

# **Wirkung elektromagnetischer Felder Teil 1 u. 2**

**Mitteilungen aus dem Institut  
für Umwelttechnik  
Nonnweiler-Saar  
Dr. rer. nat. Schau  
DL3LH**

## Vorwort:

Die Wirkung elektromagnetischer Felder wird oft und umschweifend in den Medien beleuchtet. Meinungen und Ansichten spielen dabei auch heute noch eine wichtige Rolle. Doch wo bleiben die mathematischen Fakten zu diesem Thema?

Der Gesetzgeber hat durch Festlegung von Grenzwerten für die Größe elektrischer Felder einen wichtigen Schritt getan. Die Diskussion über die nachteilige Wirkung elektromagnetischer Felder wurde damit aber nicht beendet.

Dass wir Energie verbrauchen merken wir meist erst, wenn die nächste Energieabrechnung ins Haus flattert. Spätestens jetzt stellt sich die Frage nach dem Sinn einer Endstufe. Dieser Kurzgedanke wird allerdings schnell verworfen und vergessen, wenn der Meinungsverstärker die notwendige Anerkennung bei der Gegenstation erzeugt. „Das Leben ist zu kurz für QRP“ ist eine oft gebrauchte Formulierung. Stellt sich die Frage ob diese

verachtende Einstellung zur Umwelt die Richtige ist. Wenn man bedenkt, dass eine Amateurstation mit zusätzlicher Endstufe einen Gesamtwirkungsgrad von weniger als 5 % hat, stellt sich erneut die Frage nach der Energienutzung.

Gehen wir von  $P = 750 \text{ W}$  an der Antenne aus, so sind mit einem Gesamtwirkungsgrad von 5 % immerhin  $P = 15 \text{ KW}$  an zugeführter Leistung erforderlich. Dabei entspricht ein  $S + 20 \text{ dB}$  Signal bei der Gegenstation eine Leistung von  $P = 5.01 \text{ nW}$  an  $50 \Omega$ . Das ist ein Gesamt - Wirkungsgrad von  $\eta = 15 \text{ Nano } \%$ .

Wir verwenden also eine riesige Menge Energie, doch kaum jemand macht sich darüber Gedanken was mit der teuer erzeugten Energie geschieht und wo sie bleibt. Besonders wichtig ist Frage nach der Wirkung elektromagnetischer Felder auf den Menschen.

## Allgemeines:

Lebensqualität und die Gesundheit des Einzelnen wird durch Umwelteinflüsse entscheidend beeinflusst. In den letzten Jahren wurde das öffentliche Bewusstsein für diesen Zusammenhang zunehmend sensibler. Müllentsorgung, Chemie im Boden, Wasser- und Luftverschmutzung, die Lärmbelästigung und die Strahlungsleistung von Großsendern, sind nur einige Beispiele. Erst durch den Reaktorunfall von Tschernobyl ist die Belastung durch Strahleneinwirkung verschiedenster Art in die öffentliche Diskussion gelangt, die bis dahin relativ wenig beachtet und eigentlich nur Fachleuten bekannt war. Dies hat primär seine Ursache, dass von medizinischer Seite die Bedeutung der Einwirkung auf die Gesundheit des Menschen und natürlich der Tiere noch nicht hinreichend geklärt ist und dass zur Einschätzung dieser Gefahr spezielle Kenntnisse über elektrotechnisch - physikalische Zusammenhänge notwendig sind, die nur wenige, kompetente Fachleute besitzen. Sei es wie es sei, zumindest ist die Zeit völliger Verharmlosung und Abqualifizierung aller warnenden Stimmen vorbei.

Elektromagnetische Strahlung tritt in erster Linie dort auf, wo Anlagen zur Versorgung oder zum Verbrauch von elektrischer Energie vorhanden sind. Hierzu ist der Begriff der Elektrobiologie eingeführt worden und bezeichnet die Belastung des Menschen durch elektromagnetische Strahlung.

Von besonderer Bedeutung sind hier die alles durchdringenden magnetischen Wechselfelder, deren Abschirmung mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist. Dennoch gibt es einfache technische

Lösungen, die Magnetfelder auf den vom Gesetzgeber verlangten Grenzwert zu reduzieren.

Bei der elektrischen 50 Hz - Energieversorgung tritt in den Räumen durch elektrische Spannung und Strom eine Strahlung auf, die technisch mit Hilfe des Feldes beschrieben werden kann. Dabei unterscheidet man das elektrische Feld, das durch die Betriebsspannung solcher Anlagen entsteht und dem magnetischen Feld, das nur vom fließenden Strom abhängt. Von besonderer Bedeutung ist hierbei, dass die Feldlinien des elektrischen Feldes einen Anfang und ein Ende haben. Metallflächen, auf denen die Feldlinien enden, machen den dahinter liegenden Raum praktisch feldfrei, sie haben also eine schirmende Wirkung.

Magnetische Feldlinien haben dem gegenüber keinen Anfang und kein Ende, sie sind in sich geschlossen und können durch keinerlei Maßnahmen unterbrochen werden. Eine Möglichkeit zur Schirmung, wie sie beim elektrischen Feld besteht, existiert daher für das magnetische Feld nicht. Das magnetische Feld durchdringt praktisch ungehindert jegliche Materie in unserem Lebensraum wie Pflanzen, Erde, Wasser, Häuser, Hauswände, Stahlbetondecken usw., natürlich auch die Körper aller Lebewesen.

Dennoch führen einfache Maßnahmen zu einer erheblichen Feldreduzierung auf Werte unter 10 % der ursprünglichen Stärke. In zunehmendem Maße steigt das Interesse der biologischen Wirksamkeit von elektrischen und magnetischen Feldern im Frequenzbereich von 1 Hz bis einigen GHz.

Bislang ist wissenschaftlich noch nicht im vollen Umfang bewiesen, welche gesundheitsschädlichen

Wirkungen diese Strahlenbelastung haben kann, jedoch verdichten sich derartige Befürchtungen immer mehr. Eine Vielzahl vorliegender epidemiologischer Studien zeigen den Zusammenhang mit dem Auftreten von Krebskrankheiten. Obwohl die Resultate der verschiedenen Studien noch nicht miteinander vergleichbar sind, haben sogar extrem konträr eingestellte Wissenschaftler aus dem medizinischen Bereich zugestanden, dass aufgrund der vorliegenden Fakten keine Zweifel mehr bestehen können, dass zumindest mit einem erhöhten Krebsrisiko durch Strahlenbelastung, wie sie von elektrischen Anlagen ausgehen, zu rechnen ist. Außer den beiden Extremen "völlig wirkungslos" oder "krebserzeugend" wird heute mit der Möglichkeit eines Zwischenzustandes gerechnet. Darunter fallen Beschwerden des Allgemeinbefindens ohne erkennbare organische Ursachen, wie beispielsweise Kopfweh, Nervosität, Kreislaufbeschwerden, Schlafstörungen, Konzentrationschwäche und vor allem bei Kindern eine Reihe vieler anomaler Vorkommnisse. Allerdings lassen sich die bei bestimmten Personen gemachten Erfahrungen nicht unbedingt auf eine andere Person übertragen.

Niemand wird verlangen, dass nunmehr der elektrische Strom aus unserem Umfeld verbannt wird, nur ist leicht zu erkennen, dass gründliches Umdenken erforderlich ist. Im Rahmen einer modernen Umweltpolitik steht nicht nur der elektrische Strom in der allgemeinen Diskussion, sondern auch Energieverteilungsanlagen (Hochspannungsleitungen) und Sendeanlagen. Dazu gehören Groß- und Kleinfunkstellen im Lang-, Mittel-, und Kurz- und Ultrakurzwellenbereich, Sendeanlagen für Handynetze, Radaranlagen usw. Der in der Nähe solcher Anlagen lebende Mensch ist Nutzer und Betroffener zugleich und damit selbst direkt betroffen. In all diese Betrachtungen ist der elektrische Strom mit einzubeziehen, wie er in Wohnungen zur Anwendung kommt. Der Bürger erwartet heute eine umfassende Aufklärung, damit er selbst für seinen unmittelbaren Lebensbereich entscheiden kann, wie sich ein ihm bekanntes Risiko mit seinen persönlichen Vorstellungen des Lebens in Einklang bringen lässt. In zunehmende Maße sind auch Diskussionen zu diesen Themen in den Medien zu verzeichnen. Es soll noch einmal deutlich hervorgehoben werden, dass eine völlige Schirmung gegen elektrische und magnetische Felder nicht möglich ist. Jedoch eine Reihe von einfachen Möglichkeiten erlauben es innerhalb eines Hauses / einer Wohnung E- und H-feldarme Ruhezone einzurichten, wobei die Entscheidung darüber heute immer noch dem einzelnen überlassen bleibt.

Zu sagen ist, dass vor Änderungsmaßnahmen einer elektrischen Anlage umfangreiche Vorarbeiten wie Beratung, Messung, Testen von Möglichkeiten erforderlich werden. Das Schwergewicht der Überlegungen liegt sicherlich bei der Neuinstallation

von Häusern und Wohnungen. Hier ist die Zusammenarbeit mit dem Bauherrn, dem Architekten und dem Installationsbetrieb gefragt.

Die damit verbundenen Mehrkosten für den Kunden sind sicherlich von untergeordneter Bedeutung geht es hier doch um den Punkt Sicherheit und um eine gesunde Lebensweise in einer gesunden Umgebung.

## 1. Nah- und Fernfeld einer Antenne

Die magnetische Feldstärke außerhalb der Antenne besteht aus 2 Komponenten. Die erste Komponente nimmt umgekehrt zum Quadrat der Entfernung  $r$  ab und hängt von der ersten Ableitung des Dipolmomentes ab.

Die zweite Komponente nimmt mit der ersten Potenz der Entfernung  $r$  ab und ist der zweiten Ableitung des Dipolmomentes proportional. Der erste Anteil wird als Nahfeld, der zweite als Fern- oder Strahlungsfeld bezeichnet. Der erste Anteil wirkt nur in kleinsten Entfernungen, während in großen Entfernungen der zweite Anteil überwiegt. Die je Flächen- und Zeiteinheit abgestrahlte Energie wird durch den Poynting - Vektor

$$\underline{S} = \underline{E} \times \underline{H} \quad (Gl 1)$$

beschrieben.

Da die elektrische und magnetische Feldstärke im Fernfeld gleichphasig verläuft, zeigt der Poynting-Vektor immer in die gleiche Richtung und zwar von der Antenne weg. Wir haben es mit einer Energieströmung konstanter Richtung zu tun.

Das Nahfeld verursacht keine Energieströmung, da die elektrische und magnetische Feldstärke, wie im Feld eines einfachen Schwingkreises, um 90 Grad in der Phase verschoben sind. Es pendelt also reine Blindenergie hin und her. Eine Energieentnahme über diese Nahfeldkomponente ergibt eine Rückwirkung, wie bei gekoppelten Spulen oder beim Transformator und führt daher zu einer Verstimmung der Antenne.

Befindet sich die Antenne in Erdnähe, so erzeugt deren Feldstärke in der Erde, wie in einem Leiter, einen Strom, dessen Sekundärfeld das Originalfeld beträchtlich verzerren kann /7/. Mit der Methode der Spiegelung kann der Einfluss berechnet werden. Messungen im Nahfeld dagegen sind sehr komplex und erfordern genaue Kenntnisse der Feldverteilung.

Die Frage wie Energie aus einer Antenne austritt, kann sehr einfach beantwortet werden. Aus dem Innern der Antenne tritt keine Energie aus.

Sie tritt bei endlicher Leitfähigkeit des Antennendrahtes höchstens ein. Die Energie kommt aus dem Hochfrequenzgenerator, die Leitungen und auch die Antenne führen und verteilen die Energie nur, wie bei der Zweidrahtleitung ausführlich beschrieben

/16/; daher kann man sich auch einen Dipol aus dem Spreizen eines Teiles der Doppelleitung entstanden denken. Tritt solch eine elektromagnetische Welle aus dem Freiraum in ein verlustbehaftetes Medium ein, so wird ein Teil der von der Welle transformierten Leistung absorbiert und bewirkt eine Erwärmung des Mediums. Deshalb werden in der Hochfrequenztechnik besonders verlustarme Materialien eingesetzt. Die Erhöhung der Temperatur tritt natürlich auch bei biologischen Systemen, wie der Mensch auf. Die Kerntemperatur ist 37° und wird durch das vegetative Nervensystem konstant gehalten. Schon geringe Abweichungen von 0.1 K bewirken eine Störung.

Aufgrund der hohen Empfindlichkeit gegen Temperaturänderungen müsste eigentlich auch eine hohe Sonneneinstrahlung oder starker Frost eine heftige Störung hervorrufen. Zur Vermeidung verfügt der Körper über ausgefeilte Regelmechanismen, die eine Wärmeabgabe oder Aufnahme über die Haut gestattet. Bei der Absorption elektromagnetischer Wellen tritt ebenfalls eine Wärmezufuhr, die mittels der von der Natur gegebenen Mechanismen ausgeregelt werden muss. Das gelingt allerdings nur bis zu einer bestimmten Grenze. Wird mehr Wärme zugeführt, kommt es zur Erwärmung des Gewebes.

Wird eine Temperatur von 42° überschritten, zerfallen lebenswichtige Eiweiße und es besteht akute Lebensgefahr. International wird eine Erhöhung von 0.1 K zugelassen. Da aber die Absorptionsraten des menschlichen Gewebes unterschiedliche Werte haben, wurde der SAR Wert eingeführt. Es gilt

$$\text{SAR} = P / m \quad (\text{Gl 2})$$

mit m als Masse.

Diese Definition hilft uns nicht viel weiter, doch die absorbierte Leistung nach (Gl 2) kann bei bekannter elektrischer Leitfähigkeit  $\sigma$  und Dichte  $\rho$  des menschlichen Gewebes auf die elektrische Feldstärke im Gewebe

$$\text{SAR} = 1/2 \sigma / \rho * |E|^2. \quad (\text{Gl 3})$$

zurückgeführt werden.

In allen gängigen Normen wurden Personenschutzgrenzwerte durch den Gesetzgeber festgelegt, die das elektrische und magnetische Feld und die Leistungsdichte der einfallenden elektromagnetischen Welle festlegt.

Mit diesen Grenzwerten kann die Überprüfung und Überwachung auf eine Erwärmung des menschlichen Organismus im Sinne des Personenschutzes auf eine relativ einfache Feldmessung außerhalb des Gewebes zurückgeführt werden.

## 2. Elektromagnetische Wellen in Stoffen endlicher Leitfähigkeit

Beim Nah- und Fernfeld einer Antenne haben wir es mit Wellenfeldern zu tun. Um die Sache nicht kompliziert zu machen, gehen wir von ebenen Wellenfeldern aus und berechnen die Wirkung dieser Felder auf Stoffe endlicher Leitfähigkeit. Mit dem Zusammenhang

$$E = H \sqrt{\mu/\epsilon} \quad (\text{Gl 4})$$

kann (Gl 1) etwas umgeschrieben werden. Da  $\underline{E}$  und  $\underline{H}$  räumlich 90 Grad aufeinander stehen, gilt für den Betrag von S im Vakuum

$$S = E * H = E^2 \sqrt{\epsilon/\mu} = H^2 \sqrt{\mu/\epsilon} = 1/\sqrt{\mu\epsilon} * [1/2 \epsilon E^2 + 1/2 \mu H^2] \quad (\text{Gl 5})$$

Dieser Ausdruck für den Poynting -Vektor kann als die in einem Prisma mit der Grundfläche 1 m<sup>2</sup> und der Länge v vorhandene elektrische und magnetische Energie gedeutet werden.

Dabei hat eine Welle im Vakuum bekanntlich die Geschwindigkeit

$$v = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (\text{Gl 6})$$

und das Verhältnis von

$$Z_0 = E / H = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 120 \pi \Omega \quad (\text{Gl 7})$$

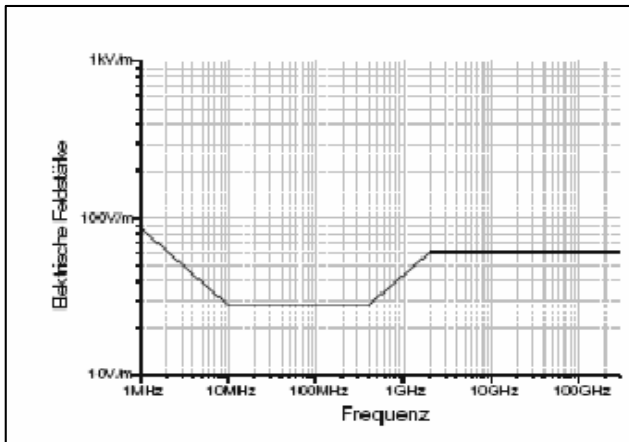
ist der Feldwellenwiderstand des freien Raumes mit der Näherung  $Z_0 = 377 \Omega$ . Mit (Gl 5) und (Gl 7) gilt auch

$$S = E^2 / Z_0 \quad (\text{Gl 8})$$

$$S = Z_0 H^2 \quad (\text{Gl 9})$$

### Beispiel: 2.2

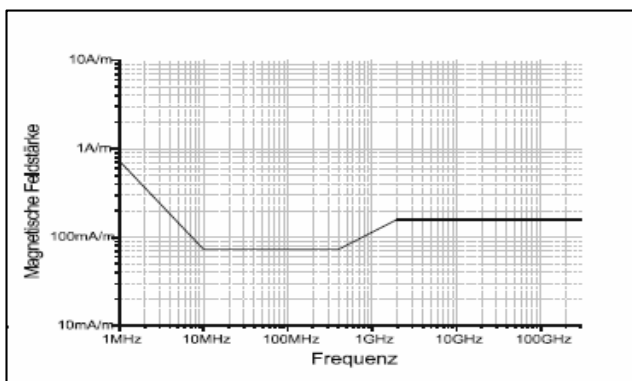
Nach Bild 1 wird nach EU-Ratsempfehlung der Grenzwert für die elektrische Feldstärke von



**Bild 1: Grenzerte für die elektrische Feldstärke nach EU – Ratsempfehlung**

rund 20 V/m empfohlen. Mit (Gl 8) ergibt sich daraus eine Leistungsdichte von  $S = (20 \text{ V/m})^2 / 377 \Omega = 1.06 \text{ W/m}^2$ .

Mit (Gl 7) berechnet sich daraus eine magnetische Feldstärke  $H = E / Z = 20 \text{ V/m} / 377 \Omega = 0.053 \text{ A/m} = 53 \text{ mA/m}$ .



**Bild 2: Grenzerte für die magnetische Feldstärke nach EU – Ratsempfehlung**

### 3. Ebene Wellen in Stoffen mit endlicher Leitfähigkeit

Ausgehend von den Maxwell'schen Gleichungen kann mit der räumlichen Ladungsdichte  $\rho = 0$  für die Welle im Medium der Zusammenhang

$$\underline{E}(x, t) = \underline{E}_0 e^{-\alpha x} e^{j(\omega t - \beta x)} \quad (\text{Gl } 10)$$

gefunden werden. Der Dämpfungsfaktor

$$\alpha^2 = \omega^2 * (1/2 \mu \epsilon) [\sqrt{1 + (\sigma/\omega\epsilon)^2} - 1] \quad (\text{Gl } 11)$$

und die Phasenkonstante

$$\beta^2 = \omega^2 * (1/2 \mu \epsilon) [\sqrt{1 + (\sigma/\omega\epsilon)^2} + 1] \quad (\text{Gl } 12)$$

sind abhängig von den Stoffwerten und der Frequenz. Wir kennen diesen Zusammenhang von der Ausbreitung einer Welle auf Leitungen /2/, wobei gilt

$$\underline{\gamma} = \underline{\alpha} + j \underline{\beta}. \quad (\text{Gl } 13)$$

Untersucht man nun den Dämpfungsfaktor  $\alpha$  und die Phasenkonstante  $\beta$  nach (Gl 11, 12) für die beiden Extremfälle der Praxis, nämlich „nichtidealer Leiter“ und „unvollkommener Isolierstoff“ für sinusförmige Vorgänge, dann ergeben sich folgende Zusammenhänge.

#### 3.1 Nichtidealer Leiter

Die Leitungsstromdichte in einem Leiter ist  $\underline{S}_L = \sigma \underline{E}$  und die Verschiebungsstromdichte für den rein sinusförmigen Vorgang  $\underline{S}_V = j \omega \epsilon \underline{E}$ .

Unter der Voraussetzung  $|\underline{S}_V| \ll |\underline{S}_L|$  folgt  $\sigma/\omega \epsilon \gg 1$ .

Für die Dämpfungskonstante gilt dann annähernd

$$\alpha = \sqrt{1/2} \mu \sigma \omega = \beta \quad (\text{Gl } 14)$$

und mit (Gl 10)

$$\underline{E}(x, t) = \underline{E}_0 e^{-x/\delta} e^{j(\omega t - x/\delta\omega)}, \quad (\text{Gl } 15)$$

dabei ist  $\delta = 1/\beta$  die Entfernung, nach der die Feldstärke auf ihren 1/e ten Wert abgesunken ist. Diese Entfernung ist die der beim Skin-Effekt eingeföhrten Eindringtiefe gleich /12/.

#### 3.2 Unvollkommener Isolierstoff

Ist  $\sigma \ll \omega \epsilon$  dann haben wir es mit einem Isolierstoff zu tun. In diesem Fall gilt annähernd

$$\alpha = 1/2 \sigma \sqrt{\mu/\epsilon} \quad (\text{Gl } 16)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon} * [1 + 1/8 (\sigma/\omega\epsilon)^2] \quad (\text{Gl } 17)$$

und die Phasengeschwindigkeit

$$v_{ph} = \omega / \beta = 1 / \sqrt{\mu \epsilon} * [1 - 1/8 \pi (\sigma/\omega\epsilon)^2] \quad (\text{Gl } 18)$$

verringert sich mit der Näherung  $1/(1+x) \approx (1-x)$  gegenüber dem idealen Isolierstoff.

Das Verhältnis  $\sigma/\omega\epsilon$  ist also maßgebend dafür, ob ein Stoff als Isolierstoff oder Leiter bezeichnet wird, dabei bestimmt die Kreisfrequenz  $\omega$  den Unterschied.



Ein Stoff kann also bei tiefen Frequenzen als Leiter und bei hohen Frequenzen als Isolierstoff wirken. Metallische Leiter sind bei praktischen Frequenzen gute Leiter und gute Isolierstoffe bei hohen Frequenzen.

Erde und das Seewasser, die in der Funktechnik eine große Rolle spielen, sind leitend bei tiefen Frequenzen und gute Isolierstoffe bei hohen Frequenzen.

Wenn  $\sigma$  (Spezifische Leitfähigkeit) und  $\epsilon$  (absolute Dielektrizitätskonstante) unabhängig von der Frequenz konstant sind, dann ist  $k$  umgekehrt proportional zur Frequenz. Die Bezeichnung Isolator oder Leiter ist also abhängig von der Frequenz.

Entscheidend ist der Wert des Verhältnisses  $\sigma/\omega \epsilon$  bei tiefen Frequenzen.

So ist Glas bei tiefen Frequenzen ein brauchbarer und bei hohen Frequenzen ein guter Isolator, Meerwasser bei tiefen ein guter Leiter und bei hohen ein guter Isolator.

Das Gesagte gilt natürlich auch für den menschlichen Körper, der hauptsächlich aus Wasser besteht.

Element	Gewicht %	Masse kg
Sauerstoff	63	44
Kohlenstoff	20	14
Wasserstoff	10	7
Stickstoff	3	2.1
Kalzium	1.5	1
Phosphor	1	0.7
Kalium	0.25	0.170
Schwefel	0.2	0.140
Chlor	0.2	0.070
Natrium	0.1	0.070
Magnesium	0.04	0.030
Eisen	0.004	0.003
Kupfer	0.0005	0.0003
Mangan	0.0005	0.0001
Jod	0.00004	0.00003

**Tab. 1: Zusammensetzung eines Menschen mit 70 kg Körpermasse**

Das menschliche Körpergewebe hat in etwa eine elektrische Leitfähigkeit von  $\sigma = 19.4 \text{ mS/cm}$  und eine relative Dielektrizitätskonstante von etwa  $\epsilon_r = 10^6$ .

Der elektrische Widerstand liegt zwischen  $R = 500$  bis  $1000 \Omega$ .

Bei einer Wechselspannung von  $U = 230 \text{ V}$  fließt ein Strom von  $I = 230 \text{ V} / 1000 \Omega = 230 \text{ mA}$  durch den Körper und kann sehr leicht zu Herz-Kammerflimmern führen. Ohne sofortige Hilfe führt HKF wegen der geringen Pumpleistung des Herzen in wenigen Minuten zum Tod /12, 13/.

Das für uns wichtige Verhältnis  $k = \sigma/\omega \epsilon$  berechnet sich mit den Konstanten  $\epsilon_0 = 0.885 \cdot 10^{-13} \text{ F/cm}$  und  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-9} \text{ H/cm}$  bei  $f = 3.6 \text{ MHz}$  zu  $k = 9691$  und damit wesentlich größer 1, also ein nichtidealer Leiter und das bis den mm Wellenbereich. Erst bei Frequenzen oberhalb von  $100 \text{ GHz}$  wird der menschliche Körper zum unvollkommenen Isolator. Wir berechnen mit  $\mu_r = 1$  nach (Gl 14) die Dämpfungskonstante zu  $\alpha = 0.6624 \text{ (1/cm)}$ .

Nach dem gültigen Emissionsschutzgesetz ist eine elektrische Feldstärke von  $E = 87 \sqrt{f/\text{MHz}} \text{ V/m}$  im Frequenzbereich bis  $10 \text{ MHz}$  zulässig. Bei  $f = 3.6 \text{ MHz}$  ist  $E = 45.85 \text{ V/m}$ . Nehmen wir an, diese Feldstärke direkt an der Hautoberfläche wirksam ist, dann verringert sich diese entsprechend (Gl 10) auf dem Weg in das Gewebe nach der Betragsfunktion  $E(x) = 45.85 \text{ V/m} \cdot e^{-x/0.6624}$  wobei  $x$  in cm eingesetzt werden muss. Die Werte zeigt Tab. 2.

Eindringtiefe x cm	Feldstärke in der Tiefe x V/m
0.5	21.55
1.0	16.86
1.5	4.76
2.0	2.24
3.0	0.49
4.0	0.109
5.0	0.024

**Tab 2: Feldstärke im menschliches Gewebe als Funktion des Abstandes zur Oberfläche**

Mit dem Abstand von  $x = 1 \text{ cm}$  unter der Oberfläche ist bei der zulässigen Feldstärke nach dem Emissionsschutzgesetz noch eine Feldstärke von  $16.86 \text{ V/m}$  vorhanden. Bilden wir das Linienintegral über eine Länge von  $l = 50 \text{ cm}$ , dann tritt dort eine Spannung von immerhin  $U = 16.86 \text{ V/m} \cdot 0.5 \text{ m} = 8.43 \text{ Volt}$  auf, die das Gewebe aufwärmt.

Die in das Gewebe eingebrachte Energie kann aus der Beziehung (Gl 5)  $W = \frac{1}{2} \epsilon E^2$  und der SAR Wert nach (Gl 3) berechnet werden /1/.

DL3LH, Walter

[wa-schau@t-online.de](mailto:wa-schau@t-online.de)

[www.heide-holst.de](http://www.heide-holst.de)



**Literatur auch auf [www.3610khz.de](http://www.3610khz.de)**

- /1/ Antennen Tuning I - IV, DL3LH
- /2/ Die Antenne macht die Musik, DL3LH
- /3/ Pi – Filter mit Verlusten, DL3LH
- /4/ Mythos der resonanten Antenne, DL3LH
- /5/ Passive Netzwerke zur Anpassung, DL3LH
- /6/ Das T-Filter, Teil 1 und 2, DL3LH
- /7/ Antennenmesstechnik I bis IV, DL3LH
- /8/ Gekoppelte Spulen, DL3LH
- /9/ Blitzschutz in Antennenanlagen, DL3LH
- /10/ Stehwellenmessgeräte für symmetrische Leitungen, DL3LH
- /11/ Der Skin-Effekt, DL3LH
- /12/ Grundlagen zum Blitz- und Überspannungsschutz, DL3LH
- /13/ Überspannungsschutz, DL3LH
- /14/ Die Zweidrahtleitung bei KW, DL3LH

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.