

Herzvorlesung I
Herzmechanik

Übersicht Herz/Kreislauf

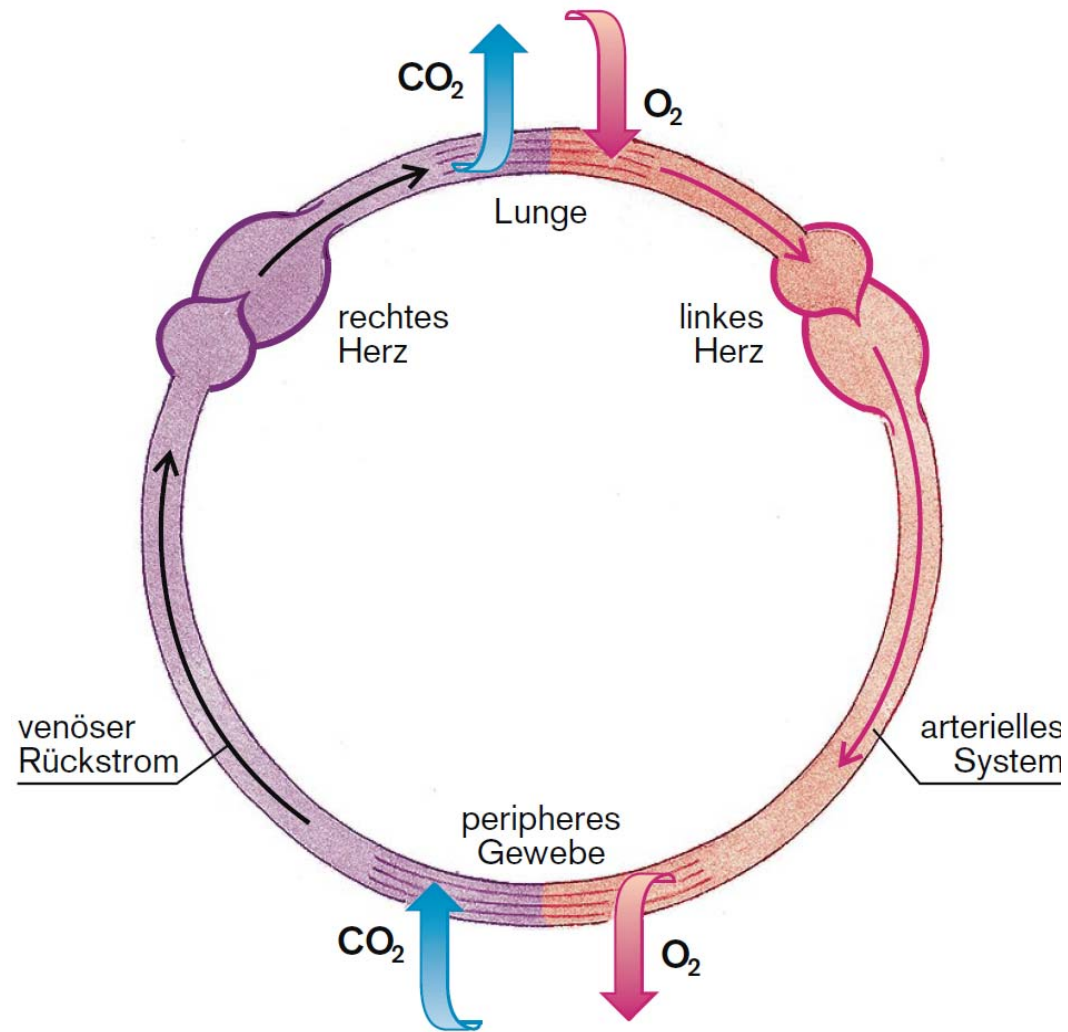
Herzmechanik

- Herzklappen und Ventilebene
- Kontraktionsformen und Arbeitsdiagramm
- Druck-Volumen-Diagramm, Frank-Starling-Mechanismus
- Beziehung von Ventrikelradius, Ventrikeldruck, Wandspannung und Wanddicke

Todesfälle 2009

	absolut	%
Insgesamt	854 544	100
Bösartige Neubildungen	216 128	25,3
Krankheiten des Kreislaufsystems	356 462	41,7
Myokardinfarkt	60 153	7,0
Krankheiten des Atmungssystems	63 304	7,4
Krankheiten des Verdauungssystems	42 288	4,9
Verletzungen, Vergiftungen	31 832	3,7
Transportmittelunfälle	4 468	0,5
Stürze	8 492	1,0
Vorsätzliche Selbstbeschädigung	9 571	1,1

Der menschliche Kreislauf wird von zwei Pumpen, rechtes und linkes Herz, angetrieben.

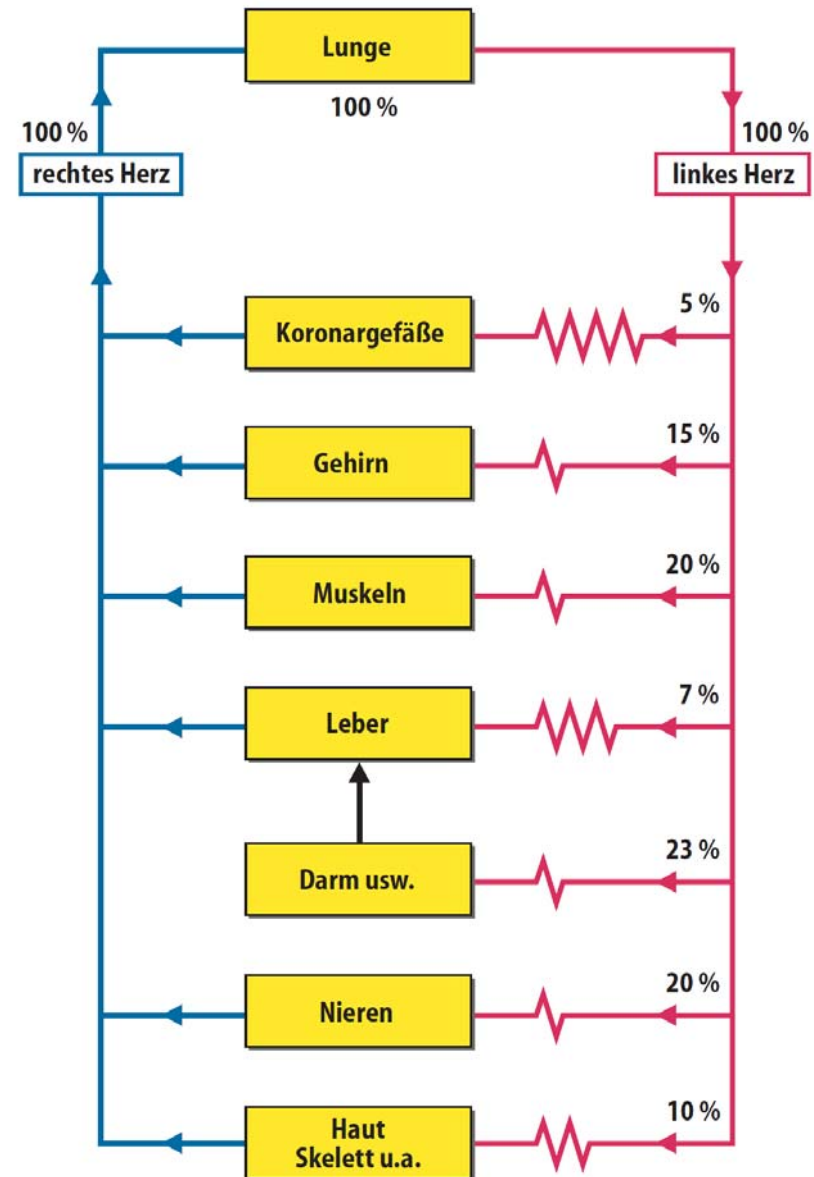


Quelle: Klink/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Rechtes und linkes Herz pumpen Blut durch Lungen bzw. Körperkreislauf.

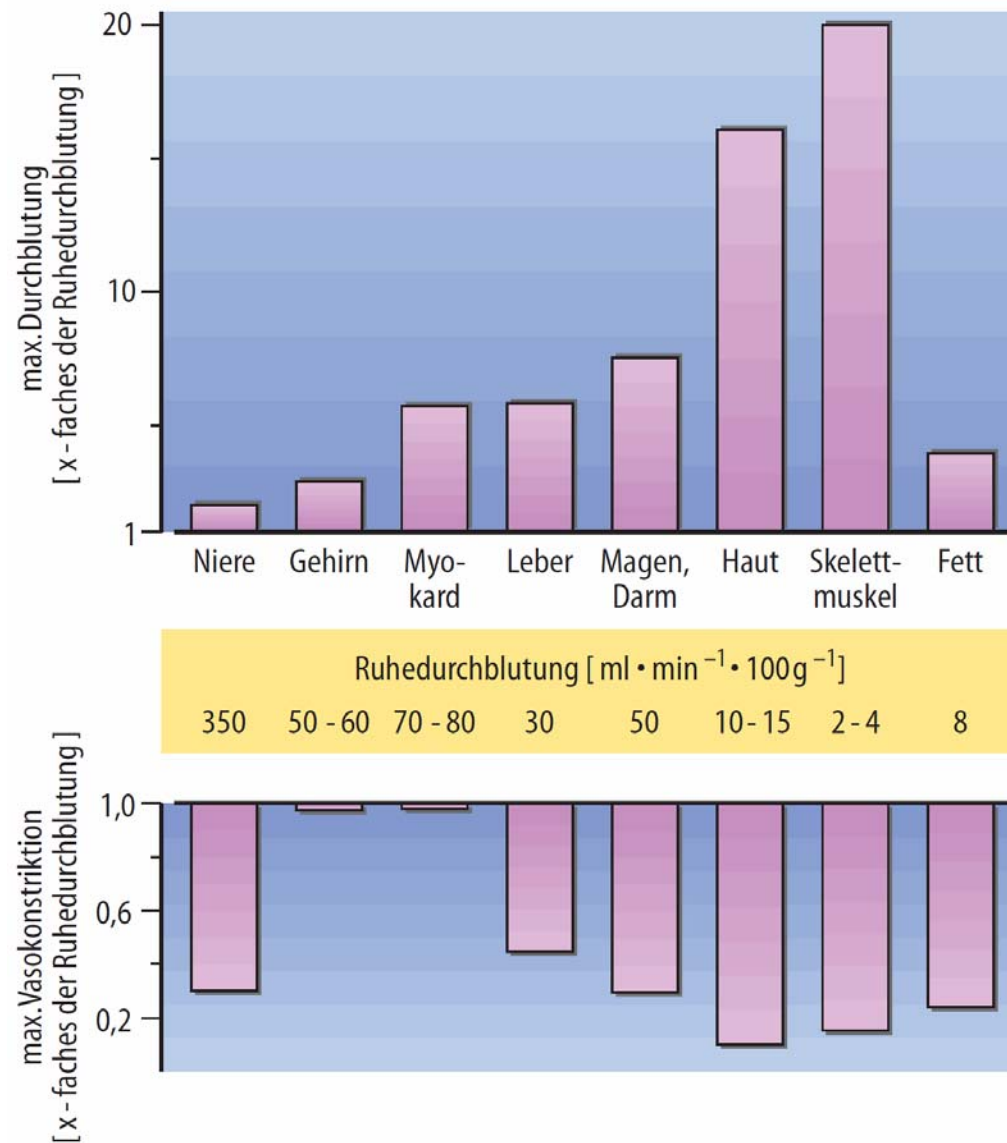
Die Lunge ist seriell, die anderen Organe sind parallel mit dem bzw. im Körper- (großen) Kreislauf verschaltet (Ausnahme Leber- und Hypophysenpfortader).

$$1/R_{\text{(total peripher)}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$$



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Ruhedurchblutung, Durchblutungsreserve und „Abschaltbarkeit“ der einzelnen Organe



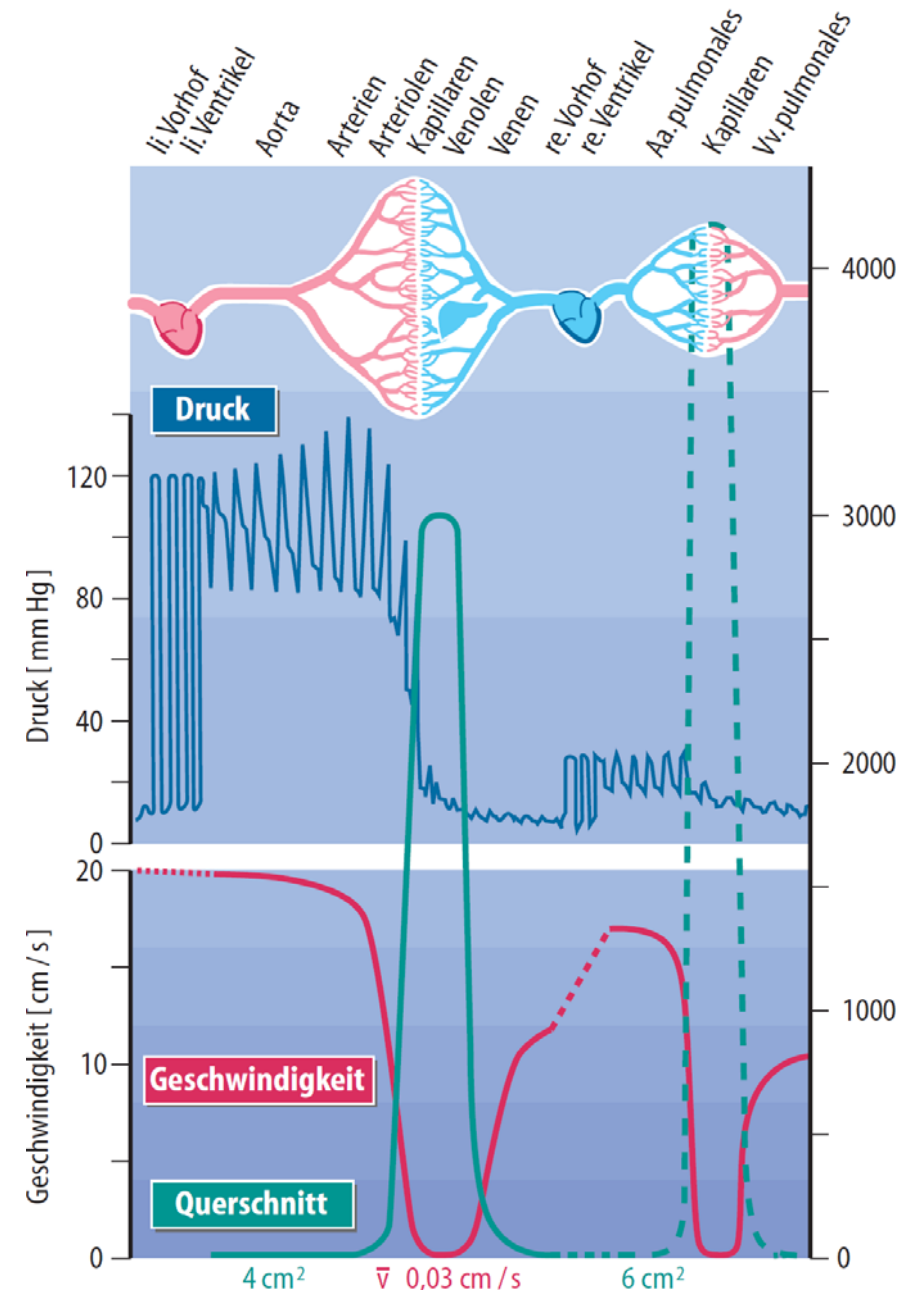
Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Der Kreislauf unterteilt sich in ein Hochdruck- und ein Niederdrucksystem.

Querschnitt und Widerstand der Gefäße bestimmen Blut Strömungsgeschwindigkeit.

An den Widerstandsgefäßen (kleine Arterien und Arteriolen wird die Durchblutung der einzelnen Organe reguliert).

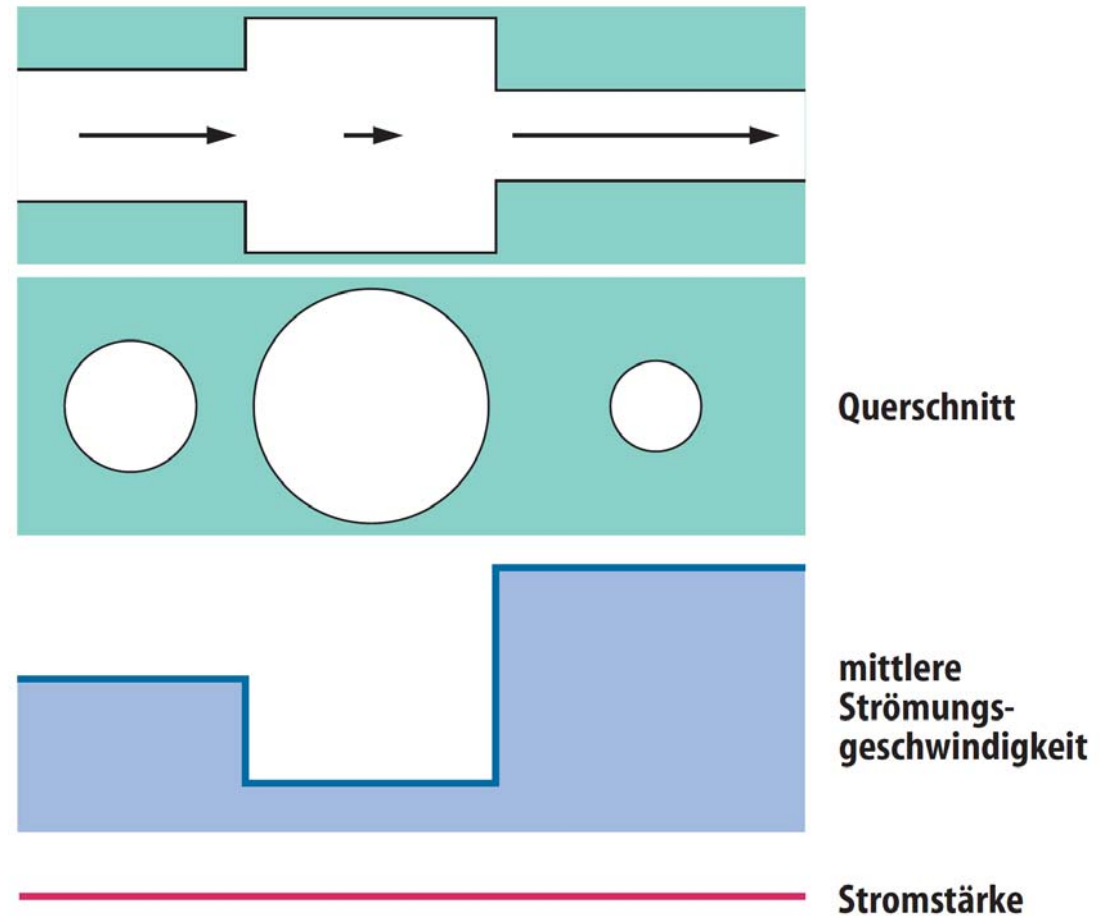
Die Pumpleistung des linken Ventrikels und der totale periphere Widerstand bestimmen den arteriellen Druck.



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

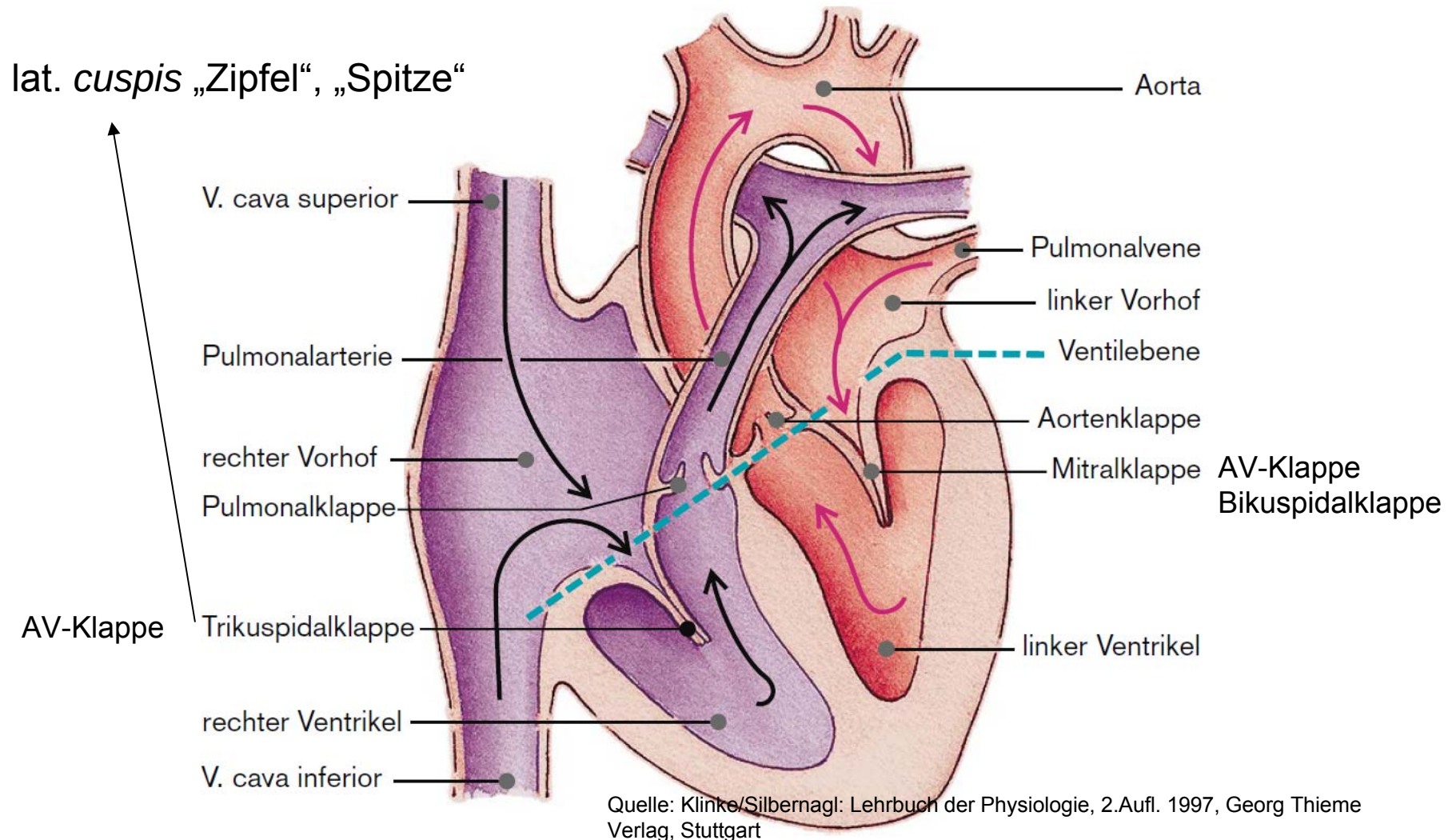
Kapillaren

Die Kapillaren haben den größten Gefäß-Gesamtquerschnitt. Hier ist die Strömungsgeschwindigkeit am niedrigsten und findet der Stoffaustausch zwischen Blut und Gewebe statt.

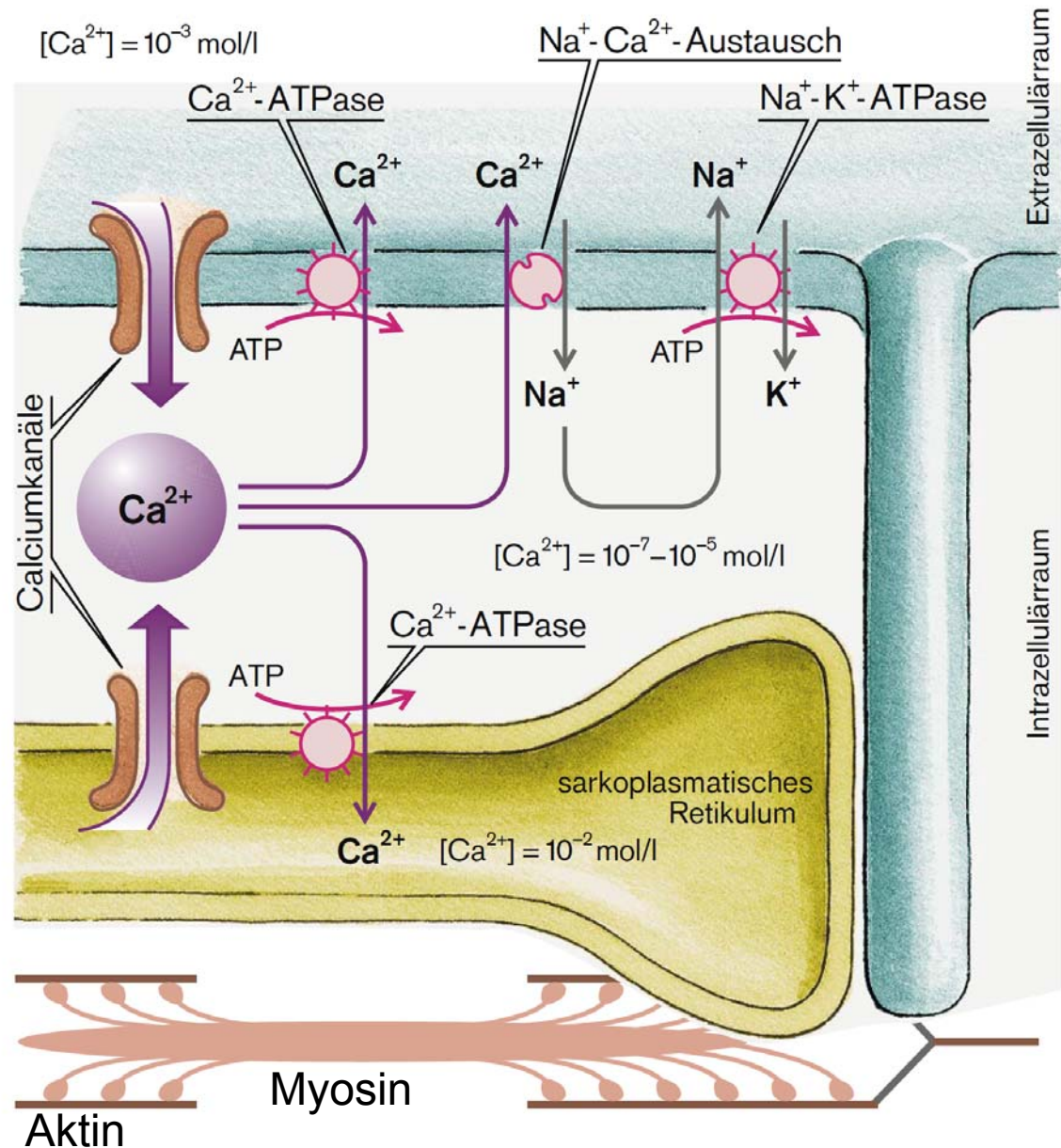


Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Das linke und rechte Herz sind Hohlmuskeln mit jeweils venösem Zulauf, Vorhof, Segelklappe (Atrioventrikular (AV)-Klappe), Ventrikel, Taschenklappe und arteriellem Austreibungsbahn



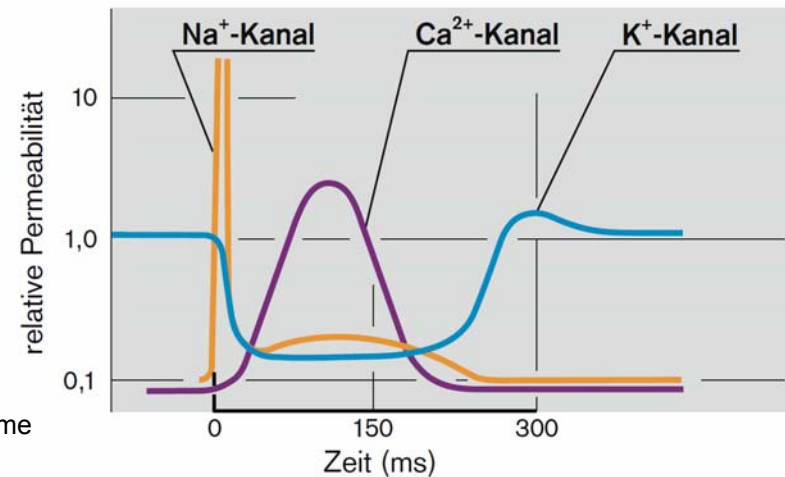
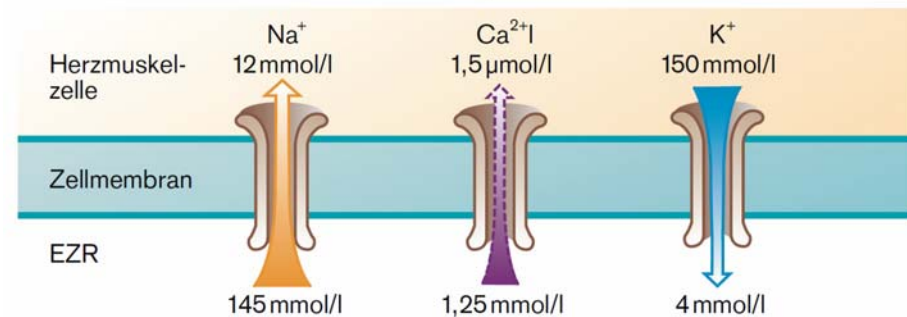
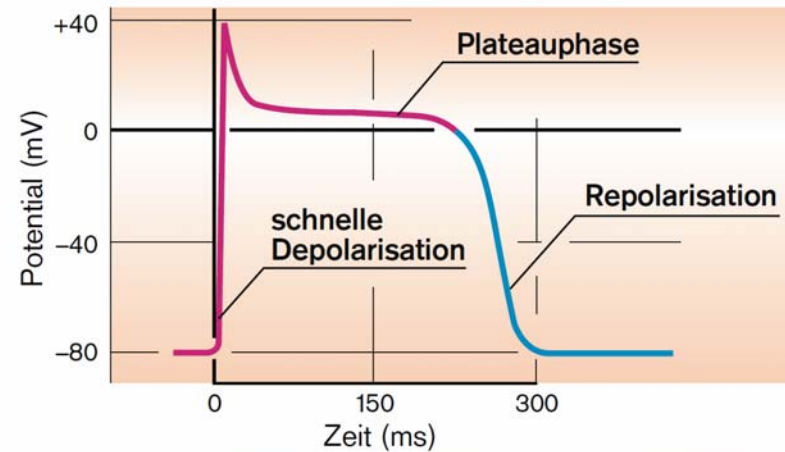
Ca^{2+} -reguliert die Kontraktion der Herzmuskelzelle



Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

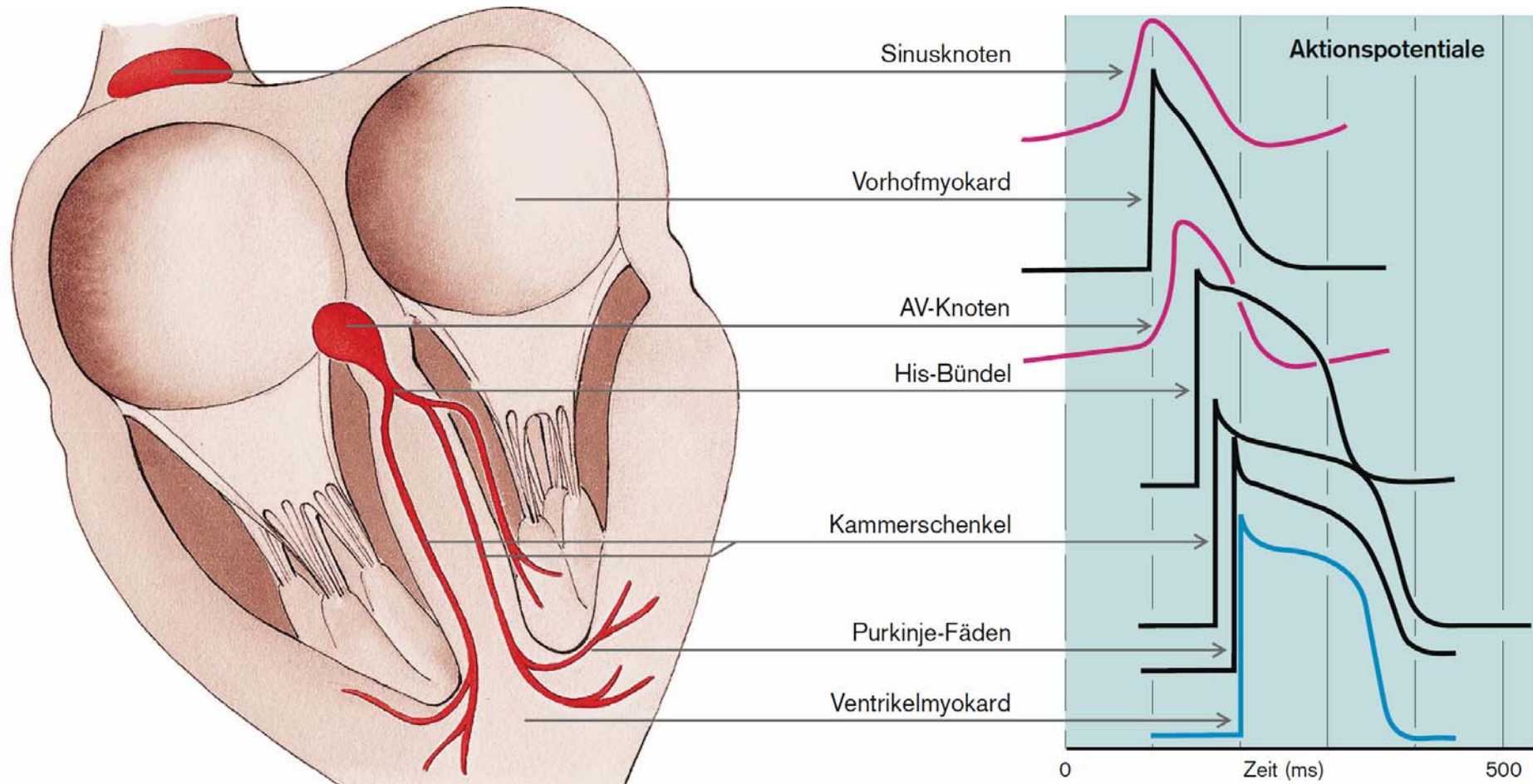
Herzmuskelaktionspotenzial

Während der Plateau-Phase des Herzmuskelaktionspotenzials ist die Ca^{2+} -Leitfähigkeit der Plasmamembran erhöht, wodurch die Kontraktion der Herzmuskelzelle ausgelöst wird



Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Autorhythmische Erregungsbildung und Leitung



Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Vorraussetzung: anatomischer Aufbau des Herzens einschließlich Perikard, Ventilebene und zu- und ableitende Blutgefäße, Koronargefäße

Lernziele Herzmechanik: die Studierenden sollen fähig sein

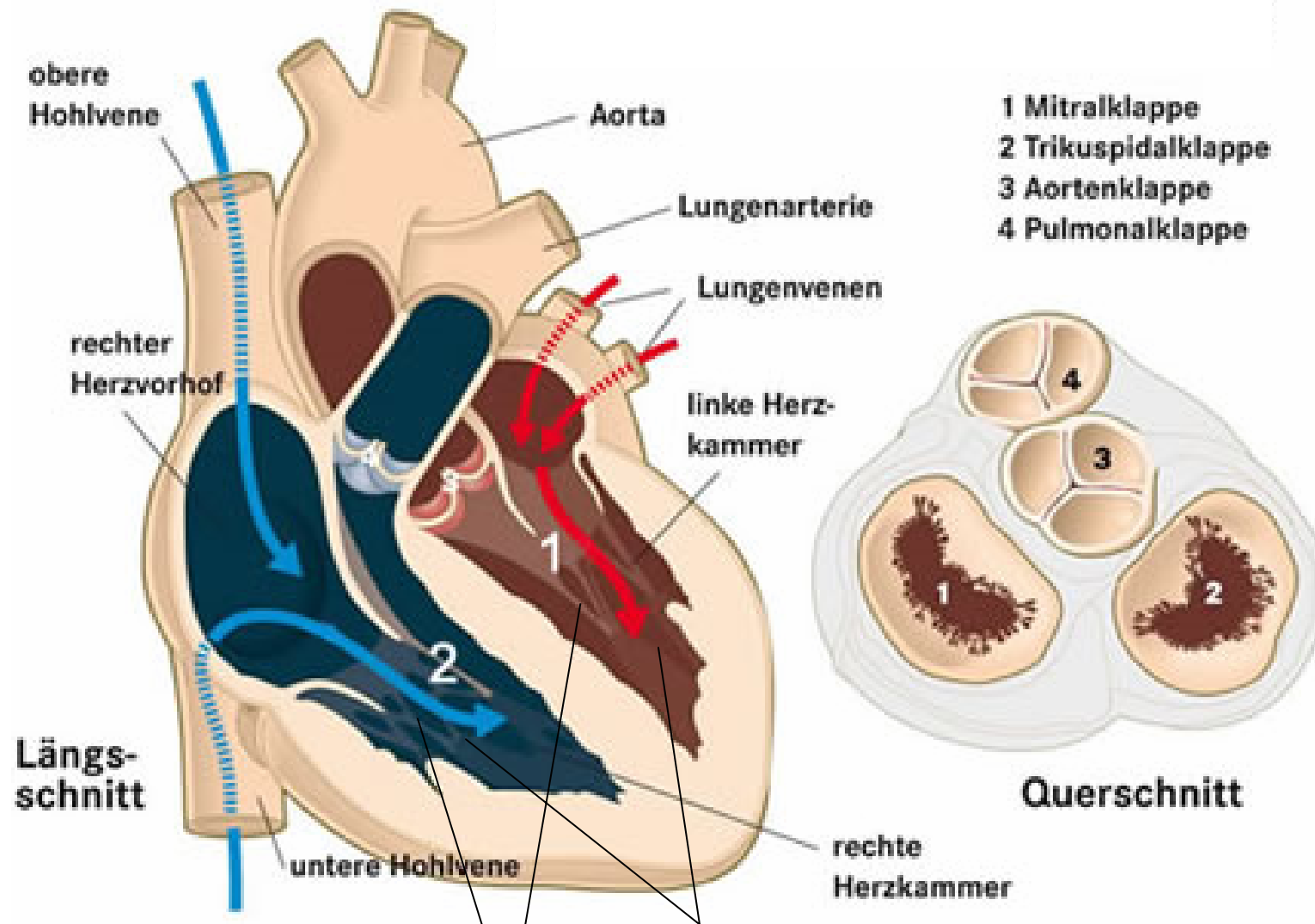
- die Funktionsweise der Herzklappen während eines Arbeitszyklus zu erklären.
- die Mechanismen der Ventrikelfüllung zu benennen.
- das Arbeitsdiagramm (Druck/Volumen-Diagramm) des Ventrikel während des Arbeitszyklus zu zeichnen und die Kontraktionsformen zu erklären
- die Mechanismen der Schlagvolumenanpassung der Ventrikel bei erhöhter Vor- bzw. Nachlast anhand des Druck/Volumen-Diagramms zu erläutern (Frank-Starling-Mechanismus).
- die Beziehung zwischen Wandstärke, Wandspannung, transmuraler Druck und Radius eines Hohlorgans zu erklären (Laplace-Gesetz) sowie langfristige Kompensationsmechanismen bei chronischer Druck- bzw. Volumenbelastung zu skizzieren.

Übersicht Herz/Kreislauf

Herzmechanik

- Herzklappen und Ventilebene
- Kontraktionsformen und Arbeitsdiagramm
- Druck-Volumen-Diagramm, Frank-Starling-Mechanismus
- Beziehung von Ventrikelradius, Ventrikeldruck, Wandspannung und Wanddicke

Herzklappen während Füllungsphase

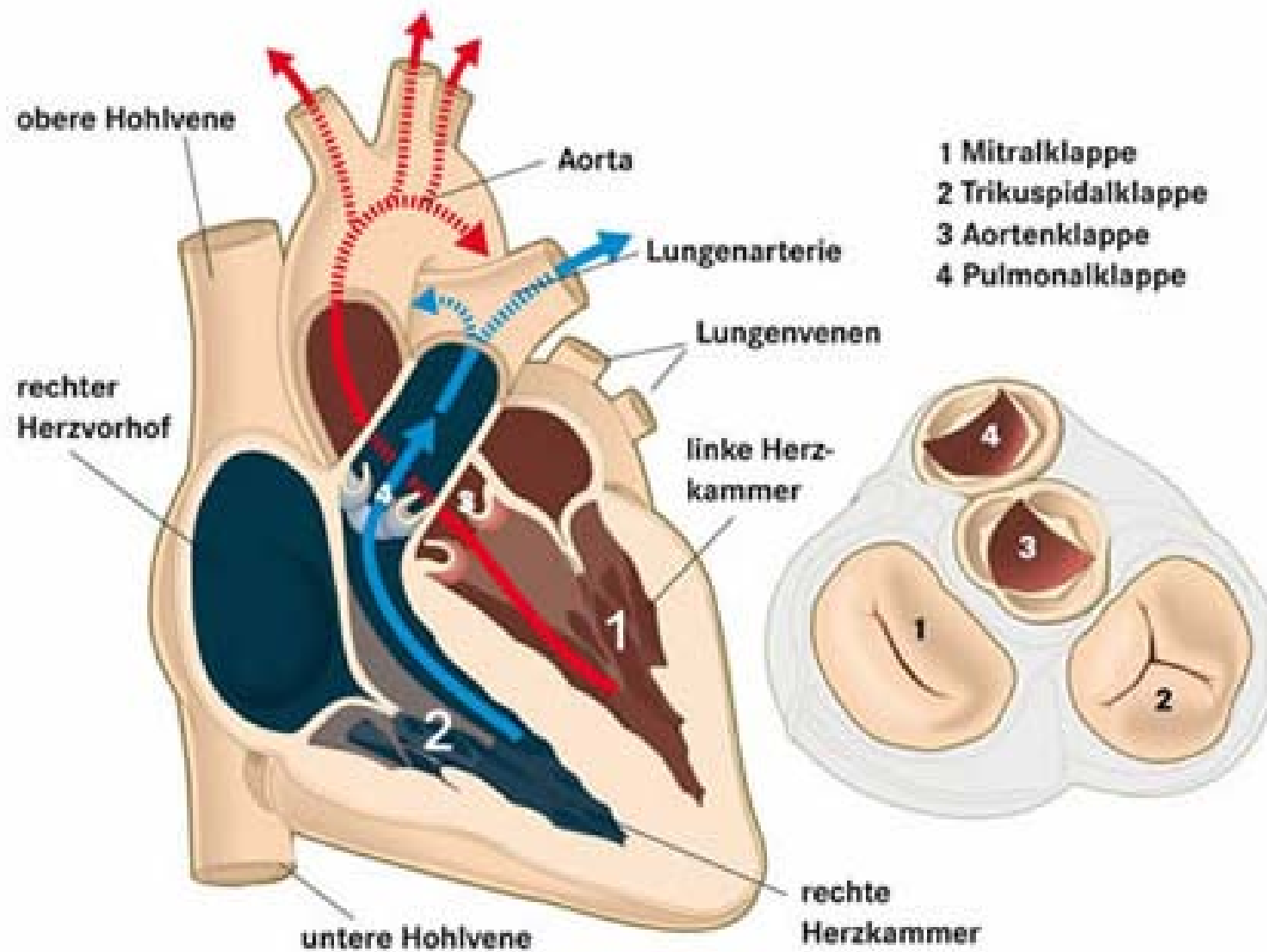


(Chordae tendineae, Papillarmuskeln)

Quelle: http://www.apotheken-umschau.de/Herzklappenfehler/Die-normale-Funktion-der-vier-Herzklappen-11824_2.html

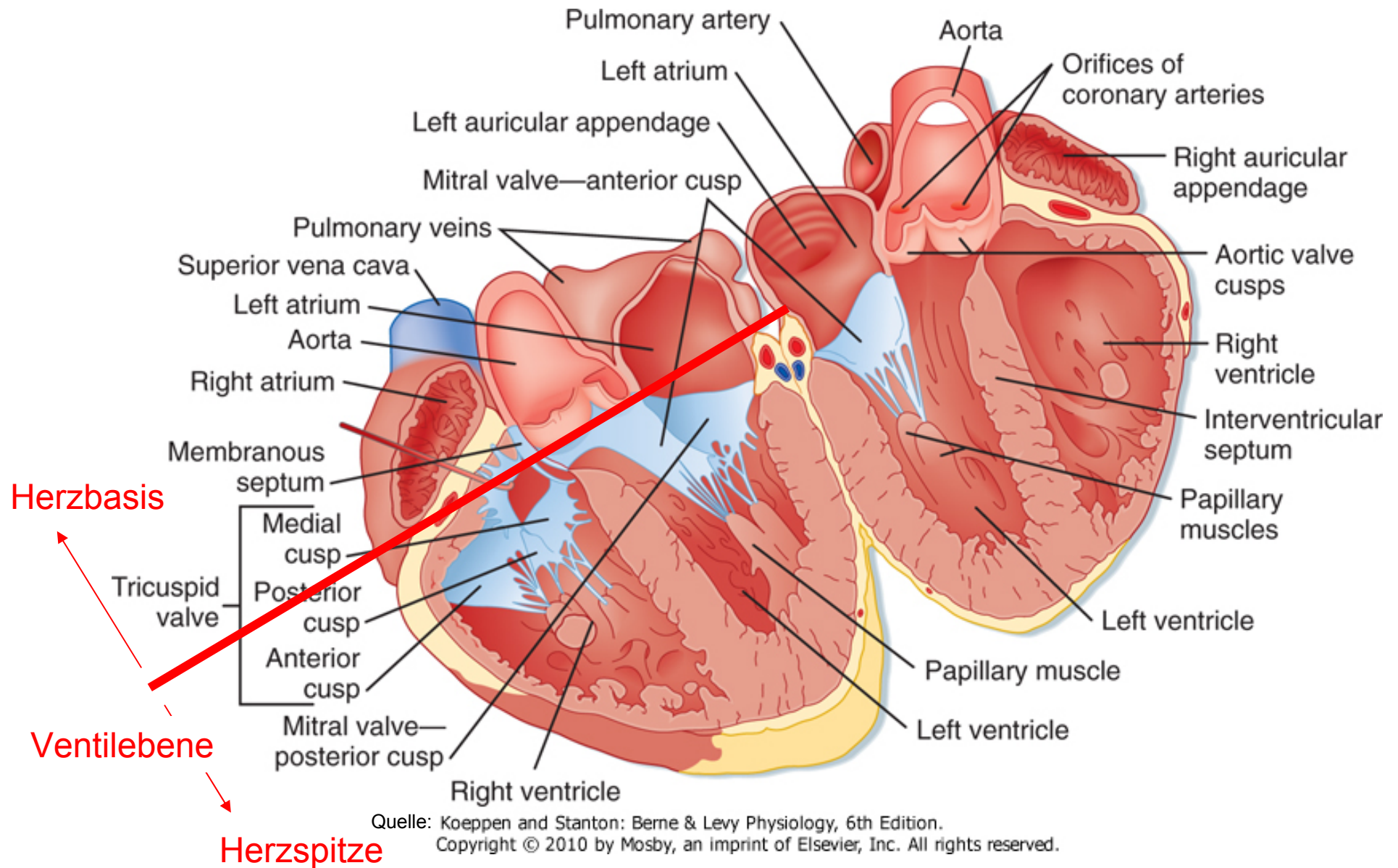
16

Herzklappen während Austreibungsphase

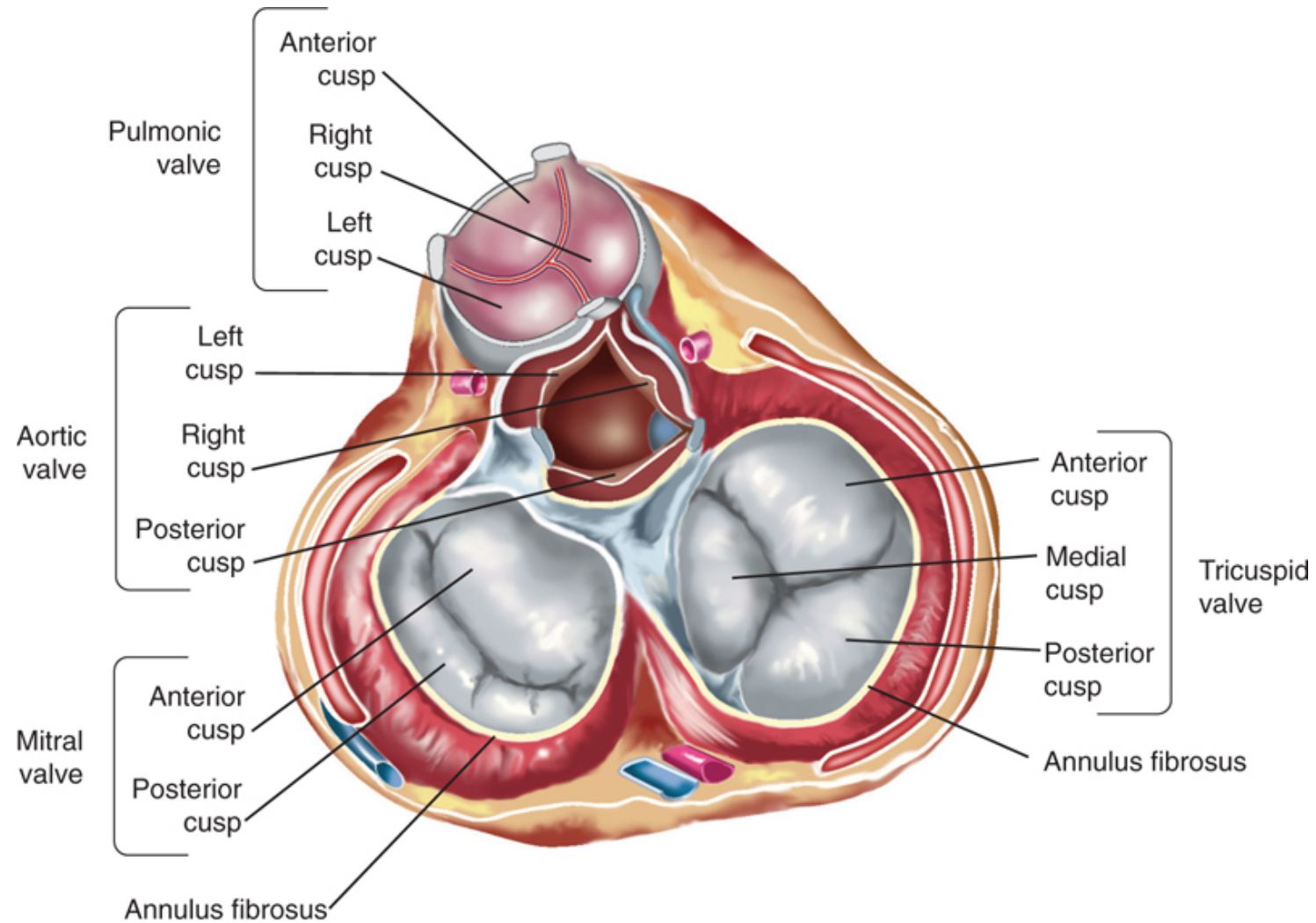


Quelle: http://www.apotheken-umschau.de/Herzklappenfehler/Die-normale-Funktion-der-vier-Herzklappen-11824_2.html

Ventilebene (seitliche Ansicht)



Ventilebene (Draufsicht)



Quelle: Koeppen and Stanton: Berne & Levy Physiology, 6th Edition.
Copyright © 2010 by Mosby, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.

Ventilebenenmechanismus

-bei Kontraktion der Kammermuskulatur:
Ventilebene wird in Richtung der Herzspitze gezogen. Dehnung der mittlerweile erschlafften Vorhöfe und der großen Herzgefäße. Senken der Vorhofdrücke.

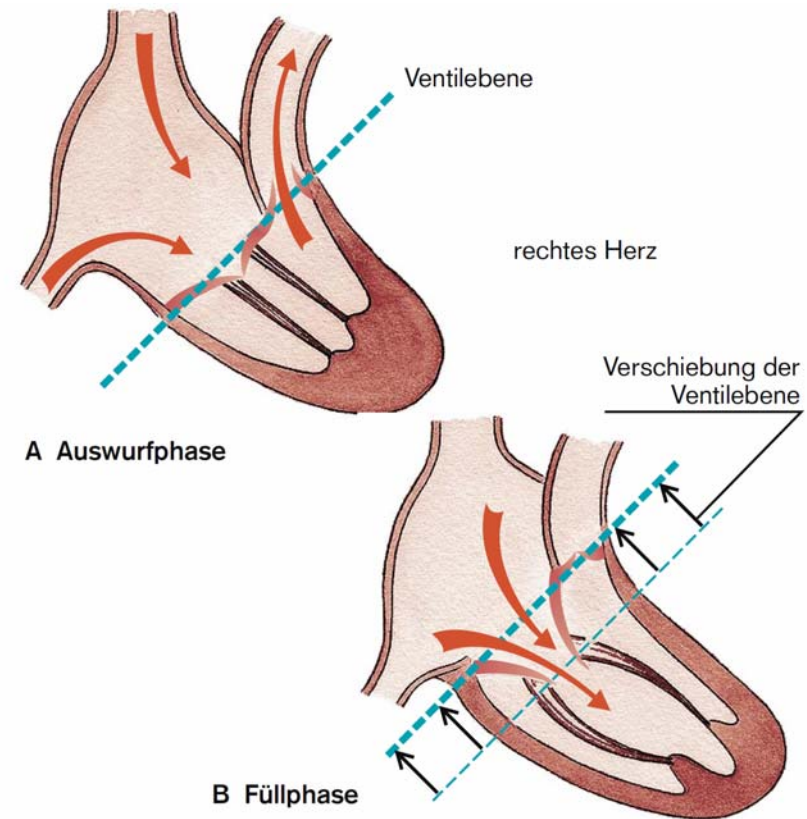
- aufgrund des so entstehenden Druckgefälles strömt Blut passiv aus den großen Venen in die Vorhöfe.

- bei Erschlaffung der Kammermuskulatur ziehen die Herzgefäße die Ventilebene wieder zur Herzbasis.

- Atrioventrikular(AV)-Klappen öffnen sich, da Druck in den Vorhöfen jetzt größer als im erschlafften Ventrikel.

-Ventilebene bewegt sich mit offenen AV-Klappen Richtung Herzbasis und „umschließt“ so die vormalige Blutsäule des Vorhofs (Füllung des Ventrikels).

- Die Mechanik des Herzens ist demnach ein „Heben und Senken der Ventilebene“, die als Saug-Druck-Pumpe fungiert . Kammermuskulatur und Herzgefäße arbeiten dabei gegenläufig.



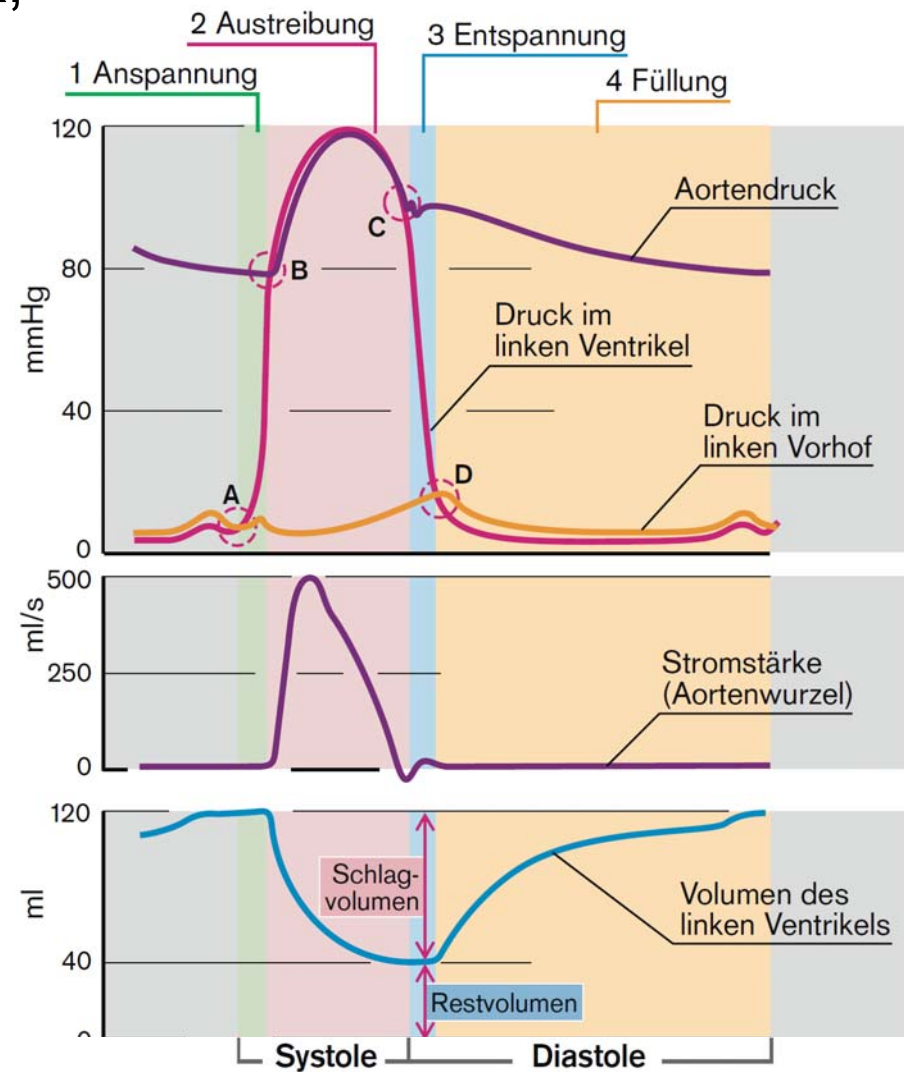
Quelle: <http://flexikon.doccheck.com/de/Ventilebene>

Übersicht Herz/Kreislauf

Herzmechanik

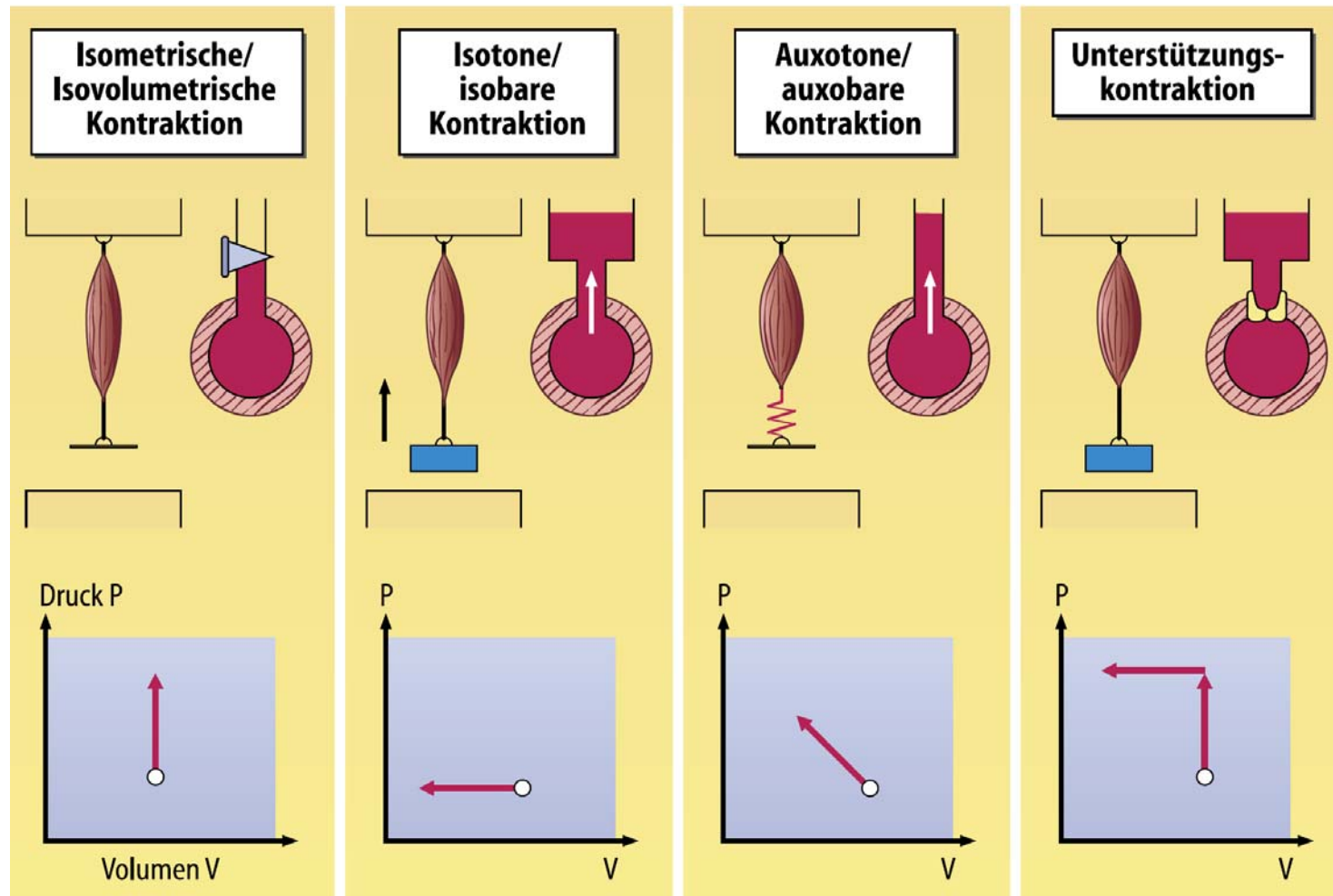
- Herzklappen und Ventilebene
- Kontraktionsformen und Arbeitsdiagramm
- Druck-Volumen-Diagramm, Frank-Starling-Mechanismus
- Beziehung von Ventrikelradius, Ventrikeldruck, Wandspannung und Wanddicke

Aortendruck, Ventrikeldruck, Vorhofdruck während Herzaktion



Quelle: Klink/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Isovolumetrissche, isobare, auxobare und Unterstützungs-Kontraktion



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

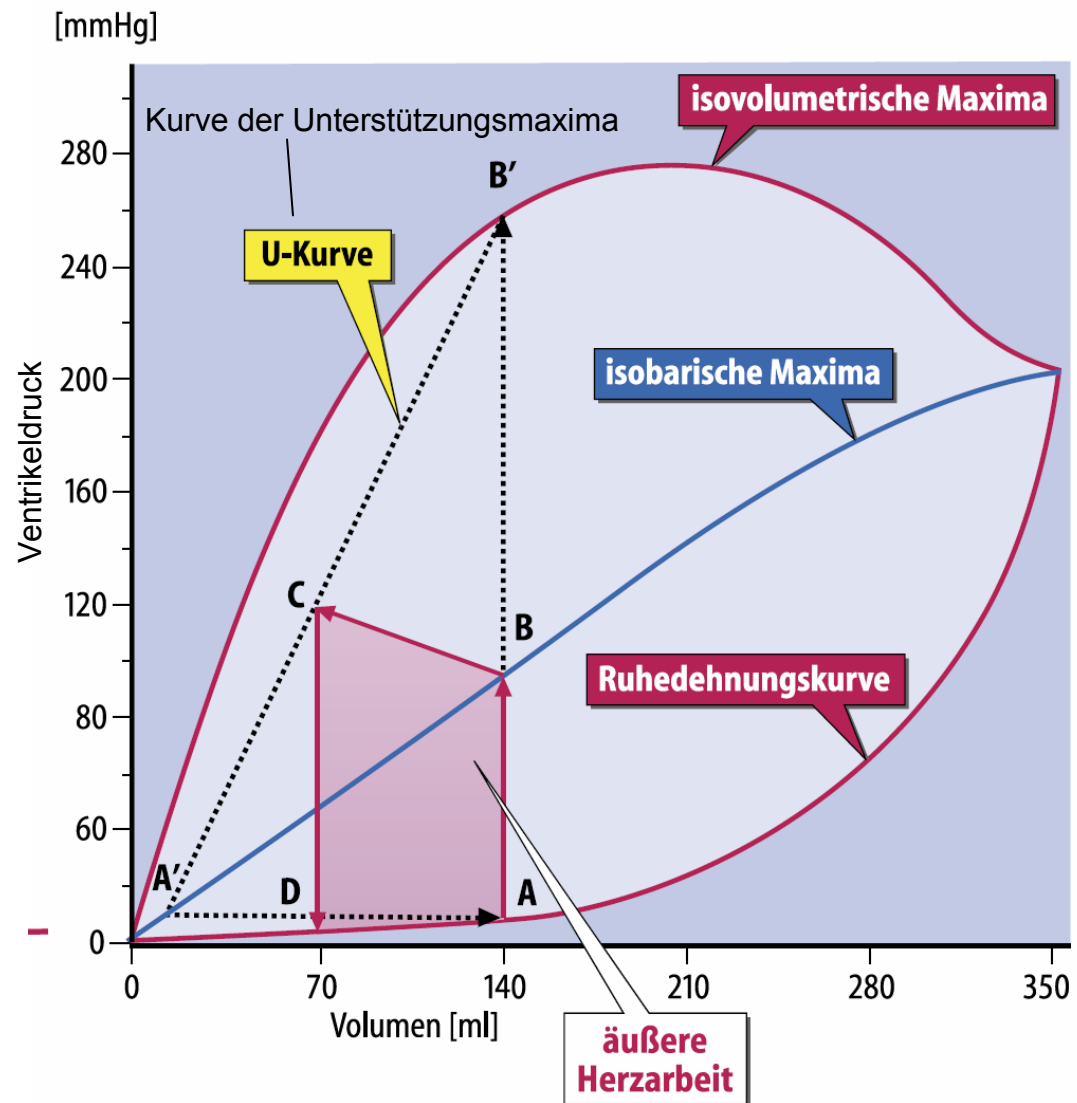
Ventrikelkontraktion: Ruhedehnungskurve, Kurve der isovolumetrischen und isobaren Maxima, U-Kurve

Systole:

- isovolumetrische Anspannungsphase
- auxobare Austreibungsphase

Diastole:

- isovolumetrische Entspannungsphase
- auxobare Füllungsphase



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

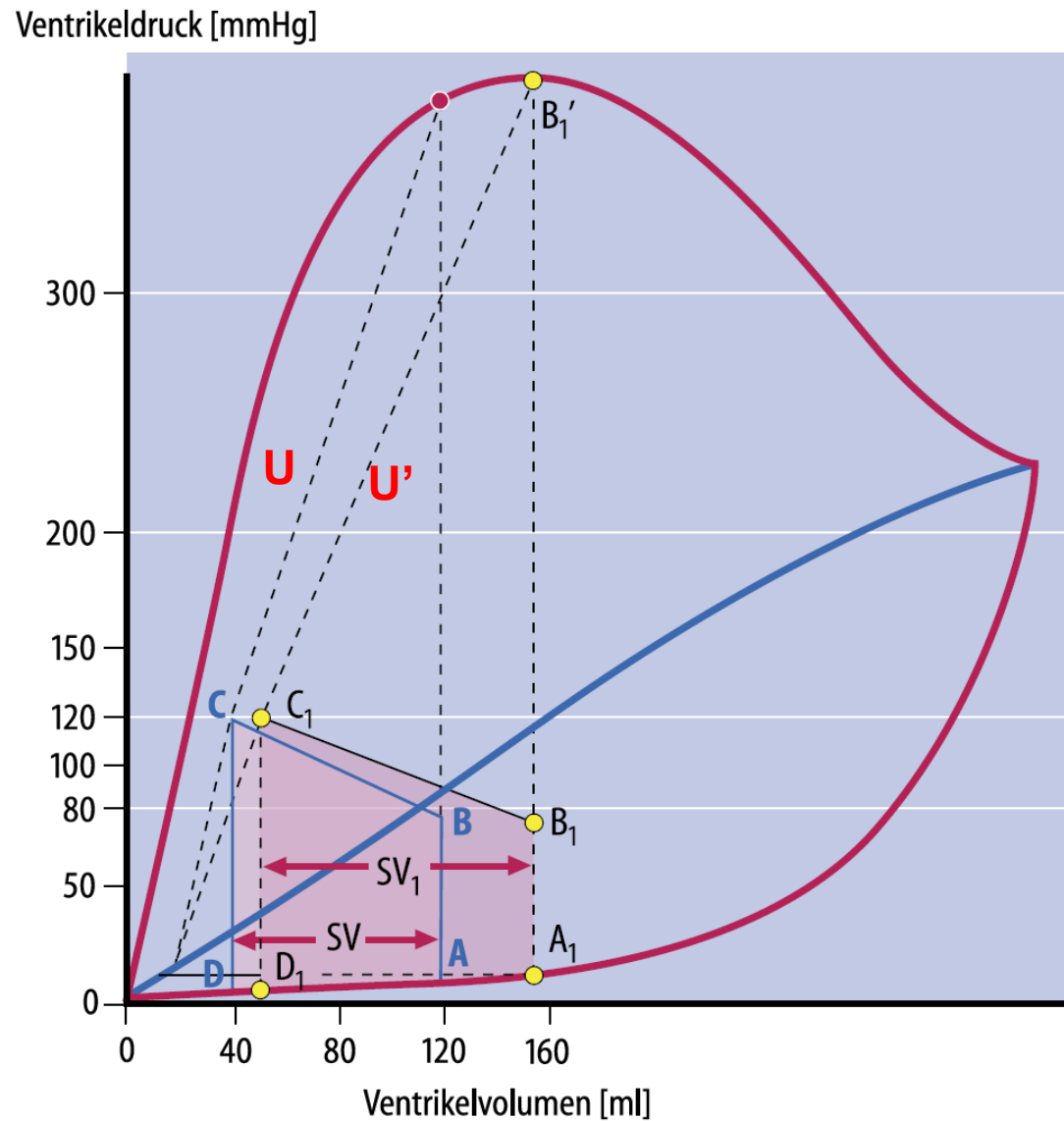
Kontraktionsformen und Arbeitsdiagramm

Übersicht Herz/Kreislauf

Herzmechanik

- Herzklappen und Ventilebene
- Kontraktionsformen und Arbeitsdiagramm
- Druck-Volumen-Diagramm, Frank-Starling-Mechanismus
- Beziehung von Ventrikelradius, Ventrikeldruck, Wandspannung und Wanddicke

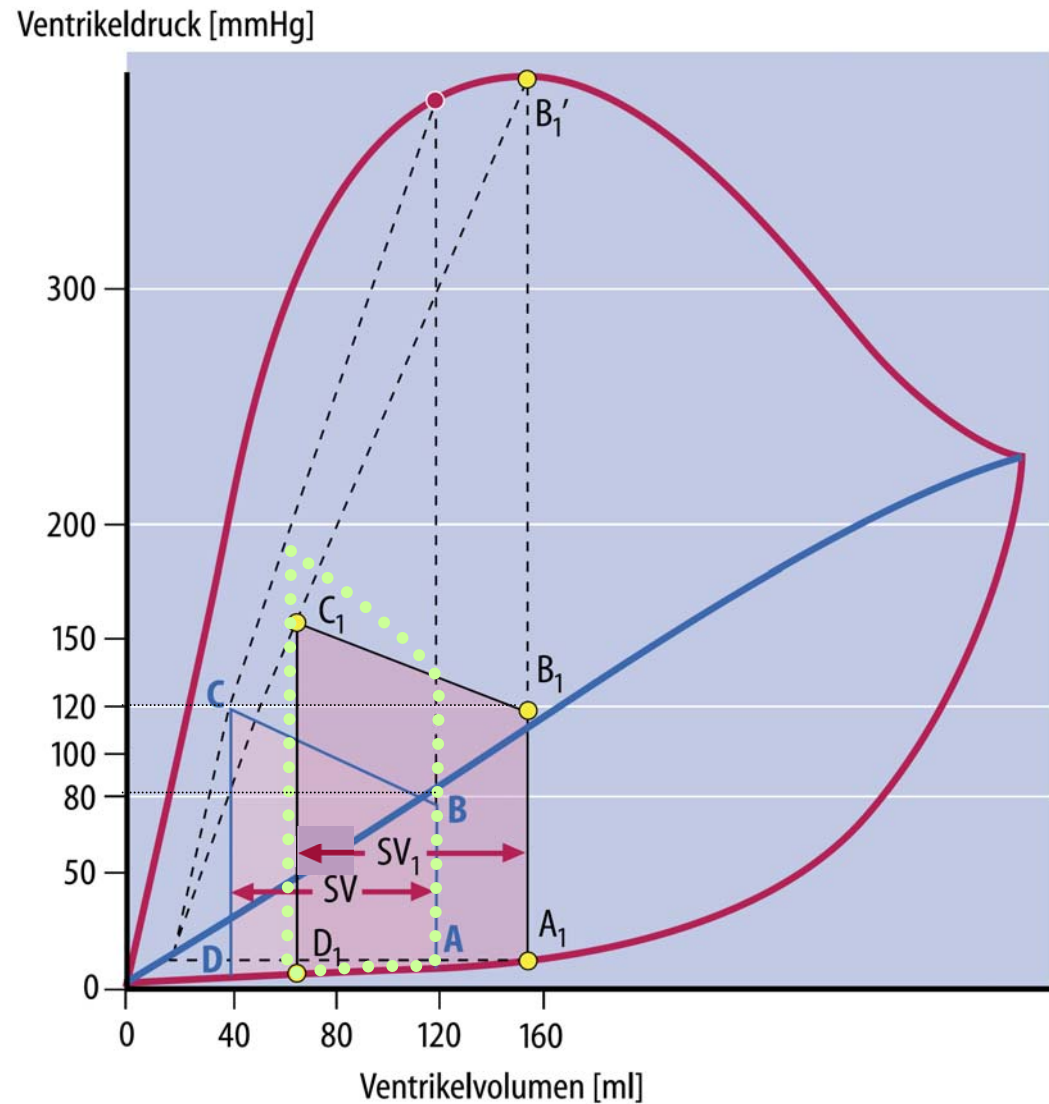
Erhöhung des Füllungsdruckes (Vorlast)



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Druck-Volumen-Diagramm, Frank-Starling-Mechanismus

Erhöhung des Aortendruckesdruckes (Nachlast)



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

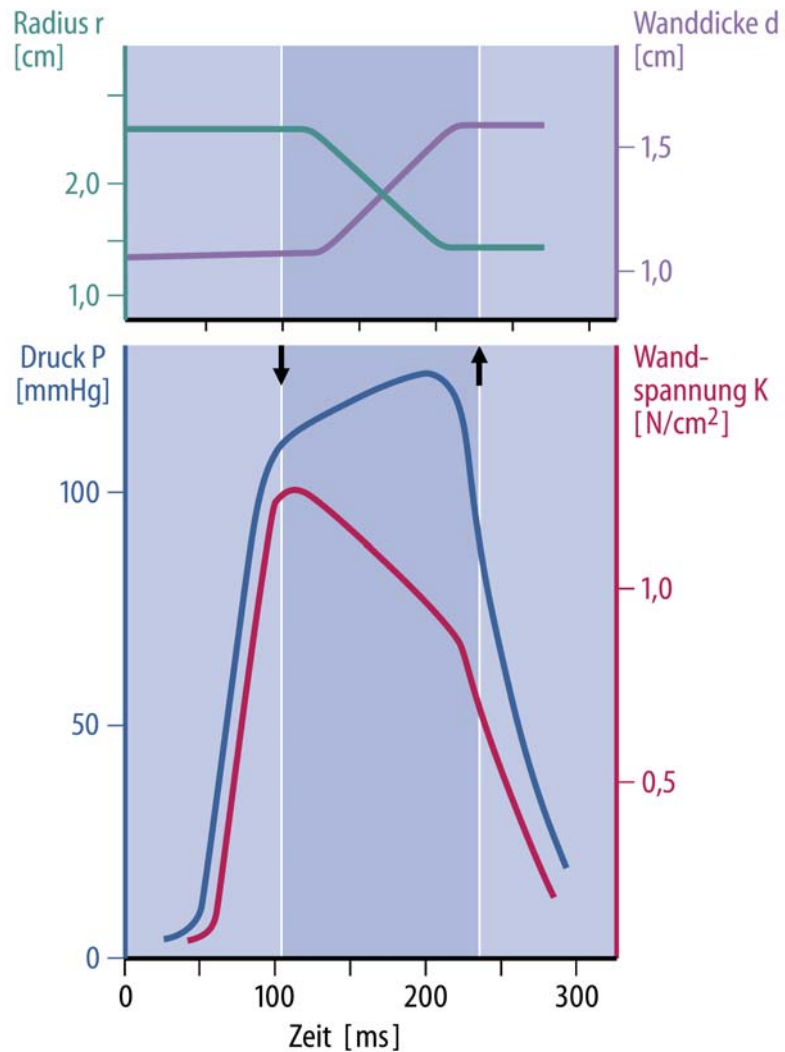
Druck-Volumen-Diagramm, Frank-Starling-Mechanismus

Übersicht Herz/Kreislauf

Herzmechanik

- Herzklappen und Ventilebene
- Kontraktionsformen und Arbeitsdiagramm
- Druck-Volumen-Diagramm, Frank-Starling-Mechanismus
- **Beziehung von Ventrikelradius, Ventrikeldruck, Wandspannung und Wanddicke**

Laplace-Gesetz

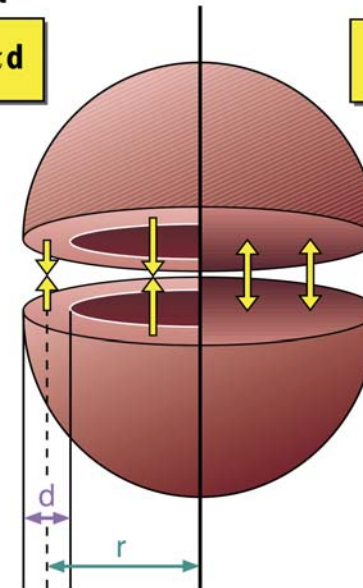


zusammen-
haltende
Kraft

$$K 2r \pi d$$

spren-
gende
Kraft

$$P r^2 \pi$$



P : transmuraler Druck
 K : Wandspannung
 d : Wandstärke
 r : Radius

$$P = K \frac{2d}{r}$$

$$K = P \frac{r}{2d}$$

http://www.youtube.com/watch?v=RAMx4_G9XsQ

Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag 2005

Sportlerherz

nicht-pathologische
Vergrößerung des Herzens
durch körperliches Training
im Rahmen von
Leistungssport,
insbesondere bei
Ausdauersport.

Wandstärke und
Ventrikelvolumen wachsen
gleichsinnig

$$P \uparrow = K \frac{2d \uparrow}{r \uparrow}$$

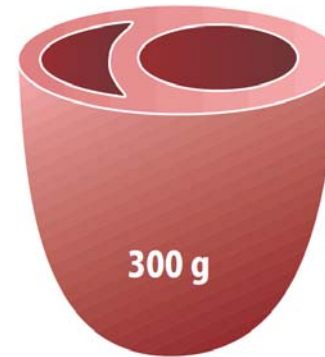
Physiologische Herzhypertrophie

Neugeborenes



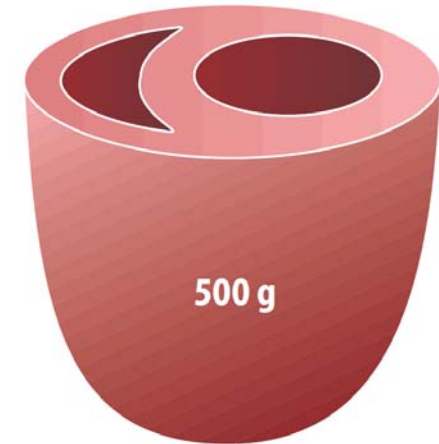
Herzmasse
20 g

Erwachsener

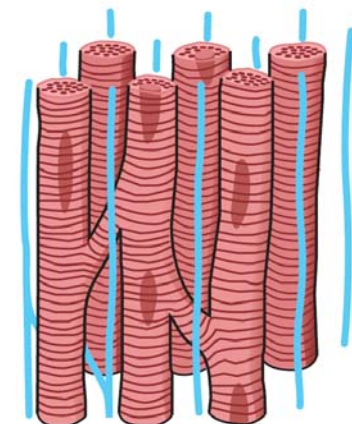
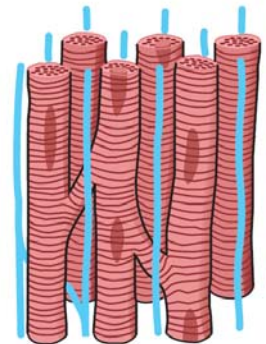
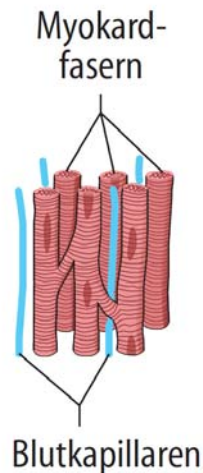


300 g

Sportler

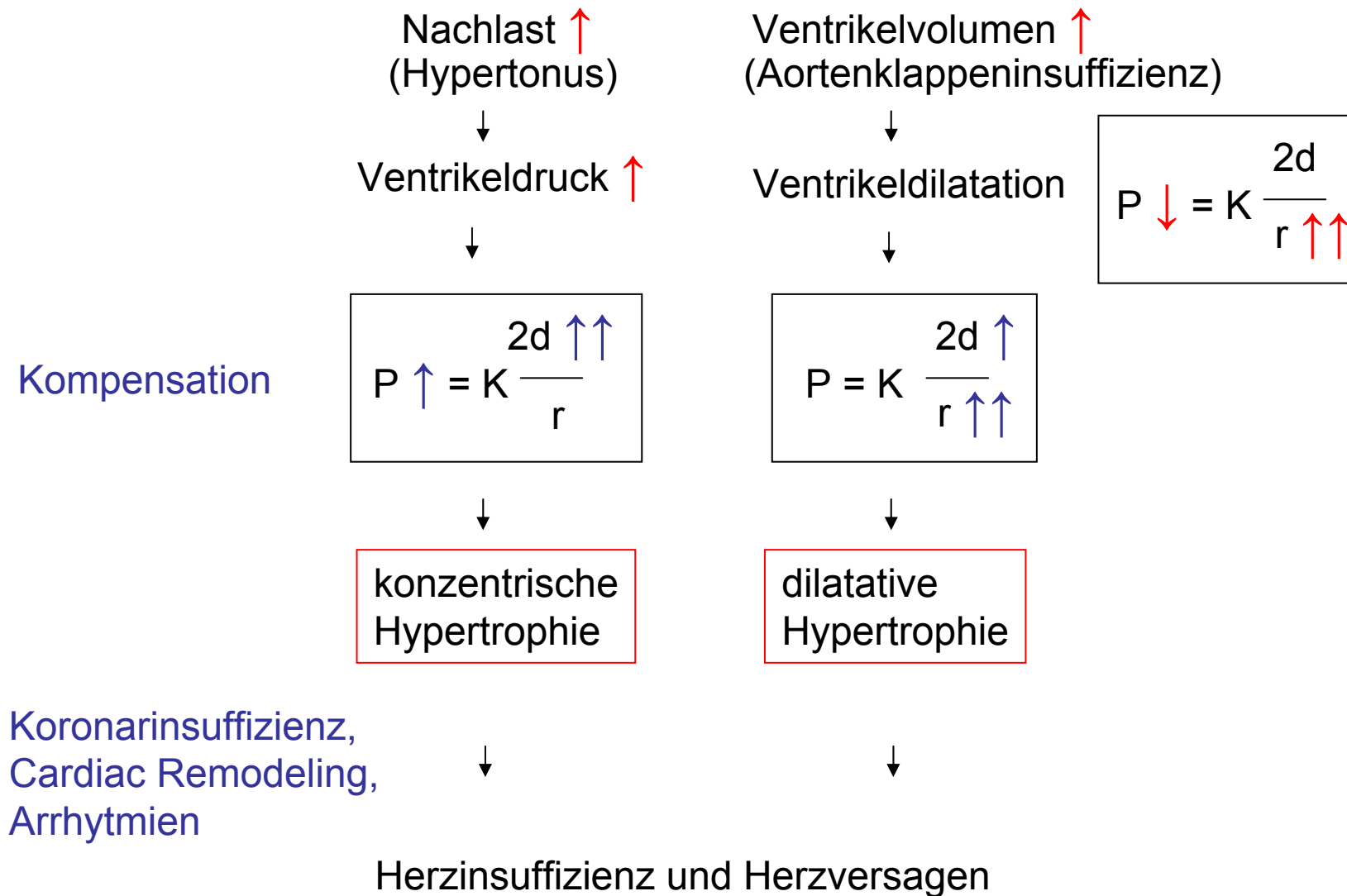


500 g



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Druck- und Volumenbelastung des Herzens: Kompensation



Herzhypertrophie und Herzinsuffizienz

Dilatative Kardiomyopathie
(exzentrische Herzhypertrophie)



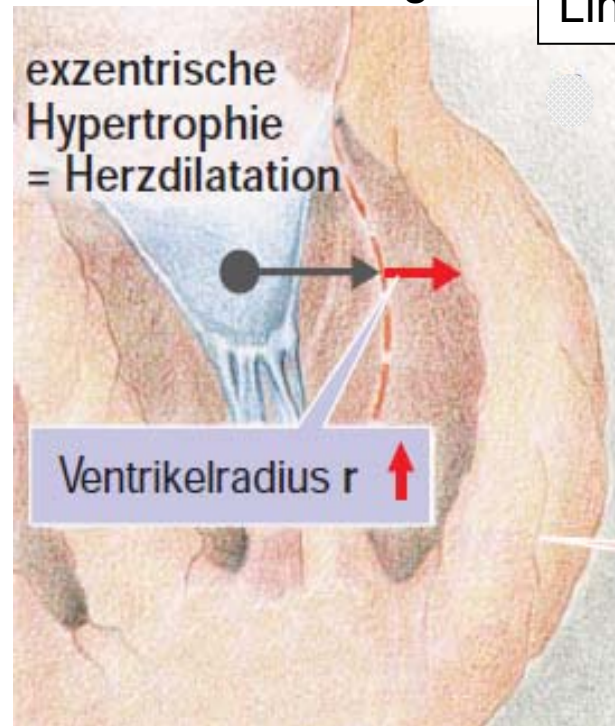
Konzentrische Herzhypertrophie

Quelle: <https://www.uni-heidelberg.de/presse/ruca/ruca03-2/beist.html>

Herzinsuffizienz Ursachen

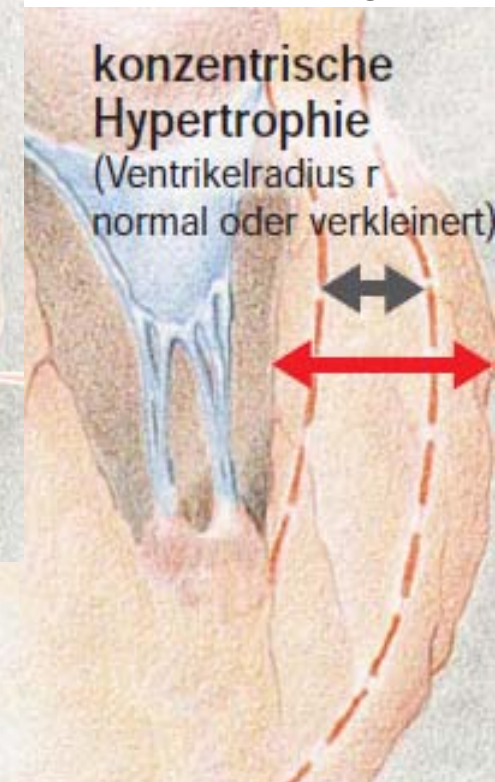
- Arterieller Hochdruck
- Klappendefekte
- Koronare Herzkrankheit

Volumenbelastung



Linksherzinsuffizienz

Druckbelastung



$$r \uparrow \uparrow \longrightarrow P \downarrow \downarrow$$

jede weitere Erhöhung
der Vorlast ($r \uparrow$) erniedrigt
das Schlagvolumen

$$d \uparrow \uparrow + P \uparrow \uparrow \longrightarrow \text{Myokard-ischämie}$$

Quelle: Silbernagl/Lang. Taschenatlas der Pathophysiologie. Georg Thieme Verlag, 1998

Welche Behauptung ist falsch ?

Das Laplace Gesetz erklärt folgende Phänomene:

- a) bei gleichbleibendem Ventrikelradius und gleichbleibender Wandspannung kann ein höherer Ventrikeldruck durch Vergößerung der Wanddicke erreicht werden
- b) Bei gleicher Wandspannung und -stärke baut ein dilatierter Ventrikel weniger Druck auf als ein nicht dilatierter.
- c) Während der Austreibungsphase der Systole (nach Öffnen der Aortenklappe) steigt der Venrikeldruck zunächst an.
- d) Mit zunehmender Ventrikelfüllung erhöht sich der Füllungsdruck (Ruhedehnungskurve)
- e) bei gleichbleibender Wandstärke und gleichbleibendem Ventikelradius erhöht sich der Ventrikeldruck bei Erhöhung der Wandspannung (z. B. bei Kontraktion der Kardiomyozyten)

Aus dem Druck-Volumen-Diagramm des Ventrikels lässt sich ableiten:

- a) normalerweise eine Zunahme des Schlagvolumens bei Erhöhung des Füllungsdrucks (Vorlast)
- b) eine Verringerung des Schlagvolumens bei Erhöhung des diastolischen Aortendrucks (Nachlast)
- c) eine Verringerung des Schlagvolumens bei Erhöhung der Vorlast bei pathologisch stark dilatiertem Ventrikel (z. B. bei Linksherzinsuffizienz)
- d) die geleistete äußere Herzarbeit
- e) eine Erhöhung der Herzfrequenz bei verringertem enddiastolischem Füllungsdruck

Welche Behauptung ist richtig ?

Die Taschen und Segel (AV)- Klappen des Herzens:

- a) sind kontraktile
- b) arbeiten druckpassiv
- c) arbeiten synchron
- d) sind bei Kontraktion der Vorhöfe offen (Taschenklappen) bzw. geschlossen (Segelklappen)
- e) werden vom Herzmuskelgewebe (Klappenkardiomyozyten) aufgebaut

Während isovolumetrischer Kontraktion des linken Ventrikels:

- a) ändert sich nicht der Ventrikeldruck
- b) ändert sich nicht die Ventrikelwandspannung
- c) öffnet sich die Mitralklappe
- d) schließt sich die Aortenklappe
- e) wird kein Blut ausgeworfen