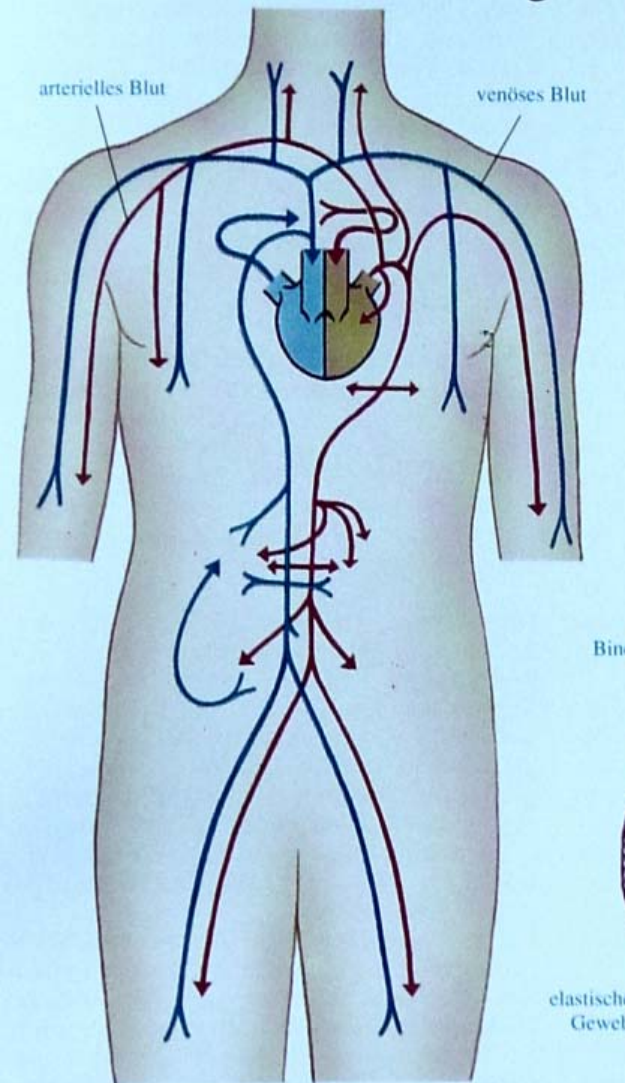
**HeartLab™**

**CARDIAC AUSCULTATION SIMULATOR**

From the menu on the left, select from the library of sounds to listen to accurate heart sounds on a simulated chest wall, review which maneuvers accentuate the sounds, locate where the sounds are best heard, and view a graphic representation of the sounds.

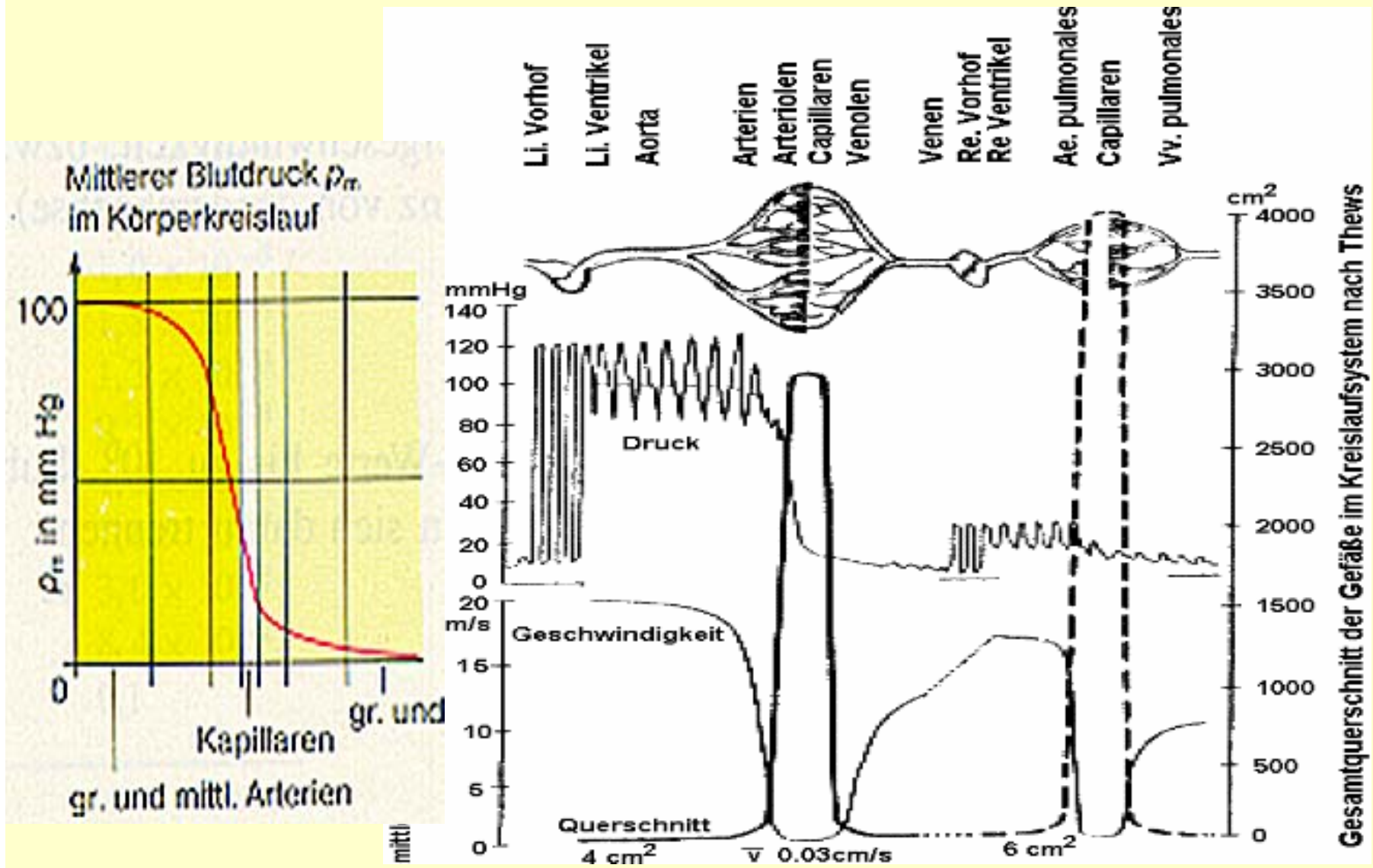


# Der Blutkreislauf





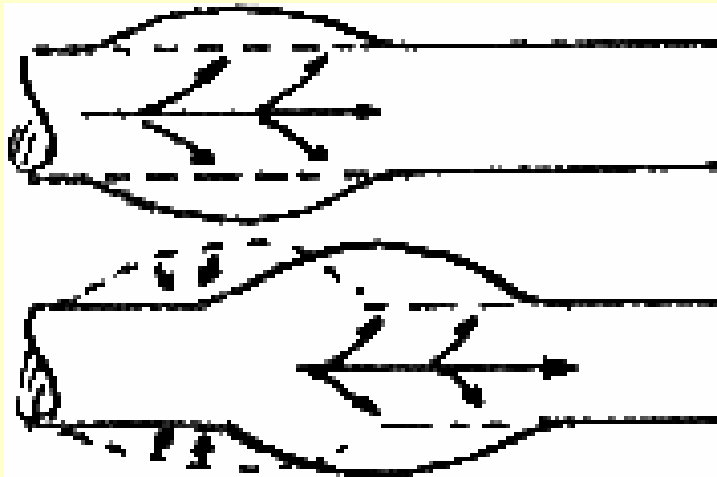
# Die Strömung im Gefäßsystem





## Die Strömung im Gefäßsystem

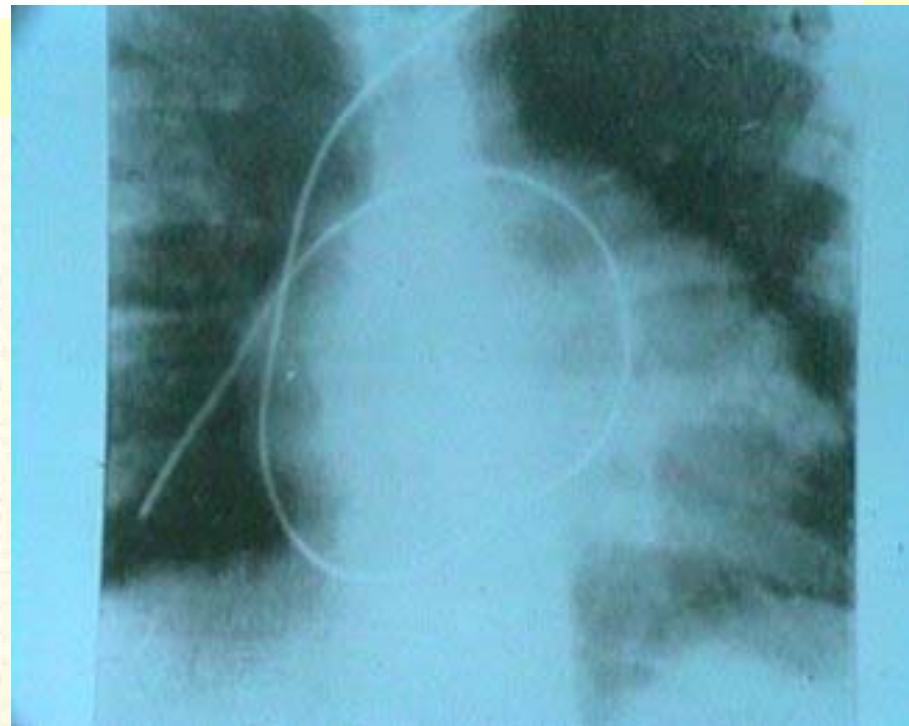
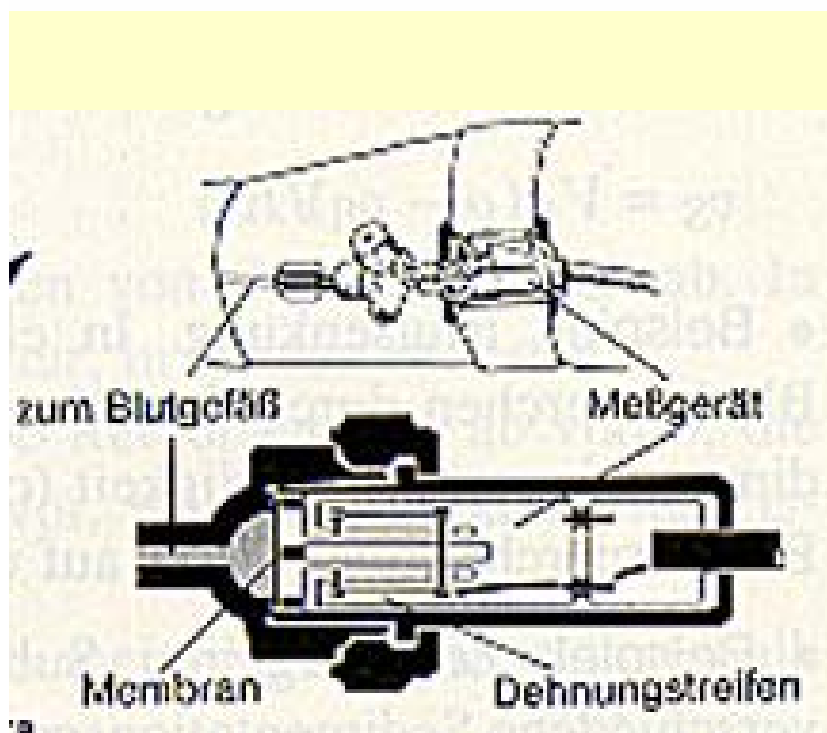
- Die großen Körperarterien gehören zu den stark dehnbaren Gefäßen.
  - Bei jedem Blutausswurf werden diese Gefäße gedehnt, so daß ein Teil der Energie gespeichert wird.
  - In der Herzpause (Diastole) ziehen sich die Gefäße wieder zusammen und treiben das Blut weiter peripherwärts = Windkesselfunktion.
- Im menschlichen Gefäßsystem sind von den vier Voraussetzungen für die Anwendung des Hagen-Poiseuilleschen Gesetzes
  - nur die Laminarität und die Benetzbarkeit voll erfüllt,
  - weniger die Homogenität der Flüssigkeit, und am wenigsten die Starrheit der Rohre.





# Blutdruck

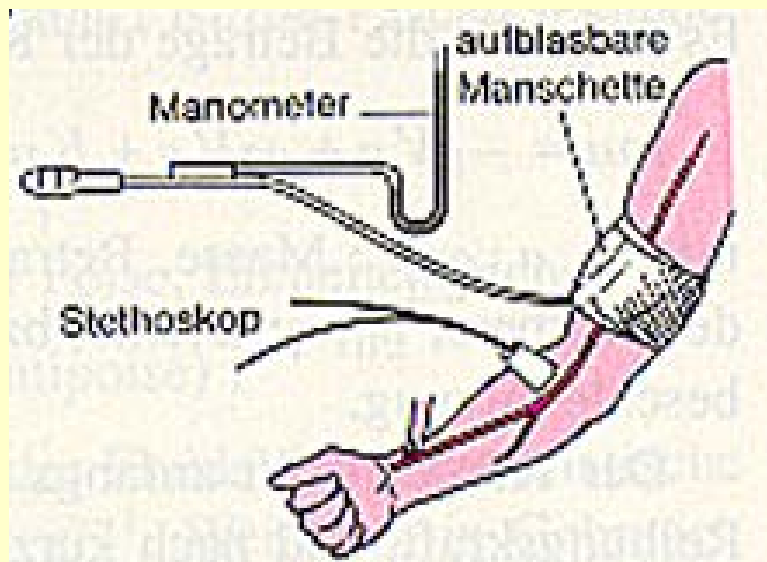
- Im klinischen Sprachgebrauch versteht man unter Blutdruck den Druck in den Arterien des Körperkreislaufes.
- Mit miniaturisierten Druckwandlern, die an der Spitze von Kathedern befestigt sind, können heute auch die Druckwerte in den beiden Herzkammern, in den Lungenarterien und in den Venen bestimmt werden.
- Bei jeder Blutdruckangabe muß daher die Lokalisierung der Messung angegeben werden.



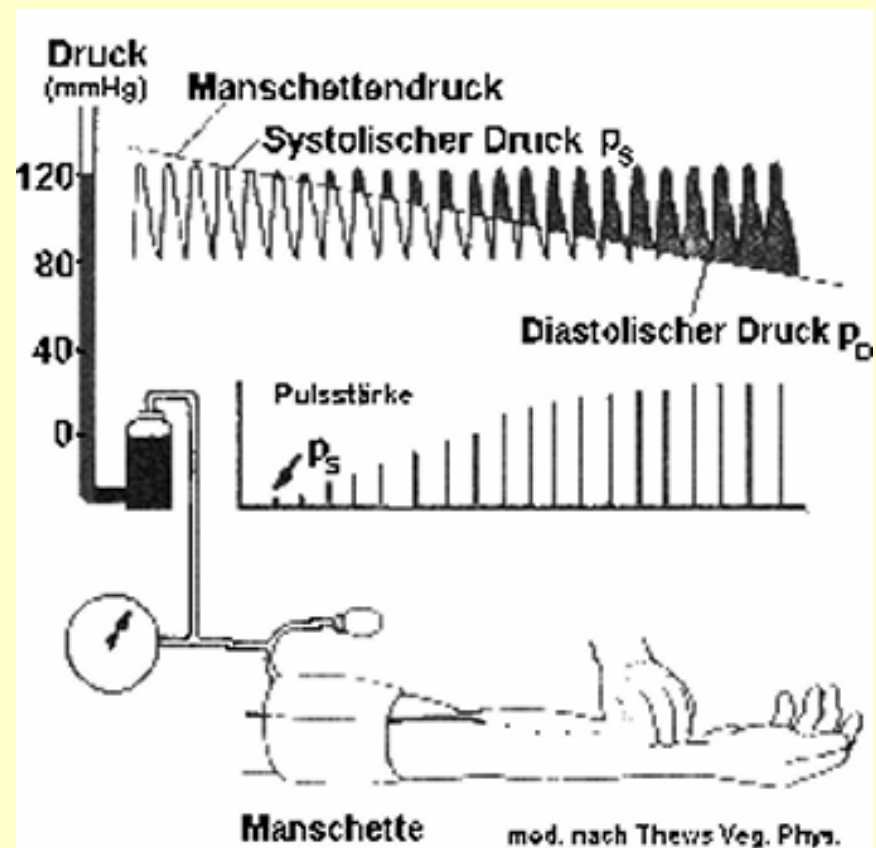


## Palpatorische Methode der Blutdruckmessung

- Bei der palpatorischen Methode nach Riva-Rocci wird der Druck in der aufblasbaren Gummimanschette mit einem Hg- oder Federmanometer angezeigt.
  - Die Kontrolle des Pulses distal der komprimierenden Manschette geschieht palpatorisch.
  - Der diastolische Druck kann nicht festgestellt werden.



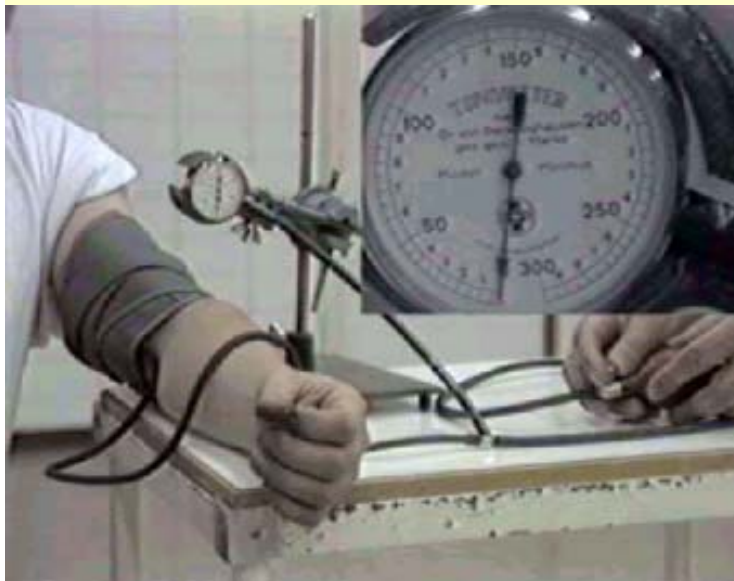
Blutdruckmessung nach Riva-Rocci





# Blutdruckmessung

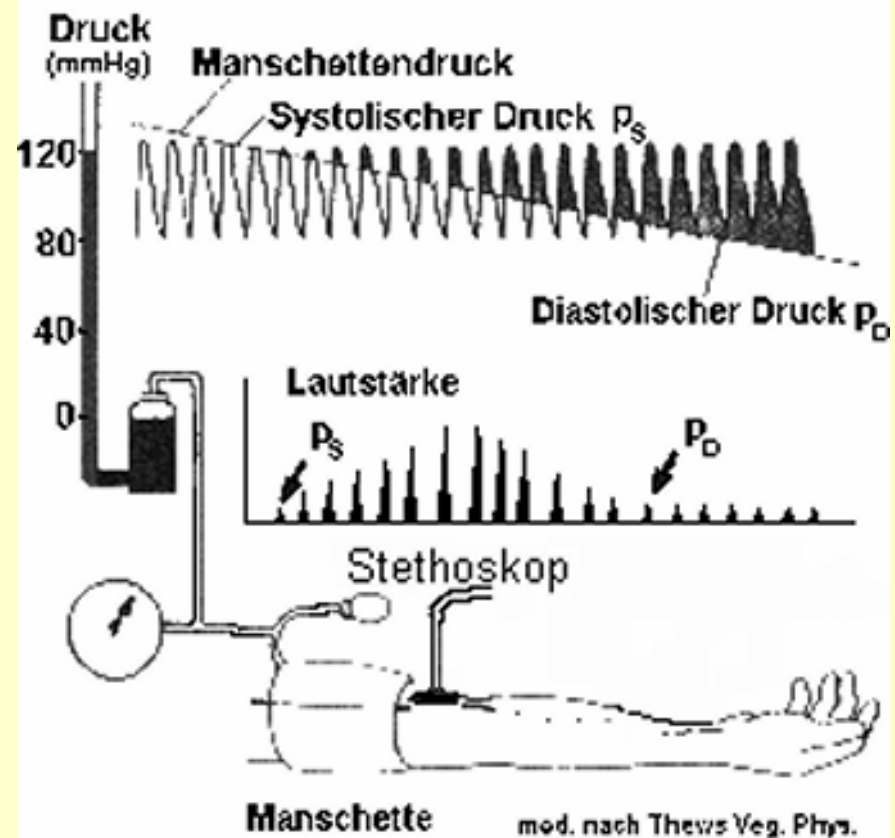
- Wir unterscheiden
  - direkte (blutige, invasive) Blutdruckmeßverfahren, bei denen ein Gefäß eröffnet werden muß und
  - indirekte (unblutige, nichtinvasive) Verfahren ohne Gefäßeröffnung.
- Bei unblutigen Methoden wird ein Gefäß durch einen Manschettendruck stenosiert.
  - Der erforderliche Druck ist dabei gleich jenem Druck, der im Gefäß herrscht.





# Auskultatorische Methode der Blutdruckmessung

- Bei der auskultatorischen Methode nach Korotkoff werden die Strömungsgeräusche in der Ellbogenbeuge mit einem Stethoskop abgehört.
  - Die Strömungsarten können an Hand der Strömungsgeräusche unterschieden werden.





# Oszillometrische Methode der Blutdruckmessung

werden.

- Bei der oszillometrischen Methode werden die pulsatorischen Druckschwankungen in der Manschette durch elektronische Drucksensoren erfaßt.
  - Das Blutdruckmeßgerät errechnet aus der Pulsationsamplitude den systolischen und den diastolischen Blutdruck.

