

Herz- und Gefäßsystem – Teil I

PD Dr. Fritz Mellert
Klinik und Poliklinik für Herzchirurgie
Herzzentrum Bonn
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Direktor: Prof. Dr. med. Armin Welz

**30 Normalpflegebetten, 6 Intermediärstation, 2
chirurgische IMC**

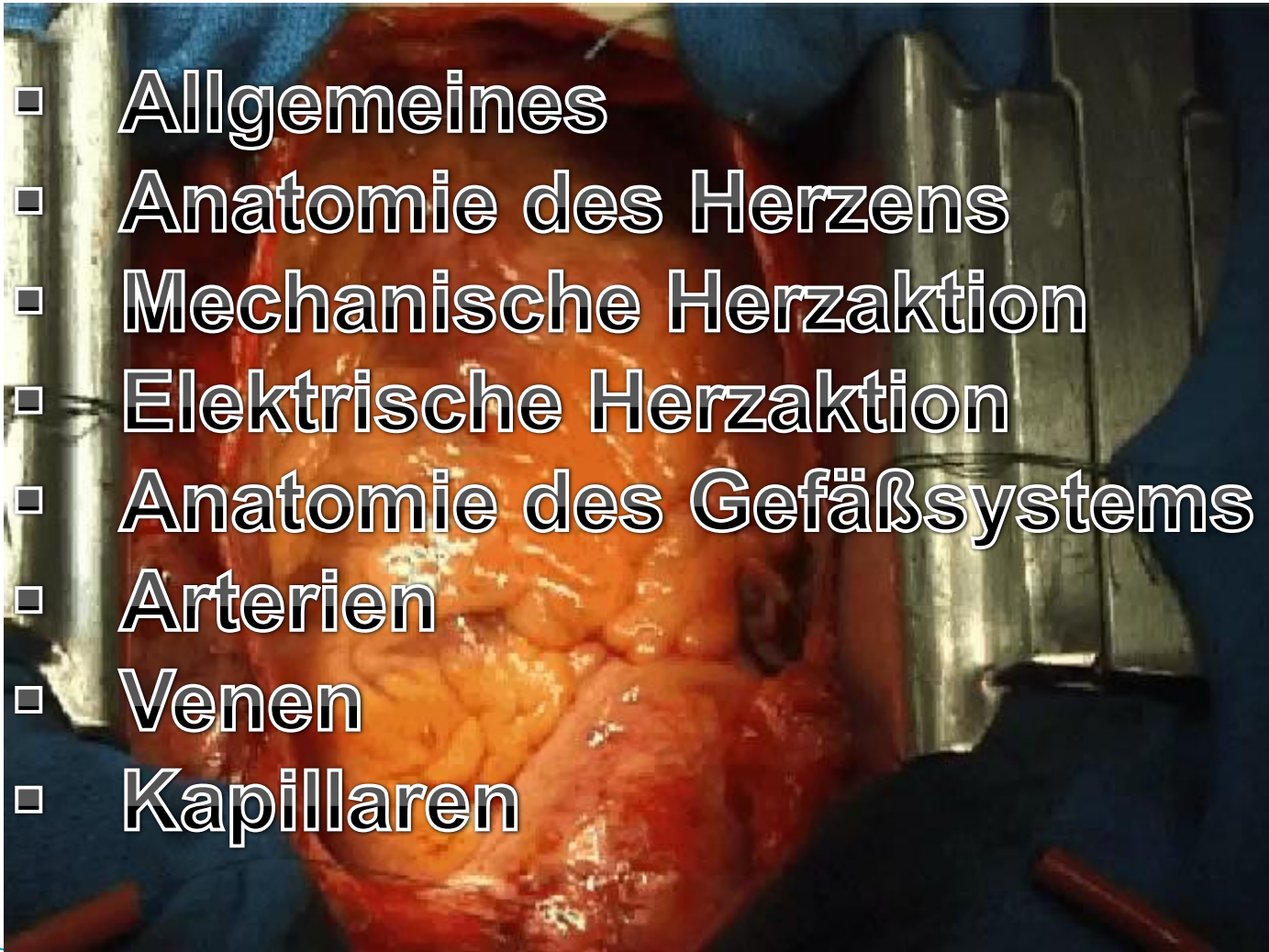
**12 fachspezifische Intensivpflegestation,
4 kinderherzchirurgische Intensivstation**

**3 Operationssäle HCH, jeweils ein Saal im
chirurgischen Zentralop bzw. ZAO**

Ab 2. Quartal 2015: 1 Hybridop als „Insellösung“

**ca. 1650 Eingriffe/Jahr – davon ca. 1000 Eingriffe am
offenen Herzen mit und ohne HLM**

Herz- und Gefäßsystem

- 
- Allgemeines
 - Anatomie des Herzens
 - Mechanische Herzaktion
 - Elektrische Herzaktion
 - Anatomie des Gefäßsystems
 - Arterien
 - Venen
 - Kapillaren

Allgemeines

- Symbol des Lebens
 - griechisch/anatomisch: Cor
 - lateinisch/pathologisch: Kardia



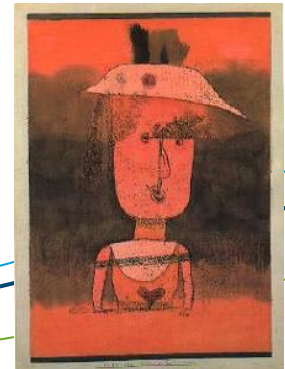
Pokal aus Mundigak mit Feigenblättern,
Museum Kabul, Afghanistan, um 3000 v. Chr.



"Corona vitae" mit Herzblatt auf dem Sarkophag
Heinrichs VI. im Dom zu Palermo (Italien), um 1250

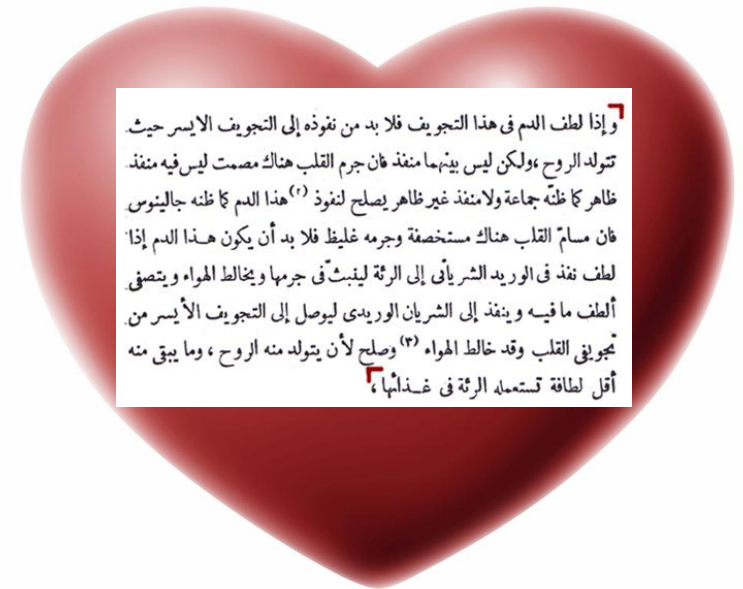


Paul Klee, "Mrs. P. in the
South", Guggenheim
Collection, Venedig
(Italien), 1924



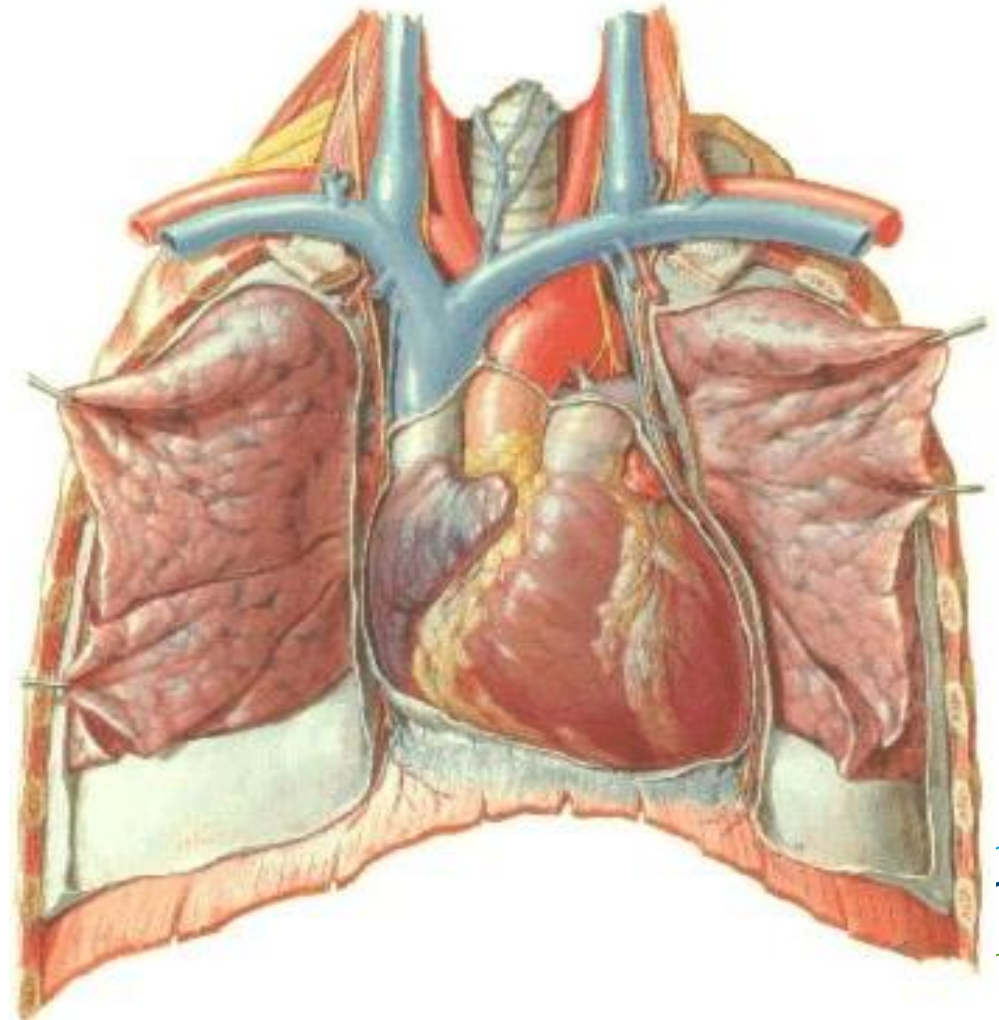
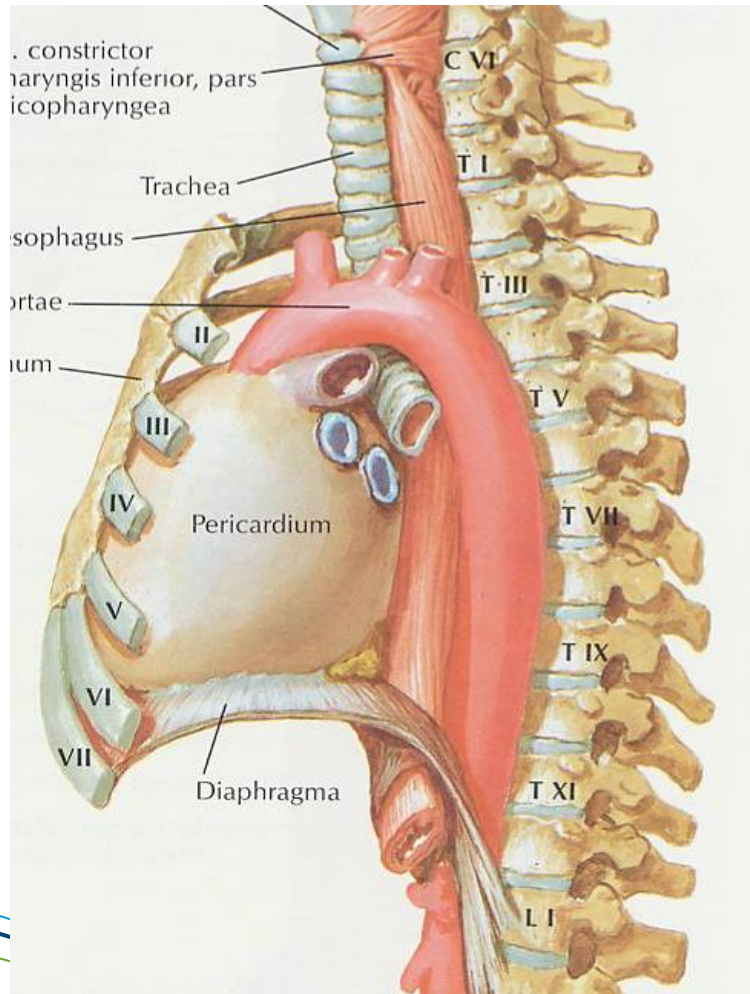
Allgemeines

- Galenos von Pergamon (Galen). 2. Jahrhundert-13. Jahrhundert:
Blutbewegung/Eliminierung
Körperstoffe
- Ibn al-Nafis (Arzt und Chirurg Kairo) 1230: „kleiner“
Blutkreislauf



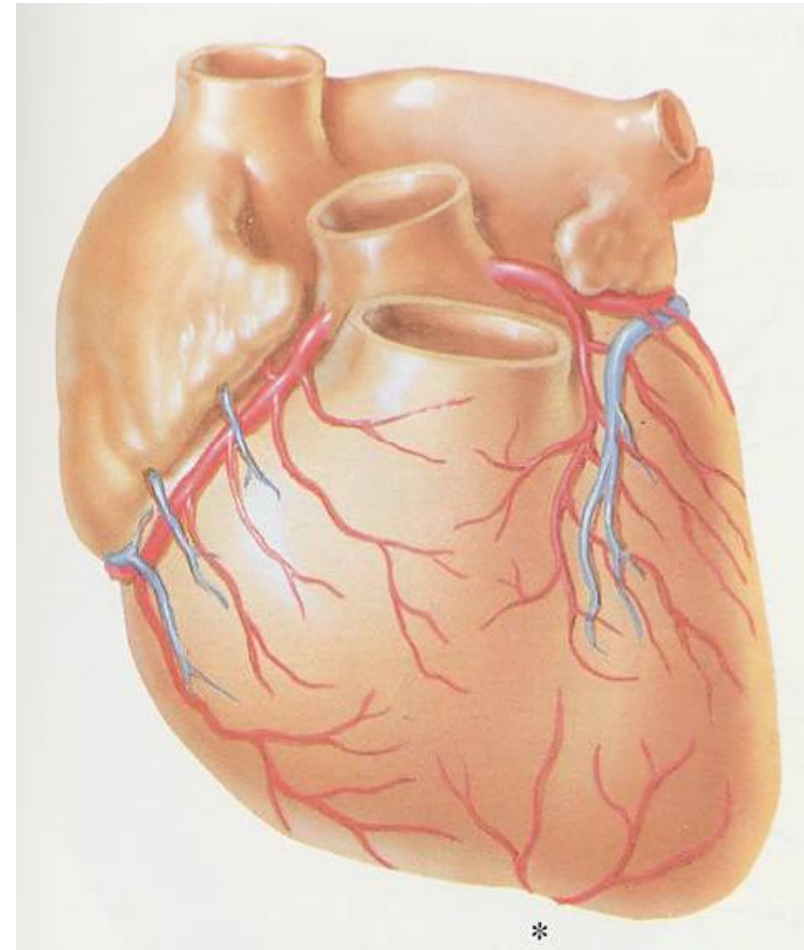


Das Herz und seine Lage

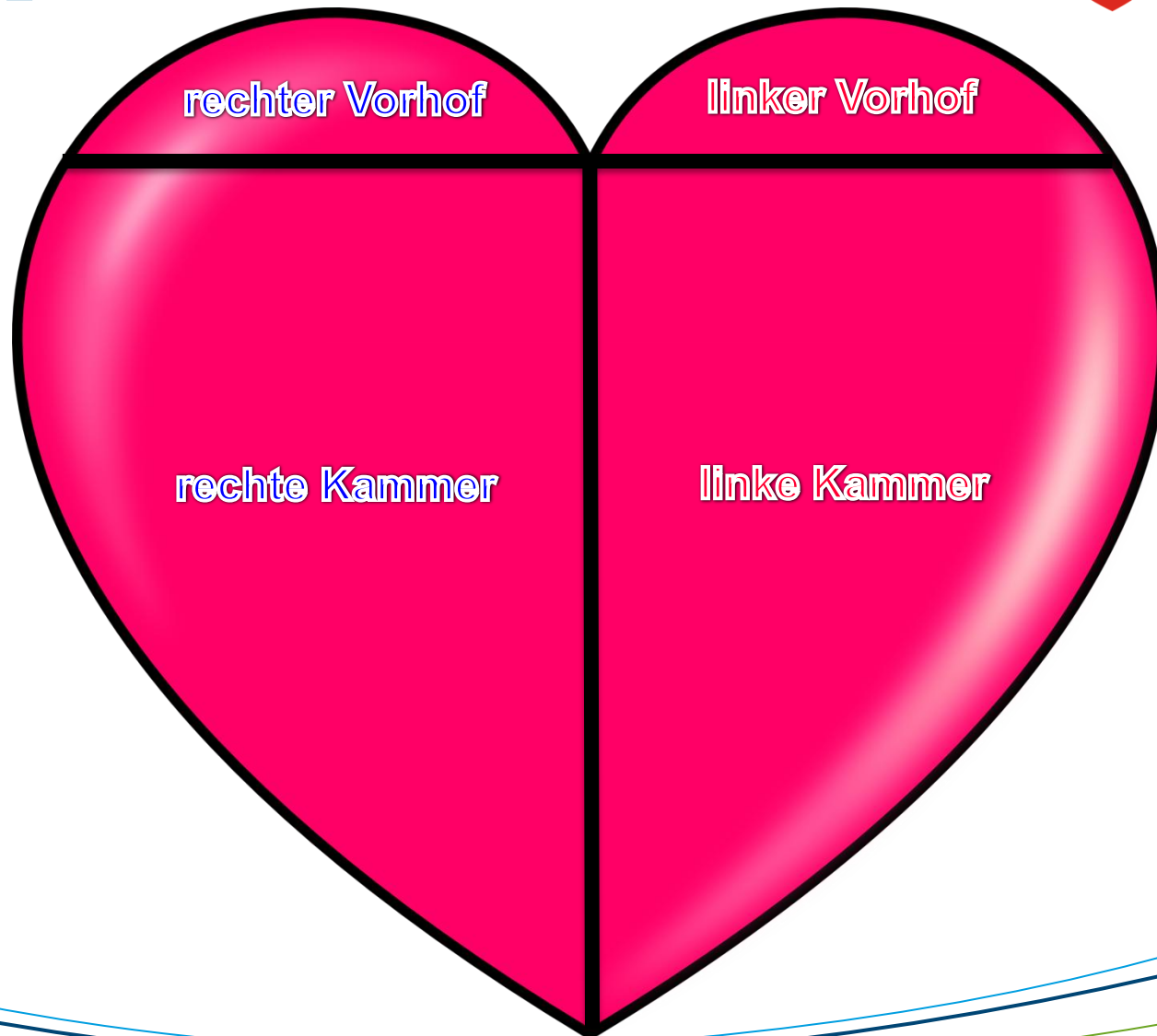


Das Herz

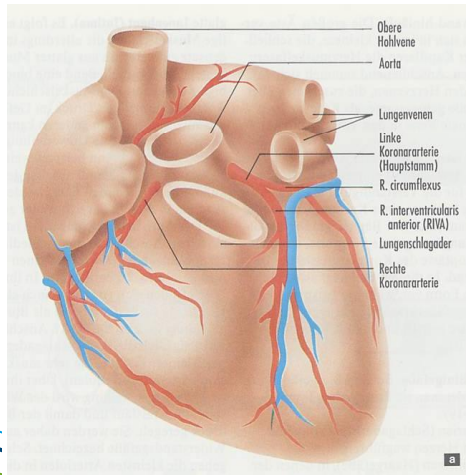
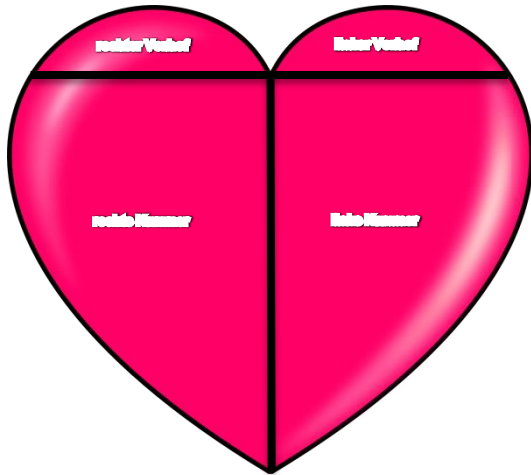
- Muskuläres Hohlorgan
- Größe: ca. eine geschlossene menschliche Faust (hypertrophiefähig)
- Gewicht: ca. 250-300 g
- Funktion der Ventilpumpe; das Herz treibt das Blut durch den Körper: bei einem Puls von 70/min ca. 100.000 Pumpaktionen/Tag / 2,5 Mrd. Aktionen im Leben
- Pro Herzschlag werden 70 (-100) ml Blut ausgeworfen, d.h. der Volumentransport pro Minute beträgt 5 (7 - 30) Liter (Herzminutenvolumen). (*Dies bedeutet: pro Stunde: 300 Liter, pro Tag: 7200 Liter, pro Jahr: 2,6 Millionen Liter und pro 75 Jahre: 2 Milliarden Liter.*)



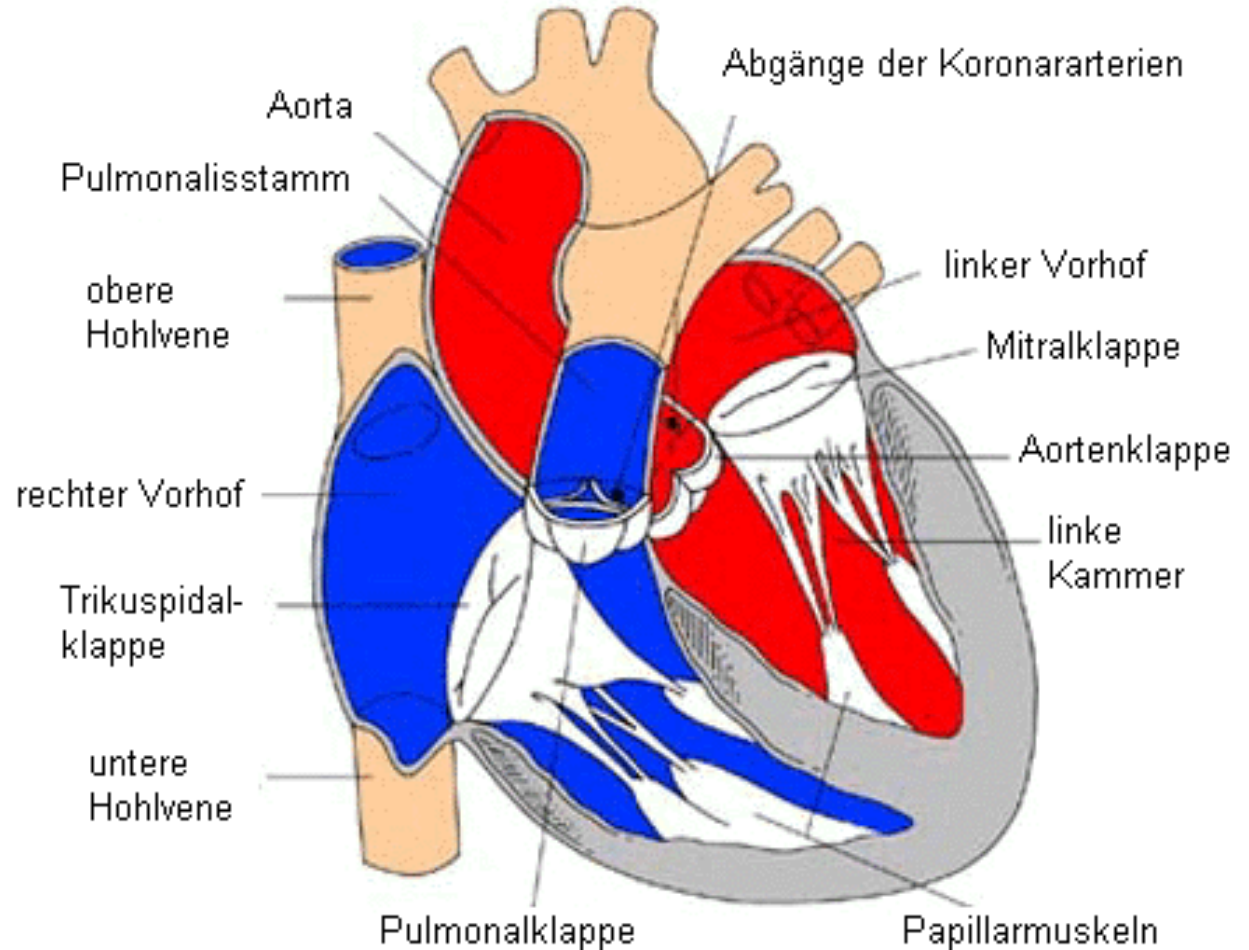
Das Herz



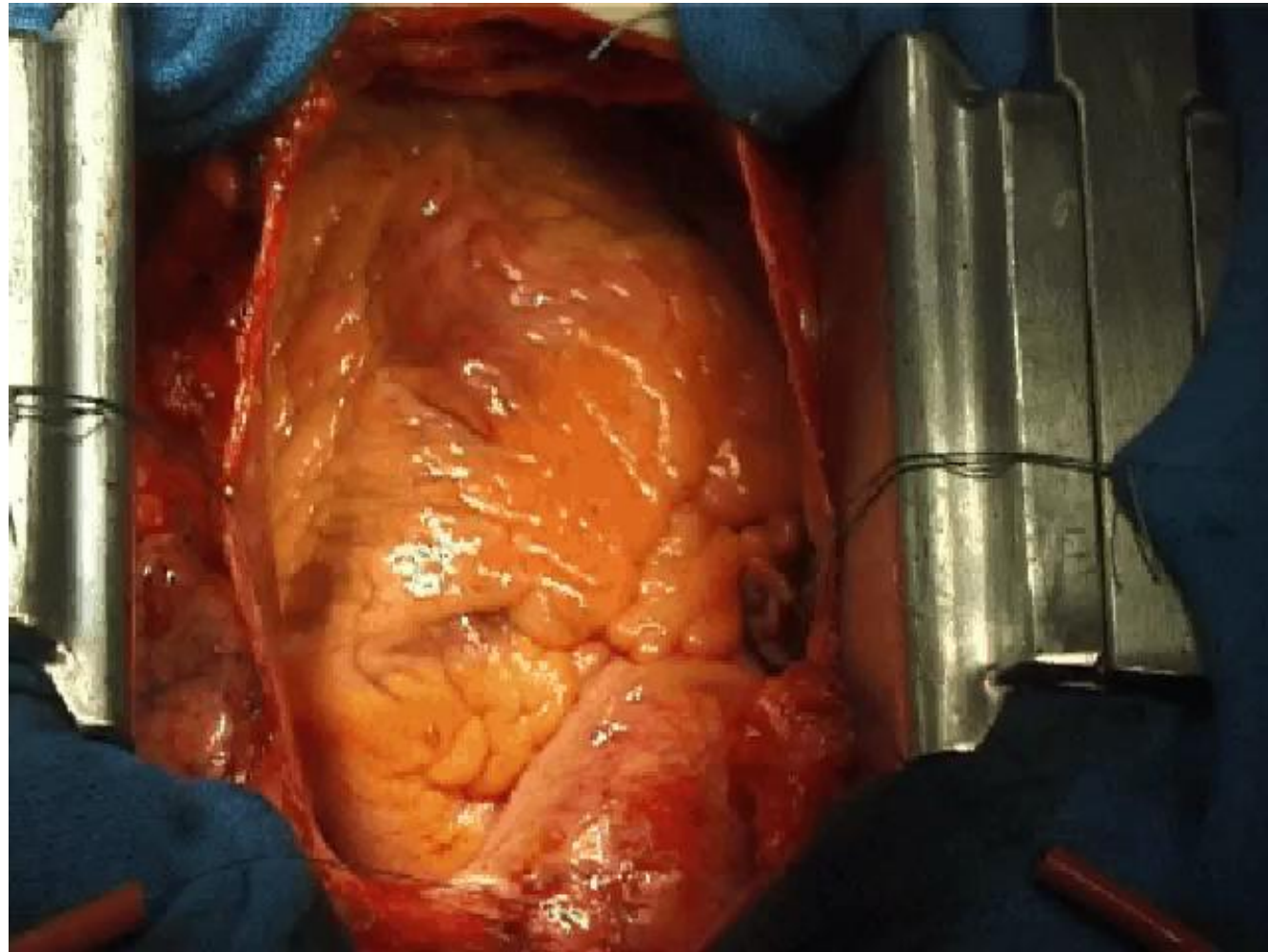
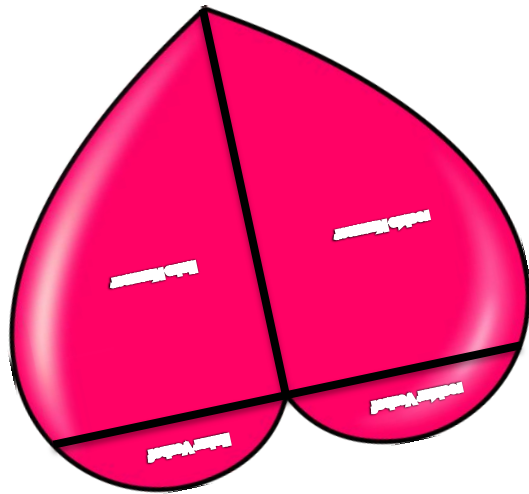
Das Herz



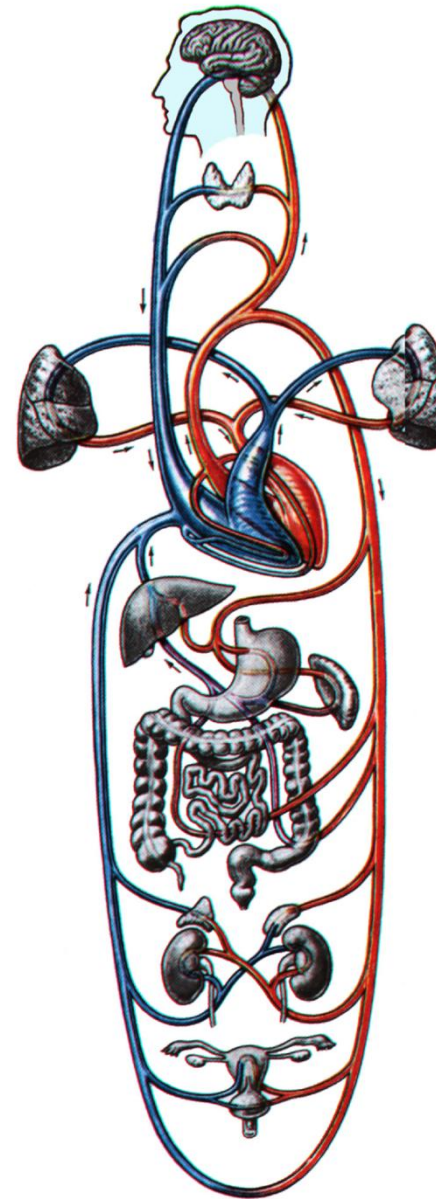
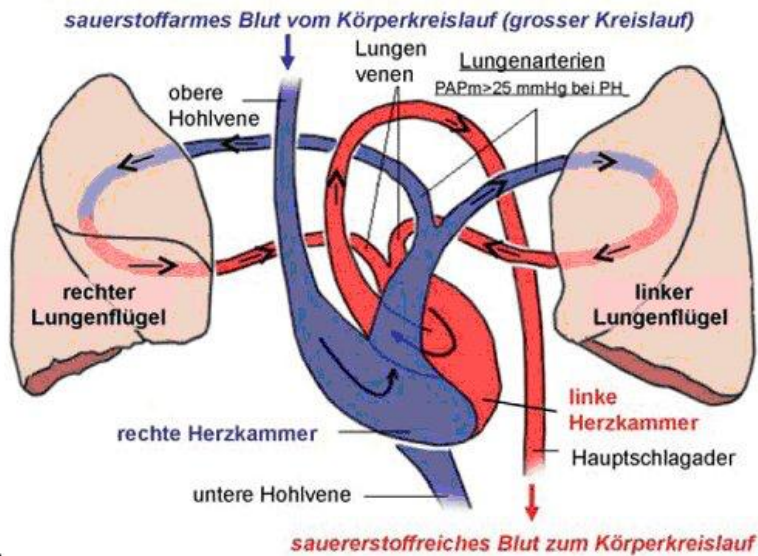
Innenansicht des Herzens



Das Herz



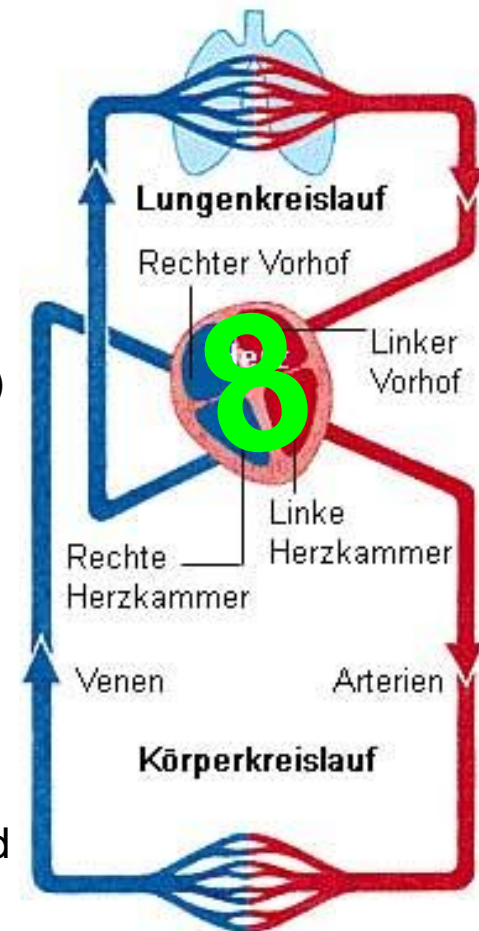
Herz-Kreislauf-System



- Kleiner Kreislauf (Lungenkreislauf)
- Großer Kreislauf (Körperkreislauf)

Herz-Kreislauf-System

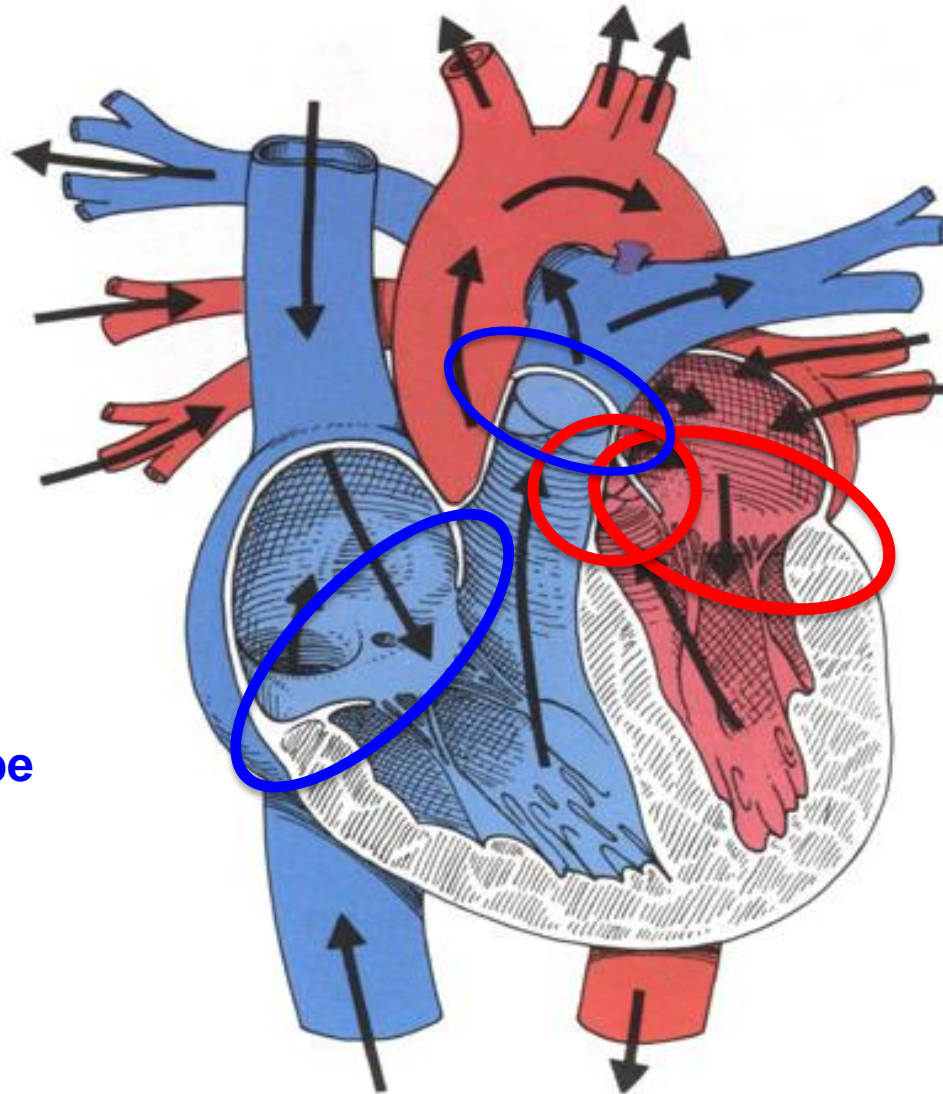
- Blutkreislauf (seriell):
 - Im kleinen Kreislauf (**Lungenkreislauf**) wird das sauerstoffarme Blut aus der rechten Herzkammer über die Lungearterie in die Lunge(n) gepumpt. Aufgrund der sehr vielen kleinen Kapillaren kommt es dort zu einem starken Druckabfall. Nach dem Stoffaustausch (insbesondere: O₂, CO₂) reicht der Restdruck aber noch aus, um das nun sauerstoffreiche Blut über die Lungenvene zum linken Vorhof des Herzens fließen zu lassen. Dann ist aber eine zweite kräftige Pumpe (= linke Herzkammer) notwendig, um den **Körperkreislauf** zu versorgen.
 - Im großen Kreislauf (**Körperkreislauf**) wird das sauerstoffreiche Blut aus der linken Herzkammer in die große Körperschlagader (Aorta) gepumpt, von dort über die Schlagadern, Arterien, Arteriolen und die Kapillaren im gesamten Körper verteilt. Nach erfolgtem Austausch von Sauerstoff, Nährstoffen und Stoffwechselendprodukten wird das sauerstoffarme Blut dann über die Venolen, Venen und Hohlvenen wieder gesammelt und zum Herzen in den rechten Vorhof geführt.



Blutfluss im Herzen- Herzklappen

Pulmonalklappe

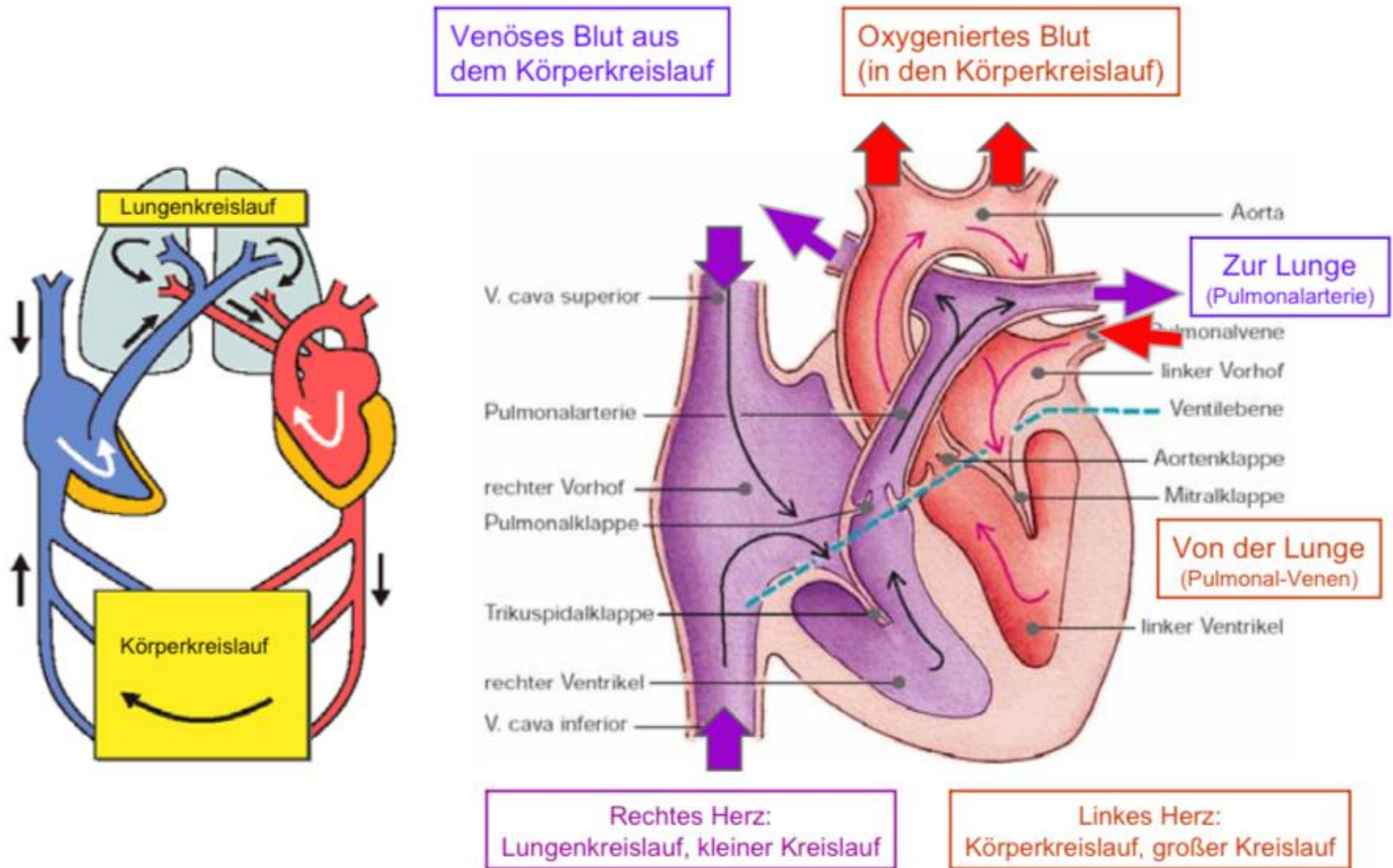
Trikuspidalklappe



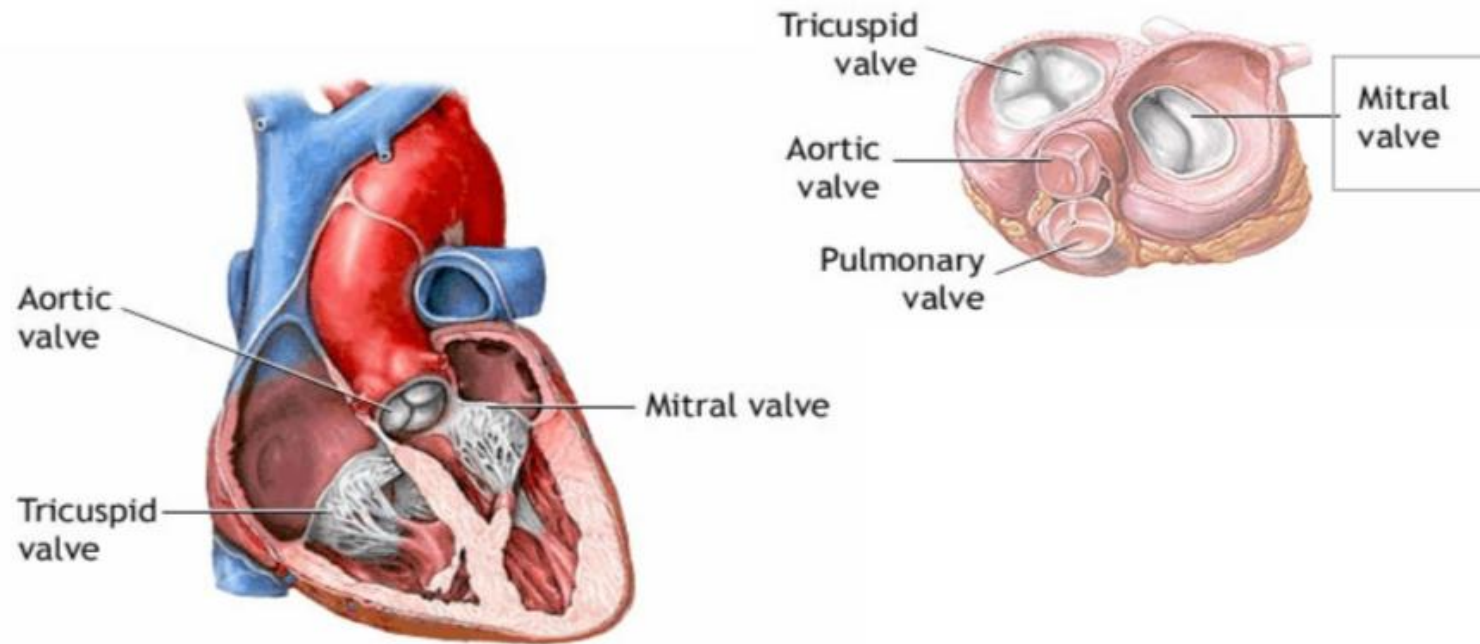
Aortenklappe

Mitralklappe

Herzklappen



Herzklappen



Ventile (Herzklappen) verhindern Rückfluß des Blutes



Kontraktion und Erschlaffung des Herzens werden in einen gerichteten Bluttransport umgesetzt.

Herzklappen

Die **Trikuspidalklappe** trennt den rechten Vorhof von der rechten Kammer. Die Trikuspidalklappe ist eine dreizipflige Klappe und wird als Segelklappe bezeichnet.

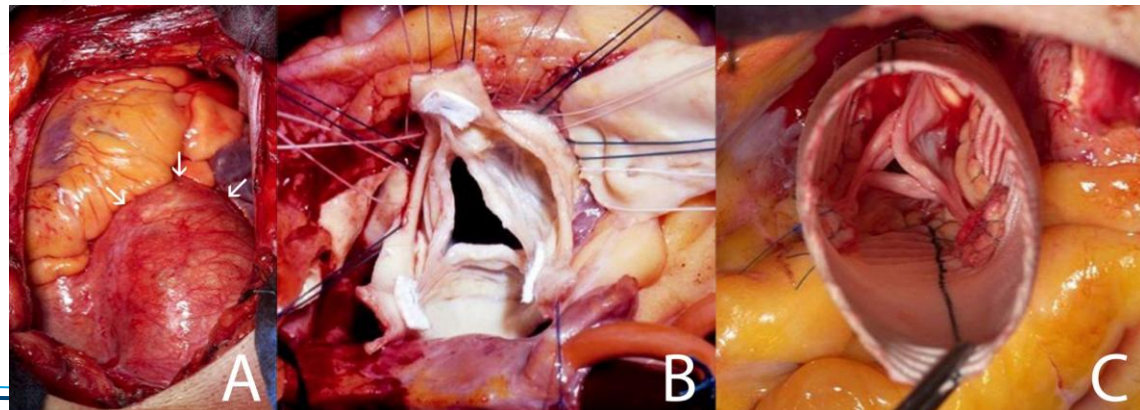
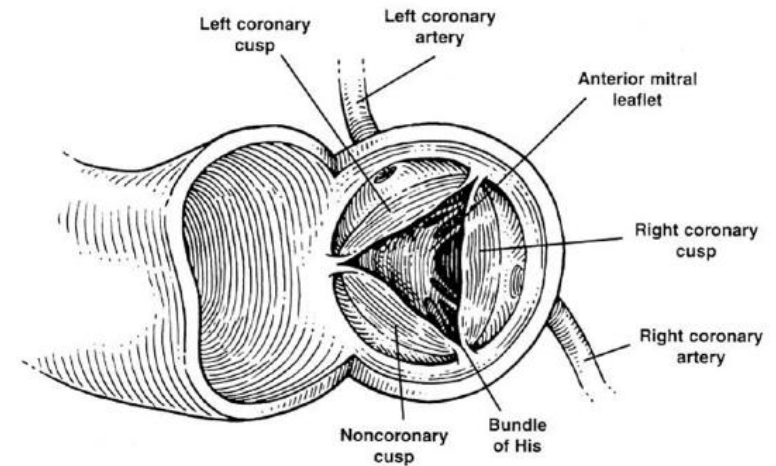
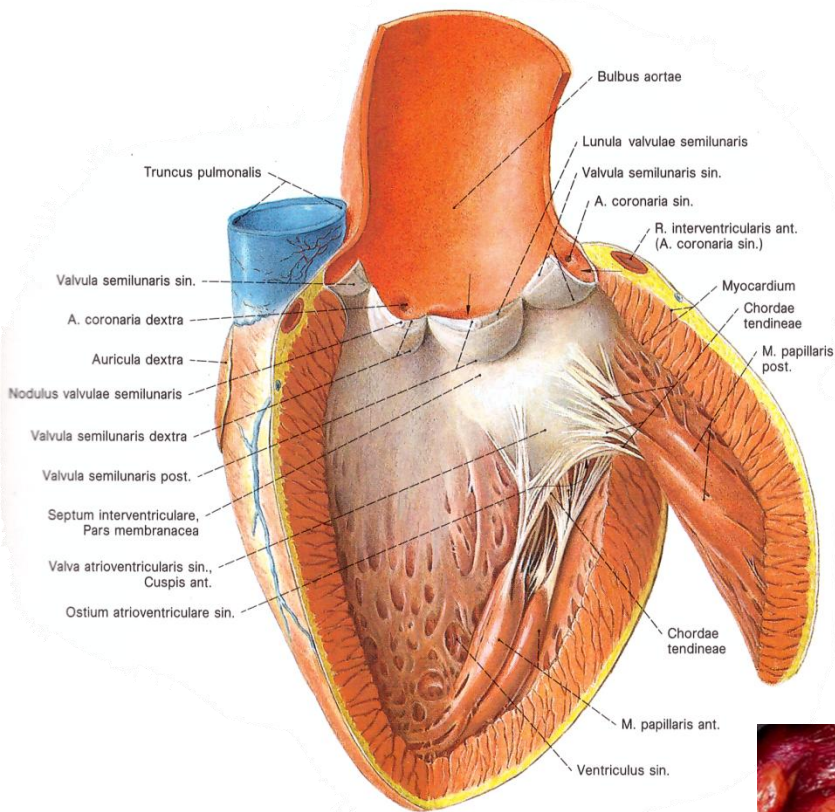
Von der rechten Kammer gelangt das Blut durch die Pulmonalklappe in die beiden Lungenhälften, wo einerseits das Kohlendioxid abgebaut und andererseits das Blut mit Sauerstoff angereichert wird. Die **Pulmonalklappe** ist eine Taschenklappe.

Das »frische mit Sauerstoff angereicherte Blut« gelangt aus der Lunge in den linken Vorhof und wird durch die **Mitralklappe** in die linke Kammer gepumpt. Die Mitralklappe ist eine zweizipflige Klappe und wird als Segelklappe bezeichnet.

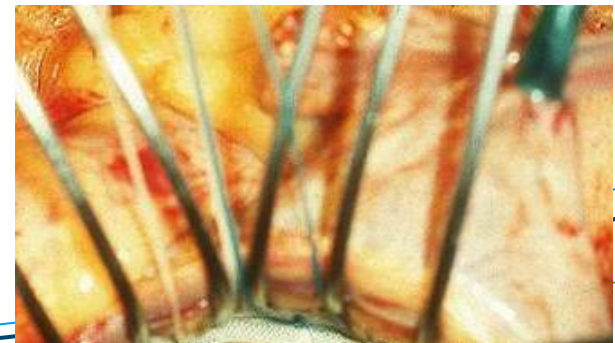
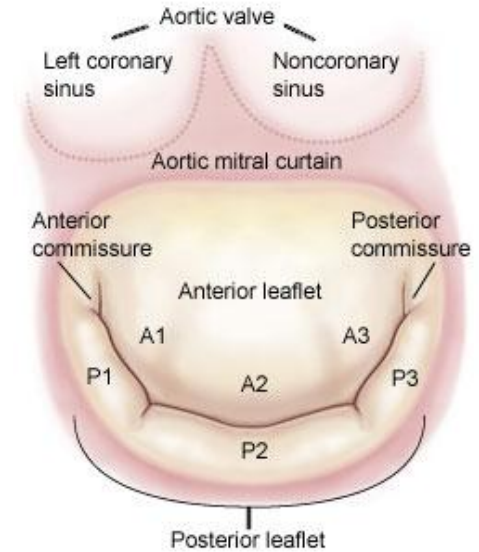
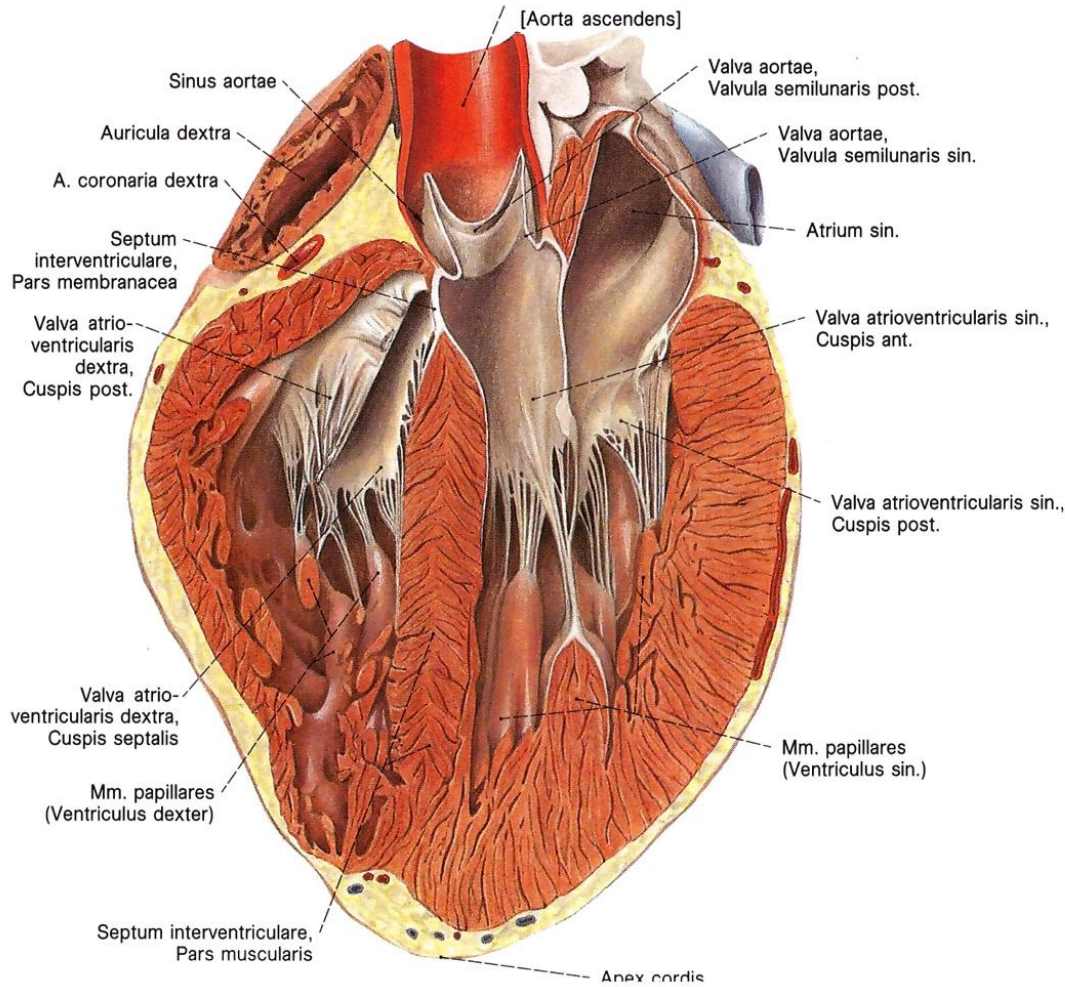
Von der linken Herzkammer aus gelangt das Blut durch die Aortenklappe in den grossen Blutkreislauf. Die linke Herzkammer muss die grössere Arbeit leisten, da sie das Blut in den grossen Kreislauf pumpt. Die **Aortenklappe** ist wie die Pulmonalklappe eine Taschenklappe.

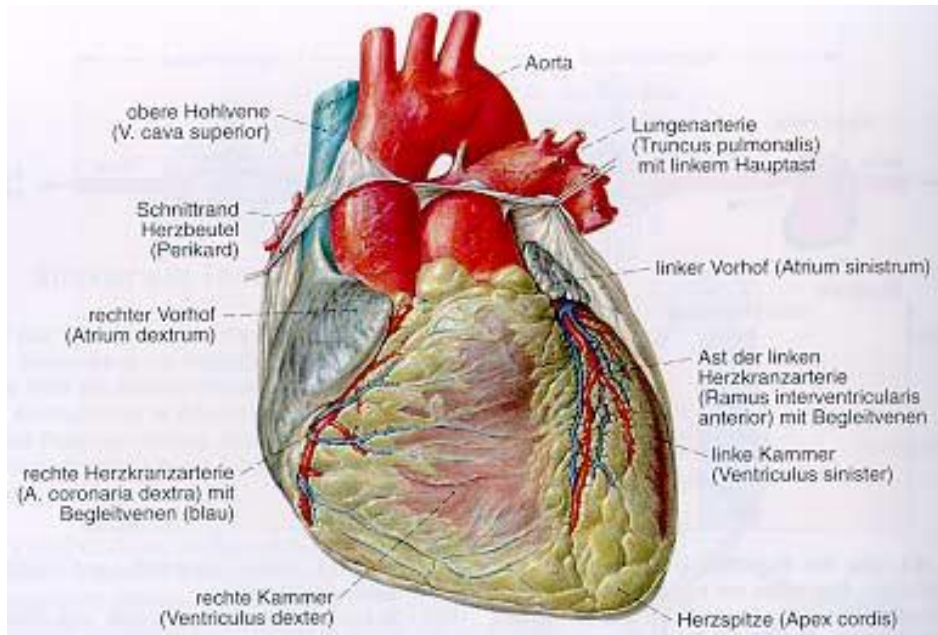


Aortenklappe

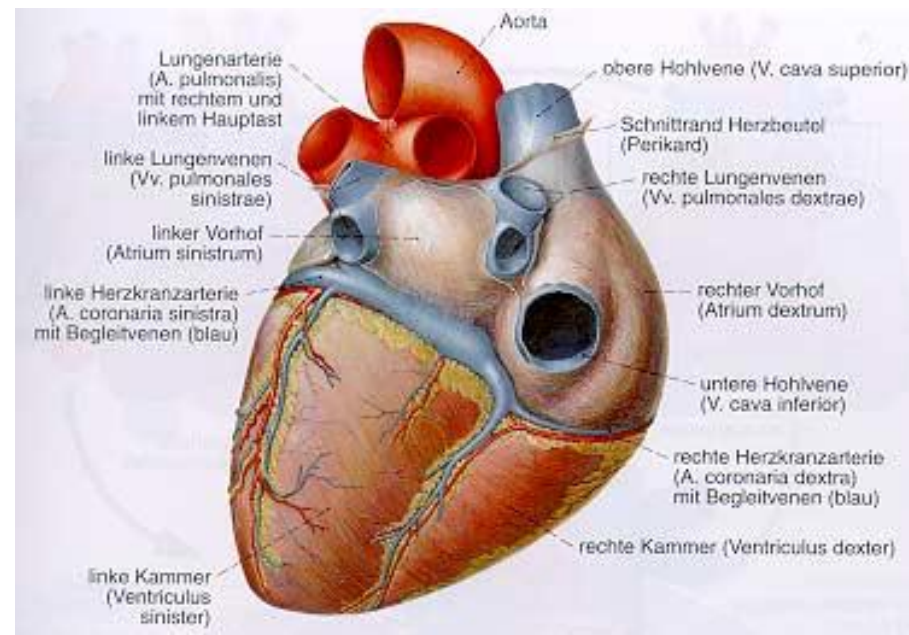


Mitralklappe





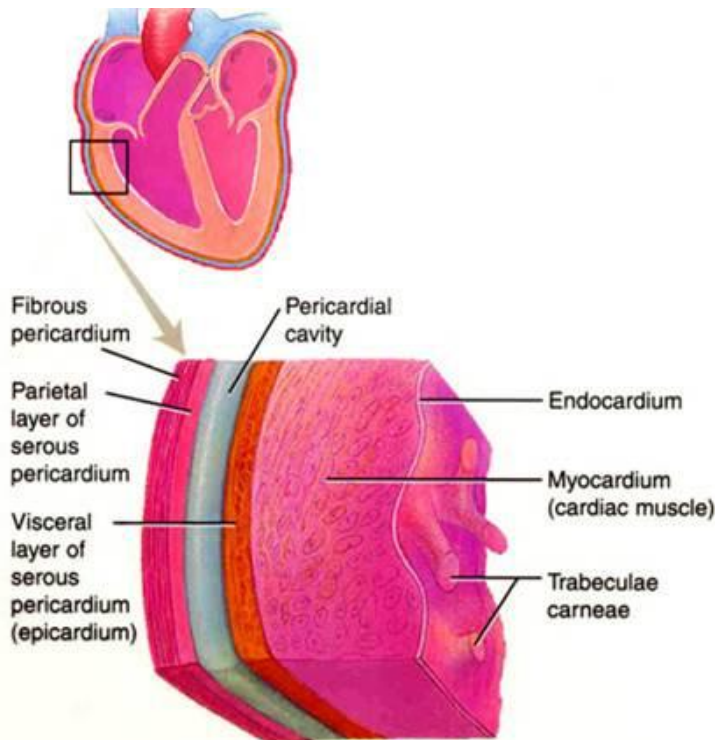
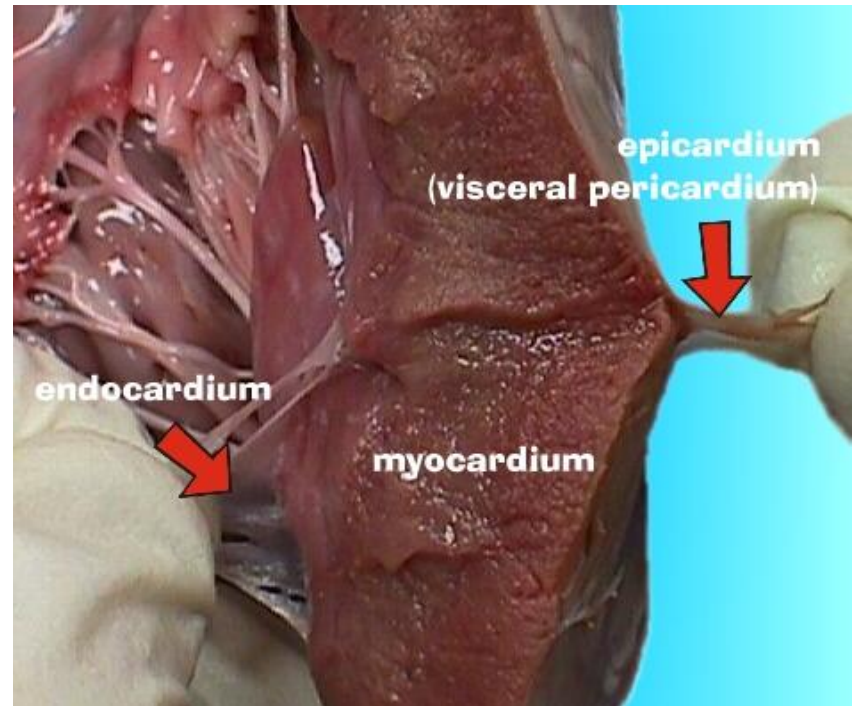
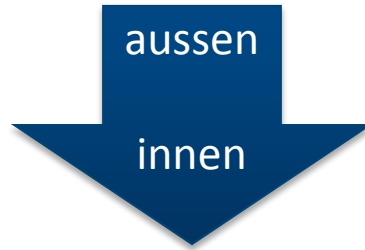
ventral



dorsal

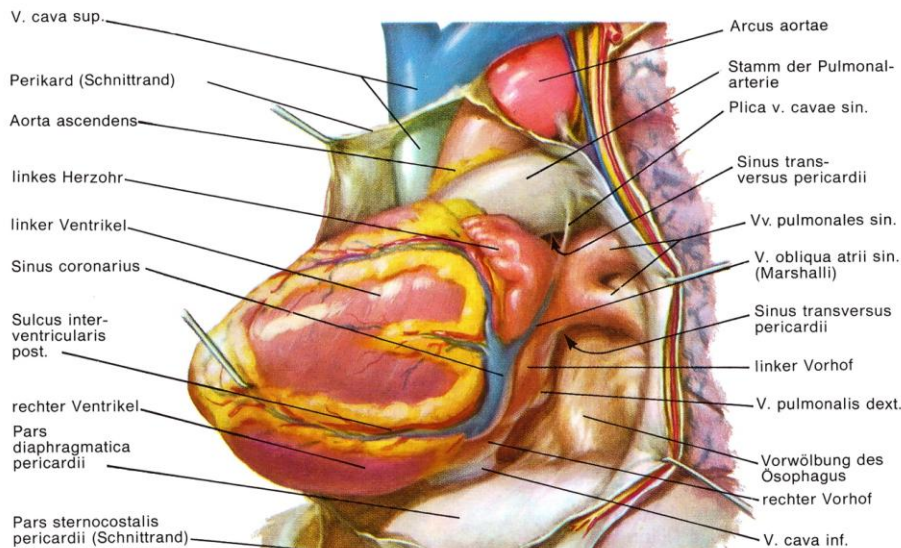
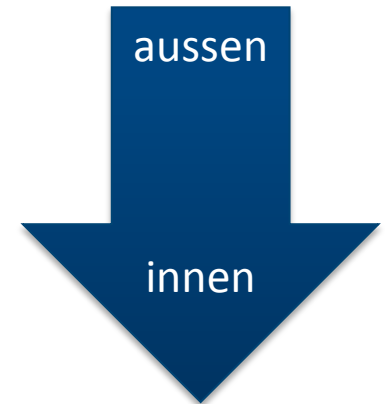
Anatomie Herzwand

- Epikard
- Myokard
- Endokard

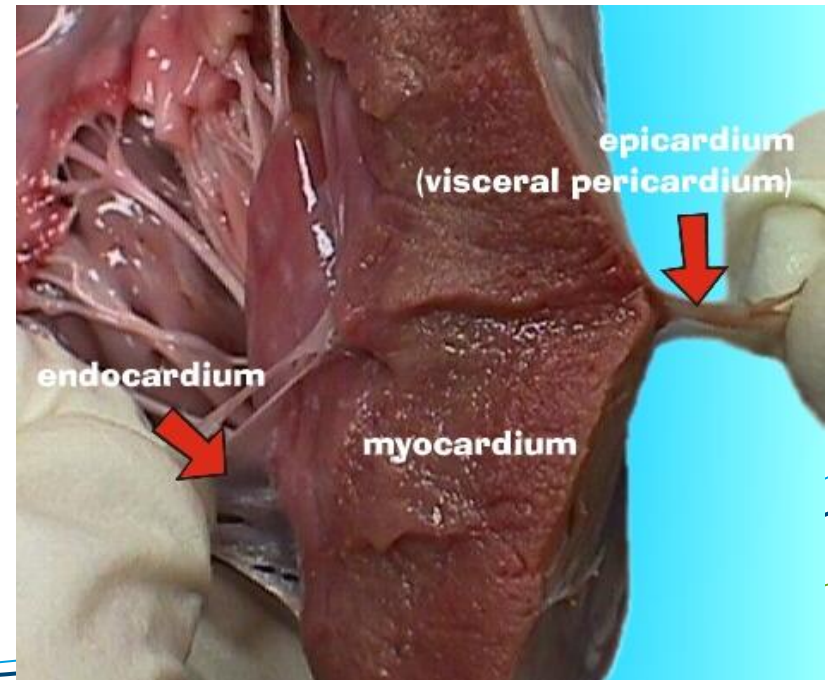


Anatomie Herzwand

- Epikard (im Bereich der großen Herzgefäße schlägt das Epikard um u. bildet das bindegewebige Perikard (Herzbeutel), das das gesamte Herz u. die Anfangsteile der großen Gefäße umschließt)
- Myokard (Herzmuskelgewebe, dickster Wandteil)
- Endokard (feinfaserige Bindegewebsschicht)



Ansicht des Herzens von links her
Nach Eröffnung des Herzbeutels wurde das Herz um 135 Grad nach rechts gedrängt



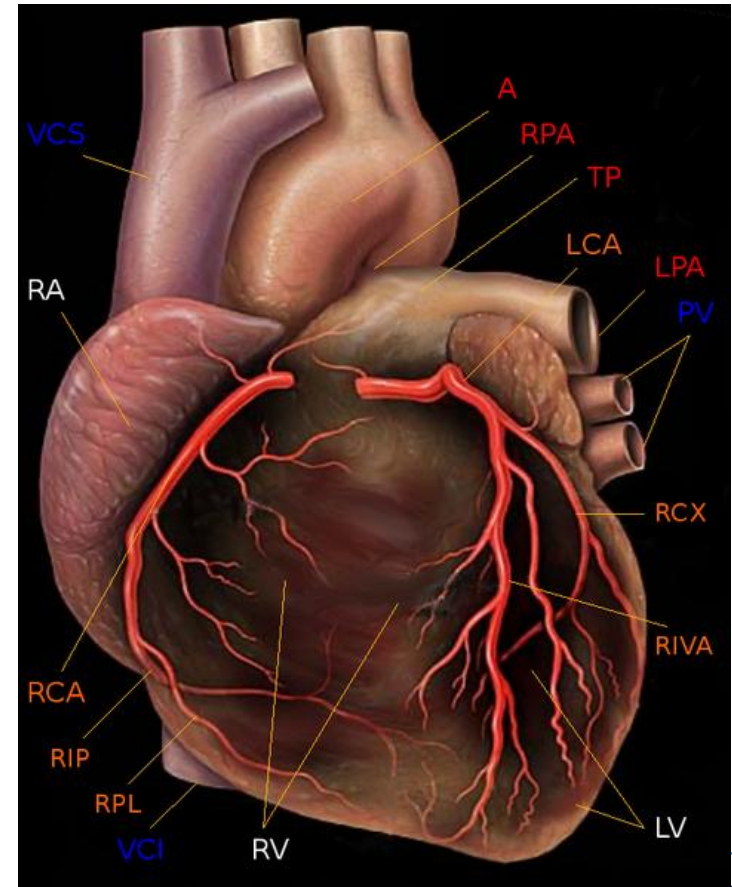
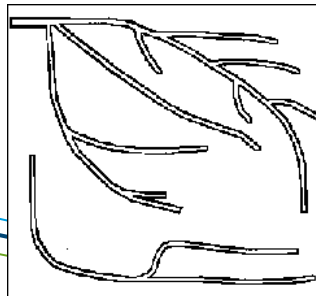
Herzkranzgefäße (Koronararterien)

- **Links (LCA):**

- Hauptstamm
- Ramus interventricularis anterior (RIVA)
- Ramus circumflexus (RCX)

- **Rechts (RCA):**

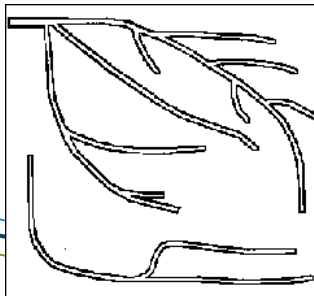
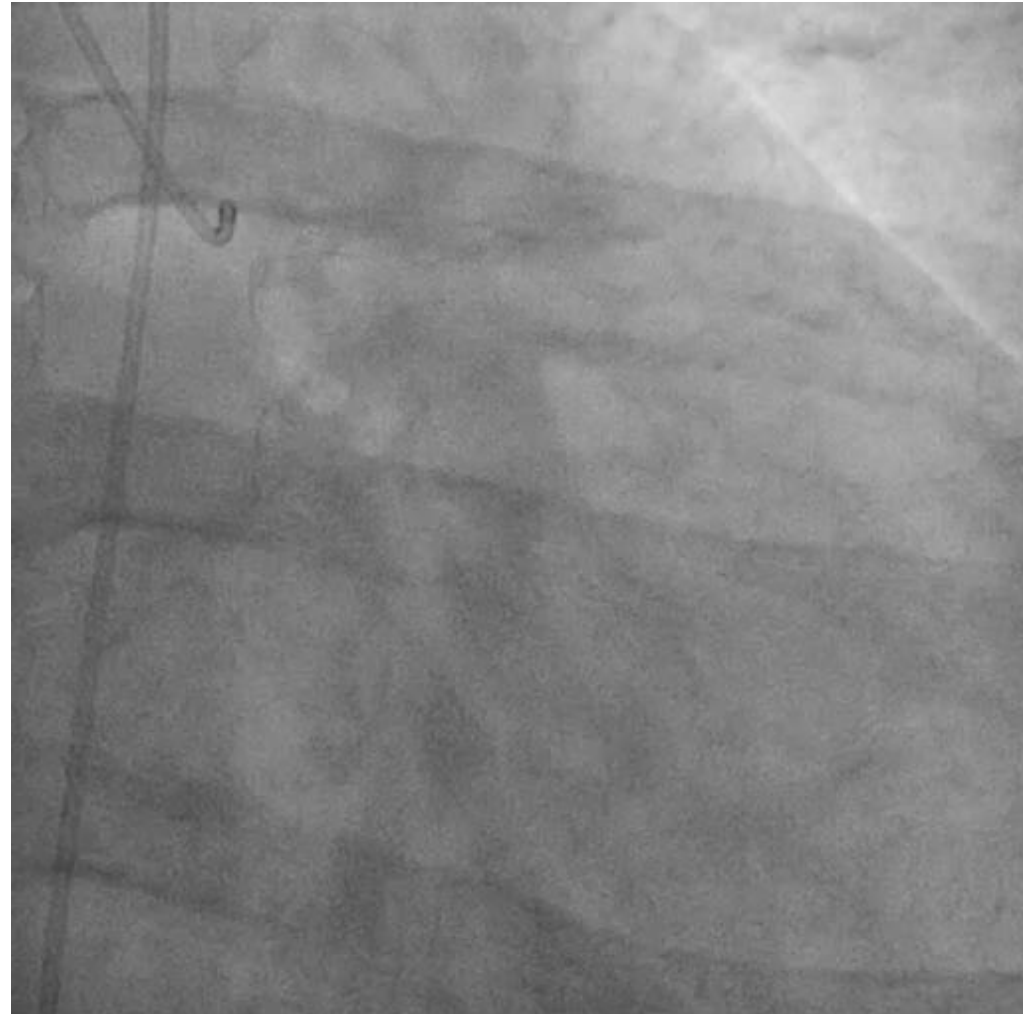
- Ramus interventricularis posterior (RIVPo)
- Posterolateralast (PLA/RCA)



Herzkranzgefäße (Koronararterien)

- **Links (LCA):**

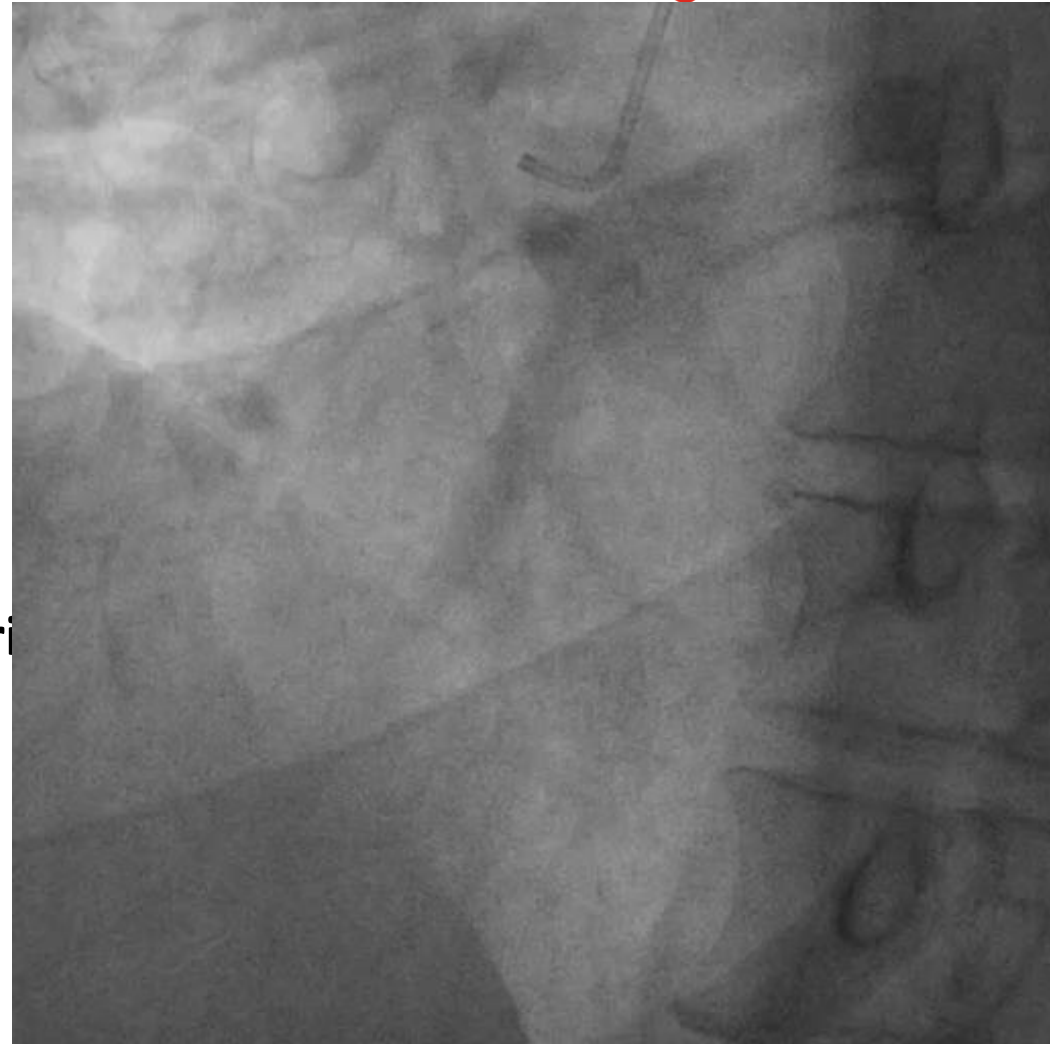
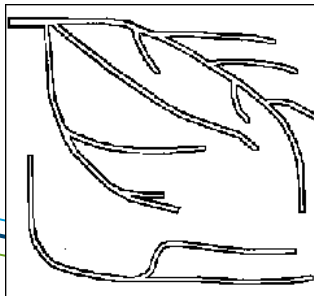
- **Hauptstamm**
- **Ramus interventricularis anterior (RIVA)**
- **Ramus circumflexus (RCX)**



Herzkranzgefäße (Koronararterien)

- **Rechts (RCA):**

- **Ramus interventricularis posterior (RIVPo)**
- **Posterolateralast (PLA/RCA)**

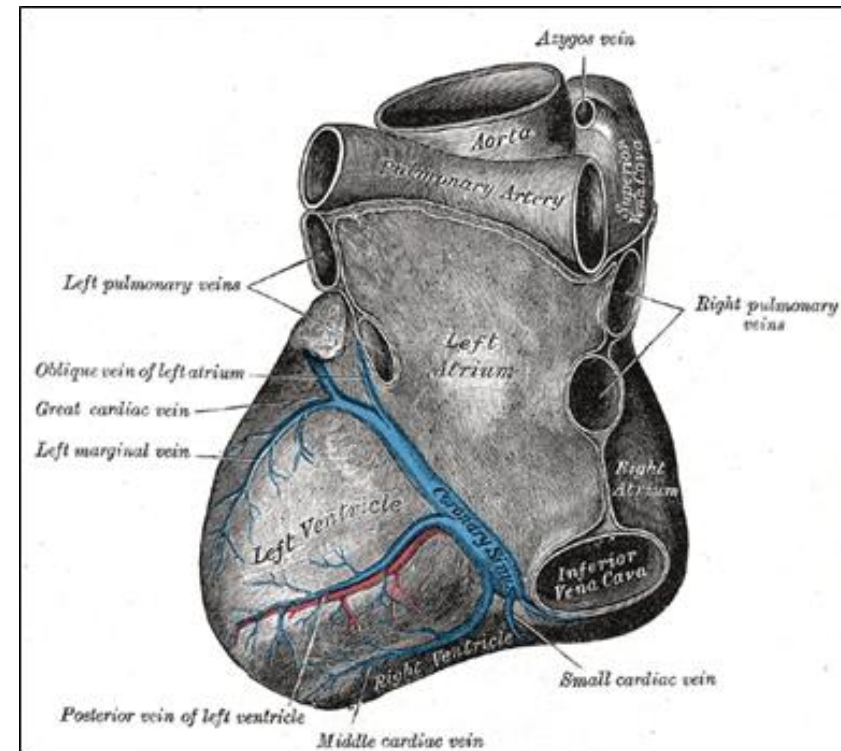
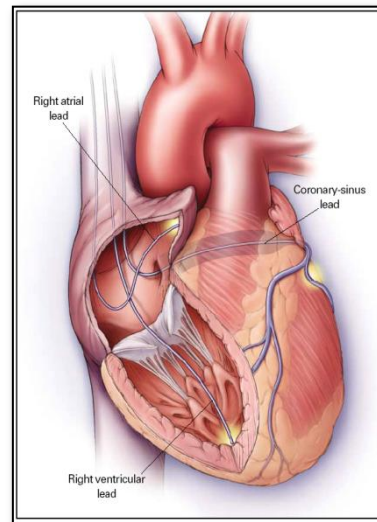
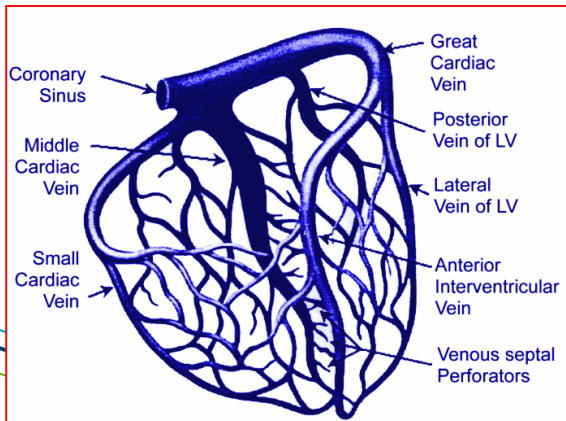


Venöser Abfluß (Koronarvenen)

Sinus coronarius Lage im Sulcus coronarius
Mündung in den rechten Vorhof

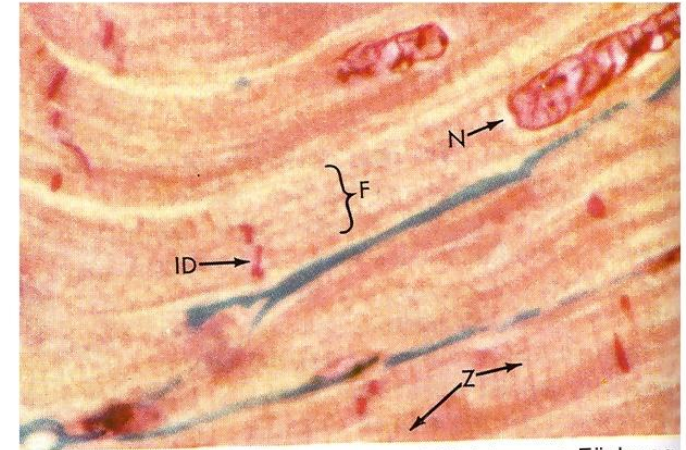
Zufluß:

- V. cordis magna
- V. interventricularis posterior
- V. cordis parva
- z. T. gehen venöse Abflüsse direkt in den rechten Vorhof

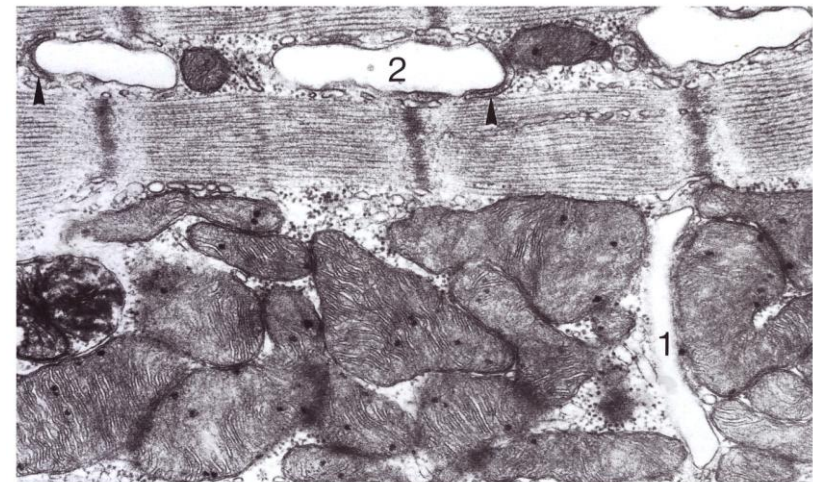


Herzmuskelgewebe (Kardiomyozyten)

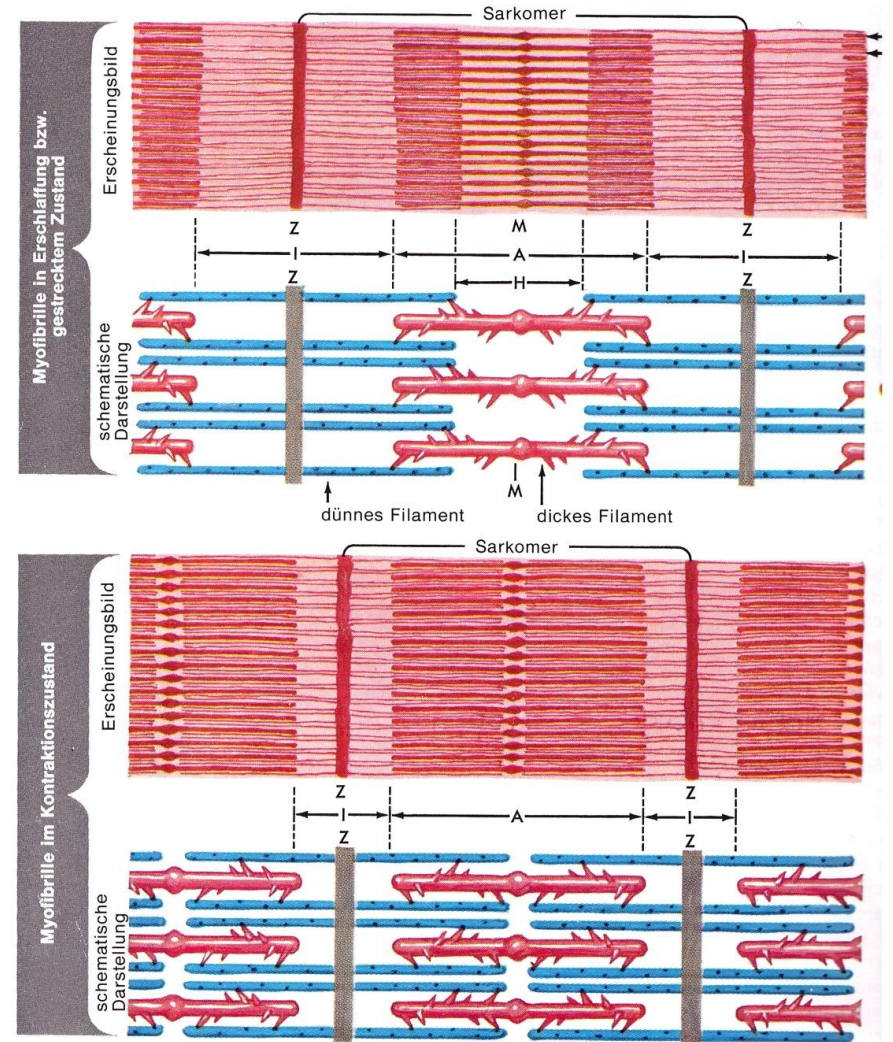
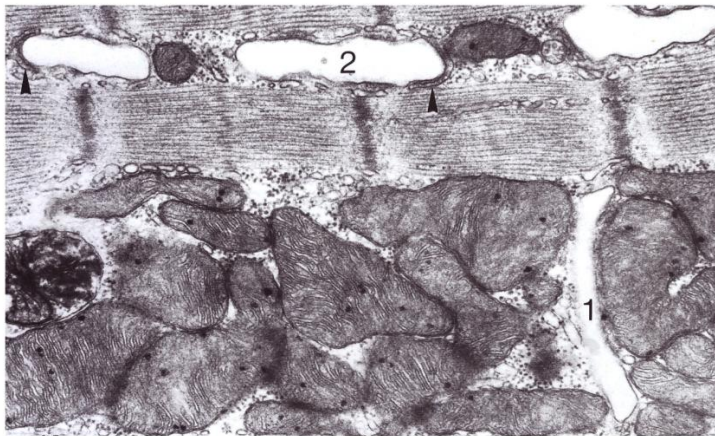
- Das HMG besteht aus netzartig verzweigten fest miteinander verbundenen Einzelzellen
- Querstreifung durch hochgeordnete Lagerung der Myofilamente
- engmaschiges Kapillarnetz, hoher Mitochondriengehalt (Dauerleistung!)
- Hypertrophiefähig
- keine Regeneration nach Verletzung, da Herzmuskelzellen nicht mehr teilungsfähig sind → bindegewebige Vernarbung → prospektive Schwächezonen
- Anpassung der Herz-Arbeitsleistung durch eigenes Erregungsbildungs- u. -leitungssystem, das jedoch durch das vegetative Nervensystem beeinflussbar ist



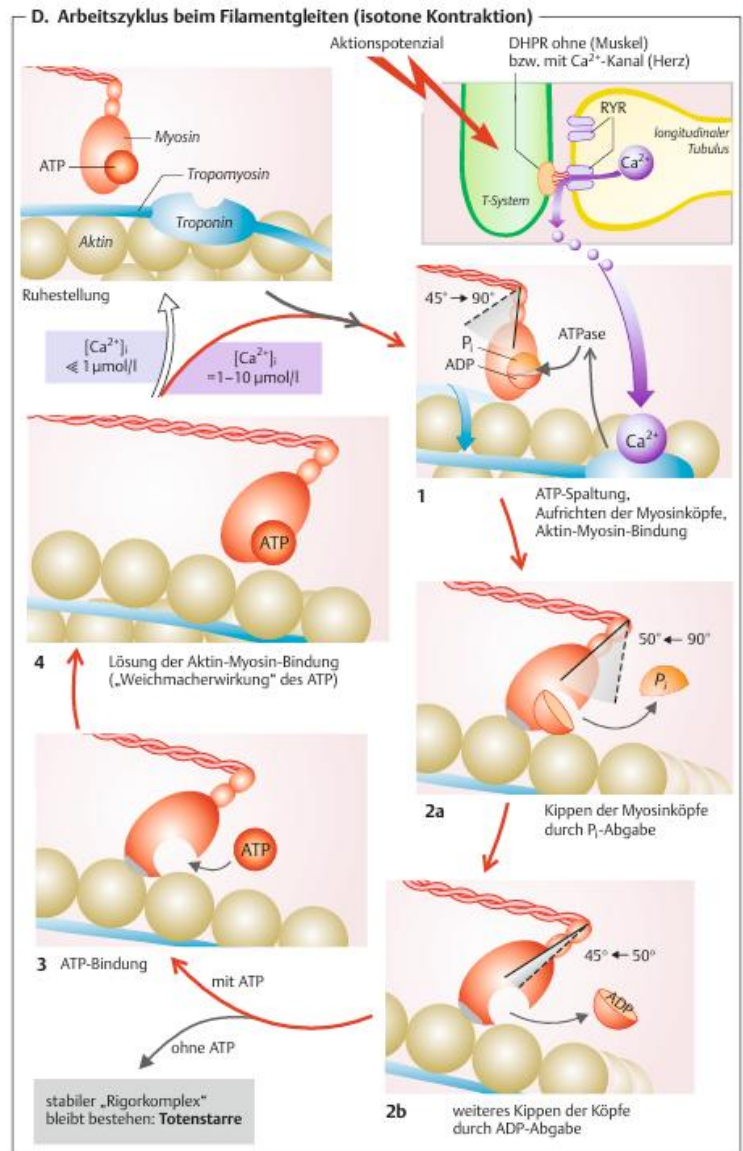
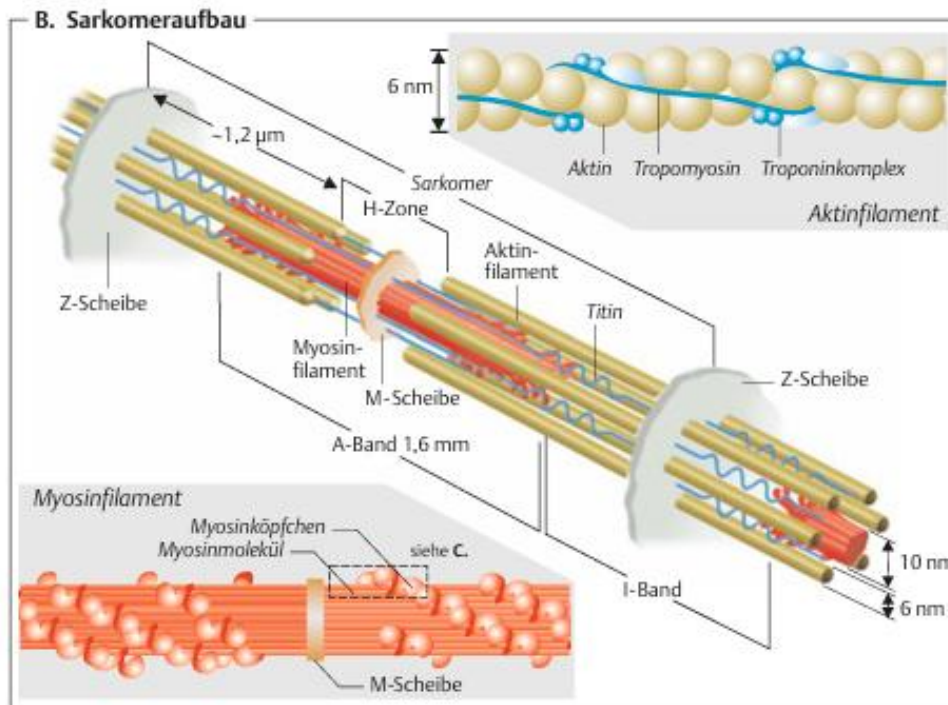
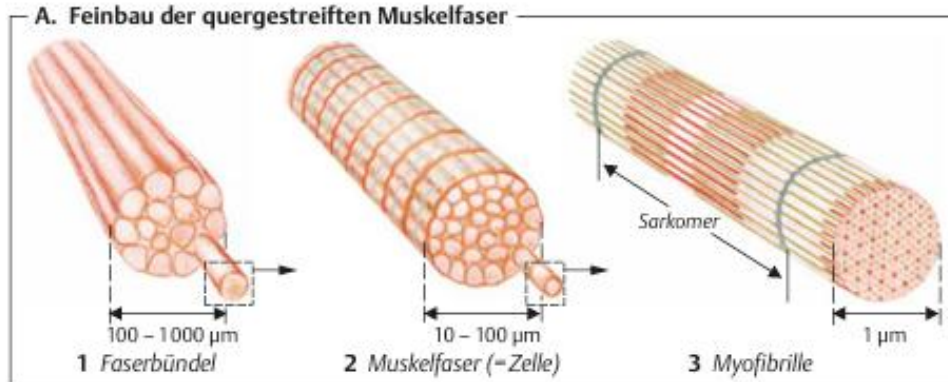
längsschnitt durch den Herzmuskel (Trichrome-Färbung, 700x Vergrößerung)



Herzmuskelgewebe quergestreifte Muskulatur



Herzmuskelgewebe quergestreifte Muskulatur



Mechanische Herzaktion

Erforderlich:

1. Kontraktion und Erschlaffung der Muskulatur
2. Klappenfunktion

Arbeitsmuskulatur:

1. Kontraktion: **Systole**
2. Erschlaffung: **Diastole**

Rhythmik:

Vorhöfe zuerst, dann Kammern Rechtes und Linkes Herz gleichzeitig

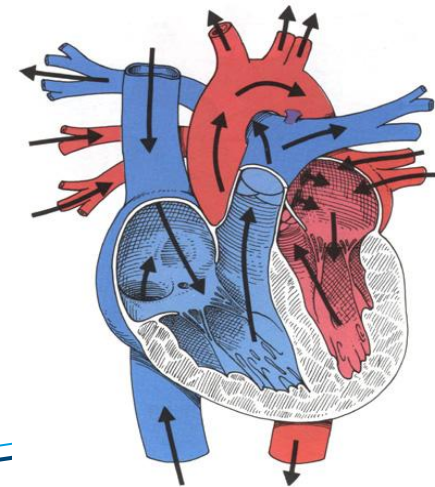
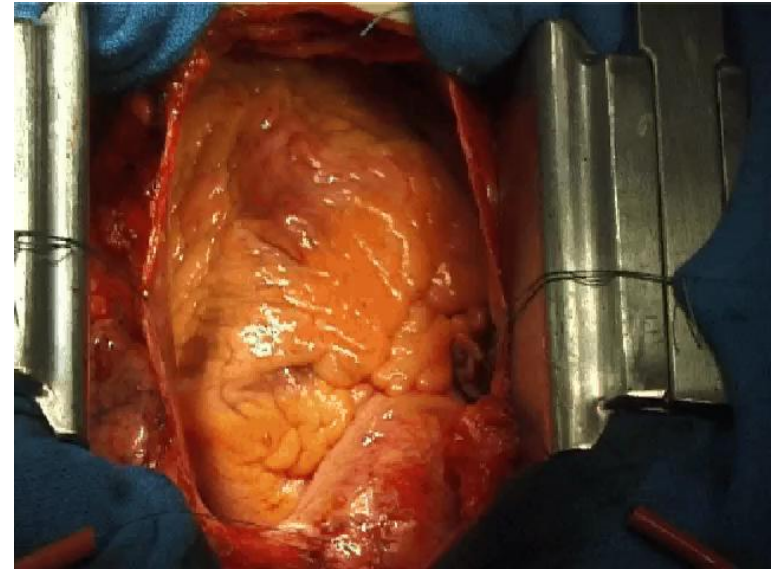
Ablauf: Vorgegeben durch

Erregungsleitungssystem:

Kammer: Papillarmuskeln zuerst, dann v. Apex zur Basis

Blutauswurf durch:

1. Kontraktion Myokard
2. Tiefertreten der Ventilebene



Mechanische Herzaktion

Ventilebenenmechanismus

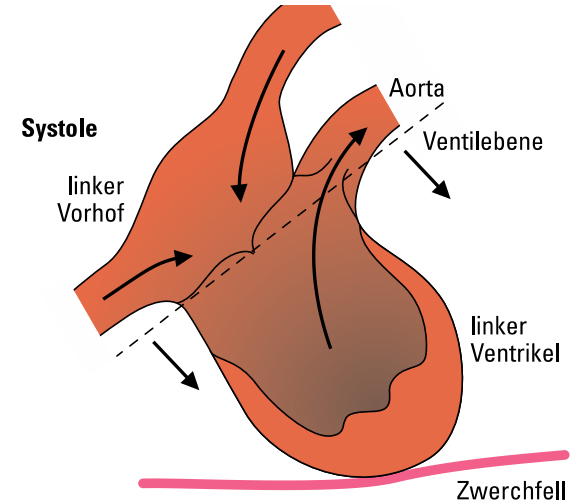
Beachte: "Ventilebenenmechanismus"

entscheidend für Verständnis

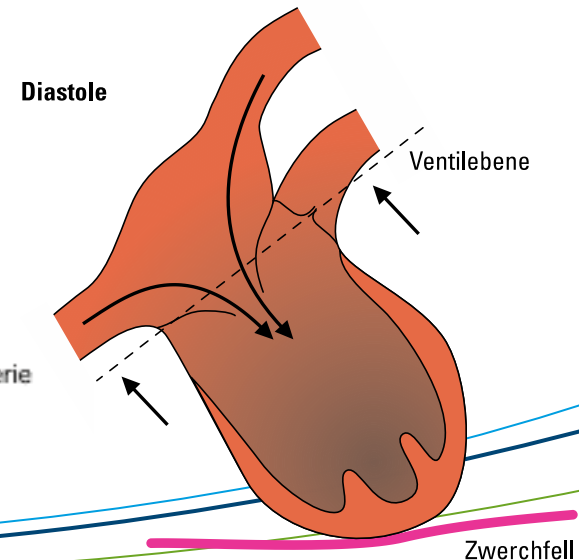
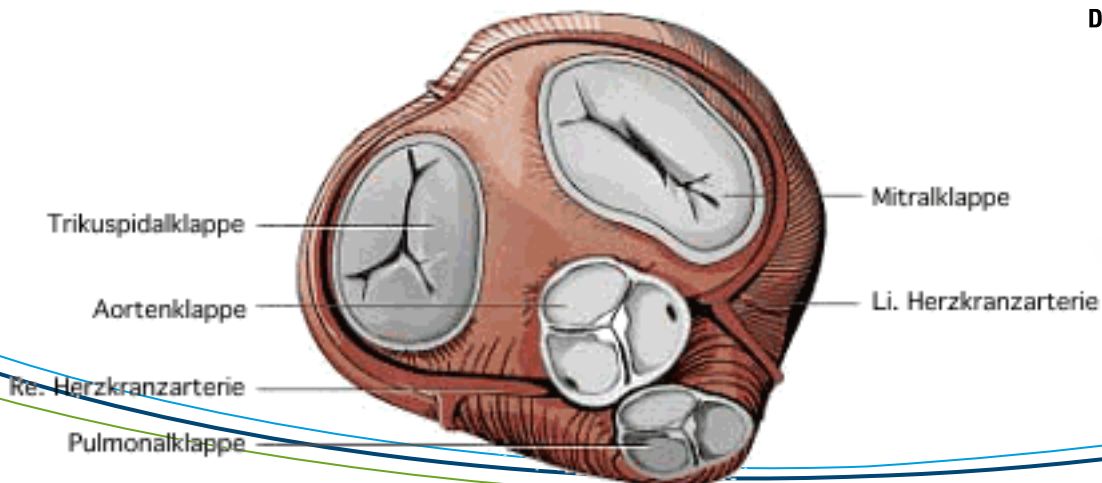
Ventilebene:

1. Blutauswurf ("Druckfunktion")
2. Erweiterung der Vorhöfe ("Saugfunktion")

Das Herz wirkt wie eine Saug-Druckpumpe

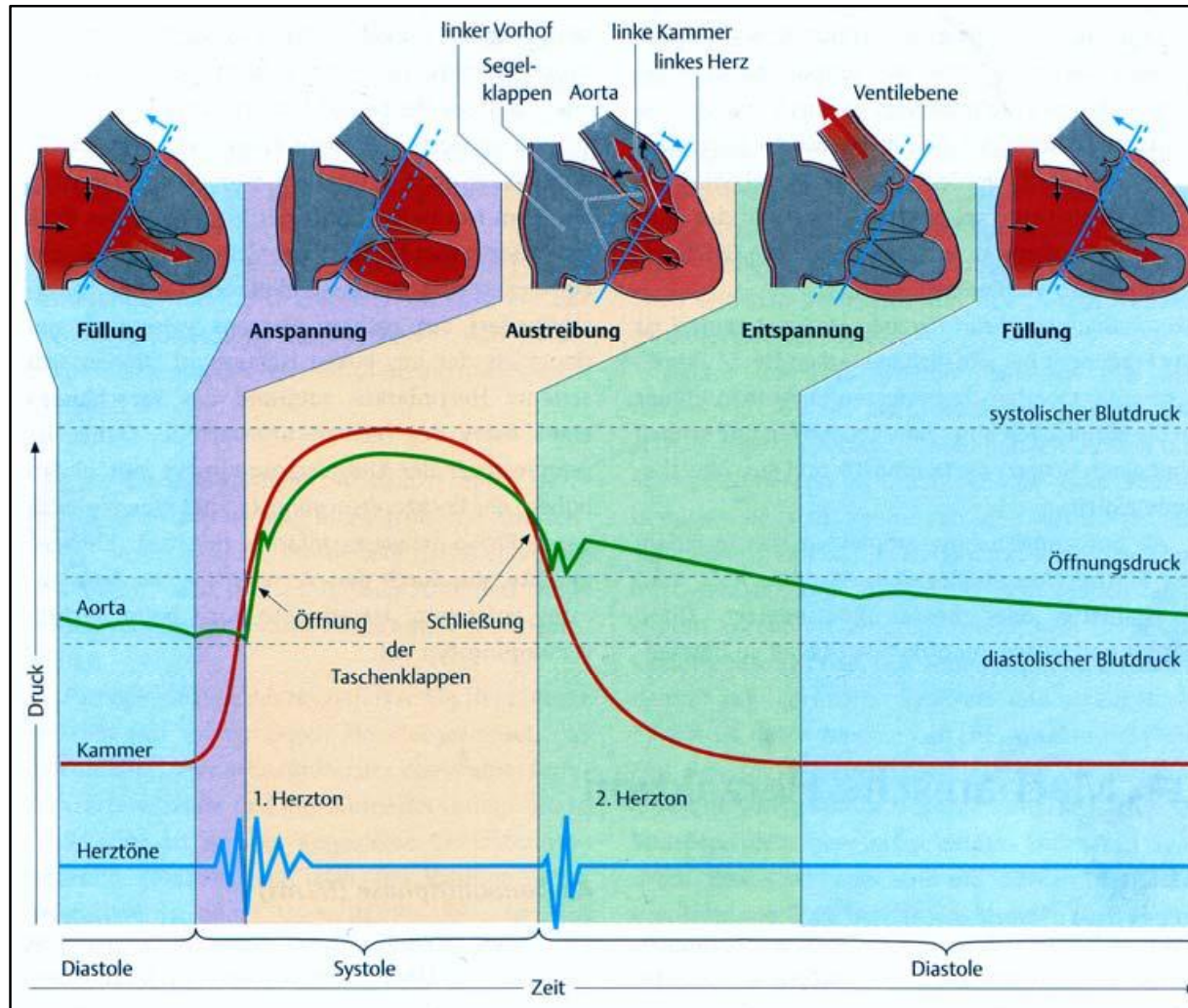


Ventilebene des Herzens



Mechanische Herzaktion

Herzzyklus



Mechanische Herzaktion

Herzzyklus

Herzzeitvolumen (HZV):

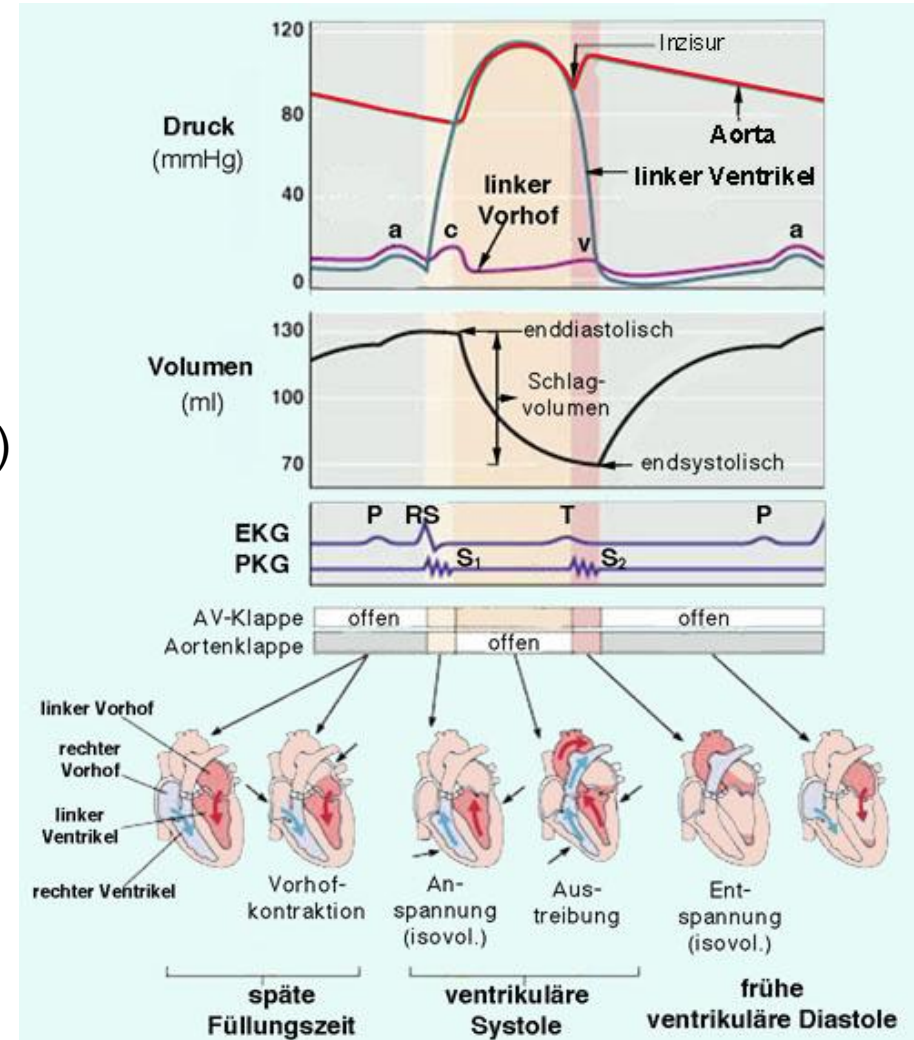
$$\text{HZV} = \text{SV} \times \text{HF} (0,08 \text{ l} \times 70 \text{ min}^{-1}) = 5,6 \text{ l/min}$$

Enddiastolisches Volumen (EDV):

$$\text{EDV} = \text{SV} + \text{ESV} (\text{Endsystolisches Volumen})$$

Ejektionsfraktion (EF):

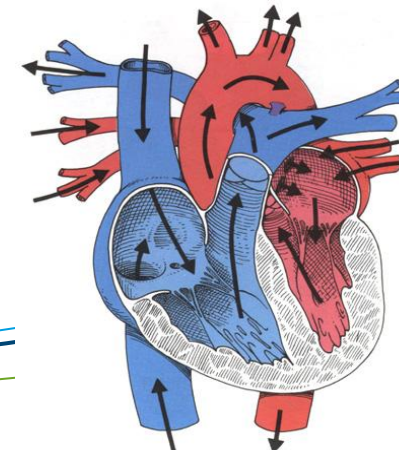
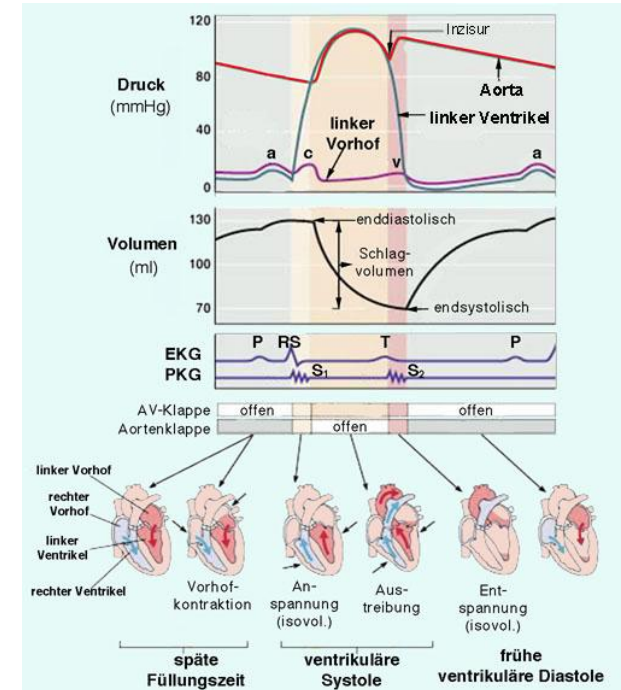
$$\text{EF} = \text{SV} / \text{EDV} (80 \text{ ml} / 120 \text{ ml}) = 67\%$$



Mechanische Herzaktion

Herzzyklus

Drücke im Herzen	Ort	maximaler Druck in der Systole [mmHg]	Druck am Ende der Diastole [mmHg]				
	Rechter Vorhof	5	3				
	Rechter Ventrikel	22	4				
	A. pulmonalis	22	10				
	Linker Vorhof	8	4				
	Linker Ventrikel	120	7				
Aorta	120	80					
Dauer von Systole und Diastole	Herzfrequenz [1/min]	Dauer der Systole [s]	Dauer der Diastole [s]				
	70	0,3 (1/3)	0,6 (2/3)				
	140	0,26	0,17				
Anteil am HZV unter Ruhebedingungen	Gehirn => 15%						
	KoronargefäÙe => 5%						
	Nieren => 20%						
	Leber => 7%						
	Darm usw. => 23%						
	Muskeln => 20%						
	Haut => 10%						
Schlagvolumen; in Ruhe, untrainiert	ca. 70 ml						
Enddiastolisches Volumen; in Ruhe, untrainiert	ca. 120 ml						
Endsystolisches Volumen; in Ruhe, untrainiert	ca. 70 ml						
Ejektionsfraktion; in Ruhe, untrainiert	ca. 60 % - dies entspricht dem Anteil des Schlagvolumens am enddiastolischen Volumen						
Herzzeitvolumen (HZV)	Aktivität	Status	HZV [l]	=	Schlagvolumen [ml]	x	Herzfrequenz [1/min]
	Ruhe	untrainiert	4,9	=	70	x	70
	Ruhe	trainiert	5,6	=	140	x	40
	max. Muskelarbeit	untrainiert	19	=	100	x	190
	max. Muskelarbeit	trainiert	32	=	170	x	190
Hypertonie !!!	Nach WHO systol. Blutdruck > 140 mmHg und/oder diastol. Blutdruck > 90 mmHg						



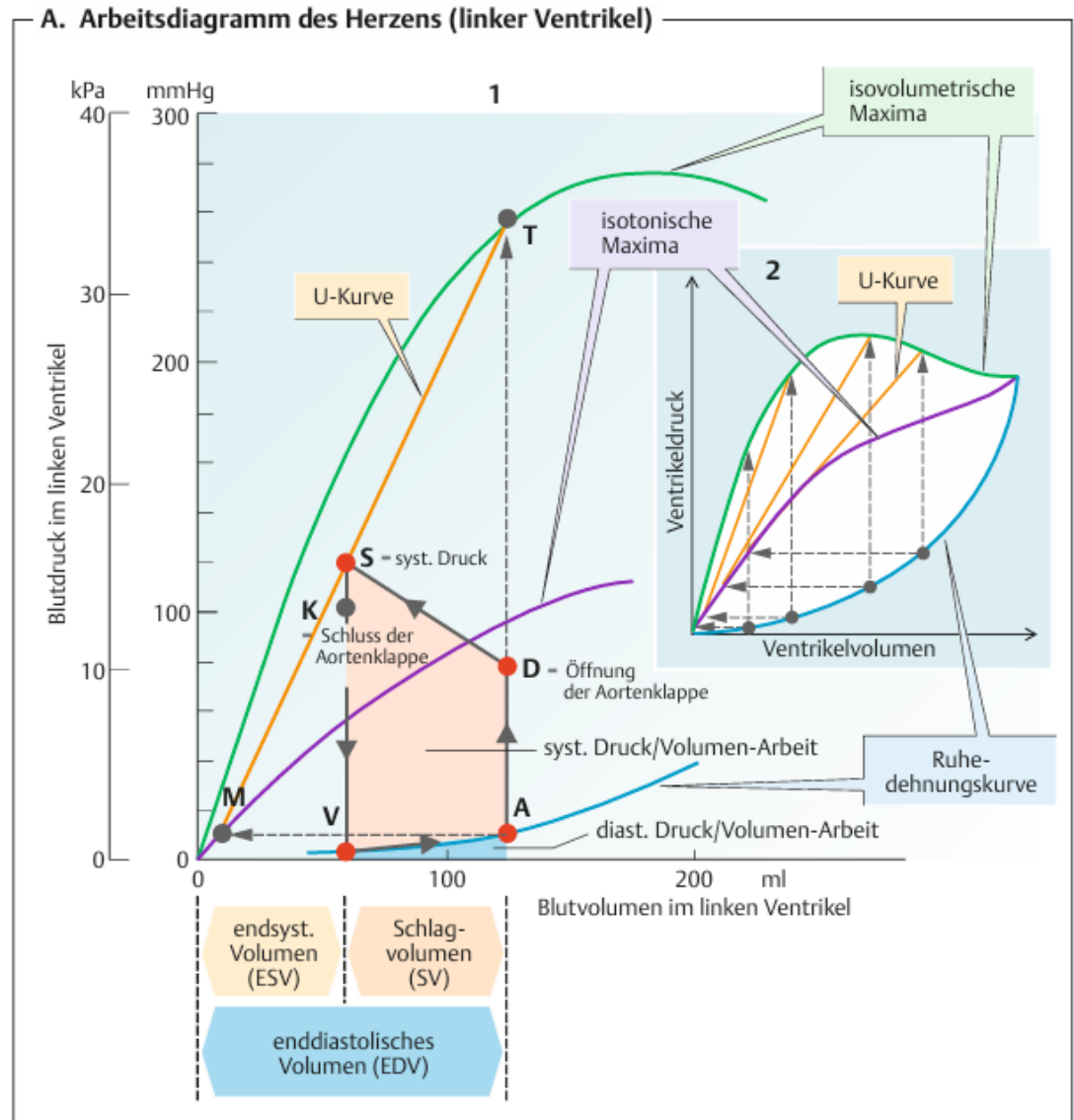
Mechanische Herzaktion Herzarbeit

Das pumpende Herz leistet zwei verschiedene Arten von Arbeit:

- die **Druck-Volumen-Arbeit**
- die **Beschleunigungsarbeit** (1%)

$$\text{Arbeit} = \text{Druck} \times \text{Volumen}$$

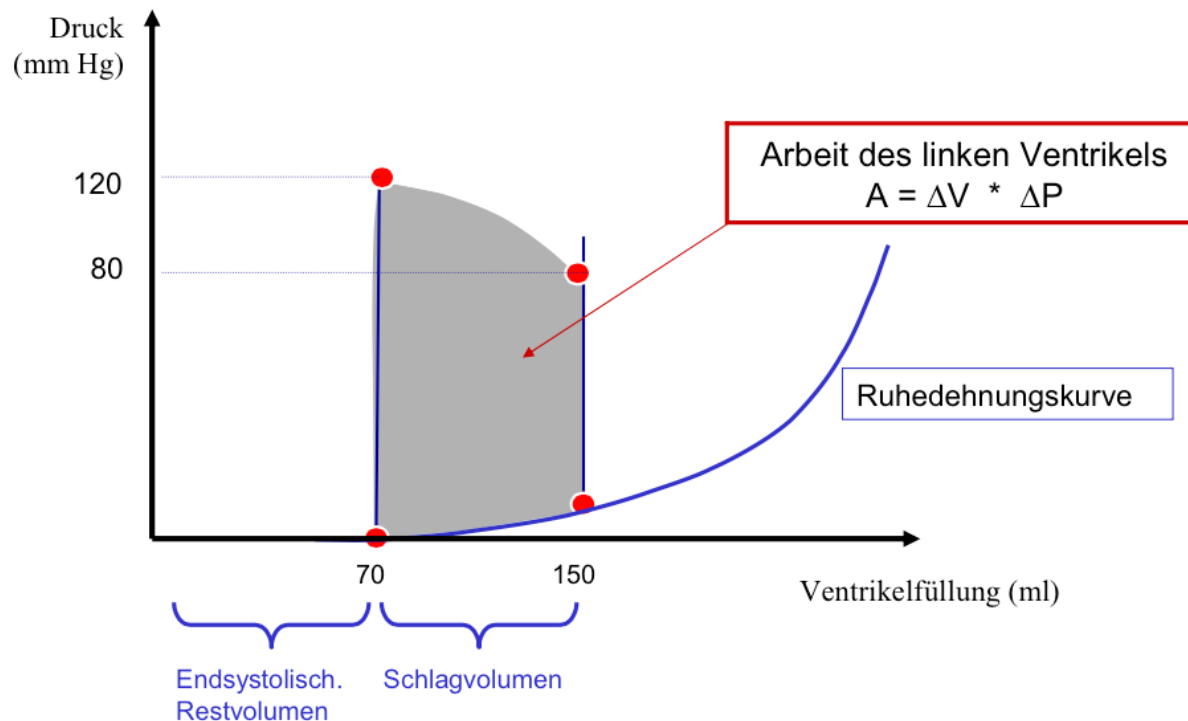
Ruhedehnungskurve gibt Drücke an die passiv (ohne Myokardkontraktion) bei verschiedenen Füllungsvolumina entstehen



Mechanische Herzaktion

Regulation des SV (Frank-Starling-Mechanismus)

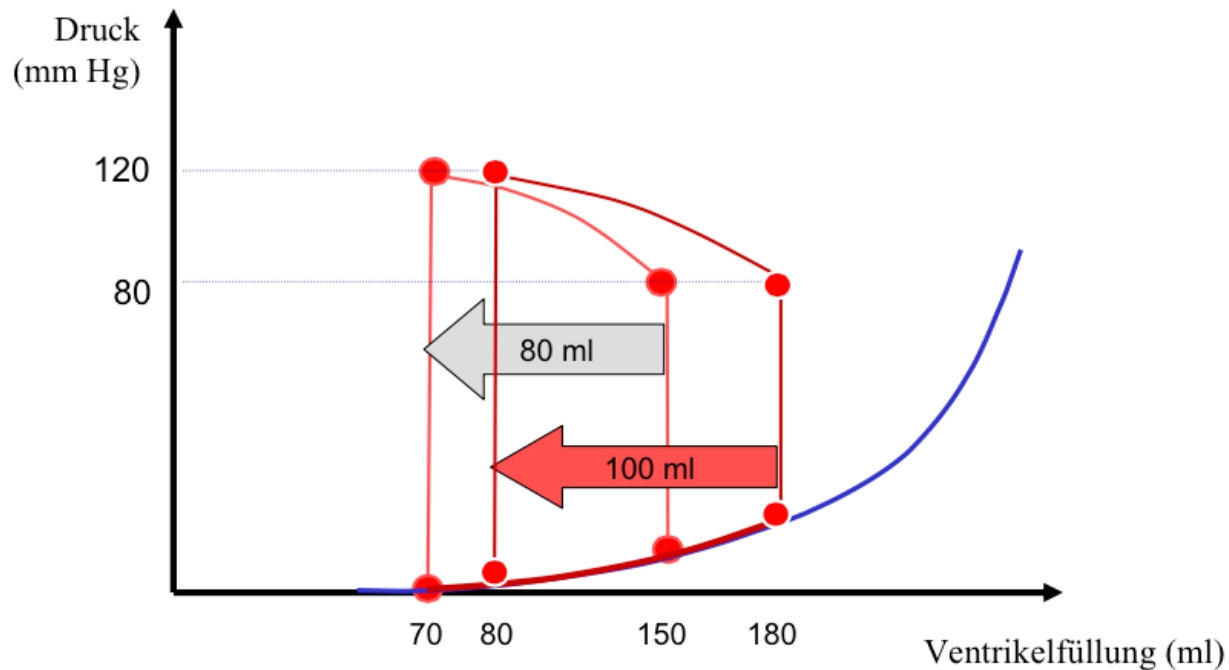
Die Reaktion auf wechselnde Kammerfüllung (Körperlage, Atmung) oder Aortendrucke erfolgt autonom, indem die Vordehnung des Myokards (Ruhedehnung) das Schlagvolumen (SV) bestimmt: **Frank-Starling-Mechanismus**



Mechanische Herzaktion

Regulation des SV (Frank-Starling-Mechanismus)

Was passiert, wenn das Herz stärker gefüllt wird?
z.B. bei Orthostase



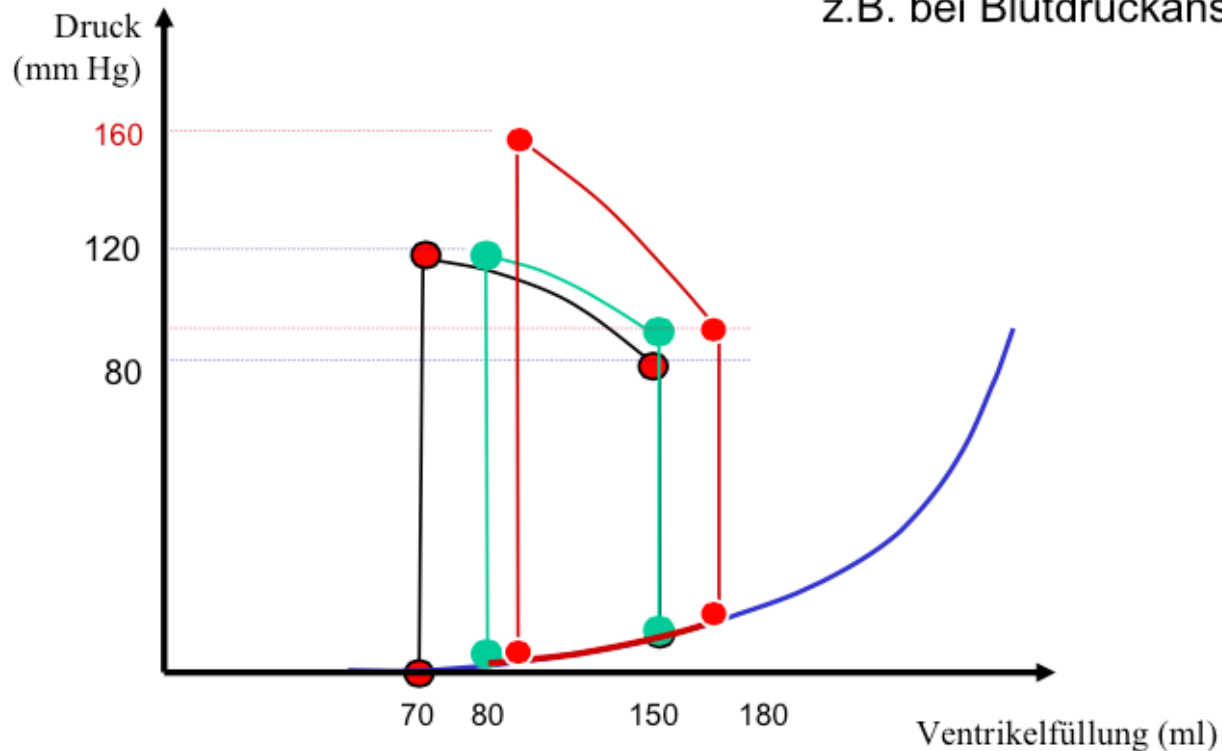
Bei erhöhter Füllung (Vorlast) erhöht sich das Auswurf-Volumen

Mechanische Herzaktion

Regulation des SV (Frank-Starling-Mechanismus)

Was passiert, wenn das Herz höheren Druck aufbringen muss?

z.B. bei Blutdruckanstieg



Bei erhöhter Druck nach dem Herzen (Nachlast) paßt sich das Auswurf-Volumen schrittweise an, bis das ursprüngliche Schlagvolumen wieder annähernd erreicht ist

Äußere Signale der mechanischen Herztätigkeit

Mechanokardiogramm

Fühlbarer „Herzspitzenstoß“ auf der Brustwand

Herztöne

Mittels Stethoskop oder geeigneter Mikrophone hörbarer Herzschall, bestehend aus

1. Herzton - Entsteht durch die Anspannung des Herzmuskels, der Beginn der Systole in Schwingung versetzt wird.
2. Herzton - Ende der Austreibung: Schluß der Taschenklappen.

Nicht immer hörbar:

3. Herzton - Durch Schwingung der Kammerwand beim Einströmen des Blutes in der frühen Füllungsphase.
4. Herzton - Schwingungen durch die Vorhofsystole.

Herzgeräusche

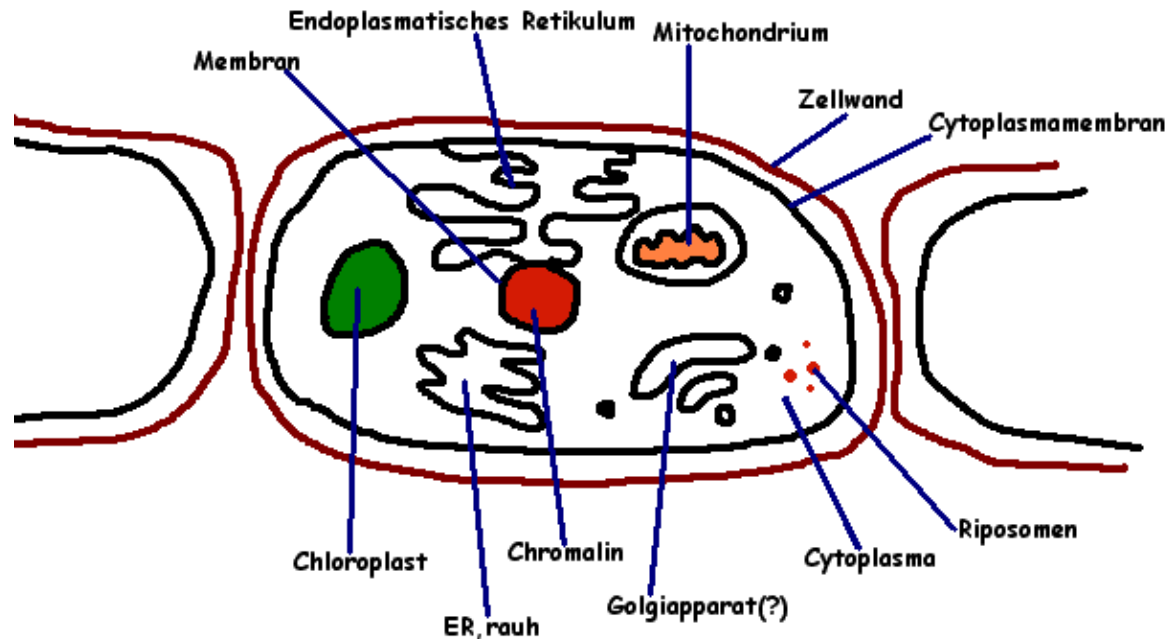
Pathologisch! Entstehen durch Turbulenzen meist verursacht durch Fehlfunktion der Klappen (Stenosen, Insuffizienz).

Puls

Fühlbare Druckwellen im arteriellen System

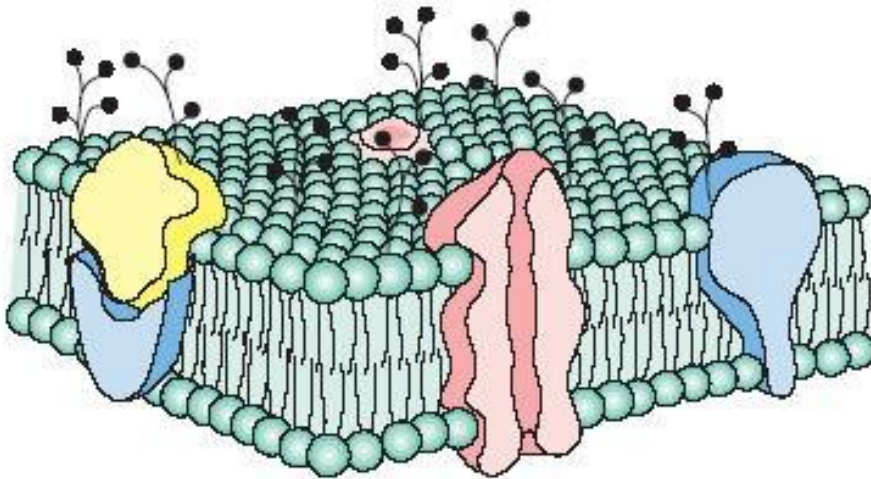
Elektrische Herzaktion

Die Zelle ist die kleinste Einheit des Lebendigen, d.h., die Zelle (und keine kleinere Einheit) ist in der Lage, die Grundfunktionen des Organismus, also Stoffwechsel, Wachstum, Bewegung, Vermehrung und Vererbung (W. Roux), zu erfüllen.



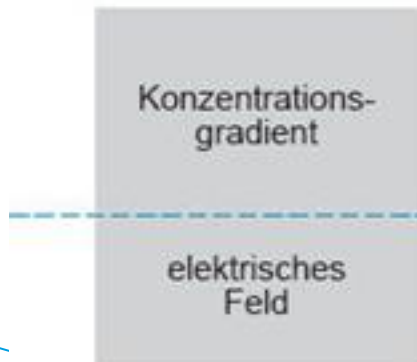
Elektrische Herzaktion

Ruhemembranpotential

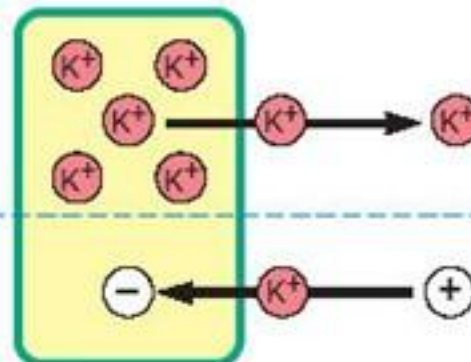


	intrazellulär	extrazellulär
Kalium (mmol/l)	120 – 150	4 – 5
Natrium (mmol/l)	5 – 15	140 – 150
Chlor (mmol/l)	4 – 5	120 – 150

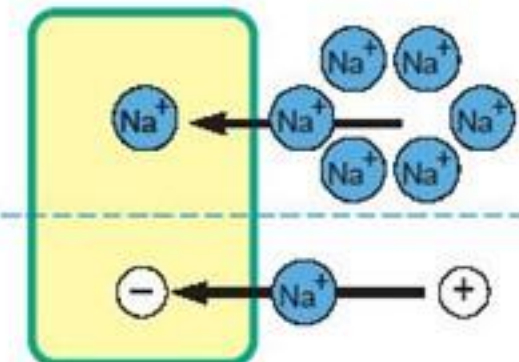
treibende Kräfte



Kaliumionen



Natriumionen



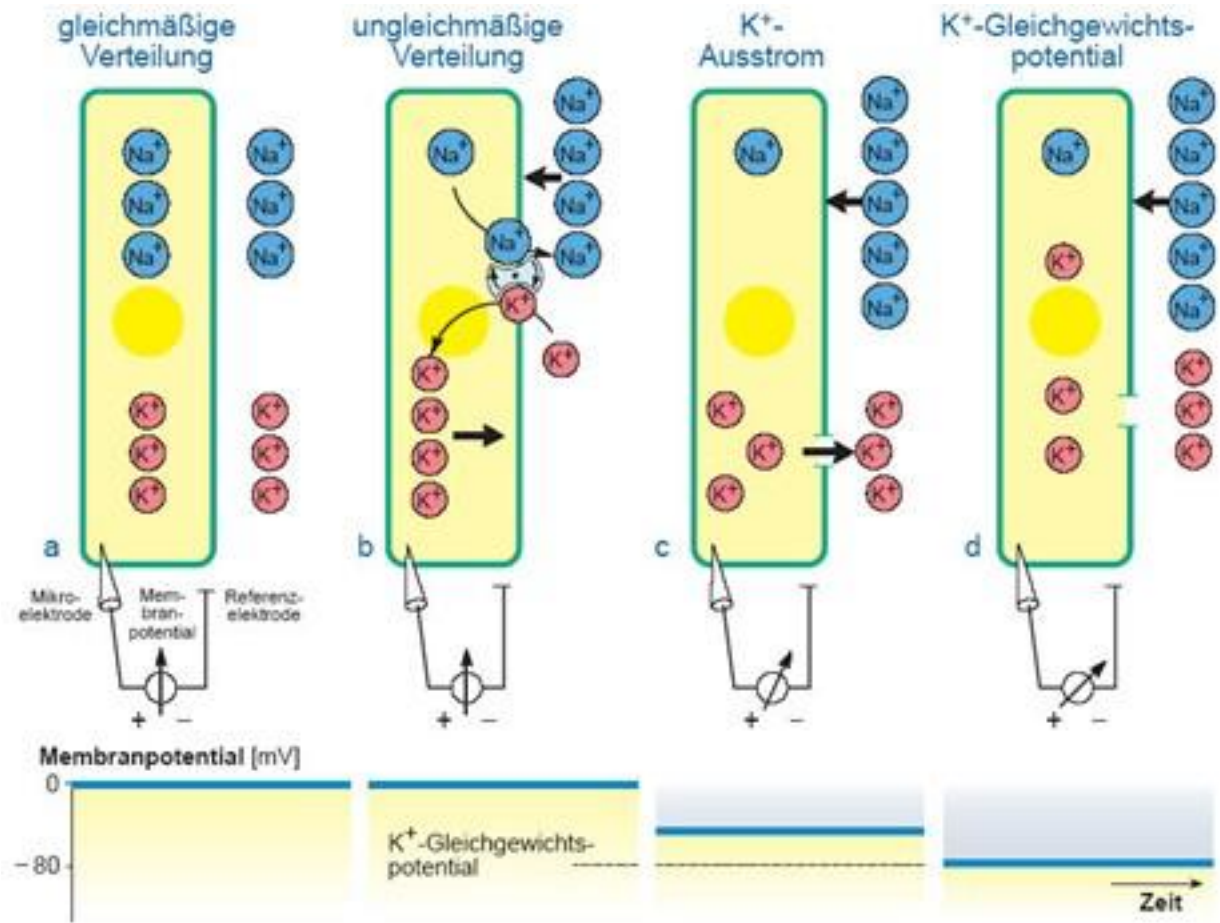
Elektrische Herzaktion

Ruhemembranpotential

In der Membran lebender Zellen besteht ein elektrisches Potenzial, das bei nichterregten Muskel- und Nervenzellen

Ruhe(membran)potenzial

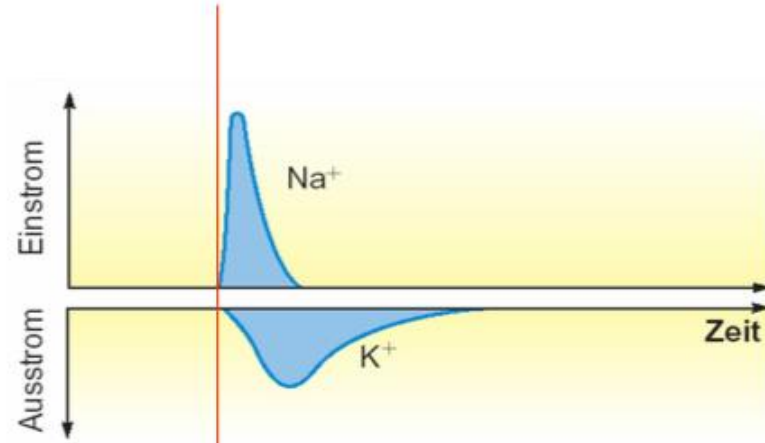
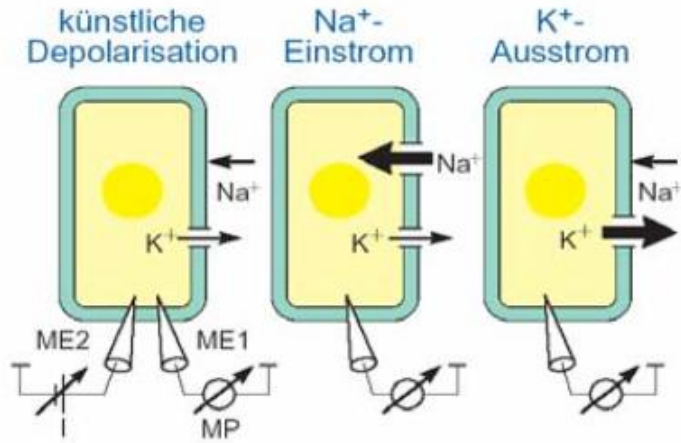
heißt und je nach Zelltyp – 50 bis – 100 mV beträgt (Zellinneres negativ). Die Ursache des Ruhepotenzials ist eine ungleiche Ionenverteilung zwischen der intrazellulären Flüssigkeit (IZF) und der extrazellulären Flüssigkeit (EZF).



Elektrische Herzaktion

Aktionspotential

Das Aktionspotential ist das im Axon weitergeleitete Signal und löst am Muskel die Kontraktion aus.



„Alles-oder-Nichts-Antwort“

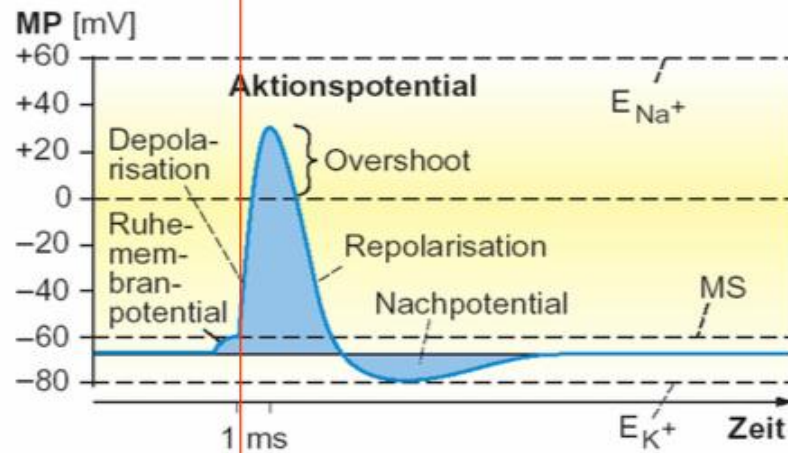
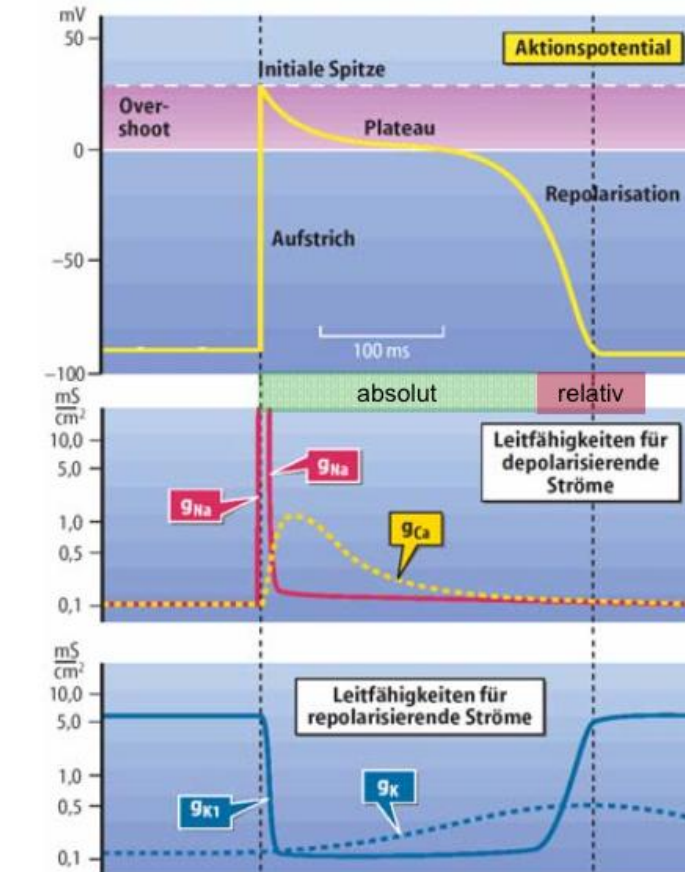
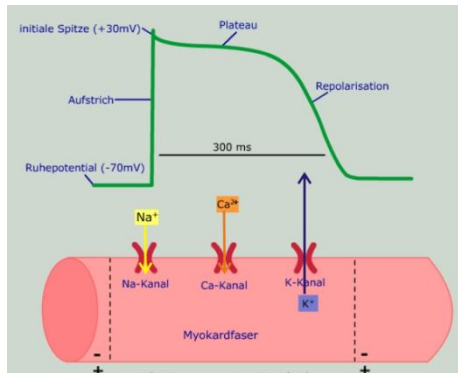


Abb: Deetjen Speckmann: Physiologie

Elektrische Herzaktion

Aktionspotential

Herzmuskelzelle



Das Aktionspotential des Herzmuskels hat eine **Plateauphase** von etwa 200 ms. Diese entsteht durch eine erhöhte Ca⁺⁺-Leitfähigkeit und einem verzögert einsetzenden K⁺ Auswärtsstrom.
⇒ Lange Refraktärperiode

Verlängerte Refraktärzeit verhindert die Tetanisierung des Herzmuskels

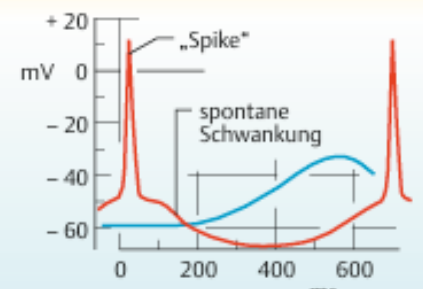
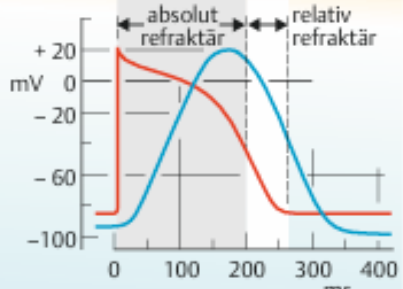
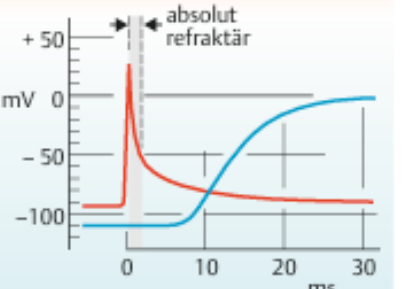
Aber: In der relativen Refraktärperiode kann es zu irregulären Erregung kommen, „vulnerable Phase“
⇒ Gefahr des Kammerflimmerns

Abb: Schmidt, Thews: Physiologie d. Menschen:

Elektrische Herzaktion

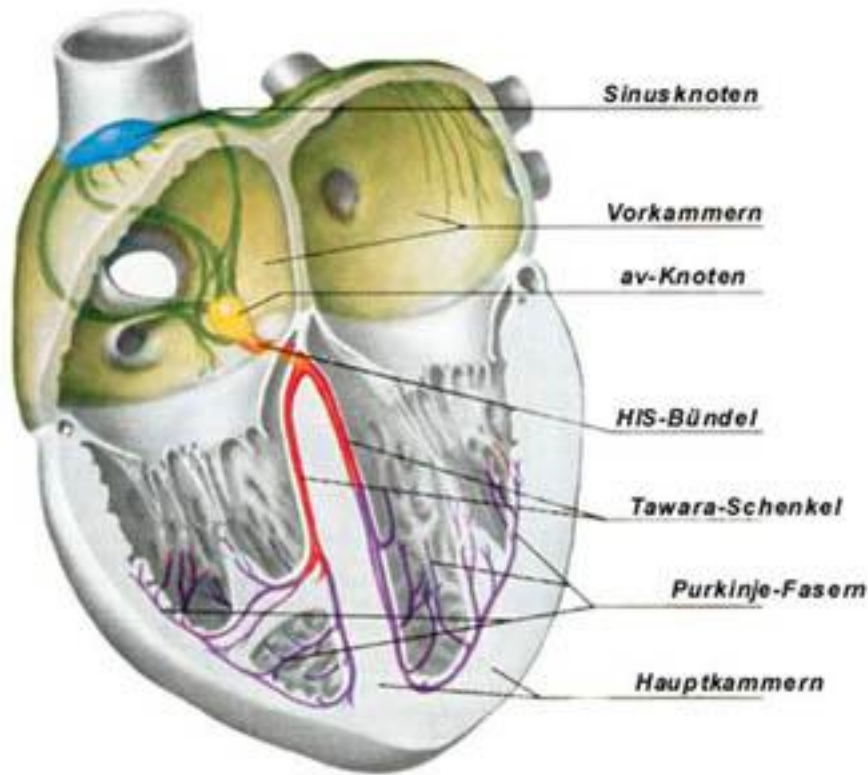
Aktionspotential Herzmuskelzelle

A. Aufbau und Funktion von Herz-, Skelett- und glattem Muskel

Aufbau und Funktion	glatte Muskel	Herzmuskel (quergestreift)	Skelettmuskel (quergestreift)
motorische Endplatte	keine	keine	ja
Fasern	fusiform, kurz (max. 0,2 mm)	verzweigt	zylindrisch, lang (max. 15 cm)
Mitochondrien	wenige	viele	wenige (abhängig v. Muskeltyp)
Zellkern/Faser	1	1	viele
Sarkomere	keine	ja, max. Länge 2,6 μm	ja, max. Länge 3,65 μm
elektr. Koppelung	zum Teil (Single-unit-Typ)	ja (funktionelles Synzytium)	nein
sarkoplasm. Retikulum	wenig entwickelt	mäßig entwickelt	stark entwickelt
Ca ²⁺ -„Schalter“	Calmodulin/Caldesmon	Troponin	Troponin
Schrittmacher	z.T. spontan rhythmisch aktiv (1s^{-1} – 1h^{-1})	ja (Sinusknoten ca. 1s^{-1})	nein (benötigt Nervenreiz)
Reizantwort	Änderung v. Tonus oder Rhythmusfrequenz	„Alles-oder-Nichts“	abgestuft
tetanisierbar	ja	nein	ja
Arbeitsbereich	Kraft/Längen-Kurve ist variabel	im Anstieg der Kraft/Längen-Kurve (siehe 2.15E)	am Maximum der Kraft/Längen-Kurve (siehe 2.15E)
Reizantwort			

Elektrische Herzaktion

Reizleitungssystem

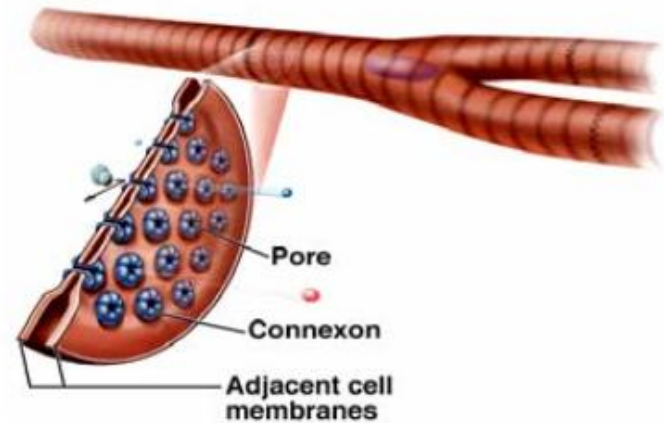
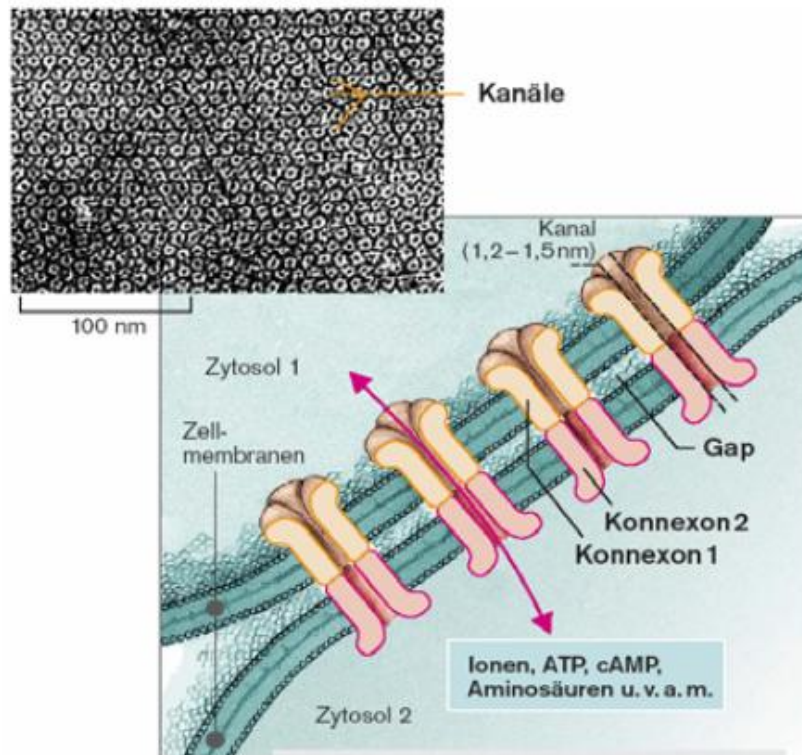


Das Herz besitzt Muskelzellen(-fasern), die Erregungsimpulse bilden und weiterleiten (**Reizbildungs- und -leitungssystem**), sowie solche, die Impulse mit einer Kontraktion beantworten (**Arbeitsmyokard**). Im Gegensatz zum Skelettmuskel geschieht die Erregungsbildung also innerhalb des Organs: *Autorhythmie oder Autonomie des Herzens*. Vorhof- und Ventrikelmyokard sind funktionell (nicht anatomisch) jeweils ein Synzytium, d. h., die Zellen sind nicht gegeneinander isoliert, sondern durch Gap Junctions miteinander verbunden. Ein Reiz, der irgendwo in den Ventrikeln bzw. Vorhöfen entsteht, führt daher immer zur vollständigen Kontraktion beider Kammern bzw. beider Vorhöfe (sog. Alles-oder-Nichts-Kontraktion).

Elektrische Herzaktion

Gap Junctions

Die Weiterleitung zwischen den Herzmuskelzellen erfolgt über **Gap Junctions**.

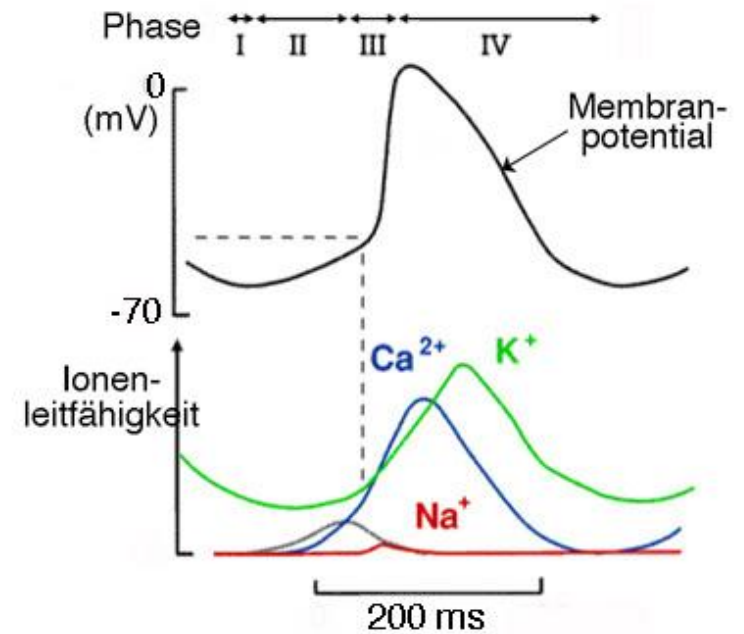
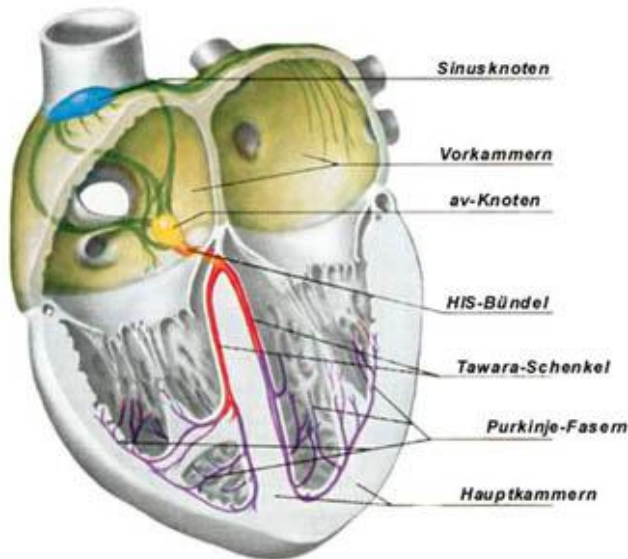


Durch die Gap Junctions bildet das Myocard eine funktionelle Einheit: **Funktionelles Synzytium**

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit über die so verbundenen Zellen beträgt 0,3 - 0,6 m/s

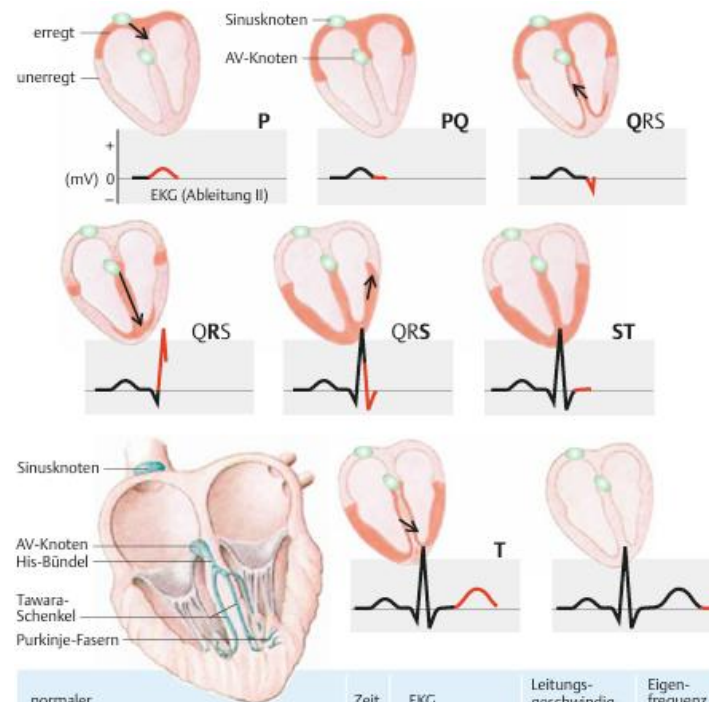
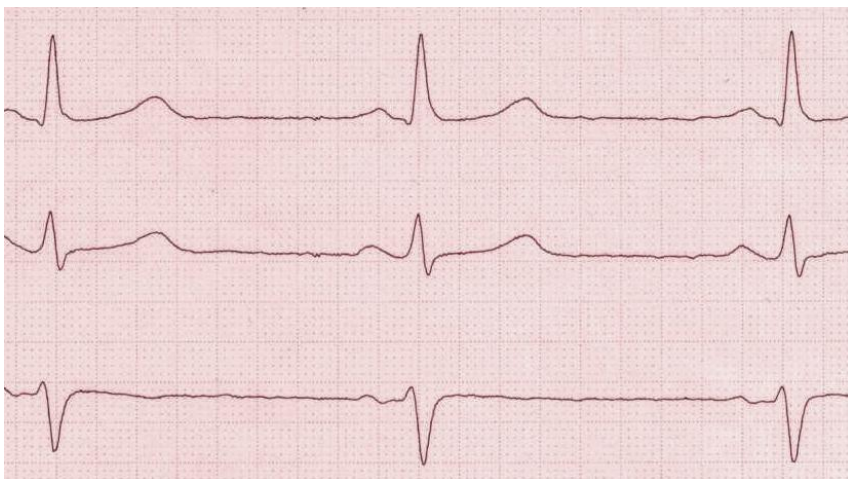
Elektrische Herzaktion Reizleitungssystem

Die Zellen des *Erregungssystems* (Sinusknoten, AV-Knoten etc) haben vorwiegend **kalziumbetriebene** Aktionspotentiale



Elektrische Herzaktion

Erregungsausbreitung



normaler Erregungsablauf	Zeit (ms)	EKG	Leitungs-geschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Eigen-frequenz (min^{-1})
Sinusknoten				
Impulsbildung	0	P-Welle	0,05	60-100
Impulsankunft in rechter Vorhof	50			
entfernten Vorhofteilen linker Vorhof	85			
AV-Knoten				
Impulsankunft	50	P-Q-Strecke (Weiterleitung verzögert)	0,05	40-55
Impulsweiterleitung	125			
His-Bündel aktiviert	130		1,0-1,5	25-40
Schenkelenden aktiviert	145		1,0-1,5	
Purkinje-Fasern aktiviert	150		3,0-3,5	
Myokardinnenseite				
vollständig aktiviert	175	QRS-Komplex	1,0 im Myokard	keine
	190			
Myokardaußenseite	205			
vollständig aktiviert	225			

Elektrische Herzaktion

Efferente Innervation des Herzens

