

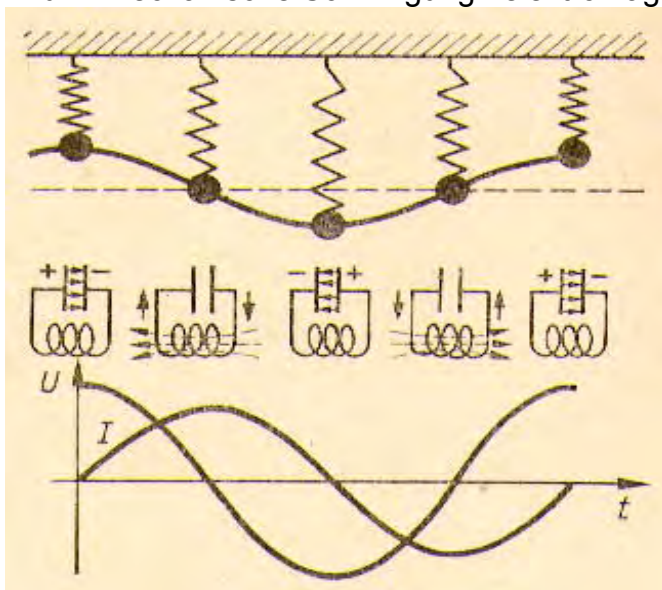
## Elektromagnetische Schwingungen und Felder

Auf keinen Fall soll dies eine ausgewachsene Physikvorlesung werden über Schwingungen und Wellen. Das ist weder Absicht, noch ist dafür die dann notwendige Zeit vorhanden. Es gibt jedoch einige Stichworte und Zusammenhänge, die ich bei den praktischen Messungen benutzen werde. Sie gilt es verständlich zu machen. Ein jeder von uns kennt die mechanische Schwingung eines Pendels. Sie ist – wie man sagt – eine ungleichmäßig beschleunigte Bewegung. Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung sind zeitabhängig. Für jede Schwingung typisch ist die Periodizität, d.h. der Bewegungsablauf wiederholt sich nach einer als **Schwingungsdauer** (Periodendauer) benannten Zeit. Die Häufigkeit, mit der die Schwingung wiederholt wird, ist die **Frequenz (in Hz)**. Eine dauerhafte Schwingung entsteht nur, wenn dem schwingungsfähigen System ständig Energie zugeführt wird.

Während eine mechanische Schwingung durch die direkte Beobachtung leicht durchschaubar wird, ist eine elektromagnetische Schwingung, obwohl sie den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie eine mechanische Schwingung gehorcht, meist nicht mit dem Auge wahrnehmbar. Die Ausnahme ist das relativ schmale Frequenzband des „sichtbaren Lichts“, das ja auch eine elektromagnetische Schwingung darstellt. Auch die Wärmestrahlung, die wir fühlen können, ist eine elektromagnetische Welle. Weitere Sensoren für die Wahrnehmung von elektromagnetischen Schwingungen sind bei Menschen nicht besonders gut ausgebildet. Ausnahmen bestätigen hierbei die Regel. Doch zunächst die Frage: Was ist allgemein eine elektromagnetische Welle?

Dem periodischen Wechsel zwischen potentieller (Lagen- ..) und kinetischer (Bewegungs- ) Energie) bei der mechanischen Schwingung entspricht bei der elektromagnetischen Schwingung der **periodische Wechsel** zwischen **elektrischer und magnetischer Feldenergie**. Ein Feld ist dabei der Raum, in dem durch magnetische Ausrichtung oder durch elektrische Ladungen **ortsabhängig** Kräfte ausgeübt werden. Grundsätzlich entstehen elektromagnetische Schwingungen in Schwingkreisen bestehend aus den elektronischen Bauteilen **Spule** und **Kondensator**. Nach einmaliger Aufladung entlädt sich der Kondensator über die Spule. Das sich aufbauende Magnetfeld der Spule erzeugt eine elektrische Spannung, die den Kondensator mit umgekehrter Polung wiederauflädt. Das Spiel setzt sich fort mit umgekehrter Polarität. Strom und Spannung ändern sich periodisch mit der Zeit.

Bild 1 mechanische Schwingung / elektromagnetische Schwingung



Da man weder Spulen, noch Kondensatoren völlig verlustfrei aufbauen kann, denn sie setzen im Betrieb Energie in Wärme um, hört die angestossene Schwingung nach einiger Zeit auf (genau wie bei einem Pendel ohne Antrieb!). Sie wird gedämpft. Die Dämpfung wird noch stärker, wenn man sich den Kondensator zwischen den „Platten“ aufgetrennt vorstellt:

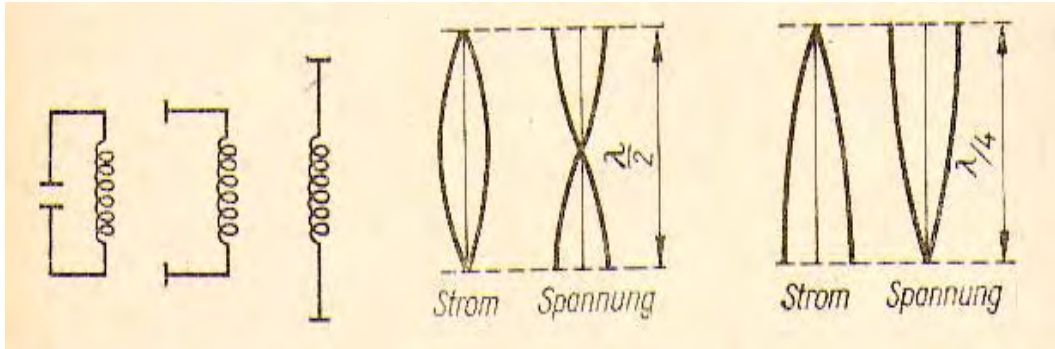


Bild 2 v. links nach rechts: Vom Schwingkreis zum Dipol und Ausbildung der elektromagnetischen Welle über dessen Geometrie

Ein einfacher, gestreckter Draht kann so schon als Schwingkreis wirken. Man nennt ihn dann Dipol. Es ist die Urform einer Antenne. Im Dipol fließen die Elektronen rhythmisch von einem Ende zum anderen und werden dort jeweils reflektiert. Dadurch entstehen stehende Wellen, mit Wellenbäuchen und Wellenknoten. Die Anordnung hat jetzt die Eigenschaft, daß sie elektromagnetische Wellen abstrahlt. Während der Dauer einer Schwingung werden elektrisches und magnetisches Feld in beiden Polaritäten immer wieder auf- und abgebaut. Aufbau der einen und Abbau der anderen Feldart verlaufen dabei gleichzeitig, beide Felder bedingen sich gegenseitig

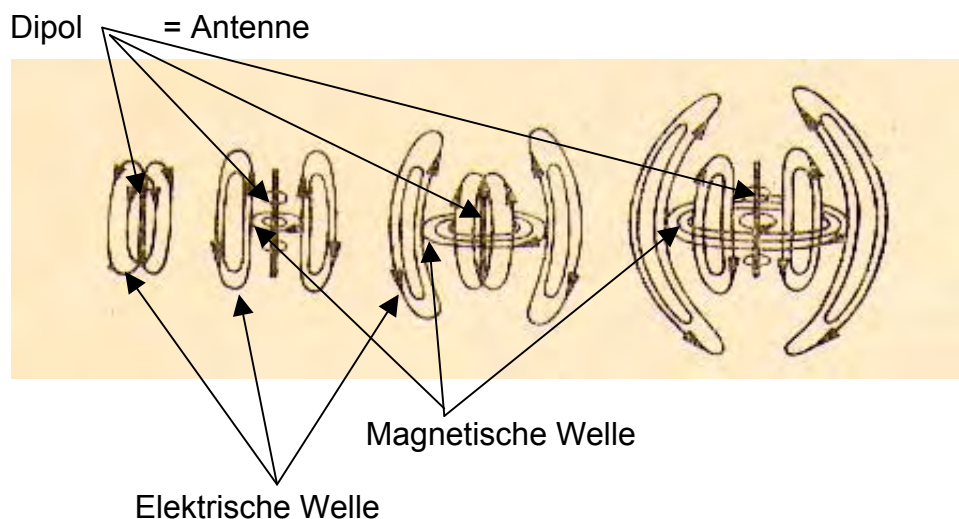


Bild 3 Abwechslern zwischen elektrischen und magnetischen Schwingungen  
Die Schwingungen entfernen sich vom Dipol

Dabei tritt während des Feldabbaus die Feldenergie nicht mehr in den Dipol zurück, sondern löst sich von diesem. Energie wird in den Raum abgegeben. Wenn sie dem Dipol kontinuierlich wieder zugeführt wird haben wir es mit einem Sender (z. B Rundfunksender) zu tun. Die Ausbreitung der Energie der elektromagnetischen Welle erfolgt praktisch mit Lichtgeschwindigkeit (ca. 300.000 km/s). Wenn einerseits die Anzahl der Schwingungen  $f$  pro Sekunde gegeben ist und diese sich auf die in einer Sekunde zurückgelegte Strecke von 300.000 km verteilen, entfällt auf  $\lambda=300.000 \text{ km} / f$  die Wegstrecke einer Schwingung, die als **Wellenlänge**  $\lambda$  bezeichnet wird.  $\lambda$  ist also der Frequenz  $f$  umgekehrt proportional. (Bsp:  $f=500\text{kHz}$ ,  $\lambda=(300.000\text{km/s})/500.000\text{Hz} = 0.6\text{km} = 600\text{m}$ )

Elektrische und magnetische Welle haben am Startpunkt (Sender) einen Gangunterschied von  $\lambda / 4$ . In grösserer Entfernung vom Sender wird dieser Gangunterschied immer kleiner und praktisch zu Null. Magnetfeld und elektrisches Feld sind dann gleichphasig. Dieser Umstand führt dazu, daß es für große und kleine Wellenlängen respektive hohe und niedrigere Frequenzen unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Messung der Felder gibt:

Bei großen Wellenlängen ist man meist nahe beim Sender und der Gangunterschied ist noch vorhanden. Deshalb müssen hier elektrisches und magnetisches Feld getrennt gemessen werden. Das magnetische Feld wird mit Spulenanordnungen, das elektrische Feld mit Kondensatoranordnungen gemessen. Vor allem gilt das bei Frequenzen zwischen 1...100kHz entspr. 300.000 km...3 km. Bei kleinen Wellenlängen ist in mässiger Entfernung vom Sender der Gangunterschied von elektrischer und magnetischer Welle zu Null geworden. Hier wird dann oft nur noch die elektrische Welle z.B. über einen Dipol gemessen. (Bsp.: UKW  $f=100\text{MHz}$ ,  $\lambda=3\text{m}$ ; dann ist in 10m Entfernung vom Sender nur noch die Messung der elektrischen Welle notwendig). Die magnetische Welle wird durch Umrechnung mit einer Konstanten gewonnen (Feldwellenwiderstand 377 Ohm).

Das gesamte Spektrum der elektromagnetischen Wellen reicht etwa über 20 Dekaden.

Versorgungsnetze 16 2/3Hz, 50Hz, 60Hz

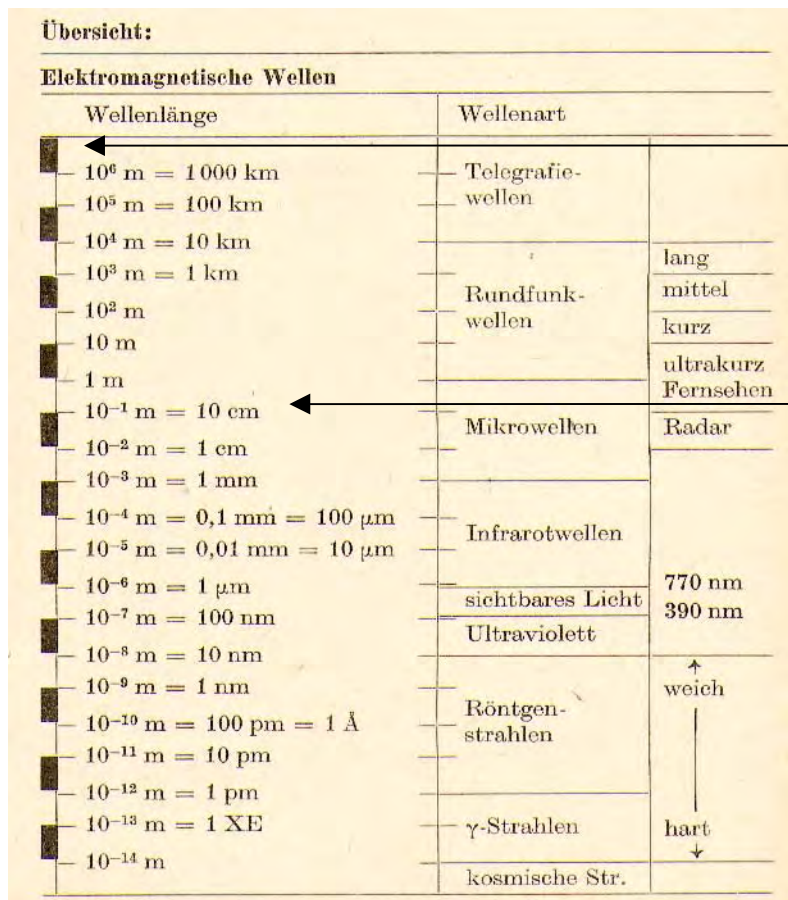


Bild 4 Spektrum der elektromagnetischen Wellen

Kommunikation über GSM, GPS u.a.  
1GHz....5GHz

Im Bild 4 sieht man auch die Zuordnung zu einzelnen Sachgebieten, b.z.w. physikalischen Effekten. Durch Pfeil gekennzeichnet sind die beiden Bereiche in denen wir heute praktisch messen wollen.

Viele elektromagnetischen Wellen werden von uns Menschen verursacht. Es gibt aber auch einige Strahlungsquellen natürlichen Ursprungs, an die sich die Menschen gewöhnt haben.

Terristrischen Ursprungs ist z.B. die Schumann-Resonanz bei 7.83 Hz, der sichtbare Bereich für das menschl. Auge 390nm (violett) bis 680 nm (rot) entspr. 796230 GHz.. 441176 GHz, kosmischen Ursprungs sind Pulsare z.T. aus weit entfernten Galaxien, deren elektromagnetische Wellen noch bis in die Erdhülle eindringen.

Wir wollen magnetische Wellen als Teil der elektromagnetischen Wellen in Bereich von einigen Hz bis einige hundert Hz messtechnisch in nT (Nanotesla) erfassen. Insbesondere werden sich die 50Hz mit den zugehörigen Harmonischen 100Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz u.s.w. sowie die Bahnfrequenz von  $16^{2/3}$  Hz und die Ausstrahlung des Vorschaltgerätes in Energiesparlampen zeigen lassen.

Für Rundfunkwellen brauchen wir keine speziellen Beispiele. Sie begleiten uns mehr, als uns u.U. lieb sein kann.

Im Frequenzbereich von etwa 1GHz bis 5GHz werden wir ebenfalls einige Messungen machen. In diesem Bereich messen wir nur das elektrische Feld und verwenden je eine „Logarithmisch periodische“, sowie eine „Bikonische“ Antenne..

Die **Strahlungs-Energie** (z.B. in  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) des gesamten durch **Technik** verursachten Empfangsspektrums, dem wir dauerhaft durchschnittlich ausgesetzt sind, bis etwa 900MHz (einschl. Radio/ TV bis UHF, ausschl. GSM ) ist etwa genauso groß, wie die Energie des Empfangsspektrums für GSM, UMTS, GPS von 900MHz bis etwa 5GHz.

Eine Ausnahme bilden das Handy am Ohr, das alte – inzwischen verbotene – Schnurlostelefon und der Mikrowellenherd bei Abständen unter 1m, die um das einige hundertfache stärker strahlen, als Mobilfunkantennen in z.B. >100 m Abstand.

Geringe Abstände zu Radaranlagen dürften auf jeden Fall ein nicht unerhebliches Gesundheitsrisiko darstellen.

Alle diese Strahlungsquellen sind praktisch nicht fühlbar, aber messbar !

Keine Regel ohne Ausnahmen: Ich habe Menschen kennengelernt, die nachweislich sehr wohl Elektromagnetische Wellen empfinden können und entsprechend empfindlich reagieren. Das Ganze ist ausserdem ein Thema, über das sich trefflich streiten lässt und in dem Emotionen, wirtschaftliche Interessen und Gesundheitsaspekte heftigst miteinander streiten.

Walter Wehr, September 2009