

28. Vorlesung

- 29. Magnetische Felder in Organismen
- 29.1 Elektrische und Magnetische Eigenschaften von Organismen
- 29.2 Zeitlich veränderliche elektrische Felder : EEG
- 29.3 Zeitlich veränderliche magnetische Felder: MEG
- 29.4 Magnetische Detektion: SQUID

Experimente: Halleffekt

Internet:

Universität Regensburg
Institut für exp. Psychologie
Lehrstuhl Prof. Mark W. Greenlee
Hauptseminar Neue Methoden in den
kognitiven Neurowissenschaften
Referent Franz X. Weindler

www.ptb.de/de/publikationen/blickpunkt/biomagnetismus/index.html

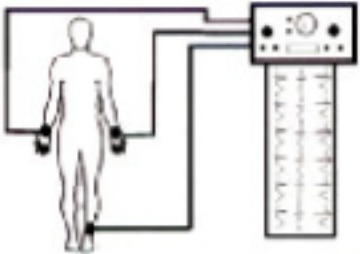
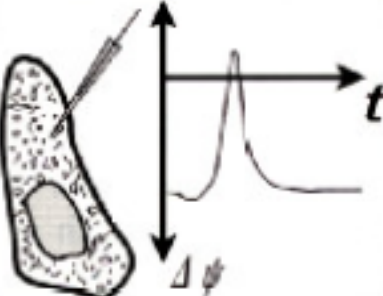


Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit, RWTH Aachen

hnowak@biomag.uni-jena.de

Mario Liehr

Biomagnetisches Zentrum

Univ Dortmund

Organism		<p>Elektrodynamics</p> <p><i>Maxwell equations</i></p>
Cell		<p>Phenomenological thermodynamics</p> <p><i>Nernst-Planck equation</i></p>
Supramolecular structures		<p>Statistical thermodynamics</p> <p><i>Poisson-Boltzmann equation</i></p>
Atomar and molecular structures		<p>Wave and quantum mechanics</p> <p><i>Schrödinger equation</i></p>

- **passives Verhalten**
 - elektrische Eigenschaften
 - dielektrische Eigenschaften
 - magnetische Charakteristika

- **aktives Verhalten**
 - endogene elektrische Felder
 - endogene magnetische Felder

Anwendungen in der Grundlagenforschung

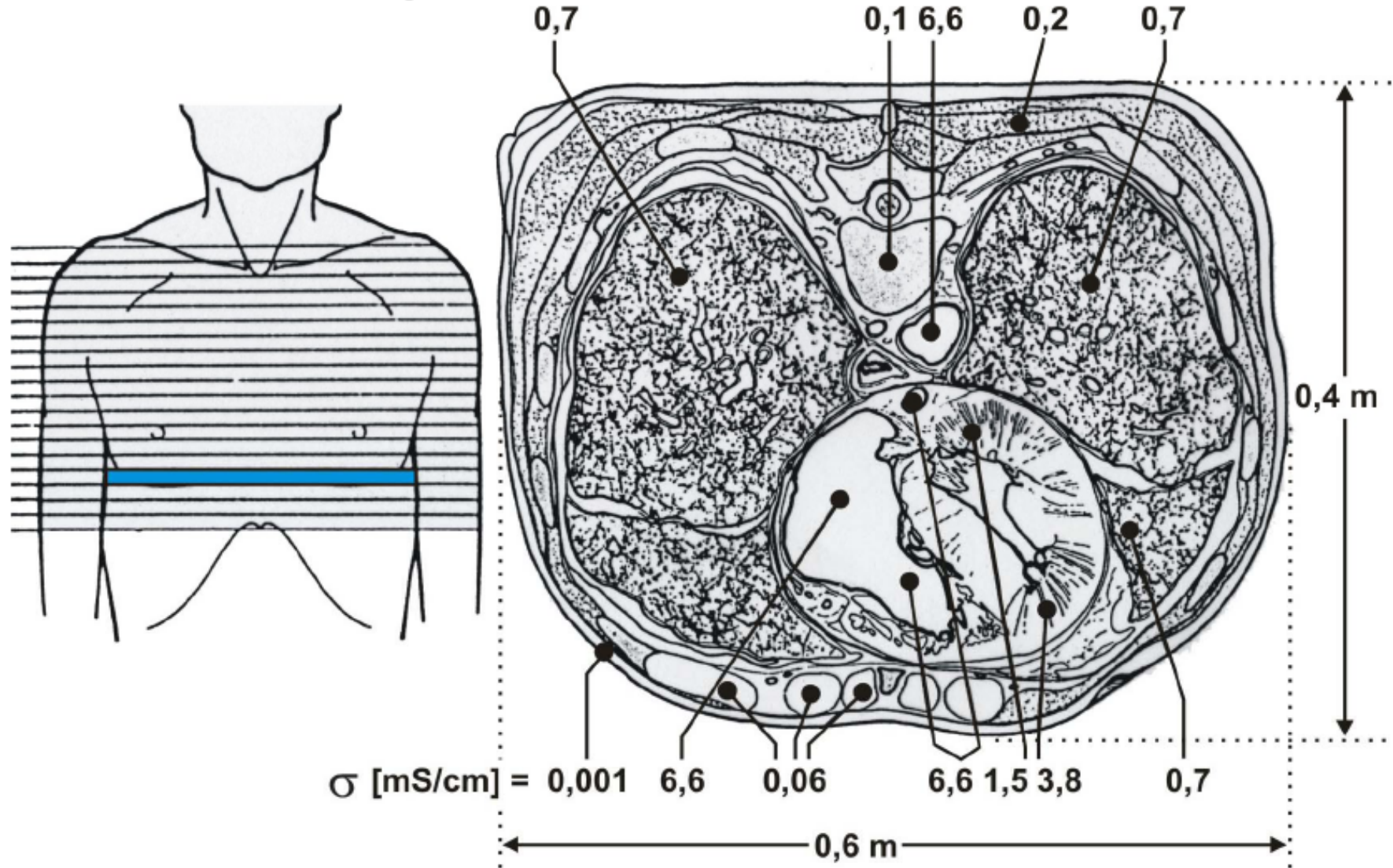
- **Psychologie**
- **Biologie**
- **Medizin**

klinische Forschung und Anwendung

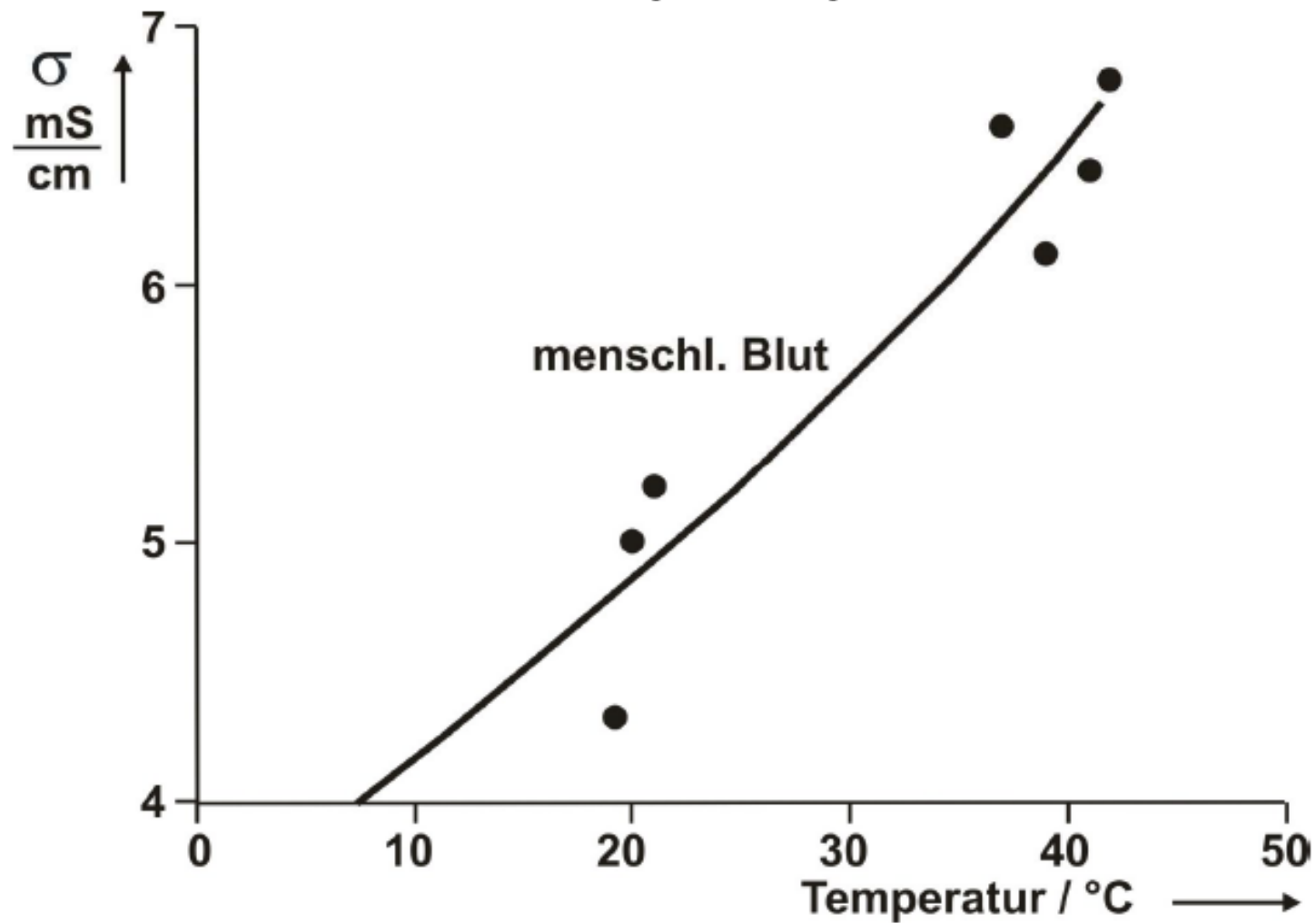
- **Neurologie**
- **Kardiologie**

Baubestand- teile	Beispiele	Körper des Menschen beinhaltet (%)
Wasser		60-70
stickstoffhaltige Verbindungen	Nucleinsäuren, Nucleotide, Proteine, Peptide, Aminosäuren, Porphyrine u. a.	20
Fettstoffe	Polysaccharide, Mono- saccharide und Derivate	10
anorganische Bestandteile (Mineralien)	K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Chloride, Phosphat, Carbonat, Sulfat, Spurenelemente	5

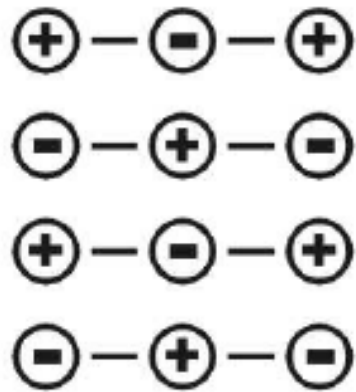
Der Körper als elektrischer Volumenleiter



Änderung der elektrischen Leitfähigkeit mit der Körpertemperatur



Elektrische Polarisation der Moleküle

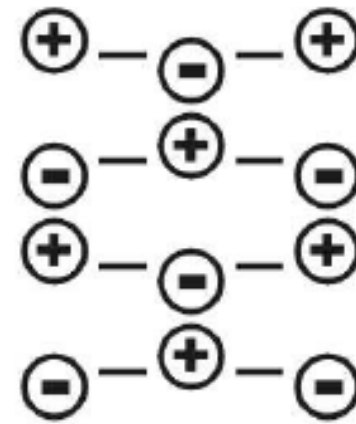


ohne Feld

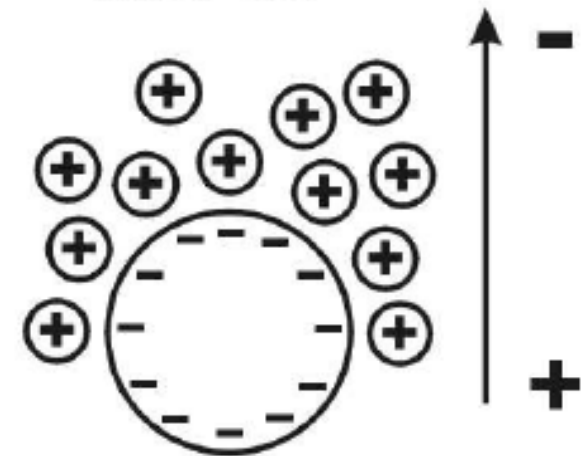


Orientierungs-
polarisation

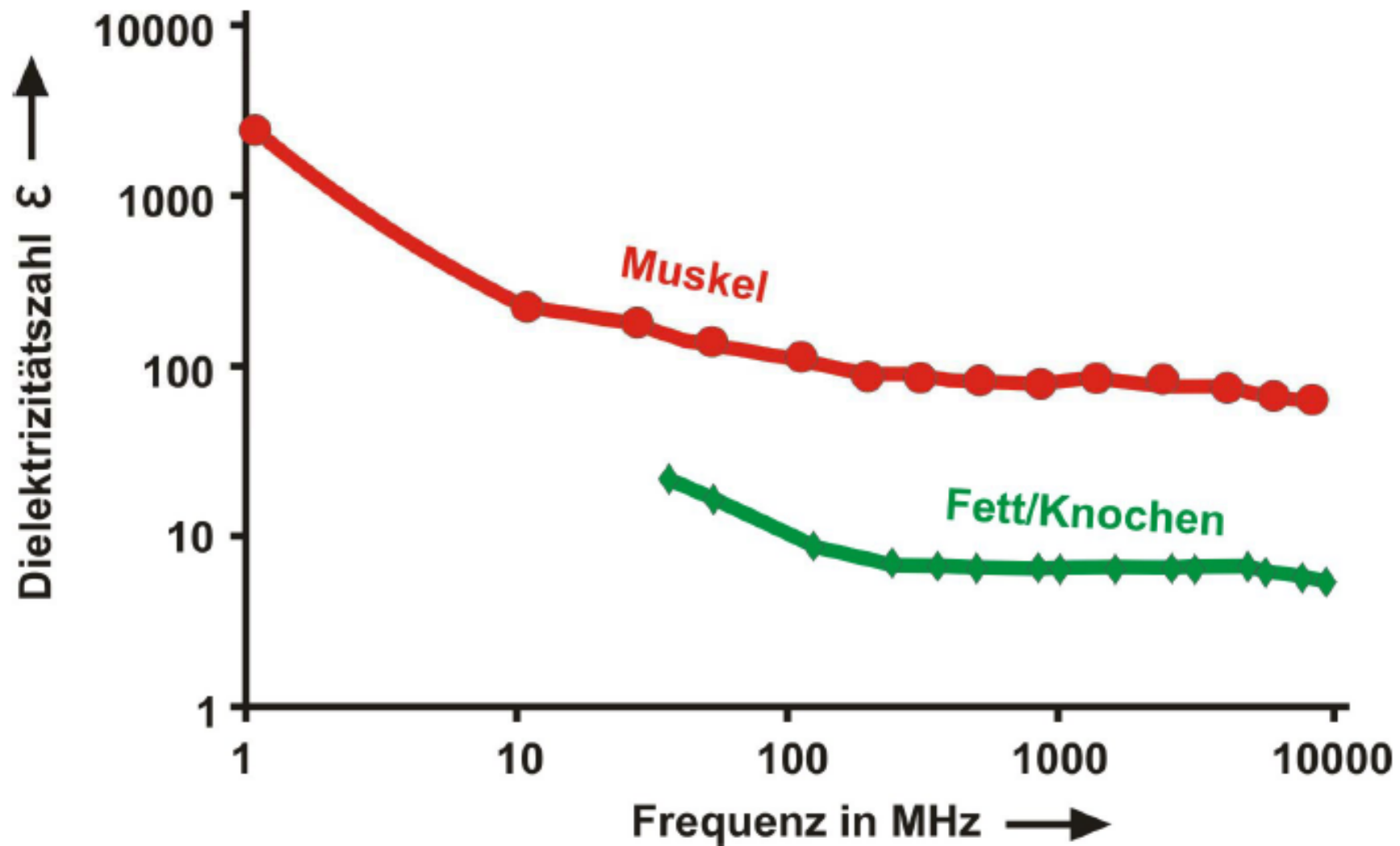
Ionen-
polarisation



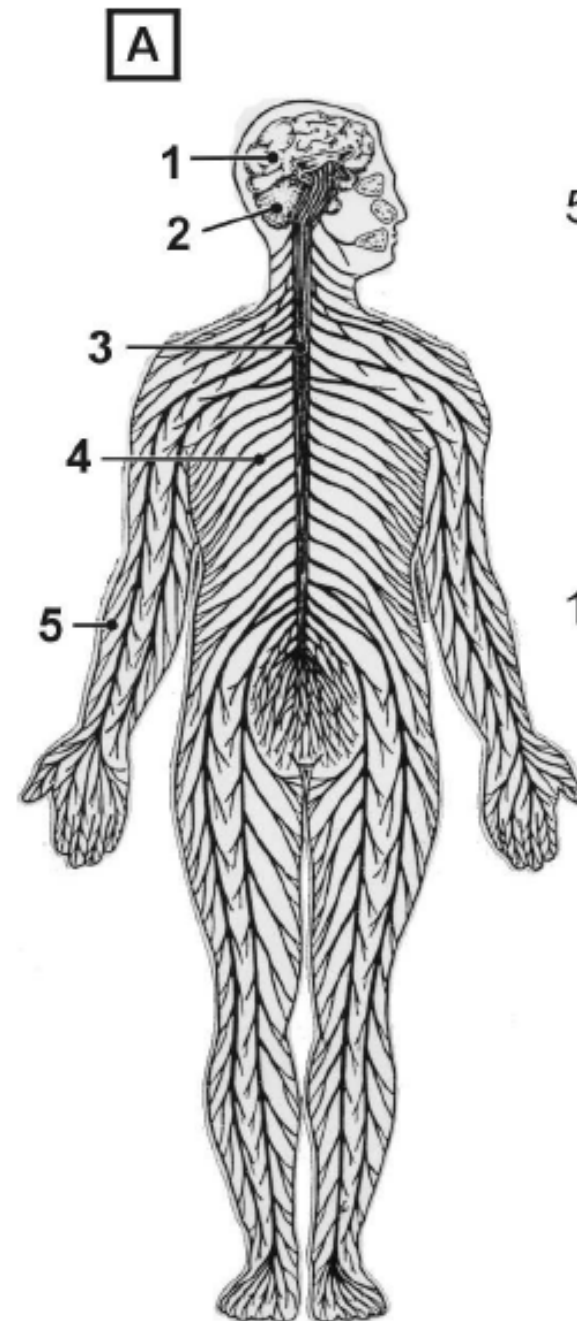
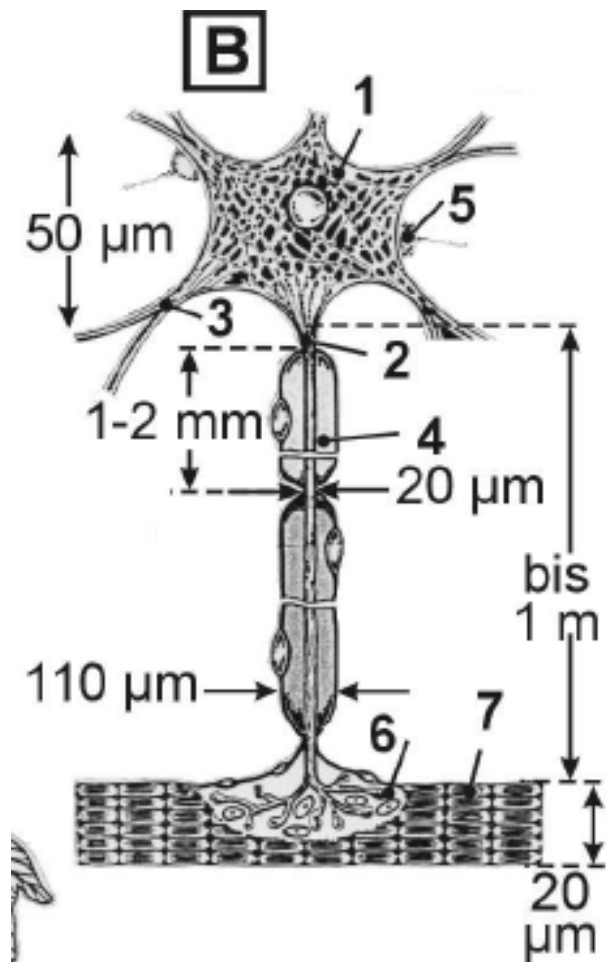
mit Feld



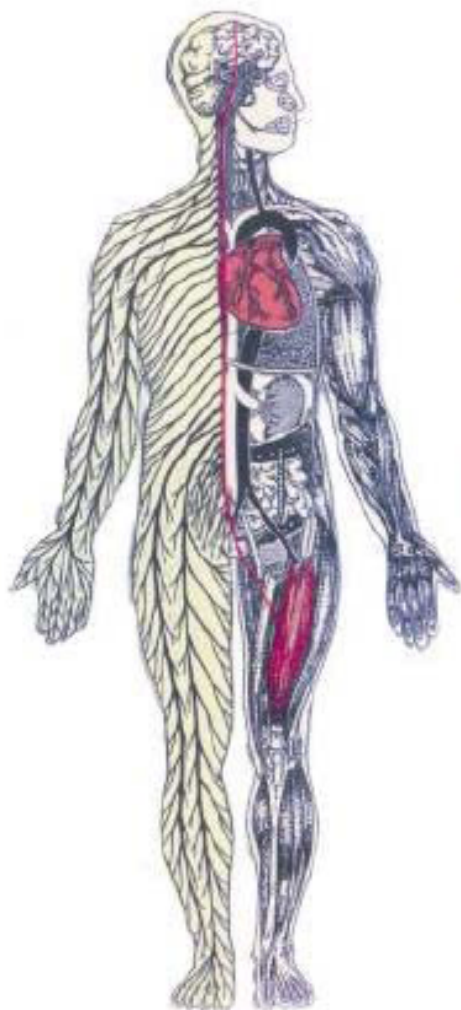
Änderung der Dielektrizitätszahl mit der Frequenz



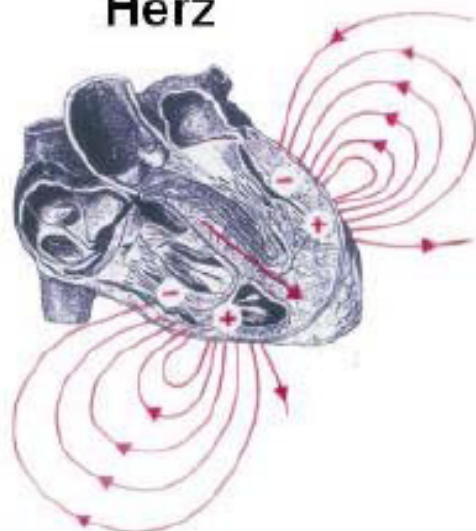
Nerven



Quellen bioelektrischer Felder

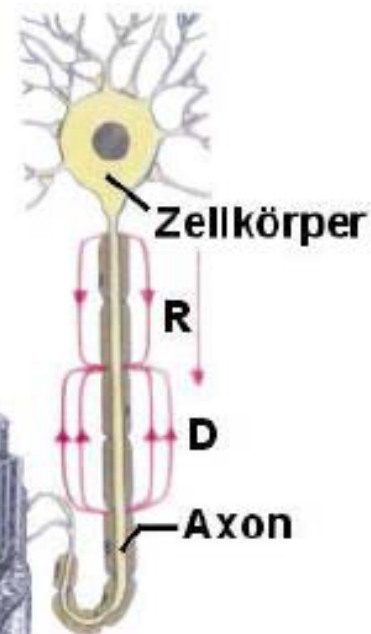


Herz



Depolarisation

Nervenzelle



Zellkörper

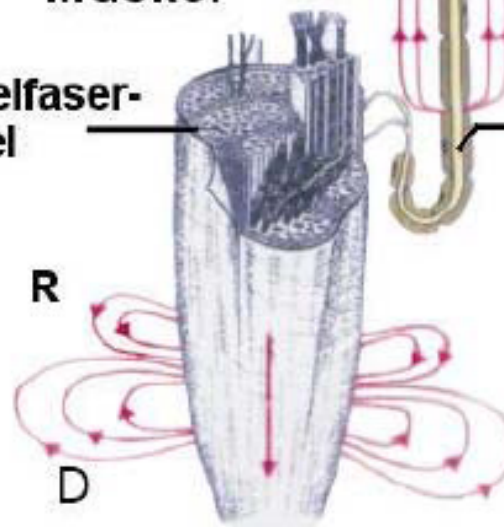
R

D

Axon

Muskel

Muskelfaserbündel



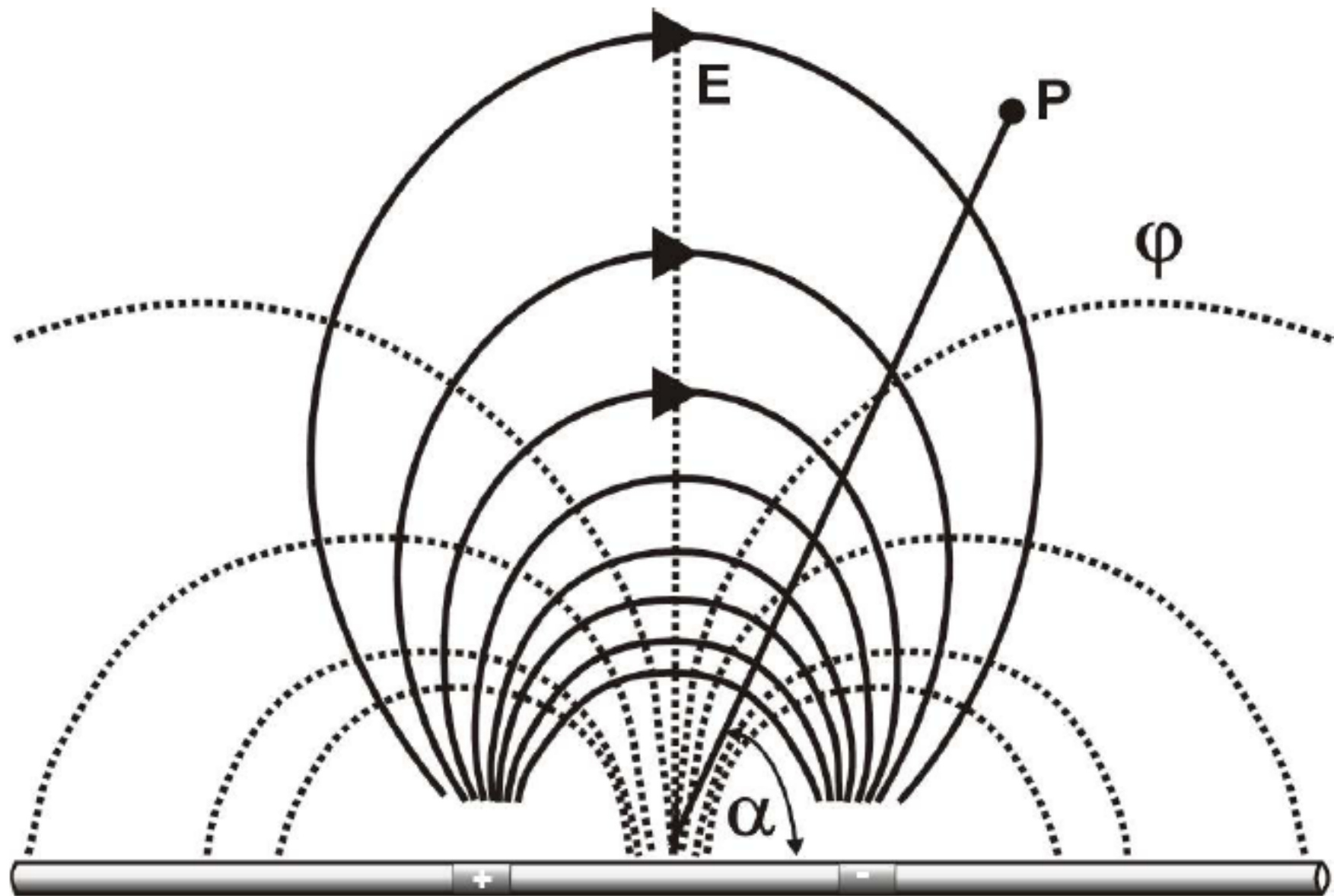
R

D

Elektromagnetische Analyseverfahren

- EEG: Elektro- Encephalographie
- MEG: Magneto- Encephalographie
- EKG: Elektro - Kardiographie

Dipolfeld einer Erregung



Im Allgemeinen heben sich Signale von Axonen bzw. Synapsen auf (Stochastische Verteilung)

Ausnahme: Pyramidenzellen des Gehirns

10^4 Nervenzellen in 1 mm^3 der Hirnrinde

Gleichzeitiges “feuern”
=> Messbare Signale

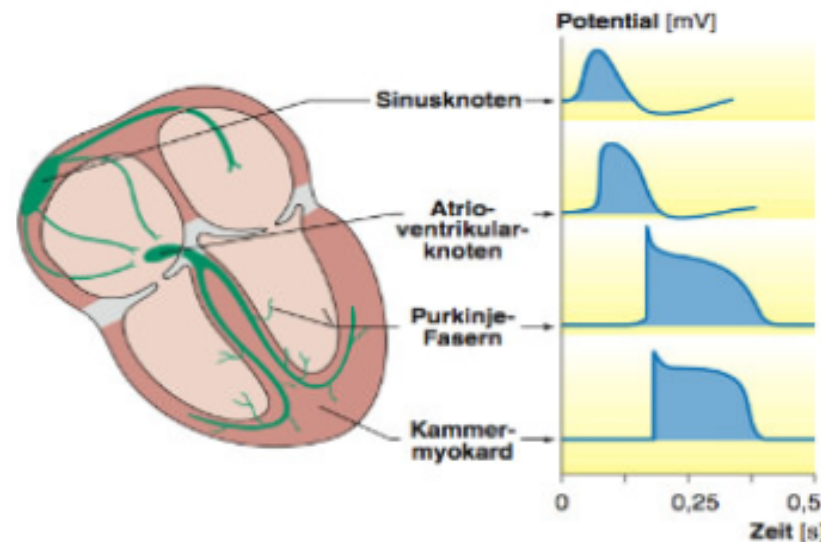
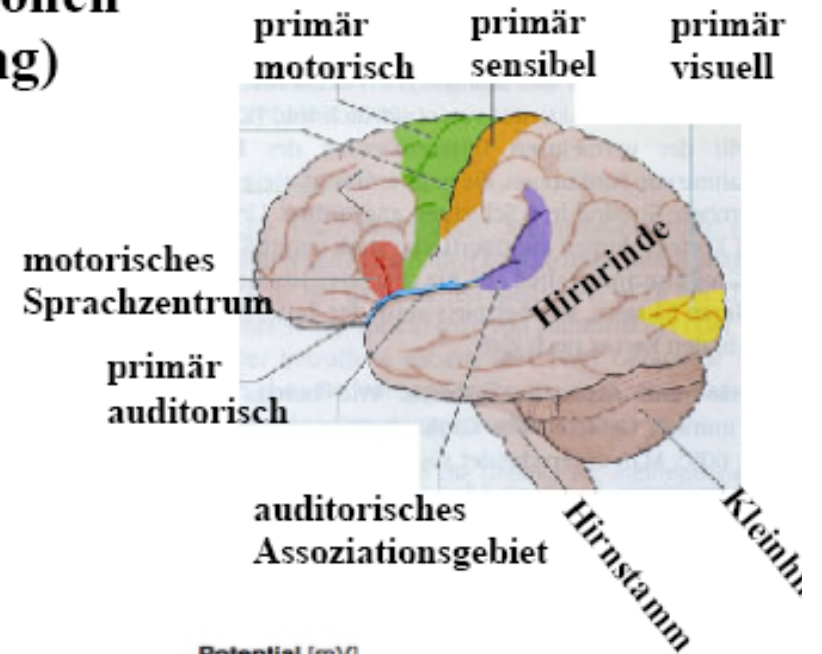
$$U \approx 10 \mu\text{V}$$

$$B \approx 100 \text{ fT (!)}$$

Vergleich Herz (Kapitel 3.4)

$$U \approx 1 \text{ mV}$$

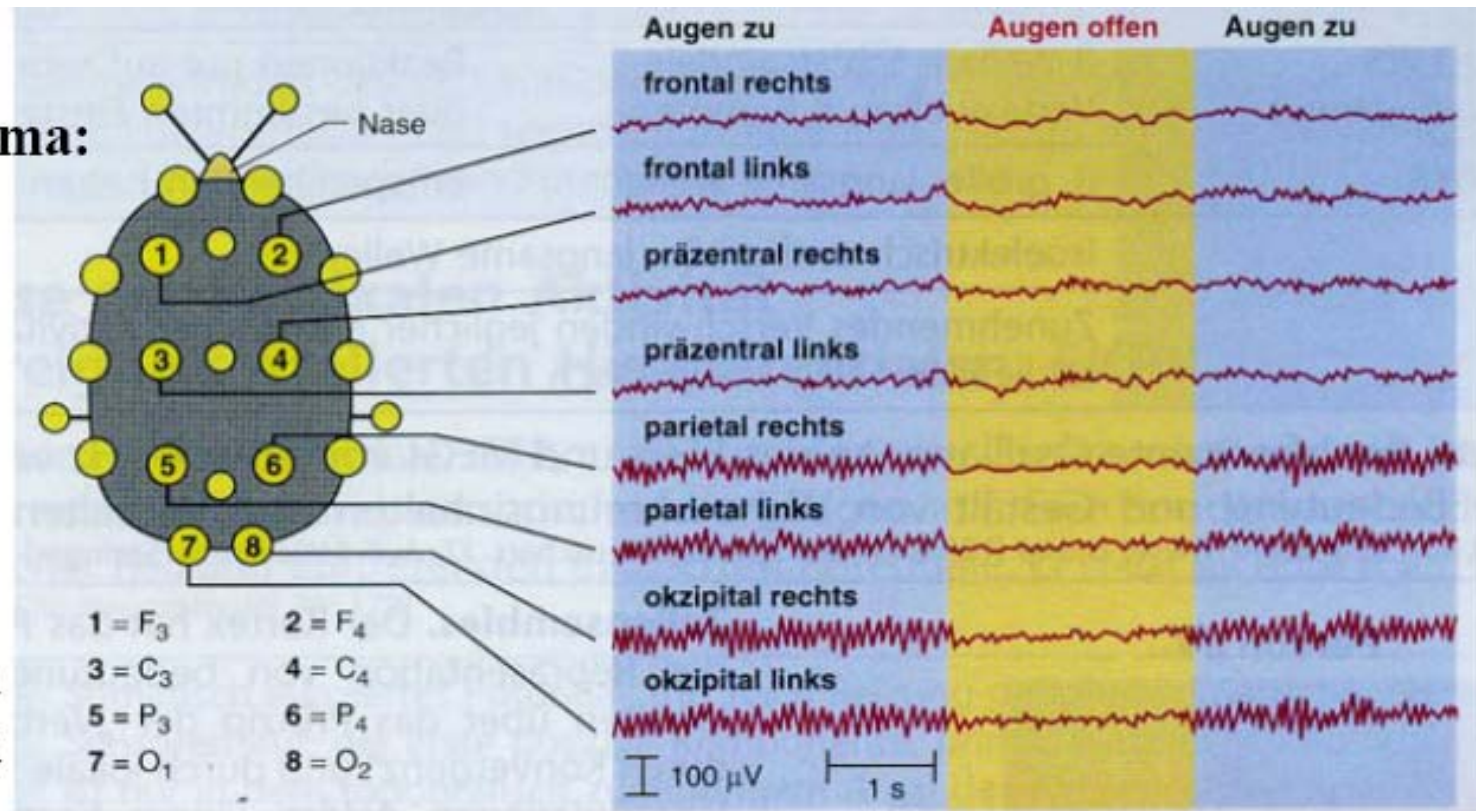
$$B \approx 10 \text{ pT}$$



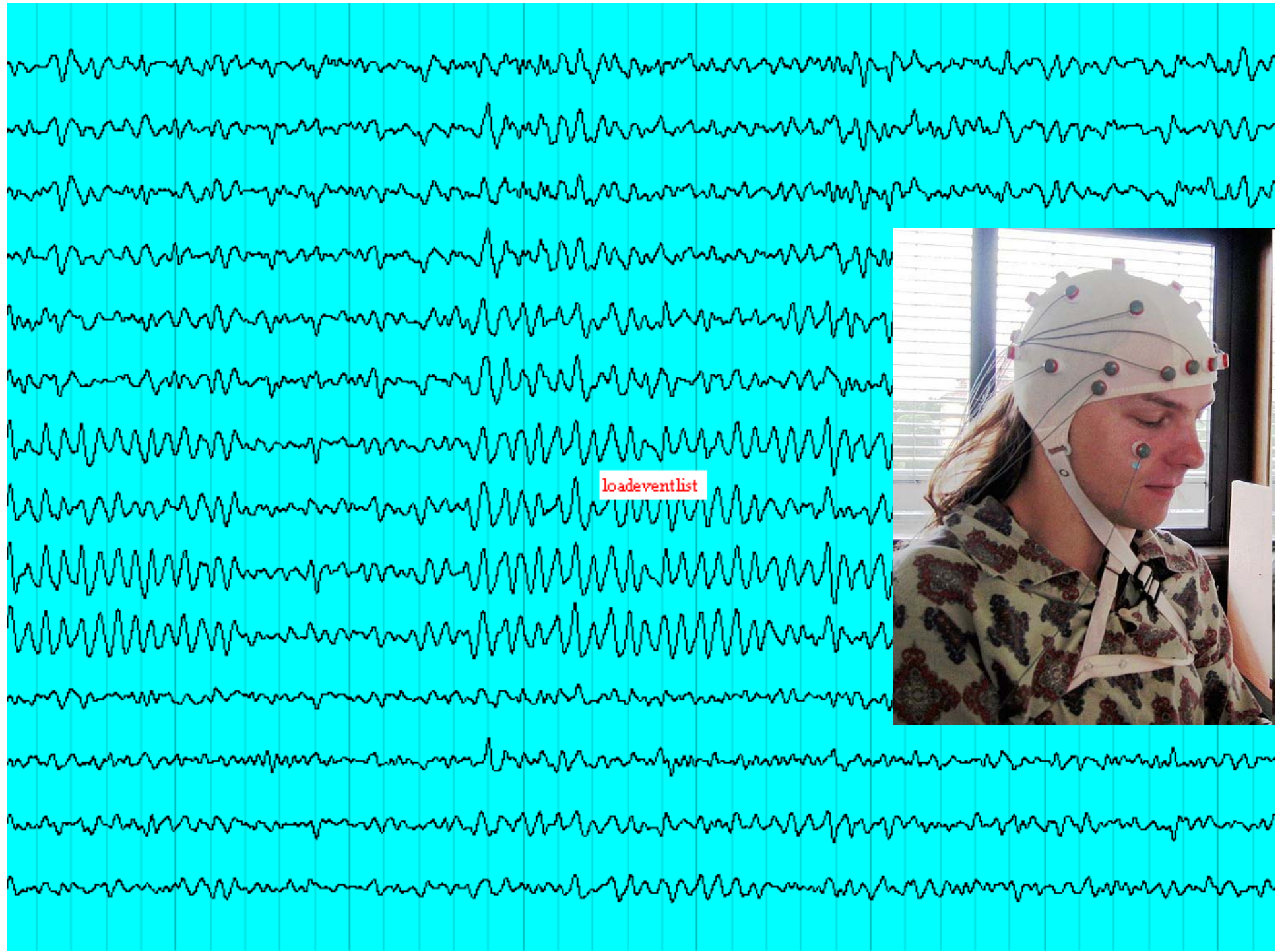
EEG: Elektroenzephalografie

- Die **Elektroenzephalografie** (*encephalon*: Gehirn) ist eine Methode zur Messung der summierten elektrischen Aktivität des Gehirns durch Aufzeichnung der Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche. Das **Elektroenzephalogramm** (ebenfalls **EEG** abgekürzt) ist die graphische Darstellung dieser Schwankungen. Ursache dieser Potenzialschwankungen sind physiologische Vorgänge einzelner Gehirnzellen. Entsprechend ihrer spezifischen räumlichen Anordnung addieren sich die von einzelnen Neuronen erzeugten Potenziale auf, so dass sich Potenzialänderungen messen lassen.

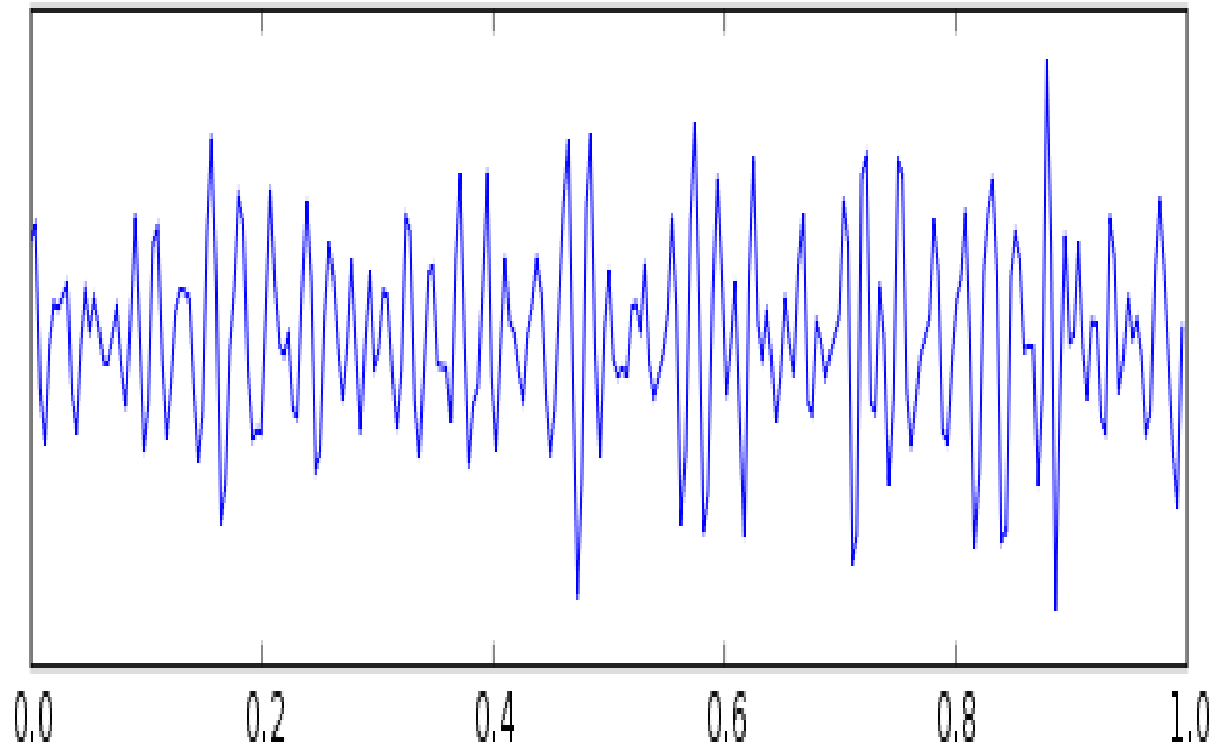
Ableitungsschema:



**Internationale
Bezeichnungen
der Elektroden**

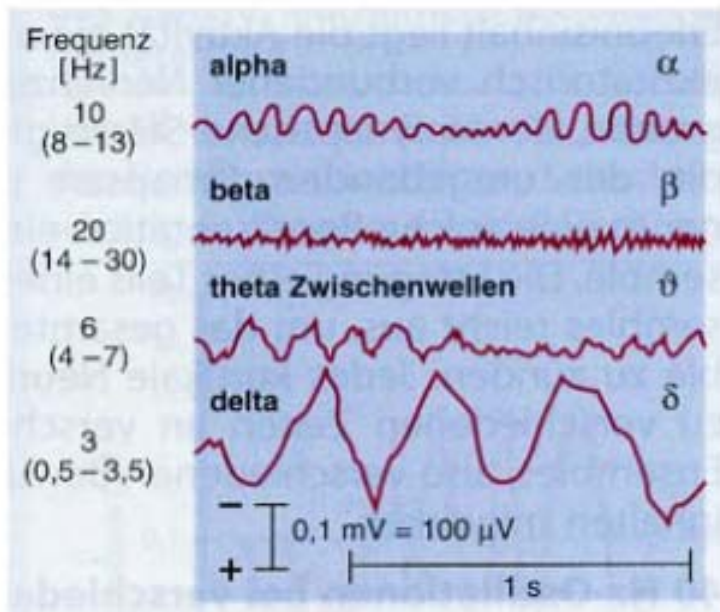


EEG - Wellen



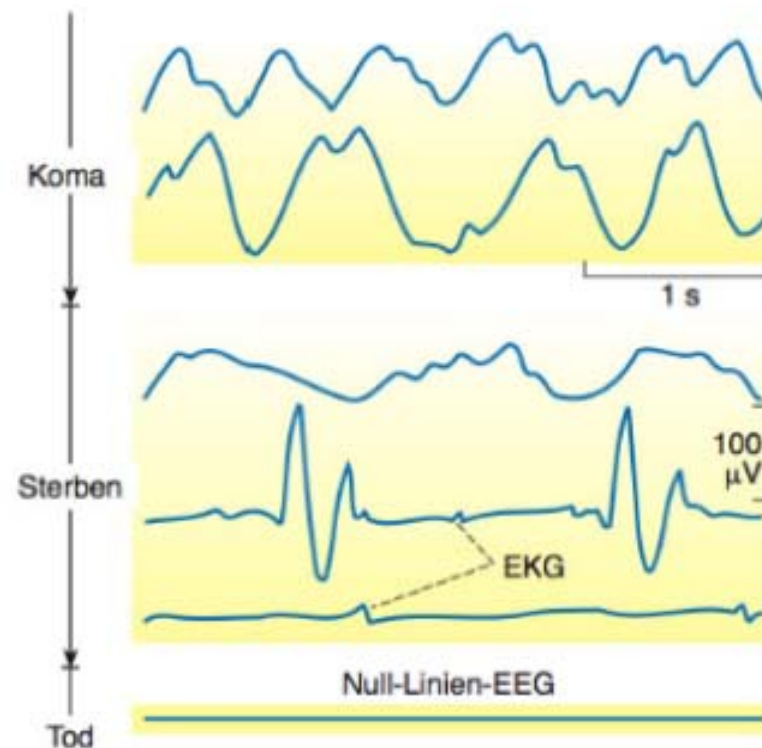
Gamma-Wellen

Als Gamma-Welle wird ein Signal im Frequenzbereich über 30 Hz bezeichnet. Sie tritt zum Beispiel bei starker Konzentration oder Lernprozessen auf.

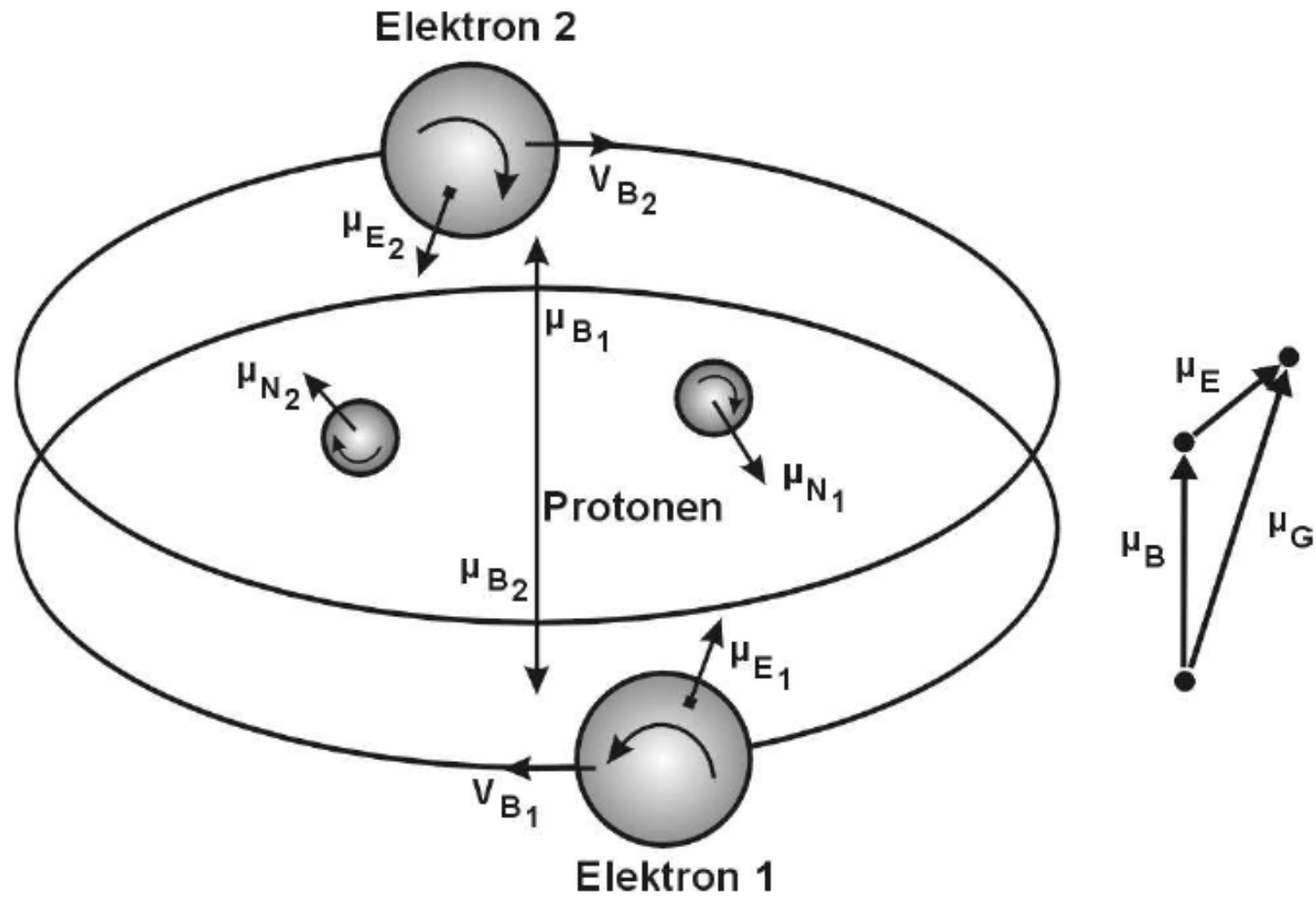


- α : EEG Grundrhythmus in Ruhe (Augen zu)
- β : Auftreten bei Sinnesreizen; emotionale Erregung
- γ : Schlaf bei Erwachsenen
- δ : Tiefschlaf

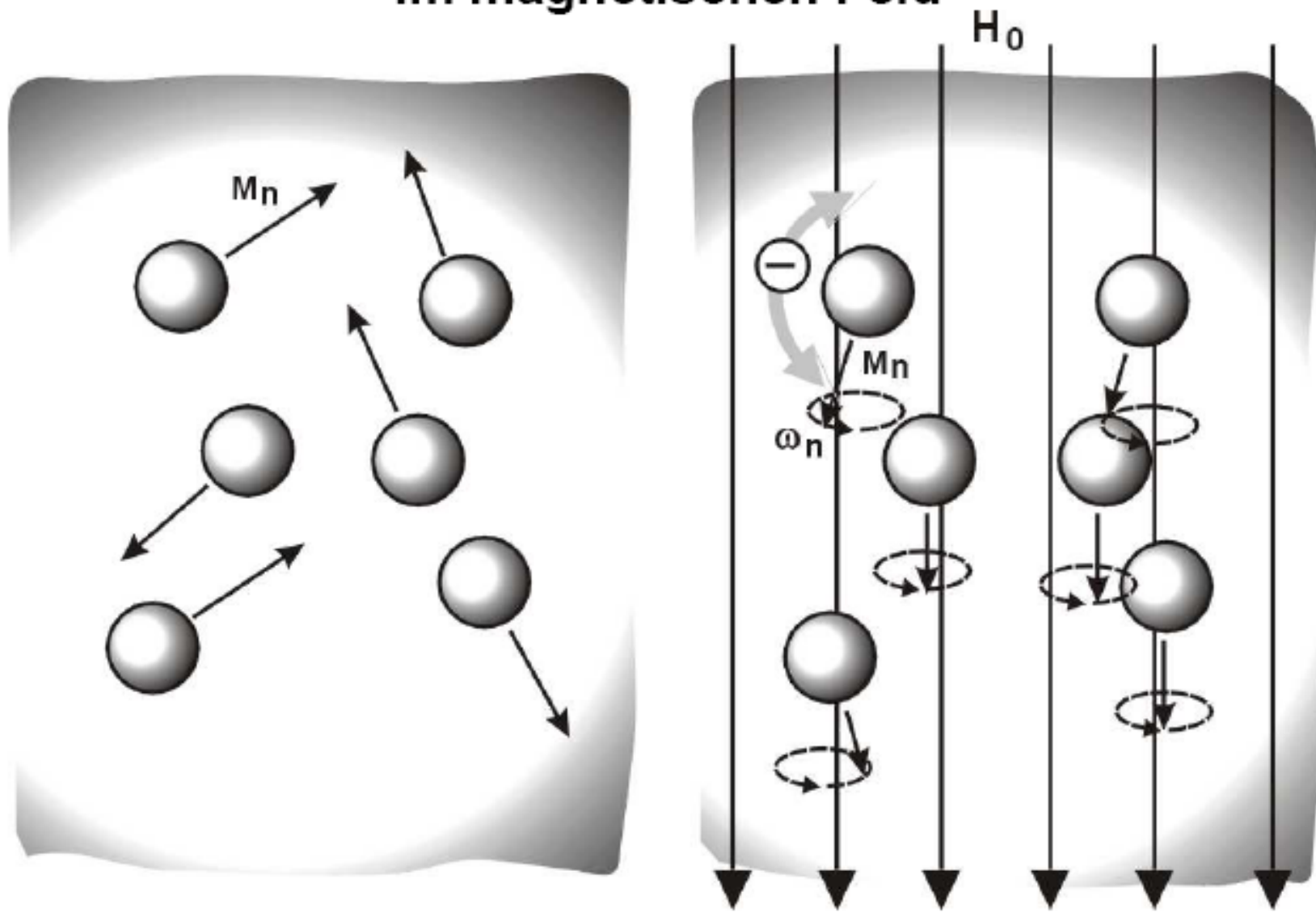
Erlöschen der EEG-Tätigkeit beim Sterben:



Magnetische Dipolmomente in einem Atom



Ausrichtung der magnetischen Atommomente im magnetischen Feld



Elektrische Strom- oder Spannungssignale:

Auf die Haut aufgesetzte Elektroden

Eingestochene Elektroden

Möglichst großflächig (Kontaktwiderstand $\leq 100 \Omega$)

Biomagnetische Signale:

Berührungslos

Sehr kleine Signale => Abschirmung gegenüber "Rauschen"

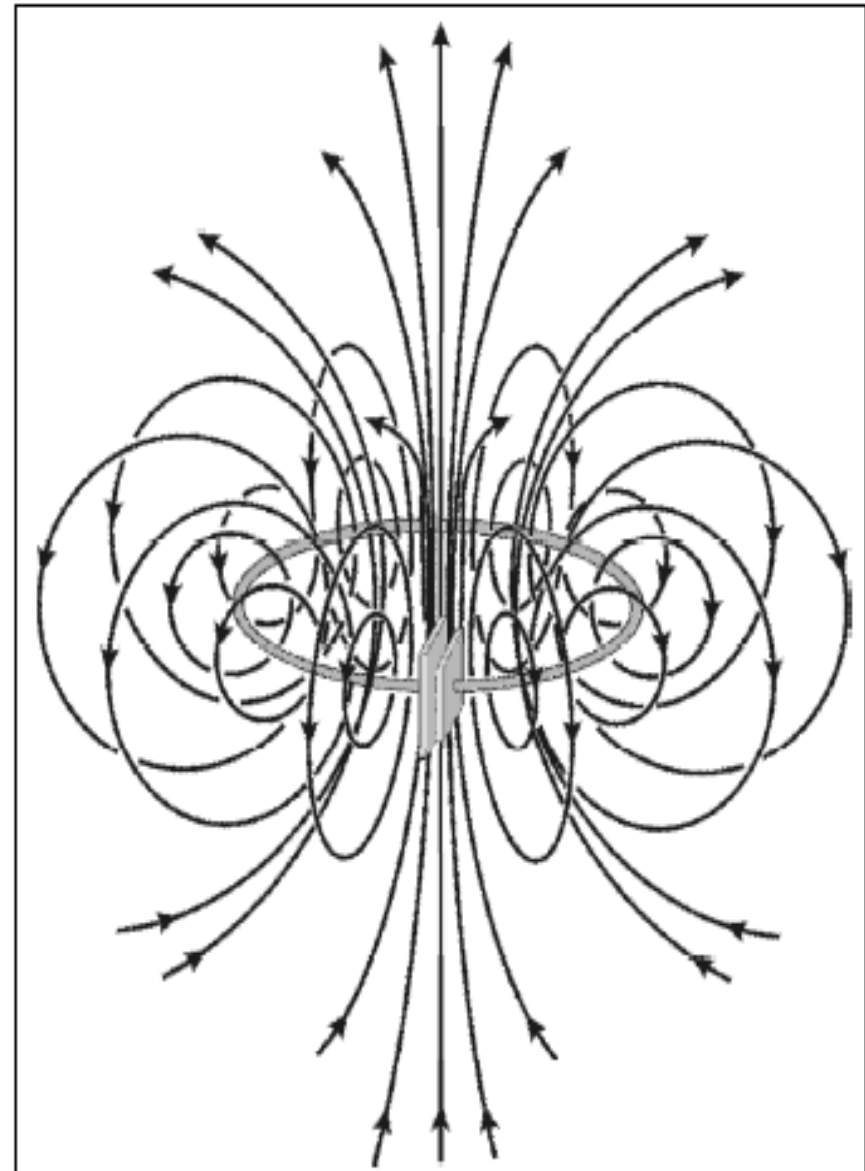
Elektronische Filterung

Sehr empfindliche Meßmethode

SQUIDS

Vorteile magnetischer Messungen gegenüber elektrischen Messungen

- empfindlich für Kreisströme
- bessere Reproduzierbarkeit



MEG: Magnetoenzephalographie

- Die **Magnetoenzephalographie** (*encephalon*: Gehirn) ist eine Messung der magnetischen Aktivität des Gehirns, vorgenommen durch äußere Sensoren, die sogenannten SQUIDs.
- Man kann insbesondere mit dem MEG Daten aufzeichnen, die ohne zeitliche Verzögerung Ausdruck der momentanen Gesamtaktivität des Gehirns sind.

Quellen biomagnetischer Signale sind die im Körperinneren entstehenden elektrischen Ströme.

- Vorteile:**
- **Fast keine Störung der biomagnetischen Signale zwischen Entstehungs- und Aufnahmeort an Körperoberfläche (berührungslose Aufnahme; $\mu_r \approx 1 + O(10^{-6})$)**
 - **Keine räumlichen Verzerrungen im Körperinnern => gute Lokalisation (Forschung!)**

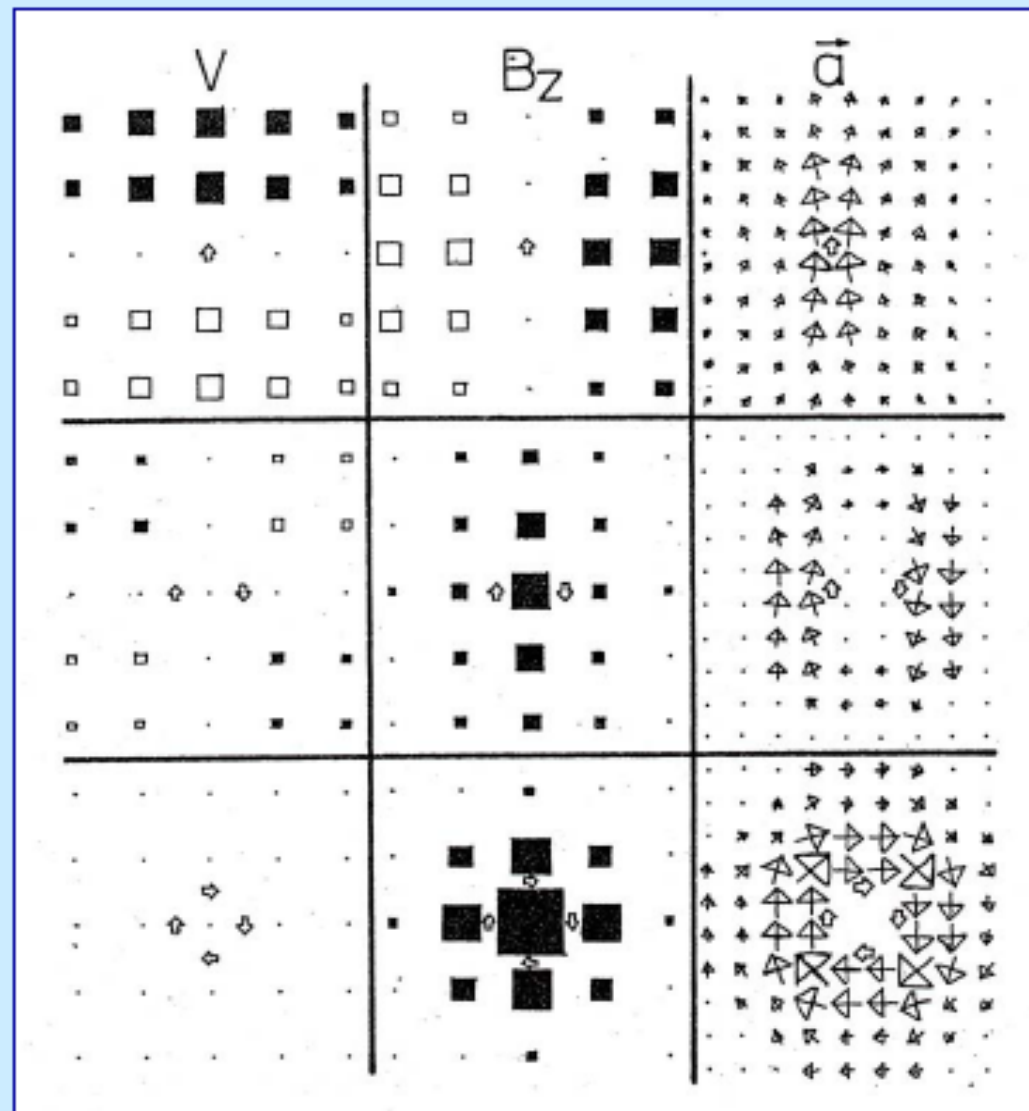
- Nachteile:**
- **Sehr kleine Magnetfelder** $10^{-11} \dots 10^{-13} \text{ T}$
 - **Sehr sensitive Sensoren benötigt** (SQUIDS)
 - **Sorgfältige Abschirmung notwendig** (Gradiometer)

Erdmagnetfeld: $B \approx 5 * 10^{-5} \text{ T}$

Ströme in Netzkabeln: $B \approx 10^{-7} \text{ T}$

Magnetische Verunreinigungen der Lunge: $B \approx 10^{-9} \text{ T}$

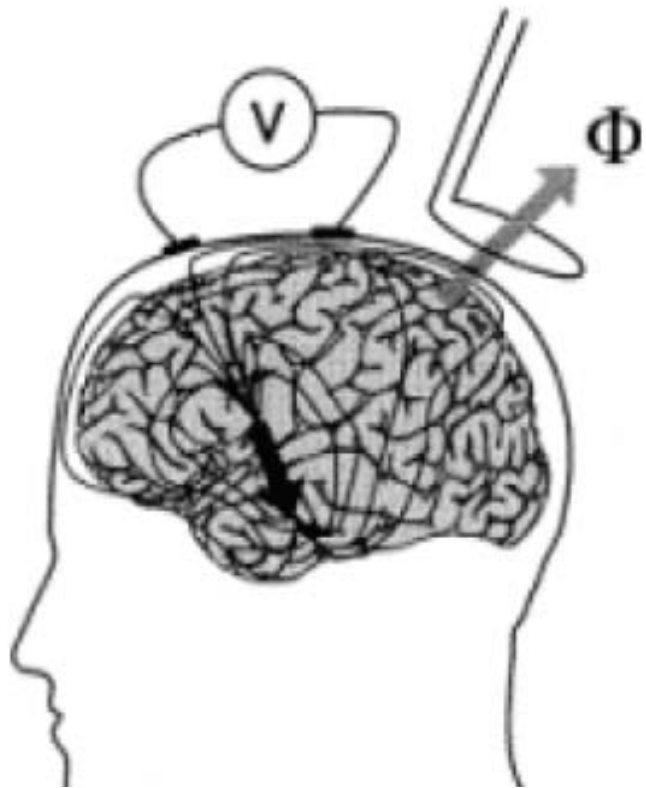
Feldverteilungen bei verschiedenen Quellen



Einzelner (fokaler)
Stromdipol

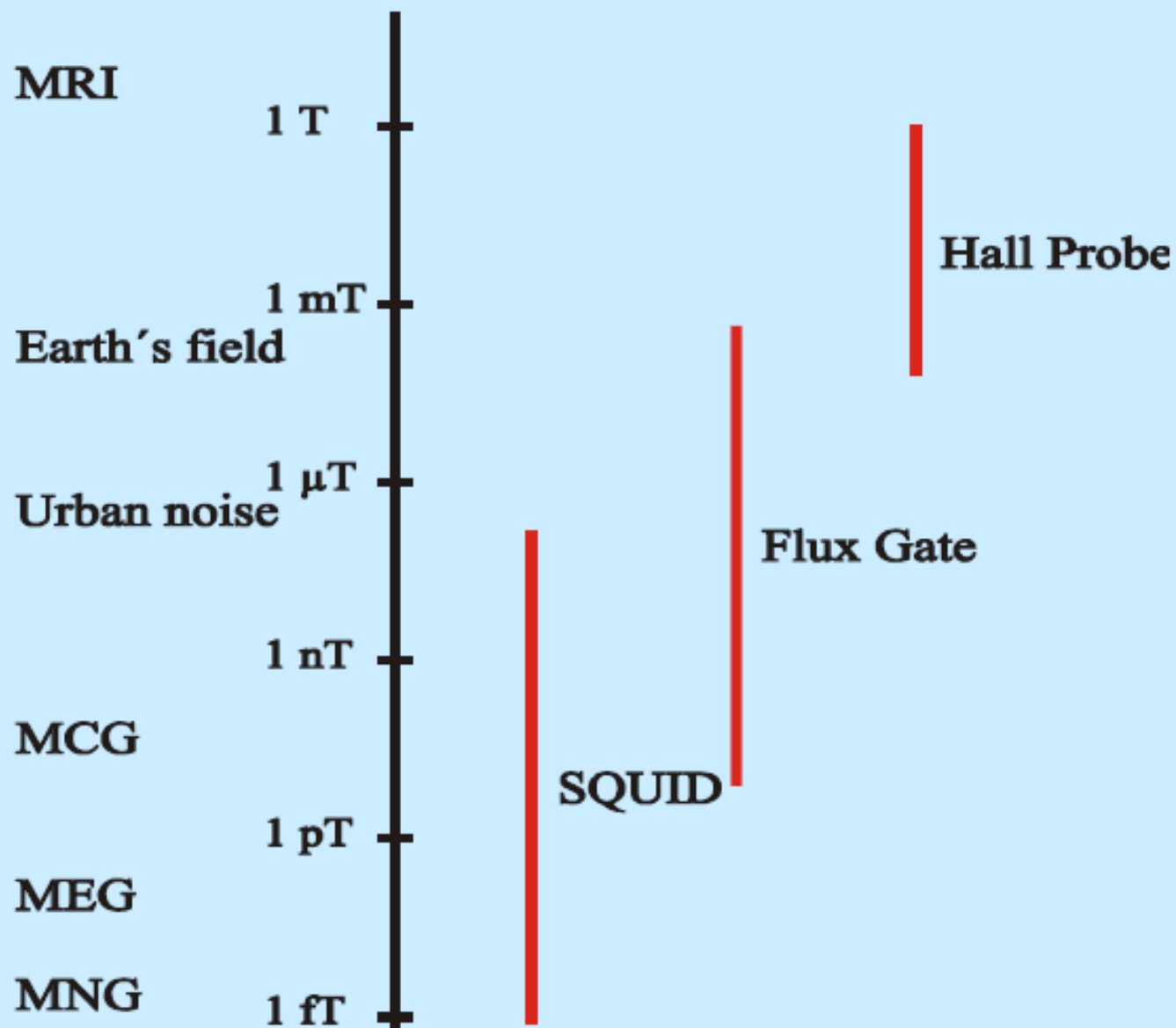
Zwei antiparallele
Stromdipole

Kreisstrom

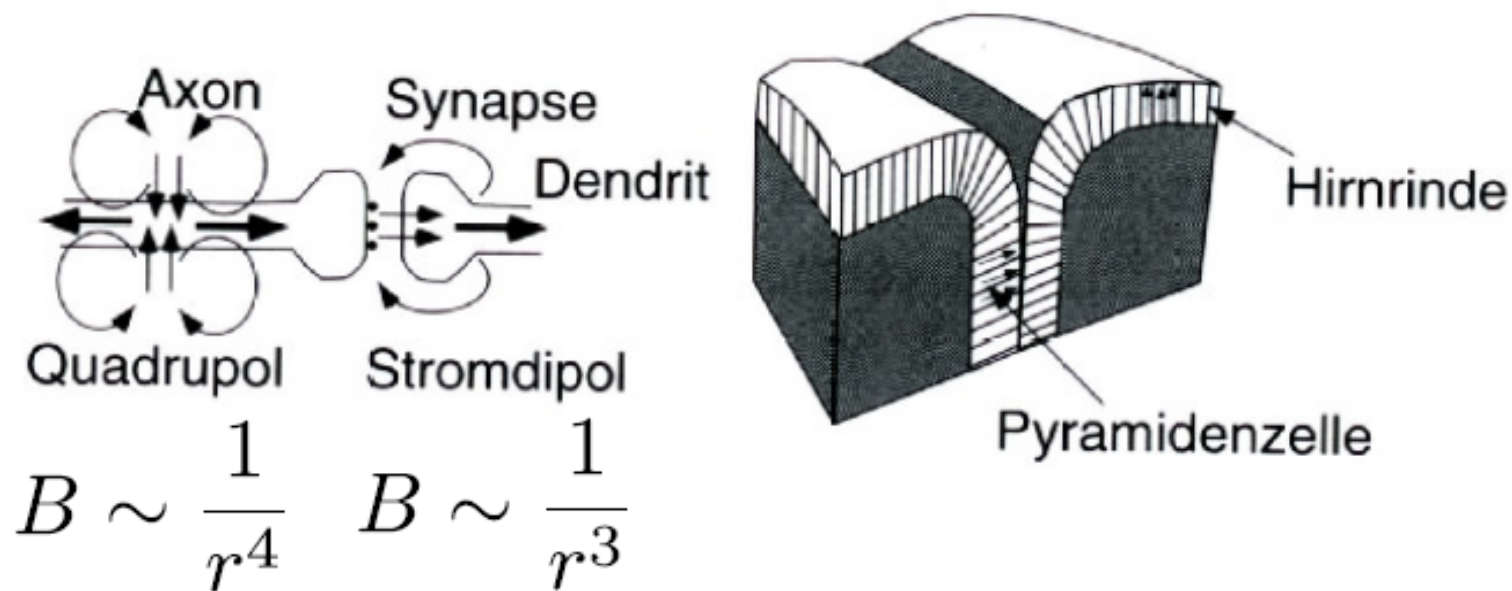


Im Gegensatz zum EEG werden beim MEG nicht die **elektrischen**, sondern die **magnetischen** Felder gemessen

Magnetfelder und Magnetfeldsensoren

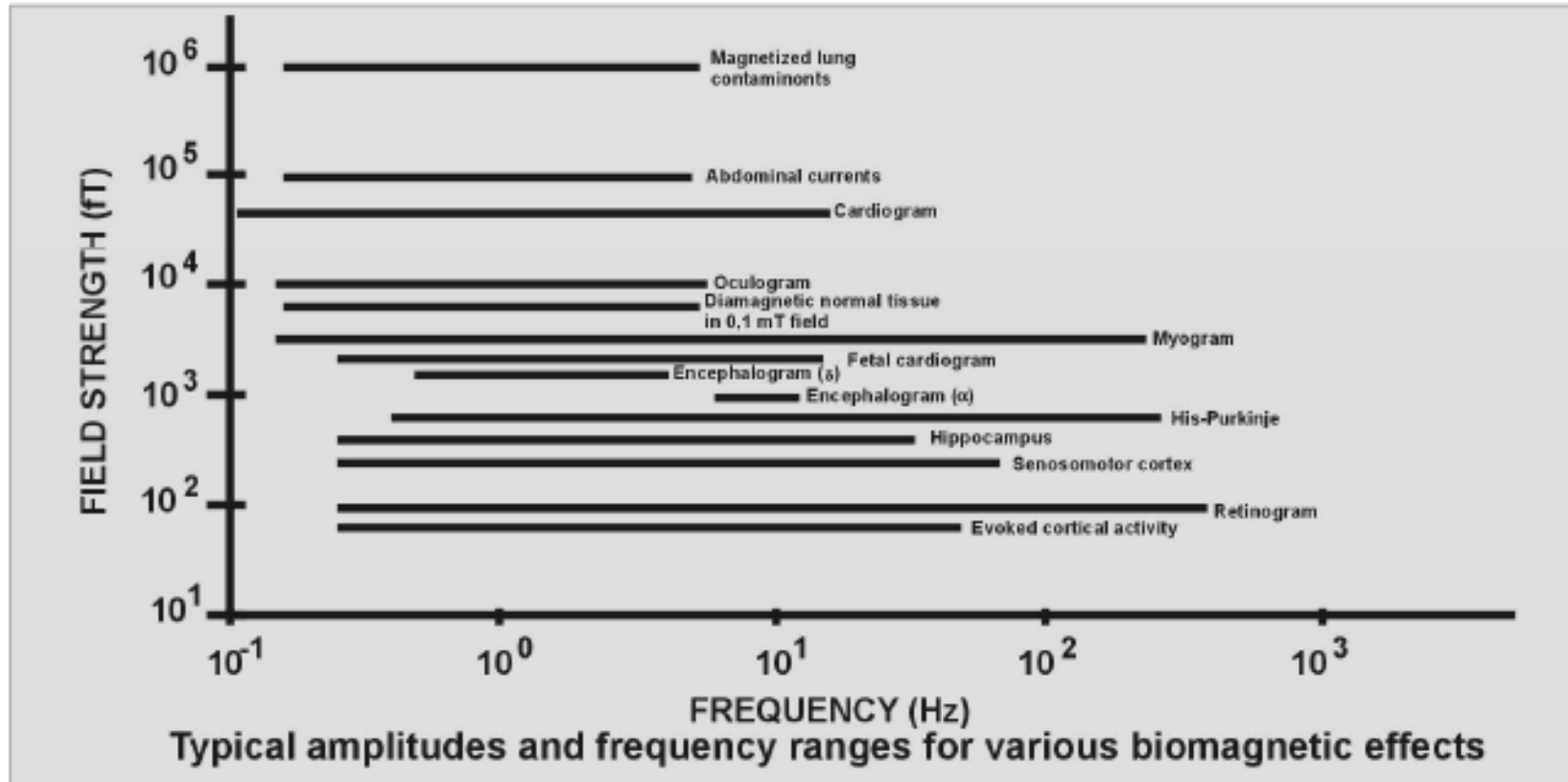
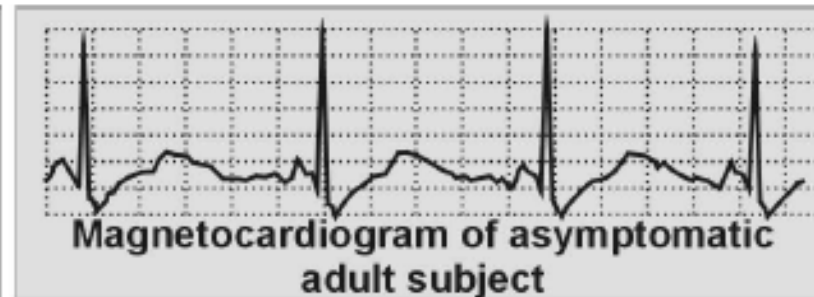
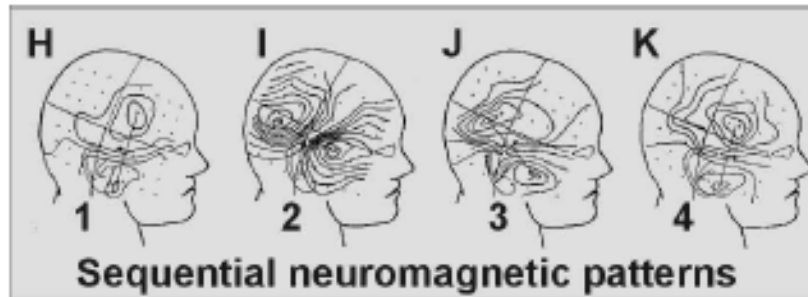


- Weiterleitung von Signalen auf Axonen: **Strom-Quadrupol**
- Elektrische Vorgänge direkt hinter Synapsen: **Strom-Dipol**

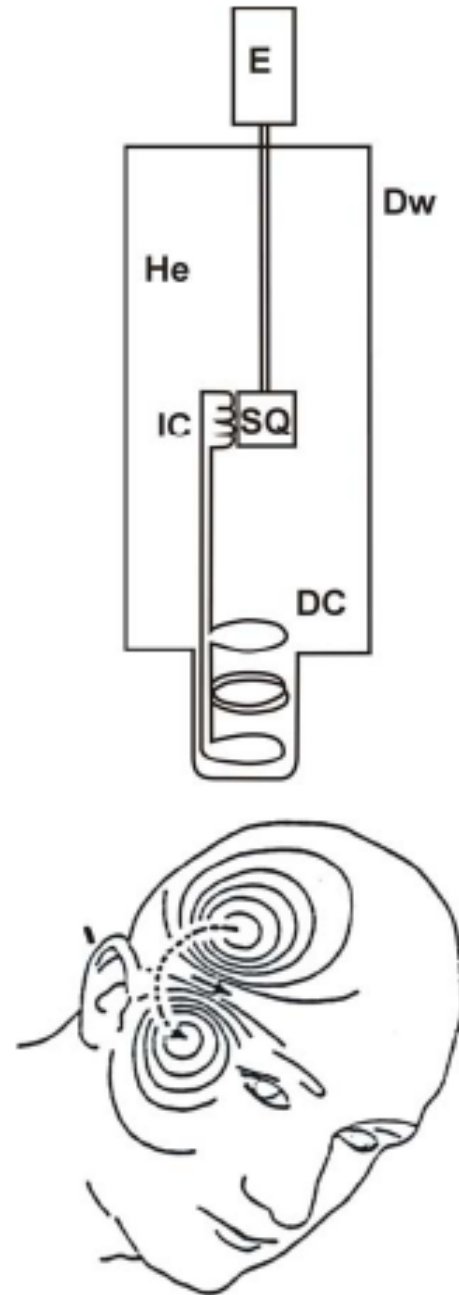


An der Haut des Kopfes detektierbar: Signale von Stromdipolen in der Hirnrinde (Pyramidenzellen)

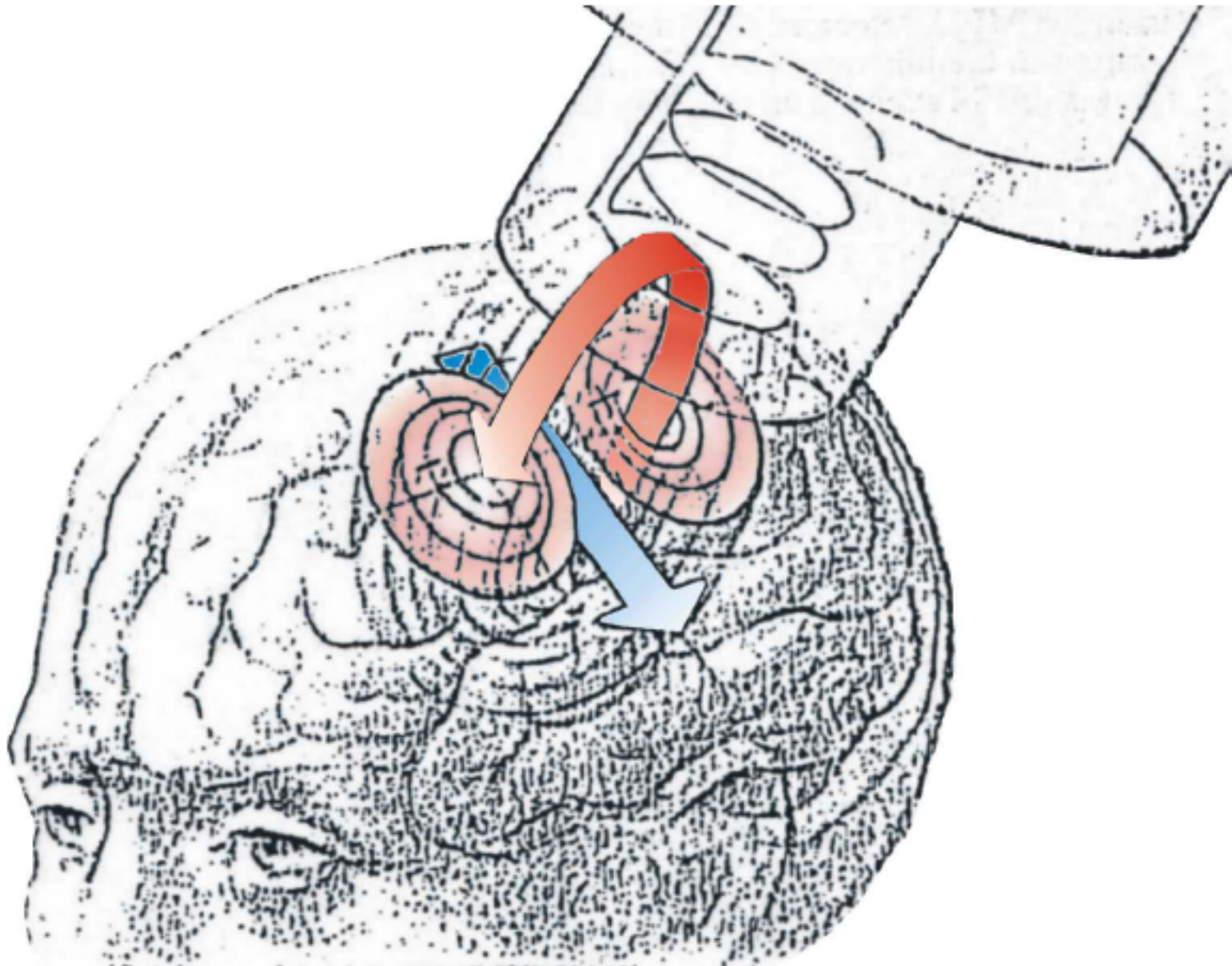
Endogene biomagnetische Felder



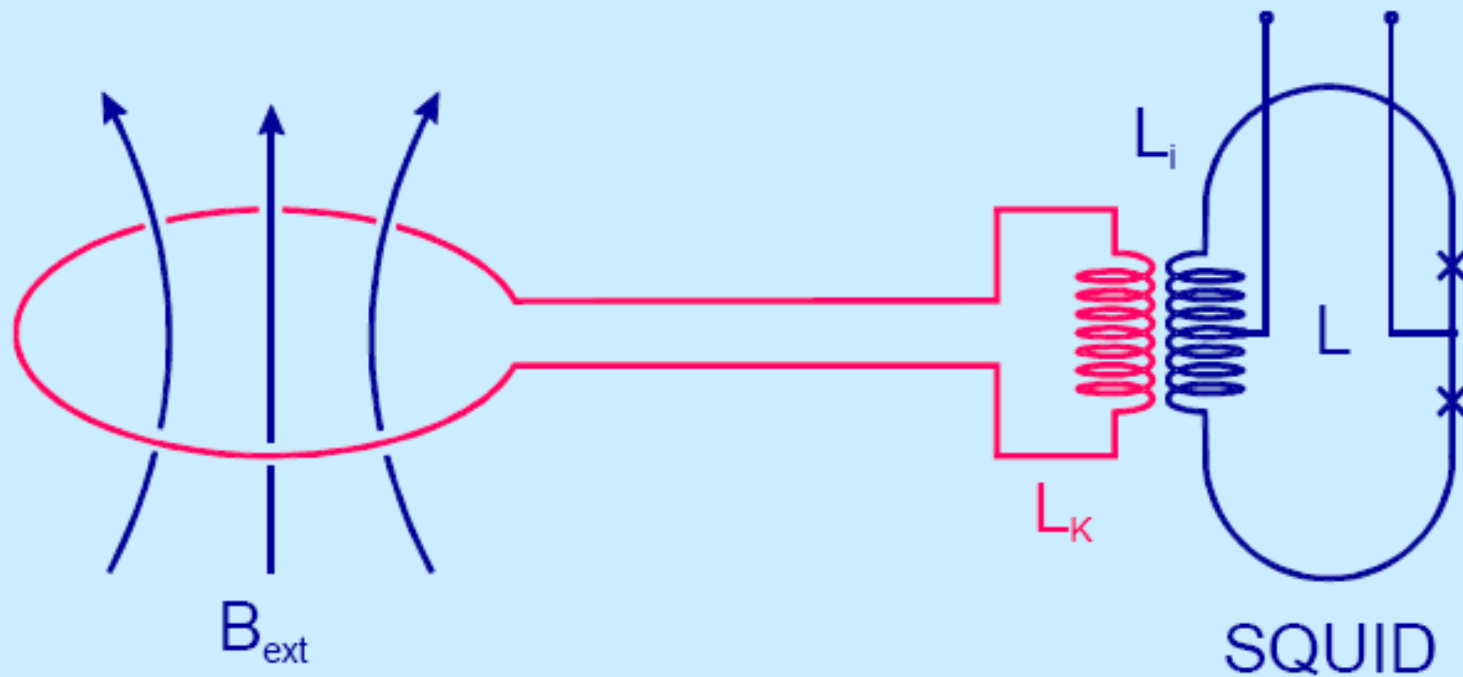
Magnetogradiometer



Magnetische Biosignale und ihre Erfassung



Der Flußtransformator

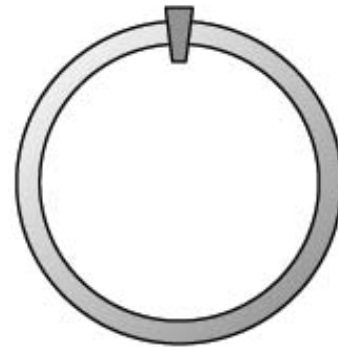


Der SQUID

„Sensor zur sehr präzisen Messung
extrem kleiner Magnetfeldänderungen“*

Bestandteile

- ein supraleitender Ring
- ein mikroskopisch kleines Segment
nichtsupraleitenden Materials (oder zwei)
→ Josephson-Kontakte

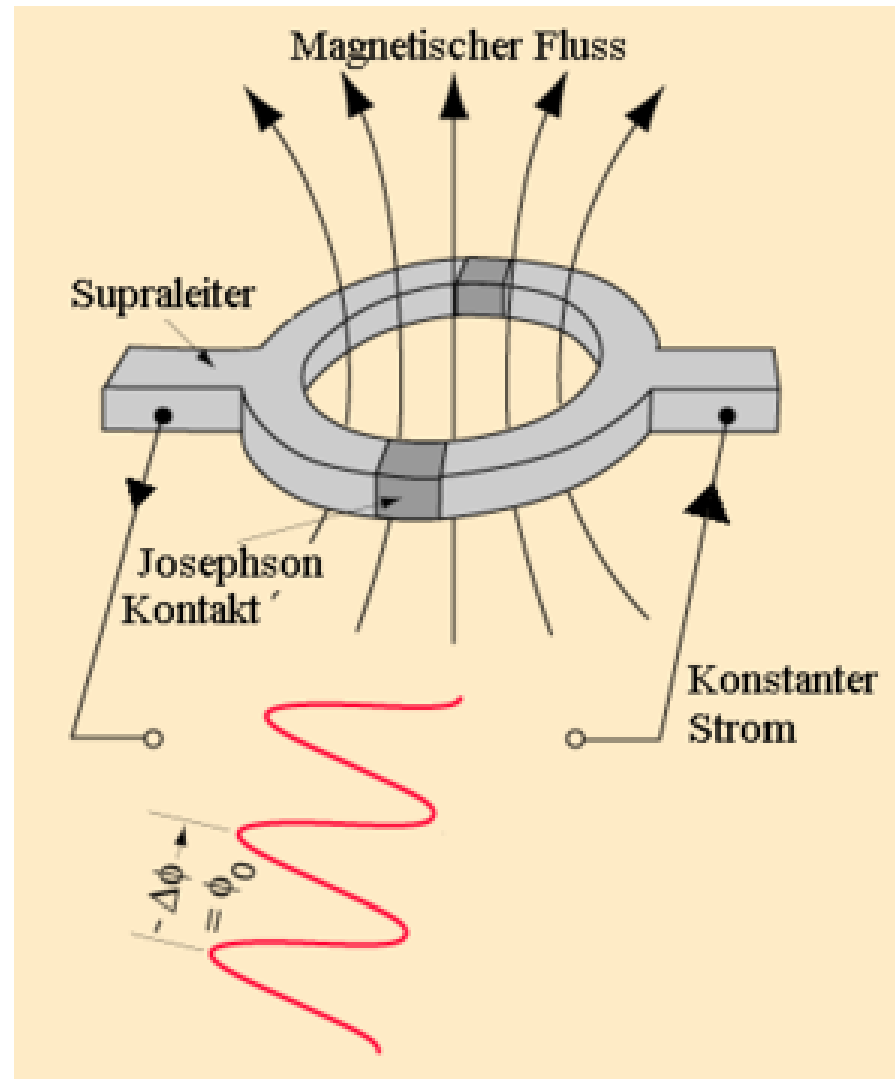


Ring ist für geringe Stromstärken immer noch
supraleitend, da die supraleitenden
Elektronenpaare sich „durchtunneln“

*[http:// www.de.wikipedia.org/wiki/SQUID](http://www.de.wikipedia.org/wiki/SQUID)



SQUID — Superconducting Quantum Interference Device





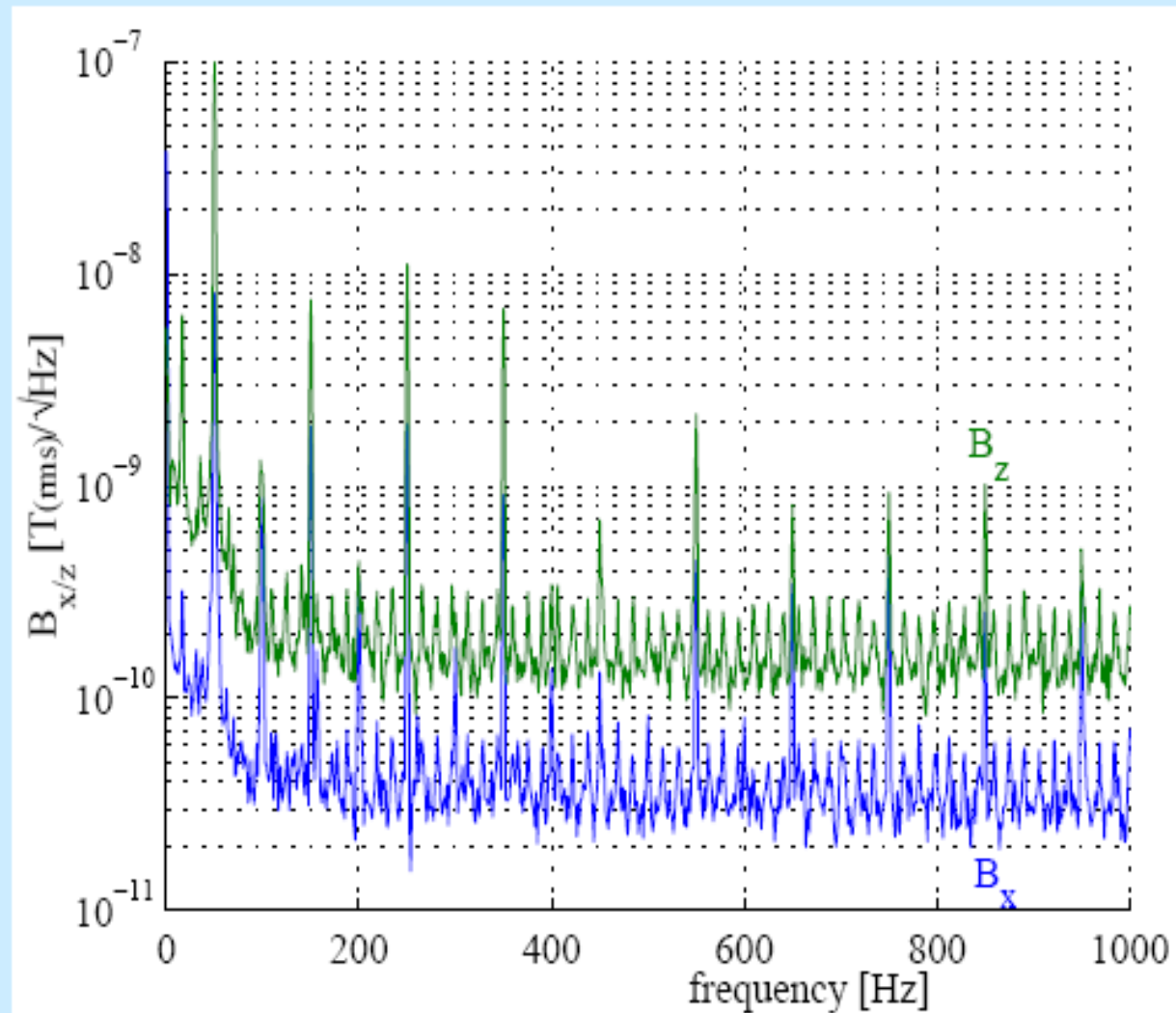


Figure 1. Urban noise spectrum of the magnetic field in vertical (B_z) direction and horizontal (B_x) direction measured with a Bartington fluxgate MAG-03 MC

Probleme bei der Messung

1. sehr schwaches Signal

→ erfordert extrem sensible Messgeräte

2. übermäßiges Hintergrundrauschen („noise“)

→ Signale müssen extrahiert werden

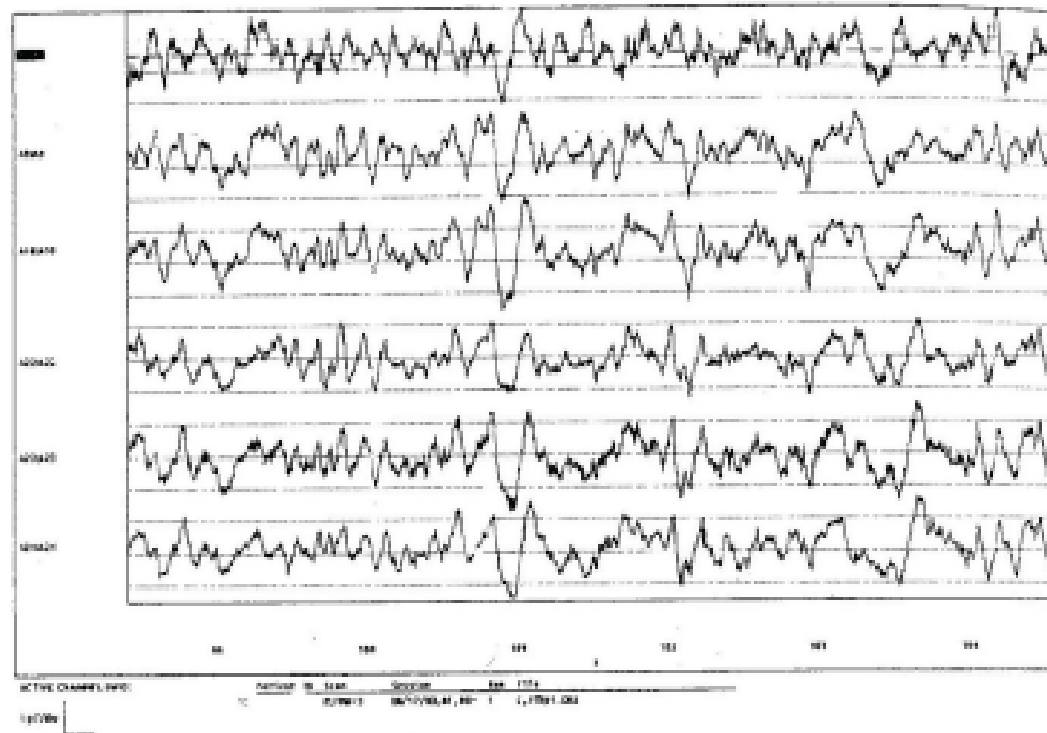
Magnetic flux density (femotesla)	Source
10^{11}	
10^{10}	Earth's steady magnetic field
10^9	
10^8	Urban noise
10^7	
10^6	Magnetized lung contaminants
10^5	Abdominal currents
10^4	Cardiogram, oculogram
10^3	Epileptic and spontaneous activity
10^2	Cortical evoked activity
10	SQUID noise
1	Brainstem evoked activity



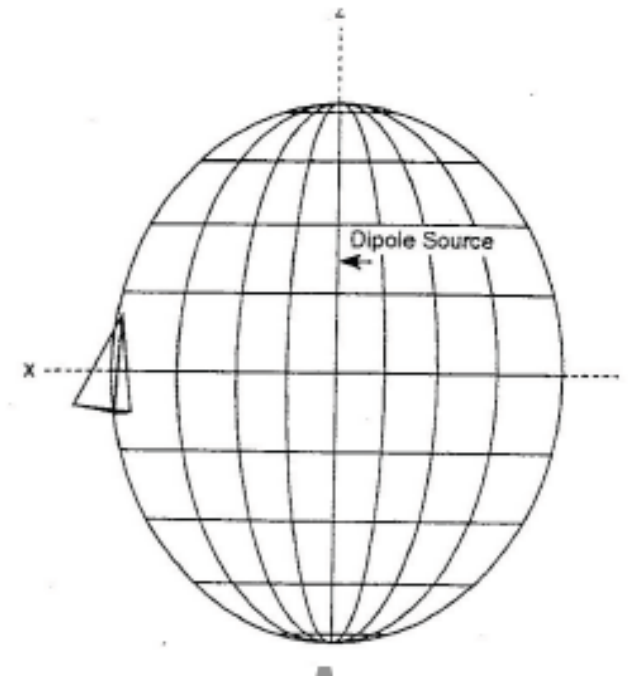
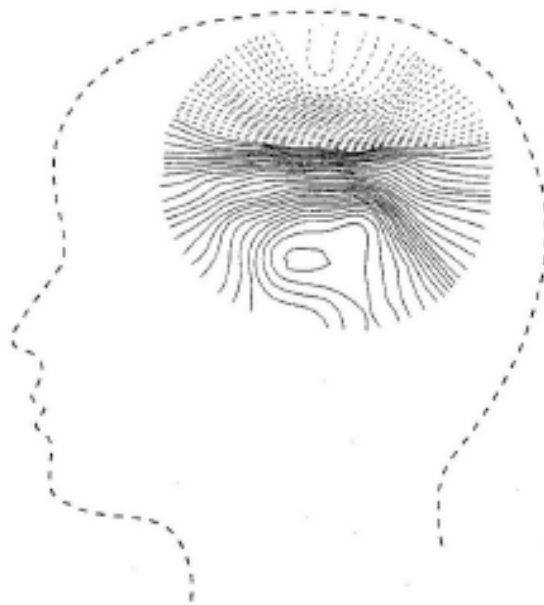
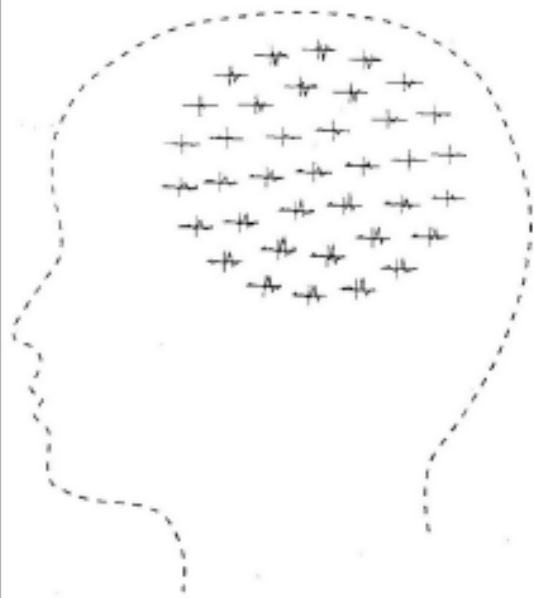
Magnetisch geschirmte Kammer AK3b (VAC)



- Jeder MEG Abtast-Kanal nimmt ein neuromagnetisches Signal auf



Lokalisation der Quellen

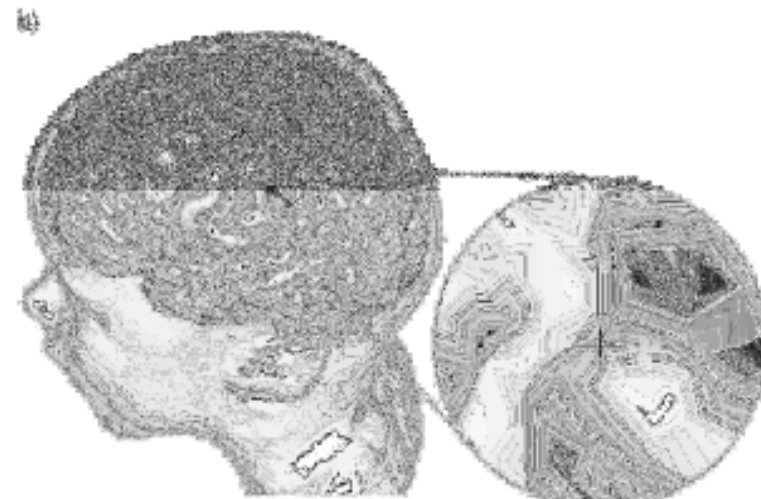
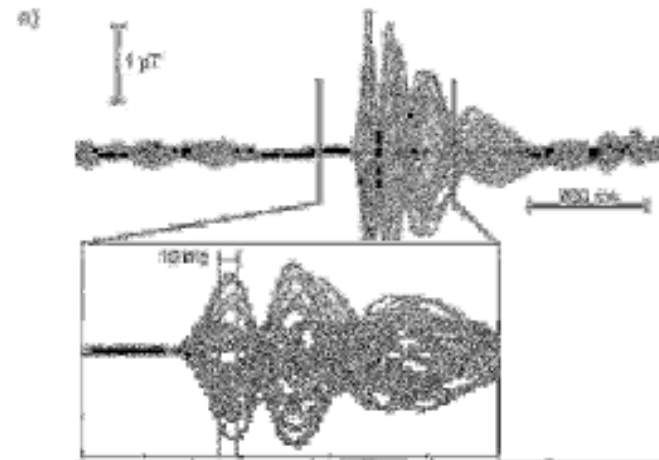


Bioelektromagnetische Diagnostik

- Belastungsfrei
- Kontaktlos
- Schnell

Beispiel

- Diagnose bei Epilepsiepatienten



Zwei mögliche neuronale Ereignisse sind für die Entstehung von Magnetfeldern außerhalb des Schädels verantwortlich

→ postsynaptische Potenziale

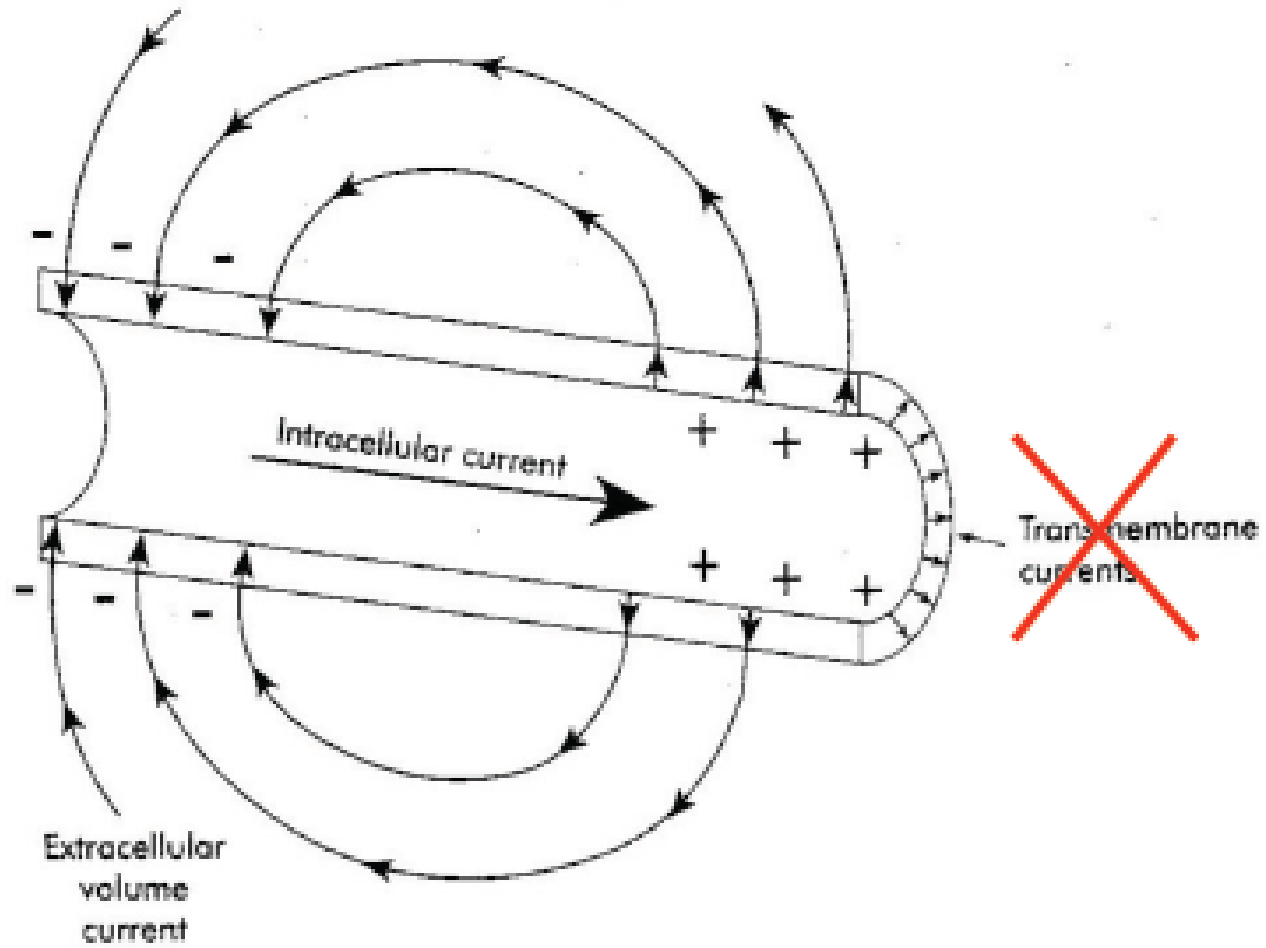
→ Aktionspotenziale

Postsynaptische Potenziale

- Die magnetische Feldstärke eines **Dipols** nimmt mit dem **Quadrat** seiner Entfernung ab
- Die Feldstärke eines **Quadrupols** mit der **3. Potenz** seiner Entfernung
 - Aus weiterer Entfernung werden vorwiegend **dipolare Komponenten** gemessen

Ca. 1 Millionen Synapsen müssen synchron aktiv sein

→ Bei 100.000 Pyramidenzellen pro mm^2 , jede mit tausenden von Synapsen, genügt eine synchrone Aktivierung jeder tausendsten Synapse zur Generierung eines messbaren extrakranialen Signals



- Die magnetische Feldstärke eines **Dipols** nimmt mit dem **Quadrat** seiner Entfernung ab
- Die Feldstärke eines **Quadrupols** mit der **3. Potenz** seiner Entfernung
 - Aus weiterer Entfernung werden vorwiegend **dipolare Komponenten** gemessen

Ca. 1 Millionen Synapsen müssen synchron aktiv sein

→ Bei 100.000 Pyramidenzellen pro mm^2 , jede mit tausenden von Synapsen, genügt eine synchrone Aktivierung jeder tausendsten Synapse zur Generierung eines messbaren extrakranialen Signals

Magnetfeld Herz

