

## Materialien zur BUND-Position "Elektrosmog"

### Nr. 1

## Elektromagnetische Felder: Begriffe und Unterscheidungen

August 2001

### 1 Was unterscheidet elektrische und magnetische Felder?

Zunächst muss differenziert werden zwischen **elektrischen**, **magnetischen** und **elektromagnetischen** Feldern. Häufig werden diese drei Begriffe miteinander vermischt und somit auch falsche Rückschlüsse zu möglichen biologischen Wirkungen gezogen. Es muss also beachtet werden, von welchen Feldern jeweils die Rede ist. Zur weiteren Erläuterung sei auch auf anschauliche Literatur verwiesen (z. B. KATALYSE 1994).

#### Zum Feldbegriff

Grundsätzlich geht es um einen räumlich orientierten Energiezustand. Die Energie selbst kann in physikalischen Einheiten beschrieben werden. Die räumliche Orientierung wird über so genannte Vektoren beschrieben. Ein elektrisches Feld wird beschrieben durch den Raum in der Umgebung elektrischer Ladungen, in dem eine (elektrische) Feldstärke nachweisbar ist. Die Feldstärke  $E$  (hier:  $E = \text{Volt/Meter}$ ) selbst ist wieder definiert über das Verhältnis einer auf eine elektrische Ladung ausgeübten Kraft zur Größe der Ladung. Im statischen Zustand wird also eine Kraft auf die einzelnen Ladungsträger ausgeübt. Im dynamischen Zustand, also dann, wenn durch die Kraft eine Ortsänderung der Ladungsträger erfolgt, wird eine Arbeit verrichtet. Kommt es dabei zur Wechselwirkung mit anderer Materie, dann wird die entsprechende Energie z. B. in Joule'sche Energie, also Wärme umgesetzt. Da ein Feld einen Energiezustand beschreibt, muss natürlich diesem System vorher in irgendeiner Form Energie zugeführt worden sein. Die Arbeit, die dafür eingesetzt werden musste, entspricht der Feldenergie.

#### Das elektrische Feld

Ein elektrisches Feld entsteht immer dann, wenn zwischen zwei Punkten in einem Raum eine elektrische Potentialdifferenz vorliegt. Da diese nur über eine Ladungsver-schiebung oder einen Ladungstransport erreicht werden kann (also letztlich eine Arbeit verrichtet werden muss, um dieses zu bewirken), besteht zwischen diesen beiden Punkten mit der Potentialdifferenz auch eine Energiedifferenz. Nach dem Energieerhaltungssatz bleibt dieser Zustand solange erhalten, bis Energie entzogen oder zugeführt wird, also ein anderer Energiezustand erreicht wird, z. B. durch die Arbeit, die für einen weiteren Ladungstransport in das Gesamtsystem gesteckt wird.

Die Energie (= Fähigkeit, Arbeit zu verrichten) eines elektrischen Feldes führt dazu, dass sich alle frei beweglichen Ladungsträger in diesem Feld entsprechend mit entgegengesetzter Polarität orientieren (= Influenz). Die Feldquelle des elektrischen Feldes ist die Elementarladung des Elektrons; die Feldstärke wird angegeben in

$$E = V/m \text{ (Volt/Meter).}$$

Alle Geräte, die mit Netzstrom betrieben werden (wie Hochspannungsfreileitungen, Trafostationen oder Hausinstallationen) sind Quellen elektrischer Felder. Im Haushalt beträgt die Wechselspannung 230 Volt. Die Feldstärke des elektrischen Wechselfeldes wird sehr stark durch leitende Gegenstände beeinflusst (das elektrische Wechselfeld dringt daher kaum in Körper ein) und schwankt im Hause zwischen 1 und 100 V/m. Die Schwingungsfrequenz des Wechselfeldes wird in Hertz angegeben. 1 Hertz (Hz) entspricht einer Sinusschwingung pro Sekunde. Die Netzfrequenz in Europa beträgt 50 Hz. Die Bahn hat dagegen eine Stromversorgung mit  $16 \frac{2}{3}$  Hertz.

Elektrische Gleichfelder werden ebenfalls in V/m gemessen. Das natürliche elektrische Gleichfeld der Erde beträgt ca. 130 V/m (bei Gewitter bis zu 20.000 V/m).

### **Das magnetische Feld**

Das magnetische Feld besitzt im Gegensatz zum elektrischen Feld keine unmittelbare Feldquelle. Vielmehr ist das magnetische Feld gekoppelt an jede Bewegung einer elektrischen Ladung; man bezeichnet dieses daher auch als Wirbelfeld. Im einfachsten Fall tritt solch ein magnetisches Moment bei der naturgegebenen Eigenrotation des Elektrons (Spin) auf. Durch die Zufallsverteilung der räumlichen Spin-Orientierung ist im allgemeinen das gesamte magnetische Moment Null. Ein Ordnungszustand kann erreicht werden durch besondere Strukturanordnungen (z. B. im Kristall), oder durch Orientierung in einem äußeren Magnetfeld. Eine besondere Form dieses Ordnungszustands ist dann gegeben, wenn durch einen elektrischen Leiter ein Strom fließt. Konkret werden hier elektrische Ladungen räumlich orientiert bewegt. Es entsteht ein Magnetfeld gemäß der folgenden Definition

$$B = A/m \text{ (Ampère/Meter)}.$$

Die Maßeinheit dieser magnetischen Induktion ist Tesla (T; nach dem Physiker Tesla). Da der Raum, in dem dieses Magnetfeld erzeugt wird, bezüglich seiner magnetischen Eigenschaften berücksichtigt werden muss, ist die Korrektur über eine "Materialkonstante" notwendig. Für Luft ist diese Konstante  $\mu_0 = 1$ , womit hierfür letztlich gilt:

$$1 A/m = 1,256 \mu T.$$

Während ein elektrisches Feld immer bei jeder elektrischen Potentialdifferenz vorhanden ist, entsteht ein magnetisches Feld erst bei einer Ladungsbewegung oder konkret bei einem Stromfluss.

Magnetische Felder durchdringen fast alle Materialien und lassen sich kaum abschirmen. Im menschlichen Körper entstehen dabei frequenzabhängige Wirbelströme. Das quasi-statische Magnetfeld der Erde beträgt in Deutschland ca. 40  $\mu T$ . Das natürliche Wechselfeld der Erde hat in Deutschland einen Wert von ca. 0,000.001 Mikrottesla ( $\mu T$ ).

### **Das elektromagnetische Feld**

Es gilt der Zusammenhang, dass ein sich änderndes elektrisches Feld ein Magnetfeld zur Folge hat, wie auch der, dass ein magnetisches Wechselfeld ein entsprechendes elektrisches Feld induziert. Bei sehr schnell wechselnden Potentialen können die im dazwischen liegenden Feld befindlichen Raumladungen nicht mehr in die Potentialpunkte zurückfließen und werden in den weiteren Raum als elektromagnetische Welle hinausgesendet (emittiert). Die elektrische und magnetische Komponente sind hier miteinander gekoppelt, wobei im Nahfeld das elektrische und magnetische Feld noch getrennt betrachtet werden können. Die exakten physikalischen Zusammenhänge sind zu komplex, um hier weiter dargestellt zu werden. Festgehalten werden sollte nur,

dass dieses emittierte elektromagnetische Feld auch einen Energieinhalt hat, die dem System zugeführt werden muss. Trifft eine elektromagnetische Welle auf einen Absorber (z. B. Mensch), dann wird die Energie in einen anderen Zustand (überwiegend Wärme) transformiert. Dieser sog. Mikrowelleneffekt wird auch im Mikrowellenherd in der Küche für die Erwärmung von Speisen nutzbar gemacht.

Jedes elektromagnetische Feld breitet sich in der Luft mit Lichtgeschwindigkeit von 300.000 km/s aus und lässt sich mit folgenden physikalischen Größen beschreiben:

- Die Frequenz wird in Hertz (Hz) angegeben, sie ist eine Maßzahl für die Schwingungen pro Sekunde (s); die Dimension ist demzufolge 1/s.
- Die Wellenlänge gibt die geometrische Länge einer Schwingungsperiode an und wird in Meter (m) angegeben.
- Die Amplitude gibt den Maximalwert an; die emittierte Leistung berechnet sich aus den beiden Komponenten des elektrischen und magnetischen Feldes.

Hochfrequente Felder werden z. B. von Sendern abgestrahlt. Das elektromagnetische Feld eines Radiosenders schwingt z. B. mit 0,1 Mrd. Hertz oder mehr, das von Mobilfunkanlagen mit 1 - 2 Mrd. Hertz, das von Radaranlagen mit 10 Mrd. Hertz.

## 2 Natürliche Felder - technisch erzeugte Felder

Das Geschehen auf der Erde war von jeher natürlichen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Bei den elektrischen Feldern sind dies im wesentlichen die atmosphärisch bedingten elektrischen Potentialdifferenzen, die Ionisationen erzeugen und sich im Extremfall als Blitz entladen. Während elektrische Feldänderungen sehr schnell erfolgen können, zeigt das Erdmagnetfeld eine größere Konstanz, wobei im Tagesablauf durchaus geringe Veränderungen auftreten.

Auch das elektromagnetische Feld hat einen natürlichen Ursprung: jede Blitzentladung erzeugt ein breites Spektrum elektromagnetischer Frequenzen. Hier kommt es auch zu äußeren Einflüssen aus dem Weltraum, vornehmlich bei den Sonneneruptionen (diese sind eine bekannte Störgröße beim funktechnischen Betrieb, insbesondere im Kurzwellenbereich). Resonanzbedingungen zwischen Erdoberfläche und Ionosphäre sorgen zudem für dominierende Frequenzen auf der Erde. Dies wird im Zusammenhang mit dem Frequenzmuster der menschlichen Hirnaktivität gesehen und erklärt mögliche physiologische Einflüsse.

Natürliche Felder entstehen auch durch bioelektrische Signale; beim Menschen sind dieses neben den erwähnten Hirnströmen die Aktionsströme des Herzens oder der Nerven oder auch ganz allgemein jeder Membranstrom. Daneben treten auch magnetische Felder auf, da jede elektrische Ladungsbewegung zwangsläufig ein Magnetfeld erzeugt. Hochempfindliche Messmethoden haben am menschlichen Herzen und auch im Gehirn den Nachweis dieser Felder ermöglicht.

Die hier diskutierten Felder hat es also schon immer gegeben und sie sind sicherlich auch ein wesentlicher Faktor in der Evolutionsgeschichte des Menschen.

**Nach einer relativen Konstanz über Jahrtausende hinweg wurden innerhalb nur einer Generation diese den Menschen umgebenden Felder massiv verändert. Da diese Felder zunächst physikalisch gesehen in jedem Fall Wirkungen auf den menschlichen Organismus haben, ergibt sich die Frage, inwieweit hier in das über elektrische Signale gesteuerte Bioregulationssystem eingegriffen wird. Die Wirkungen können direkt über**

**elektrische und magnetische Rezeptoren bzw. über Verstärkungsvorgänge innerhalb des bioelektrischen Systems erfolgen.**

Jedes sich periodisch ändernde Feld wird als Wechselfeld bezeichnet, wobei das mit 50 Hz betriebene Energieversorgungsnetz eine dominierende Rolle spielt. Die niedrige Frequenz hat zur Folge, dass in den hier interessierenden Entfernungen von den Emittenten die magnetische und elektrische Komponente entkoppelt sind, also getrennt bewertet werden müssen. Bei einer Stromleitung gibt es also direkt (wenn Störpulse nicht berücksichtigt werden) kein elektromagnetisches Feld. Im höherfrequenten Bereich (ab ca. 30.000 Hz [30 kHz]) müssen die elektromagnetischen Eigenschaften allerdings berücksichtigt werden (Rundfunk, TV, Mikrowelle usw.). Beim Einsatz dieser elektromagnetischen Wellen für eine Informationsübertragung wird die Information auf eine Trägerfrequenz aufgeprägt.

Eine Besonderheit der Wechselfelder sind gepulste Felder. Hier wird z. B. ein Gleichfeld (oder auch konstant periodisches Feld) kurzzeitig unterbrochen (getaktet), wobei dieses periodisch oder aperiodisch erfolgen kann. Dieses Prinzip wird auch in der drahtlosen Informationsübertragung eingesetzt: Es wird ein Hochfrequenz-Signal im allgemeinen konstant periodisch, niederfrequent getaktet und in der kurzen Sendezeit die komprimierte Information übertragen. Auf dieser grundsätzlichen Technik beruht die Funktionsweise des GSM-Standards in der Telekommunikation (D- bzw. E-Netz).