

Erregungsprozesse. Aktionspotential.

Elektrische Methoden in der Medizin.

- Geknüpfte Praktika: EKG
- Geknüpfte Buchkapitel: III/4. *LB: S. 285-290.* VII/2. *LB: S. 465-472.*

Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



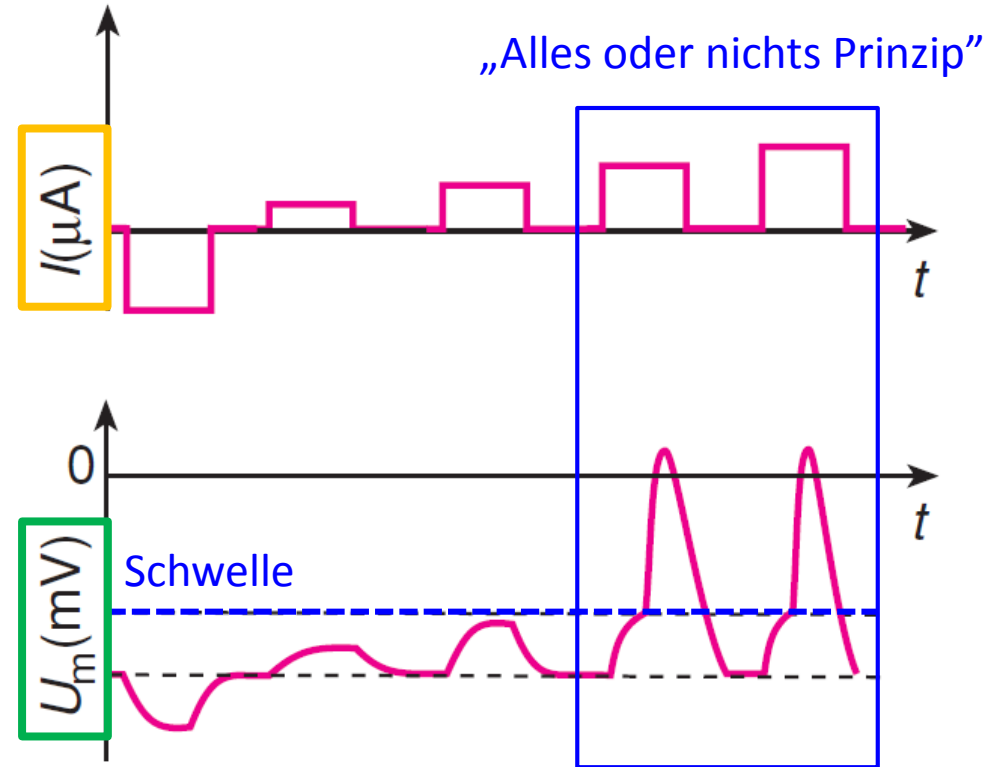
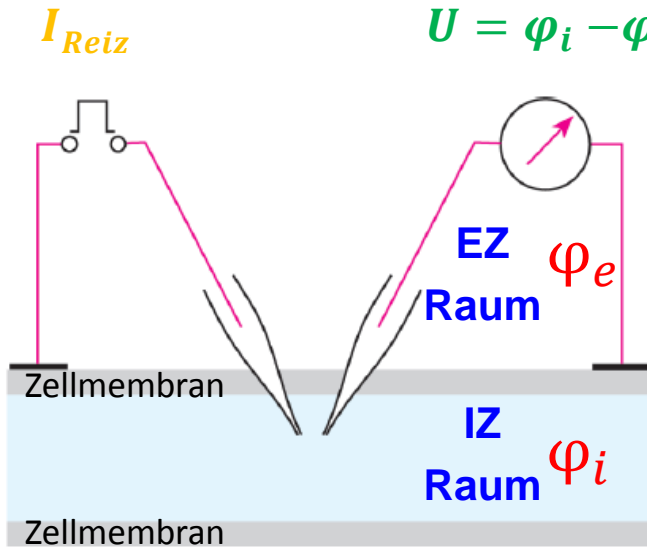
Nanobiotechnologie und Einzelmolekül-Forschungsgruppe und
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität,
Institut für Biophysik und Strahlenbiologie.

12. Mai 2021

Aktionspotenzial #1

stimulierende
Elektroden

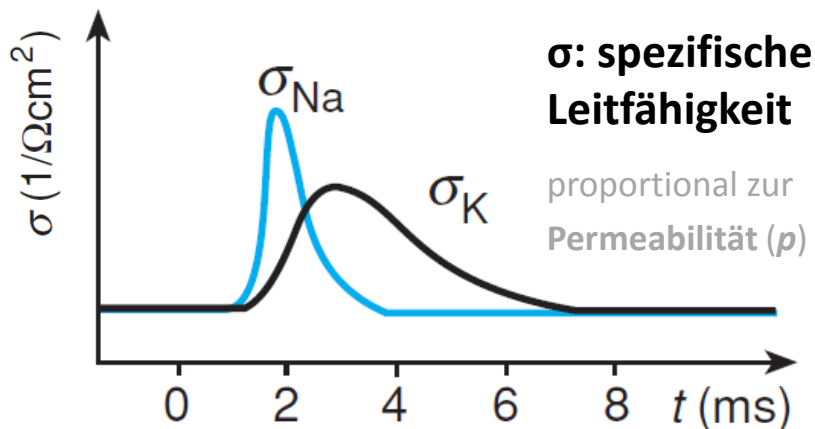
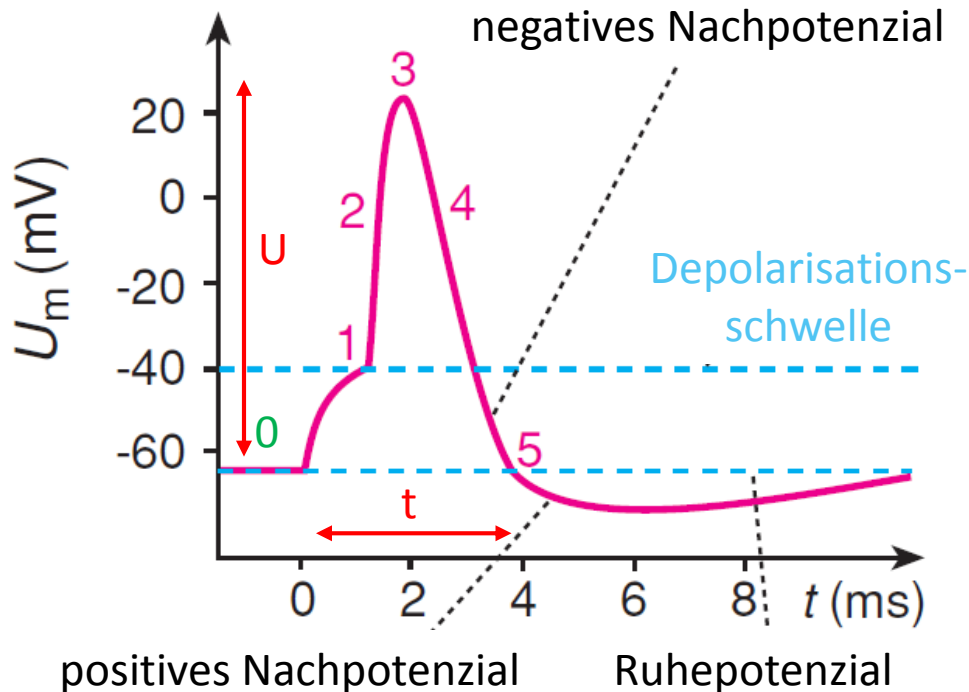
registrierende
Elektroden



unter einem Schwellenwert: Größe der Antwortsignale ist proportional zur Stromstärke

über dem Schwellenwert: Größe der Antwortsignale ist unabhängig von der Stromstärke

Aktionspotenzial #2



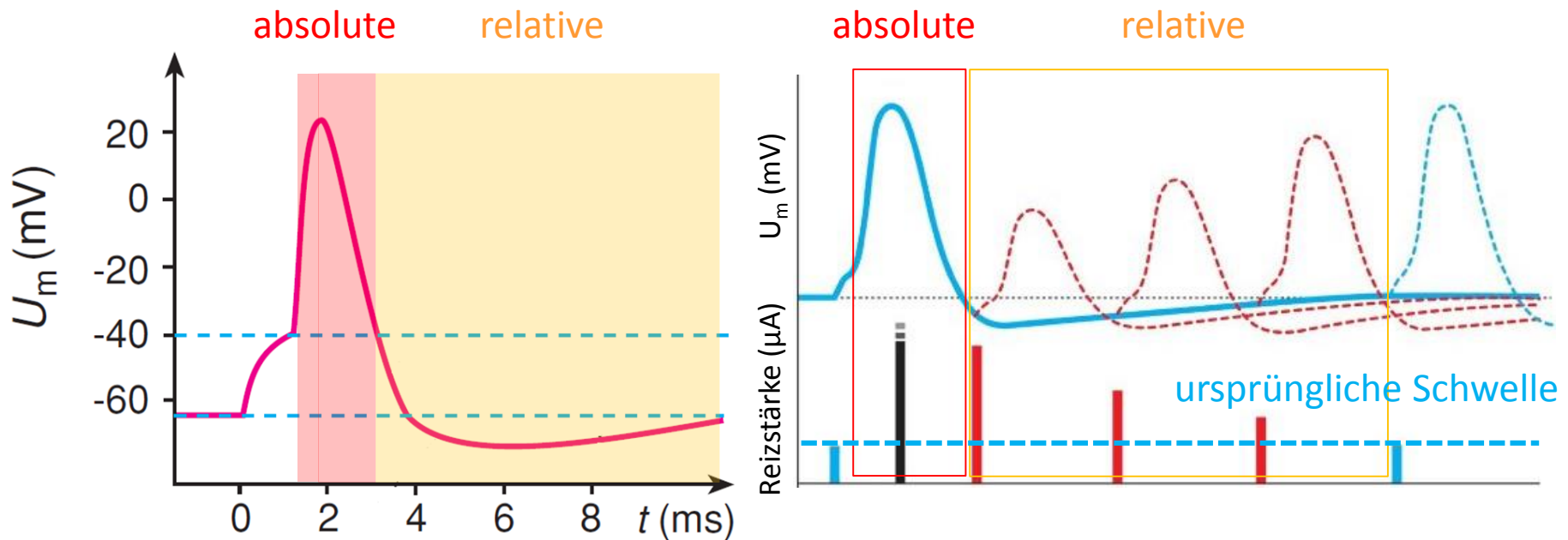
- 0: lokale Änderung des Membranpotenzials
- 1: **Öffnung** der **Na⁺** Kanäle (Na⁺: **ein**)
- 2: **Öffnung** der **K⁺** Kanäle (K⁺: **aus**)
- 3: **Inaktivierung** der **Na⁺** Kanäle (eines Teils)
- 4: **Totalschluss** der **Na⁺** Kanäle
- 5: **Schluss** der **K⁺** Kanäle (verspätet)

- **U ~ 100 mV**
- **t ~ 1-5 ms**
- (Skelettmuskel und Neuron)**

Eigenschaften des Aktionspotenzials #1

Ionenkonzentration bleibt unverändert: Die transportierten Ionen diffundieren weit weg von der Zellmembran. Nur die Permeabilität ändert sich während des Aktionspotenzials.

Refraktärphase: die Zelle ist nicht erregbar (Depolarisationsschwelle ist nicht „konstant“)

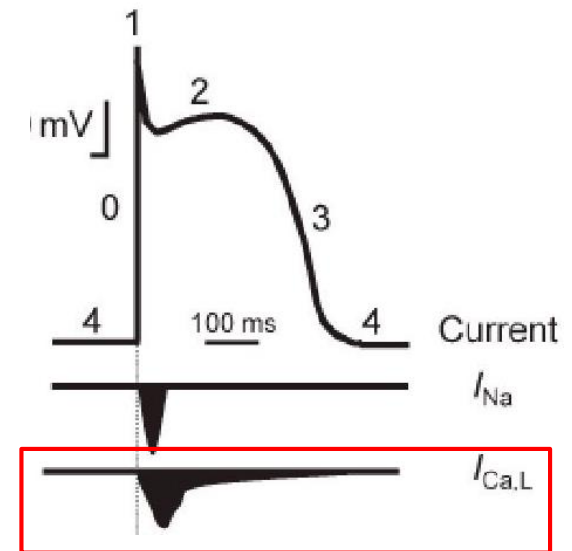
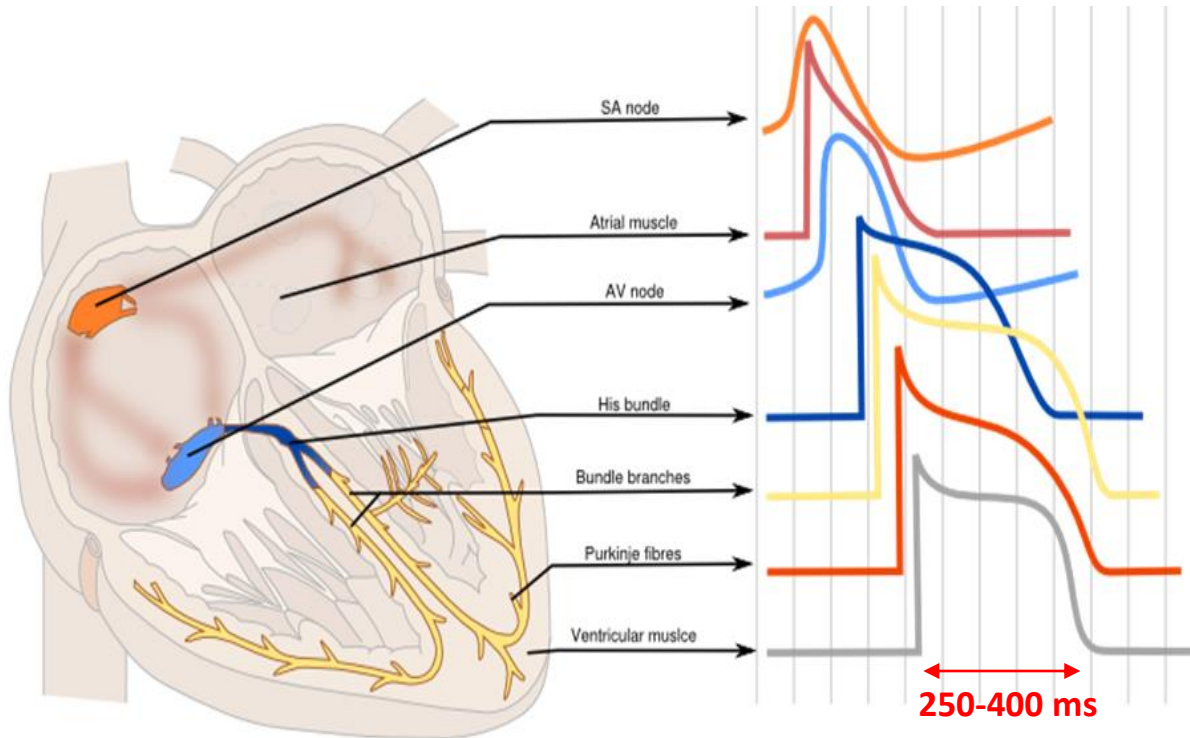


- **absolute:** Inaktivierung der spannungsgesteuerten Na^+ -Kanäle
- **relative:** AP geht nur mit überschwelliger Reiz

**verhindert
die rückwärtige
Ausbreitung
des Aktionspotenzials**

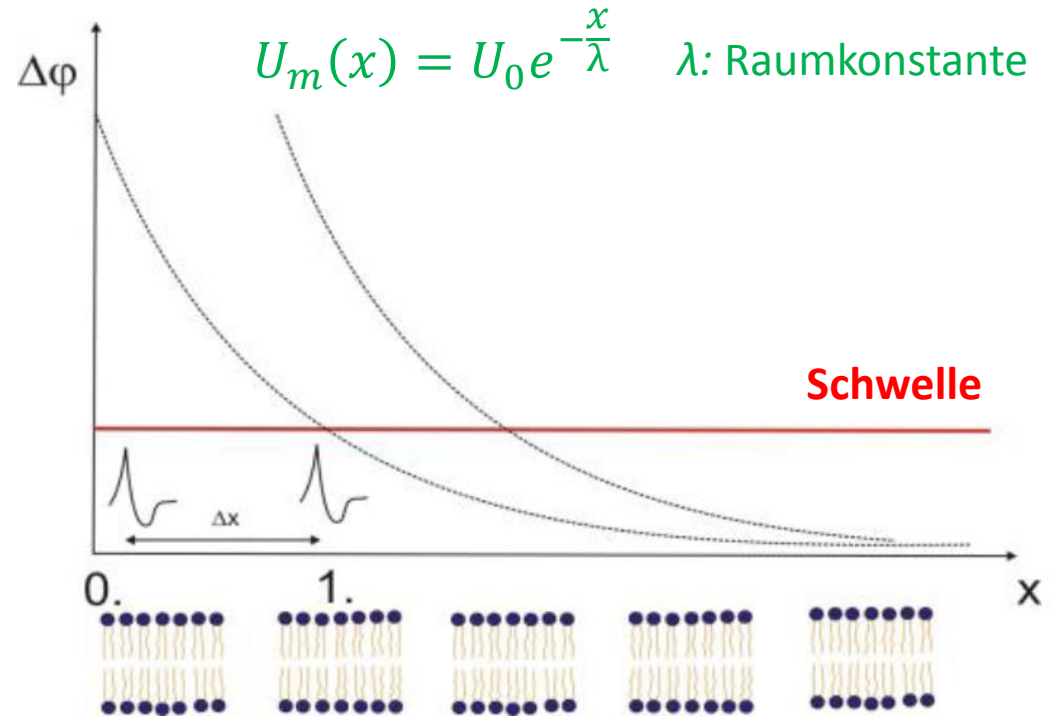
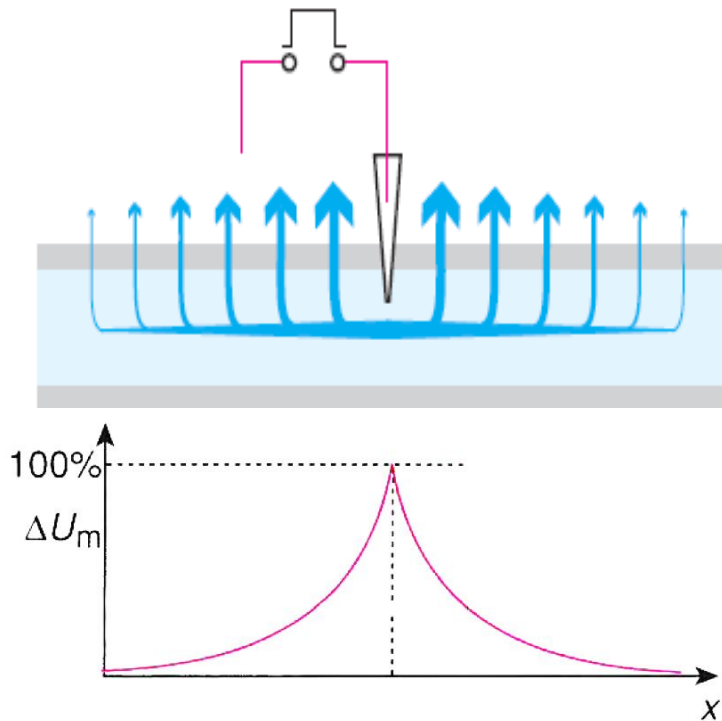
Eigenschaften des Aktionspotenzials #2

Spezielles Aktionspotenzial: Herzkammer-Muskelzellen



**spannungsgesteuerte
 Ca^{2+} -Kanäle**

Ausbreitung des Aktionspotenzials #1

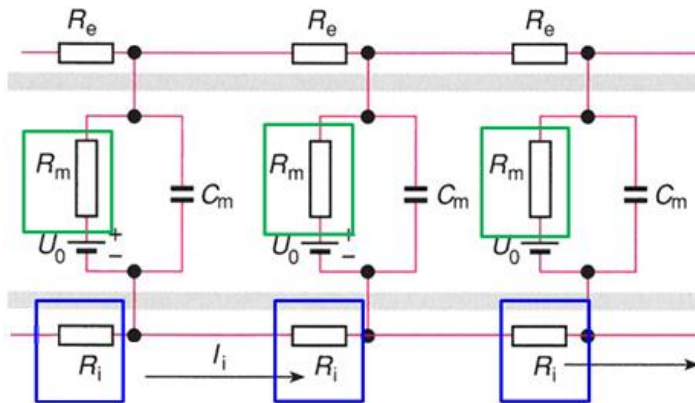


Eigenschaften:

- Spannungsverlauf des Aktionspotenzials ist unabhängig von der Reiz(stärke)
- breitet sich ohne (signifikante) Dämpfung in langen Abständen aus
- viel schneller als hormonelle Regelung / Wirkung

Ausbreitung des Aktionspotenzials #2

elektrisches Modell der Membran

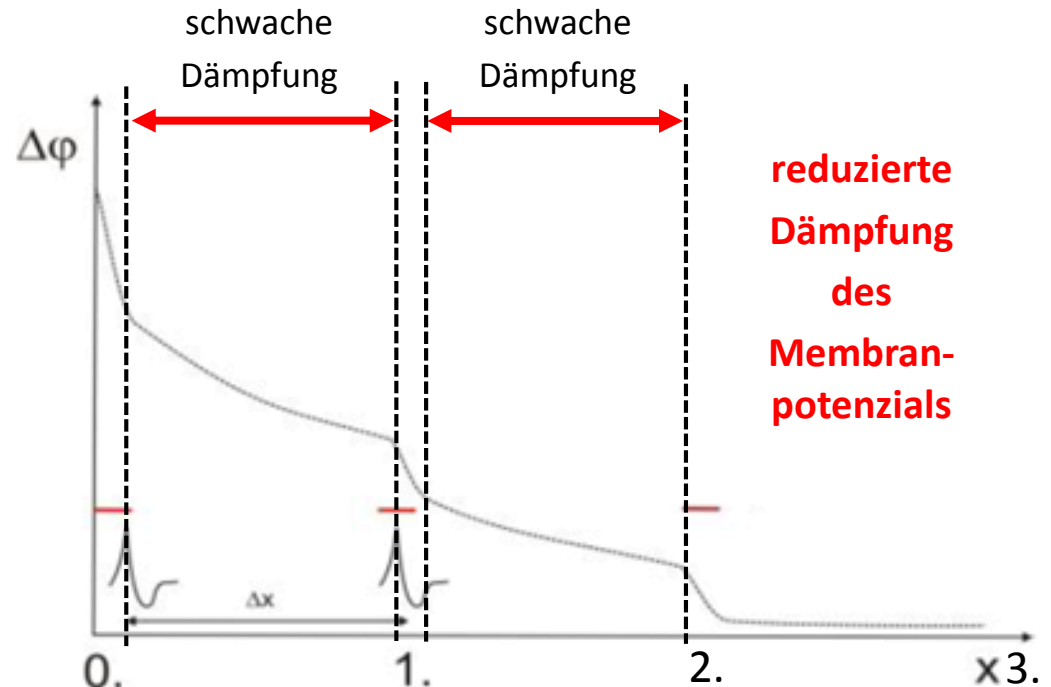


R_m ist groß: hohe Raumkonstante λ

$$\lambda \sim \sqrt{\frac{R_m}{R_i}}$$

R_m : Widerstand der Membran
in Querrichtung

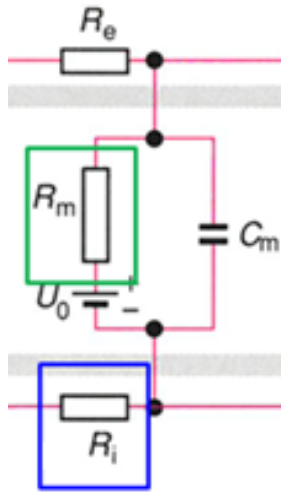
R_i : Widerstand des intrazellulären Raums



Myelinscheide

Ranvier-Schnürring

Ausbreitung des Aktionspotenzials #3



$$\lambda \sim \sqrt{\frac{R_m}{R_i}}$$

$$R_i = \rho \frac{l}{A}$$

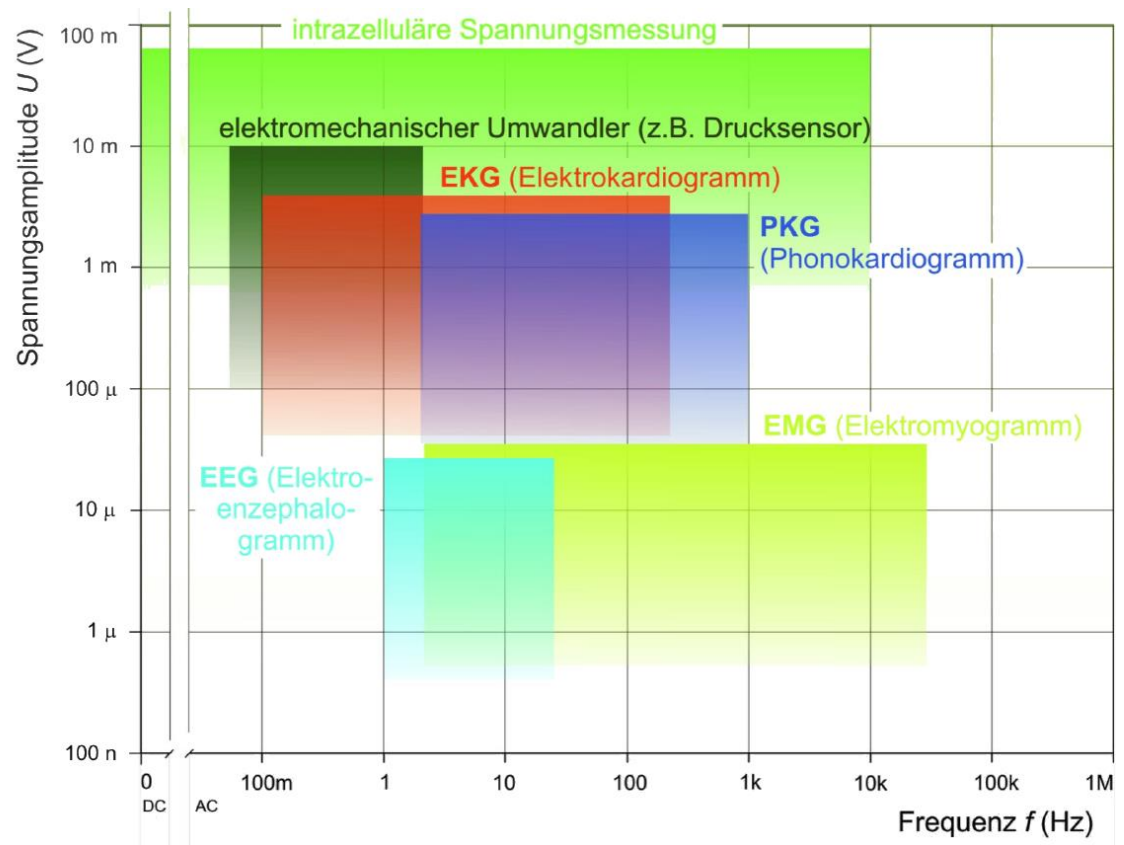
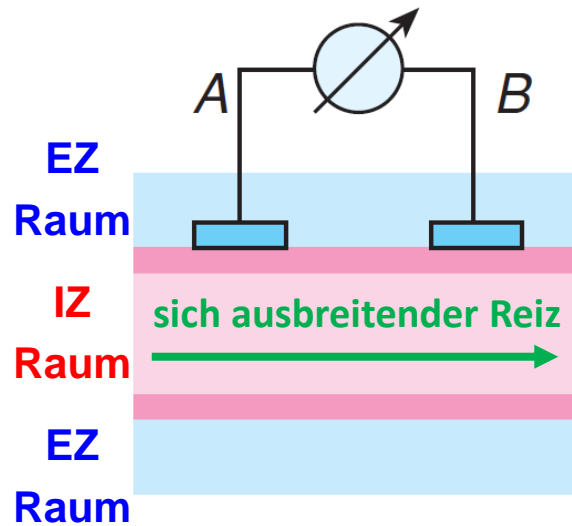
| Axonevon der Haut ...von Muskeln | C IV | A delta III | A beta II | A alpha I |
|--|-----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| | | | | |
| Durchmesser | 0,2-1,5 μm | 1-5 μm | 6-12 μm | 13-20 μm |
| Leitungs- geschwindig- keit | 0,5-2 m/s | 5-30 m/s | 35-75 m/s | 80-120 m/s |
| Rezeptoren | Schmerz Temperatur | | Haut- Mechanos. | Propriozeption Skelettmuskel |

große Querschnitt: schnellere Leitung

Medizinische Anwendungen

Elektrische Signale auf der Körperoberfläche (Diagnostik)

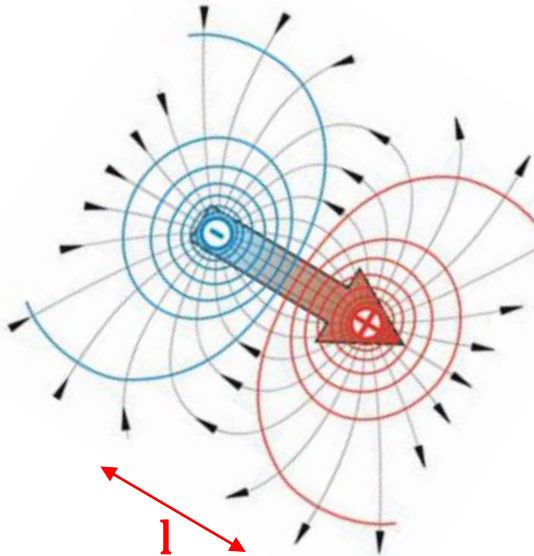
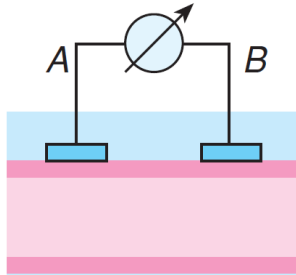
- Elektrokardiographie (EKG)
- Elektroenzephalografie (EEG)
- Elektromyographie (EMG)
- Elektrokulographie (EOG)
- Elektroretinographie (ERG)



Messmethode: Spannungsmessung mit Elektroden auf der Körperoberfläche.

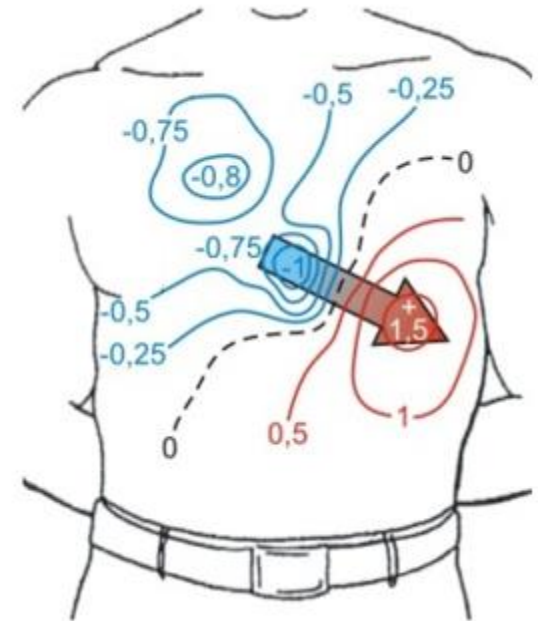
EKG #1

Das Ladungsfeld des Herzens: Dipolfeld



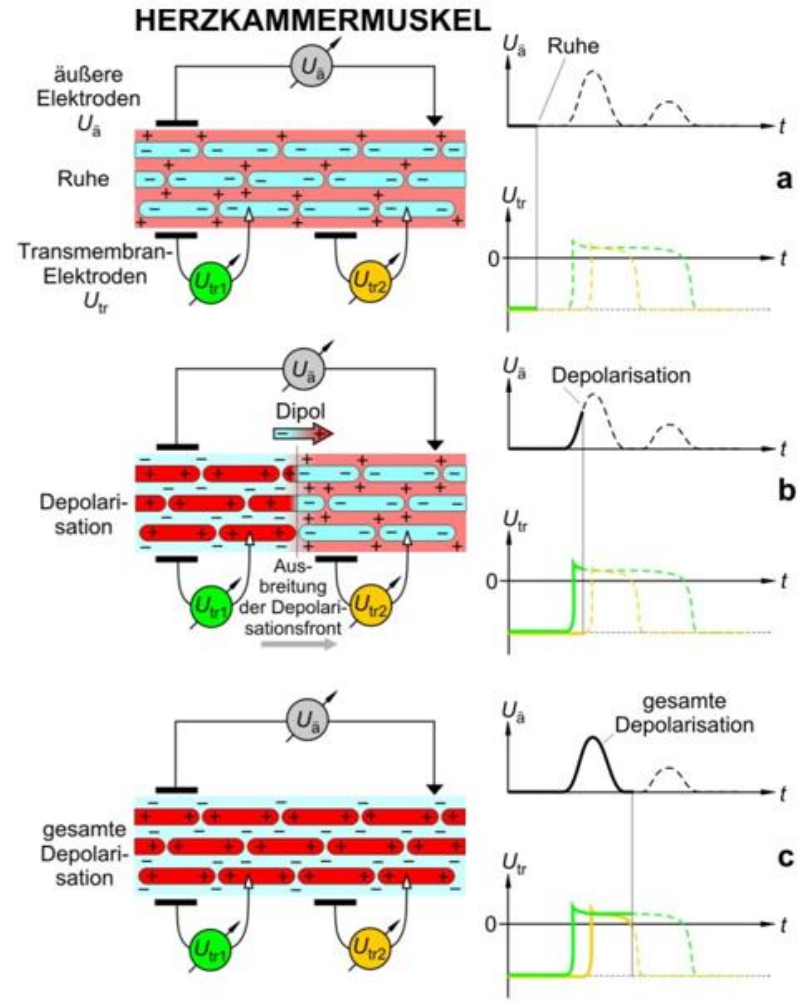
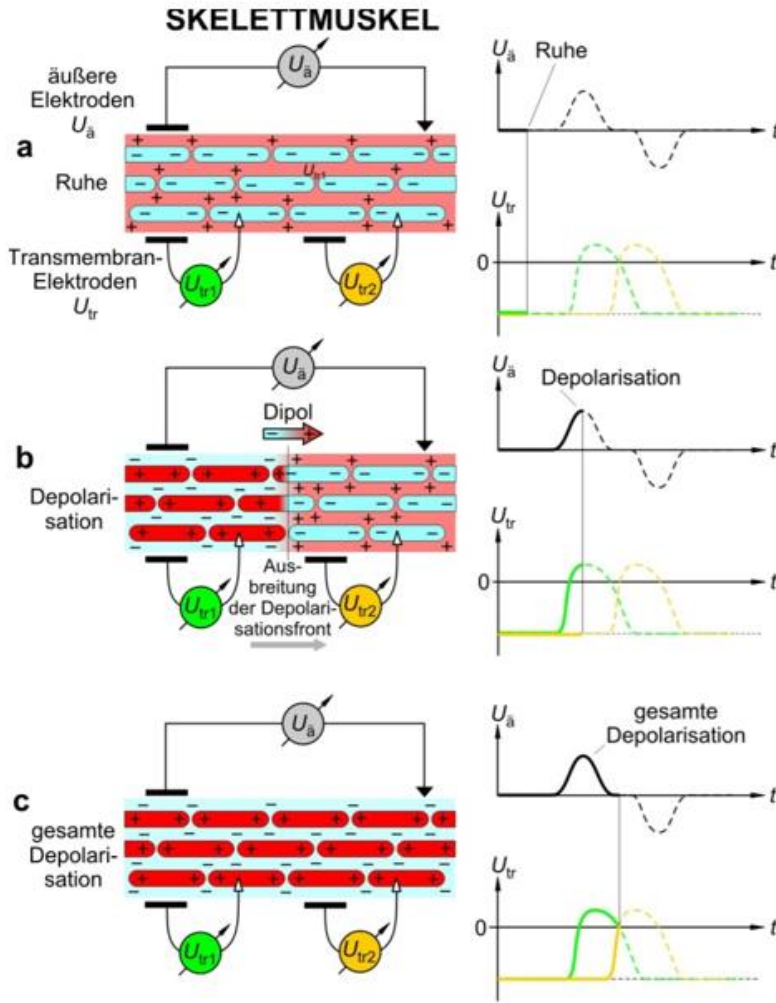
Dipolmoment: d

$$d = Q \cdot l$$

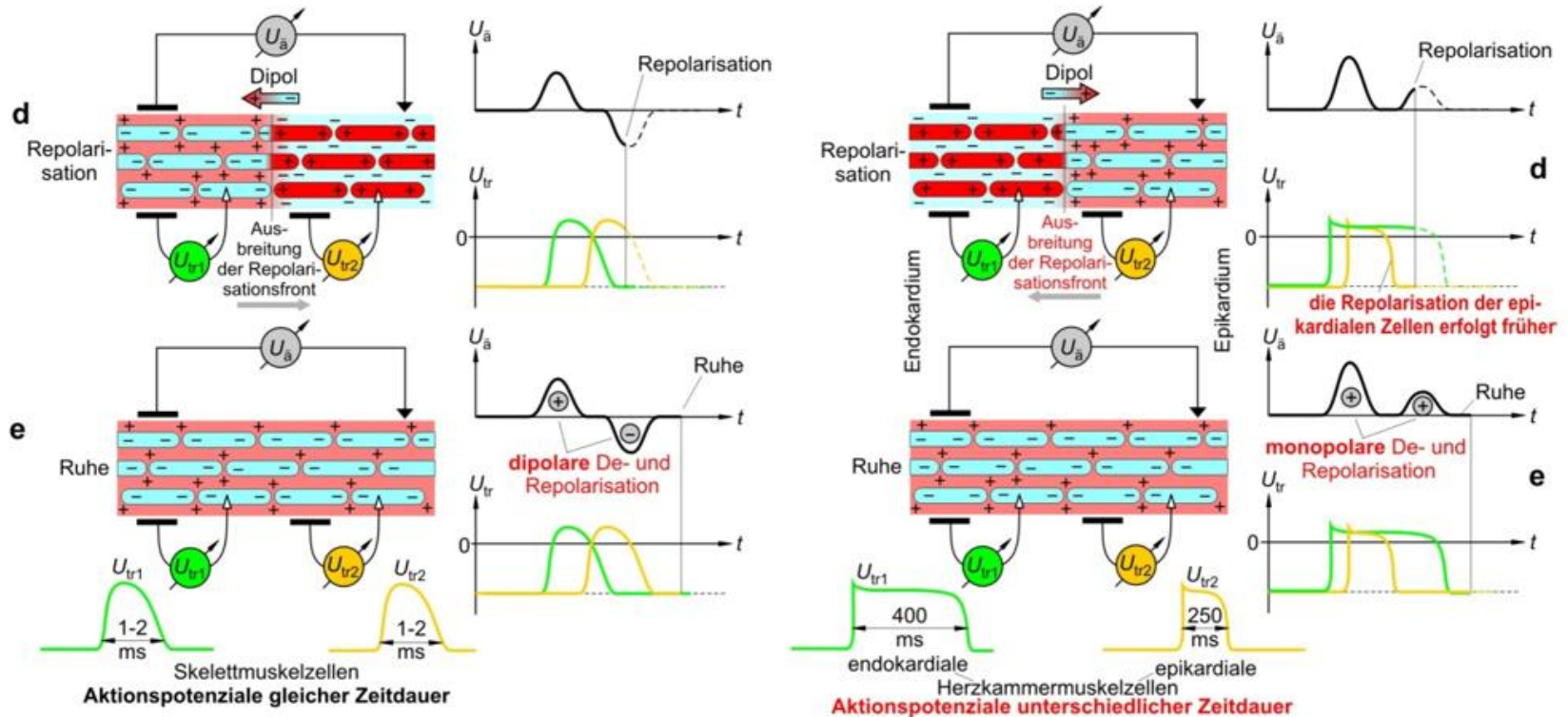


Der Herzdipol ändert seine Richtung und Größe nach dem Erregungszustand des Herzens (quasi-) periodisch.

EKG #2



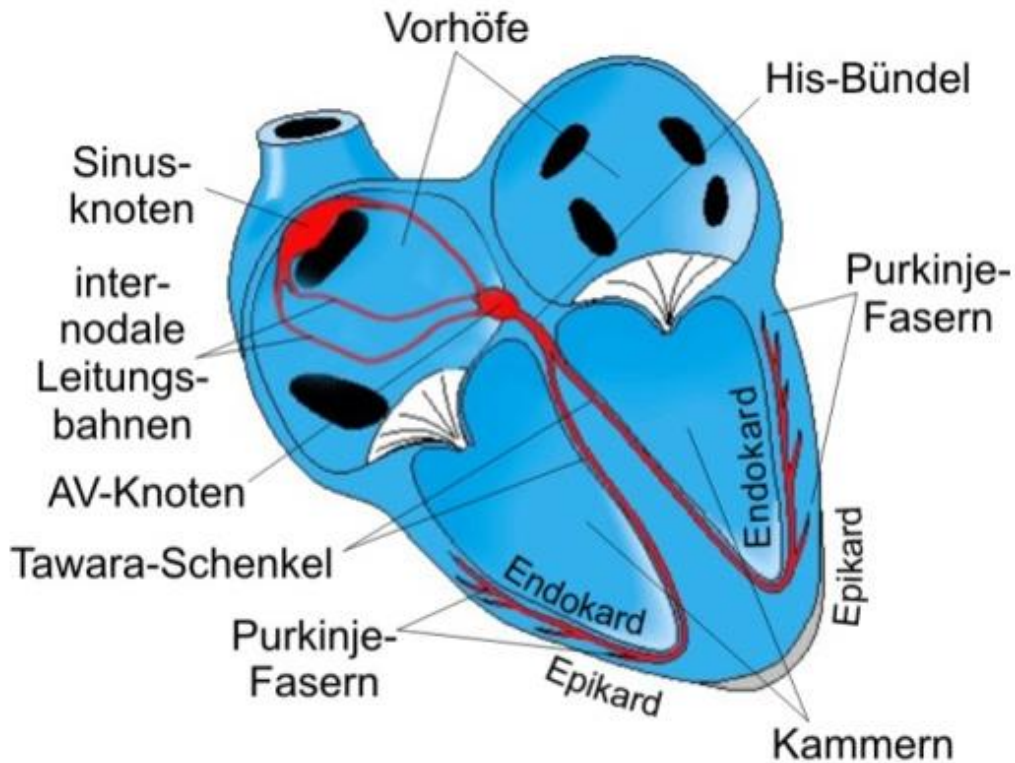
EKG #3



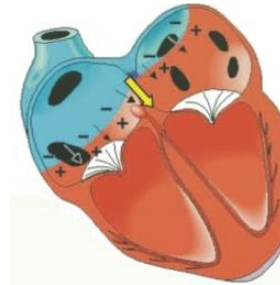
- **Skelettmuskelzellen:** kurze, aber gleich lange Aktionspotenziale (1-2 ms): positiven Depolarisationsfront und negative Repolarisationsfront (**diphasisches Aktionspotenzial**).
- **Herzkammermuskelzellen:** ein vom Endokard zum Perikard hin immer kürzer werdendes Aktionspotenzial (400-250 ms). Vom Endokard zum Epikard hin: positiver Depolarisationsfront und positive Repolarisationsfront (**monopolares Aktionspotenzial**)

EKG #4

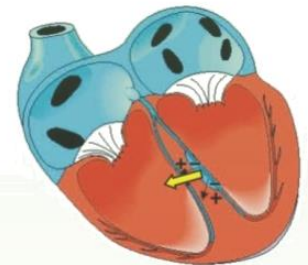
Erregungsbildung und Erregungsleitung im Herzen



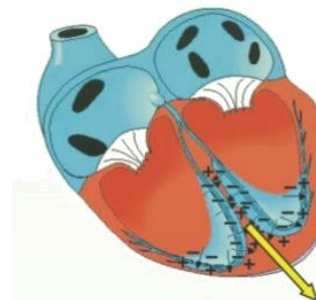
VORHOF-
DEPOLARISATION
80 ms



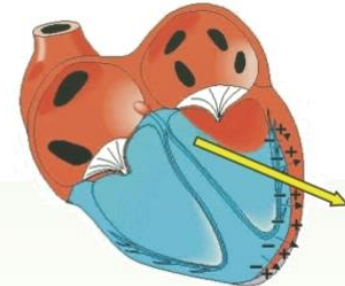
DEPOLARISATION
DES SEPTUMS
220 ms



APIKALE
DEPOLARISATION
230 ms

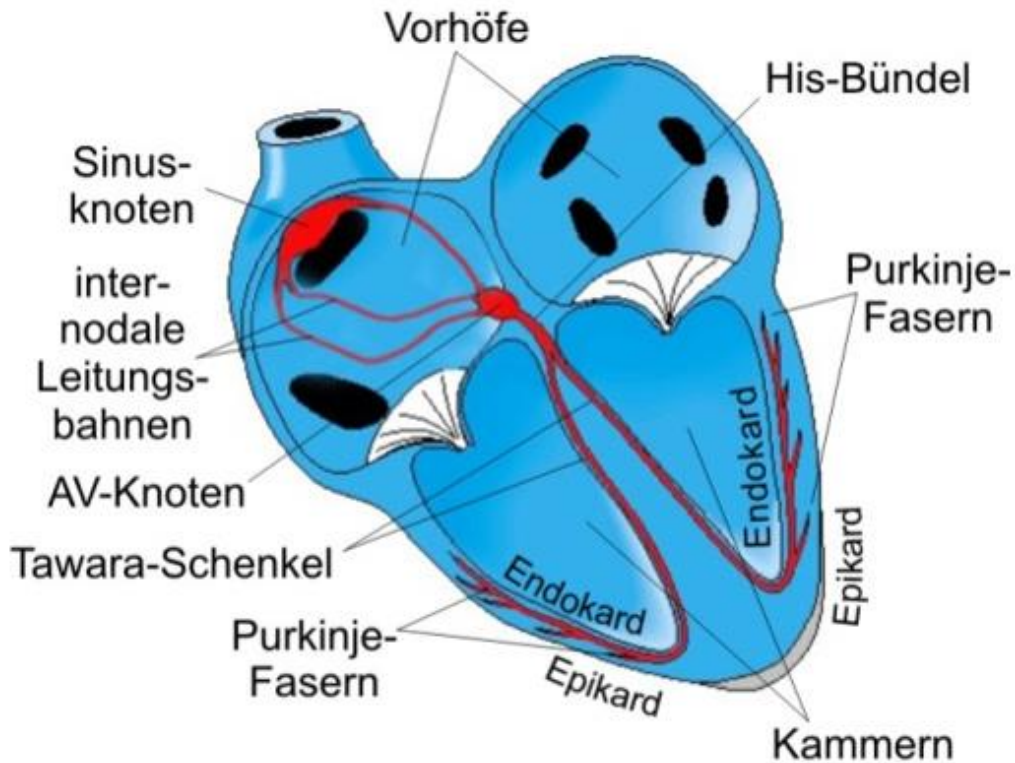


LINKE KAMMER
DEPOLARISATION
240 ms



EKG #5

Erregungsbildung und Erregungsleitung im Herzen



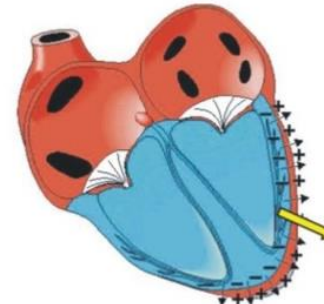
LINKE KAMMER
DEPOLARISATION
250 ms



VOLLSTÄNDIGE
KAMMER DEPOLARISATION
350 ms



KAMMER
REPOLARISATION
450 ms



VOLLSTÄNDIGE
KAMMER REPOLARISATION
600 ms



EKG #6

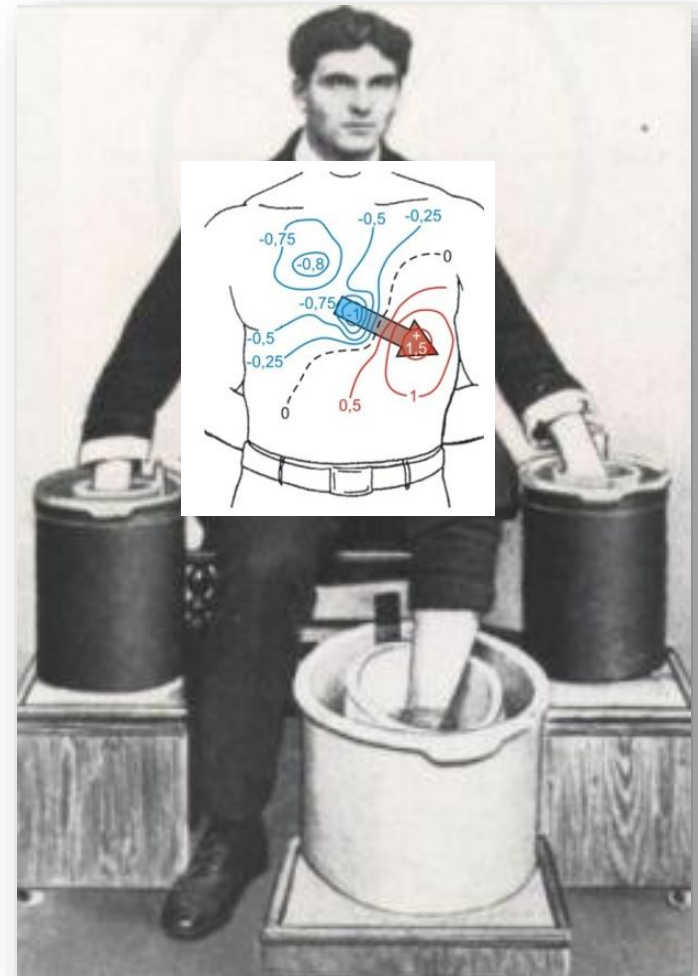
Elektroden, Ableitungen

Elektroden:

- **differente:** Potenzial ändert sich mit dem Herzzyklus.
- **indifferente:** Elektrode mit einem konstanten Potenzial.

Ableitungen:

- **bipolare:** Spannung zwischen zwei differenten Elektroden.
 - Einthoven: I, II, III
- **unipolare:** Spannung zwischen einer differenten und einer indifferenten Elektrode.
 - Wilson: V1, V2, V3, V4, V5, V6
 - Goldberger: aVR, aVL, aVF

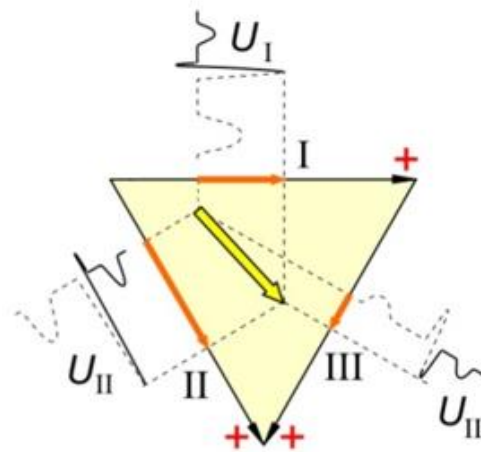


EKG #7

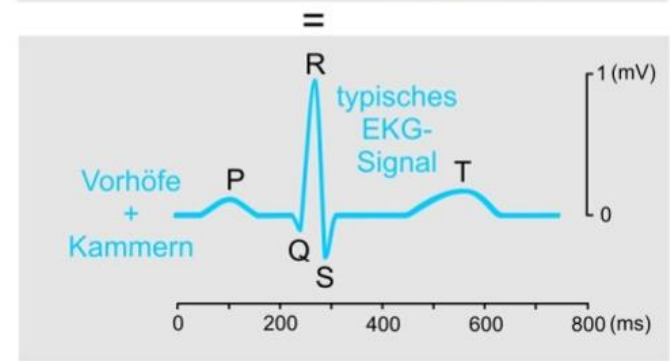
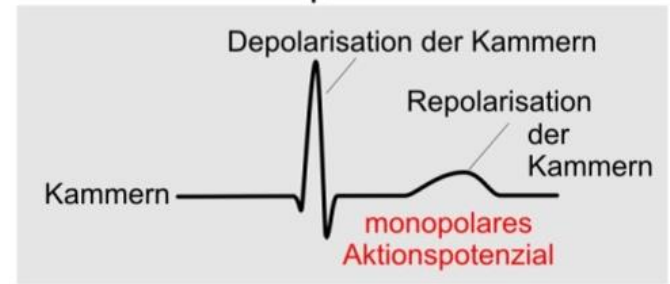
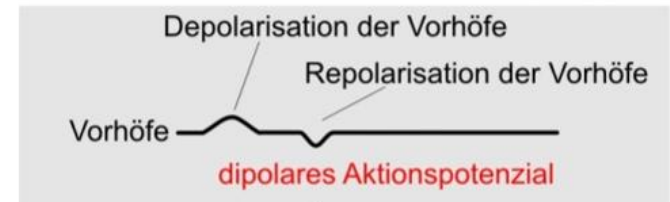
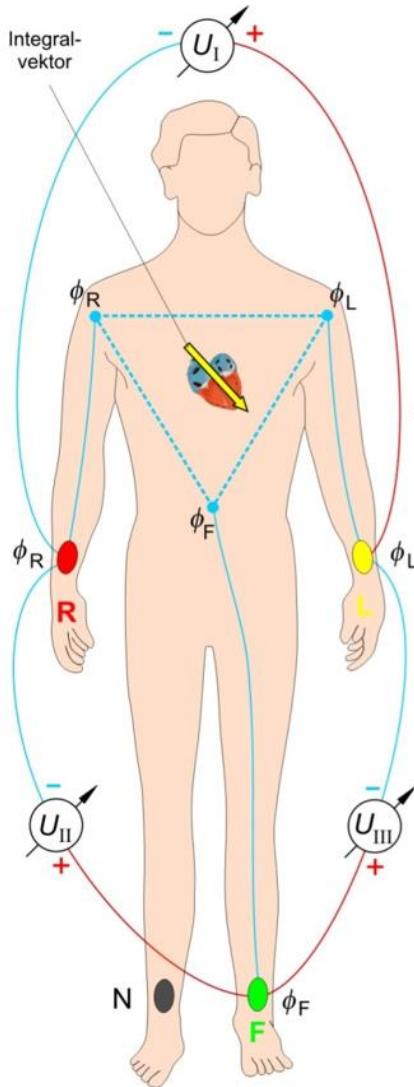
Die Standardableitungen nach Einthoven

- bipolar
- frontal

Einthoven-Dreieck



Integralvektor:
momentane Richtung
des Herzdipols
(salopper: ihre
frontale Projektion)

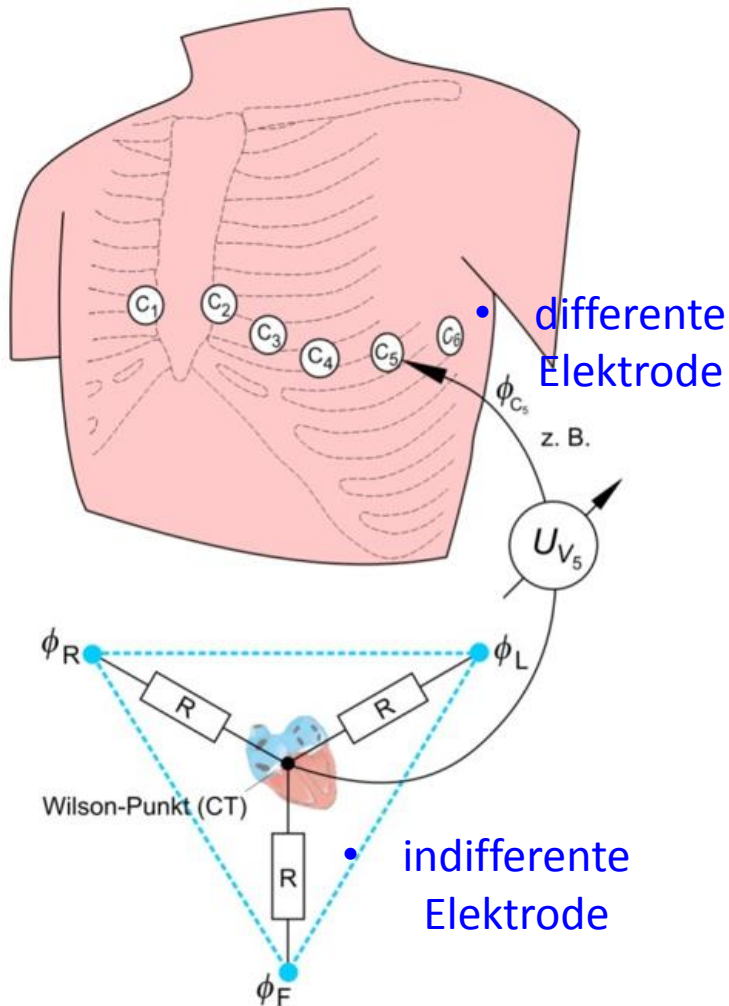


typische EKG-Kurve

EKG #8

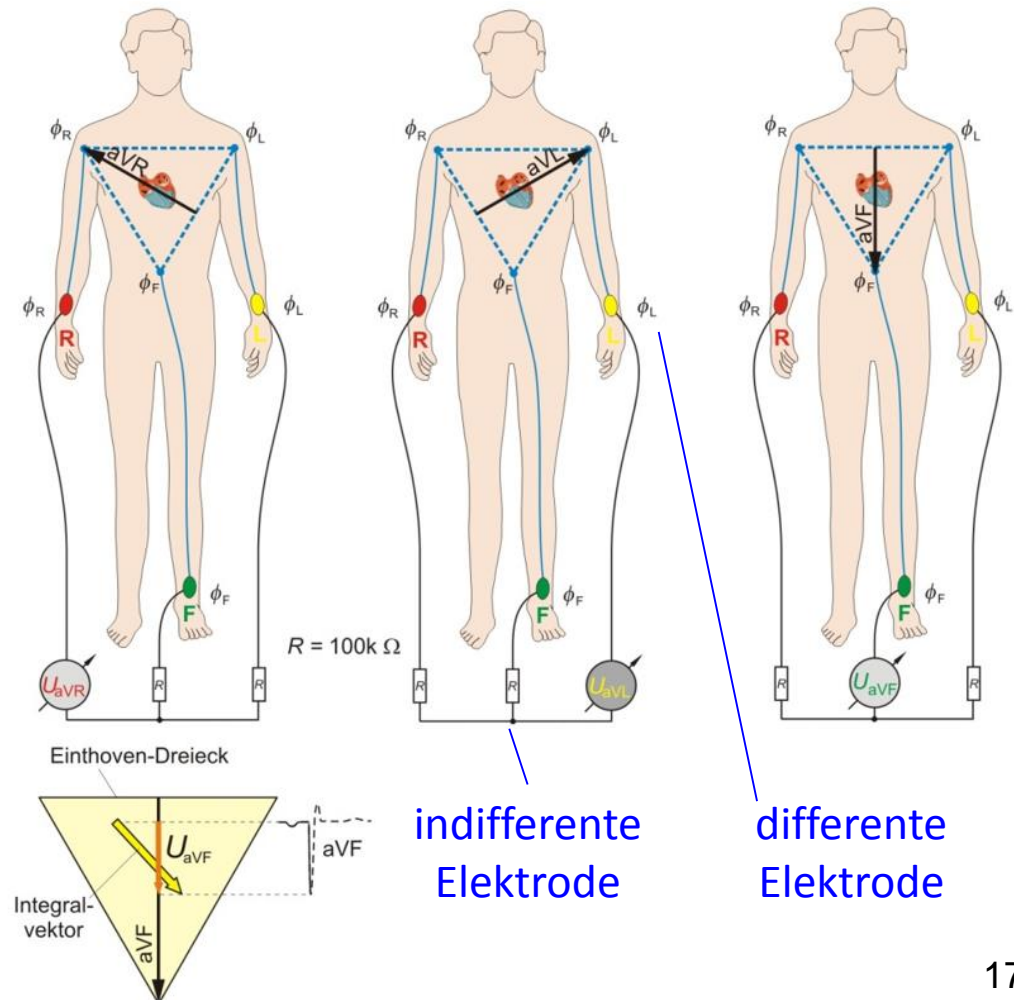
Ableitungen nach Wilson

- unipolar
- horizontal



Ableitungen nach Goldberger

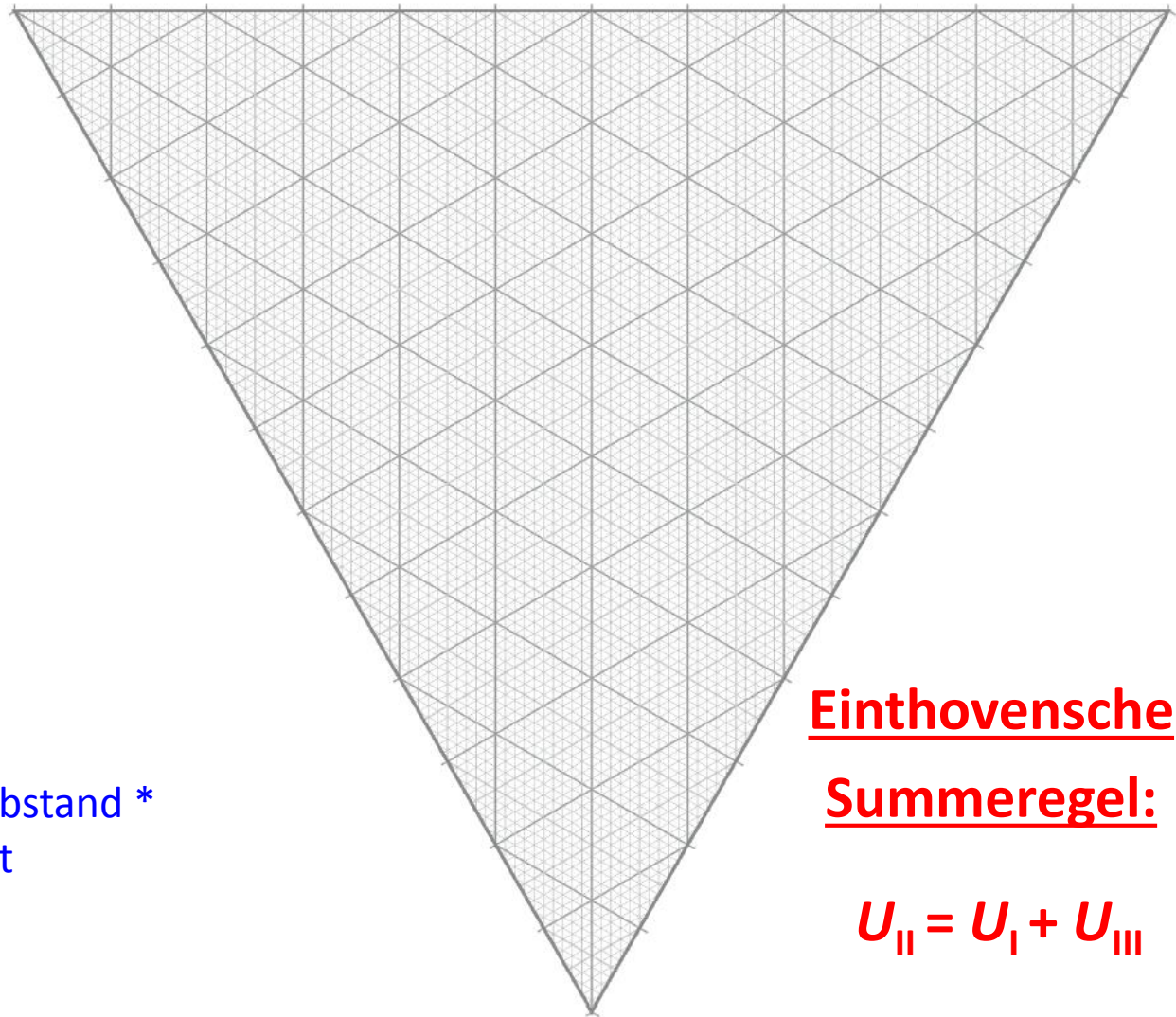
- „quasi-unipolar“
- frontal (30° gedreht)



EKG #9

- Kalibrationszeichen (1 mV)

Die Bestimmung der Herzachse

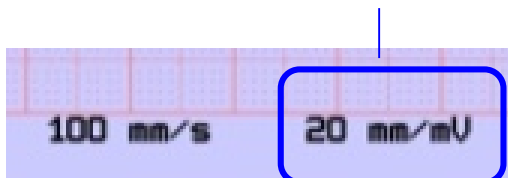


Einthovensche
Summeregeln:

$$U_{II} = U_I + U_{III}$$

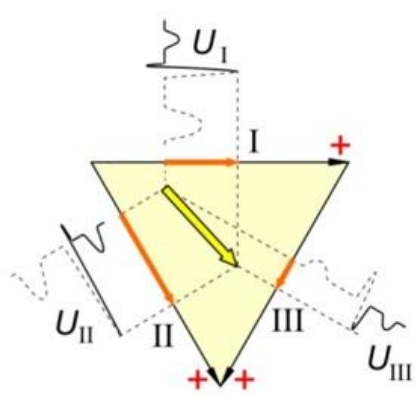


- Spannung = vertikaler Abstand *
vertikale Empfindlichkeit

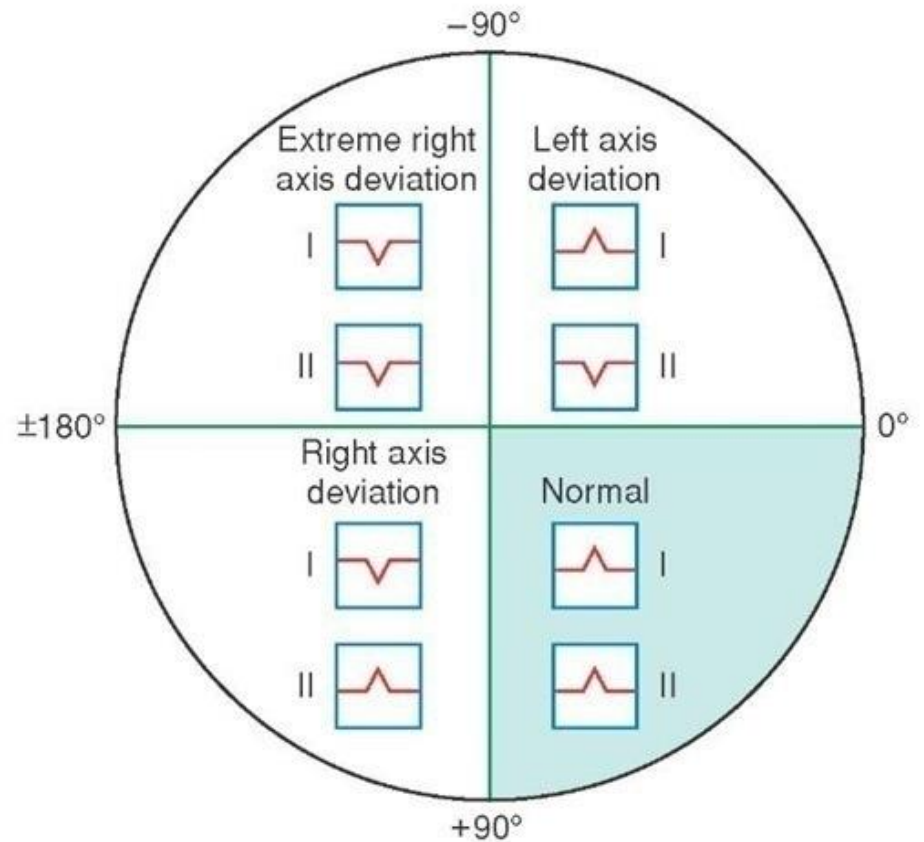
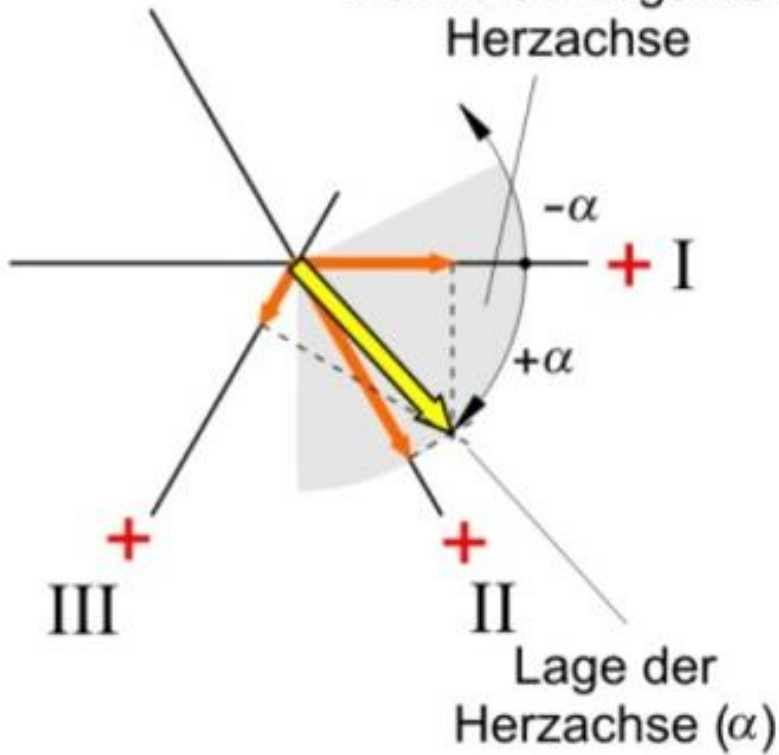


EKG #9

Die Beurteilung der Herzachse



Bereich der normalen Lage der Herzachse



Verschiebung der Seiten des
Einthoven-Dreiecks

Feedback – QR Kode