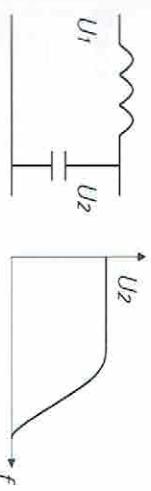


The figure consists of two parts. On the left, a circuit diagram shows a resistor R in series with an inductor L , followed by a capacitor C in parallel. The voltage U_1 is measured across the inductor, and the voltage U_2 is measured across the capacitor. On the right, a graph plots the voltage U_2 against frequency f . The curve is a low-pass filter response, starting at a maximum value and decreasing towards zero as frequency increases.

Bild 7-11: Der Tiefpass (links) und der zugehörige Frequenzgang



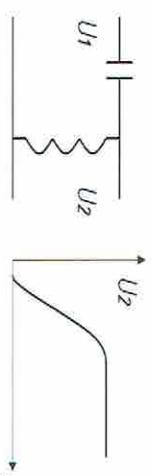
Tiefpass, Hochpass

Durch eine weitere Zusammenschaltung von Spule und Kondensator ergeben sich Schaltungen, die man *Tiefpass* oder *Hochpass* nennt. Schaltet man eine Spule in Reihe zum Signalweg und den Kondensator dahinter parallel zum Signal, erhält man einen Tiefpass (Bild 7-11). Die Tiefpasswirkung lässt folgendermaßen beschreiben.

Hat man eine zunächst niedrige Frequenz, stellt die Spule einen geringen induktiven Widerstand dar und der Kondensator hat einen großen kapazitiven Widerstand. Es entsteht ein Spannungsteiler, bei dem ein kleiner Widerstand oben in Serie und ein großer am Ausgang parallel geschaltet sind. Nur wenig Spannung geht verloren. Die Ausgangsspannung U_2 ist fast genau so groß wie die Eingangsspannung U_1 (siehe Bild 7-11 rechts).

Steigt die Frequenz, wird der induktive Widerstand größer und der kapazitive kleiner. Immer mehr Spannung geht verloren. Die hohen Frequenzen kommen also nicht so gut durch oder anders herum ausgedrückt: Die tiefen Frequenzen werden gut durchgelassen (sie können „passieren“ – durch gehen) – Tiefpass. Die Frequenz, bei der die Ausgangsspannung nur noch 70 Prozent so groß ist wie die Eingangsspannung, nennt man Grenzfrequenz.

Bild 7-12: Der Hochpass (links) und der zugehörige Frequenzgang



In der Schaltung Bild 7-12 ist gegenüber Bild 7-11 der Kondensator mit der Spulldrossel vertauscht. Haben wir eine tiefe Frequenz, stellt der Kondensator in Serie einen grossen Widerstand dar und die Spule einen geringen. Deshalb kommt wenig Spannung durch. Erst bei *hohen* Frequenzen lässt die Kondensator die Spannung "passieren" und die Spule schließt nicht mehr kurz. *Hochpass.*

Diese Schaltungen werden im Amateurfunk recht häufig angewendet, um beispielsweise den Kurzwellenbereich zu sperren und den UKW- und Fernsehbereich durchzulassen, wenn durch Sender elektromagnetische Unverträglichkeiten beim Radio- oder Fernsehempfang auftreten.

Auch hier gilt: Ausführlicher wird dieses Kapitel „Tiefpass, Hochpass“ im Amateurfunklehrgang für die Klasse A behandelt.

Eselbrücke: Kondensator ...
... oben (hoch): Hochpass,
... unten (tief): Tiefpass

Kopf hoch!

Dies war die letzte Lektion des trockenen Stoffes der elektrotechnischen Grundlagen! Machen Sie weiter mit der viel interessanteren Hochfrequenztechnik, Elektronik, Sender- und Empfängertechnik.

Lektion 8: Elektromagnetisches Feld

Übersicht

- Das elektrische Feld
 - Das magnetische Feld
 - Erzeugung elektromagnetischer Wellen
 - Polarisation
 - Wellenlänge

Mit Hilfe der Funktechnik sollen Informationen drahtlos übertragen werden. Zum Aufbau einer solchen Funkstrecke wird auf der einen Seite ein Sender benötigt, der mit der zu übertragenden Nachricht moduliert wird, und auf der anderen Seite ein Empfänger, der die Nachricht verarbeiten kann.

Durch die Erzeugung und die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ist es möglich, diese Nachricht über große Entfernungen drahtlos zu übertragen. Dies ist die eigentliche Funktechnik.

Dazu wird zunächst gezeigt, wie statische (unveränderliche) elektrische und magnetische Felder erzeugt werden und wie man sie durch Linien darstellt. In Wirklichkeit sind es natürlich keine Linien sondern Felder, die wie die Luft überall vorhanden sind, aber unterschiedliche Feldstärke haben.

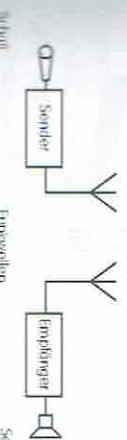


Abb. 8-1: Die Funkstrecke

Elektrisches Feld

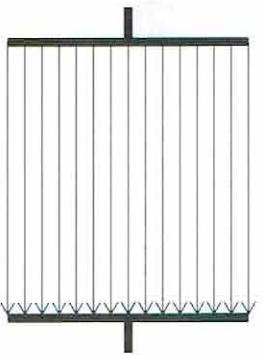


Bild 8-2: Elektrisches Feld zwischen zwei parallelen Platten

Wird an zwei voneinander isolierten Metallplatten eine Gleichspannung gelegt, entsteht im Raum zwischen den Platten ein elektrisches Feld. Wenn die Platten parallel zueinander sind, entsteht ein gleichmäßiges (homogenes) Feld, das durch parallele Linien dargestellt wird (Bild 8-2).

Prüfungsfrage TB302

Wie nennt man das Feld zwischen zwei parallelen Kondensatorplatten?

- A** Homogenes magnetisches Feld
- B** Homogenes elektrisches Feld
- C** Polarisiertes magnetisches Feld
- D** Polarisiertes elektrisches Feld

Die Stärke des elektrischen Feldes ist umso größer, je höher die Spannung U zwischen den Platten und je kleiner der Abstand ist.

$$\text{Elektrische Feldstärke } E = \frac{U}{d} \text{ in } \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Prüfungsaufgabe TB301

Welche Einheit wird für die elektrische Feldstärke verwendet?

- A** Watt pro Quadratmeter (W/m^2)
- B** Ampere pro Meter (A/m)
- C** Henry pro Meter (H/m)
- D** Volt pro Meter (V/m)

Magnetisches Feld



Bild 8-3: Magnetisches Feld im Innern einer Zylinderspule

Wenn durch den Draht einer Zylinderspule wie in Bild 8-3 Gleichstrom fließt, entsteht im Innern ein gleichmäßiges magnetisches Feld. Eine Kompassnadel wird zum Beispiel dadurch bewegt. Siehe auch Bild 6-1 und

Prüfungsfrage TB402!

Die magnetische Feldstärke zu berechnen, ist nicht ganz einfach. Deshalb wird hier im Lehrgang Klasse E keine Formel angegeben. Aber die Feldstärke wird mit der Stromstärke größer und mit der Länge der (geschlossenen) Feldlinie geringer. Die Einheit wird in Ampere pro Meter (A/m) angegeben.

Prüfungsfrage TB401

Welche Einheit wird für die magnetische Feldstärke verwendet?

Ein einzelner Strom durch flossener Leiter erzeugt übrigens ein ringförmiges Magnetfeld, wie es in Bild 8-4 dargestellt ist. Solch ein ringförmiges Magnetfeld entsteht in einem Antennendraht, wenn man einen Hochfrequenzstrom hindurchschickt.

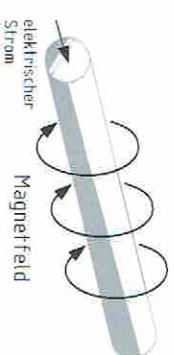


Bild 8-4: Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

Elektromagnetisches Feld

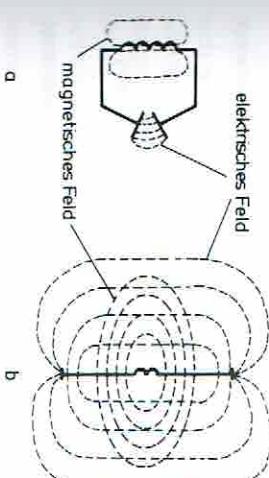


Bild 8-5: Die Antenne als offener Schwingkreis

Werden die Kondensatorplatten eines Schwingkreises auseinander gezogen, so verlaufen die elektrischen Feldlinien nicht nur innerhalb des Kondensators von einer Platte zur anderen, sondern sie gehen weit durch den Raum (Bild 8-5 a). Zieht man noch die Spule auseinander, erhält man eine Dipolantenne (Bild 8-5 b). Die elektrischen Feldlinien verlaufen nun von der einen Seite des Drahtes zur anderen durch den Raum. Die magnetischen Feldlinien bilden geschlossene Kreise um den Draht.

Eine Antenne ist ein so genannter *offener Schwingkreis*. Wie bei einem Parallelenschwingkreis pendeln auch bei einem offenen Schwingkreis die elektrische Energie des Kondensators (elektrisches Feld) und die magnetische Energie der Spule (magnetisches Feld) immer hin und her. Die beiden Felder verlaufen nicht gleichphasig. Wenn das magnetische Feld stärker wird, nimmt das elektrische Feld ab und umgekehrt.

Eine Antenne wird vom Sender mit hochfrequenter Energie (Wechselspannung) gespeist. Zu einem bestimmten Zeitpunkt fließt beispielsweise maximaler Strom in der Antenne, die Spannung ist dann gerade Null (Bild 8-6a). Um die Antenne hat sich ein geschlossenes magnetisches Feld gebildet, das eine bestimmte Richtung hat (1).

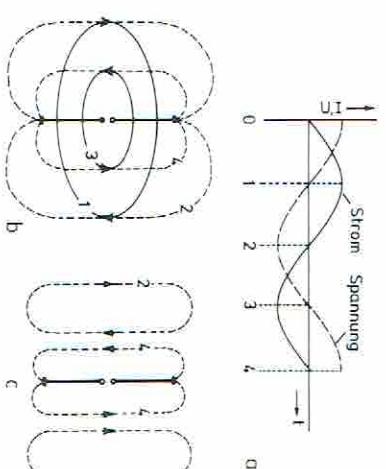


Bild 8-6: Zur Erklärung der Ablösung elektromagnetischer Wellen

Nun nimmt der Strom ab und die Spannung steigt bis zum Zeitpunkt 2. Jetzt ist nur ein elektrisches Feld vorhanden, das eine bestimmte Richtung hat. Auch diese elektrischen Feldlinien sind in sich geschlossen. Sie verlaufen durch den Draht der Antenne.

Da im Zeitpunkt 3 eine Spannung mit umgekehrter Polarität angelegt wird, die bis zum Zeitpunkt 4 ansteigt, müssen sich die vorher entstandenen elektrischen Feldlinien außerhalb der Antenne schließen (Bild c). Man kann sich den Abstrahlvorgang so vorstellen, als ob die jeweils vorigen Feldlinien von den folgenden weggedrückt und dann vor sich her geschoben werden. An der Empfangsantenne kommen dann Feldlinien mit wechselnd positiver und negativer Polarität vorbei und induzieren eine Wechselspannung. (Bild 8-7).

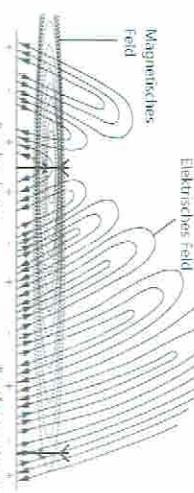


Bild 8-7: Ausbreitung der Funkwellen

Die Polarisierung

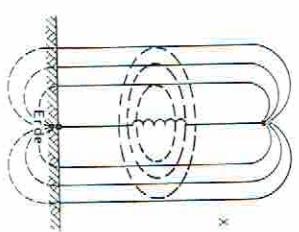
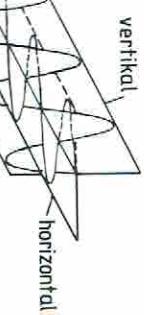


Bild 8-8: Elektromagnetisches Feld bei der Vertikalanntenne

Anstatt eine Dipolantenne zu verwenden, kann man auch die Hälfte einer solchen Antenne gegen Erde erlegen. Diese *Marco-pi-Antenne* steht dann senkrecht (vertikal). Auch die weiter hinten im Lehrgang behandelte *Groundplane-Antenne* (Lektion 11) hat ein solches elektromagnetisches Feld.

Bei der Wellenausbreitung spricht man von horizontaler und vertikaler *Polarisation*. Hierbei wird die Richtung des elektrischen Feldes (E-Feld) als Bezug genommen. Wenn die Sendeantenne senkrecht auf dem Erdboden steht, verlaufen die elektrischen Feldlinien (X in Bild 8-8) von oben nach unten (vertikal) und die magnetischen Feldlinien (H-Feld) kreisförmig um die Sendeantenne herum parallel zum Erdboden (horizontal). Bearbeiten Sie die **Prüfungsfragen TB303 und TB404!**



Prüfungsfragen
Bearbeiten Sie die Fragen **TB404**, sowie **TB501 bis TB505**.

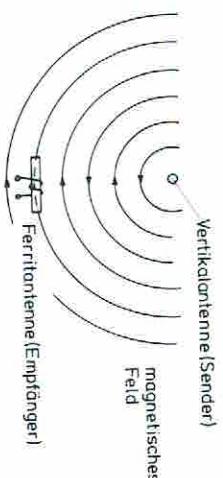


Bild 8-10: Magnetisches Feld einer Vertikalanntenne (Draufsicht)

Die kreisförmigen Linien im Bild 8-8 sind die magnetischen Feldlinien und die von oben nach unten verlaufenden Feldlinien sind die elektrischen Feldlinien. Eine solche

senkrecht nach oben zeigende Antenne heißt Vertikalanntenne. Man sagt: Diese Antenne hat eine vertikale Polarisation.

Das magnetische Feld verläuft rechtwinklig zum elektrischen Feld, hier also waagerecht. Um die magnetischen Feldlinien zu empfangen, kann man eine Ferritantenne verwenden. Eine Ferritantenne ist ein zylindrisches Stück „Eisen“ (Ferritmateriale), auf das eine Spule gewickelt ist.

Eine Ferritantenne muss bei vertikaler Polarisation aber waagerecht angeordnet sein, so dass die horizontal verlaufenden magnetischen Feldlinien die Spule maximal durchsetzen, um die höchste Empfangsspannung zu liefern. Durch Drehung dieser Antenne kann man damit peilen. Wenn die Ferritantenne genau in Richtung Sendeantenne zeigt, gehen die Feldlinien quer durch den Ferristab und nicht mehr durch das Innere der Spule und die Empfangsspannung ist gering. Solch eine Antenne wird bei Peilwettbewerben im Amateurfunk verwendet.

$$\lambda [m] = \frac{c}{f [Hz]} \quad \text{mit } c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Allgemein gilt $c = f \cdot \lambda$

In Wortsprache ausgedrückt: Frequenz mal Wellenlänge ist konstant. Die Konstante ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle. Man kann diese Formel auch in Dreiecksform schreiben, um sie leichter umstellen zu können.

Die Wellenlänge

Die elektromagnetischen Wellen breiten sich mit einer Geschwindigkeit wie der des Lichtes aus. Im Freien beträgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit 300 000 km pro Sekunde. In Kabeln ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit 200 000 bis 280 000 km pro Sekunde zwar etwas niedriger, aber immer noch unvorstellbar hoch. Um dennoch eine kleine Vorstellung zu geben: In einer Sekunde würden sich die elektromagnetischen Wellen mehr als siebenmal um die Erde bewegen beziehungsweise läuft die Strecke Erde - Mond zurücklegen.

Wenn eine Welle eine Frequenz hätte von 1 Hertz (1 Schwingung pro Sekunde), wäre der Anfang dieser einen Welle bereits 300 000 km entfernt, wenn das Ende gerade abgestrahlt wird. Diese Entfernung bezeichnet man als Wellenlänge λ (gesprochen: lambda). Sie beträgt bei ein Hertz also 300 000 km im freien Raum. Nimmt man nun eine um eine Million höhere Frequenz, nämlich ein Megahertz, so ist der Anfang erst ein Millionstel so weit entfernt. Die Wellenlänge beträgt also 300 000 km geteilt durch 1 Million, also 0,3 km oder 300 m.

Bei 1 MHz beträgt die Wellenlänge 300 m. Bei 10 MHz wären es dann 30 m oder bei 100 MHz noch 3 m.

Als Formel (Siehe Anhang 31) schreibt man

$$\lambda [m] = \frac{c}{f [MHz]} \quad \text{oder} \quad f [MHz] = \frac{300}{\lambda [m]}$$

Prüfungsaufgabe TB604
Eine Wellenlänge von 2,06 m entspricht einer Frequenz von ...

$$f \cdot \lambda$$

Prüfungsaufgabe TB602
Welcher Wellenlänge λ entspricht die Frequenz 1,84 MHz?

Lösung:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,84 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 163 \text{ m}$$

Für einen Funkamateuer ist folgende zugeschnittene Formel recht praktisch.

$$\lambda [m] = \frac{300}{f [MHz]}$$

Für unser Beispiel teilt man einfach 300 durch 1,84 und erhält 163 (Meter).

Bearbeiten Sie die Prüfungsfragen TB201, TB601 und TB603.

Ist die Wellenlänge bekannt, lässt sich durch Umstellung der Formel die dazugehörige Frequenz berechnen.

$$f [MHz] = \frac{300}{\lambda [m]}$$

$$f \cdot \lambda$$

Sie wissen sicher noch vom URI-Dreieck: Man hält die gesuchte Größe zu und sieht das Ergebnis. Zum Beispiel: Es wird Lambdas gesucht. Man hält Lambda zu und sieht c Bruchstrich f, also c geteilt durch f.

Band	Frequenzbereich
160 m	1,810 ... 2.000 MHz
80 m	3,500 ... 3,800 MHz
40 m	7,000 ... 7,200 MHz
30 m	10,100 ... 10,150 MHz
20 m	14,000 ... 14,350 MHz
17 m	18,068 ... 18,168 MHz
15 m	21,000 ... 21,450 MHz
12 m	24,890 ... 24,990 MHz
10 m	28,000 ... 29,700 MHz
6 m	50,080 ... 51,000 MHz
4 m	70 MHz *)
2 m	144 ... 146 MHz (VHF)
70 cm	430 ... 440 MHz (UHF)
23 cm	1240 ... 1300 MHz
3 cm	10.0 ... 10.5 GHz (SHF)

12 m	24,890 ... 24,990 MHz
10 m	28,000 ... 29,700 MHz
6 m	50,080 ... 51,000 MHz
4 m	70 MHz *)
2 m	144 ... 146 MHz (VHF)
70 cm	430 ... 440 MHz (UHF)
23 cm	1240 ... 1300 MHz
3 cm	10.0 ... 10.5 GHz (SHF)

Tabelle 8-1: der Amateurfunk-Frequenzbereiche

Bearbeiten Sie die Prüfungsfragen TB608 und TB609!

Die in der Tabelle 8-1 hellgrau unterlegten Bereiche sind die *klassischen* Kurzwellenbänder. Die KW-Bänder 30 m, 17 m und 12 m heißen *WARC-Bänder*, weil diese 1979 durch die WARC (World Administrative Radio Conference), einer Sonderorganisation der Vereinten Nationen (ITU), eingeschrieben wurden.

Das 6-m-Band nimmt eine Sonderstellung ein. Früher gab es Sondergenehmigungen.

Seit 2006 ist es für Klasse-A-Inhaber mit Einschränkungen frei. Die fett gedruckten Bereiche sind die für Klasse E zugelassenen Bänder.

*) Ab 2. Juli 2014 wurde von der BNetzA ein Teil des 70-MHz-Bandes auch für deutsche Funkamateure der Klasse A freigegeben. Näheres dazu finden Sie auf den Seiten des DARC.de.

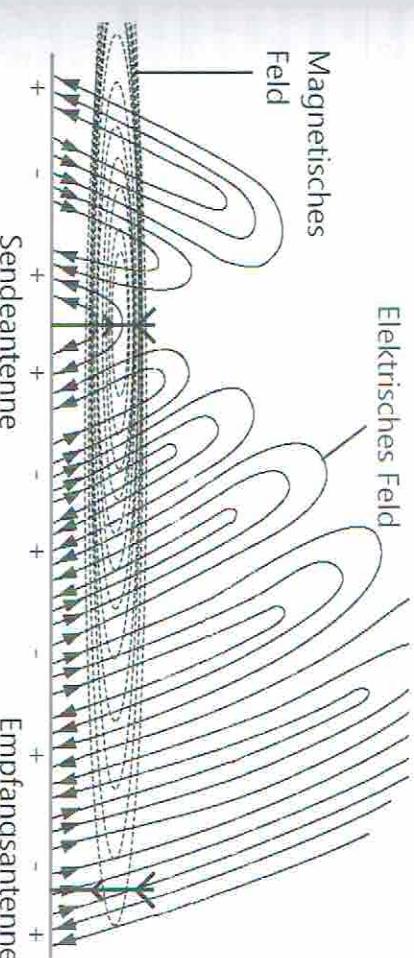


Tabelle 8-2: Wellenbereiche (fett gedruckt: Bereiche auch für den Amateurfunk)

Frequenzabschnitt	Wellenbereich	Abk.	engl. Bedeutung
3 - 30 kHz	Myriameter	VLF	very low frequency
30 - 300 kHz	Kilometer	LF	low frequency
300 - 3000 kHz	Hektometer	MF	medium frequency
3 - 30 MHz	Dekameter	HF	high frequency
30 - 300 MHz	Meter	VHF	very high frequency
300 - 3000 MHz	Dezimeter	UHF	ultra high frequency
3 - 300 GHz	Zentimeter	SHF	super high frequency
30 - 3000 GHz	Millimeter	EHF	extremely high frequency
	Dezimillimeter		

Übersicht

- Kurzwellenausbreitung
- Ionosphäre
- Sonnenflecken
- Reichweite der Raumwellen
- D-Schicht
- Fading
- F-Schicht und E-Schicht
- Tote Zone
- Reichweite auf Kurzwelle
- UKW-Wellenausbreitung

Funkamateure senden im Kurzwellenbereich und im Ultrakurzwellenbereich. Die Wellenausbreitung auf Kurzwelle unterscheidet sich grundsätzlich von der auf Ultrakurzwelle.

Der Vorteil der Kurzwellen ist also die große Reichweite. Der Nachteil ist aber die dafür notwendigen großen Abmessungen der Kurzwellenantennen. Im UKW-Bereich kann man wegen der geringen Baugröße Gewinn bringende Antennen verwenden. Viele Funkamateure finden den Weitfunkverkehr auf UKW interessanter, weil dort sehr weite Verbindungen nicht alltäglich sind und deshalb diese bei besonderen Ausbreitungsbedingungen auftretenden Überreichweiten zu regelrechten Glücksmomenten gezählt werden können.

(Eigene) Notizen:

Kurzwellenband entspricht der Wellenlänge

HF = Kurzwelle

VHF = Ultrakurzwelle

Lektion 9: Die Wellenausbreitung