

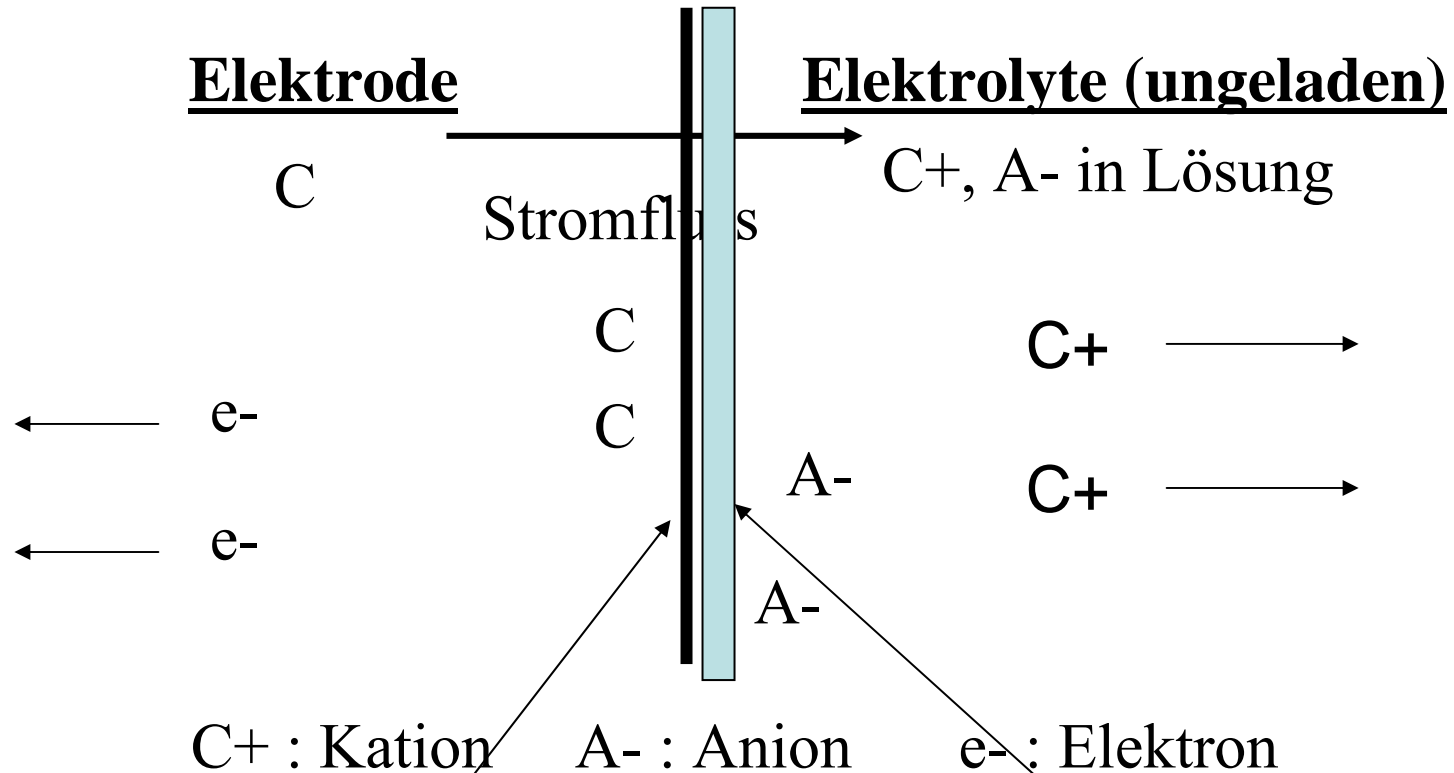
# **BMT301**

## Grundlagen der Medizinischen Messtechnik

Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. med. Daniel J. Strauss

Ergänzende Folien  
EF6

# Elektrode – Elektrolyt- Übergang

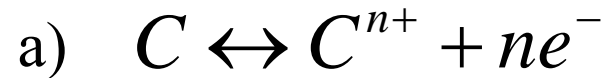


*verwandte Elektrodenmaterialien: Pt, C, ..., Au, Ag, ...*

*Elektrodenmaterial in Verwendung zusammen mit Salzen, z.B. Ag-AgCl, Pt-Pt black, oder mit Polymerstoffen (z.B. Nafion, zur Verbesserung der Selektivität)*

# Elektrode – Elektrolyt- Übergang

## allgemeine Ionengleichung



a) Wenn Elektroden aus dem selben Material sind wie die Kationen, dann wird dieses Material oxidiert und sie gehen als Kationen in das Elektrolyt über. Die frei werdenden Elektronen verbleiben an der Elektrode und fließen in den externen Stromkreis.

b) Wenn Anionen an der Elektrode zu neutralen Atome oxidiert werden können, werden diese Elektronen der Elektrode abgegebenen.

Die Hauptreaktionen können dabei durch folgende Zustände beschrieben werden:

**Stromfluss von der Elektrode ins Elektrolyt : Oxidation (Abgabe von  $e^{-}$ )**  
**Stromfluss vom Elektrolyt zur Elektrode : Reduktion (Aufnahme von  $e^{-}$ )**

# Potenzial einer Halbzelle

Eine charakteristische Potentialdifferenz stellt sich zwischen der Elektrode und dem angrenzenden Elektrolyte ein, welches vom Elektrodenmetall, der Ionenkonzentration in der Lösung und der Temperatur abhängt (und einige zweitrangigen Faktor) .

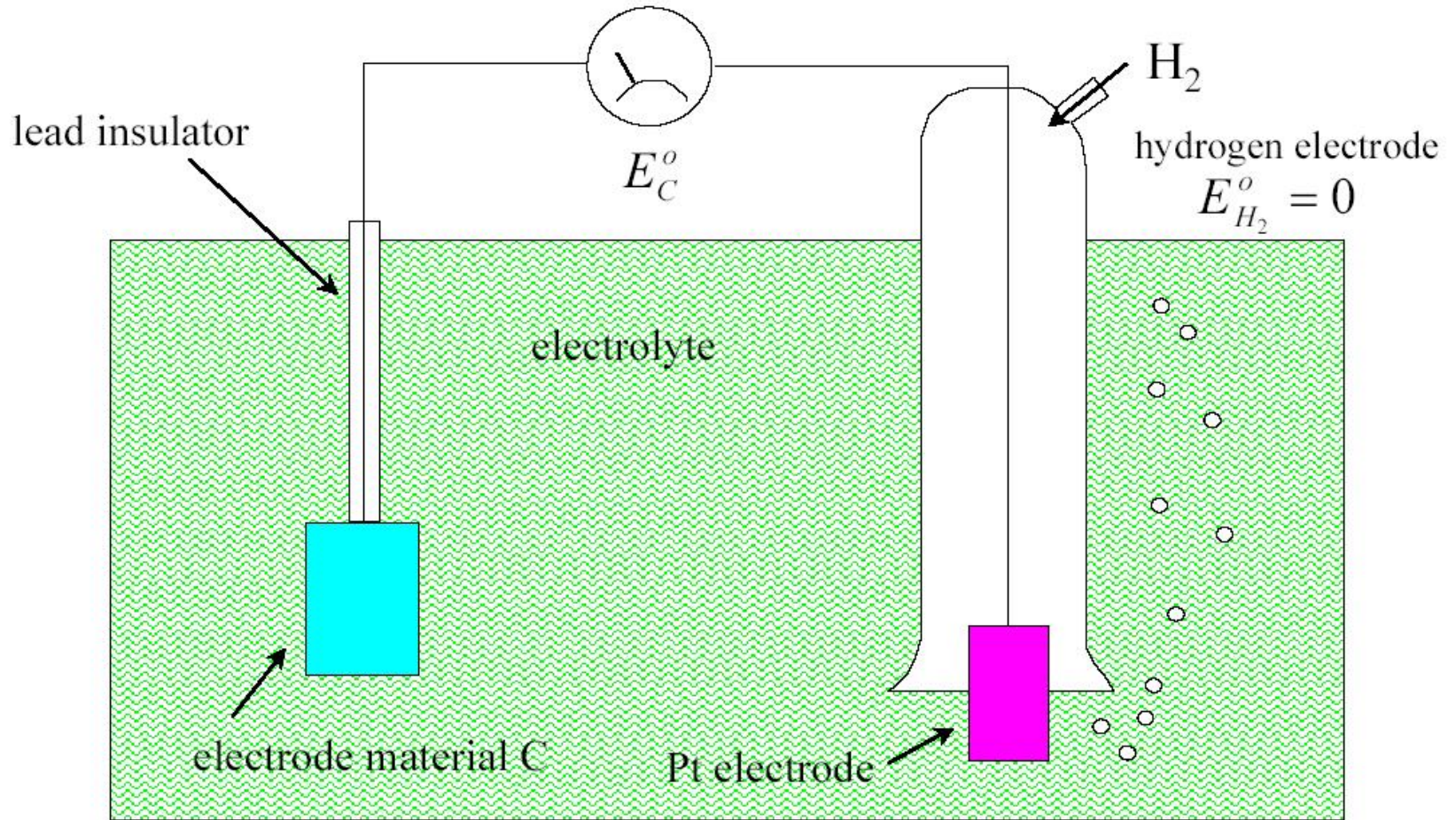
**Das Potenzial einer Halbzelle kann ohne eine zweite Elektrode nicht bestimmt werden.**

Das Halbzellenpotenzial einer standard Wasserstoffzelle wird definitionsgemäß mit 0 Volt festgesetzt. Das Potenzial anderer Halbzellen wird über diese Standardzelle als Differenzpotential beschrieben.

**Gründe für das Halbzellenpotenzial : Ladungstrennung am Übergang (Interface):**

Oxidations- und Reduktionsreaktionen zwischen Elektroden und Elektrolyt führen zu Doppelladungsschichten, die dem aktiven elektrischen Prozess von biologischen Zellmembranen ähnlich sind.

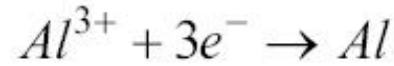
# Potenzialmessung der Halbzelle



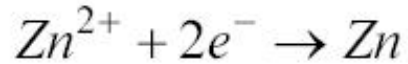
*Beachte: Elektrodenmaterial ist Metall + Salt oder Polymere sind selektive Membranen.*

reduction reaction

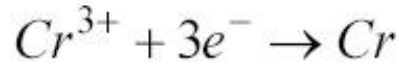
$E^{\circ}$  (V)



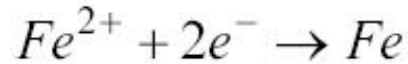
-1.662



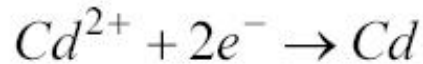
-0.762



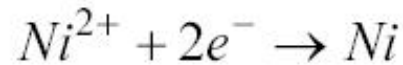
-0.744



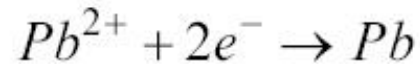
-0.447



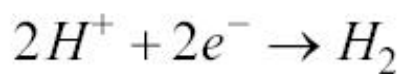
-0.403



-0.257

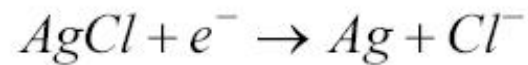


-0.126



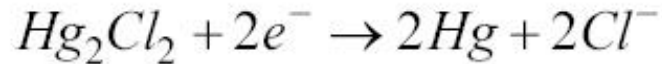
0.000

Standard

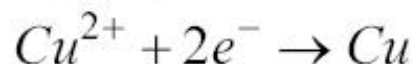


+0.222

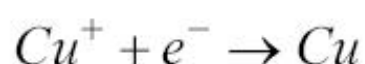
Wasserstoffelektrode



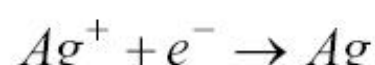
+0.268



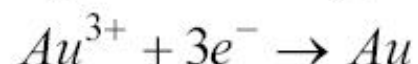
+0.342



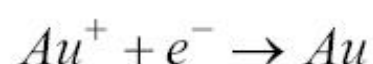
+0.521



+0.780



+1.498



+1.692

## Halbzellenpotentiale

*Beachte: Ag-AgCl hat ein  
kleines Grenzpotential  
und es ist sehr stabil  
(konstant) -> also gut  
geeignet für EKG-  
Elektroden!*

# Polarisation

Bei einem Strom zwischen Elektrode und Elektrolyt verändert sich das beobachtete Potenzial der Halbzelle in Abhängigkeit der Polarität.

**Überspannung**  
Differenz zwischen dem beobachteten und dem Halbzellenpotential ohne Stromfluss.

**Widerstand**

Stromabhängige Widerstandsänderungen im Elektrolyten ergeben Spannungsänderungen.

**Konzentration**

Geänderte Ionenverteilung zwischen Elektrode und Elektrolyt im Übergangsbereich

**Aktivierung**

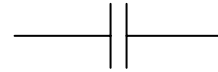
Die Aktivierungsenergiebarriere hängt von der Richtung des Stromes ab und legt die Kinetik fest.

$$V_p = V_R + V_C + V_A$$

*Beachte: Polarisation und Impedanz von Elektroden sind zwei wichtige Eigenschaften, die bei Messungen berücksichtigt werden müssen.*

# Polarisierbare und nicht polarisierbare Elektroden

## Polarisierbare Elektroden



Dies sind Elektroden, die keine Ladung über den Übergangsbereich transportieren, wenn sich ein Strom eingestellt hat. Der Stromfluss im Übergangsbereich ist ein Verschiebungsstrom und die Elektroden verhalten sich kapazitiv. Beispiel : Platinelektrode

## Nicht-Polarisierbare Elektroden

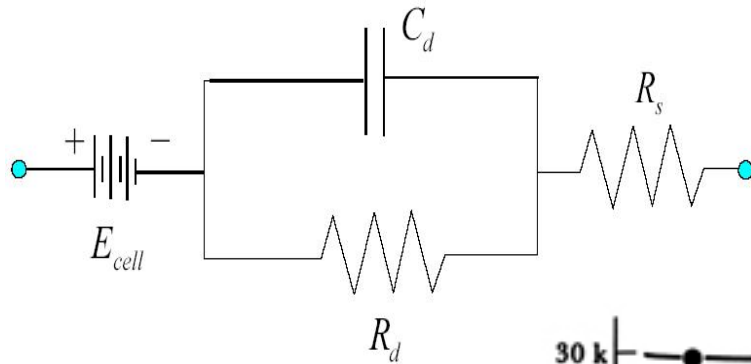


Dies sind Elektroden, die den Ladungstransport ungehindert im Übergangsbereich zwischen Elektrode und Elektrolyt passieren lassen, ohne dass Energie benötigt wird. Die Potentialdifferenz ist 0 Volt. Beispiel : Ag/AgCl Elektrode

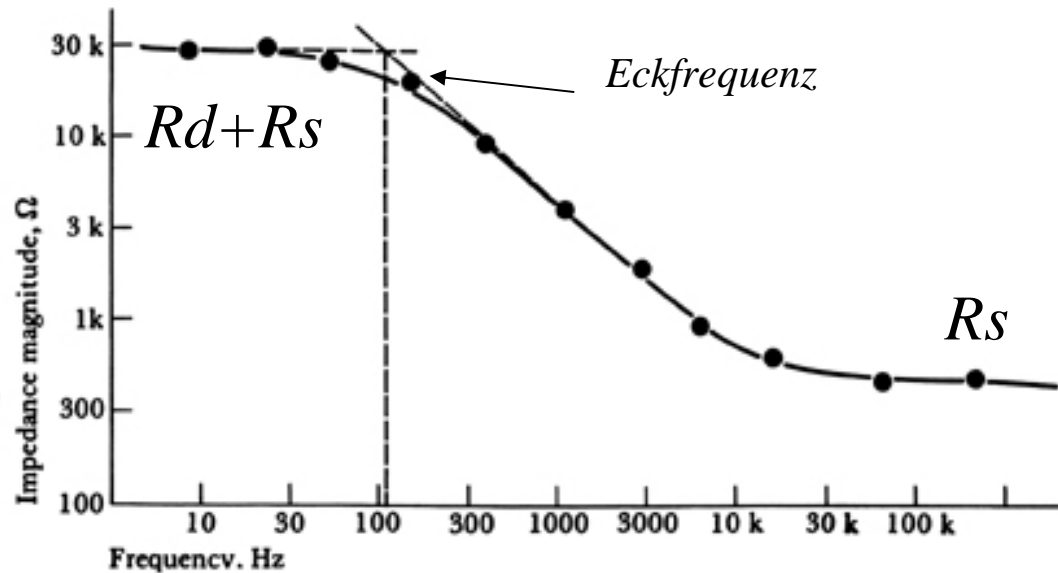
*Beispiel: Ag-AgCl werden genutzt, wenn Pt zur Stimulation genutzt werden.*



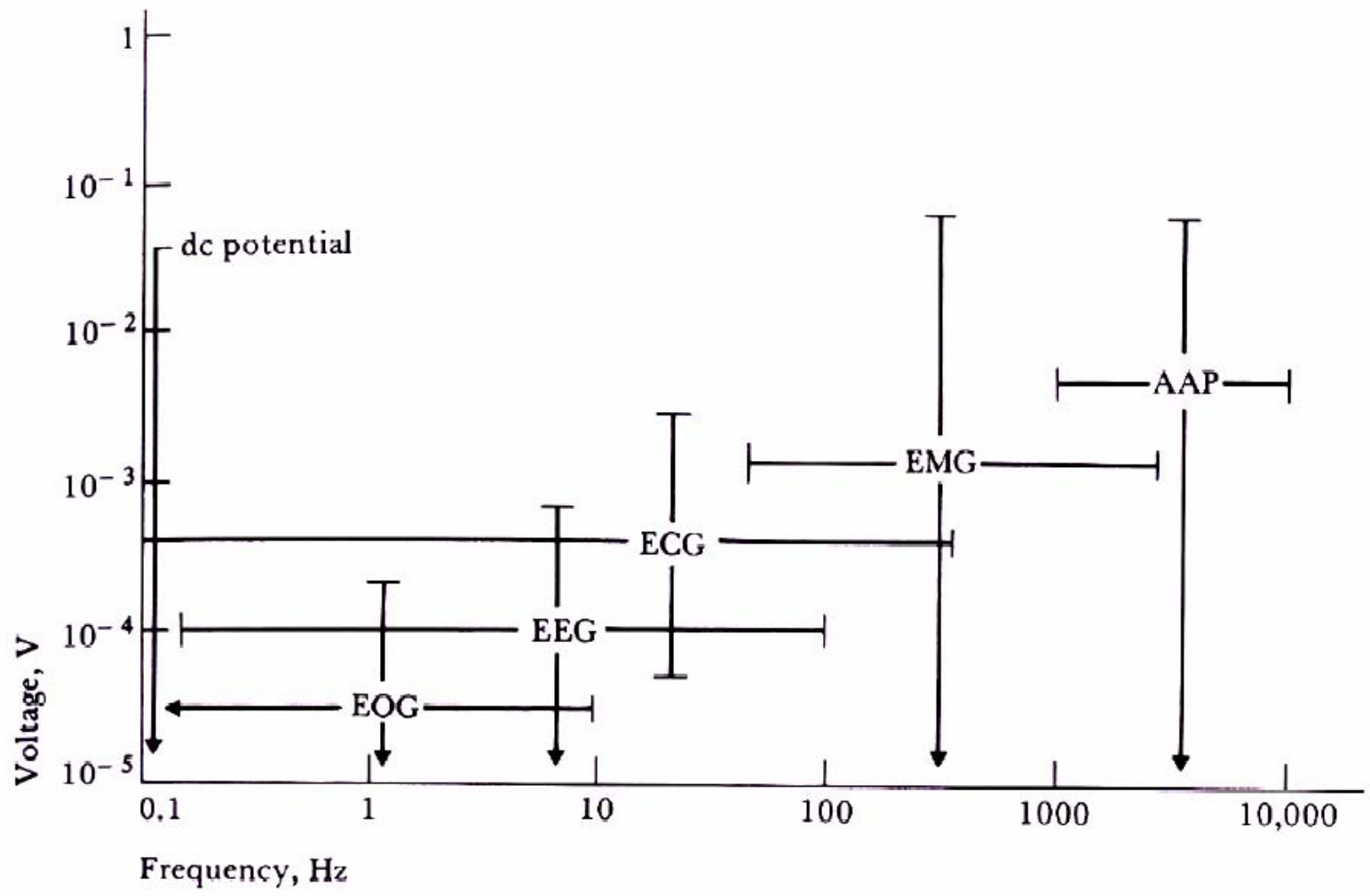
# Schaltkreis - Modell



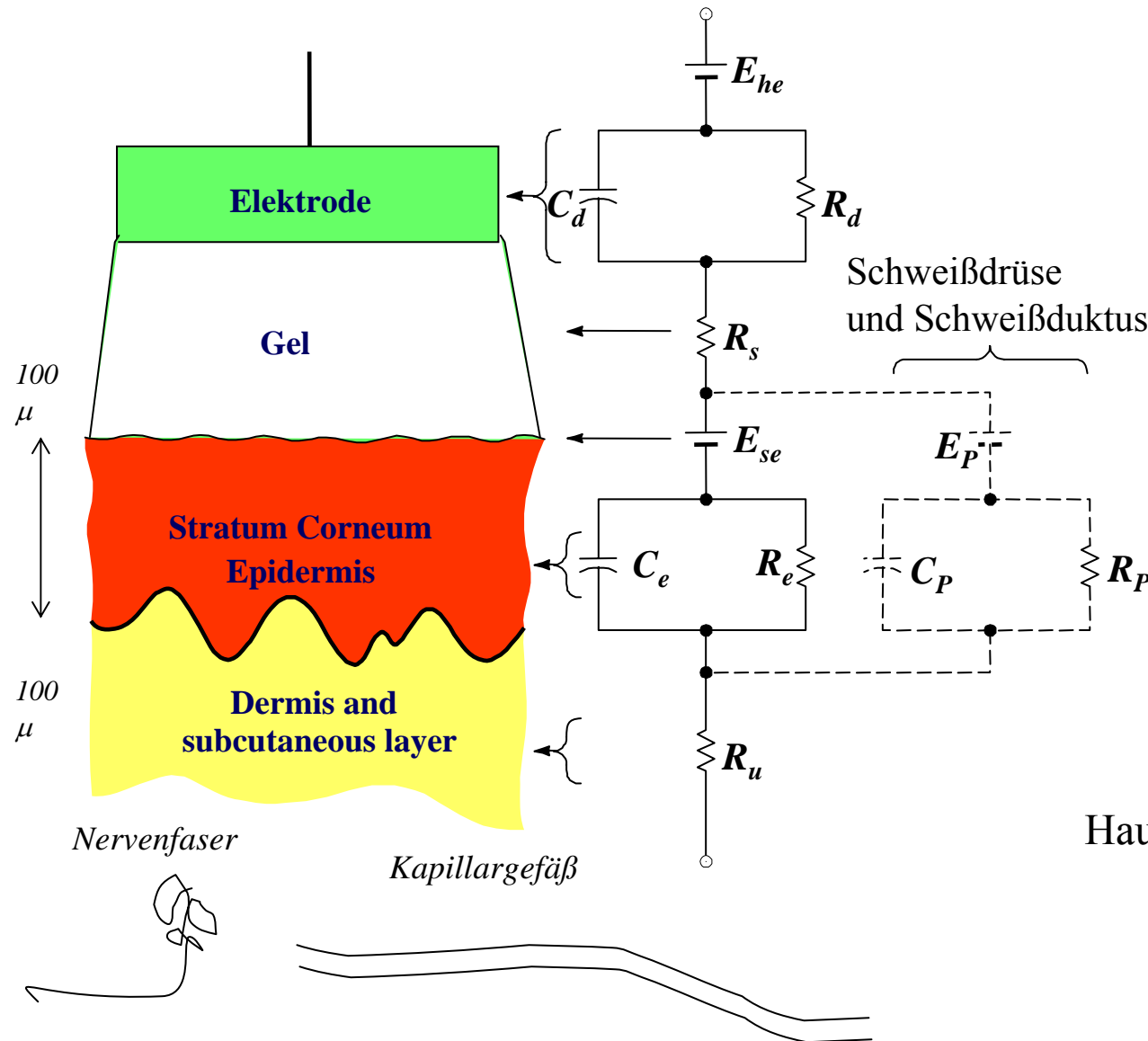
- $C_d$  : Kapazität vom Übergangsbereich Elektrode – Elektrolyte
- $R_d$  : Widerstand vom Übergangsbereich Elektrode – Elektrolyte
- $R_s$  : Widerstand vom Elektrodenanschluss
- $E_{cell}$  : Zellenspannung der Elektrode



Frequenzgang



# Elektroden – Haut - Übergang



*Veränderter Hautzustand durch (oder Medikamenten induziert): produzierte Poren mittels Laser, Ultraschall oder über Iontophorese*

Hautimpedanz bei 1cm<sup>2</sup> :Fläche.  
 200kΩ @1Hz  
 200 Ω @ 1MHz

# Bewegungsartefakte

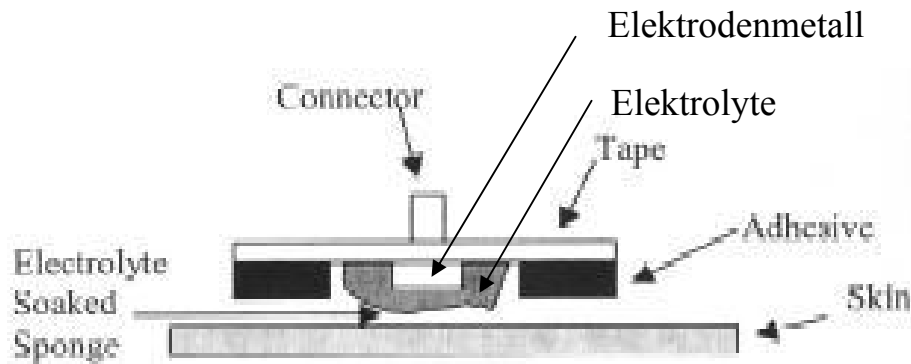
## Warum

Wenn die Elektrode sich gegenüber dem Elektrolyten bewegt, so ändert sich die Ladungsverteilung im Grenzbereich und bewirkt dabei eine Potenzialänderung. Dies ändert zeitlich das Halbzellenpotential.

## Was passiert

Bewegt sich eine Elektrode bezogen auf die andere Elektrode in einer paarweise angeordneten Elektrodenkonfiguration im Elektrolyt, so entsteht eine Potentialdifferenz. Diese Differenz wird als Bewegungsartefakt bezeichnet. Sie ist somit eine "Rauschquelle", die sich dem Biosignal überlagert.

# Körperoberflächenelektroden

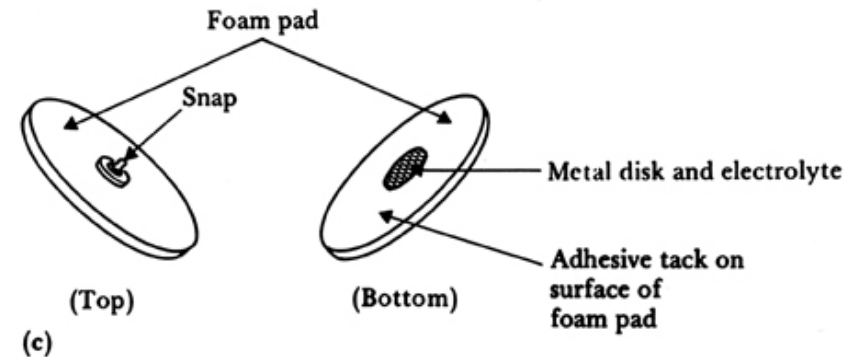
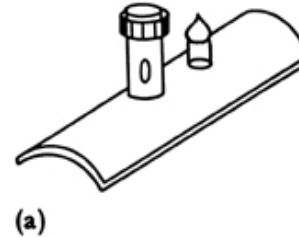


1. Metallplattenelektroden  
(historisch)
2. Saugelektroden  
(historisch interessant)
3. bewegliche Elektroden
4. Flexible Elektroden

# Häufig benutzte Elektroden zur Ableitung von Biosignalen

## Metallplattenelektroden

- Große Oberfläche, schon lange bekannt, überwiegend zur Messung vom EKG eingesetzt.
- Metalloberfläche aus Edelmetall, mit Platin oder Gold beschichtet.
- EMG, EEG
- kleiner Durchmesser.
- Bewegungsartefakte
- Einmalelektroden aus flexiblen Material (Schaumstoff), günstig!



(a) Metallplattenelektroden, einsetzbar auch an Gliedermaßen.

(b) Metallplattenelektroden (mit Klebeband befestigt).

(c) Einmalelektroden aus weichem Material, oft beim EKG

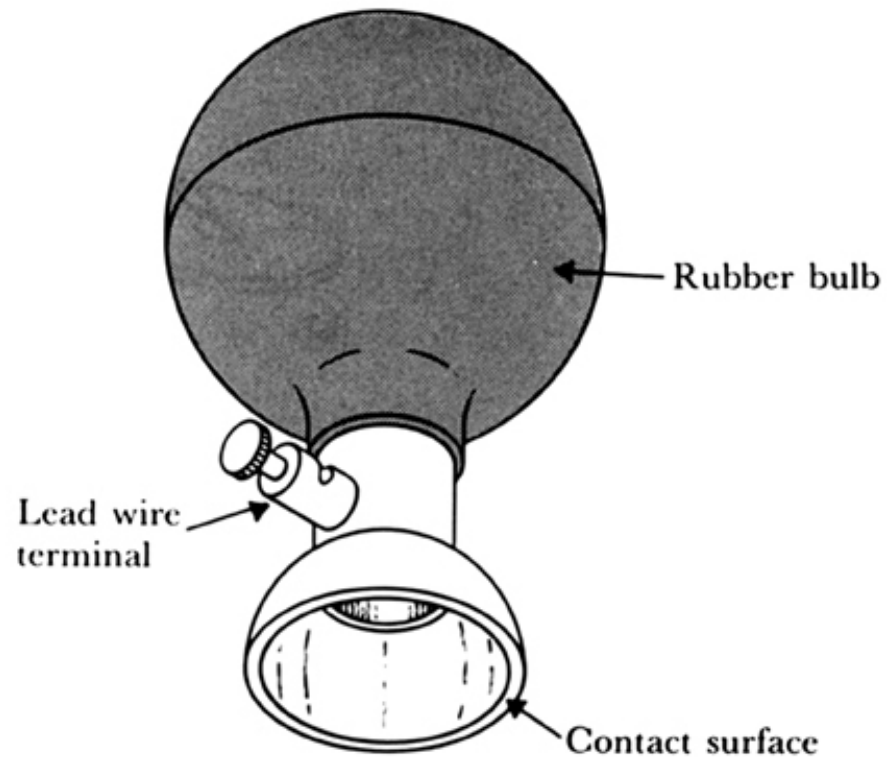
# Häufig genutzte Elektroden zur Ableitung von Biosignalen

## Saugelektrode

- ohne Gurte und Klebemittel verwendbar
- vornehmlich zur Brustwandableitung - EKG
- nur kurze zeitliche Nutzung möglich

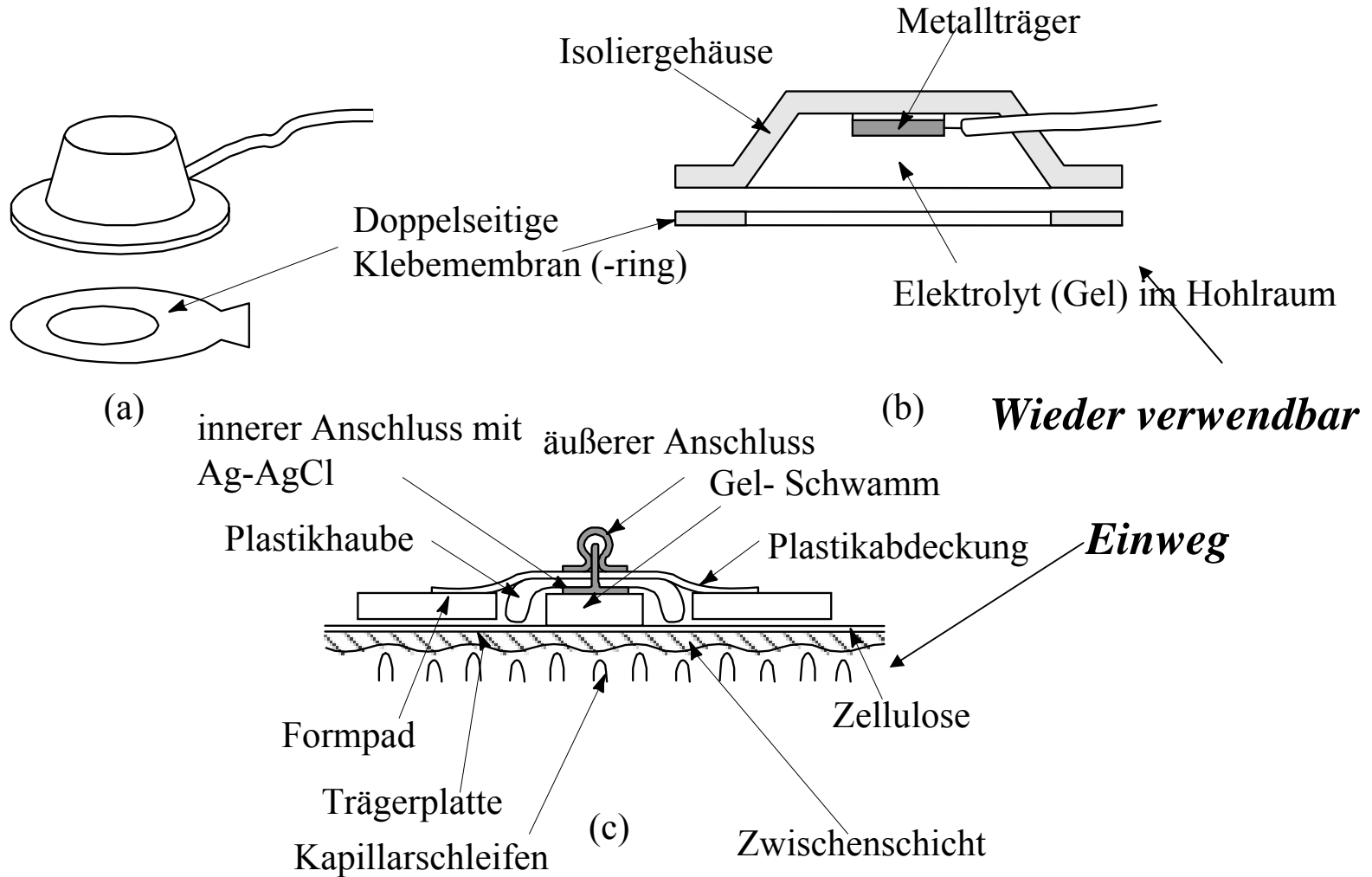
## Floating Elektroden

- zurückgesetzte Metallplatte
- Kontaktfläche schwimmt im Elektrolyt/Gel
- kein Kontakt mit der Hautoberfläche
- reduzierte Bewegungsartefakte



Saugelektrode

# Häufig benutzte Elektroden zur Ableitung von Biosignalen



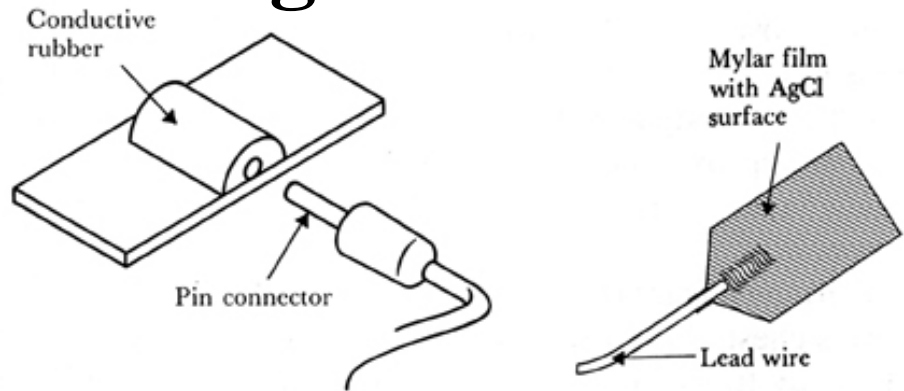
## Klebelektroden



# Häufig benutzte Elektroden zur Ableitung von Biosignalen

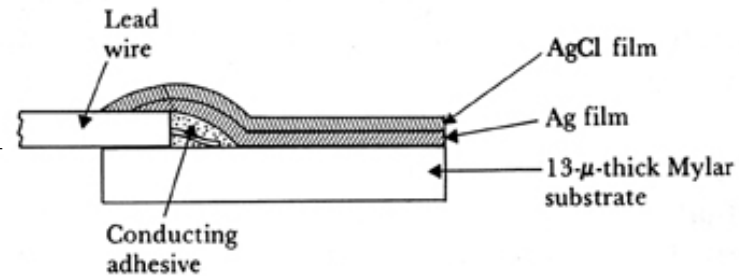
## Flexible Elektroden

- Körperkonturen (Patient) oft nicht regelmäßig (eben, kugelförmig, etc.).
- mech. steife Elektroden können sich nicht anpassen.
- Spezialelektroden bei Kindern
- Material :
  - Polymere oder Nylon mit Ag,
  - mit Kohlenstoff durchsetzter Silikongummi (Mylar film)



(a)

(b)



(c)

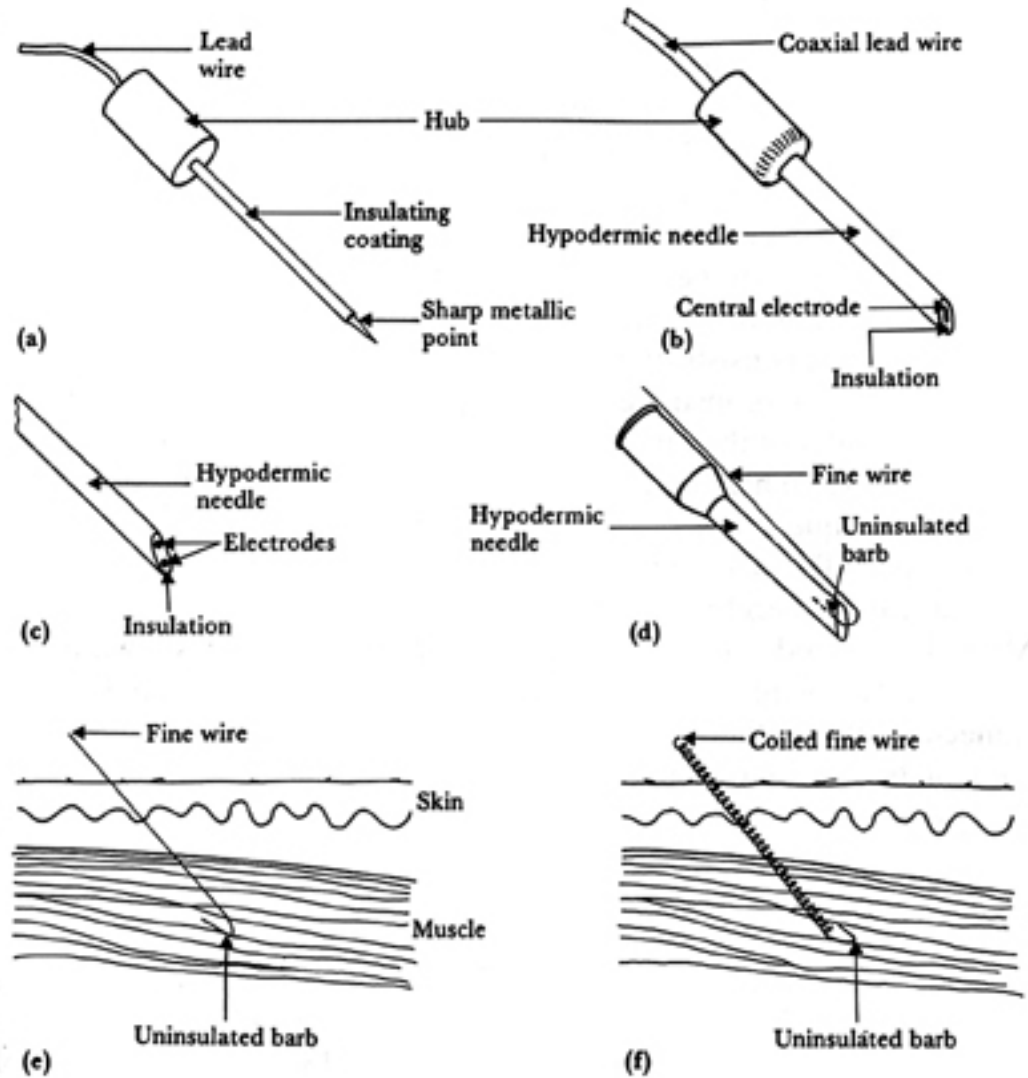
(a) Elektrode mit Kohlenstoff durchsetztem Silikongummi.

(b) Flexible Oberflächenelektrode für Neugeborene.

(c) Schnittbild zur flexiblen Elektrode (b).

# Invasive Elektroden

Nadel- und Drahtelektroden für Perkutanmessung von Biopotentialen.



# Verstärker für Ableitungen von Biopotentiale

# Der Biopotentialverstärker

- Kleine Amplituden, niedrige Frequenzen, Signalüberlagerungen umgebungsbedingter und biologischer Quellen, etc.
- Wichtige Eigenschaften für Messsysteme:
  - hohe Verstärkung
    - Hohe Differenzverstärkung, niedrige Auflösung → hoher CMRR
  - Hoher Eingangswiderstand
  - geringes Eigenrauschen
  - Stabiles Temperatur- und Spannungsverhalten
  - Elektrische Sicherheit (MPG, VDE) , Galvanische Trennung, Schutzisoliert

Biopotential	Distinguishing Feature	Exclusive Amplifier Design Consideration	Additional Features Desired
ECG <sup>a</sup>	1 mV signal, 0.05–100 Hz BW <sup>b</sup>	Moderate gain, BW, noise, CMRR, input $R$	Electrical safety, isolation, defibrillation protection
EEG	Very small signal (microvolts)	High gain, very low noise, filtering	Safety, isolation, low electrode–skin resistance
EMG	Higher BW	Gain and BW of op amps	Postacquisition data processing
EOG	Lower frequencies, small signal	dc and low drift	Electrode–skin junction potential, artifact reduction

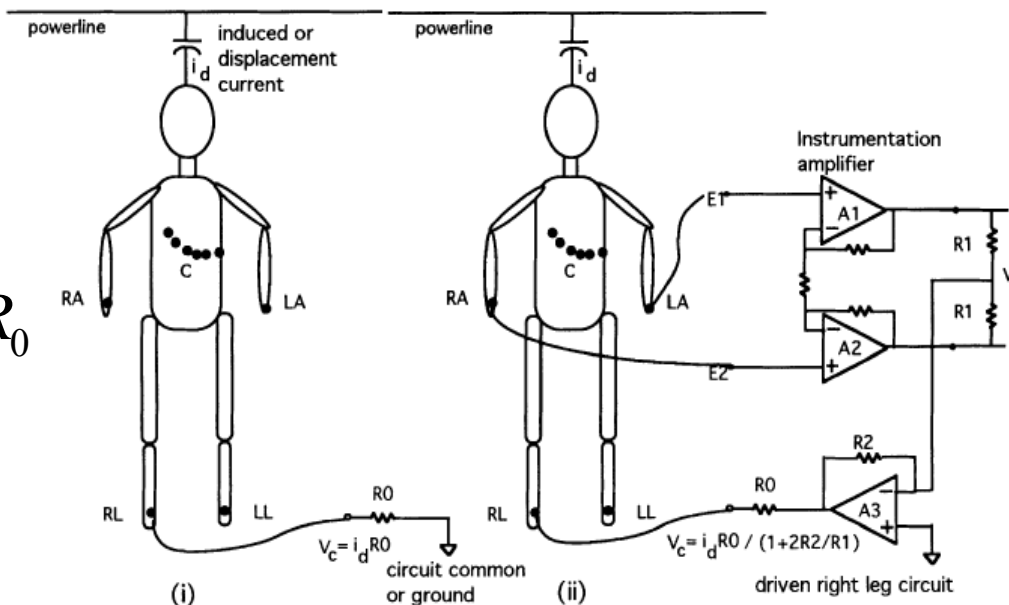
# Anwendungsbezogene Anforderungen

- EKG Verstärker
  - Geringe Eckfrequenzen, von ca. 0.05 Hz bis 100 Hz
  - Schutz und Sicherheit: Leckstrom (Patient) kleiner als  $10\mu\text{A}$
  - Galvanische Trennung zum Stromnetz und Schutzisoliert
  - Sicherheit gegen Überspannungen
- EEG Verstärker
  - Potentiale im  $\mu\text{V}$ -Bereich, hohe Auflösung und hohe Verstärkung
  - Komponenten müssen geringes thermisches Rauschen und Spannungsstabilität haben
  - sonst wie beim EKG
- EMG Verstärker
  - geringe Verstärkung ist oftmals ausreichend
  - Nachbearbeitung ist oft notwendig (z.B. anpassen + summieren)
- EOG Verstärker
  - Hohe Verstärkung mit guter Auflösung im unteren Frequenzbereich bzw. sogar DC
  - DC-Driften  $\rightarrow$  Elektroden müssen sehr sorgfältig ausgewählt und platziert werden
  - DC-Driften und Spannungsabgleich im Stromkreis sind oft aktiv nötig

# Reduzierung der Netzeinwirkung

- Netzurückwirkungen der Spannungsversorgung mit Netzfrequenz von 50 bzw. 60 Hz ist überall vorhanden
- Leitungskapazitäten führen zu Überlagerungen im System
- Die Überlagerungen könnten alle eliminiert werden, wenn die Verstärker ideale Eigenschaften hätten.
- oft wird durch geschickt ausgeführte Schaltung eine Erhöhung des CMRR erreicht (common mode rejection rate – Gleichtaktstörunterdrückungsfaktor)
  - der mittlere Wert von  $V_{CM}$  wird invertiert und rückeingespeist, so hebt sich die Störung im Mittel auf.

$$V_{CM} = i_D R_0$$



$$V_{CM} = \frac{i_D R_0}{1 + 2 \frac{R_2}{R_1}}$$