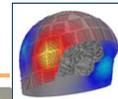


Kapitel 2 - Aufnahme bioelektrischer Potentiale und biomagnetischer Felder

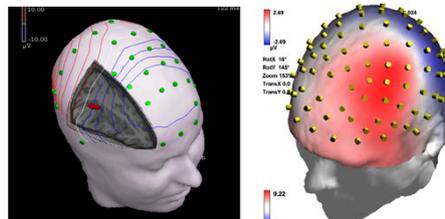
2.4 MESSUNG BIOELEKTRISCHE POTENTIALE

Messung bioelektrische Potentiale

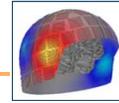
2.4.1 Messung bioelektrische Potentiale



Messung der Potentialdifferenzen auf der Körperoberfläche



2.4.2 Elektroden (1)



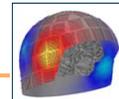
Unterteilung

- Stimulationselektroden
- Elektroden für Messungen

Zielstellung für Messung

Möglichst störungs- und verzerrungsfreie Erfassung der elektrischen Signale des Körpers.

2.4.2 Elektroden (2)



Einteilung (1)

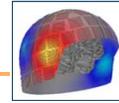
Nach Applikation

- Invasiv
- Nicht-invasiv

Nach Art der Nutzung

- Oberflächenelektroden
- Nadelelektroden
- Mikroelektroden

2.4.2 Elektroden (3)

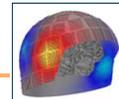


Einteilung (2)

Nach Art der Elektrode

- Polarisierbare Elektrode (kapazitive Elektrode, 1. Art): Elektronen treten als Ladungsträger durch die Phasengrenze auf (Edelmetalle).
- Nichtpolarisierbare Elektrode (Ionen-Elektrode, 2. Art): Ionen treten als Ladungsträger durch die Phasengrenze auf (Ag/AgCl).

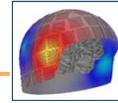
2.4.2 Elektroden (4)



Haut (1) – Kontaktstelle für Oberflächenelektroden

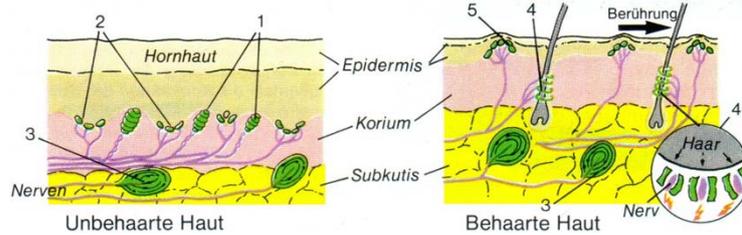
- Umhüllung des Körpers mit ca. 1,5-2 qm
- Passiver (mechanischer und chemischer) und aktiver (Infektionsabwehr) Schutz
- Schutz vor ungewolltem Wasserverlust
- Temperaturregulation durch Durchblutung (zentral reguliert) sowie gezielte Wasserabgabe (Schwitzen)
- Blutreservoir: Hautblässe bei Kreislaufzentralisation
- Sekretion von Talg
- Abgabe von Schlackenstoffen
- Atmungsorgan

2.4.2 Elektroden (5)



Haut (2)

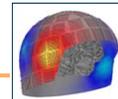
- Hautdicke: je nach Körperregion 0,2 mm (Augenlid) bis 6 mm (Fußsohle)
- Sensorischer Input (Druck, Berührung, Vibration Temperatur, Schmerz)



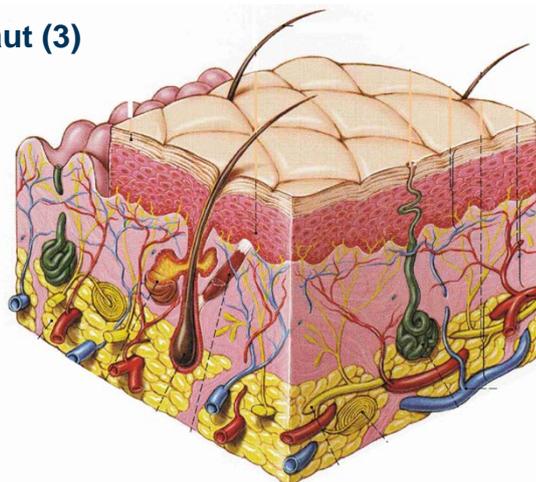
Mechanorezeptoren: Meissnersche Körperchen (1), Merkel-Zellen (2), Pacinische Körperchen (3), Haarwurzelrezeptoren (4), Tastscheiben (5)

[dtv-Atlas der Physiologie]

2.4.2 Elektroden (6)



Haut (3)



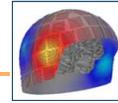
Oberhaut (Hornschicht und Epidermis)

Lederhaut (Corium)

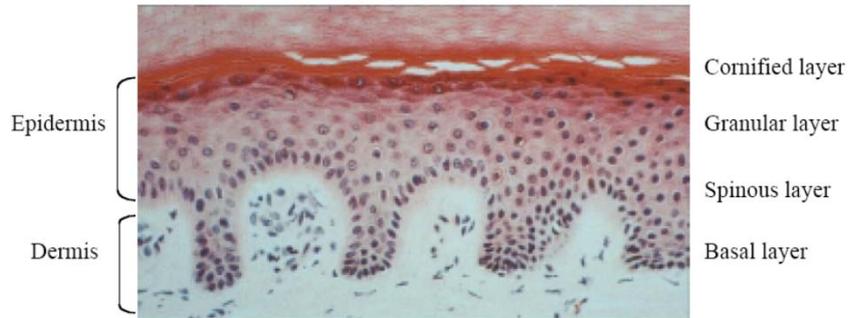
Unterhaut (Subcutis, Fettgewebe)

[Weitz, B. (1998) Atlas der Anatomie. Weltbild Verlag, München]

Messung bioelektrische Potentiale
2.4.2 Elektroden (7)

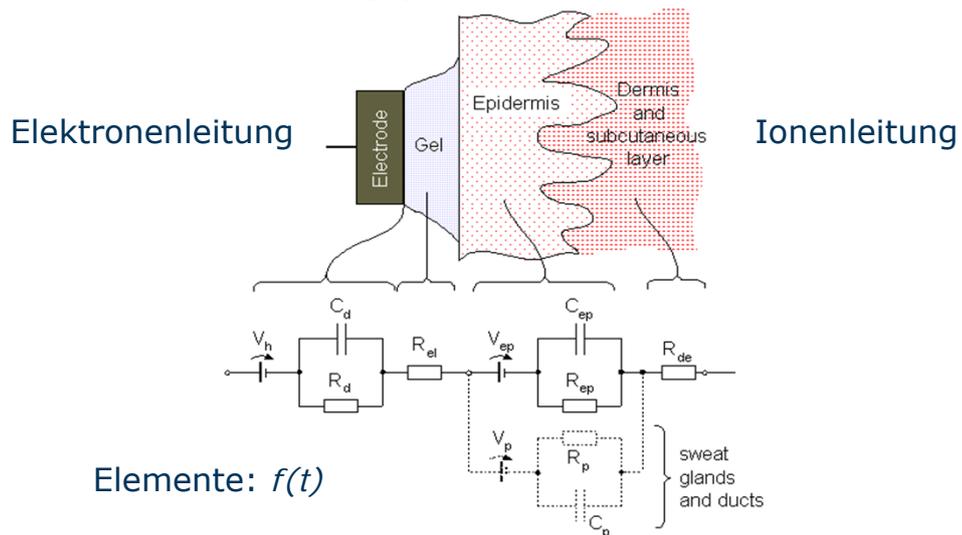


Haut (4)



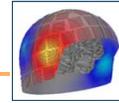
Gewebeschnitt

2.4.2 Elektroden (8)



Elemente: $f(t)$

2.4.2 Elektroden (9)

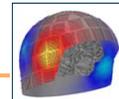


Elektrische Doppelschicht (EDL) (1)

Elektrische Oberflächenladungen entstehen durch Wechselwirkungen der Grenzfläche mit der angrenzenden Flüssigkeit

Elektrische Grenzschicht/Doppelschicht (EDL) entsteht durch Wechselwirkung dieses Oberflächenpotentials mit der Flüssigkeit

2.4.2 Elektroden (10)

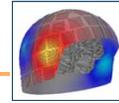


Elektrische Doppelschicht (EDL) (2)

Erstes Modell: Helmholtz 1879:

- Gegenionen sammeln sich an der Phasengrenze (Plattenkondensatormodell).
- Linearer Abfall im Potential über die Entfernung.

2.4.2 Elektroden (11)

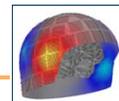


Elektrische Doppelschicht (EDL) (3)

Zweites Modell: Gouy (1910) und Chapman (1913) unabhängig voneinander entwickelt:

- Gegenionen verteilen sich aufgrund der Wärmebewegung diffus im Raum.
- Potentialabfall ist exponentiell.

2.4.2 Elektroden (12)

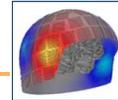


Elektrische Doppelschicht (EDL) (4)

Drittes Modell: Stern (1924):

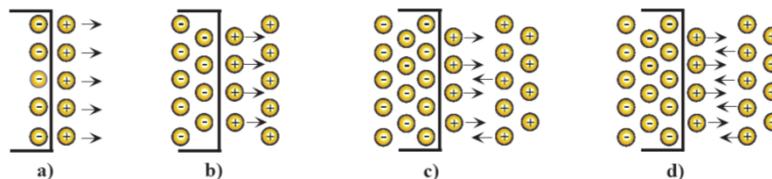
- Kombination des 1. und 2. Modells zum Gouy–Chapman–Stern (GCS) Modell.
- Teil der Gegenionen ist fest an der Oberfläche des Festkörpers (Stern–Schicht oder Helmholtz–Schicht oder Adsorptionsschicht) mit dem zugehörigen Sternpotential.
- Dann folgt Scherschicht mit eingeschränkt beweglichen Ionen.
- Restliche Gegenionen sind wegen Wärmebewegung diffus verteilt (diffuse Schicht).

Messung bioelektrische Potentiale
2.4.2 Elektroden (13)



Entstehung der elektrischen Doppelschicht

- a) Ionenstrom nach Eintauchen der Elektrode in die Lösung.
- b) Ansammlung von Ionen in der Lösung.
- c) Ionenströme unterschiedlicher Größe in beide Richtungen.
- d) Gleichgewichtszustand, wenn beide Ionenströme gleich groß sind.



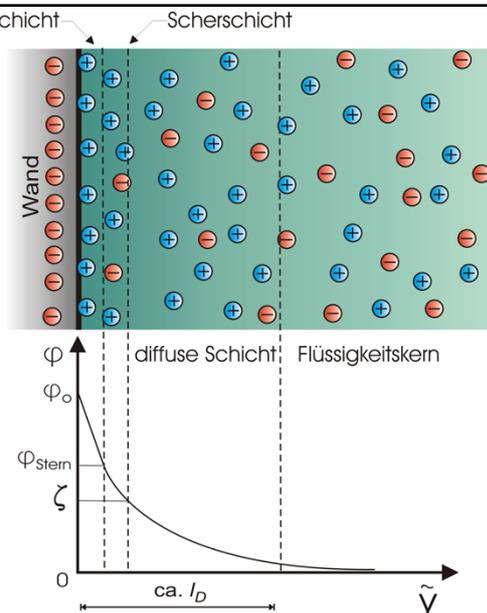
2.4.2 Elektroden (14)

Elektrische Doppelschicht (1)

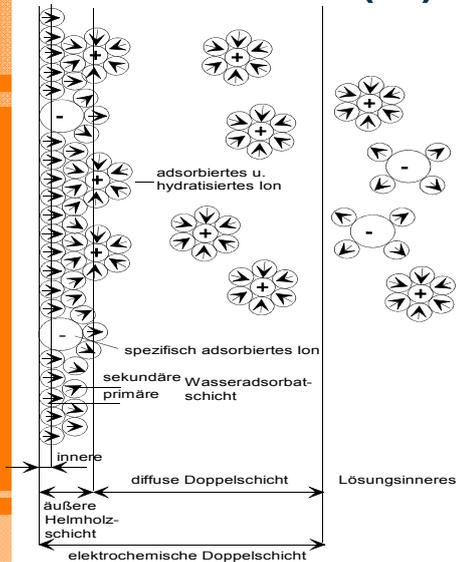
Dicke:
 Debye Länge l_D

$$l_D = \sqrt{\frac{\epsilon_r \epsilon_0 RT}{2F^2 I c}}$$

R – Gaskonstante
 F – Faradaykonstante
 I – Ionenstärke
 c – molare Konzentration



2.4.2 Elektroden (15)



Elektrische Doppelschicht (2)

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

C_0 Gesamtkapazität
 C_1 Kapazität der Adsorptionsschicht
 C_2 Kapazität der diffusen Schicht

2.4.2 Elektroden (16)

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Elektrische Doppelschicht (3)

C_0 Gesamtkapazität
 C_1 Kapazität der Adsorptionsschicht (Helmholtz)
 C_2 Kapazität der diffusen Schicht (Gouy–Chapman)

Grenzfälle

- für verdünnte Lösungen
 $C_2 \ll C_1$ somit $C_0 \cong C_2$
- für konzentrierte Lösungen
 $C_1 \ll C_2$ somit $C_0 \cong C_1$

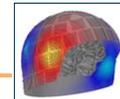
2.4.2 Elektroden (17)

Standardpotentiale ausgewählter Elektrodenmaterialien (bei 25°C)

Elektrodenmaterial	Elektrodenpotential
Aluminium (Al+++)	-1,66 V
Titan (Ti++)	-1,63 V
Chrom (Cr+++)	-0,70 V
Eisen (Fe++)	-0,44 V
Nickel (Ni++)	-0,14 V
Wasserstoff (H+)	0,0 V
Kupfer (Cu++)	+0,34 V
Kupfer (Cu+)	+0,52 V
Silber (Ag+)	+0,80 V
Platin (Pt++)	+1,20 V
Gold (Au+)	+1,70 V

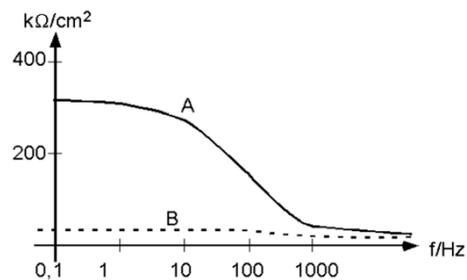
Messung bioelektrische Potentiale

2.4.2 Elektroden (18)

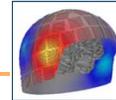


A: polarisierbare Elektroden (1. Art, Au/Fe/...)

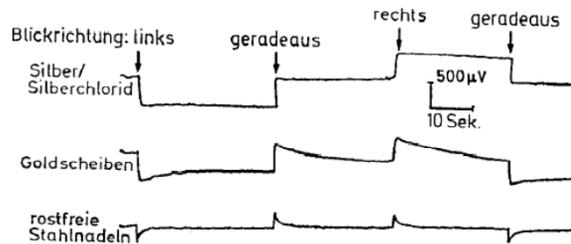
B: nichtpolarisierbare Elektroden (2. Art, Ag/AgCl)



Messung bioelektrische Potentiale
2.4.2 Elektroden (19)

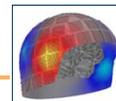


Ableitungen von Augenbewegungen mit verschiedenen Elektroden.

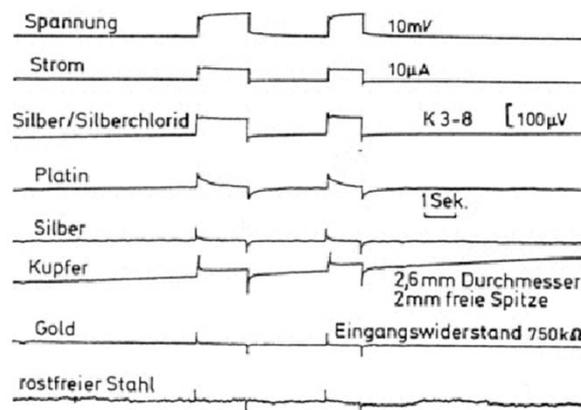


[Cooper, Osselton & Shaw, 1984]

Messung bioelektrische Potentiale
2.4.2 Elektroden (20)



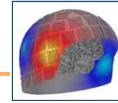
Signalqualität mit verschiedenen Elektroden.



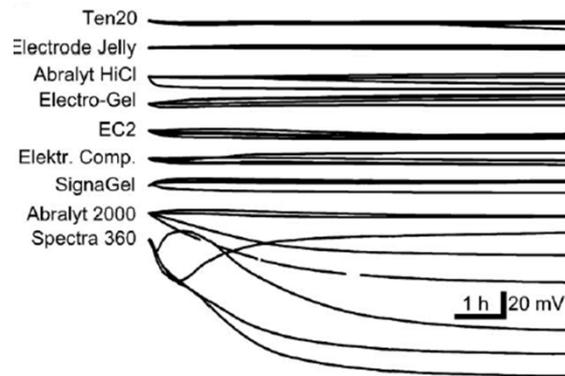
[Cooper, Osselton & Shaw, 1984]

Messung bioelektrische Potentiale

2.4.2 Elektroden (21)



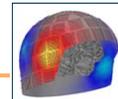
Pastenstabilität



[Tallgren, 2005]

Messung bioelektrische Potentiale

2.4.2 Elektroden (22)



Salzkonzentration in Pasten

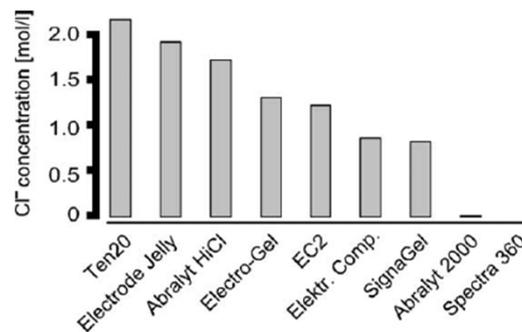
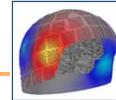


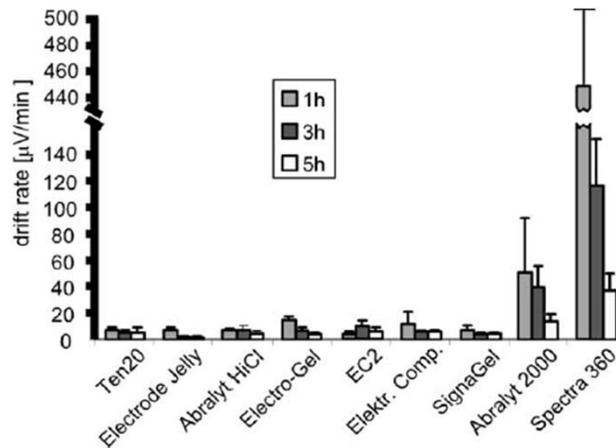
Fig. 6. Concentrations of chloride in the nine electrode gels. Note presence of a low amount (15 ± 3 mM, $n = 7$) of Cl^- in Abralyt 2000.

[Tallgren, 2005]

Messung bioelektrische Potentiale 2.4.2 Elektroden (23)

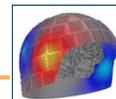


Pastendrift rate

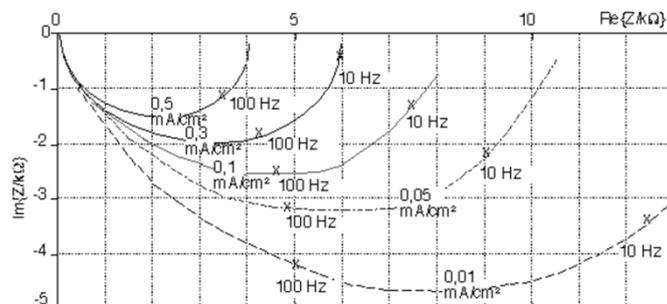
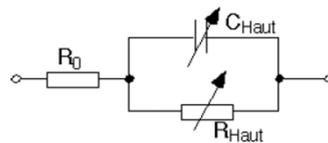


[Tallgren, 2005]

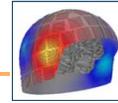
Messung bioelektrische Potentiale 2.4.2 Elektroden (24)



Hautkontakt: ESB und Ortskurven



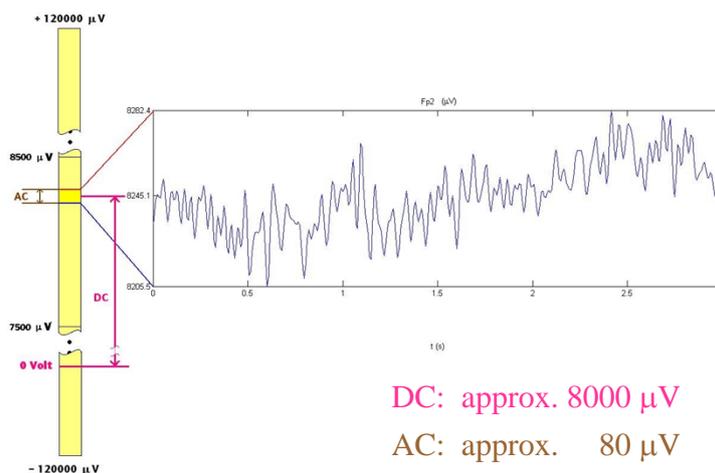
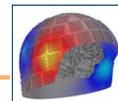
2.4.2 Elektroden (25)



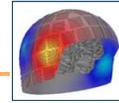
Messung von langsamen Potentialen (infra-slow)

- Ausschließlich Ag/AgCl-Elektroden zu verwenden, da diese nur kleine eigene DC-Signalamplituden produzieren und wenig Elektrodendrift zeigen.
- Mit Elektroden erster Art (Gold, Silber, Stahl, ...) können praktisch keine infra-slow-Messungen durchgeführt werden.

2.4.2 Elektroden (26)



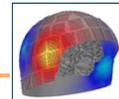
2.4.2 Elektroden (27)



Praktische Aspekte

- Gesinterte Ag/AgCl-Elektroden sind mehrfach benutzbar und für Routinemessungen geeignet. Auch gesinterte Elektroden haben eine begrenzte Lebensdauer.
- Beschichtete Ag/AgCl-Elektroden liefern die höchste Signalqualität, sind jedoch nur einmal einsetzbar und müssen dann neu beschichtet (chloriert) werden.
- Weiterhin ist grundsätzlich darauf zu achten, dass auch die Ag/AgCl-Elektroden aus wirklich identischem Elektrodenmaterial bestehen! Am besten nur eine Sorte, also baugleiche Elektroden verwenden.
- Auch neuwertige Ag/AgCl-Elektroden gleicher Bauart können unterschiedliche elektrische Eigenschaften aufweisen.

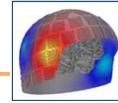
2.4.2 Elektroden (28)



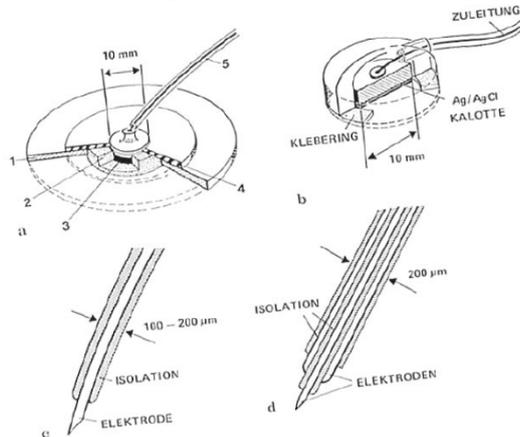
Praktische Aspekte

- Sorgfältiges Anlegen der Elektroden, Elektrodenübergangsimpedanz minimieren
- Reinigen der Kopfhaut
- Verwenden gleichgroßer Mengen von Elektrodenpaste für alle Elektroden
- Mäßiges Andrücken der Elektrode, Überprüfung auf richtigen "Sitz"
- Zusätzliches Fixieren von problematischen Elektroden (z.B. am Mastoid) durch Klebeband, Verwendung von Kleberingen o.ä.
- Elektrodenhaube: richtige Haubengröße, guter Sitz
- Haare vorsichtig zur Seite schieben, damit möglichst wenig Haare zwischen Elektrodenoberfläche und Kopfhaut liegen
- Elektrodengel muss Raum zwischen Kopfhaut und Elektrode vollständig ausfüllen
- Auslaufen oder Austrocknung von Elektrodengel vermeiden
- Impedanzcheck

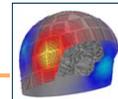
2.4.2 Elektroden (29) - EEG



Ausführung von Elektroden (1)



2.4.2 Elektroden (30)



Ausführung von Elektroden (2)

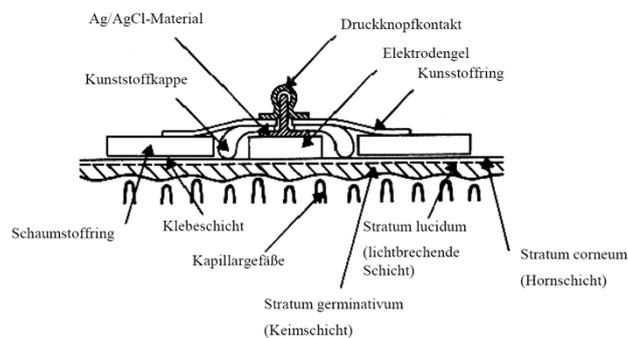
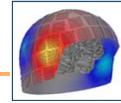
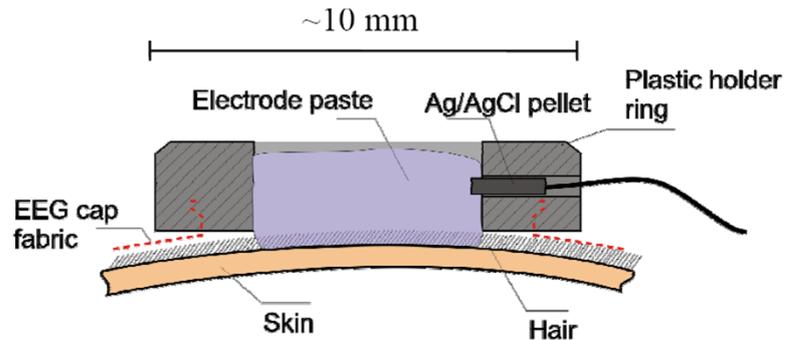


Abb. 3.4: Prinzipieller Aufbau einer Klebeelektrode für elektrische Biosignale (Schnittbild).
 Nach [Web95, S. 257].

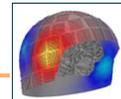
2.4.2 Elektroden (31)



Ausführung von Elektroden (3)



2.4.2 Elektroden (32)



Elektrodenbauformen

- **Pilz oder z- Elektroden**, die unter Gummibändern festgeklebt werden
- **Stiftelektroden** mit Kunststoff- oder Plexiglashalter
- Elektrodenkopf mit **Flanell oder Leinen** bezogen und mit physiologischer Kochsalzlösung
- **Klebelektroden** - störarm
- **Nadelelektroden** - Hoher Leitungswiderstand, artifizielle Amplitudenerniedrigung
- **Spezialelektroden**

2.4.2 Elektroden (35)

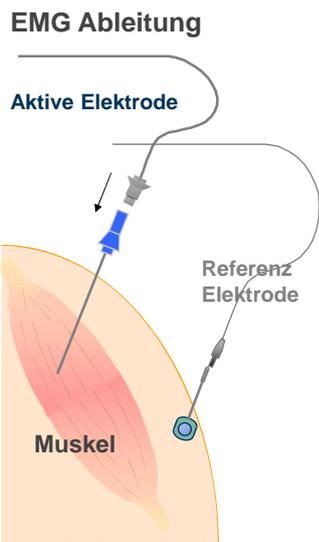


Grundlagen der medizinischen Messtechnik (SS 13)
 Prof. J. Häuelsen, FG Biomedizinische Technik
 Kap. 2 - 37



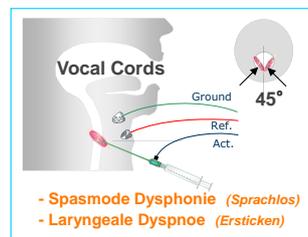
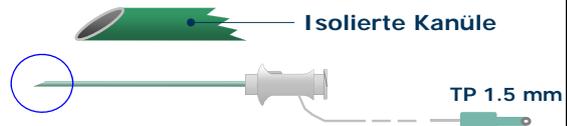
ILMENAU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2.4.2 Elektroden (36)



DHN Elektroden werden in vielen Behandlungen der Spastizität benötigt, bei denen Medikamente injiziert werden.

Spezialnadel:
 EMG + Injektionskanüle

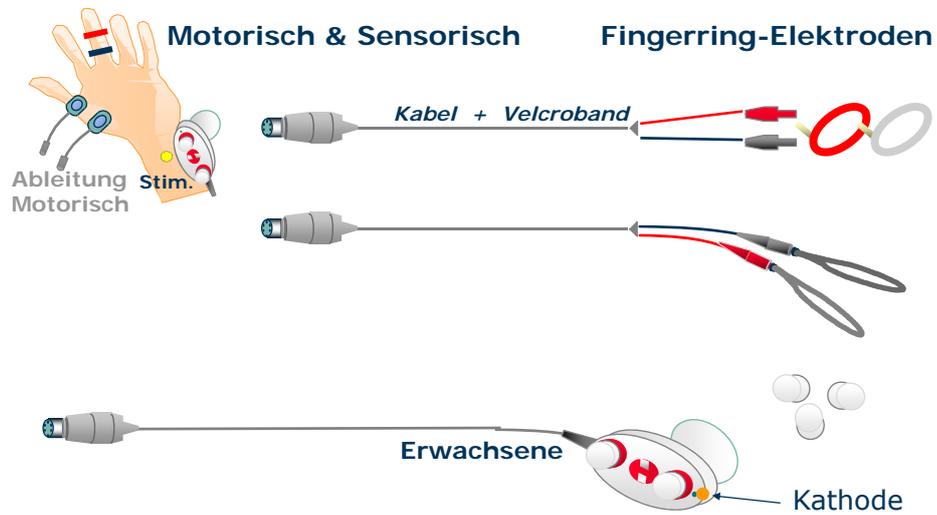


Grundlagen der medizinischen Messtechnik (SS 13)
 Prof. J. Häuelsen, FG Biomedizinische Technik
 Kap. 2 - 38

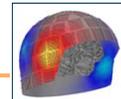


ILMENAU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2.4.2 Elektroden (37)



Messung bioelektrische Potentiale 2.4.2 Elektroden (38)



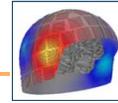
St Mark's Elektrode

Transanale Stimulation Nervus pudendus mittels Fingerelektrode
(Messung Evoziertes Potential) bei analer Inkontinenz



Erdung am Patientenbein und Arm des Arztes

Messung bioelektrische Potentiale
2.4.2 Elektroden (39)



Einweg-Schwamm-Elektroden

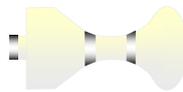
Vaginale Elektrode (einweg)



Anale Sphinkter-Elektrode (einweg)



Anal Plug Elektrode



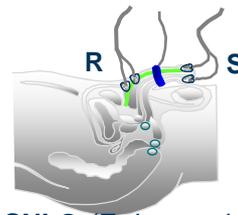
2.4.2 Elektroden (40)

Erdung bei Stimulation: zwischen Stimulation und Ableitung

Sensorisch

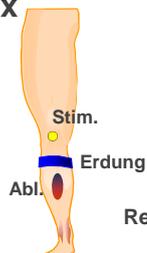


Hand / Fuß
 Rechts / Links



SNLG (Erdung zwischen S & R)

H-Reflex



Rechts / Links

EMG - EP



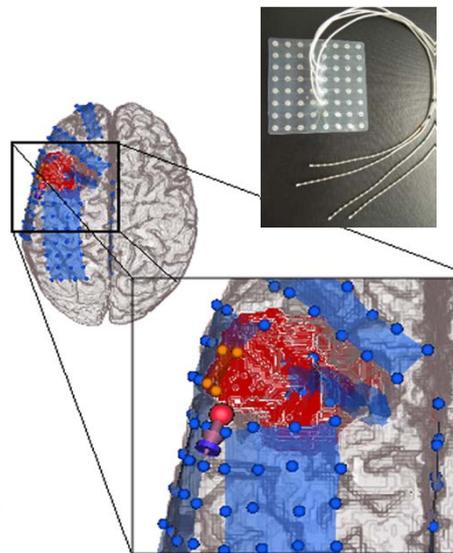
Arm / Bein
 Rechts / Links

2.4.2 Elektroden (41)

Invasive Elektroden (1)

ECoG Elektroden:

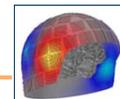
- Reguläre Gitter oder Streifen auf der kortikalen Oberfläche (subdural oder epidural)
- Tiefenelektroden
- Intracortical neurotrophic electrodes (Kennedy and Bakay, 1998): Axonen wachsen in Glassröhre mit innenliegenden Elektroden
- Aufnahme des Electrocorticogramms (ECoG): Aktivität der unmittelbar unter der Elektrode liegenden neuronalen Populationen.



[Rullmann et al. NI 2009]

Messung bioelektrische Potentiale

2.4.2 Elektroden (42)



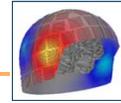
Invasive Elektroden (2)

ECoG Elektroden:

Aktivitätsarten

- Single-unit activity (SUA): Hochpassgefilterte extrazelluläre Aktivität ($> ca. 300 \text{ Hz}$) für Spikedetektion und Spikezuordnung zu einzelnen Neuronen
- Multi-unit activity (MUA): wie SUA aber ohne Spikezuordnung
- Local field potentials (LFP): Tiefpassgefilterte extrazelluläre Aktivität ($< ca. 300 \text{ Hz}$) soll synaptischen Input der neuronalen Populationen nahe der Elektrode reflektieren

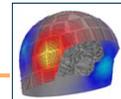
2.4.2 Elektroden (43)



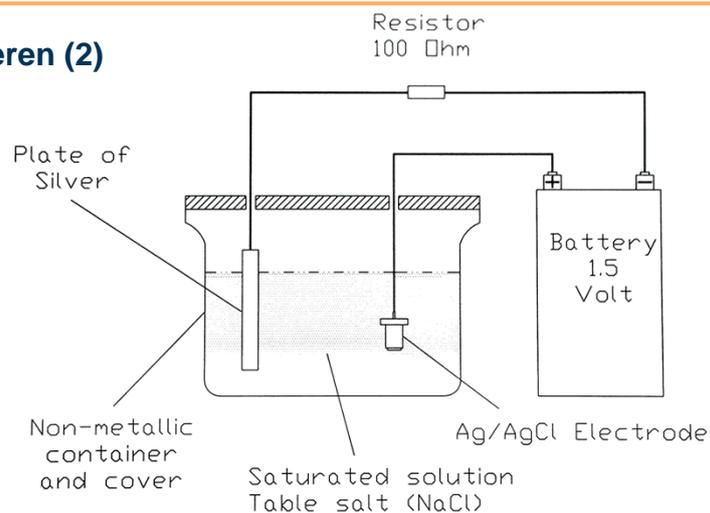
Chlorieren (1)

1. Gründlich reinigen (Spülmittel oder Silberreiniger).
2. Elektrode in dunklen, nichtmetallischen Behälter mit 5%iger NaCl-Lösung.
3. Chlorieren: Elektrode an (+) positive Klemme einer 1.5V Batterie, die andere an die (-) negative Klemme an. Schließen Sie einen 100 Ohm Widerstand mit der Elektrode in Serie und legen Sie für etwa 1 Minute Spannung an.
4. Die Elektrode, die chloriert wird, verfärbt sich dunkel, während sich an der anderen Elektrode Blasen bilden. Chlorieren Sie solange, bis sich die ganze Oberfläche gleichmäßig verfärbt hat.

2.4.2 Elektroden (44)

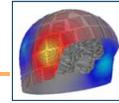


Chlorieren (2)



Messung bioelektrische Potentiale

2.4.2 Elektroden (45)



Schaltschemata

Bipolare Ableitung

- Potentialdifferenz zwischen 2 Elektroden
Verkoppelung in Serienschaltung □ Jede Elektrode ist mit B Eingang des einen und mit A Eingang des nächsten Verstärkerkanals verbunden

Unipolare Ableitung

- Verbindung aller Elektroden an der Kopfhaut jew. im A-Eingang eines Kanals mit gemeinsamer Bezugselektrode im B-Eingang

DRY ELECTRODES



Dry, passive electrode for fast and easy application
Biocompatible materials
Electrode shape for hair layer interfusion
Cap ensuring sufficient electrode adduction
Signal quality equivalent to Ag/AgCl „gold standard“
Compatibility with conventional biosignal amplifiers
Patient comfort

ELECTRODE CONCEPTS



	Ti / TiN	PU / TiN	Goldpin	Ag / AgCl
Top view				
Side view				

ELECTRODE CONCEPTS



	Ti/TiN	PU/TiN	Gold Pin	Ag/AgCl
Top view				
Side view				
Substrate	Titanium	Polyurethane	Brass	Silver
Coating	Titanium Nitride	Titanium Nitride	Gold	Silver Chloride
Weight	0.05 g	0.73 g	2.21 g	0.61 g

CHARACTERIZATION



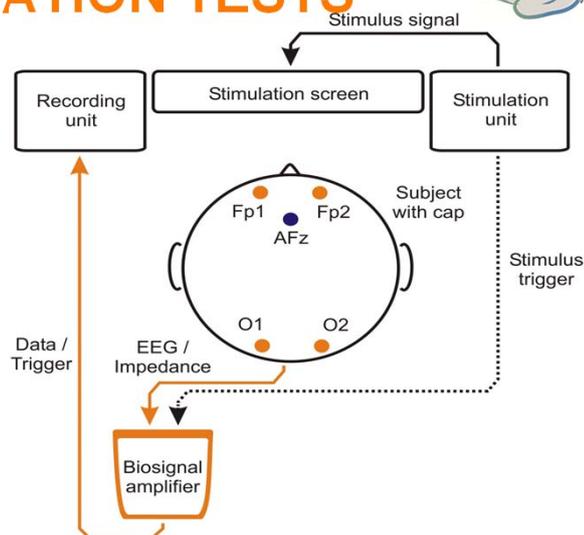
Impedance measurement

- Hewlett Packard 4192A LF
- 4-point methode
- 5 Hz – 10 kHz

Open circuit potential

- Agilent 34401A
- 150 minutes after immersion into NaCl solution
- 1 sample / second

APPLICATION TESTS



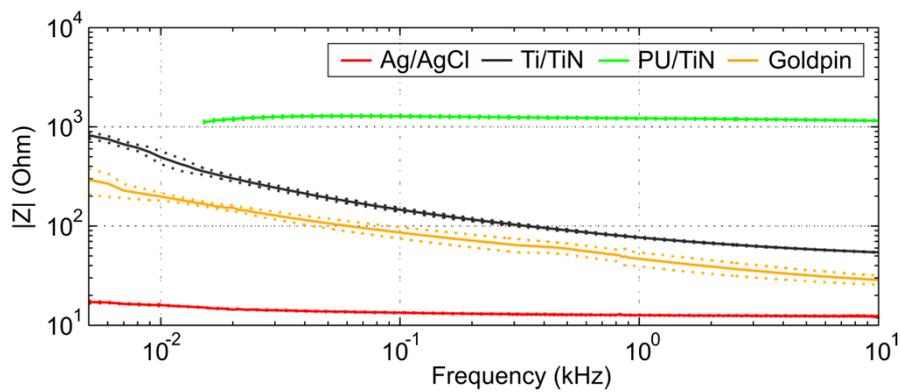
APPLICATION TESTS



Grundlagen der medizinischen Messtechnik (SS 13)
Prof. J. Häußlein, FG Biomedizinische Technik
Kap. 2 - 53



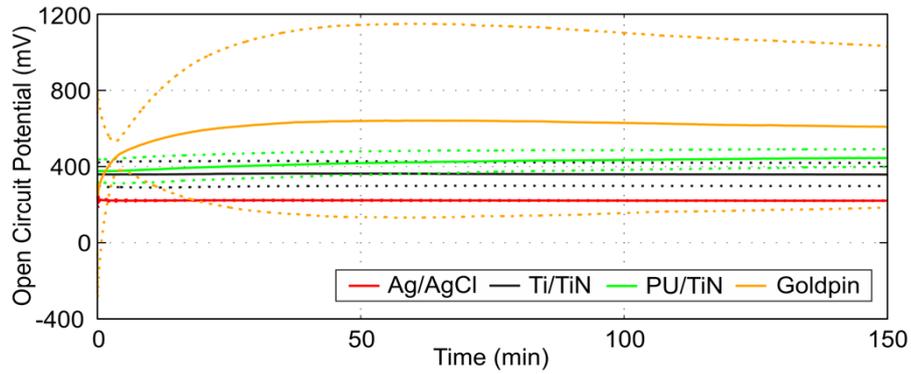
IMPEDANCE



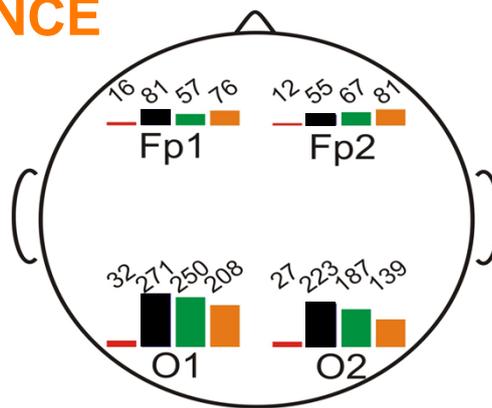
Grundlagen der medizinischen Messtechnik (SS 13)
Prof. J. Häußlein, FG Biomedizinische Technik
Kap. 2 - 54



OPEN CIRCUIT POTENTIAL



ELECTRODE-SKIN IMPEDANCE



all values
in kΩ



EEG TESTS



	EEG test	Ti/TiN	PU/TiN	Gold pin	Ag/AgCl
RMSD (μV)	Resting EEG	6.9 ± 3.4	5.3 ± 0.6	6.1 ± 2.0	4.6 ± 2.1
	Alpha Activity	4.2 ± 1.8	4.4 ± 0.2	3.6 ± 0.6	3.9 ± 2.0
	VEP	0.6 ± 0.7	0.7 ± 0.3	1.9 ± 0.5	0.7 ± 0.4
Correlation (%)	Resting EEG	24 ± 19	59 ± 22	25 ± 13	58 ± 17
	Alpha Activity	76 ± 9	73 ± 9	72 ± 10	85 ± 2
	VEP	92 ± 10	95 ± 4	74 ± 22	94 ± 2



CONCLUSION



Aim	Ti/TiN	PU/TiN	Goldpin
Dry, passive electrode for fast and easy application	Yes	Yes	Yes
Biocompatible materials	Yes	Yes	Pins only
Electrode shape for hair layer interfusion	Yes	Yes	Yes
Cap system ensuring sufficient electrode adduction	Yes	Textile only	Textile only
Signal quality equivalent to Ag/AgCl „gold standard“	0.5 – 40 Hz	0.5 – 40 Hz	3 Hz – 40 Hz
Compatibility with conventional biosignal amplifiers	High impedance	Yes	High OCP
Patient comfort	max. 1 h	> 1.5 h	max. 1 h



Work in progress

PU based electrode cap



- 97 electrodes
- 24 pins / electrode
- equidistant setup
- strong adhesion(10 subjects tested)

