

Mobilfunk-Technik

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

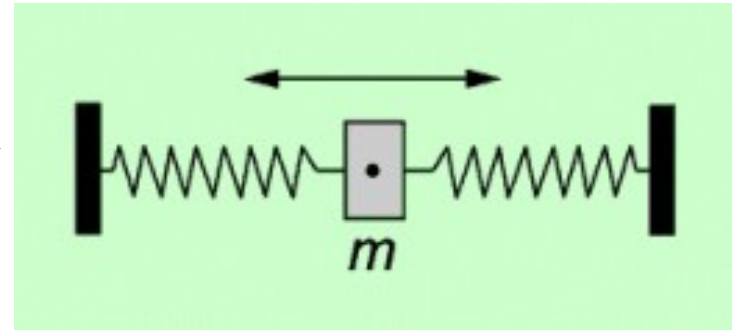
Grundlage: Schwingkreis

Grundlage für die Entstehung elektromagnetischer Wellen:

Der elektrische Schwingkreis.

Mechanisches Pendant: Feder-Masse-Schwinger.

Feder und Masse tauschen periodisch ihre Energie aus zwischen Feder-Energie und Bewegungsenergie (Masse)

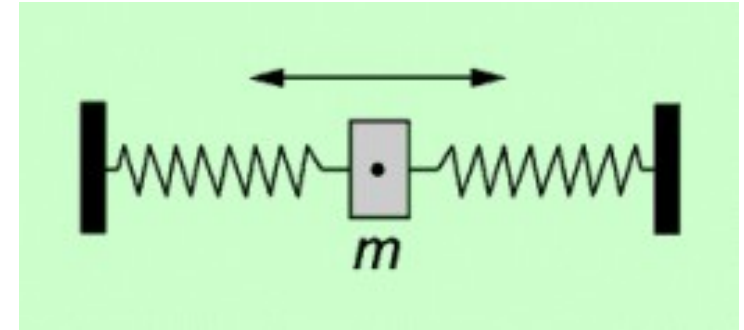


Gitarre – Feder-Masse-Schwinger - Resonanzbegriff



Gitarrensaite anzupfen →
Energie zuführen

Die Saite **schwingt** an-
schließend **selbstständig**
mit ihrer →
RESONANZ-Frequenz



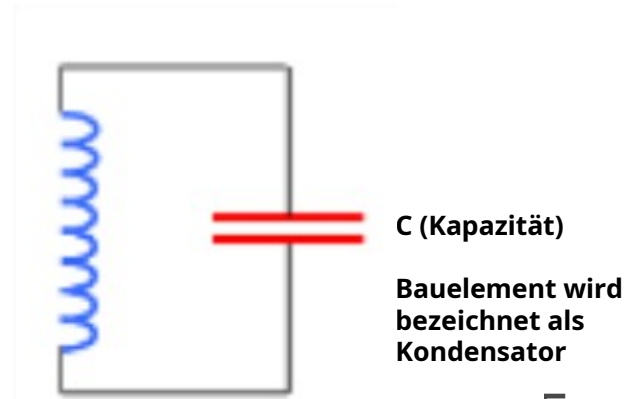
Entsprechendes gilt

- beim **Feder-Masse-Schwinger**
und

- beim **elektrischen L/C-**
Schwingkreis

L (Induktivität)

**Bauelement wird
bezeichnet als
Drossel oder
Spule**



C (Kapazität)

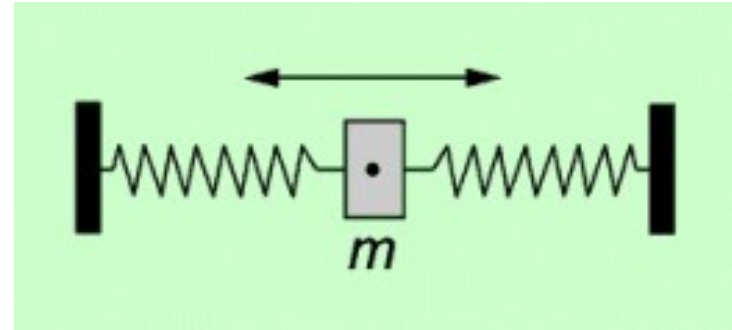
**Bauelement wird
bezeichnet als
Kondensator**

Elektr. u. mech. Schwingkreis

Grundlage für die Entstehung elektromagnetischer Wellen: Schwingkreis.

Mechanisches Pendant: Feder-Masse-Schwinger.

Feder und Masse tauschen periodisch ihre Energie aus zwischen Feder-Energie und Bewegungsenergie (Masse)

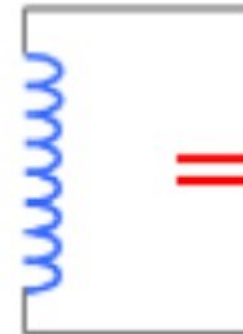


Beim elektrischen Schwingkreis tauschen

- **Spule** (Strom $\rightarrow$ magnetische Energie)
 - **Kondensator** (Spannung $\rightarrow$ elektrische Energie)
- periodisch ihre Energie aus.

L (Induktivität)

Bauelement wird bezeichnet als Drossel oder Spule



C (Kapazität)

Bauelement wird bezeichnet als Kondensator



Elektr. u. mech. Schwingkreis

Grundlage für die Entstehung elektromagnetischer Wellen ist stets der Schwingkreis, der aus einem Verstärker gespeist wird.

Da er ohne spezifische Kenntnisse nicht einfach zu verstehen ist, soll seine Funktion am Beispiel des mechanischen Feder-Masse-Schwingers erläutert werden.

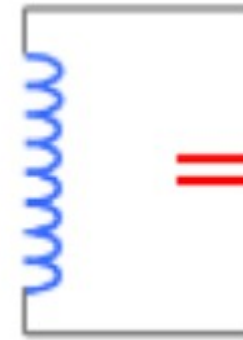
Wird ein Feder-Masse-Schwinger angeregt, tauschen die Feder und die bewegte Masse periodisch Energie miteinander aus. Einmal ist die Feder maximal gespannt, dann ist die Masse in Ruhe (am Umkehrpunkt)

Später ist die Feder entspannt und die Bewegungsenergie der Masse ist maximal – das ist in der mittleren Position der Fall.

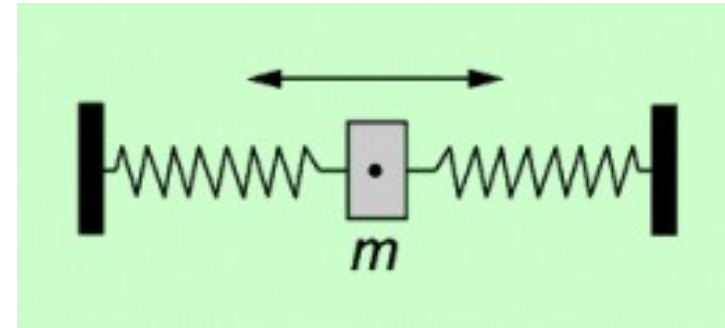
Beim elektrischen Schwingkreis ist das sehr ähnlich, die Induktivität und der Kondensator tauschen fortlaufend Energie miteinander aus.

11.04.2025

L (Induktivität)



C (Kapazität)



Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

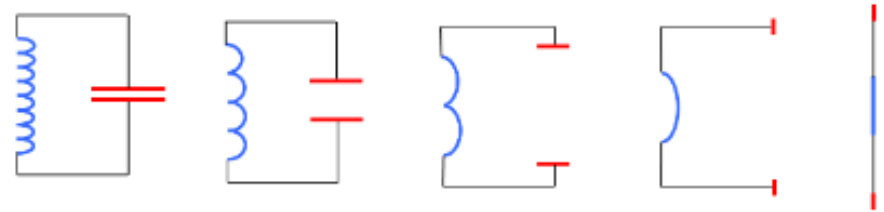
Grenzwerte, Herleitung

Grundlage der Funktechnik: Antennen

Der elektrische Schwingkreis

Das Grundprinzip einer Antenne ist der Schwingkreis.

Eine Antenne ist ein Schwingkreis, deren Kondensator „geöffnet“ ist und deren Spule „abgewickelt“ ist.



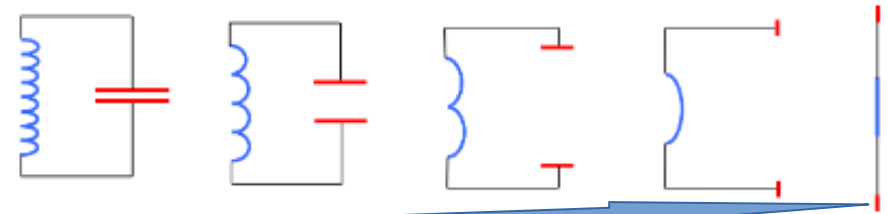
Dipolantenne: offener elektrischer Schwingkreis. Quelle: FSM

Antennen: Grundlage Schwingkreis

Der elektrische Schwingkreis

Das Grundprinzip einer Antenne ist der Schwingkreis.

Eine Antenne ist ein Schwingkreis, deren Kondensator „geöffnet“ ist und deren Spule „ausgewickelt“ ist.

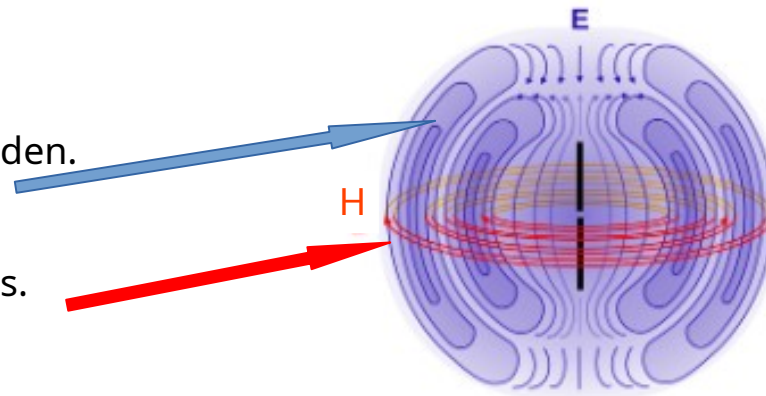


Dipolantenne: offener elektrischer Schwingkreis. Quelle: FSM

Dipolantenne

Elektrische Ladungen: An den Drahtenden.
Sie erzeugen ein **elektrisches Feld E**.

Ströme fließen in der Mitte des Drahtes.
Sie erzeugen ein **magnetisches Feld H**.



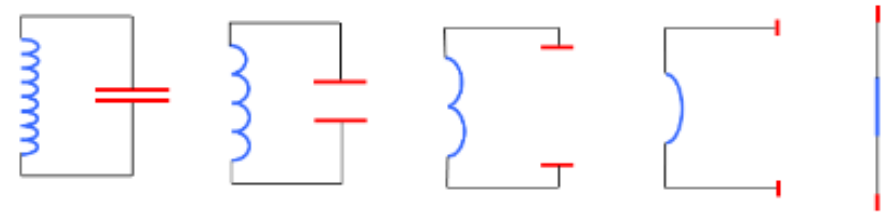
Quelle: wikipedia commons

E: Elektr. Feldstärke, **H:** Magn. Feldstärke.

Antennen: Grundlage Schwingkreis

Der elektrische Schwingkreis

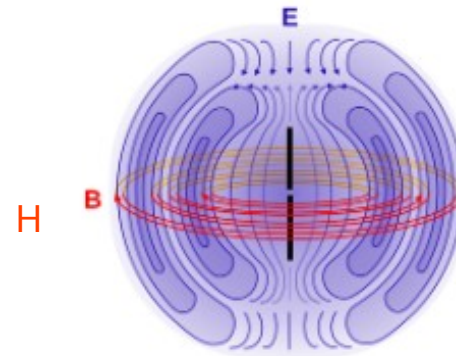
Das Grundprinzip einer Antenne ist der Schwingkreis. Schaltet man eine Spule und einen Kondensator zusammen so erhält man einen resonanzfähigen elektrischen Schwingkreis: die Energie wird (auf der Basis des Induktionsprinzips) zwischen dem elektrischen Feld des Kondensators und dem magnetischen Feld der Spule periodisch ausgetauscht. Die Stromstärke und die Spannung schwanken versetzt zueinander (wenn der Strom maximal ist, ist die Spannung Null und umgekehrt). Eine Antenne ist nichts anderes, als eine solche Schaltung, deren Kondensator „geöffnet“ und deren Spule „ausgewickelt“ ist (sog. Dipolantenne, Figur). Ein Dipol ist mit anderen Worten ein einfacher Draht der als Schwingkreis mit einer Kapazität und einer Induktivität wirkt.



Dipolantenne: offener elektrischer Schwingkreis. Quelle: FSM

Dipolantenne

Ladungsmaxima befinden sich bei einer Dipolantenne an den Enden des Drahts, Strommaxima in der Mitte. Die stärksten elektrischen Felder (in der Abbildung sind die Feldlinien der elektrischen Felder blau eingezeichnet; das Bild stellt die Abstrahlung in 3D dar, also als ein Art "Kugelstrahler") misst man dann, wenn kein Strom in der Antenne fließt, die stärksten magnetischen Felder (einige magnetischen Feldlinien sind in der Abbildung in Rot visualisiert), wenn keine Spannung messbar ist. Gute Abstrahlung liefern Dipolantennen, die so bemessen sind, dass sie so lang sind wie eine oder zwei Wellenlängen, bzw. eine halbe oder eine viertel Wellenlänge.



Quelle: wikipedia commons

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

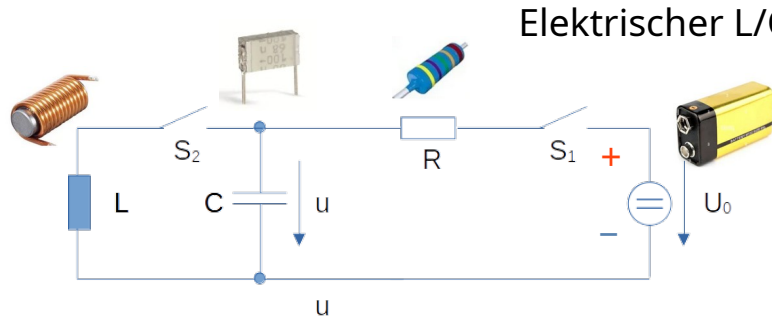
Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

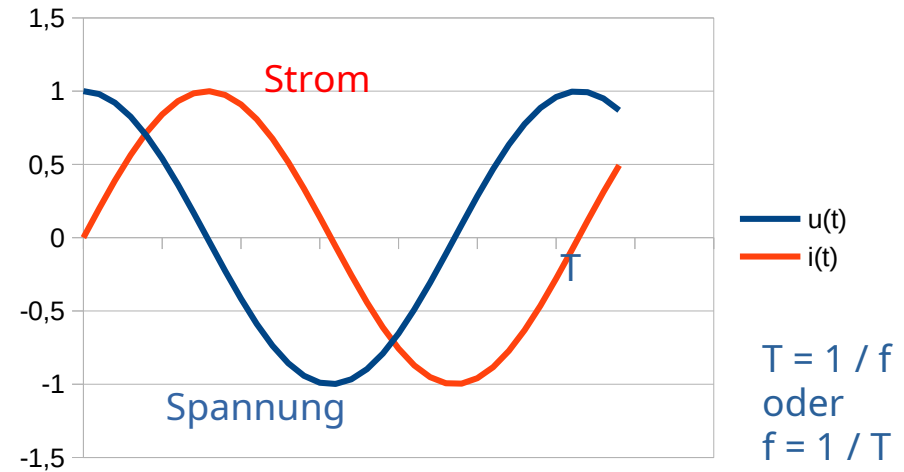
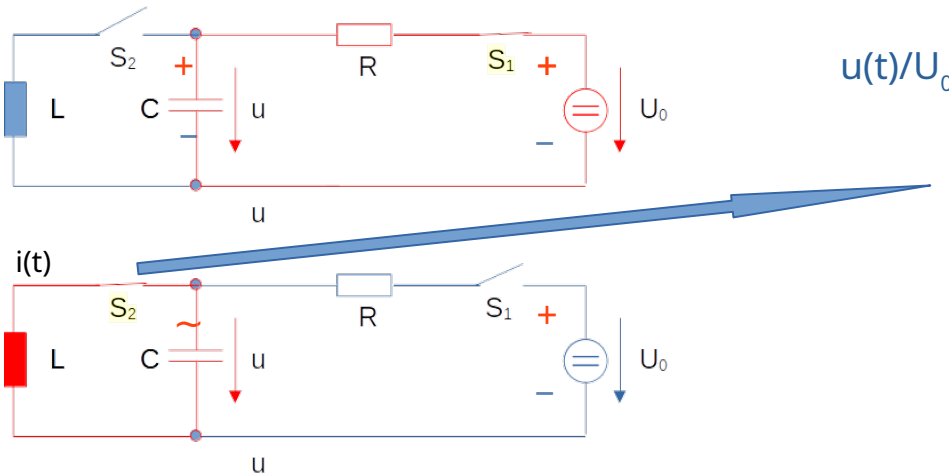
Grenzwerte, Herleitung

Anregung des elektrischen Schwingkreises

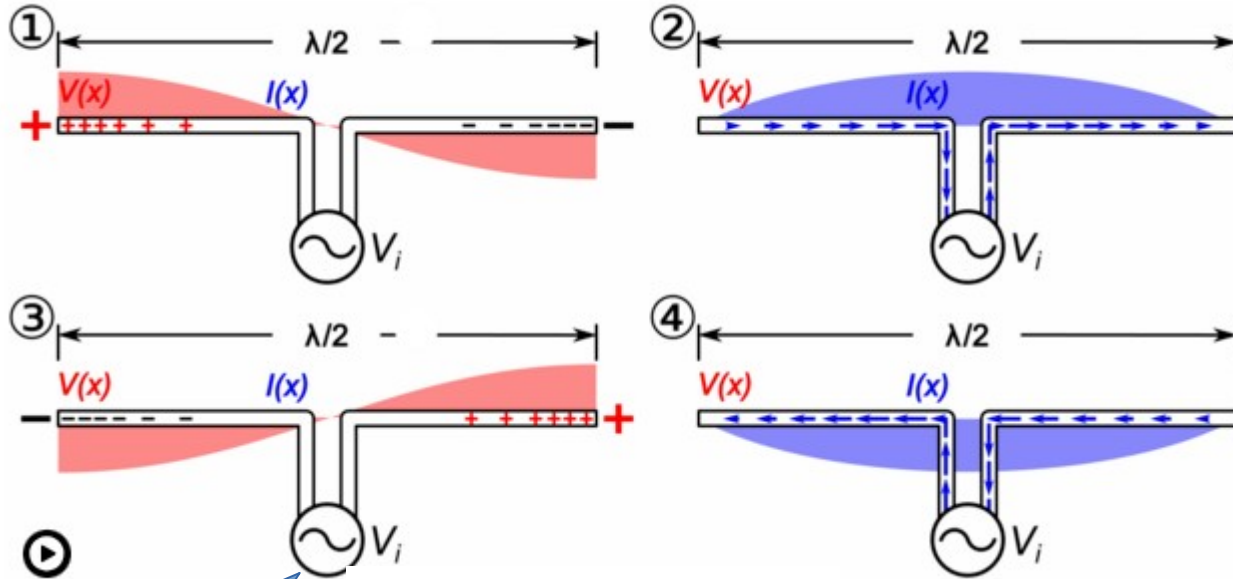


Diskrete Schaltung: Alle Vorgänge spielen sich innerhalb der Bauelemente ab

L: (Draht-)Spule
C: Kondensator
R: Elektrischer Widerstand
S1, S2: Schalter
U0: Spannungsquelle (Batterie)



Antennen: Funktion des Dipols



Die Wechselspannung verschiebt die Elektronen abwechselnd an das linke und das rechte Ende.

Der Leiter bildet dabei einen elektrischen Dipol wechselnder Polarität. Der Stromfluss in der Mitte des Leiters ändert ständig seine Größe, bleibt aber an den Enden immer null.

Sowohl Strom als auch Spannung bilden eine stehende Welle.

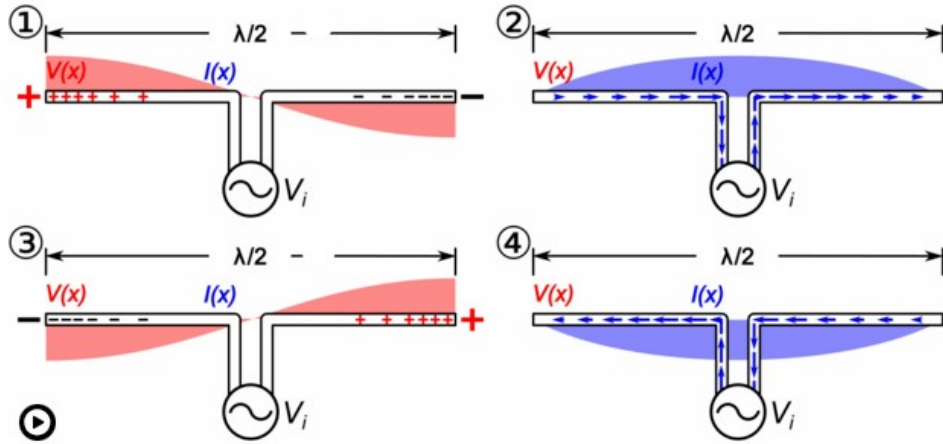
Für den Strom entspricht das dem Fall einer mechanischen stehenden Wellen bei einer Saite mit zwei festen Enden, bei der Spannung dem Fall von zwei offenen Enden.

In beiden Fällen ist die Länge des Leiters genau die Hälfte der Wellenlänge, daher die Bezeichnung Halbwelldipol.

Quelle: <https://physikbuch.schule/electromagnetic-waves.html>



Antennen: Funktion des Dipols



Vergleich: Stehende Wasserwelle in der Badewanne

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

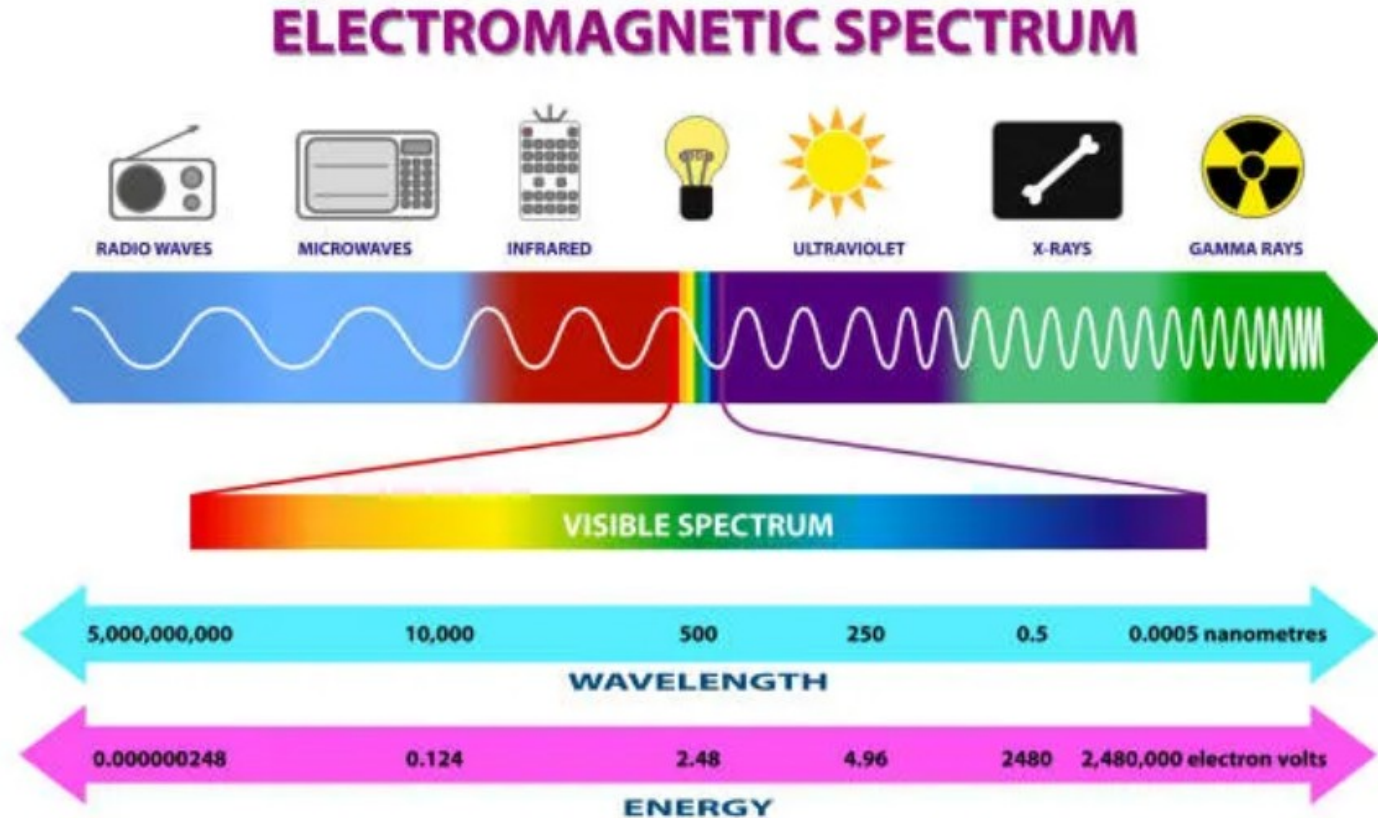
Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

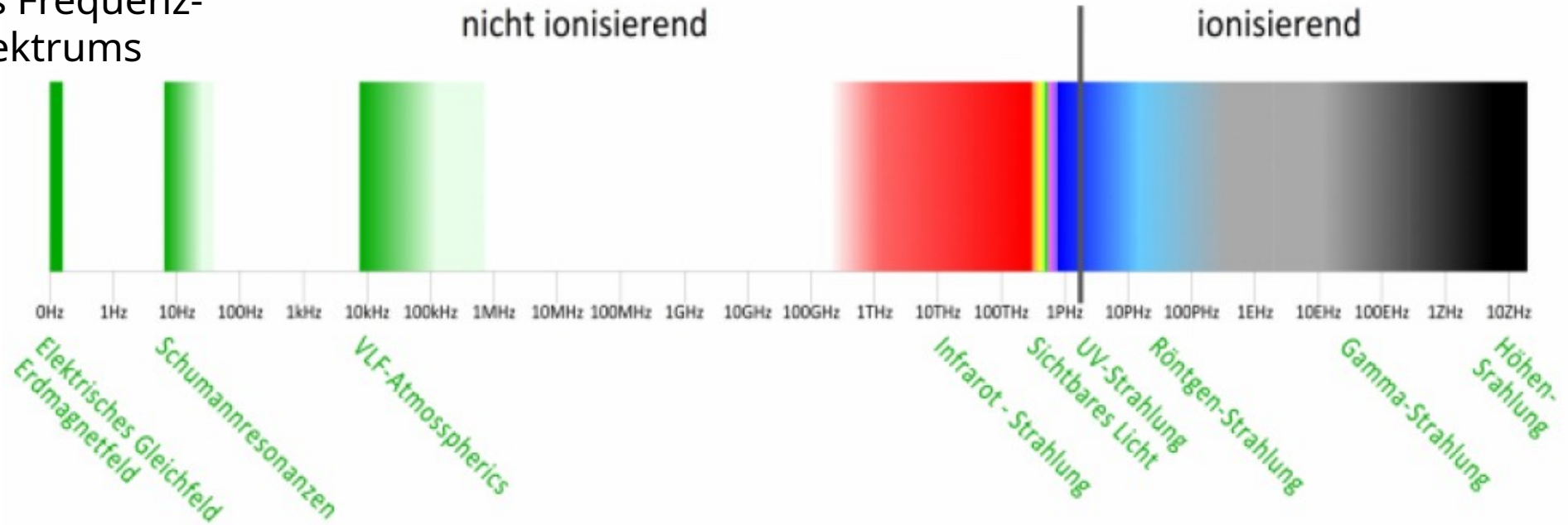
Das Frequenz-Spektrum

Grobe Einteilung
des Frequenz-
Spektrums



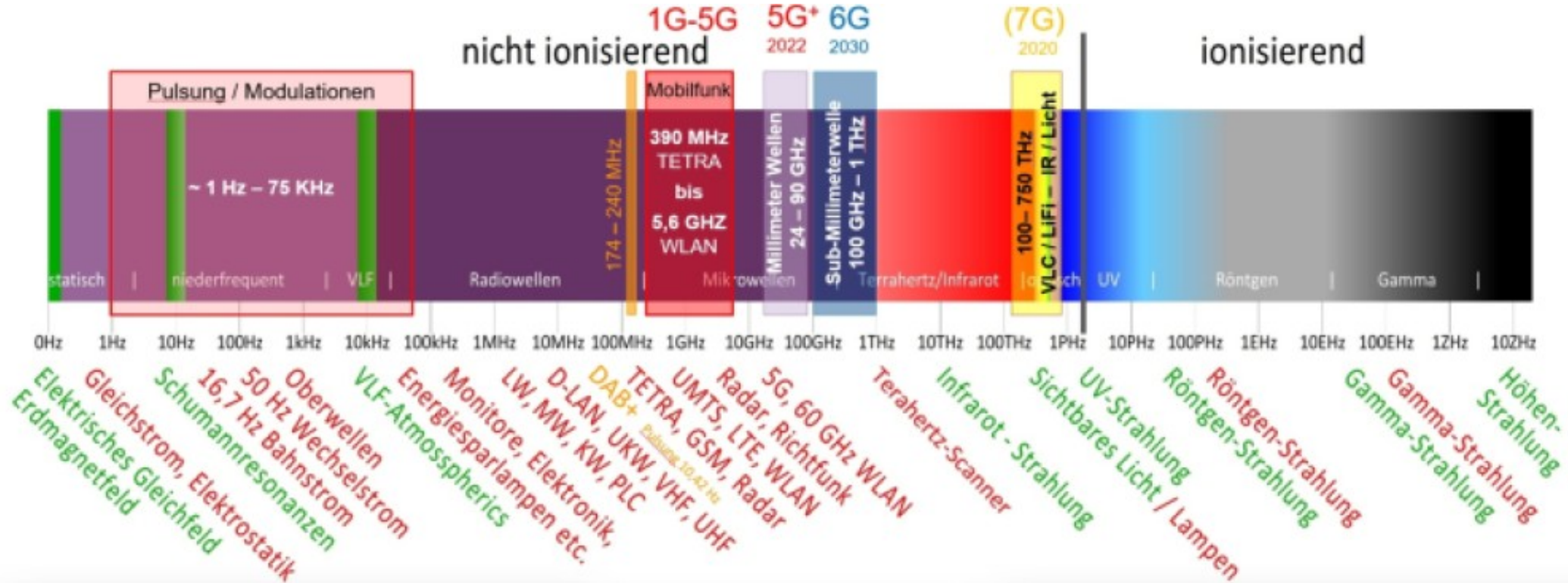
Das Frequenz-Spektrum

Grobe Einteilung
des Frequenz-
Spektrums



Das Frequenz-Spektrum

Anwendungen bzw. Herkunft der verschiedenen Frequenzen



Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

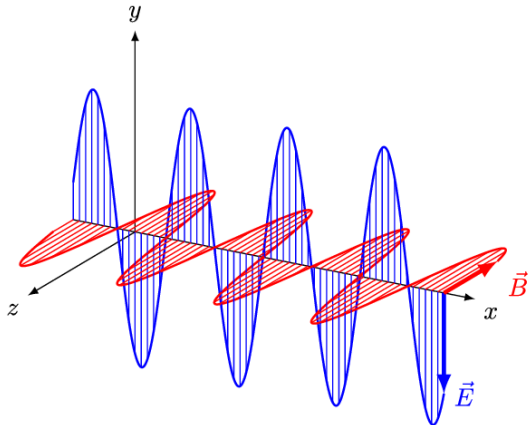
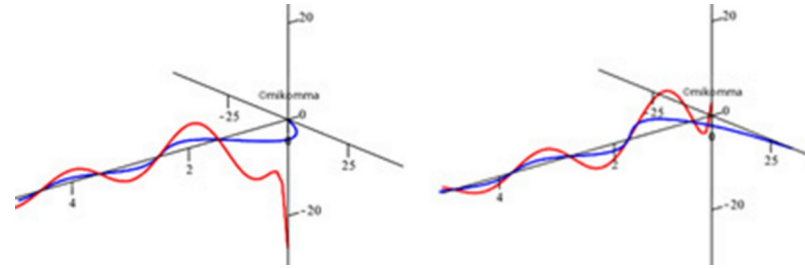
Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

Unterscheidung der Bereiche

Zur Diskussion der **biologischen Wirkung** der EM-Felder müssen folgende Abstrahlungs-Bereiche einer Antenne unterschieden werden:

- Reaktives Nahfeldbereich
- Übergangsfeld (strahlendes Nahfeld)
- Fernfeld



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/EM-Wave.gif>

Die Ausdehnung des Nahfelds

Reaktives Nahfeldbereich (einfacher Dipol)

Ausdehnung bis $\lambda / 2\pi$
(Beispiel Mobiltelefon direkt am Ohr)

900 MHz: 5,3 cm

1800 MHz: 2,7 cm

2400 MHz (2,4 GHz): 2,0 cm

3400 MHz (3,4 GHz): 1,4 cm

$$\lambda = c / f$$

λ : Wellenlänge [m]

c: Lichtgeschwindigkeit
300 000 km/s
300 000 000 m/s

f: Frequenz [Hz] = [1/s]

Der Bereich des Fernfelds

Fernfeld (einfacher Dipol)

Abstand $> 4 \cdot \lambda \dots 5 \cdot \lambda$
(Bsp. Mobilfunk-Sendeantenne / WLAN-Router)

900 MHz: ab 1,67 m

1800 MHz: ab 0,83 m

2,4 GHz: ab 61 cm

3,4 GHz: ab 43 cm

$$\lambda = c / f$$

λ : Wellenlänge [m]

c: Lichtgeschwindigkeit
300 000 km/s
300 000 000 m/s

f: Frequenz [Hz]

Das Übergangsfeld

Übergangsfeld (einfacher Dipol)

Abstand von $\lambda / 2\pi$ bis 4λ .. 5λ
(Beispiel Mobiltelefon mit etwas Abstand)

900 MHz: 5,3 cm bis 1,67 m

1800 MHz: 2,7 cm bis 0,83 m

2,4 GHz: 2,0 cm bis 61 cm

3,4 GHz: 1,4 cm bis 43 cm

$$\lambda = c / f$$

λ : Wellenlänge [m]

c: Lichtgeschwindigkeit
300 000 km/s
300 000 000 m/s

f: Frequenz [Hz]

Die Ausdehnung der Bereiche

Reaktives Nahfeldbereich (beim einfachen Dipol):

Abstand bis $\lambda / 2\pi$ von der Antenne bzw. Gerät (Bsp. Mobiltel. Direkt am Ohr)

(Beispiele: 900 MHz: bis 5,3 cm – 1800 MHz: bis 2,7 cm – 2,4 GHz: bis 2,0 cm – 3,4 GHz: bis 1,4 cm)

Übergangsfeld (strahlendes Nahfeld, beim einfachen Dipol):

Abstand zwischen $\lambda / 2\pi$ bis 4λ .. 5λ von der Antenne bzw. Gerät (Bsp. Mobiltel. mit Abstand)

(Beispiele: 900 MHz: bis 1,67 m – 1800 MHz: 0,83 m – 2,4 GHz: bis 61 cm – 3,4 GHz: bis 43 cm)

Fernfeld (beim einfachen Dipol):

Abstand $> 4\lambda$.. 5λ von der Antenne bzw. Gerät (Bsp. Mobilfunk-Sendeantenne / WLAN-Router)

(Beispiele: 900 MHz: ab 1,67 m – 1800 MHz: ab 0,83 m – 2,4 GHz: ab 61 cm – 3,4 GHz: ab 43 cm)

$$\lambda = c / f$$

λ : Wellenlänge [m]

c: Lichtgeschwindigkeit

f: Frequenz [Hz]

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

SAR – Spez. Absorptionsrate

SAR und SAR-Wert (Spezifische Absorptionsrate)

Wichtig fürs Verständnis: Klare Unterscheidung zwischen **SAR** (tatsächliche Belastung des Benutzers im praktischen Einsatz – schwankt je nach Verbindungsqualität) und **SAR-Wert** (fester theoretischer Laborwert)

SAR: Ein Maß für die Absorption von elektromagn. Feldern in einem Material, z.B. im menschl. Körper. Sie führt stets zu dessen Erwärmung. Die absorbierte Leistung wird bezogen auf die Masse des Gewebes, das der Strahlung ausgesetzt ist. Maßeinheit daher **[W / kg]**

SAR-Wert: Ein **theoretischer Laborwert** bei maximaler Sendeleistung des Geräts

Bei der Festlegung der **GRENZWERTE** wird zwischen **Ganzkörper- und Teilkörperexposition** unterschieden

Ganzkörperexposition → Gesamte Körperoberfläche ist gleichmäßig der HF ausgesetzt (Entfernung zur Sendeantenne beträgt mindestens einige Körperlängen)

In der EU und vielen and. Ländern gilt als **Grenzwert** für die allg. Bevölkerung **0,08 W/kg**

Teilkörperexposition: → Sendeantenne befindet sich so nahe am Körper, dass ein bestimmter Körperteil bevorzugt bestrahlt wird (Bsp. Handy → Kopf) Annahme: Ein Teil der Wärmeenergie geht vom stärker bestrahlten Körperteil auf „kühlere“ Bereiche über. **Grenzwert: 2 W/kg** (Mittelwert über 10 g Körper-gewebe)

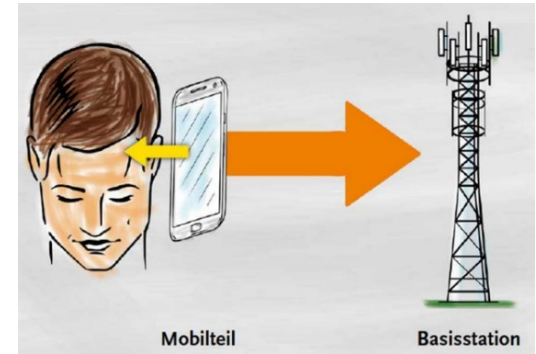


Abbildung: Dr. Martin H. Virnich

Zugrunde liegende Norm:
EN 62209-1 (Handy am Ohr) und
EN 62209-2 (Tragen des Handys am Körper).
Ermittlung des SAR-Werts bei maximaler
Sendeleistung

→ Beim Einsatz in der täglichen Praxis herrschen aber i. d. R. völlig andere Bedingungen

SAR – Spez. Absorptionsrate

Wie stark strahlt ein Smartphone

Kommunikation Mobilfunk-Endgerät (z.B. Handy) und Basisstation:

Signal zu schwach: Verbindung reißt ab

Signal stärker als nötig: Andere Kanäle gestört

→ Basisstation teilt Endgerät ständig die nötige Sendestärke mit !

Smartphones sind ständig **leistungsgeregelt** - sie senden nur so stark, wie es für die Aufrechterhaltung einer stabilen Verbindung nötig ist.

Verschlechtert sich die Qualität der Verbindung (steigende Entfernung oder sonstige Dämpfung), wird die **Sendeleistung** unverzüglich erhöht.



Abbildung: Dr. Martin H. Virnich

SAR – Spez. Absorptionsrate

Strahlungsarme Smartphones

Strahlungsbelastung des Benutzers ist Geräte-spezifisch unterschiedlich

- * Nur ein Teil der Sendeleistung wird zur Informationsübertragung genutzt
- * Ein anderer Teil wird vom Körper des Benutzers aufgenommen

Wie groß der zur Vorderseite des Smartphones abgestrahlte Anteil ist, hängt ab von

- * Höhe der Sendeleistung
- * Gerätespez. Eigenschaften --> Art, Größe, Lage, Richtcharakteristik der Antenne

„Strahlungsarme“ Smartphones → Vom Körper aufgenommene Sendeleistung soll möglichst gering sein.

Wahl eines „strahlungsarmen“ Smartphone (kleiner SAR-Wert) ist prinzipiell ok.

Aber ACHTUNG: Dies suggeriert teilweise eine falsche Sicherheit.

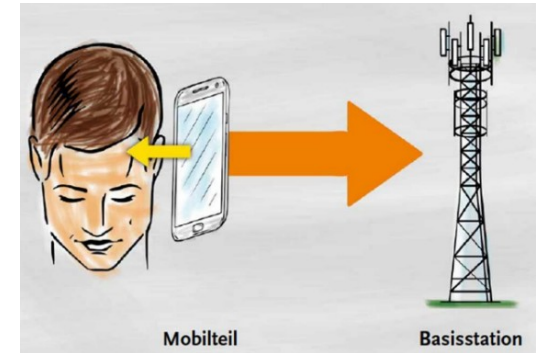


Abbildung: Dr. Martin H. Virnich

SAR – Spez. Absorptionsrate

Wie wird ein Smartphone „strahlungsarm“?

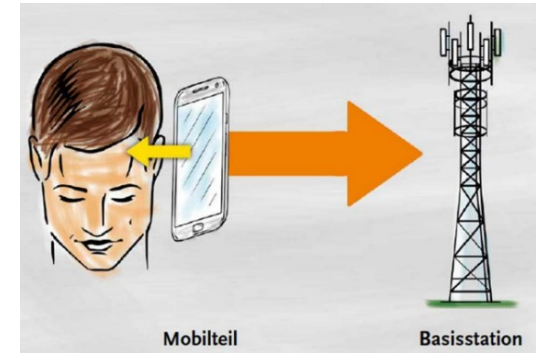
1. Verringerung der maximalen Sendeleistung – verringert auch die Reichweite
2. Effiziente Nutzung der abgestrahlten Leistung – wenig Verschwendung

Methodik:

Antenne mit Richt-Charakteristik - Hauptstrahlrichtung zur Rückseite des Geräts

Unterschied der Strahlungsdichten zwischen Vorder- und Rückseite
(→ Antennengewinn) kann durchaus bei einem Faktor 10 liegen

Aber Achtung: Nur wenn sich die Basisstation auch in dieser Richtung befindet, kann das Smartphone mit schwacher Leistung senden → Kleine SAR



SAR – Spez. Absorptionsrate

Sinn und Unsinn des SAR-Werts

Strahlungsdichte eines Handys ist im praktischen Betrieb unabhängig vom SAR-Wert des Geräts, denn: → Basisstation bestimmt die Sendeleistung (abh. von Entfernung u. Dämpfung)

Fall a) Basisstation liegt in Richtung der Rückseite eines „strahlungsarmen“ Handys → Kopf wird bei einem Gerät mit geringem SAR-Wert weniger bestrahlt, als bei Gerät mit höherem SAR-Wert

Fall b) Basisstation liegt auf der anderen Seite → Handy strahlt mit seiner „strahlungsarmen“ Seite in Richtung Basisstation. Die „Belastung“ ist unabhängig vom SAR-Wert ungefähr gleich
→ Ein niedriger SAR-Wert bringt unter diesen Umständen keinen Vorteil

Auf der Rückseite strahlt das strahlungsarme Smartphone sogar stärker

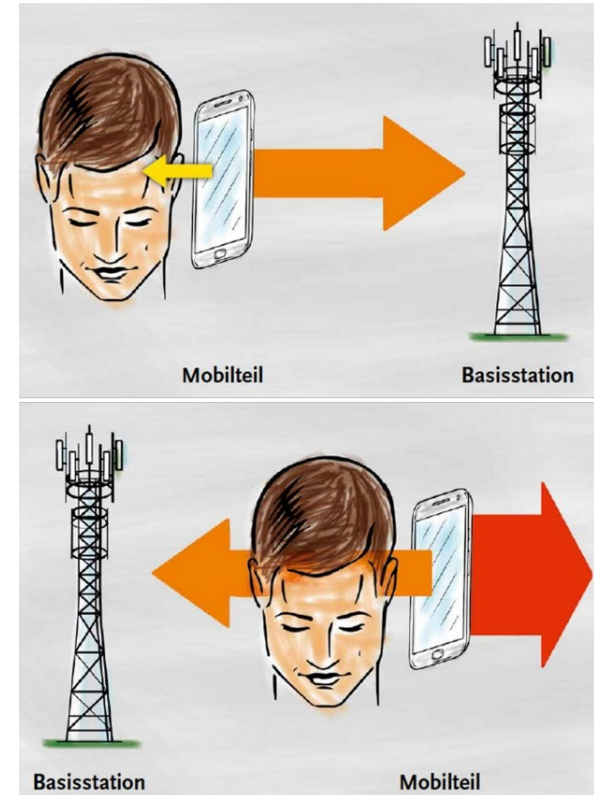


Abbildung: Dr. Martin H. Virnich

SAR – Spez. Absorptionsrate

Entscheidend: Wo ist die Basisstation - und das im mobilen Einsatz bei ständigem Wechsel der Basisstation → In der Praxis völlig unpraktikabel, darauf Rücksicht zu nehmen.

Der Nutzen eines niedrigen SAR-Wertes ist unter Praxisbedingungen hinsichtlich des tatsächlichen SAR (Belastung des Nutzers) längst nicht so entscheidend, wie das die „Laborwerte“ suggerieren

Handys mit hoher Maximalleistung werden durch den SAR-Wert benachteiligt.

Beispiel: Zwei Handys mit gleichem Abstrahlungsverhalten haben unterschiedliche Maximalleistung, eines hat 1 W, eines hat 0,5 W.

Das Gerät mit 0,5 Watt hat nur den halben SAR-Wert des leistungsstärkeren Geräts.

Im praktischen Einsatz unterscheiden sich die beiden Geräte hinsichtlich der Belastung des Nutzers nicht, solange die höhere Leistung über 0,5 W .. 1 W nicht benötigt wird.

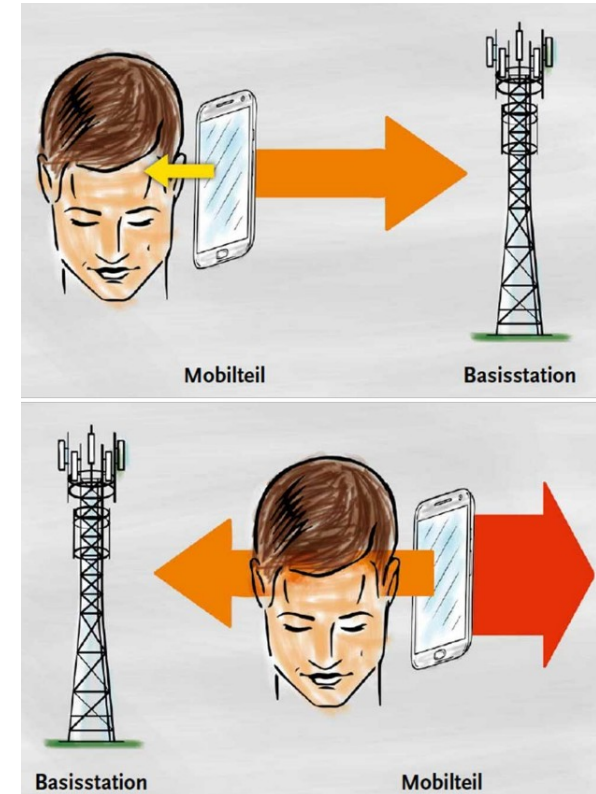
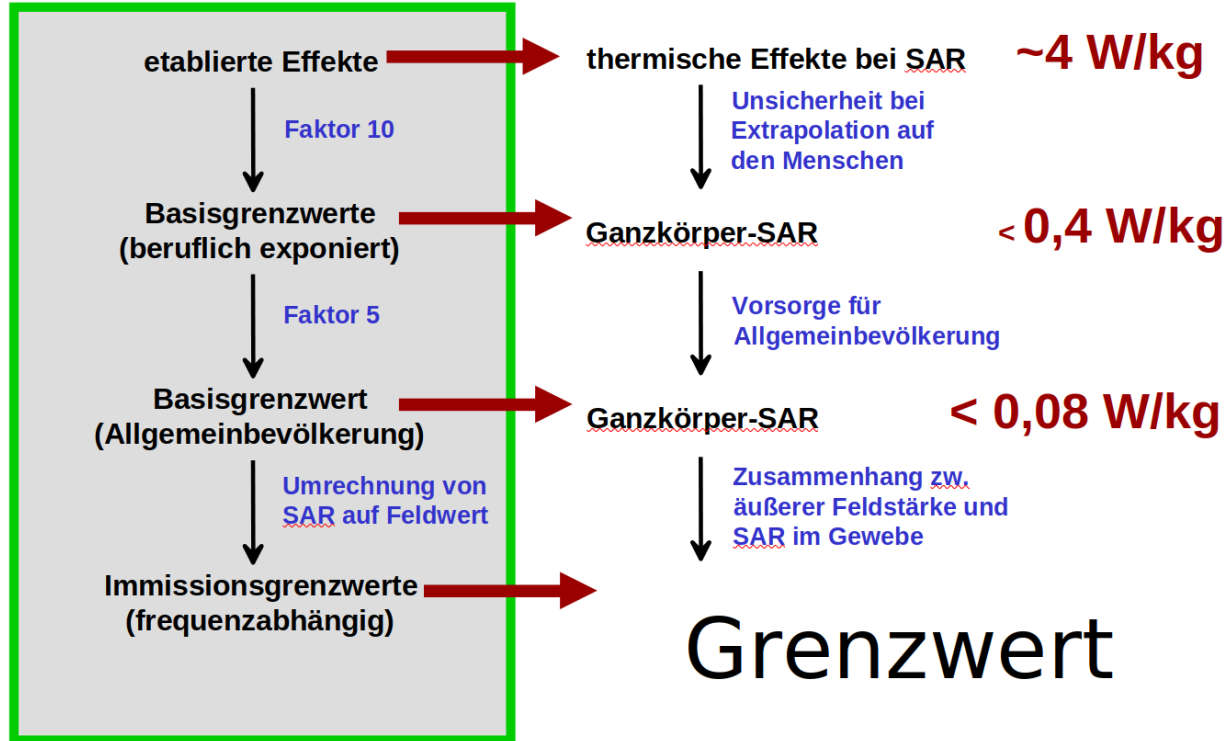


Abbildung: Dr. Martin H. Virnich

SAR – Spez. Absorptionsrate

Wie entsteht ein Grenzwert ?



Zum Nachlesen

SAR: Spezifische Absorptionsrate [W / kg]

Brave KI:

Für das Nahfeld von Mobilfunkgeräten wie Handys gelten in Deutschland SAR-Grenzwerte (spezifische Absorptionsrate), die die Menge an elektromagnetischer Energie begrenzen, die vom Körpergewebe aufgenommen wird. Der gesetzliche Grenzwert liegt bei

2 W/kg, gemittelt über 10 g Körpergewebe, für den Kopf- und Körperbereich (z. B. beim Telefonieren oder Tragen am Körper)

4 W/kg für die Gliedmaßen (Arme u. Beine).

Diese Werte basieren auf den Empfehlungen der ICNIRP und gelten europaweit. Sie dienen dem Schutz vor thermischen Effekten (Erwärmung des Gewebes) und enthalten einen hohen Sicherheitsfaktor.

SAR – TIPPS zum Umgang mit Mobiltelefonen

1. KURZE MOBILFUNK-GESPRÄCHE !
2. Einsatz von Freisprecheinrichtungen ! (oder Lautsprechereinrichtung nutzen)
3. Vermeiden von Telefonaten bei schlechtem Empfang !
4. LAN STATT WLAN !
5. Falls WLAN unvermeidbar: WLAN-Zeiten begrenzen oder Sendeleistung minimieren !
6. Weitere Alternativen

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

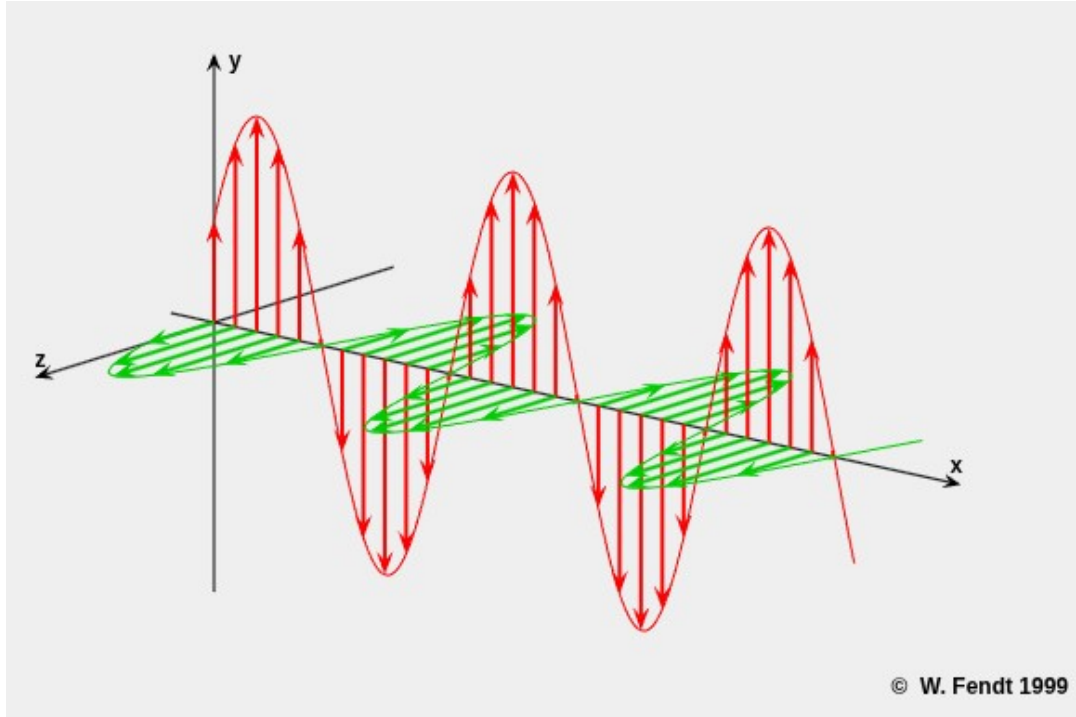
Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

Das Fernfeld, Grenzwerte für die Strahlungsdichte



Animation:

<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-wellen/grundwissen/ausbreitung-elektromagnetischer-wellen>

Erläuterung der Entstehung von elektromagnetischen Wellen durch bewegte Ladungsträger: Siehe

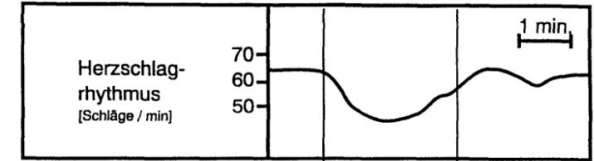
https://youtube.com/watch?v=FLQ1nDHi_uk&si=Cq_XrPhW6WSmXtXu

Die EM-Welle transportiert Leistung. Die Maßeinheit dafür ist die Leistungsdichte (Leistung pro Flächeneinheit): S
Die Mess-Einheit von S ist $[W / m^2]$

$$1 \mu W / m^2 = 0,000001 W / m^2$$

Grenzwerte Fernfeld (Quelle: Prof. Hecht)

Experimente von Krause et. al. (2002) und Freude et. al. (2000) zeigten, dass EMF von Mobiltelefonen bereits bei kurzer Einwirkdauer in die Informationsverarbeitung des Zentralnervensystems eingreifen – ähnlich wie bei akustischen Reizen.



Ein Großteil der Studien über die Wirkung von EMF gehen über höchstens 3 Tage. Damit lassen sich Aussagen über biologische Effekte ableiten, jedoch nicht über Langzeiteffekte.

EMF-Grenzwerte versch. Länder (Stand vor 1980) [1]:

Dauer der Mikrowellen-Exposition pro Tag	Maximal zulässige mittlere Leistungsdichte in mW/cm ²				Betriebsweise
	USA Westeuropa	UdSSR Polen	ehemalige CSSR	ehemalige DDR	
Ganztägig (in Osteuropa: 8 Stunden maximal)	10,0	0,01	0,025	0,1	Dauerstrich
			0,01	0,05	Impuls
Bis 3 Stunden (UdSSR: bis 2 Stunden)	10,0	0,1	0,065	0,5	Dauerstrich
			0,025	0,25	Impuls
Bis zu 20 Minuten	10,0	1,0	0,2	1,0	Dauerstrich
			0,08	0,5	Impuls

Westen:
Kurzzeit-
Unter-
suchungen

Osten:
Langzeit-
Unter-
suchungen

Grenzwerte Fernfeld (Quelle: Prof. Hecht)

Historisches in USA:

1953 legte die Telefongesellschaft Bell einen Grenzwert von $0,1 \text{ mW/cm}^2 = 1000 \text{ mW/m}^2 = 1 \text{ W/m}^2$ fest – da ein Techniker ein schweres Augenleiden auf Grund nichtionisierender Mikrowellen erlitt.

Mikrowellenkongress 1955: Auf Grund eines Meinungs-Chaos wurde von Prof. Hermann P. Schwan (Univ. Philadelphia) ein Grenzwert für Arbeiter von $10 \text{ mW/cm}^2 = 100000 \text{ mW/m}^2 = 100 \text{ W/m}^2$ als höchstzulässige Leistungsdichte vorgeschlagen und von den meisten akzeptiert. Dabei wurde ausschließlich die Wärmeentwicklung der Strahlung berücksichtigt.

Der Grenzwert wurde anschließend vielfach diskutiert, jedoch bis a.w. nicht geändert.

Keine Einigkeit
der Fachleute

Tierexperimente „Ost“:

Laborratten und -mäuse, untersucht wurden: 480 Ratten / 2,75 GHz / 16 Impulse (Paket à 40 ms, wiederholt alle 20 s)
Verschiedene Leistungsdichten bis $2,5 \text{ mW/cm}^2$, Expositionszeiten bis 16 Stunden pro Tag.

Als Grenze für wirksame Veränderungen wurde ein Wert von $0,05 \text{ mW/cm}^2 = 500 \text{ mW/m}^2 = 0,5 \text{ W/m}^2$ festgestellt.
Bereits bei $0,1 \text{ mW/cm}^2 = 1000 \text{ mW/m}^2 = 1 \text{ W/m}^2$ wurde im Verlauf von 4 Mon. pathologische Veränderungen festgestellt.

In den 70er Jahren wurde in den Ostblockländern der Wert $0,01 \text{ mW/cm}^2 = 100 \text{ mW/m}^2 = 0,1 \text{ W/m}^2$ verbindlich für Menschen festgelegt, die der Strahlung nicht berufsbedingt ausgesetzt sind.
(Unterscheidung Dauerstrich / Impuls wurde aufgegeben.)

Grenzwerte Fernfeld (Prof. Hecht)

LANGZEIT-Studien

Zum Nachlesen

Beispiele von Langzeiteinwirkungen von EMF und deren Auswirkung auf funktionelle Systeme des Menschen (**9 Studien im Osten, Dauer 5 .. 10 Jahre**), die Ostgrenzwerte sollen bis auf eine Ausnahme eingehalten worden sein. Die Tabelle unten zeigt repräsentativ Angaben zu zwei der neun Studien.)
Fazit: Es entstehen arge generelle Zweifel am Schutz durch Grenzwerte für EMF – sowohl für die Westgrenzwerte als auch für die Ostgrenzwerte [1].

Art der EMF Autor	Einwirkungs- dauer	Anzahl der Per- sonen	dominierende Symptoma- tik	Prävalenz Häu- figkeit
SHF Ginsburg und Sadschikova 1964	> 3-5 Jahre	100 (103 Kontrollen)	Neurasthenie, vegetative Dystonie, kardiovaskulares System, Vagotonie	nach 5 Jahren 33 %
SHF Lysina und Rapoport 1968	> 5 Jahre	85 (65 Kontrollen)	Neurasthenie, vegetative Dystonie, sensomotorische Störungen	nach 10 Jahren 91 %

Grenzwerte Fernfeld (Prof. Hecht)

MOSKAUER EXPERIMENT

Zum Nachlesen

Das „**Moskauer Experiment**“ (Kalter Krieg) zeigte, dass selbst nochmals um den Faktor 10 reduzierte dauerhafte Bestrahlungswerte ($0,001 \text{ mW/cm}^2 = 0,01 \text{ W/m}^2$) maßgebliche gesundheitliche Auswirkungen haben [1].

Neben statistisch relevanten schweren gesundheitlichen Auswirkungen wurden scheinbar auch DNA-Brüche gefunden.

Offensichtlich lassen sich gesundheitliche Auswirkungen nicht mit den heutigen Strahlungsgrenzwerten beschreiben.

In Deutschland gilt seit 1997 die 26. BImSchV, novelliert im August 2013. Der Grenzwert beträgt derzeit ca. $1 \text{ mW/cm}^2 = 10000 \text{ mW/m}^2 = 10 \text{ W/m}^2$

Der ursprüngliche geringe Grenzwert in Russland wurde gemäß Internet-Recherche im Jahr 2003 um den Faktor 1000 angehoben, er entspricht ungefähr den westlichen Grenzwerten.

Grenzwerte Fernfeld → ZUSAMMENFASSUNG

Bell-Labs 1953:

$$0,1 \text{ mW/cm}^2 = 1000 \text{ mW/m}^2 = 1 \text{ W/m}^2$$

Mikrowellenkongress 1955:

$$10 \text{ mW/cm}^2 = 100000 \text{ mW/m}^2 = 100 \text{ W/m}^2$$

Tierexperiment „Ost“:

Pathologische Veränderungen im Verlauf von 4 Monaten bei:
Grenze für wirksame Veränderungen:

$$\begin{aligned} 0,1 \text{ mW/cm}^2 &= 1000 \text{ mW/m}^2 = 1 \text{ W/m}^2 \\ 0,05 \text{ mW/cm}^2 &= 500 \text{ mW/m}^2 = 0,5 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Grenzwert „Ost“ in den 70er Jahren:

$$0,01 \text{ mW/cm}^2 = 100 \text{ mW/m}^2 = 0,1 \text{ W/m}^2$$

„Experimente am Menschen“:

9 Studien im Osten, Dauer 5 .. 10 Jahre → LANGZEITAUSWIRKUNGEN

Ostgrenzwerte sollen ggf. bis auf eine Ausnahme eingehalten worden sein

→ Neurasthenie, vegetative Dystonie, kardiovaskuläres System, Vagotonie, sensomotorische Störungen

„Moskauer Experiment: Selbst nochmals um den Faktor 10 reduzierte dauerhafte Bestrahlungswerte $0,001 \text{ mW/cm}^2 = 10 \text{ mW/m}^2$ führen zu maßgeblichen gesundheitlichen Auswirkungen: Neben statistisch relevanten schweren gesundheitlichen Auswirkungen wurden scheinbar auch DNA-Brüche gefunden. Offensichtlich lassen sich gesundheitliche Auswirkungen nicht mit den heutigen Strahlungsgrenzwerten beschreiben.

In Deutschland seit 1997 (Novelle 2013) 26. BImSchV, Grenzwert:

$$1 \text{ mW/cm}^2 = 10000 \text{ mW/m}^2 = 10 \text{ W/m}^2$$

Grenzwert in Russland wurde gemäß Internet-Recherche in 2003 um ca. den Faktor 1000 angehoben (entspricht ungefähr den West-Grenzwerten).

Ein um den Faktor 10 reduzierter Wert gegenüber „Moskau“:

$$0,0001 \text{ mW/cm}^2 = 1 \text{ mW/m}^2 = 0,001 \text{ W/m}^2$$

ALTERNATIVEN: Zeitl. Begrenzung der Exposition! Freisprecheinrichtung nutzen! Festnetz nutzen! Keine Handy-Nutzung bei schlechtem Empfang!

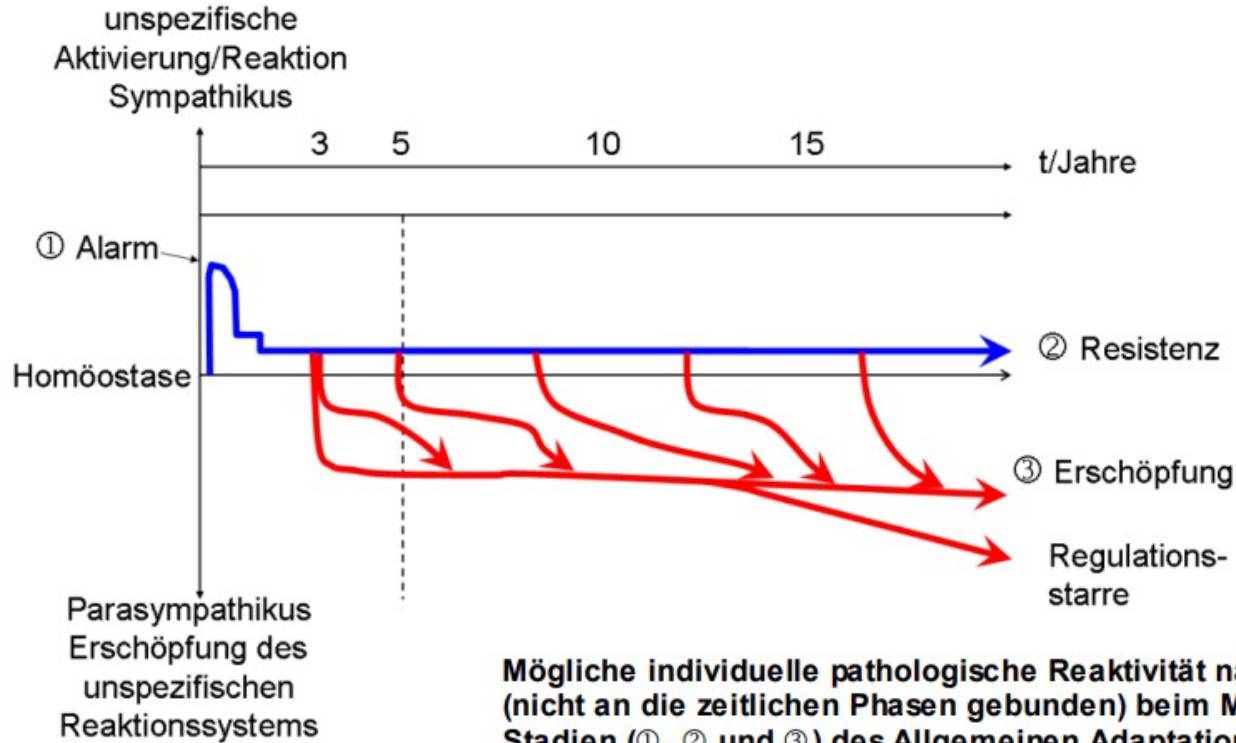
Grenzwerte Fernfeld → ZUSAMMENFASSUNG

Bell-Labs 1953		$0,1 \text{ mW/cm}^2 = 1000 \text{ mW/m}^2 = 1 \text{ W/m}^2$
Mikrowellenkongress 1955:		$10 \text{ mW/cm}^2 = 100000 \text{ mW/m}^2 = 100 \text{ W/m}^2$
Tierexperiment „Ost“	Patholog. Veränderungen	$0,1 \text{ mW/cm}^2 = 1000 \text{ mW/m}^2 = 1 \text{ W/m}^2$
Tierexperiment „Ost“	Grenzwertfestlegung	$0,01 \text{ mW/cm}^2 = 100 \text{ mW/m}^2 = 0,1 \text{ W/m}^2$
Experimente am Mensch	5 ..10 Jahre, Grenzw. Ost	Neurasthenie, veg. Dystonie, Vagotonie, ...
Moskauer Experiment	Langzeit-Erkrankungen	$0,001 \text{ mW/cm}^2 = 0,01 \text{ W/m}^2$
Grenzwert in Deutschland	26. BImSchV	$1 \text{ mW/cm}^2 = 10000 \text{ mW/m}^2 = 10 \text{ W/m}^2$
Grenzwert in Rußland 2003 ca. Faktor 100 .. 1000 angehoben (entspr. ungefähr West-Grenzwert)		
ALTERNATIVEN: Zeitliche Begrenzung der Exposition! Freisprechen nutzen ! Keine Handy-Nutzung bei schlechtem Empfang ! Festnetz nutzen !		

Grenzwerte Fernfeld (Prof. Hecht)

LANGZEITWIRKUNG

Zum Nachlesen



Mögliche individuelle pathologische Reaktivität nach EMF-Langzeitwirkung (nicht an die zeitlichen Phasen gebunden) beim Menschen im Vergleich mit den Stadien (①, ② und ③) des Allgemeinen Adaptationssyndroms nach Hans Selye [1953]

Darstellung auf der Grundlage der Ergebnisse einer Literaturrecherche [Hecht und Balzer 1997]

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

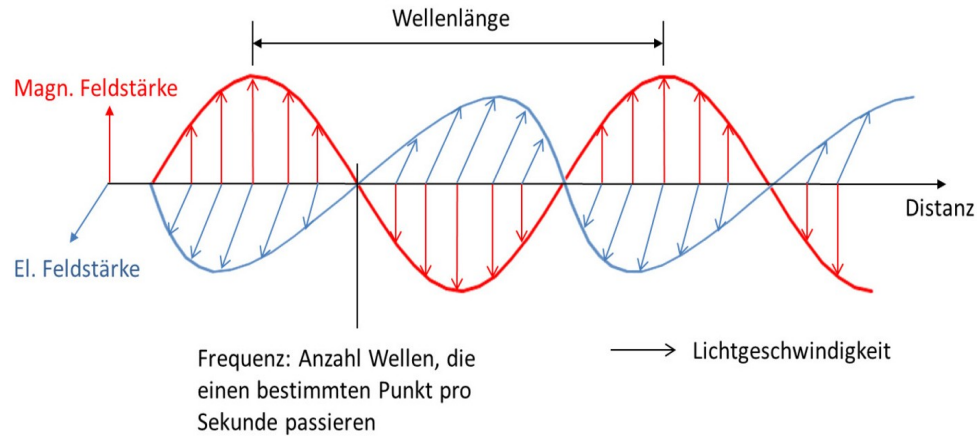
Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

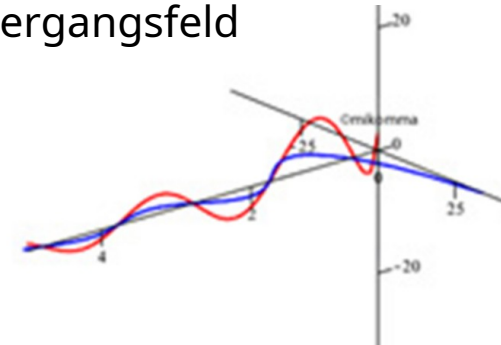
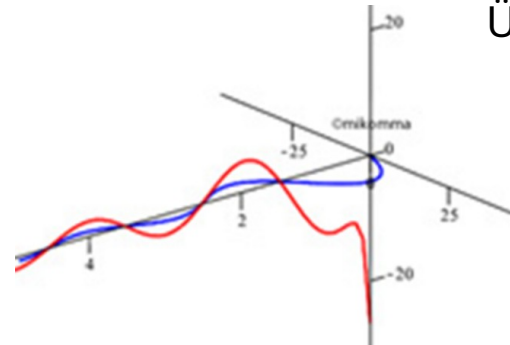
Grenzwerte, Herleitung

Feldbereiche von Antennen



Fernfeld → Elektrisches und magnetisches Feld sind in Phase (gleichphasig)

Nahfeld und Übergangsfeld



Feldbereiche von Antennen

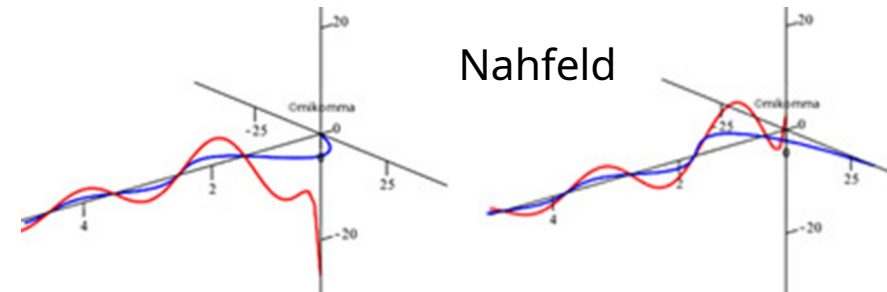
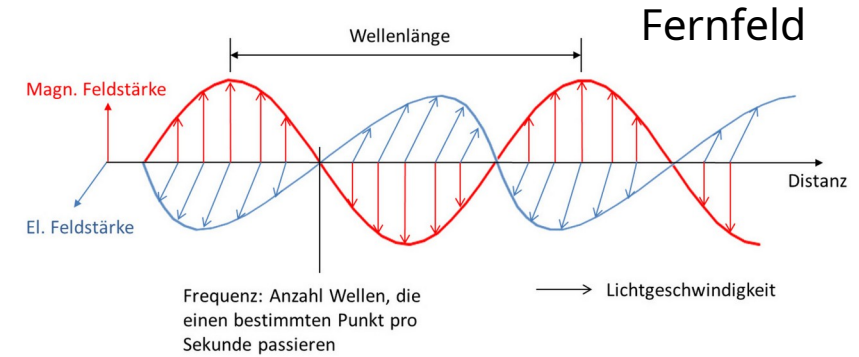
Im Fernfeld, d.h. in ein paar Wellenlängen Abstand von der Antenne liegt die abgestrahlte Leistung als phasengleiche elektromagnetische Welle vor.

Bei Antennen, die im Vergleich zu den abgestrahlten Wellenlängen klein sind, betragen Nah- und Zwischenzone (das Nahfeld) etwa das Doppelte der Wellenlänge. In diesem Bereich stehen Antenne und elektromagnetisches Feld in Wechselwirkung.

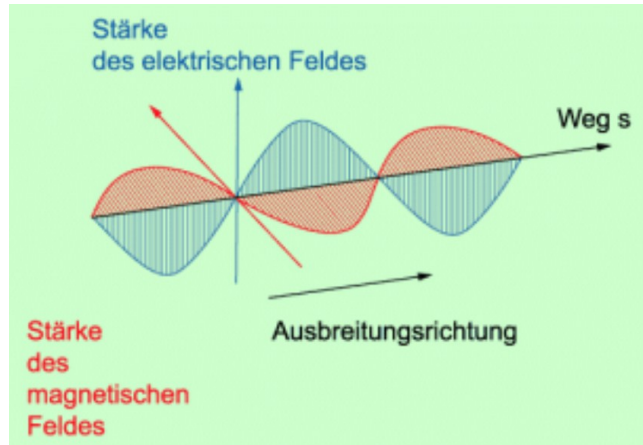
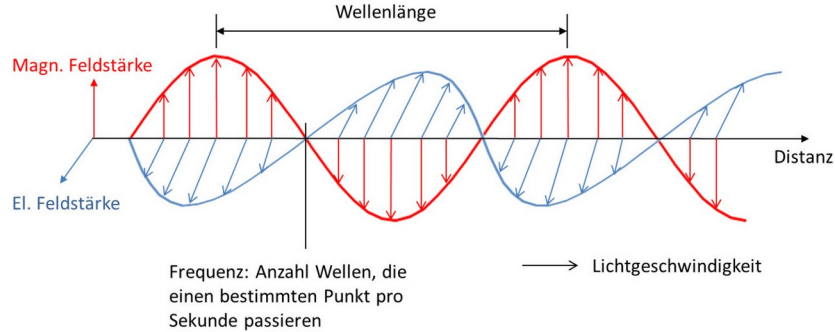
Ab ca. 2 Wellenlängen tritt diese Rückkopplung ausser Kraft und das Feld breitet sich unabhängig vom Zustand des Senders als sogenanntes Fernfeld im freien Raum aus.

Bei Antennen mit großer Abmessung im Vergleich zur Wellenlänge beginnt das Fernfeld um ein vielfaches weiter entfernt von der Antenne.

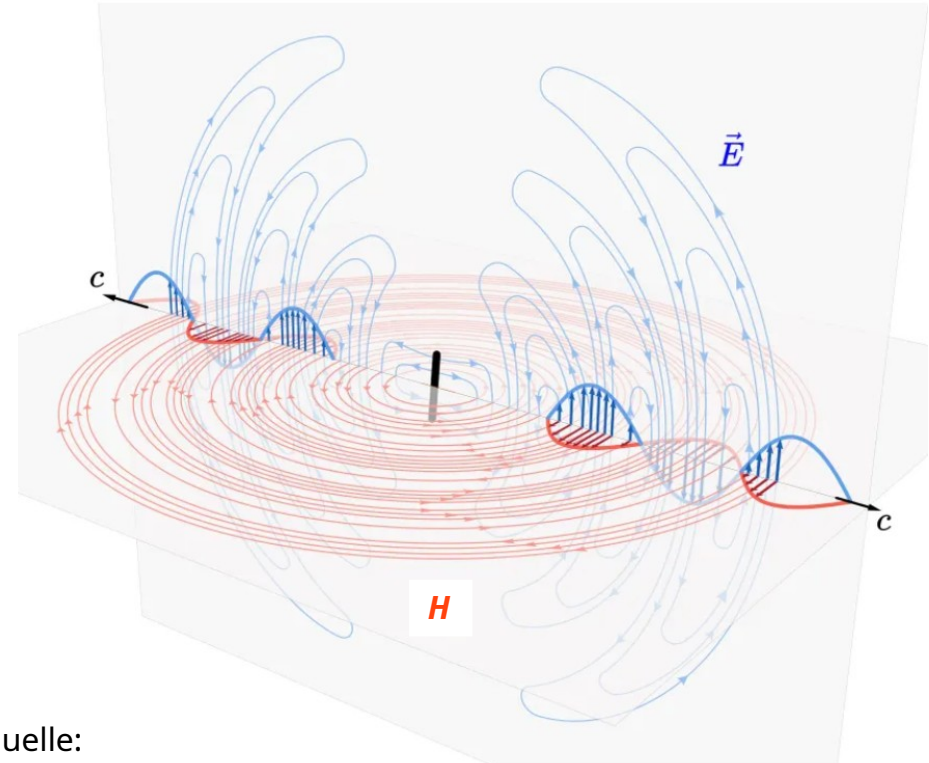
Im Fernfeld sind elektrisches und magnetisches Feld in Form einer Ebenen Welle fix und phasengleich miteinander verknüpft. Magnetische und elektrische Feldstärke oder die Strahlungsdichte alleine beschreiben das Feld vollständig.



Die Ablösung von der Antenne



Elektrische und Magnetische Felder und Feldstärken beim Halbwellendipol



Quelle:
<https://physikbuch.schule/electromagnetic-waves.html>

H. Gambach

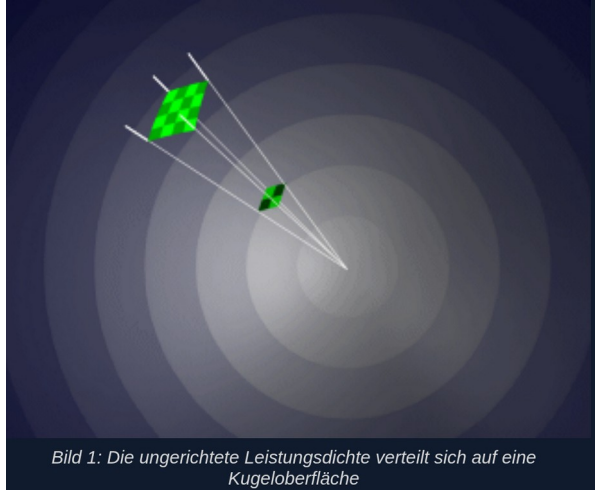
Kugelstrahler und Richtantenne

Fernfeld

Bild eines Kugelstrahlers (isotrope Antenne)

Bild einer Richtantenne

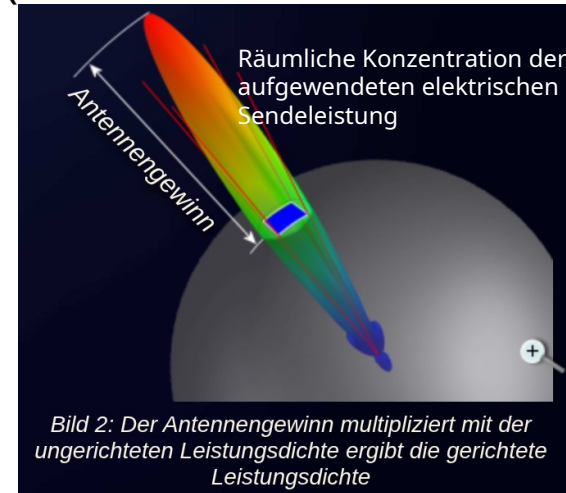
(Isotrope Wellenausbreitung)



$$S = \left(\frac{G * P}{4 * \pi * d^2} \right)$$

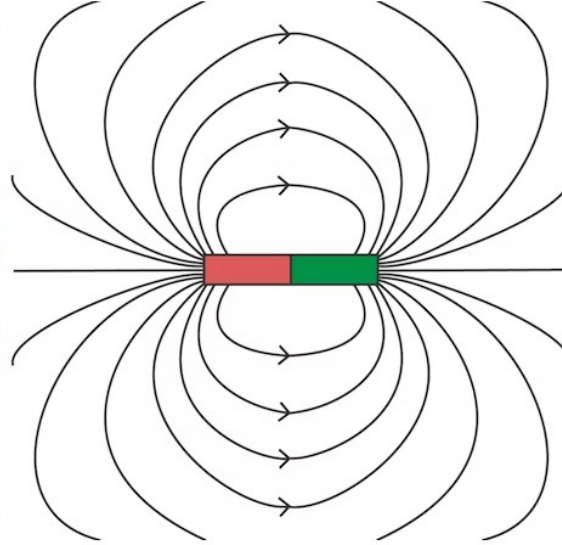
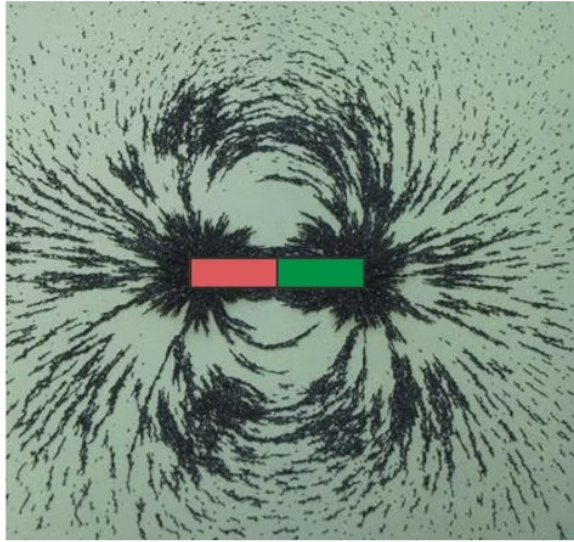
S: Leistungsdichte [W/m^2]
G: Antennengewinnfaktor
P: Sendeleistung [W]
d: Entfernung zur Antenne [m]

(Gerichtete Wellenausbreitung)



Quelle: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Die%20Radargleichung.de.html>

Magnetfeld



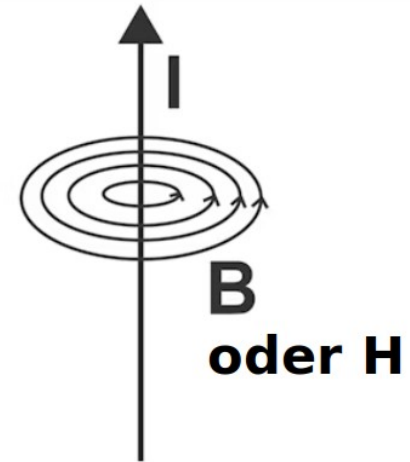
Links ist das experimentelle Ergebnis gezeigt, wenn Eisenpulver auf ein Blatt Papier gestreut wird, unter dem sich ein Stabmagnet befindet. Das Eisenpulver scheint sich dabei entlang der Magnetfeldlinien anzuordnen. Rechts ist schematisch der Verlauf der Feldlinien eines Stabmagneten mit der festgelegten Richtung vom Nord- (rot) zum Südpol (grün) angedeutet.

Quelle:
<https://www.supermagnete.de/magnetismus/Feldlinien>

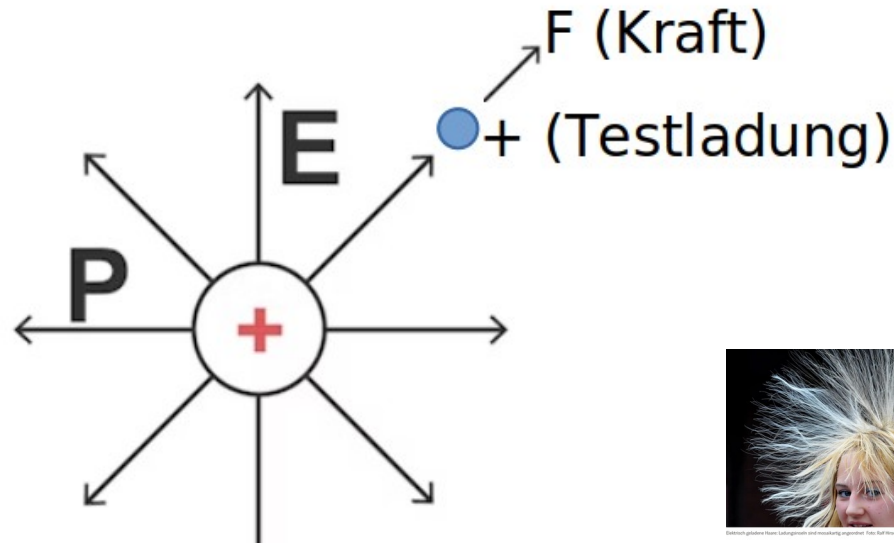
Mess-Einheit der magnetischen Feldstärke H : [A / m]

Anstelle H oft auch verwendet:
Magnetische Induktion B [Vs / m² = T]

(T: Tesla). 1 μ T = 0,000001 T



Elektrisches Feld



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

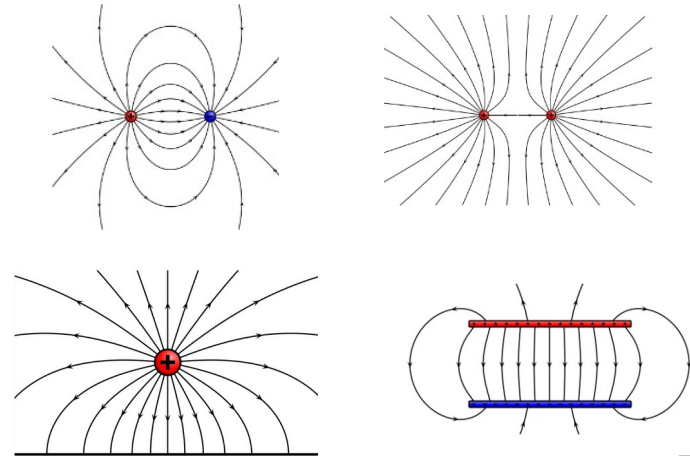
q_1, q_2	kugelsymmetrisch verteilte Ladungsmengen
r	Abstand zwischen den Mittelpunkten der Ladungsmengen
ϵ_0	elektrische Feldkonstante



Mess-Einheit der elektrischen Feldstärke E: [V / m]

In einem elektrischen Feld wird auf eine Ladung (Testladung) eine Kraft F ausgeübt. Die Richtung dieser Kraft verläuft entlang der elektrischen Feldlinien.

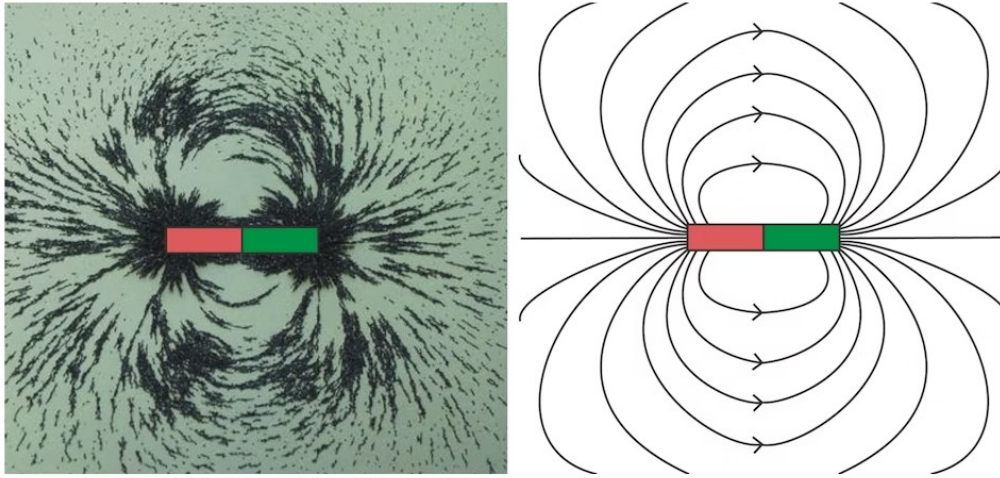
Elektrische Feldlinien lassen sich leider nicht so anschaulich sichtbar machen wie magnetische Feldlinien (Dauermagnet + Eisenpulver)



H. Gambach

Quelle: <https://www.supermagnete.de/magnetismus/Feldlinien>

Magnetisches und elektrisches Feld



Links ist das experimentelle Ergebnis gezeigt, wenn Eisenpulver auf ein Blatt Papier gestreut wird, unter dem sich ein Stabmagnet befindet. Das Eisenpulver scheint sich dabei entlang der Magnetfeldlinien anzuordnen. Rechts ist schematisch der Verlauf der Feldlinien eines Stabmagneten mit der festgelegten Richtung vom Nord- (rot) zum Südpol (grün) angedeutet.

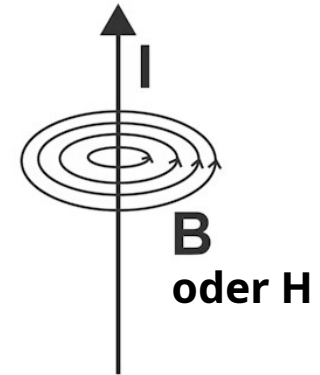
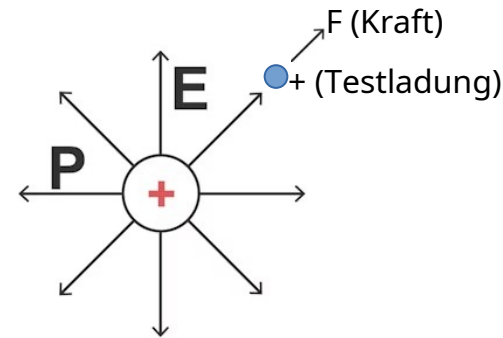


Mess-Einheit der elektrischen Feldstärke E : [V / m]

Mess-Einheit der magnetischen Feldstärke H : [A / m]

Anstelle H oft auch verwendet: Magn. Induktion B [Vs / m² = T]

(T: Tesla). $1 \mu\text{T} = 0,000001 \text{ T}$



Von einer elektrischen Ladung gehen die Feldlinien des elektrischen Feldes E als sogenanntes "Iggelfeld" geradlinig aus (links). Die magnetische Flussdichte B bildet dagegen immer geschlossene Feldlinien (rechts). Das elektrische und das magnetische Feld füllen den gesamten Raum aus. Die Abbildung zeigt nur schematisch einige wenige Feldlinien zur Andeutung des Unterschiedes zwischen elektrischen und magnetischen Feldern.

Quelle:

<https://www.supermagnete.de/magnetismus/Feldlinien>

H. Gambach

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

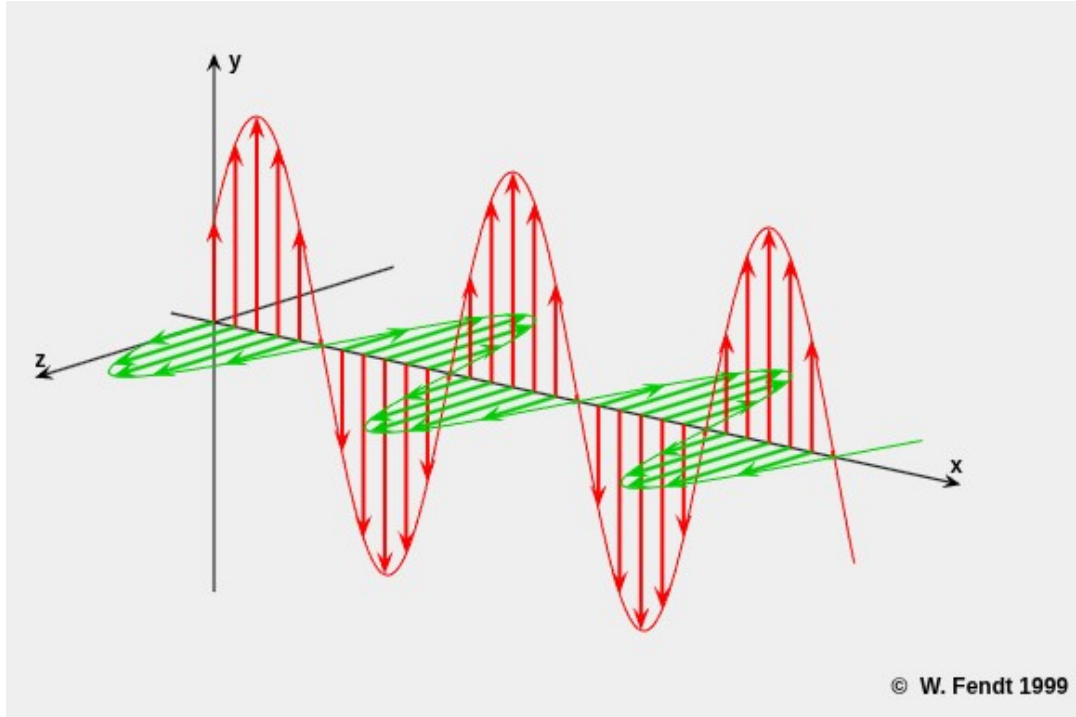
Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

Das Fernfeld, Strahlungsdichte



Animation:

<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-wellen/grundwissen/ausbreitung-elektromagnetischer-wellen>

Erläuterung der Entstehung von elektromagnetischen Wellen durch bewegte Ladungsträger: Siehe

https://youtube.com/watch?v=FLQ1nDHi_uk&si=Cq_XrPhW6WSmXtXu

Die EM-Welle transportiert Leistung. Die Maßeinheit dafür ist die Leistungsdichte (Leistung pro Flächeneinheit): S
Die Mess-Einheit von S ist $[W / m^2]$

$$1 \mu W / m^2 = 0,000001 W / m^2$$

Strahlungsdichte, Antennengewinn

**Leistungsdichte, oder
„Wie schnell nimmt die Strahlung ab?“**

$$S = \left(\frac{G * P}{4 * \pi * d^2} \right)$$

S: Leistungsdichte [W/m^2]

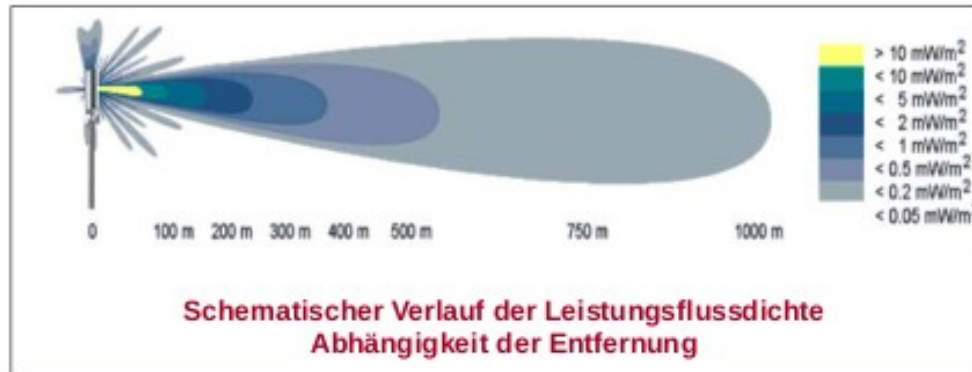
G: Antennengewinnfaktor

P: Sendeleistung [W]

d: Entfernung zur Antenne [m]

Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg



Leistungsdichte vs. Feldstärke

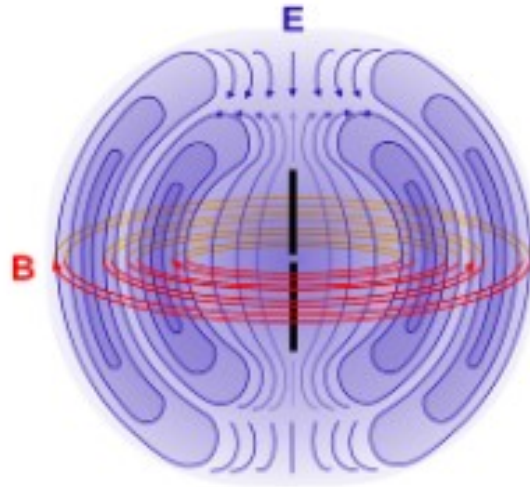
S W/m ²	S <u>μ</u> W/m ²	S <u>m</u> W/m ²	S <u>μ</u> W/cm ²	E V/m	H A/m	B T	B <u>μ</u> T
0,00010000	100,00	0,10	0,01	0,19	0,0005	6,47E-10	0,0006
0,00020000	200,00	0,20	0,02	0,27	0,0007	9,15E-10	0,0009
0,00050000	500,00	0,50	0,05	0,43	0,0012	1,45E-09	0,0014
0,00100000	1000,00	1,00	0,1	0,61	0,0016	2,05E-09	0,0020
0,00200000	2000,00	2,00	0,2	0,87	0,0023	2,89E-09	0,0029
0,00500000	5000,00	5,00	0,5	1,37	0,0036	4,57E-09	0,0046
0,01000000	10000,00	10,00	1	1,94	0,0052	6,47E-09	0,0065
0,02000000	20000,00	20,00	2	2,75	0,0073	9,15E-09	0,0091
0,05000000	50000,00	50,00	5	4,34	0,0115	1,45E-08	0,0145
0,10000000	100000,00	100,00	10	6,14	0,0163	2,05E-08	0,0205
0,20000000	200000,00	200,00	20	8,68	0,0230	2,89E-08	0,0289
0,50000000	500000,00	500,00	50	13,73	0,0364	4,57E-08	0,0457
1,00000000	1000000,00	1000,00	100	19,42	0,0515	6,47E-08	0,0647
2,00000000	2000000,00	2000,00	200	27,46	0,0728	9,15E-08	0,0915
5,00000000	5000000,00	5000,00	500	43,42	0,1152	1,45E-07	0,1446
10,00000000	10000000,00	10000,00	1000	61,40	0,1629	2,05E-07	0,2046
20,00000000	20000000,00	20000,00	2000	86,83	0,2303	2,89E-07	0,2893
50,00000000	50000000,00	50000,00	5000	137,30	0,3642	4,57E-07	0,4574
100,00000000	100000000,00	100000,00	10000	194,16	0,5150	6,47E-07	0,6469
200,00000000	200000000,00	200000,00	20000	274,59	0,7284	9,15E-07	0,9148

Leistungsdichte vs. Feldstärke

S W/m ²	S <u>μ</u> W/m ²	S <u>m</u> W/m ²	S <u>μ</u> W/cm ²	E V/m	H A/m	B T	B <u>μ</u> T
0,00002653	26,53	0,03	0,003	0,1	0,0003	3,33E-10	0,0003
0,00010610	106,10	0,11	0,011	0,2	0,0005	6,66E-10	0,0007
0,00066313	663,13	0,66	0,066	0,5	0,0013	1,67E-09	0,0017
0,00265252	2652,52	2,65	0,265	1	0,0027	3,33E-09	0,0033
0,01061008	10610,08	10,61	1,061	2	0,0053	6,66E-09	0,0067
0,06631300	66313,00	66,31	6,631	5	0,0133	1,67E-08	0,0167
0,26525199	265251,99	265,25	26,525	10	0,0265	3,33E-08	0,0333
1,06100796	1061007,96	1061,01	106,101	20	0,0531	6,66E-08	0,0666
6,63129973	6631299,73	6631,30	663,130	50	0,1326	1,67E-07	0,1666
10,00315146	10003151,46	10003,15	1000,315	61,41	0,1629	2,05E-07	0,2046
26,52519894	26525198,94	26525,20	2652,520	100	0,2653	3,33E-07	0,3332
106,10079576	106100795,76	106100,80	10610,080	200	0,5305	6,66E-07	0,6663
239,04519894	239045198,94	239045,20	23904,520	300,2	0,7963	1,00E-06	1,0001

S: Strahlungsdichte, E: Elektr. Feldstärke, H: Magn. Feldstärke, B: Magn. Induktion

Leistungsdichte und Feldstärke



$$S = \left(\frac{G * P}{4 * \pi * d^2} \right)$$

S: Leistungsdichte [W/m^2]
G: Antennengewinnfaktor
P: Sendeleistung [W]
d: Entfernung zur Antenne [m]

Elektrische Ladungen: An den Drahtenden.
Sie erzeugen ein elektrisches Feld E.

Ströme fließen in der Mitte des Drahtes.
Sie erzeugen ein magnetisches Feld H.

E: Elektr. Feldstärke, H: Magn. Feldstärke.

Die Leistungsdichte (Wirkleistung bezogen auf die durchstrahlte Fläche) errechnet sich aus E und H wie folgt – sofern die Felder E und H senkrecht aufeinander stehen:

$$S = E \times H$$

Mit $H = E / Z$ ($Z = \sqrt{\mu / \epsilon}$)
ergibt sich

$$S = E^2 / Z \text{ oder } S = H^2 \cdot Z$$

E: Elektr. Feldstärke

H: Magn. Feldstärke

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

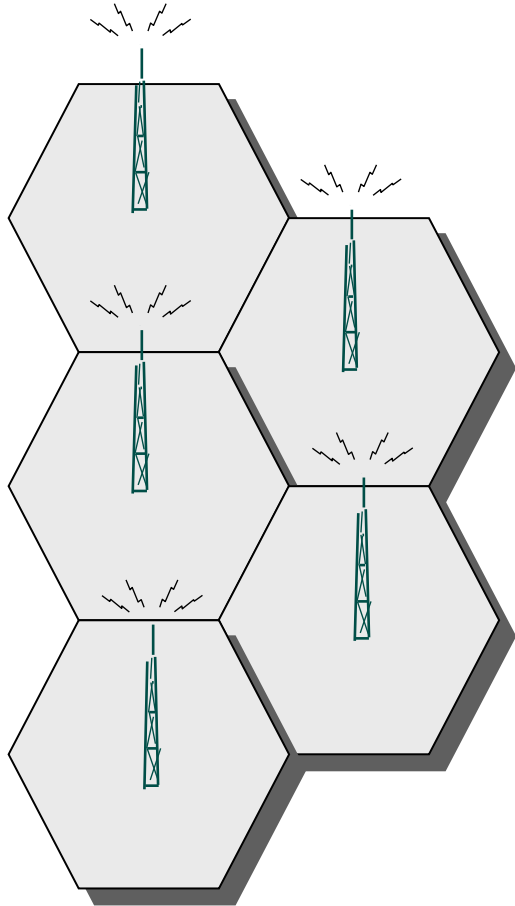
Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

Das zellulare Konzept



- Konzept 1947 entwickelt durch Bell Labs
- Mehrere „Zellen“ sorgen für eine flächendeckende Versorgung
- Frequenzen werden wiederholt
- Gespräche wechseln bei Mobilität der Teilnehmer die Basisstation
- Niedrigere Sendeleistung

Zellen Radius (GSM)

Gebiet

- Stadt, in Gebäuden
- Stadt, außerhalb Gebäuden
- Vororte
- ländliche Gebiete
- quasi-offenes Gelände

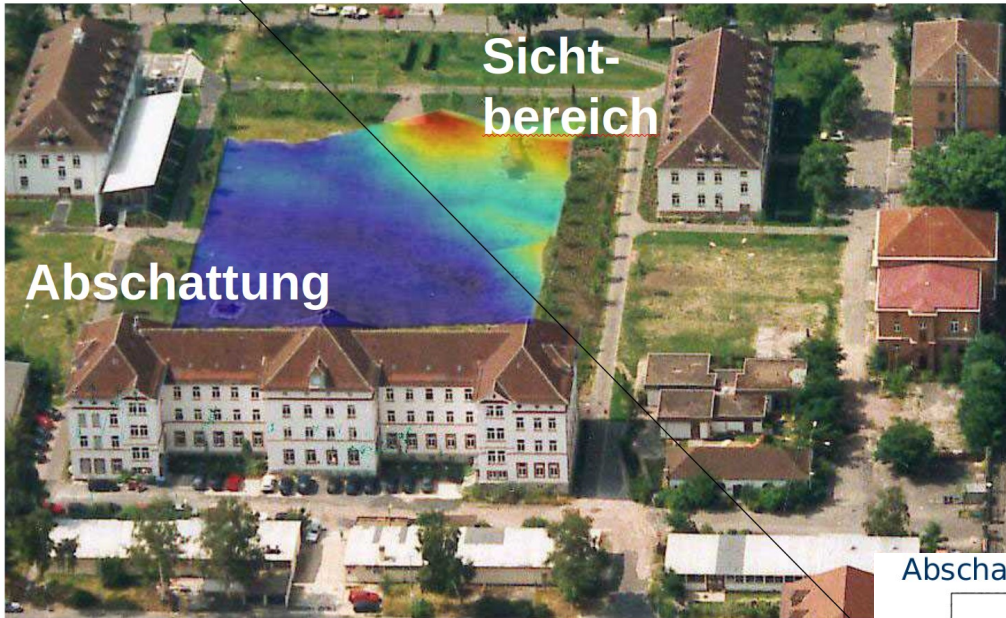
Zellenradius (km)

0,7-2,5
5
6
8
20

Quelle:

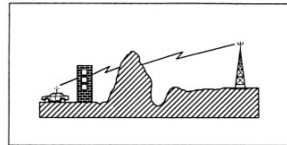
Prof. Dr.-Ing. U. Bachtler
Hochschule Aschaffenburg

Abschattung

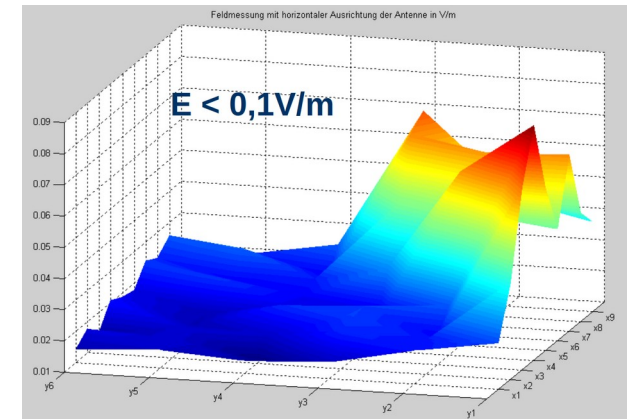


Messungen

Abschattung (lognormal fading)

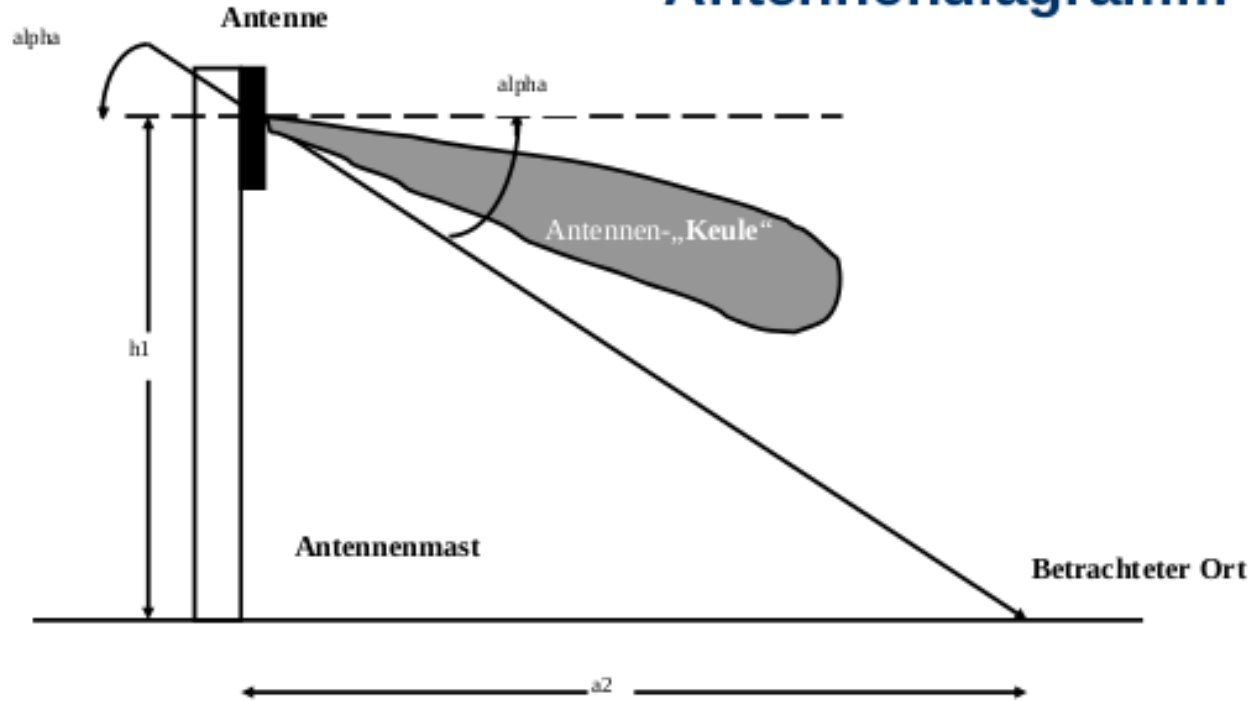


- * 20 dB Schwund sind üblich
- * in Vororten ist der Pegel um ca. 10 dB höher
- * in offenen ländlichen Gebieten ergibt sich oft ein um 20 dB höherer Pegel als in Vororten



Antennendiagramme

Antennendiagramm

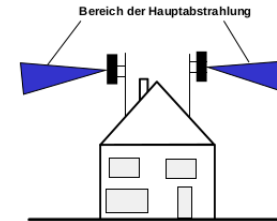


Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg

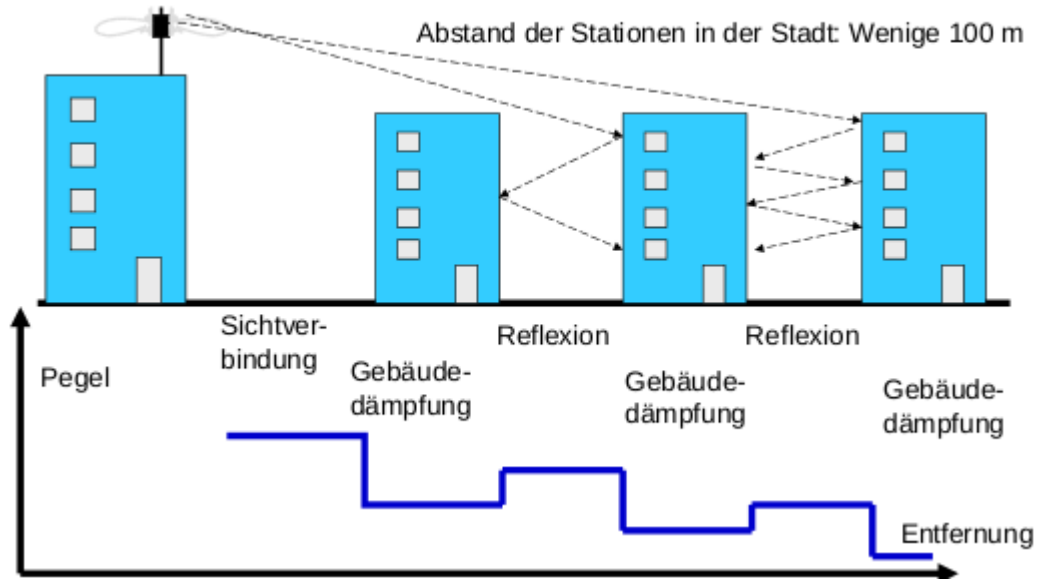
Felder in der Nähe von Sendeanlagen

- Prinzipskizze Dachmontage



„Versorgung“ mit Mobilfunk

Versorgung in der Stadt



Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg

Grundversorgung und Kapazitätsplanung



42 Gespräche

+ 42 Gespräche = **84 Gespräche**

1 Antenne: 14 Gespräche
3 Antennen: 42 Gespräche

Neue Station für mehr Kapazität:



42 Gespräche

+ 42 Gespräche

+ 42 Gespräche = **126 Gespräche**

Inhaltsübersicht

Grundlagen: Der elektrische Schwingkreis

Die Antenne

Die Anregung des elektrischen Schwingkreises

Frequenzbereiche und ihre Anwendungen

Die Abstrahlungsbereiche von Antennen, Ausdehnung und Grenzwerte

a) SAR-Grenzwert

b) Grenzwerte für die Strahlungsdichte

Feldbereiche, Ablösung, gerichtete Abstrahlung, Feldbegriff

Fernfeld, Strahlungsdichte, Umrechnungstabelle

Mobilfunk, Abschattung, Antennendiagramme, Reflexion

Grenzwerte, Herleitung

Grenzwerte

Rechtsgrundlage

26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV)

(Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996

*„.. Sie enthält Anforderungen zum Schutz der
Allgemeinheit und der Nachbarschaft
vor schädlichen Umwelteinwirkungen
und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen
durch elektromagnetische Felder. ..“*

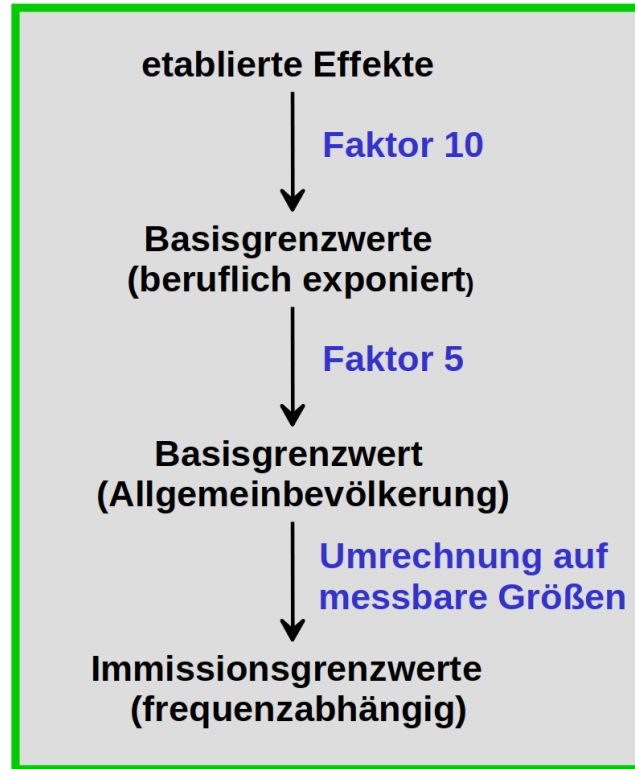
Zum Nachlesen

Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg

Grenzwerte

**Wie entsteht
ein Grenzwert ?**



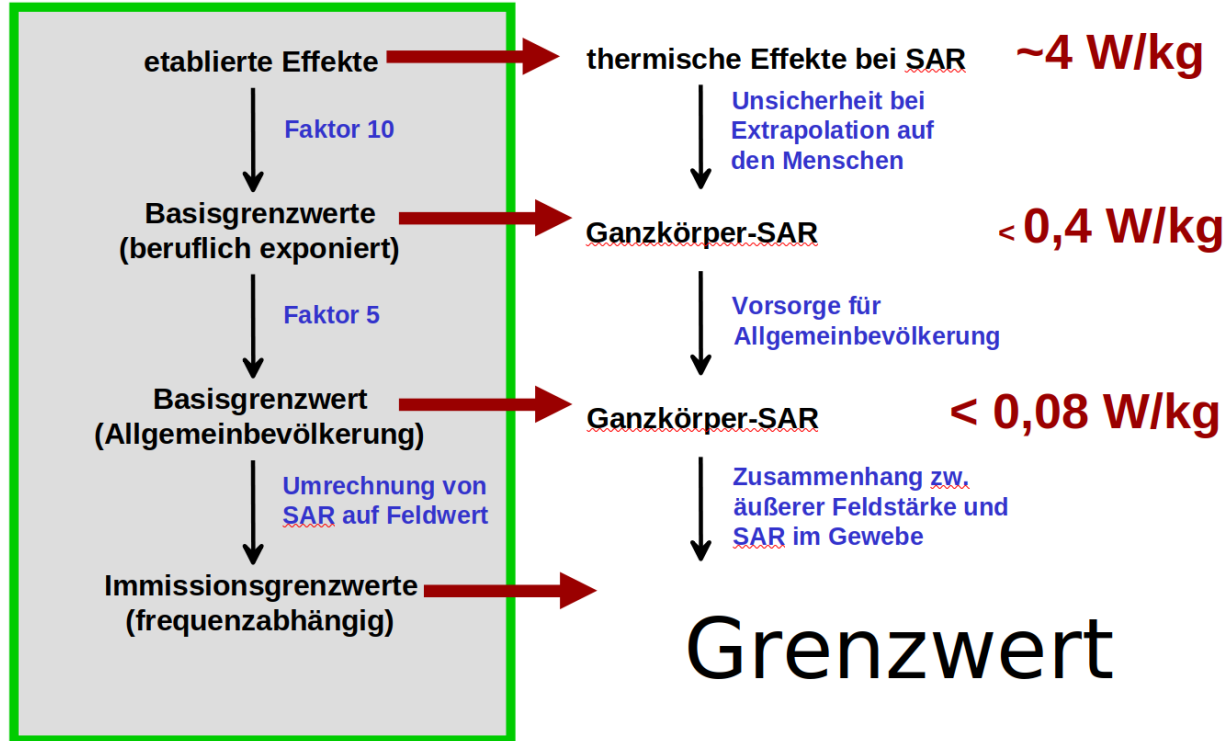
Zum Nachlesen

Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg

Grenzwerte

Wie entsteht ein Grenzwert ?



Zum Nachlesen

SAR: Spezifische Absorptionsrate [W / kg]

Brave KI:

Für das Nahfeld von Mobilfunkgeräten wie Handys gelten in Deutschland SAR-Grenzwerte (spezifische Absorptionsrate), die die Menge an elektromagnetischer Energie begrenzen, die vom Körpergewebe aufgenommen wird. Der gesetzliche Grenzwert liegt bei

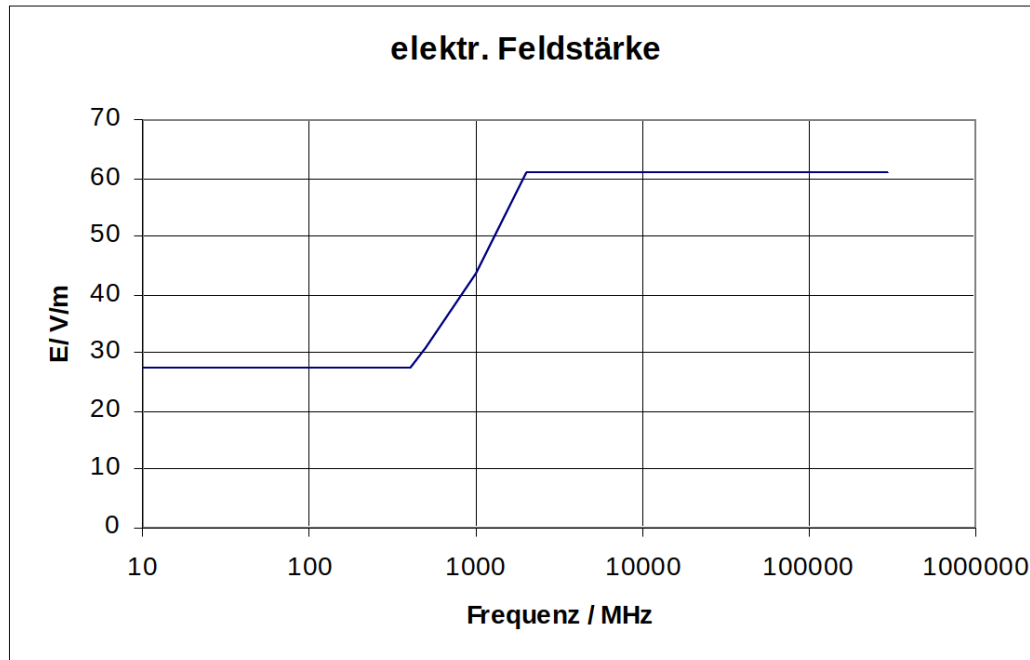
2 W/kg, gemittelt über 10 g Körpergewebe, für den Kopf- und Körperbereich (z. B. beim Telefonieren oder Tragen am Körper)

4 W/kg für die Gliedmaßen (Arme u. Beine).

Diese Werte basieren auf den Empfehlungen der ICNIRP und gelten europaweit. Sie dienen dem Schutz vor thermischen Effekten (Erwärmung des Gewebes) und enthalten einen hohen Sicherheitsfaktor.

Grenzwerte

Grenzwerte gemäß 26. BImSchV



Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg

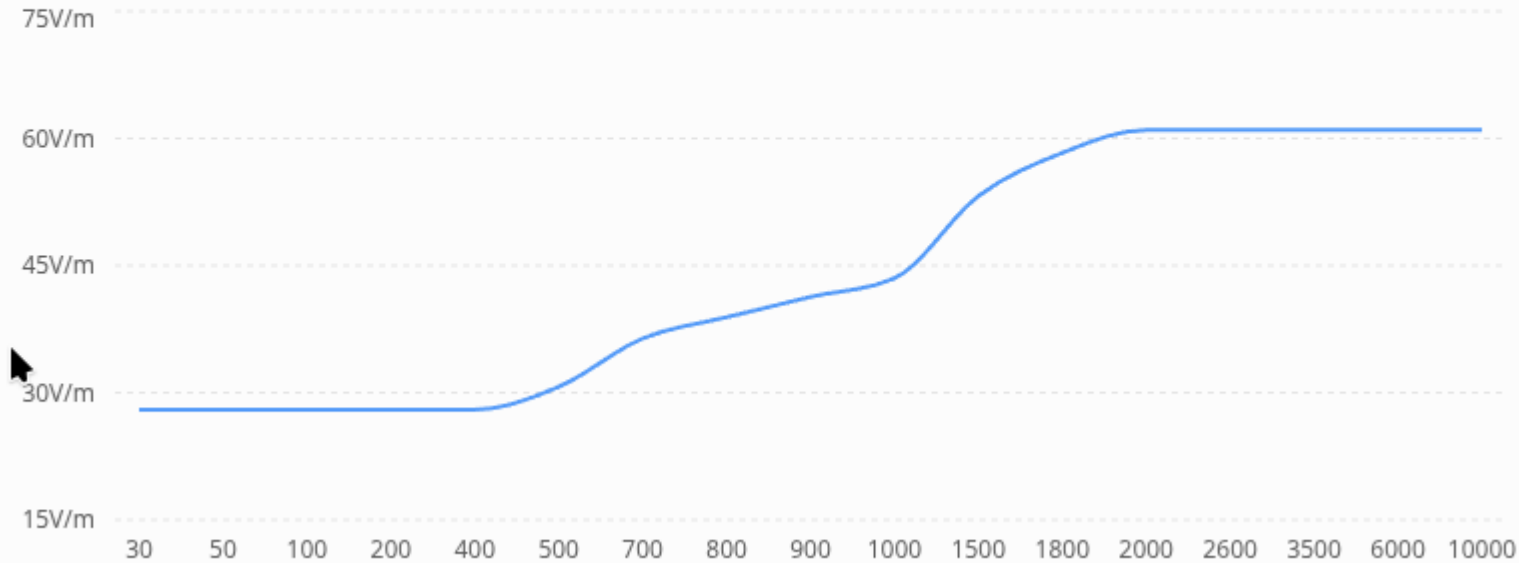
Grenzwerte

Grenzwerte der elektrischen Feldstärke (30 MHz bis 10 GHz)

Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP / 26. BImSchV. Für die Frequenzachse ist eine logarithmische Darstellung vorgesehen.

...

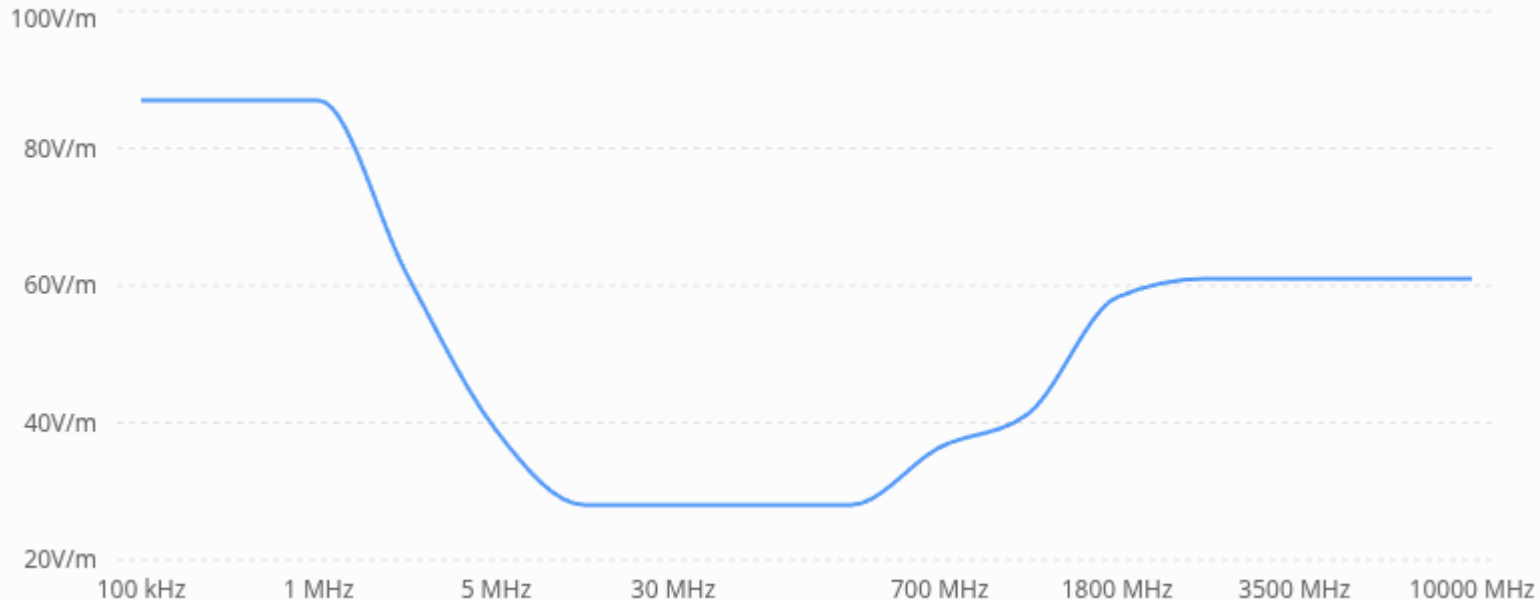
Quelle: ChatGPT



Grenzwerte

Grenzwerte der elektrischen Feldstärke (100 kHz bis 10 GHz)

Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP / 26. BImSchV.



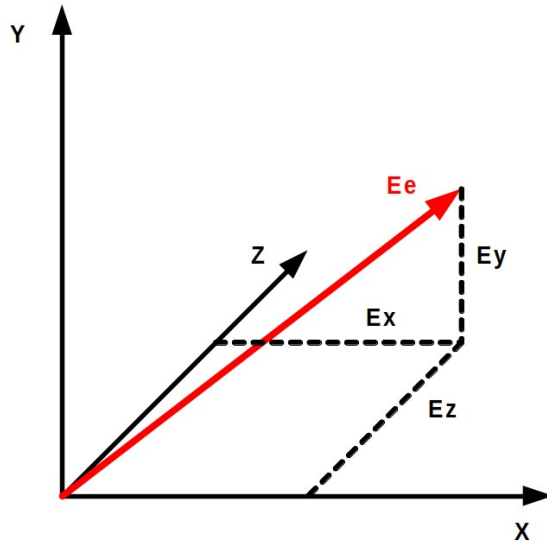
Quelle: ChatGPT

Grenzwerte, Überprüfung

Messverfahren

Isotrope Messung

Messgerät gemäß Norm DIN VDE 0848 T2



Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg

Grenzwerte, Überprüfung

.. dieses Messinstrument liefert

nur eine Zahl

**nur die Aussage, dass
an diesem Ort
zu dieser Zeit**

der Grenzwert eingehalten wird

Quelle:

Prof. Dr.-Ing. U. Bochtler
Hochschule Aschaffenburg