

liebevoll streichelt oder wenn Sie eine kräftige Ohrfeige bekommen? Der Durchschnittswert (des Drucks auf Ihre Haut) ist der Gleiche, aber der Spitzenwert und damit auch die „Wirkung“ unterscheiden sich erheblich.

INFO

Die wichtigsten Fachbegriffe und Einheiten

Elektromagnetische Strahlung wird manchmal in „ionisierende“ und „nicht-ionisierende“ Strahlung eingeteilt. Dabei bezeichnet man eine Strahlung als ionisierend, wenn sie in der Lage ist, Elektronen aus der Atomhülle herauszuschlagen. Das sind die radioaktive Gammastrahlung, Röntgenstrahlung, teilweise auch UV-Licht (UV-C) und bestimmte Teile der kosmischen Strahlung. Alle andere elektromagnetische Strahlung, insbesondere auch die uns hier interessierende Funkstrahlung, wird als nicht-ionisierend bezeichnet. Funkstrahlung kann sowohl als Welle als auch als Strahlung aufgefasst werden, die man sich als Strahl einzelner Teilchen vorstellt, die Photonen genannt werden. Das besagt der berühmte „Welle-Teilchen-Dualismus“. Eine Welle hat eine gewisse Höhe (oder Amplitude) und eine Wellenlänge. Eine dritte wichtige Größe beschreibt, wie oft sie in einer Sekunde schwingt. Diese Zahl nennt man Frequenz. Im Andenken an Heinrich Hertz, den Entdecker der Funkstrahlung, wird sie in Hertz angegeben, abgekürzt Hz. Dabei ist 1 Hz gleich 1 Schwingung pro Sekunde. Wir verwenden meist Gigahertz (GHz): 1 GHz bezeichnet eine Milliarde Schwingungen pro Sekunde. Häufig begegnet man auch der Bezeichnung Megahertz (MHz). 1 MHz bedeutet eine Million Schwingungen pro Sekunde.

Beispiel: Wenn sich eine Funkwelle in der Luft in 1 Sekunde 300.000 Kilometer fortbewegt und dabei 100.000 Schwingungen macht (also eine Frequenz von 100.000 Hz hat), dann legt sie bei einer Schwingung einen Weg von

$300.000 \text{ km} / 100.000 = 3 \text{ km}$ zurück. Die Wellenlänge ist dann 3 Kilometer.

Man sieht: Je höher die Frequenz, desto mehr Schwingungen müssen in die zurückgelegte Strecke passen, desto kleiner ist also die Wellenlänge. Ein paar Beispiele:

	Frequenz	Wellenlänge
UKW-Rundfunk	0,1 GHz	3 m
Mobilfunk der 4. Generation (LTE), zu Beginn mit	0,7 GHz	43 cm
D-Netz	0,9 GHz	33,3 cm
E-Netz	1,8 GHz	16,7 cm
Mobilfunk der 3. Generation (UMTS), zu Beginn mit	2 GHz	15 cm
Neu versteigerte Frequenzen für 5G	3,4–3,8 GHz	7,8–8,8 cm
Künftige Frequenzen von 26 GHz für 5G	26 GHz	1,1 cm

Für den Mobilfunk verwendet man Wellenlängen, die wesentlich kürzer sind als die für Rundfunk und Fernsehen. Deshalb spricht man hier auch von Mikrowellen, bei den höchsten Frequenzen auch von Millimeterwellen (ab 30 GHz, entsprechend einer Wellenlänge unter 1 cm).

Für die Diskussion der Funkstrahlung und ihrer Wirkungen sind noch zwei weitere Begriffe wichtig, die zwar einfach zu begreifen sind, aber mit sehr langen Wörtern bezeichnet werden: „Leistungsflussdichte“ und „Spezifische Absorptions-Rate“ oder kurz SAR.

Stellen wir uns einen runden Scheinwerfer vor, der einen Lichtkegel mit einer gewissen Leistung, sagen wir 100 W, erzeugt. Der Scheinwerfer hat einen Durchmesser von 10 cm, also eine Fläche von knapp 80 cm^2 . Unmittelbar am Scheinwerfer konzentriert sich das Licht auf diese Fläche; wir haben also eine „Leistungsflussdichte“ von $100 \text{ W} / 80 \text{ cm}^2 =$

1,25 W/cm². Weiter vom Scheinwerfer entfernt wird der Lichtkegel größer. Ist sein Durchmesser beispielsweise an einer Stelle 2 m, so ist dort die Leistungsflussdichte nur noch $100 \text{ W}/3,14 \text{ m}^2 \approx 32 \text{ W}/\text{m}^2 = 0,0032 \text{ W}/\text{cm}^2$. Man sieht also, dass die Leistungsflussdichte in solchen Fällen sehr schnell mit dem Abstand abnimmt.

Es hat sich eingebürgert, nicht die Einheit W/cm² zu verwenden, sondern W/m². Weil 1 m² 10.000 cm² hat, gilt natürlich: $1 \text{ W}/\text{cm}^2 = 10.000 \text{ W}/\text{m}^2$. Aber 1 W/m² ist eine sehr große Einheit. Deshalb verwenden wir meist ein Millionstel davon als Maß, in Symbolen $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Es gilt also $1 \text{ W}/\text{m}^2 = 1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$.

In der Literatur wird oft statt der Leistungsflussdichte die elektrische Feldstärke verwendet. Sie wird in Volt pro Meter, in Formeln V/m, gemessen. Ist man weit genug von der Antenne des Senders entfernt, gilt:

$$1 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 0,019 \text{ V}/\text{m}$$

$$100 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 0,194 \text{ V}/\text{m}$$

$$1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 0,614 \text{ V}/\text{m}$$

$$1 \text{ W}/\text{m}^2 = 1.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 19,42 \text{ V}/\text{m}$$

$$4,5 \text{ W}/\text{m}^2 = 4.500.000 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 41,19 \text{ V}/\text{m}$$

$$10 \text{ W}/\text{m}^2 = 10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2 = 61,4 \text{ V}/\text{m}$$

Man beachte, dass die doppelte Feldstärke das Vierfache an Leistungsflussdichte ergibt und die zehnfache Feldstärke das Hundertfache. (Die Leistungsflussdichte I, gemessen in $\mu\text{W}/\text{m}^2$, und die elektrische Feldstärke E, gemessen in V/m, lassen sich mit der Formel $I = 2.652,52 E^2$ ineinander umrechnen. Diese Formel gilt aber nur im sogenannten Fernfeld, also weit genug von der Antenne entfernt.)

Trifft der oben erwähnte Lichtkegel auf eine Glasscheibe, passiert er diese ohne große Verluste. Dagegen wird sein Licht von einem massiven schwarzen, undurchsichtigen Körper vollständig verschluckt. Dabei wird seine Energie letztlich in Wärme verwandelt. Wie stark sich dieser Körper dadurch erwärmt, hängt von seiner Masse ab: Eine große

Masse braucht viel Energie zum Aufheizen, eine kleine wenig. Deshalb ist es sinnvoll zu betrachten, wie viel Energie (oder Leistung) von einem Kilogramm absorbiert wird. Das ist die „Spezifische Absorptions-Rate“, abgekürzt SAR. Sie wird in W/kg gemessen. Würde man also nur die Wärmewirkung der Funkstrahlung betrachten, wäre der SAR-Wert ein geeignetes Maß. Für kleine mobile Sender wie Handys und Smartphones gilt in Deutschland der Richtwert von maximal 2 W/kg, wobei als absorbierende Masse das Ohr und der anliegende Teil des Gehirns gewählt wird.

Quellen von Funkstrahlung

Dieses Buch beschäftigt sich mit den Wirkungen von sogenannten „elektromagnetischen Wellen“, die als Funkstrahlung, Wärme, Licht, Röntgenstrahlen und radioaktive Gammastrahlung bekannt sind. Uns interessiert hier aber nur die Funkstrahlung, also elektromagnetische Wellen mit Schwingungszahlen (= Frequenzen) zwischen 100 kHz (d.h. 100.000 Schwingungen pro Sekunde) und 300 GHz (d.h. 300 Milliarden Schwingungen pro Sekunde).

Wir unterscheiden nicht zwischen Wellen und Strahlen (aufgrund des Welle-Teilchen-Dualismus in der Physik, siehe auch Seite 15). Die Begriffe „Funkstrahlen“, „Radiowellen“ und „Hochfrequenzwellen“ sind gleichbedeutend.

Mobilfunk-Türme

Übliche Sendeleistung für 2G bis 4G: 30.000–80.000 mW (d.h. 30–80 W). Diese Zahl täuscht aber, weil die Sendeleistung stark gebündelt wird. Würde man diese gebündelte Leistung rund um die Antenne abstrahlen, so bräuchte man oft mehrere Kilowatt (mehrere 1.000.000 mW).

Auch wenn keine Funkverbindungen für Mobilfunkgespräche oder Datenübertragungen genutzt werden, wird ein Signal gesendet, das von den Benutzern ständig empfangen werden kann und zur Organisation des Datenverkehrs dient.

In dicht besiedelten Gebieten und entlang wichtiger Straßen sollen Kleinstsender für 5G mit einer Sendeleistung von bis zu 10.000 mW (10 W) aufgestellt werden, und das in Abständen von 100–250 m. Ihre Leistung scheint zwar gering zu sein, aber auch hier gilt, dass trotzdem der geringe Abstand zu den Menschen von wenigen Metern zu einer starken Belastung führen kann.

Beim Mobilfunk unterscheidet man verschiedene Generationen:

- 1G, die erste Generation, war noch analog und wurde schon 1958 als „öffentlicher beweglicher Landfunkdienst“ eingeführt. Ein Funkgerät kostete damals mehr als ein Kleinwagen.
- 2G, auch GSM genannt, wurde in Deutschland am 1. Juli 1992 in Betrieb genommen. Mit ihm wurde der Mobilfunk für die breite Masse erschwinglich. In Deutschland arbeitet es auf den Frequenzen 0,9 GHz (D-Netz) und 1,8 GHz (E-Netz).
- 3G oder UMTS begann in Deutschland im Jahr 2000 mit der Versteigerung der Frequenzen, ist aber erst seit 2004 kommerziell verfügbar.
Es war von vornherein so konzipiert, dass es mehrere Übertragungskanäle bündeln kann. Das ermöglichte Videotelefonie und ein schnelleres Herunterladen von Filmen. Am 30. Juni 2021 hat dieser Standard endgültig ausgedient.
3G nutzte in Deutschland zunächst Frequenzen um 2 GHz; später kamen weitere dazu, die aber unter 3 GHz liegen.
- 4G oder LTE mit noch höheren Übertragungsgeschwindigkeiten startete in Deutschland im Jahr 2010 mit rund 0,7 GHz; auch hier kamen später höhere Frequenzen bis etwa 2,6 GHz dazu.
- 5G begann im Jahr 2019 – 2G-, 3G- und teilweise auch 4G-Basisstationen werden Schritt für Schritt auf 5G umgerüstet.