

## Selbststudium Kapitel 3.1. und 3.2.

### 3.1. Körpereigene, elektromagnetische Biosignale

Nicht nur elektronische Geräte sind Quellen und Senken elektromagnetischer Felder und Wellen, auch der menschliche Organismus erzeugt einerseits elektrische Signale, andererseits ist er den Immissionen äußerer Felder ausgesetzt. Man könnte übrigens auch hier, ähnlich wie im vorangegangenen Kapitel 2, von leitungsgeführten und von gestrahlten Signalen sprechen – im Emissionsfall ebenso wie im Immissionsfall.

**Ziel von Schutzkonzepten des menschlichen Organismus gegen die Wirkungen äußerer elektromagnetischer Felder (leitungsgeführter und strahlungsgeführter Immissionen) ist wie bei elektronischen Geräten das Gewährleisten der Funktionsfähigkeit unseres Organismus ohne kurz- oder langzeitliche Beeinträchtigungen, Störungen oder Schäden.**

Felder, die wir selbst erzeugen, sind zum Glück klein genug um durch ihre **Emission** andere Menschen nicht zu beeinträchtigen, zumindest nicht auf dem Weg des messbaren Elektromagnetismus, wenn wir von Phänomenen absehen, die mit bekannten Modellen nicht erklärt und mit gängigen Messtechnologien nicht analysiert werden können und die sich dem Wissensstand der Wirkmechanismen und der Kausalität entziehen. Aber bereits eine elektrostatische Aufladung, die wir z.B. durch das Gehen über einen Kunststoffbodenbelag erzeugen und die sich über den Körper einer anderen Person, die wir durch Händeschütteln begrüßen, entlädt, kann für unser Gegenüber eine beträchtliche Unannehmlichkeit darstellen. Man könnte diesen Effekt als durch unseren Organismus ausgelöste leitungsgeführte Störemission sehen. Die Abstrahlung von Infrarot zufolge unserer Körpertemperatur und unseres Emissionsvermögens wäre dann eine strahlungsgeführte Emission.

### Nervenreizleitung als niederfrequente elektrisch/elektrochemische Funktion:

**Axone**, meist auch „Nervenfasern“ genannt, sind schlauchartige Fortsätze der Nervenzellen (Neuronen), sie leiten (elektrische) Impulse („Aktionspotentiale“) von der „Sender-Nervenzelle“ weg, und können z.T. sehr lang sein (bis über 1m). Axone transportieren aber auch Stoffe in beide Richtungen von der Nervenzelle weg (in Richtung Synapsen) und zur Nervenzelle hin. Am Ende kann sich eine Nervenfaser aufspalten und schließlich (räumlich gesehen) VOR den Synapsen der „Empfänger-Nervenzellen“ enden („präsynaptische Enden“).

Die Übertragung eines Nervenreizes erfolgt dann durch einen chemischen Prozess in der Zellmembran am Ende des Axons und im sogenannten **synaptischen Spalt** zwischen dem Axon-Ende und der Nervenzelle, an die die Nervenfaser andockt. Im Inneren der „Empfänger-Nervenzelle“ wird durch einen chemischen Prozess wiederum ein Aktionspotential aufgebaut.

Für das prinzipielle Verständnis der Nerven-Signalübertragung und ihrer eventuellen Störung durch Ströme, die durch äußere Felder erzeugt werden, sollten Sie die Vorgänge in den

Bildern 3.1/4 und 3.1/5 ansehen. **Darin kann man erkennen, dass die Ausbildung eines Aktionspotentials ein nichtlinearer Prozess ist, der, einmal angestoßen, zuerst fertig ablaufen muss, um danach wieder angestoßen werden zu können.** Das sogenannte „Ruhepotential“, das ist das Membranpotential zwischen Innen- und Aussenwand des Axons, hergestellt durch die Natrium-Kalium-Ionenpumpe, ist die Ausgangsposition ( -97mV).

Dieses scheinbar genügend hohe elektrische Potential und seine zeitlichen Änderungen beim „Feuern“ (Aktionspotential) in der Größenordnung von immerhin einigen 10 mV sollten eigentlich einer Messung zugänglich sein. Allerdings ist das resultierende elektrische Feld einer einzelnen Zelle zu schwach um es mit Feldsonden zu messen – denn auf die Messung der elektrischen Felder anstelle der Potentiale ist man angewiesen. Daher ist es nur möglich die Felder von ganzen Volumenbereichen im Gehirn zu detektieren, in denen es zur gleichen Zeit Nervenzellenaktivität gibt: **EEG und MEG, siehe Bild 3.1/6.**

Potentialunterschiede zwischen verschiedenen Regionen des Gehirns, die mittels Elektroden an der Kopfhaut abgenommen werden können, sind um Größenordnungen kleiner als die Aktionspotentiale einzelner Nervenzellen, sie betragen lediglich zwischen 5 und 100  $\mu\text{V}$ .

Die näherungsweise Berechnung von E- und H-Feldern im Cortex sehen Sie bitte als Ergänzung, sie wird sicher nicht Teil einer Prüfung sein.

### 3.2. Nichtthermische Wirkungen niederfrequenter Felder

Vornehmlich **Gehirnzellen (im Cortex), Sinneszellen und Muskelzellen (z.B. Herzmuskel)** sind jene Nervenzellen, deren Funktionsfähigkeit bei Immission äußerer Felder oder Einprägung äußerer Ströme gewährleistet sein muss. **Im Folgenden sehen wir sie als die „Empfänger“-Zellen von elektrischen Signalen, die den natürlichen körpereigenen Biosignalen überlagert werden. Meist werden eingeprägte Ströme, bzw. Stromdichten definiert, die zum Überschreiten der Stimulationsschwelle an einer Zellmembran führen – und damit zu Störungen der biologischen Nervensignale.**

Die Abbildung 3.2/2 zeigt das stark vereinfachte Ersatzschaltbild der Zellmembran, R und C ergeben die Zeitkonstante je nach Nervenzellen-Typ, die Spannung zufolge des Aufladevorgangs nach einem Stromsprung entspricht dem Aktionspotential. Da die Nervenzelle nach Auslösen des Aktionspotentials (vergleiche den Ausdruck „die Synapse feuert“) eine Erholungsphase zum Einstellen des Gleichgewichtspotentials braucht, wird sich **bei periodischen eingepägten Störströmen ein „Frequenzgang“ der Empfindlichkeit bezüglich der Störströme ergeben.**

*Anmerkung:*

*Sie werden beim Lesen des Textes im Kap. 3.2. bemerken, dass dort von eingepägten Strömen, eingepägten Stromdichten, Energie, Ladung, Gewebefeldstärken, Potential, Spannung, magnetischer Flussdichte die Rede ist. Dies mag auf den ersten Blick sehr verwirrend sein, entspringt in diesem Teil des Skriptums jedoch den Grafiken, die Ergebnisse unterschiedlichster Versuche*

aus unterschiedlichsten Literaturquellen darstellen, in denen eben auf diese oder jene Messgröße abgestellt wurde.

**ICNIRP-Definition für Schutzkonzept:**

**Niedrigste Schwelle für eine nicht mehr tolerierbare Nervenreizung wird 20% über dem Mittelwert der experimentell bestimmten Wahrnehmungsschwelle festgesetzt. Dabei sind die Wahrnehmungsschwellen frequenzabhängig.**

**Frequenzabhängigkeit:**

**Unterhalb einer (gewebeabhängigen) unteren Grenzfrequenz:** Die Zelle passt sich an die langsame Depolarisation an: Zelle wird unempfindlicher, die Schwellwerte steigen.

**Oberhalb einer oberen (gewebeabhängigen) Grenzfrequenz:** die Zeit zur Ladungsakkumulation wird immer kürzer, Potential wird mit dem Störstrom in kurzer Zeit nicht mehr erreicht, Störstrom muss höher sein, die Schwellwerte steigen daher.

**Die wichtigste zusammenfassende Abbildung in Kap. 3.2 ist das Bild 3.2/10.** Es zeigt in Abhängigkeit von der Frequenz Schwellenwerte der **Stromdichte** für verschiedene Wirkungen an Nervenzellen und Muskelzellen. Sie sollten für die Prüfung mit dem Diagramm umgehen können! Bemerkenswert ist, dass sehr viele Effekte bei ziemlich genau den Frequenzen des technischen Wechselstroms ihre niedrigsten Schwellwerte haben !!!! Den Schwellwert für Kammerflimmern bei 50 Hz sollten Sie wenn möglich wissen und ihn auch in andere Einheiten wie z.B. in mA/m<sup>2</sup> umrechnen können.

Bevor es zu wahrnehmbaren Effekten im Körperinneren kommt, nehmen wir Effekte an der Körperoberfläche wahr: wenn wir selbst geerdet sind und elektrisch geladene Körper berühren, spüren wir entweder einen Entladungsimpuls oder einen Dauer-Ableitstrom.

**Ebenso wichtig wie Bild 3.2/10 ist die Tabelle 3.2/1.**

Sie fasst für **eine Frequenz des technischen Wechselstroms von 60 Hz** (die Daten stammen aus angloamerikanischen Quellen) Reaktionen auf Dauer-Ableitströme verschiedener Stärken zusammen. Zwar sind nur 0,5% der männlichen Erwachsenen bei einem Wert von 100 mA<sub>eff</sub> Opfer von **Kammerflimmern**, der gefährlichsten Störung des Herzmuskels, beachten Sie jedoch wie nahe 100 mA bereits an die nominellen Auslöseströme gängiger Fehlerstromschutzschalter in der herkömmlichen Hausinstallationstechnik herankommen!