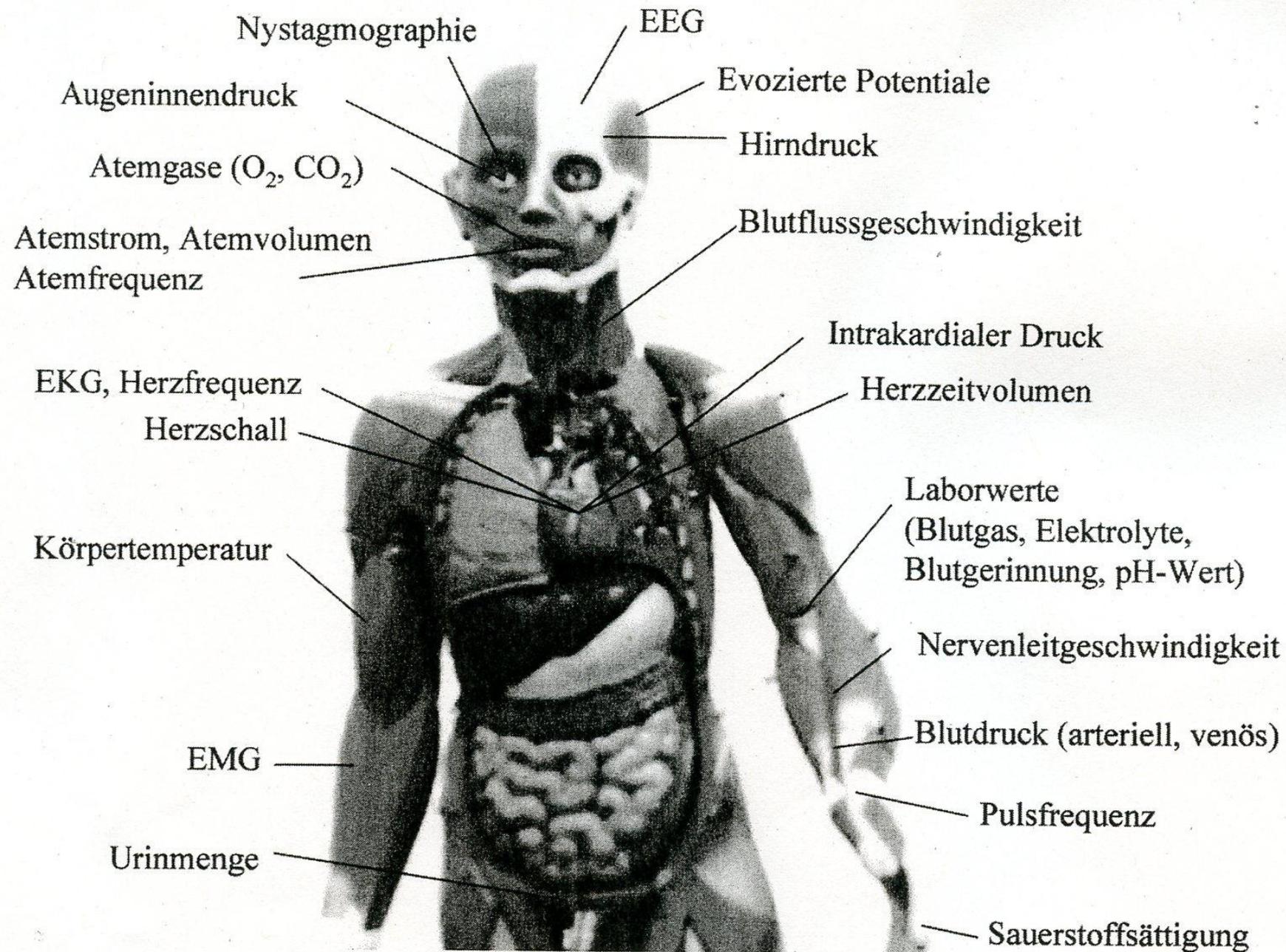


# Biosignalverarbeitung

## Teil 1

Dr. med. Dr. rer. nat. R. Rödel

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin Universitätsklinikum Bonn



Ergebnis einer Messung:

- Messwert oder
- Verknüpfung von Messwerten

Angabe als Produkt aus Zahl und Einheit

z. B. 1 mV

# Messwerterfassung in der Medizin

objektive Beschreibung von Eigenschaften oder des Zustands eines (ggf. nicht kooperativen) Patienten

erfolgt an

- lebenden „Objekten“
- intra- unter interindividuelle Variabilität

# Messwerterfassung in der Medizin

Messgröße des Biosignals ist ein Phänomen zur Beschreibung des menschlichen Funktionszustands hinsichtlich

- Metabolismus
- Morphologie
- Physiologie/Pathophysiologie

mit räumlicher und zeitlicher Zuordnung

**Messergebnisse** führen zu einem

**Befund**, daraus ergeben sich

- Diagnose
- Prognose
- Hilfestellung für eine adäquate Therapie

**Monitoring:**

- Überwachung (langzeitig) physiologischer Größen
- Alarmfunktion

**Closed loop System:**

selbstregelnde Funktion, Regelkreis (z. B. Infusionen, Demand-Herzschrittmacher)

# Bildgebende Verfahren

z. B. SPECT/CT, PET/CT, Cardio-CT, funktionelle MRT

Kombination von

- funktionellen
- metabolischen
- morphologischen Zuständen

# Aufgaben der Messwerverfassung in der Medizin

## Erfassung biologischer Signale

- Messung
- Wandlung
- Verarbeitung
- Übertragung
- Speicherung

## Erfassung des biologischen Verhaltens, Reizantwort speziell: evozierte Potentiale

## Regelsysteme

Eingreifen in extra-, intrakorporalen Assistenzsysteme

## Applikation von

Substanzen

Strahlung

# Besonderheiten bei der Messwerverfassung in der Medizin

Abweichungen aufgrund biologischer Variabilität

- interindividuell (z. B. dick, dünn, klein, groß, m., w.)
- intraindividuell (Tagesform, z. B. Blutdruck)

Überlagerung von

- Störquellen !!
- Artefakten !!

Belästigung des Patienten kann sich auf Auswertbarkeit der Messwerte auswirken

# Erfassung von Signaleigenschaften

- Strukturgrößen (Länge, Fläche, Volumen, Elastizität, Viskosität)
- Funktionsgrößen (Temperatur, Druck, Strömung)
- elektrische Größen (Potentiale, Strom, Widerstand)
- magnetische Größen (induzierte Magnetfeldänderungen)
- akustische Signale (Herz, Lunge, Ohr)

# Erfassung von Signaleigenschaften

- Beschreibung des Auftretens hinsichtlich
- Zeitpunkt
- Frequenz
- Amplitude
- Form
- Darstellung zwei-, dreidimensional im
  - Zeitbereich
  - Frequenzbereich

## Einteilung der Biosignale nach physikalischen Eigenschaften

- elektrisch: Potential-, Widerstandsmessung (EEG, EKG, EMG)

.... stehen im Vordergrund

# Einteilung der Biosignale nach physikalischen Eigenschaften

- magnetisch: Magnetenzephalografie (MEG)
- mechanisch: Ausdehnung, Form, Bewegung, Druck, Strömung
- thermisch: Organ, Körpertemperatur
- akustisch: Herz-, Lungenfunktion, Gehör, Sprache
- chemisch: Konzentration, Zusammensetzung
- optisch: Farbe, Lumineszenz von Gewebestrukturen

## **Messfühler**

erfasst Lebensvorgänge, morphologische Strukturen,  
ist oder ist verbunden mit

## **Wandler:**

primäres Messsignal  $\Rightarrow$  sekundäres Messsignal

sekundäres Messsignal meistens elektrisch, lässt sich  
elektronisch gut verarbeiten

# Messfühler

## Anforderungen

- rückwirkungsfreie Erfassung der Signale
- reproduzierbar
- konstantes Übertragungsverhalten bei Langzeitmessungen
- bioverträglich
- geringe Patientenbelastung
- (geringe Masse, geringes Volumen, geringe Leistungsaufnahme, desinfizierbar, sterilisierbar)

# Wandler

Funktionsweise:

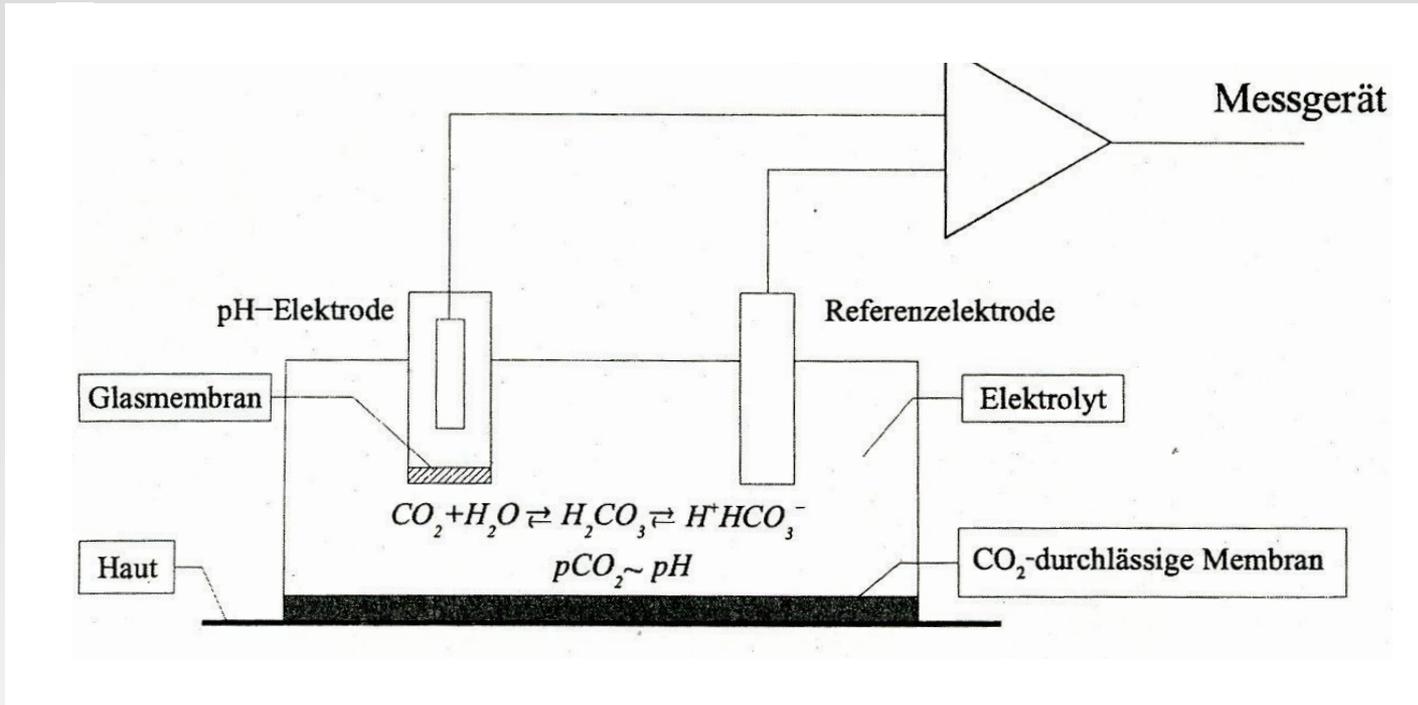
- chemoelektrisch
- elektrisch
- magnetisch
- mechanoelektrisch
- photoelektrisch
- thermoelektrisch
- bildgebend

# Chemoelektrische (potentiometrische) Wandler

- Metallelektrode  
umgeben von selektiv durchlässiger Membran  
eingetaucht in die zu untersuchende Elektrolytlösung
- definierte Referenzlösung mit Bezugselektrode

die zur Elektrode gelangenden Ionen (Moleküle) verändern die Potentialdifferenz zwischen Mess- und Bezugselektrode, Spannung proportional log. Ionenkonzentration (pH)

Einsatz von FETs: gate vom Membran umgeben, Messsignal ist die Änderung des Drainstroms



$p\text{CO}_2$ -Elektrode: die zur Elektrode gelangenden Ionen (Moleküle) verändern die Potentialdifferenz zwischen Mess- und Bezugselektrode

## Elektrische Wandler

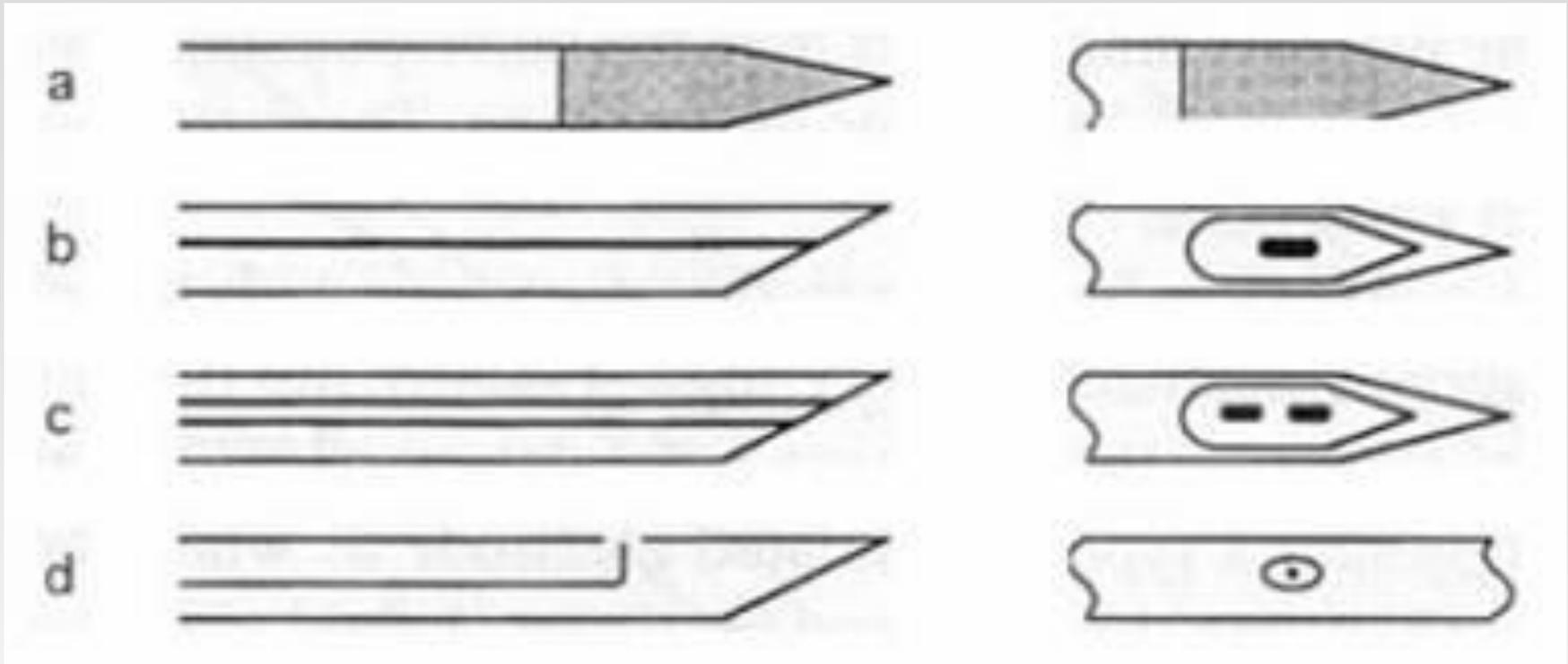
sind Ableitelektroden, wandeln Ionenstrom in Elektronenstrom (elektrisches Signal) um

je nach Eigenschaft des Biosignals, Lokalisation und Ausdehnung:

Mikroelektroden (Glaskapillar-, Metallmikroelektroden)

Makroelektroden (Oberflächenelektroden, subkutan)

Nadelelektroden (Tiefenelektrode)



## Nadelektroden

(a) unipolar

(b) bipolar konzentrisch mit Abschirmung

(c) bipolar parallele Kontakte mit Abschirmung

(d) bipolar mit Seitenkontakt

# Elektrische Wandler

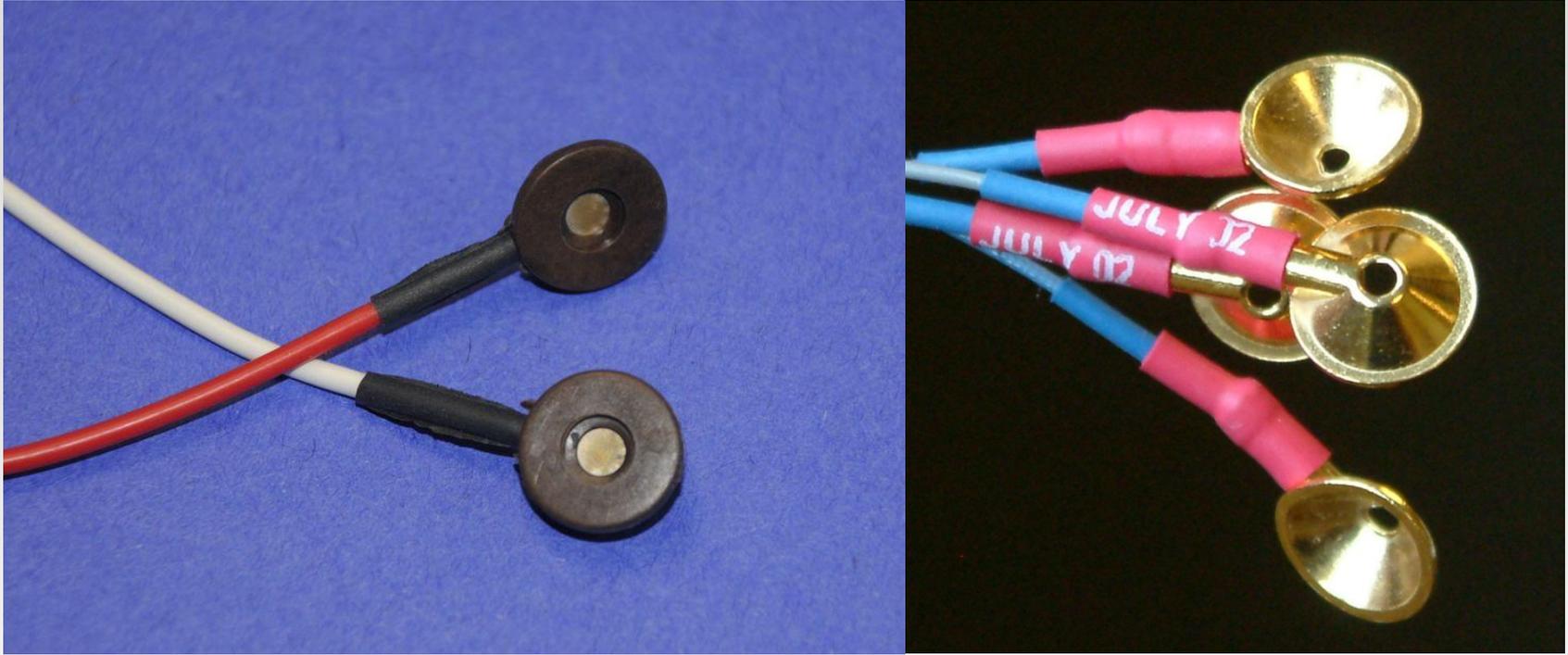
## polarisierbare Metallelektroden:

positiv geladene Metallionen gelangen in umgebende Elektrolytlösung -> molekulare Doppelschicht mit hoher Impedanz für Niederfrequenzbereich (Hochpassfilter bei Ableitung evozierter Potentiale)

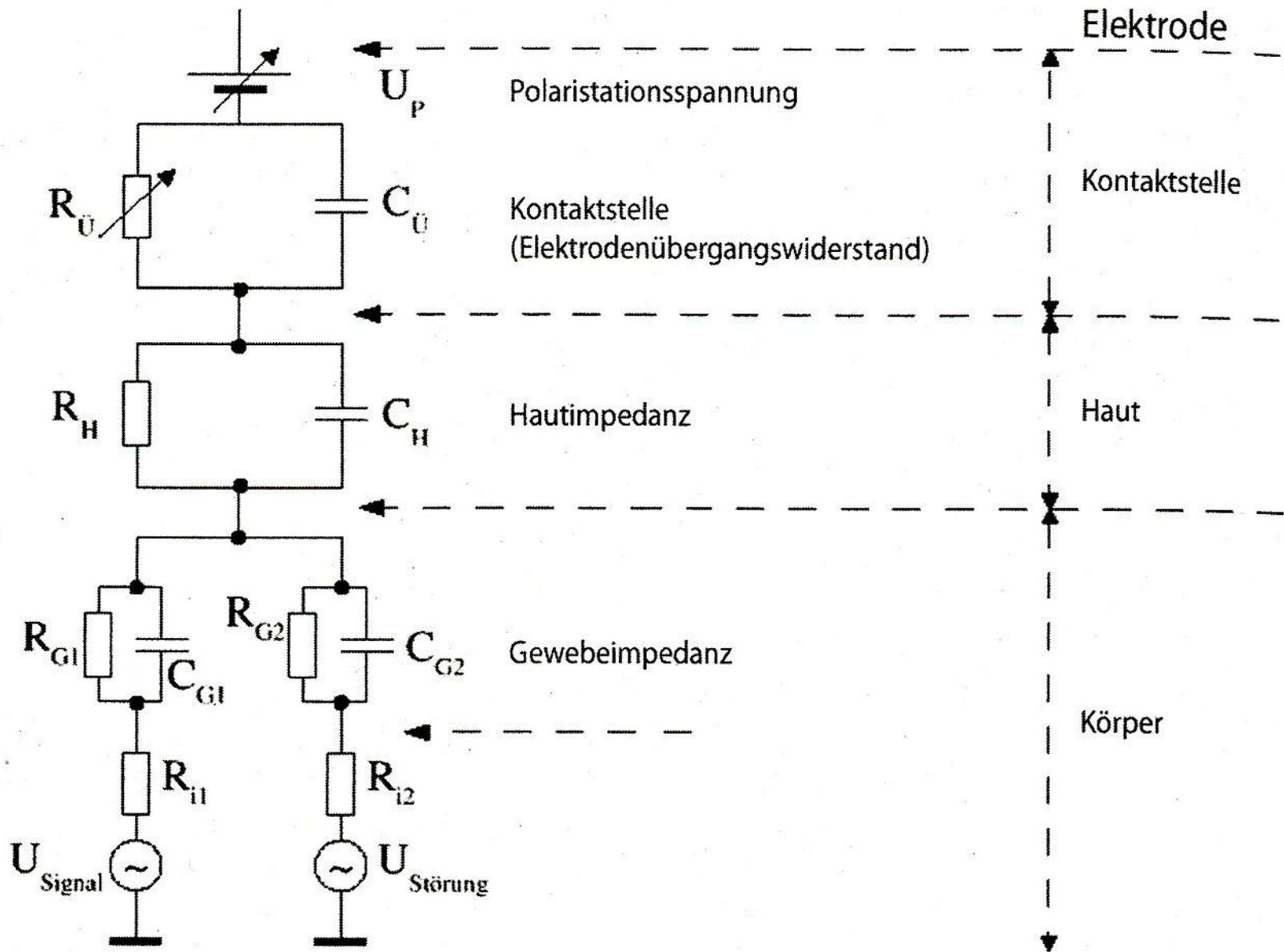
## unpolarisierbare Metallelektroden:

Ag/AgCl: Verminderung und Stabilisierung der galvanischen Spannung -> geringe Übergangsimpedanzen im gesamten Frequenzbereich

AgCl-Schicht liegt der Ag-Schicht an, positiv geladene Metallionen gelangen in umgebende Elektrolytlösung -> molekulare Doppelschicht mit hoher Impedanz für Niederfrequenzbereich (Hochpassfilter bei Ableitung evozierter Potentiale)



Oberflächenelektroden (monopolar) aus Gold, goldbeschichtet



Elektrisches Ersatzschaltbild bei Ableitung von Biopotentialen mittels  
Oberflächenelektroden

# Magnetische Wandler

Erfassung der Änderungen biomagnetischer Felder

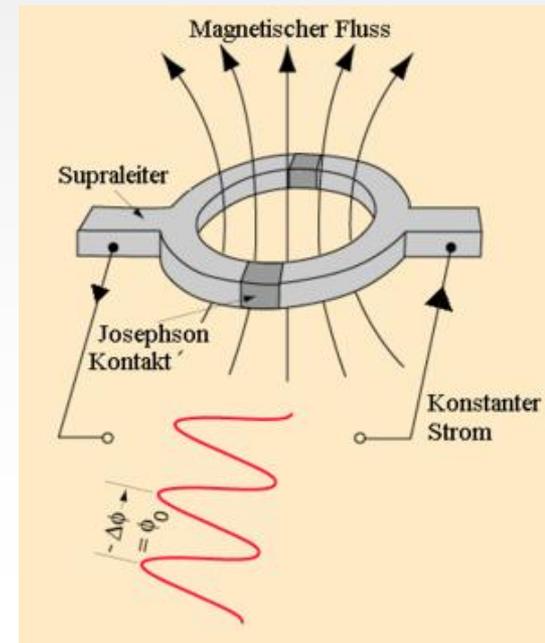
- Magnetoenzephalographie [MEG]
- Magnetokardiographie [MKG]

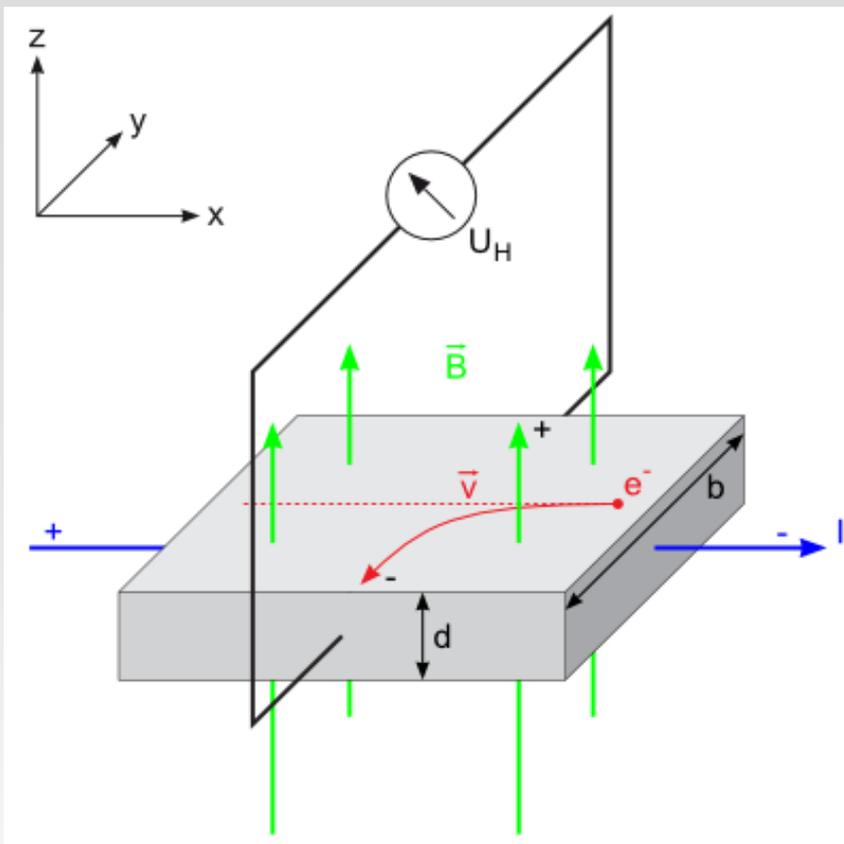
die durch Hirn- und Herzströme erzeugt werden  
Detektion von Kernspinresonanzen (MRT)

## **SQUID** (*superconducting quantum interference device*)

Cooper-Paare können durch Josephsonkontakte tunneln

Änderung des äußeren Magnetfelds bewirkt Änderung des Stroms im Ring und damit der Spannung am DC-SQUID





$$F = q \cdot v \cdot B$$

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

$$U_H = E_y \cdot b = v \cdot B \cdot b$$

Hallsonde: aufgrund der Lorentzkraft driften die strombedingten Ladungen in y-Richtung, es entsteht ein elektrisches Feld in y-Richtung, das auf die bewegten Ladungen entgegen wirkt. In y-Richtung lässt sich die Hallspannung  $U_H$  abgreifen.

# Mechanoelektrische Wandler

Einsatz bei Messung von

- Längenänderungen
- Dehnungen
- Druckschwankungen
- Geräuschen
- Mikrovibrationen
- Blutdruck

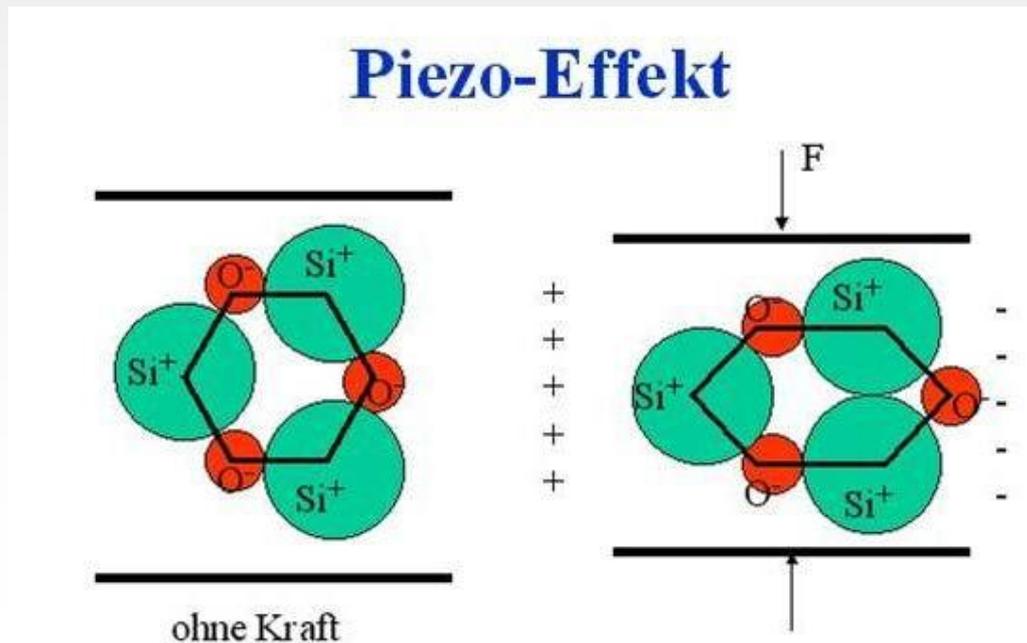
# Mechanoelektrische Wandler

Resistiv (Dehnungsmessstreifen): Widerstand  $\sim$  Länge

Kapazitiv: Kapazität  $\sim$  Plattensabstand

Piezoelektrisch:

SO<sub>2</sub> –Kristall: Verschiebungsspannung  $\sim$  Kraft

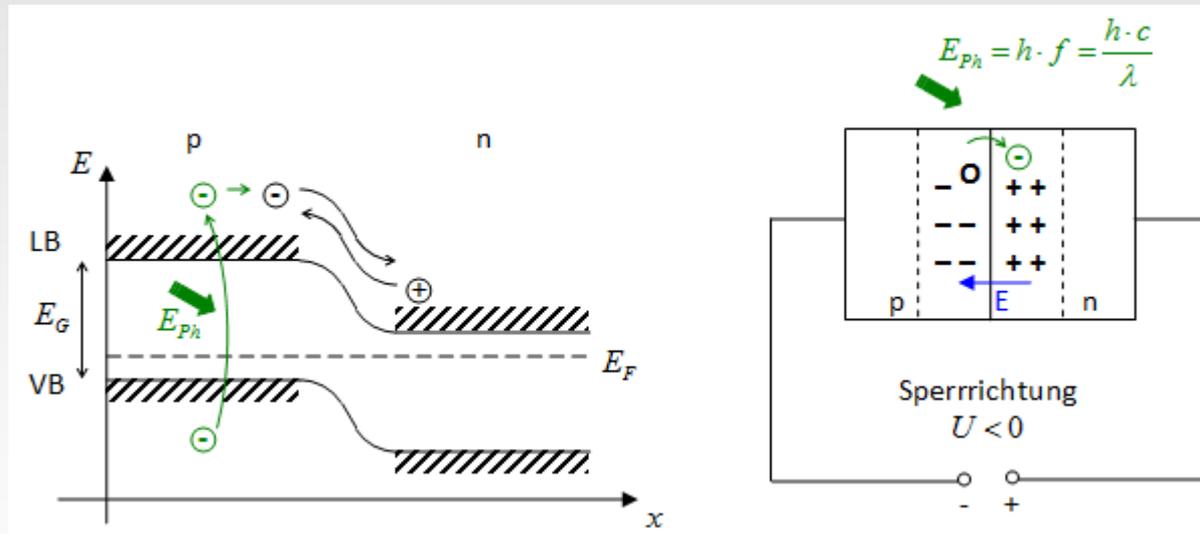


# Photoelektrische Wandler

Photowiderstand

Photodiode

Phototransistor

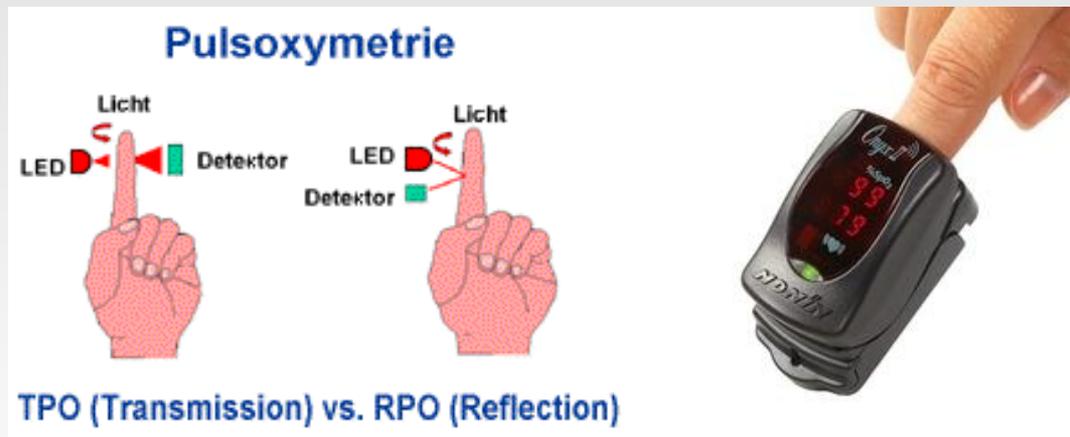
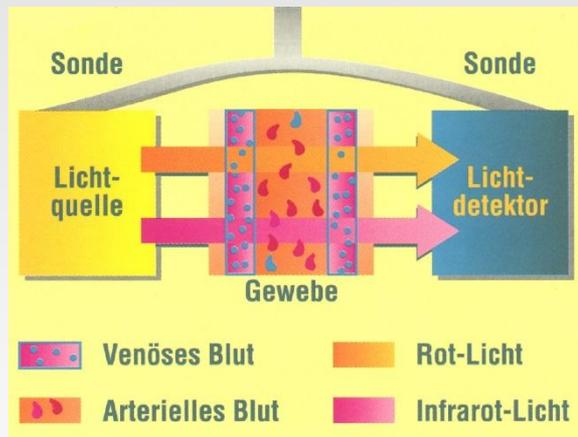


Silizium-Photodiode: durch einfallende Photonen werden Atome angeregt, die entsprechende Elektronen werden vom Valenzband in das Leiterband angehoben und gelangen aufgrund des elektrischen Feldes in den n-dotierten Bereich.

# Photoelektrische Wandler

Einsatz:

Lichtabsorption,-reflexion vom Körpergewebe zur Messung von Durchblutung und Sauerstoffsättigung

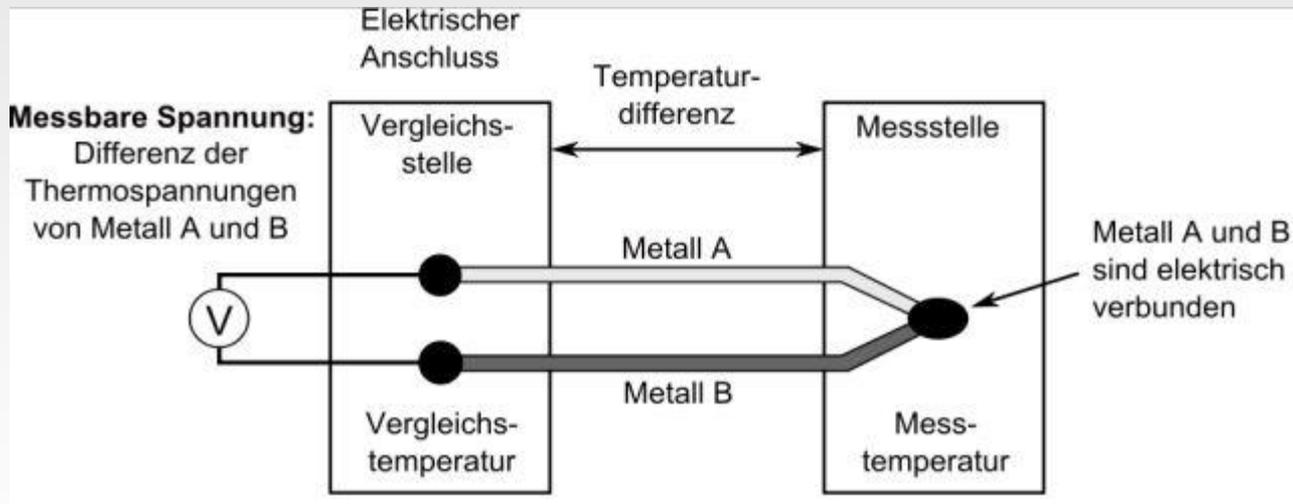


Transmissionstechnik nur an bestimmten Körperteilen anwendbar (Finger, Ohrläppchen)

# Thermoelektrische Wandler

## Thermoelement

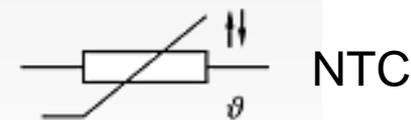
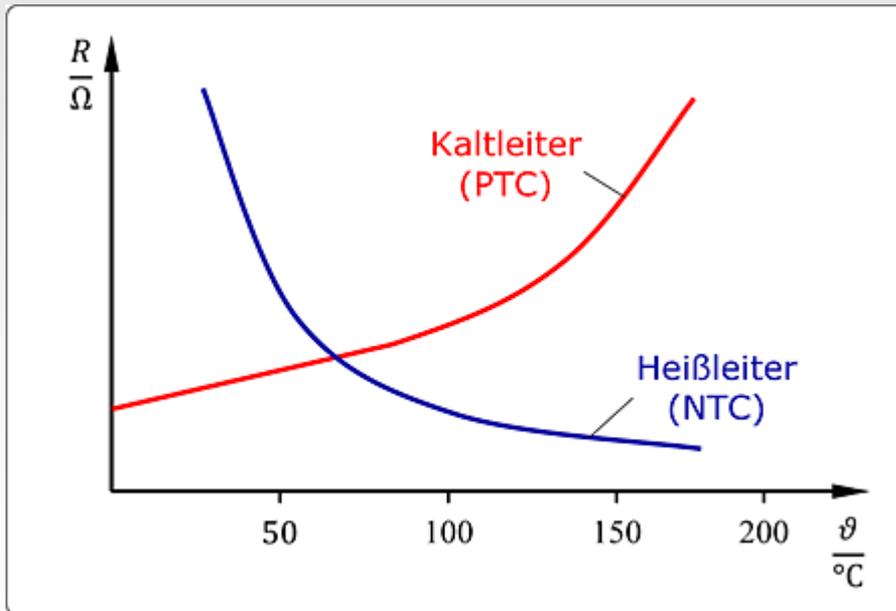
2 verschiedenen Metalldrähte, Temperaturdifferenz zwischen Kontakten bedingt Thermospannung



# Thermoelektrische Wandler

Thermistoren

Heißeleiter (NTC), Kaltleiter (PTC): Diode, Transistor



# Signalverarbeitung

Korrektur eines nicht linearen Übertragungsverhaltens  
meist mehrstufige Signalkette

- Stabilisierung von
  - Nullpunkt
  - Empfindlichkeit
- Driftvermeidung
- Kennlinienführung
- adaptive Regelung

# Signalverarbeitung

Korrektur eines nicht linearen Übertragungsverhaltens

Eingrenzen des Frequenzganges

Eliminierung von Artefakten

- Analog
  - diskrete Bauweise
  - Operationsverstärker
- Digital
  - Analog digital Wandler (ADC), Speicher
  - Digitale Bearbeitung (z. B. Fouriertransformation)
- Sonderverfahren: Mittelungstechnik

# Verstärker

Typischerweise Operationsverstärker mit

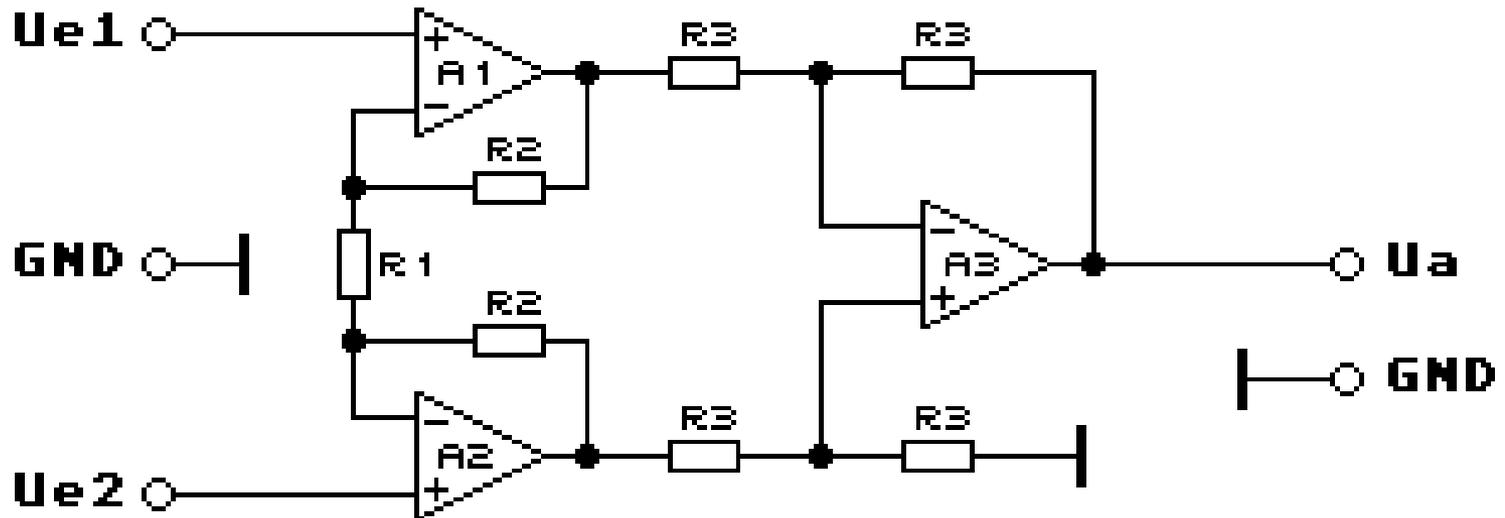
Impedanzwandler: → hoher Eingangswiderstand  
geringer Ausgangswiderstand

Differenzverstärker: hohe Gleichtaktunterdrückung

je nach Eigenschaften des Biosignals Anforderung an:

- Empfindlichkeit, Verstärkung
- Linearität (zwischen Ein- und Ausgang)
- Frequenz-, Phasengang
- Rauschen

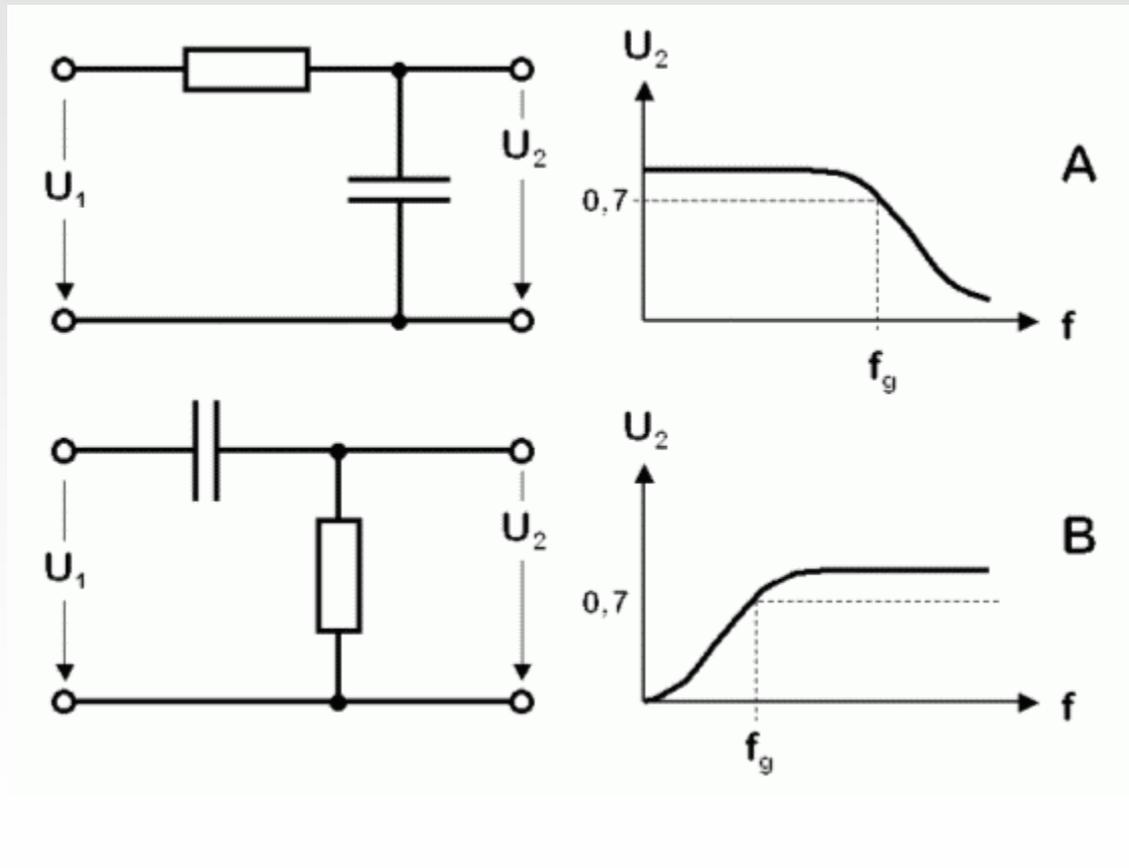
# Verstärker



$$U_a = \left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1}\right) \cdot (U_{e2} - U_{e1})$$

# Signalverarbeitung

Korrektur eines nicht linearen Übertragungsverhaltens  
Eingrenzen des Frequenzganges



Tiefpass

Hochpass

## Artefakte

- Nutzsignal ist überlagert von Störungen ->
- Beurteilung, Auswertung erschwert
- **kann größtes Problem sein!**
  - biologisch, physiologisch
  - technisch, extern

abhängig von

- Ableittechnik
- Messmethode
- Patienten

## Physiologische Artefakte

Einstreuung von anderen biologischen Signalen

z. B. Bei EEG

- Augenbewegungen
- Muskeln: Zwickern, Nackenmuskulatur
- Herzaktion
- Pulswelle (Elektroden über pulsierendem Gefäß)
- Schwitzen
- Spontanbewegungen

$\alpha$ -EEG 

Überlagerung von:

## Biologische Artefakte

Augenbewegungen



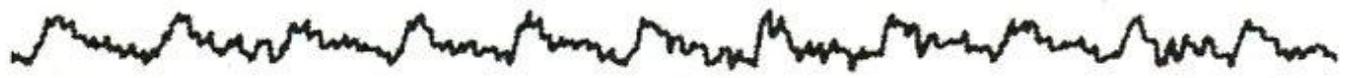
Schwitzen



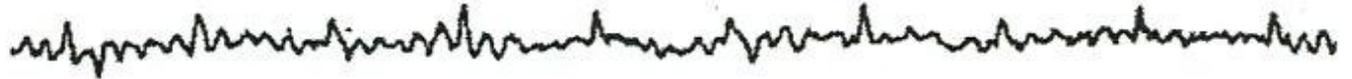
Muskelartefakt



Pulsartefakt



EKG-Einstreuung



EKG (zum Vergleich)



## Technische Artefakte

Fehler in der Ableit- und Registriertechnik, oft bei

- Kontaktstellen
  - Haut - Elektrode
  - Kabel – Elektrode
  - Kabel - Stecker
  - Stecker - Buchse
- unterschiedliche Elektroden
- Kabeldefekte, Kabelbewegungen
- fehlende Erdung („Netzbrummen“)

## Extern verursachte Artefakte

eingekoppelte Störungen durch entfernte Spannungsquellen

hochohmige, kapazitive Leitungswegen („Netzbrumm“)

elektromagnetische Wechselfelder („Musik in der Leitung“)

# Erfassung biologischer Signale

## bioakustisch

- Schnarchen
- Sprache
- Lungengeräusche
- Herzschall
- Blutdruck (Oszillation der Gefäßwände)
- Mittelohrimpedanz
- Otoakustische Emissionen (OAE)

# Erfassung biologischer Signale

## biochemisch

- sind Ausdruck metabolischer Prozesse
- Reaktion mit Enzymen, Antikörpern, Zellen
- Nachweismethoden
- Elektrophorese
- Gaschromatografie
- Absorptions-, Massen,- Infrarotspektrometrie

# Erfassung biologischer Signale

## bioelektrisch

- Potentialdifferenzen mit
- Ursprung an den Membranen von Nerven- und Muskelzellen
- Ruhepotenzial, Aktionspotenzial

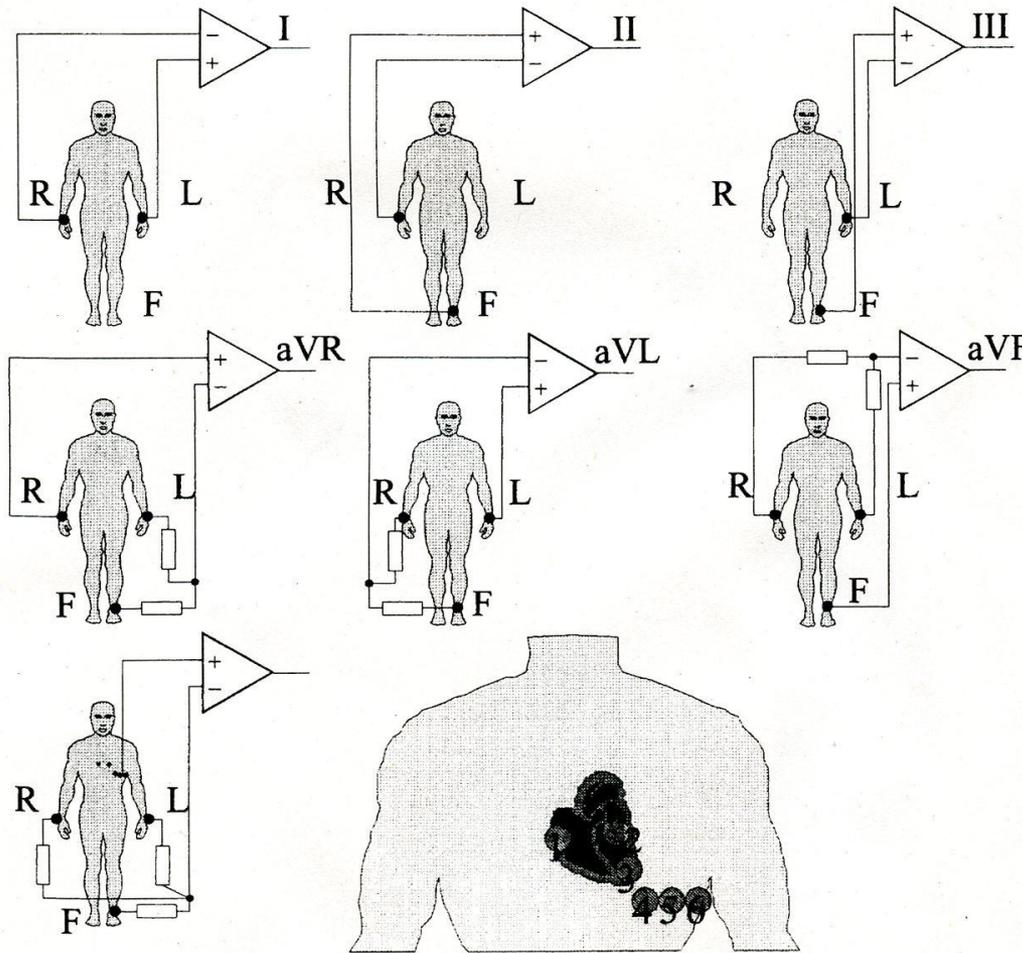
# Bioelektrische Signale

| Signal                        | Frequenz [Hz] | Amplitude [mV]       |
|-------------------------------|---------------|----------------------|
| EKG (Herz)                    | 0,2–200       | 0,1–10               |
| EEG (Hirn)                    | 0,5–100       | 2–100 $\mu\text{V}$  |
| EMG (Muskel)                  | 10–10000      | 0,05–1               |
| EGG (Magen)                   | 0,02–0,2      | 0,2–1                |
| EUG (Gebärmutter)             | 0–200         | 0,1–8                |
| ERG (Retina)                  | 0,2–200       | 0,005–10             |
| EOG (Auge)                    | 0–100         | 0,01–5               |
| FAEP (Hirnstamm)              | 100–3000      | 0,5–10 $\mu\text{V}$ |
| SEP (somato-sensibles System) | 2–3000        | 0,5–10 $\mu\text{V}$ |
| VEP (visuelles System)        | 1–300         | 1–20 $\mu\text{V}$   |

# Erfassung biologischer Signale

## bioelektrisch

- Ableitung mittels Elektroden, 2 Pole
- monopolar
  - Pol 1 auf elektrisch aktivem Gebiet
  - Pol 2 auf elektrisch inaktivem gebiet (z. B. Ohrläppchen bei EEG)
- bipolar
  - beide Pole auf elektrisch aktivem Gebiet



Bipolare Extremitätenableitung nach Einthoven

Unipolare Ableitung nach Wilson und Goldberger mit Referenz als Sternpunkt der Zusammenschaltung von verschiedene Elektroden über gleich große Widerstände (Durschnittsreferenz)

# Erfassung biologischer Signale

## biomagnetisch

- Potentialdifferenz  $\Rightarrow$  Strom  $\Rightarrow$  Magnetfeld
- Messung mit supraleitendem Interferometer (SQUID)
- genaue Lokalisierbarkeit der Quellen
- magnetische Abschirmung erforderlich
- oder zusätzlich Gradiometer (Unterdrückung des Erdmagnetfeldes)

# Erfassung biologischer Signale

## biomechanisch

- Bewegung
- Druck
- Fluss, Volumenstrom
- Größe, Form, Volumen, Masse

# Erfassung biomechanischer Signale

| Signal                       | Spezifizierung | Amplitude                | Umrechnung  |
|------------------------------|----------------|--------------------------|-------------|
| Puls                         |                | 20–200 min <sup>-1</sup> |             |
| Atmung                       |                | 5–60 min <sup>-1</sup>   |             |
| Blutdruck (arteriell)        | Systole        | 8–33 kPa                 | 60–250 mmHg |
|                              | Diastole       | 5–20 kPa                 | 40–150 mmHg |
| Blutdruck (venös)            |                | 0–4 kPa                  | 0–30 mmHg   |
| Intaokulardruck              |                | 0–7 kPa                  | 0–50 mmHg   |
| Blutfluss                    |                | 0,05–5 l/min             |             |
| Blutströmungsgeschwindigkeit |                | 0,05–40 cm/s             |             |
| Atemströmungsgeschwindigkeit |                | 20–120 cm/s              |             |
| Herzminutenvolumen           |                | 3–8 l/min                |             |
| Atemzugvolumen               |                | 200–2000 ml/Schlag       |             |
| Muskelarbeit                 |                | 10–500 W                 |             |
| Blutvolumen                  | Erwachsener    | 7000 ml                  |             |
| Harnmenge                    | Erwachsener    | 1500 ml/Tag              |             |
| Nervenleitgeschwindigkeit    | N. medianus    | 50–60 m/s                |             |

# Erfassung biologischer Signale

biomechanisch

Markierung mit Leuchtpunkten und

Videoaufnahme, Bildanalyse

# Erfassung biologischer Signale

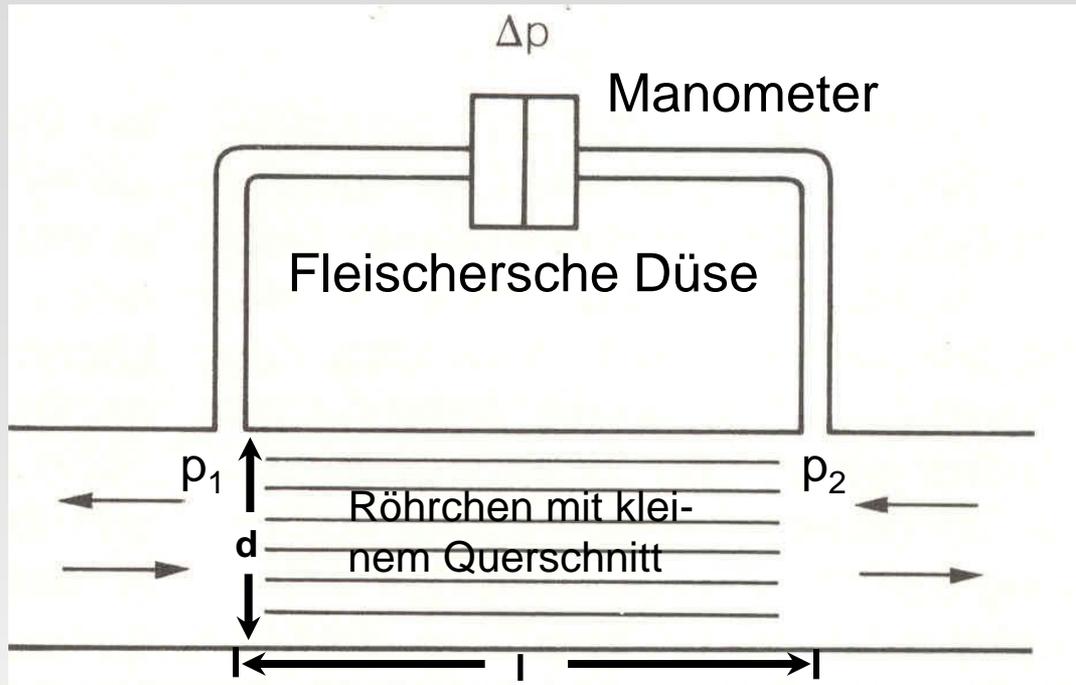
## Druck

Einsatz von Dehnungsmessstreifen

- extra-, intrakorporal (Kathetermessung)
- Hirndruck
- Augeninnendruck
- Blutdruck: auch Messung der Geräusche, bedingt durch Oszillationen der Gefäßwand

# Erfassung biologischer Signale

- Fluss, Volumenstrom
- Atmung:
  - Thermistor (Temperaturdifferenz Ein - Ausatmung)
  - Lungenfunktion, Rhinomanometrie
  - Pneumotachograph
- Blutstrom
  - Durchflussmethode (magnetisch, induktiv)
  - Ultraschall Doppler
- Herzzeitvolumen:
  - Indikatorverdünnungskurve



Gesetz von Hagen-Poiseuille:  
 Durch die Röhrchen mit klei-  
 nem Querschnitt strömt die  
 Luft laminar (verwirbelungs-  
 frei), dann ergibt sich:

#### Druckverlust $\Delta p$ bei laminarer Strömung in einem Rohr

$$\Delta p = \frac{128}{\pi} \frac{l \rho v \dot{V}}{d^4}$$

$l$  = Länge des Rohres

$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$  = Luftdichte

$v = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  = Zähigkeit der Luft

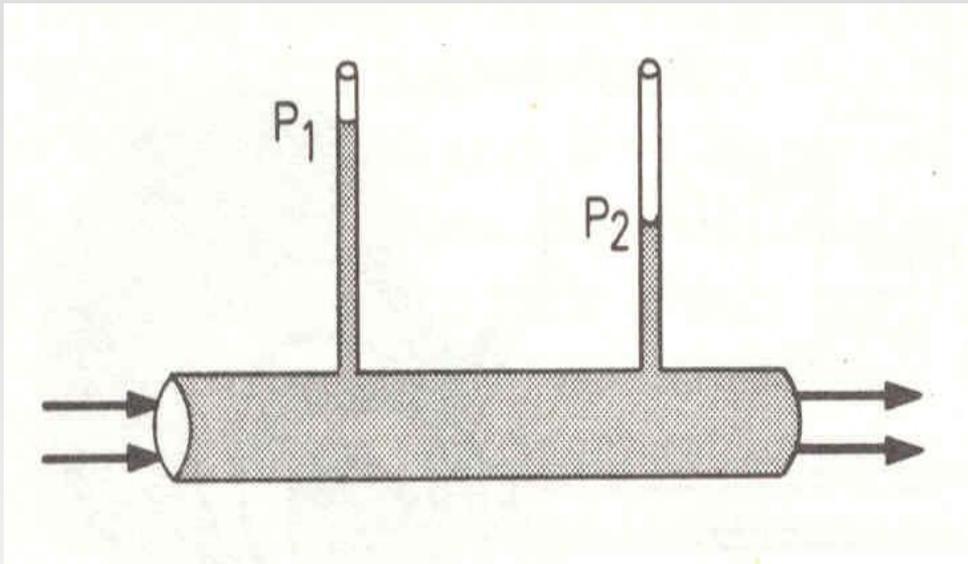
$d$  = Rohrdurchmesser

$\dot{V}$  = Volumenstrom

Abgekürzt:

$$\Delta p = R \cdot \dot{V}$$

$R$  = Strömungswiderstand



# Pneumotachograph

gemessen wird

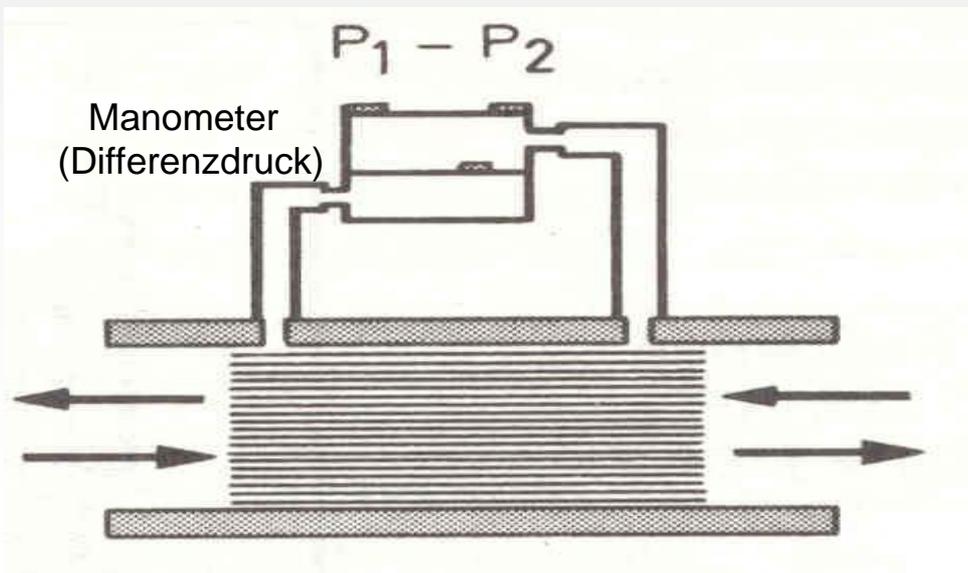
1. Druckdifferenz  $p_1 - p_2$
2. Zeit  $t$

Volumen  $V$  ergibt sich aus:

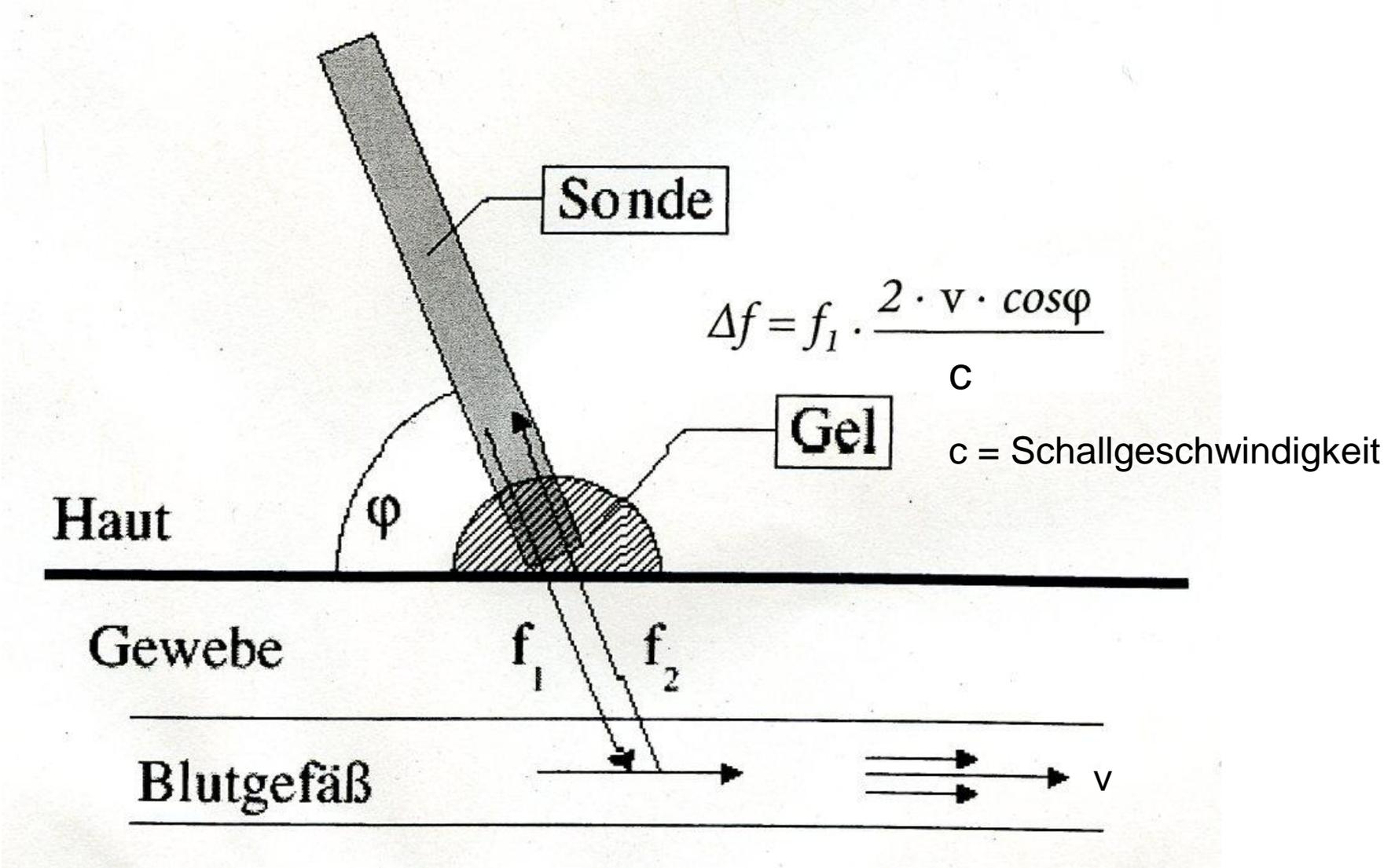
$$p_1 - p_2 \sim \dot{V}$$

mit  $\dot{V} = \frac{V}{t}$  ergibt sich

$$V = \dot{V} \cdot t$$



# Messung der Blutflussgeschwindigkeit anhand des Dopplereffekts



# Erfassung biologischer Signale

## Größe, Masse:

Metermaß, Waage, Quarzmikrowaage (bis  $10^{-12}$  g)

## Lokalisation, Form, Volumen:

Bildgebende Verfahren

Ultraschall, CT, MRT, Szintigrafie, PET, SPECT

# Erfassung biologischer Signale

## Biothermische Signale:

Körpertemperatur, Organtemperatur

Thermometer, Thermistor, Infrarotthermometer

Thermografie: Temperaturverteilung über

Hautareal (z. B. Zunahme der Durchblutung)

mittels Flüssigkeitskristalle

# Erfassung biologischer Signale

## Erfassung biologischer Reizantworten

evozierte Potentiale

Reiz:

- optisch
- akustisch
- Beschleunigung (Gleichgewichtssinn)
- olfaktorisch
- gustatorisch
- elektrisch