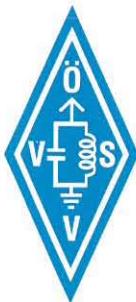


# AMATEURFUNK FUNKTECHNIK

Dipl.-Ing. Herbert Koblmiller (OE3KJN)

Offiziell empfohlene Prüfungsvorbereitung des Österreichischen Versuchssenderverbands ÖVSV



**ÖVSV**

ÖSTERREICHISCHER VERSUCHSSENDERVERBAND



## Impressum

Herausgeber: Österreichischer Versuchssenderverband (ÖVSV)

Verlag: omnинum KG, 2540 Bad Vöslau

Grafik/Satz: florianschiller.at; Stefan Schmutterer; Michael Lenhart; Christian Bendl; Klaudia Rauscher

Herstellung: Druckerei Seitz

© 2014 Österreichischer Versuchssenderverband

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet die Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie.

Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-99031-001-4

[www.oevsv.at](http://www.oevsv.at)

2. Ausgabe, September 2014

# INHALTSVERZEICHNIS

. Vorwort	7
. Konventionen in dieser Prüfungsvorbereitung	7
. Sieben Lerntipps	7
. Grundregeln im Funkverkehr	8
. Der Ehrenkodex eines guten Funkamateurs ( <i>ham spirit</i> )	8
1. Ohm'sches und Kirchhoff'sches Gesetz	9
2. Leiter, Halbleiter und Nichtleiter	11
3. Kondensator, Begriff Kapazität, Einheiten – Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung	12
4. Spule und Induktivität (Einheiten, Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung)	14
5. Wärmeverhalten elektrischer Bauelemente	17
6. Stromquellen (Kenngrößen)	17
7. Sinus- und nicht-sinusförmige Signale	19
8. Skin-Effekt	20
9. Gleich- und Wechselspannung und ihre Kenngrößen	21
10. Permeabilität	22
11. Serien- und Parallelschaltung von Widerstand (R), Spule (L) und Kondensator (C)	23
12. Dielektrikum	24
13. Wirk-, Blind- und Scheinleistung bei Wechselstrom	24
14. Elektrischer Widerstand (Begriff; Schein-, Wirk-, Blindwiderstand; Leitwert)	25
15. Berechnung des induktiven Blindwiderstands einer Spule	28
16. Berechnung des kapazitiven Blindwiderstands eines Kondensators	28
17. Prinzip und Anwendung von Transformatoren	28
18. Der Resonanzschwingkreis und seine Kenngrößen	30
19. Anwendung eines Resonanzschwingkreises in der Funktechnik	31
20. Berechnung der Resonanzfrequenz eines Schwingkreises (Resonanzkreises)	32
21. Aufbau, Verwendung und Wirkungsweise von Filtern	33
22. Was sind Halbleiter?	33
23. Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung von Dioden	35
24. Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung von Transistoren	37
25. Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung von Elektronenröhren	40
26. Arten und Wirkungsweise von Gleichrichterschaltungen	41
27. Stabilisatorschaltungen	42
28. Aufbau und Dimensionierung von Hochspannungsnetzteilen (Schutzmaßnahmen)	42
29. Arten und Wirkungsweise von digitalen Bauteilen	43
30. Elektronische Gatter und ihre Wirkungsweise	45
31. Messung von Spannung und Strom am Beispiel eines vorgegebenen Stromkreises	46
32. Erklären Sie die prinzipielle Wirkungsweise eines Grid-Dipmeters	46
33. Erklären Sie die Funktion eines HF-Wattmeters	48
34. Erklären Sie die Funktionsweise eines Oszillosografen (Oszilloskop)	49
35. Erklären Sie die Funktionsweise eines Spektrumanalysators	50

36. Erklären Sie den Begriff Demodulation	51
37. Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines Überlagerungsempfängers	52
38. Was verstehen Sie unter Spiegelfrequenz und Zwischenfrequenz?	53
39. Erklären Sie die Kenngrößen eines Empfängers – Empfindlichkeit, intermodulationsfreier Bereich, Eigenrauschen	53
40. Erklären Sie den Begriff des Rauschens – Auswirkungen auf den Empfang	54
41. Mischer in Empfängern – Funktionsweise und mögliche technische Probleme	55
42. Nichtlineare Verzerrungen – Ursachen und Auswirkungen	57
43. Empfängerstörstrahlung – Ursachen und Auswirkungen	57
44. Arten und Wirkungsweise von Mikrofonen	58
45. Prinzip, Arten und Kenngrößen der Einseitenbandmodulation	59
46. Prinzip, Arten und Kenngrößen der Pulsmodulation	60
47. Erklären Sie die wichtigsten Anwendungen der digitalen Modulationsverfahren	61
48. Erklären Sie die Begriffe CRC und FEC	63
49. Prinzip und Kenngrößen der Frequenzmodulation	63
50. Prinzip und Kenngrößen der Amplitudenmodulation	64
51. Erklären Sie den Begriff Modulation (analoge und digitale Verfahren)	65
52. Oszillatoren – Grundprinzip, Arten	68
53. Erklären Sie den Begriff VCO	68
54. Erklären Sie den Begriff PLL	69
55. Erklären Sie den Begriff DSP ( <i>digital signal processing</i> )	71
56. Sampling, Anti-Aliasing-Filter und ADC/DAC	71
57. Merkmale, Komponenten, Baugruppen eines Senders	72
58. Zweck und Aufbau von Puffer- und Vervielfacherstufen	73
59. Aufbau einer Senderendstufe und Wirkung einer Leistungsauskopplung	74
60. Anpassung eines Senderausgangs an eine symmetrische oder unsymmetrische Antennenspeiseleitung	74
61. Wirkungsweise, Beispiele und Skizze eines Antennentuners	75
62. Aufbau und Kenngrößen von Antennenzuleitungen	76
63. Begriff, Aufbau, Verwendung und Wirkungsweise eines Baluns	77
64. Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Dipolen	77
65. Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Vertikalantennen	79
66. Gekoppelte Antennen – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften	80
67. Strahlungsdiagramme von Antennen	81
68. Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Yagi-Antennen	83
69. Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Breitbandantennen	85
70. Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Parabolantennen	86
71. Wellenwiderstand	87
72. Ursachen und Auswirkungen von Steh- und Wanderwellen	88
73. Strahlungsfeld und Gefahren von Antennen	88
74. Aufbau und Kenngrößen eines Koaxialkabels	89
75. Erklären Sie den Begriff Dezibel am Beispiel der Anwendung in der Antennentechnik	89
76. Richtantennen und ihre Anwendungsmöglichkeiten	90

77. Kenngrößen von Antennen und ihre Messung	91
78. Dimensionieren Sie einen Halbwellendipol	92
79. Bestimmung der effektiven Strahlungsleistung 1	93
80. Bestimmung der effektiven Strahlungsleistung 2	94
81. Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Langdrahtantennen	94
82. Zweck und Dimensionierung von Radials und Erdnetzen bei Vertikalantennen	95
83. Blitzschutz bei Antennenanlagen	96
84. Sicherheitsabstände bei Antennen	96
85. Elektromagnetisches Feld und seine Kenngrößen	97
86. Elektrisches/magnetisches Feld und Abschirmmaßnahmen	98
87. EMV und ihre Bedeutung im Amateurfunk	98
88. Die EMVU und ihre Bedeutung im Amateurfunk	99
89. Aufbau und Wirkung von Traps	100
90. Der Hohlraumresonator und seine Anwendung	100
91. Funkentstörmaßnahmen im Bereich Stromversorgung der Amateurfunkstelle	101
92. Funkentstörmaßnahmen bei Beeinflussung durch hochfrequente Ströme und Felder	101
93. Was sind Tastklicks, wie werden sie vermieden?	103
94. Unerwünschte Aussendungen, Außerbandaussendungen und Nebenaussendungen (spurious emissions)	104
95. Splatter und ihre Ursachen und Auswirkungen	104
96. Schädliche Störungen	105
97. Aufbau von Relais- und einer Bakenfunkstellen	105
98. Definieren Sie den Begriff Sendeleistung	106
99. Definieren Sie den Begriff Spitzenleistung	107
100. Definieren Sie den Begriff belegte Bandbreite	108
101. Interferenz in elektronischen Anlagen, ihre Ursachen und Gegenmaßnahmen	108
102. Blocking und Intermodulation	109
103. Gefahren für Personen durch elektrischen Strom	109
104. Sicherheitsmaßnahmen beim Betrieb von Hochspannung führenden Geräten	110
105. Gefahren durch Gewitter für die Funkstation und das Bedienpersonal und Vorbeugemaßnahmen	110
.	
. Nennen Sie die wichtigsten Eigenschaften von Ohm'schen Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten	111
.	
. Prinzipieller Aufbau eines Kommunikationssystems	113
.	
. Prinzipieller Aufbau eines Empfängers	114
.	
. Grundausstattung einer Amateurfunkstelle für Sprechfunk (Komponenten)	114
.	
. Grundausstattung einer Amateurfunkstelle für Packet Radio (PR)	114
.	
. Grundausstattung einer Amateurfunkstelle für ATV-Betrieb	115
.	
. Was versteht man unter dem Squelch – Wozu dient er?	115
.	
. Was versteht man unter „Dopplershift“?	116
.	
. Komponenten einer Amateurfunkstation für Satellitenfunk	116
.	
. Was versteht man unter Freiraumausbreitung?	117
.	
. Welche Einflüsse haben Hindernisse auf die UKW-Ausbreitung?	117



# VORWORT

**Funkamateure und Amateurfunker sind nicht das Gleiche: Ein Funkamateur hat die amtliche Prüfung abgelegt, ein Amateurfunker funkt eventuell ohne Lizenz.**

Funkamateure bilden eine weltweite Gemeinschaft, unterstützen sich gegenseitig und üben nicht nur gemeinsam ein Hobby aus, dessen Fangemeinde sich um den ganzen Globus erstreckt, sondern sind legitimierte Teilnehmer am internationalen Amateurfunkdienst. Wenn Sie sich mit dieser Lernunterlage auf die Prüfung vorbereiten, haben Sie eine gute Entscheidung getroffen! Was jetzt in Ihren Händen liegt, wurde für angehende Funkamateure entwickelt. Die vorliegende Prüfungsvorbereitung orientiert sich am amtlichen österreichischen Fragenkatalog und jenen Fakten, nach denen Prüfer gerne fragen. Viele erfahrene Ausbildner haben ihre Erfahrungen in dieses Skriptum einfließen lassen. Wenn Sie sich mit dem Stoff auseinandersetzen, wird Ihnen die Prüfung keine Schwierigkeiten bereiten.

## Konventionen in dieser Prüfungsvorbereitung

Diese Lernunterlage ist nicht nach Kapiteln, sondern nach den amtlichen Prüfungsfragen aufgebaut. So kommen Sie so rasch wie möglich ans Ziel! Wo angebracht, wurden die Fragen stilistisch aufgepeppt. Inhaltlich entsprechen sie zur Gänze dem behördlichen Fragenkatalog – es liest ohnehin kein Prüfer die Fragen vom Blatt.

**Englische Fachbegriffe** sind im Allgemeinen klein und kursiv geschrieben (z. B. *man made noise*), außer sie sind Teil des allgemeinen deutschen Sprachgebrauchs (z. B. Receiver).

**Funkverkehr**, ob in Phonie oder in Morsezeichen, ist in der Regel *kursiv* gesetzt. Das gilt nicht für allgemeine Erläuterungen von Codes.

Zur besseren Orientierung wurden wichtige **Schlüsselwörter** hervorgehoben.

Wer nur die **Lizenzkasse 3** anstrebt, muss nur Teile dieses Lehrgangs beherrschen. Der Prüfungsstoff für Klasse 3 ist **entsprechend hervorgehoben**.

## Sieben Lerntipps

1. Lernen Sie auf jeden Fall den allerersten Absatz jedes Kapitels, aber belassen Sie es nicht dabei.
2. Wer beim Lernen alle Sinne aktiviert, macht schneller Fortschritte. Verschlingen Sie nicht einfach Informationen – stellen Sie sich den Stoff bildlich vor, gehen Sie die Sachverhalte in Gedanken Schritt für Schritt durch, bewegen Sie sich dabei, vielleicht kommen Ihnen dabei auch Gerüche, Töne oder ein Geschmack in den Sinn. Zeichnen Sie das Gelernte nach, z. B. als Mindmap.
3. Lernen Sie nicht alles auf einmal. Nehmen Sie sich lieber kleinere Lerneinheiten vor, nehmen Sie dafür diese Unterlage öfter zur Hand.
4. Wenn Ihnen ein Sachverhalt schwerfällt, überspringen Sie ihn einfach. Lernen Sie stattdessen andere Prüfungsfragen und kehren Sie später zum anspruchsvollerem Stoff zurück. Oft klären sich die Fragen dann von allein.
5. Nähern Sie sich dem Stoff von allen Seiten. Blättern Sie gelegentlich durch den Index im Anhang. Lesen Sie das Skriptum auch „quer“ oder von hinten nach vorne.
6. Zwingen Sie sich nicht zum Lernen, wenn Sie nicht fit sind. In diesem Zustand würden Sie sich ohnehin nichts merken. Pausieren Sie stattdessen und kehren Sie später zum Stoff zurück.
7. Suchen Sie sich einen Buddy und stellen Sie sich wechselseitig Prüfungsfragen.

## Grundregeln im Funkverkehr

- Erst hören, dann senden!
- Störe die Sendung eines anderen nicht!
- Keine Sendung ohne Rufzeichen!

## Der Ehrenkodex eines guten Funkamateurs (*ham spirit*)

Der gute Funkamateur ist primär an der Erforschung der Wellenausbreitung und an Experimenten mit drahtloser Technik interessiert. Dabei spielt Politik, Religion, Nationalität oder gesellschaftlicher Stand keine Rolle. Über diese weltanschaulichen Themen wird auf den Amateurfunkfrequenzen auch nicht gesprochen.

Wichtig ist das gemeinsame verbindende Interesse an der Funktechnik. Auch bei Wettbewerben sollten immer Fairness und Höflichkeit gegenüber anderen Funkpartnern vorherrschen und nur eine Aussendung stattfinden, wenn sicher niemand gestört wird.

Der gute Funkamateur hört zuerst ausreichend lange auf einer Frequenz zu, bevor er sendet. Er verwendet nur so viel Leistung wie unbedingt nötig und hält sein Signal so schmalbandig wie möglich. Die Gesprächsform soll besonders höflich sein, da es über Sprachbarrieren hinweg leicht zu Missverständnissen kommen könnte.

Dabei ist es selbstverständlich, anderen Funkamateuren auf einen CQ-Ruf zu antworten und bei Versuchen und beim Antennenbau zu helfen. Die eigene Funkstation wird auf dem letzten technischen Stand gehalten und Funkfreundschaften münden oft in persönliche Treffen und Gastfreundschaft auch gegenüber ausländischen Funkamateuren.

Die QSL-Karte ist dabei eine verlässlich zugeschickte Visitenkarte, die ebenfalls frei von politisch unkorrekten oder gar anstößigen Inhalten (Bildern) bleibt, da sie die Brücke zu anderen Kulturen und Weltanschauungen bildet und den Empfänger nicht in Schwierigkeiten bringen soll.

Eine Mitgliedschaft im nationalen Amateurfunkverband und damit in der IARU (International Amateur Radio Union) als Interessensvertretung der Anliegen des Amateurfunkdienstes ist anzustreben, bildet sie doch die Basis für die Durchsetzung und den Erhalt unserer Privilegien und Frequenzansprüche.

Und jetzt alles Gute und viel Erfolg bei der bevorstehenden Amateurfunkprüfung!

Ing. Michael Zwingl, Präsident des ÖVSV (OE3MZC)

# DIE PRÜFUNGSFRAGEN ZUR FUNKTECHNIK

## Ohm'sches und Kirchhoff'sches Gesetz

1

Schließt man an eine Spannungsquelle (z.B. Batterie) einen elektrischen Verbraucher wie eine Lampe oder einen elektrischen Widerstand an, so beginnt durch den Verbraucher Strom zu fließen. Die elektrische Energie wird in Licht bzw. Wärme umgewandelt: Die Lampe leuchtet, der Widerstand erwärmt sich.

**Spannung** ist der Potenzialunterschied zwischen zwei Polen (= Unterschied zwischen dem Elektronenüberschuss des einen Pols und dem Elektronenmangel des anderen Pols). Strom kann erst fließen, wenn zwischen diesen Polen eine leitfähige Verbindung hergestellt ist. Formelzeichen U, Maßeinheit Volt (V).

**Strom** ist die Bewegung freier Elektronen in einem elektrischen Leiter. Je mehr freie Elektronen zu einem Zeitpunkt in dieselbe Richtung fließen, umso höher ist die Stromstärke. Formelzeichen I, Maßeinheit Ampere (A).

Elektrischer **Widerstand** ist die Eigenschaft eines Stoffes, den elektrischen Strom mehr oder weniger gut zu leiten. Formelzeichen R, Maßeinheit Ohm ( $\Omega$ ). Ein Metall, das Strom gut leitet, hat einen kleinen elektrischen Widerstand oder umgekehrt: Ein Isolator, der keinen Strom durchlässt, hat einen sehr hohen Widerstand.

Der Widerstand ist somit umgekehrt proportional zum **Leitwert**. Formelzeichen G, Maßeinheit Siemens (S).



Abbildung 1: Schaltsymbol

## KLASSE 3 und 4

### Ohm'sches Gesetz

Das Ohmsche Gesetz lautet  $U = I \times R$

$$\left( I = \frac{U}{R} \right) \quad \text{bzw.} \quad \left( R = \frac{U}{I} \right)$$

und gibt den Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und elektrischem Widerstand an. Wenn Strom fließt, dann fällt am Widerstand eine Spannung ab – Strom und Spannung sind in Phase.

## WISSEN-KOMPAKT !



Der italienische Physiker Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Graf von Volta (1745 – 1827) gilt als Erfinder der Batterie, die er unter anderem auch Napoleon vorführte. Seit 1897 ist die Maßeinheit für elektrische Spannung nach ihm benannt. In den Kürzeln V und U (früher wie V geschrieben) ist Volta verewigt.

## Beispiel

Ein Widerstand von  $3\Omega$  wird an eine Batterie mit einer Spannung von 12V angeschlossen.

Welcher Strom fließt?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12V}{3\Omega} = 4A$$

## Beispiel

Welchen Widerstand hat ein Lämpchen mit der Aufschrift 6 V und 0,3 A?

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6V}{0,3A} = 20\Omega$$

Merkdreieck Ohm'sches Gesetz URI:

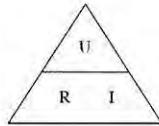
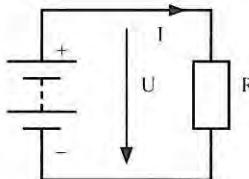


Abbildung 2: Ohm'scher Widerstand im Stromkreis

## Erstes Kirchhoff'sches Gesetz

Das 1. Kirchhoff'sche Gesetz lautet: Die Summe aller Ströme in einem Knoten ist null. Oder: Bei der Parallelschaltung ist der Gesamtstrom gleich der Summe der Teilströme.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

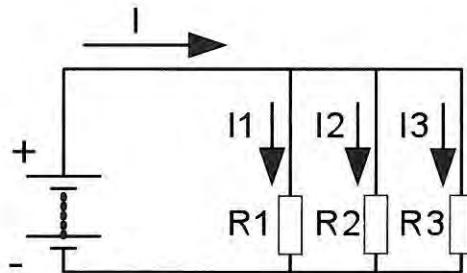


Abbildung 3: Parallelschaltung

Der Gesamtwiderstand ist somit  $\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$

Eine praktische Anwendung kommt in jeder Hausinstallation vor, wenn jede Steckdose die gleiche Spannung hat.

Beispiel:  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 20\Omega$ ,  $R_3 = 40\Omega$ .

$$\frac{1}{R_{Ges}} = \frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{40\Omega} = \frac{4}{40\Omega} + \frac{2}{40\Omega} + \frac{1}{40\Omega} = \frac{7}{40\Omega}$$

$$R_{Ges} = \frac{40\Omega}{7} = 5,71\Omega$$

## Zweites Kirchhoff'sches Gesetz

Das 2. Kirchhoff'sche Gesetz lautet:

Die Summe aller Spannungen in einem Umlauf (Masche) ist null. Oder: Bei der Reihenschaltung ist die Gesamtspannung gleich der Summe der Teilspannungen.

$$U_{Ges} = U_1 + U_2 + U_3 \dots$$

Der Gesamtwiderstand ist somit:

$$R_{Ges} = R_1 + R_2 + R_3 \dots$$

Eine praktische Anwendung sind Spannungsteiler, wenn eine LED an 12 V betrieben werden soll.

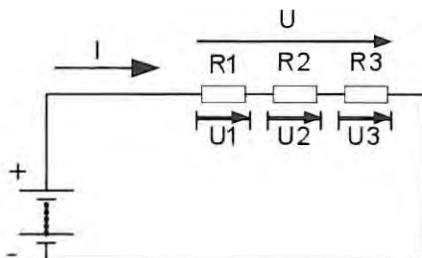


Abbildung 4: Zweites Kirchhoff'sches Gesetz, Reihenschaltung

### Zusammenfassung

- Das Ohm'sche Gesetz lautet:  $U = I \times R$
- Bei der Parallelschaltung ist der Gesamtstrom die Summe der Einzelströme (1. Kirchhoff'sches Gesetz).
- Bei der Reihenschaltung ist die Gesamtspannung gleich die Summe der Einzelspannungen (2. Kirchhoff'sches Gesetz).

## Leiter, Halbleiter und Nichtleiter

2

**Leiter** sind Materialien, die den elektrischen Strom sehr gut leiten, z.B. alle Metalle, Kohlen, Säuren. Damit elektrischer Strom fließen kann, müssen sogenannte freie Ladungsträger zwischen den Atomen vorhanden sein. Die Leitfähigkeit eines Stoffes oder Stoffgemisches hängt von der Verfügbarkeit dieser beweglichen Ladungsträger ab. Dies können locker gebundene Elektronen wie beispielsweise in Metallen, aber auch Ionen in organischen Molekülen sein. Sehr gute Leiter sind (in der Reihenfolge abnehmender Leitfähigkeit) Silber, Kupfer, Aluminium, Gold und Messing.

**Halbleiter** sind Materialien, die ihre Leitfähigkeit aufgrund physikalischer (Druck, Temperatur, Licht etc.) oder elektrischer Einflüsse verändern können, z. B. Silizium und Germanium. Siehe Frage 22.

**Nichtleiter** sind Materialien, die den elektrischen Strom sehr schlecht leiten (Isolatoren). Gute Isolatoren sind Glas, Keramik, Kunststoff, Pertinax, Glasfaser-Harz, Teflon, Gummi und trockenes Holz.

Die **elektrische Leitfähigkeit** (Konduktivität) ist eine physikalische Größe, die die Fähigkeit eines Stoffes angibt, elektrischen Strom zu leiten. Das Formelzeichen der elektrischen Leitfähigkeit ist  $\sigma$  (Sigma).

Eine besondere Form der Leiter sind die **Supraleiter** (viele Metalle, verschiedene Legierungen, einige wenige Keramiken). Bei diesen sinkt unterhalb einer materialabhängigen Sprungtemperatur der elektrische Widerstand auf einen unmessbar kleinen Wert und die elektrische Leitfähigkeit wird quasi unendlich.

**KLASSE  
3 und 4**

!

Wird ein Leiter mit geringem Widerstand zwischen die Anschlüsse einer Spannungsquelle geschaltet, so fließt ein sehr großer Strom. Man spricht dann von Kurzschluss.

**Beispiel:** Wenn ein Schraubenschlüssel auf beide Kontakte einer Autobatterie fällt.

## Zusammenfassung

- Leiter sind Materialien, die den elektrischen Strom sehr gut leiten (alle Metalle, Kohle, Säuren).
- Halbleiter sind Materialien, die ihre Leitfähigkeit aufgrund physikalischer (Druck, Temperatur, Licht etc.) oder elektrischer Einflüsse verändern können (Silizium, Germanium).
- Nichtleiter sind Materialien, die den elektrischen Strom sehr schlecht leiten (Isolatoren). Gute Isolatoren sind Glas, Keramik, Kunststoff, Pertinax, Glasfaser-Harz, Teflon, Gummi und trockenes Holz.

## 3

### Kondensator, Begriff Kapazität, Einheiten – Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung

Ein Kondensator ist ein Ladungsspeicher und besteht aus zwei elektrisch leitenden Materialien, die voneinander durch einen Isolator getrennt sind.

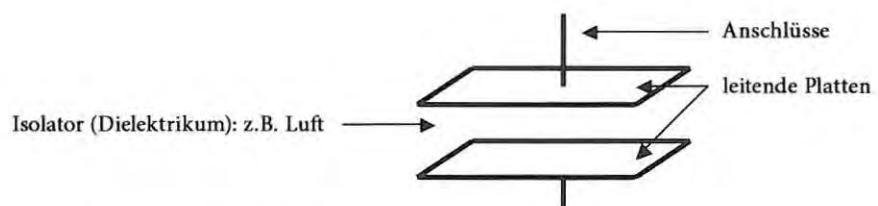


Abbildung 5: Kondensator

#### WISSEN-KOMPAKT !

- Formelzeichen C
- Maßeinheit F (Farad)
- Kleinere Einheiten:  
Mikrofarad,  
Nanofarad,  
Picofarad  
 $0,000001 \text{ F} = 1 \mu\text{F}$   
 $= 1000 \text{ nF} = 1\,000\,000 \text{ pF}$

$$\begin{array}{c} \toprule \\ \midrule \end{array} \quad C$$

Bei **Gleichspannung** verhält sich ein Kondensator wie ein Speicher. Es fließt ein Strom, der den Kondensator auf einer Seite positiv und auf der anderen Seite negativ auflädt. Es entsteht dann eine Differenzspannung zwischen diesen Platten. Wenn der Kondensator auf die Gleichspannung aufgeladen ist, fließt kein Strom mehr. Später kann die Ladung wieder an einen Verbraucher abgegeben werden.

Die Energie ist im elektrischen Feld zwischen den beiden Platten gespeichert. Wie viel an Ladung der Kondensator aufnehmen kann, hängt von seiner Kapazität C ab. Je größer die gegenüberliegenden Flächen und je näher diese Flächen sind, umso größer ist die Kapazität.

An **Wechselspannung** kommt es durch die dauernde Umladung, bedingt durch die Polaritätswechsel, zu einem Stromfluss durch den Kondensator, der mit steigender Frequenz zunimmt.

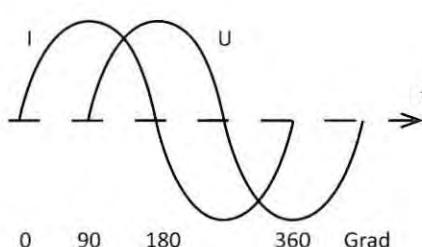
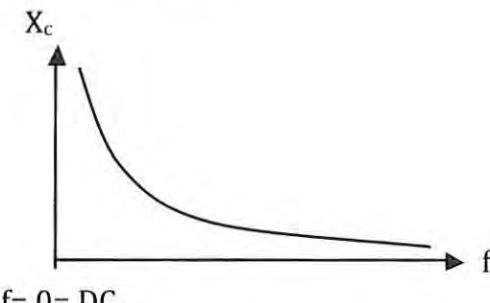


Abbildung 6: Sinussignal

Bei Sinussignalen entsteht eine 90° Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung (Strom vor Spannung).

Da der Stromfluss nun nicht mehr in Phase (wegen  $90^\circ$  Phasenverschiebung) ist, spricht man nicht von einem Wirkwiderstand  $R$ , sondern vom Blindwiderstand  $X$ .

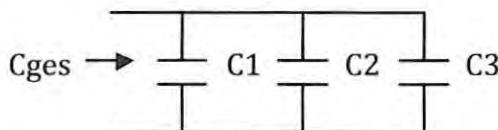
$$X_c = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$$



$$f = 0 = DC$$

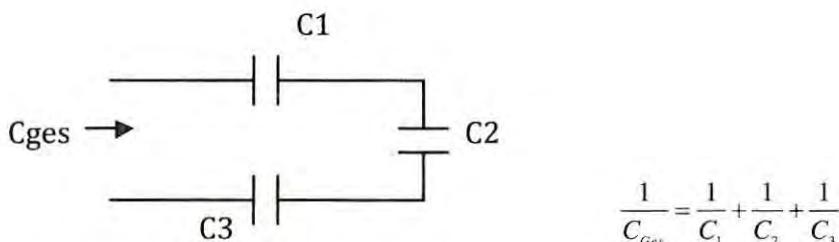
Abbildung 7: Blindwiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz

**Kenngrößen:** Kapazität  $C$ , zulässige Betriebsspannung.



$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3$$

Abbildung 8: Parallelschaltung



$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Abbildung 9: Serienschaltung

### Elektrolyt Kondensator

Elektrolytkondensatoren sind gepolte Bauteile, die nur mit Gleichspannung betrieben werden dürfen. Eine überlagerte Wechselspannung darf keine Umpolung bewirken.

Hauptvorteil von Elektrolytkondensatoren ist die – bezogen auf das Bauvolumen – relativ hohe Kapazität im Vergleich zu den anderen Kondensatortypen.

Die Anode im Elektrolytkondensator ist eine aufgerautete Aluminiumfolie, deren Oberfläche deutlich größer als die einer glatten Oberfläche. Diese Oberflächenvergrößerung ist ein Grund für die hohe Kapazität.

### Bauformen:

- keramischer Kondensator (aufgedampftes Dielektrikum aus Keramik, z. B. für Hochfrequenzanwendungen)
- Glimmer-Kondensator
- Styroflex-Kondensator
- Folien-Kondensator
- Elektrolyt-Kondensator
- Veränderbare Kondensatoren (Drehkondensator, Trimmer)

### WISSEN-KOMPAKT !

Bei **parallel geschalteten** Kondensatoren ist die Gesamtkapazität größer als der größte Einzelkondensator.

Bei **Reihenschaltung** ist die Gesamtkapazität kleiner als der kleinste Einzelkondensator.



### Zusammenfassung:

- Bei Gleichspannung verhält sich der Kondensator wie ein Speicher, d. h., er lädt sich auf und kann später die Ladung an einen Verbraucher abgeben.
- An Wechselspannung kommt es durch die dauernde Umladung aufgrund des Polaritätswechsels zu einem Stromfluss durch den Kondensator.
- Je höher die Frequenz, umso größer der Strom. Der Blindwiderstand nimmt mit steigender Frequenz ab.



Abbildung 10: Keramische Kondensatoren (Quelle: Elcap, Jens Both)



Abbildung 11: Glimmerkondensatoren (Quelle: Mataresephotos)



Abbildung 12: SMD-Folienkondensator; Elektrolyt-Kondensator  
(Quellen: Elcap, Jens Both; Wiltron)

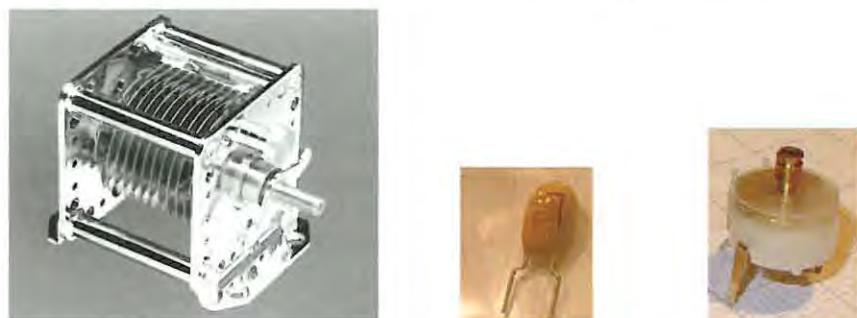


Abbildung 13: Drehkondensator; Tantal-Kondensator;  
Trimmkondensator (Quellen: Elcap, Jens Both)

## 4

### Spule und Induktivität (Einheiten, Verhalten bei Gleich- und Wechselspannung)

Eine **Spule** besteht aus einer oder mehreren Windungen eines Leiters, die auch auf einem magnetisch aktiven Kern aufgebracht werden können. Die Eigenschaft der Spule wird als Induktivität bezeichnet.

Bei **Gleichspannung** baut der fließende Strom durch die Spule ein Magnetfeld um die Spule auf. Die Spule hat die Energie im Magnetfeld gespeichert. Es entstehen Nord- und Südpol.

An **Wechselspannung** kommt es durch die dauernde Ummagnetisierung (bedingt durch die Polaritätswechsel) zu einem Stromfluss durch die Spule,

der mit steigender Frequenz abnimmt. Das bedeutet, dass der Blindwiderstand  $X_L$  (siehe unten) mit steigender Frequenz zunimmt.

**Induktivität** bedeutet, dass ein stromdurchflossener Leiter oder Bauteil aufgrund der Änderung des elektrischen Stroms ein Magnetfeld aufbaut, das der Stromänderung entgegenwirkt. Siehe auch Frage 85.

Wie stark das **Magnetfeld** ist, das eine Spule aufbauen kann, hängt von seiner Induktivität ab. Bei Wechselspannung wird durch die Ummagnetisierung ein Strom erzeugt, der dem äußeren Strom entgegenwirkt. Dadurch entsteht eine  $90^\circ$  Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung (Spannung vor Strom).

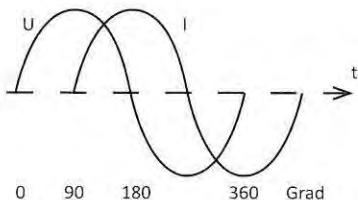


Abbildung 14:  $90^\circ$  Phasenverschiebung

Da der Stromfluss (wegen  $90^\circ$  Phasenverschiebung) nicht mehr in Phase ist, spricht man wie beim Kondensator nicht von einem Wirkwiderstand  $R$ , sondern vom **Blindwiderstand  $X$** .

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

f in Hz, L in Henry

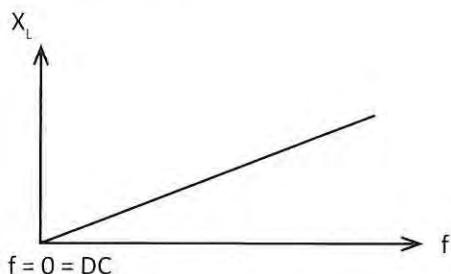


Abbildung 15: Blindwiderstand in Abhängigkeit von Frequenz



Abbildung 16: Formelzeichen L; Schaltsymbol

## WISSEN-KOMPAKT !



**Joseph Henry** (1797–1878) entdeckte das Phänomen der Induktivität. Ein von ihm gebauter Elektromagnet konnte fast über 1000 t tragen. Henry erfand auch das elektronelementische Relais.

Nach ihm benannt:  
**Einheit** Henry (H) bzw. Millihenry, Mikrohenry, Nanohenry.

$$1 \text{ H} = 1000 \text{ mH} = 1,000,000 \mu\text{H}$$

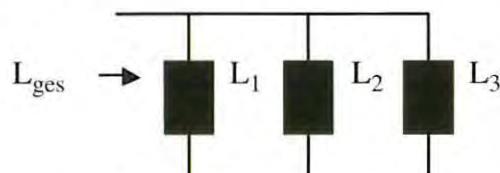
# WISSEN-KOMPAKT



Bei parallel geschalteten Spulen ist die Gesamtinduktivität kleiner als die kleinste Einzelinduktivität.

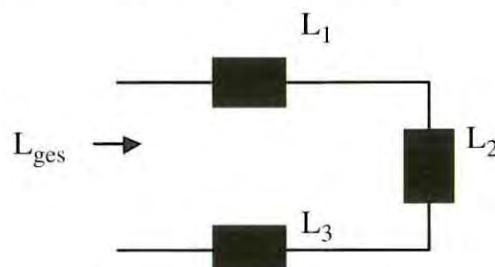
Bei **Serienschaltung** (Reihenschaltung) ist die Gesamtinduktivität größer als die größte Einzelinduktivität.

**Kennzahlen:** Induktivität L, Strombelastbarkeit, Güte (Verluste durch ohmschen Widerstand und Kapazitäten zwischen den Windungen).



$$\frac{1}{L_{ges}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Abbildung 17: Parallelschaltung



$$L_{ges} = L_1 + L_2 + L_3$$

Abbildung 18: Serienschaltung

## Bauformen:

- Luftspule (geringere Verluste, kleinere Induktivitäten)
- Spulen mit Kernmaterialien (größere Induktivitäten; durch Verschieben des Kerns lässt sich die Induktivität verändern, aber der Frequenzbereich ist eingeschränkt)
- Transformatoren (siehe Frage 17)



Abbildung 19: Luftspule; Spule; Spule mit Kernmaterialien: Feritantenne (Quelle: Ulf Seifert)



Abbildung 20: Ringkerntransformator

## Zusammenfassung

- Einheit Henry, H (kleinere Einheiten: Millihenry, Mikrohenry, Nanohenry).
- Bei Gleichspannung baut die Spule ein Magnetfeld auf (mit Nord- und Südpol). An Wechselspannung kommt es durch die dauernde Ummagnetisierung (durch Polaritätswechsel) zu einem Stromfluss durch die Spule, der mit steigender Frequenz abnimmt.
- Das bedeutet, dass der Blindwiderstand  $X_L$  mit steigender Frequenz zunimmt.

## Wärmeverhalten elektrischer Bauelemente

Alle Metalle und die meisten guten Leiter erhöhen mit steigender Temperatur ihren Widerstand. Man spricht vom positiven Temperaturkoeffizient (PTC). Viele Halbleiter verringern mit steigender Temperatur ihren Widerstand (negativer Temperaturkoeffizient NTC). Diese Effekte lassen sich in vielen Anwendungen nützen.

**PTC:** Eine elektrische Glühlampe ist im ausgeschalteten Zustand kalt und damit gut leitfähig. Im Augenblick des Einschaltens fließt zunächst ein hoher Einschaltstrom, der bis zu zehnmal größer sein kann als der spätere Betriebsstrom. Dadurch wird die Glühwendel erhitzt, sie erhöht ihren Widerstand und der Strom sinkt auf das Normalniveau.

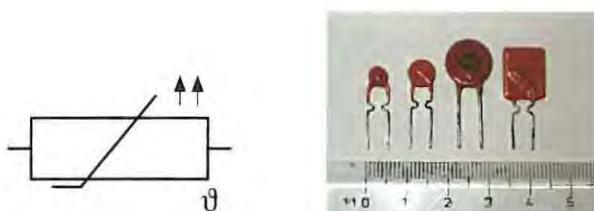


Abbildung 21: Schaltzeichen; PTC-Widerstand

**NTC:** Die meisten Halbleiter verringern mit steigender Temperatur ihren Widerstand. Eine praktische Anwendung der Temperaturabhängigkeit ist die Messung der Temperatur mit Hilfe einer stromdurchflossenen Diode. Ihr Durchgangswiderstand reagiert sehr empfindlich auf kleine Temperaturänderungen.

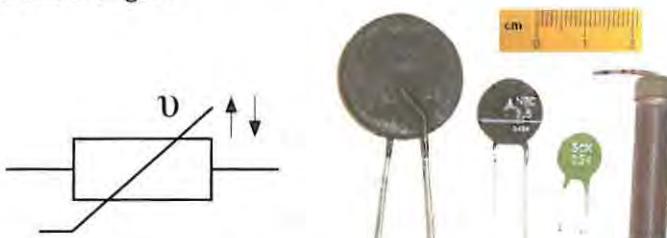


Abbildung 22: Schaltzeichen; NTC-Widerstände (Quelle: Ulfbastel)

## Stromquellen (Kenngrößen)

Bei den Stromquellen kann zwischen Primär- und Sekundärzellen unterschieden werden.

Jedes Element besitzt eine typische **Spannung** gegenüber Wasserstoff. Die Spannung an den Anschlüssen der Zelle hängt von den verwendeten Elementen ab. Zink hat eine Spannung von  $-0,76\text{ V}$  und Kohle hat eine Spannung von  $+0,74\text{ V}$ . Werden Zink und Kohle in eine Kalilauge eingebettet, so entsteht die Zink-Kohle-Zelle mit  $1,5\text{ V}$  an den äußeren Anschlüssen. Zink als das unedlere Element löst sich unter Abgabe von Elektronen auf und bildet den Minuspol. Wenn das Zink aufgebraucht ist, dann ist die Zelle „leer“.

Werden mehrere Zellen zur Erhöhung der Spannung in Reihe geschaltet, so spricht man von einer Batterie. Weitere Elemente für Primärzellen sind: Quecksilber, Lithium, Silber.

Beim **Laden** wird die elektrische Energie in chemische Energie umgesetzt. Bei einer Elektrode wird z. B. Bleisulfat in Bleioxid umgewandelt. Beim Entladen passiert dieser Prozess unter Abgabe von Elektronen in umgekehrter Richtung. Theoretisch wäre dieser Lade- und Entladevorgang beliebig oft machbar.

Der Nachteil von Bleiakkumulatoren ist ihr großes Gewicht. Trotzdem werden sie als Starterbatterie in Fahrzeugen, Notstromversorgung in Spitäler oder EDV-Anlagen eingesetzt. Bei neueren Entwicklungen von Akkumulatoren hat die Energiedichte pro Gewicht großen Stellenwert. Die Akkus sollen leichter werden.

Für Sekundär- und Primärzelle gilt: Der Innenwiderstand der Zelle ist ausschlaggebend dafür, wie groß der maximale Strom werden kann.

## KLASSE 3 und 4 !

Als **Primärzellen** werden elektrochemische Energiespeicher bezeichnet, die nach Abgabe ihrer Energie nicht mehr aufgeladen werden können. Solche Zellen bestehen aus zwei unterschiedlichen chemischen Elementen (auch Elektroden genannt, z. B. Zink und Kohle), die in einem leitfähigen Elektrolyt eingebettet sind. Ein Elektrolyt ist ein (flüssiger) Stoff, der bei Spannung aufgrund des dabei entstehenden elektrischen Feldes elektrischen Strom leitet.

**Sekundärzellen** (Akkumulatoren, von *accumulare* = sammeln/aufhäufen) sind elektrochemische Energiespeicher, die geladen werden müssen, bevor Strom entnommen werden kann. Weit verbreitet ist der Bleiakku. Beide Elektroden bestehen aus Blei, Schwefelsäure dient als Elektrolyt.

Welche Ladung der Akkumulator aufnehmen kann, hängt von seiner **Kapazität** ab. Diese wird in Amperestunden (Ah) angegeben. Die typische Spannung des Bleiakkumulators ist ca. 2 V. Weitere Elemente für Akkumulatoren sind: Nickel-Cadmium (1,2 V), Nickel-Metallhydrid (1,2 V) Lithium-Ionen (3,6 V).

## VORSICHT !

Ausgediente Batterien müssen unbedingt entsorgt werden, da im Inneren giftige Substanzen enthalten sind.

Gleichspannung liefern auch Photovoltaikzellen, Peltier-Elemente und der Piezzo-Effekt bei Kristallen.

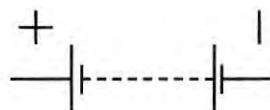


Abbildung 23: Schaltsymbol für Primär- und Sekundärbatterie. Die strichlierte Linie deutet die Serienschaltung mehrerer Zellen an.

## Zusammenfassung

- Primärzellen sind elektrochemische Energiespeicher, die nach Abgabe ihrer Energie nicht mehr aufgeladen werden können. Sekundärzellen (Akkumulatoren) können fast beliebig oft geladen und entladen werden.
- Zwischen den Elektroden befindet sich ein leitfähiger Elektrolyt. Die Spannung der Zellen hängt von den verwendeten Elementen der Elektroden ab. Für Sekundär- und Primärzelle gilt, dass der Innenwiderstand der Zelle ausschlaggebend dafür ist, wie groß der maximale Strom werden kann.
- Beim Akkumulator wird die gespeicherte Ladungsmenge in Ampèrestunden (Ah) angegeben.

**KLASSE  
3 und 4**



Die Kenngrößen von Gleichstromquellen sind:

- Spannung an ihren beiden Anschlüssen
- Strombelastbarkeit
- Gespeicherte Ladungsmenge in Ah

## Sinus- und nicht-sinusförmige Signale

**7**

Elektromagnetische Wellen sind Signale, die sich aus Sinus- oder Cosinus-Kurven zusammensetzen. Sinusförmige Signale haben einen Amplitudenverlauf, der exakt einer mathematischen Sinusfunktion entspricht.

Diese sinusförmige Form der Signale ist völlig frei von anderen Frequenzen. Das zeigt die Darstellung der Sinuskurve auf der Zeit- und Frequenzachse.

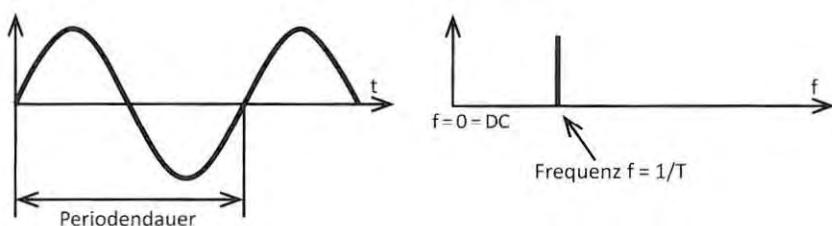


Abbildung 24: Sinuskurve auf der Zeitachse; Sinuskurve auf der Frequenzachse

**Dreiecksignal, Sägezahnsignal, Rechtecksignal und Trapezsignal** sind nicht sinusförmig. Alle diese Signalformen setzen sich aus mehreren Sinus-Schwingungen zusammen und haben daher einen erheblichen Anteil an Oberwellen (= vielfache Frequenzen der Grundwelle).

**WISSEN-  
KOMPAKT**



**André-Marie Ampère** (1775–1836) erkannte fließende Elektrizität als Ursache für Magnetismus. Der Franzose erklärte den Begriff der elektrischen Spannung und des elektrischen Stroms und er setzte die Stromrichtung fest. Ampère erfand das Prinzip der elektrischen Telegrafie und gilt als Begründer der Elektrodynamik. 1832 erfuhr **Henry Morse** auf einer Schiffsreise von Europa nach Amerika von Ampères Experimenten und entwickelte in der Folge seinen Morse-Telegrafen und das Morse-Alphabet.

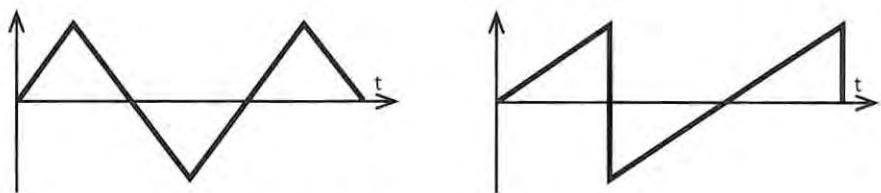


Abbildung 25: Dreiecksignal; Sägezahnsignal

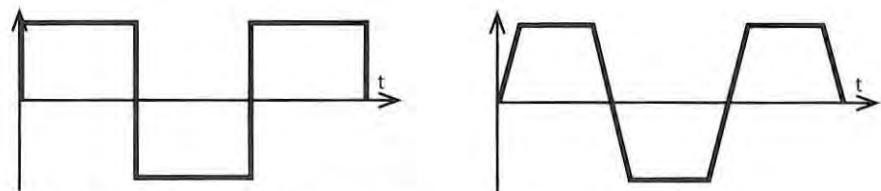


Abbildung 26: Rechtecksignal; Trapezsignal

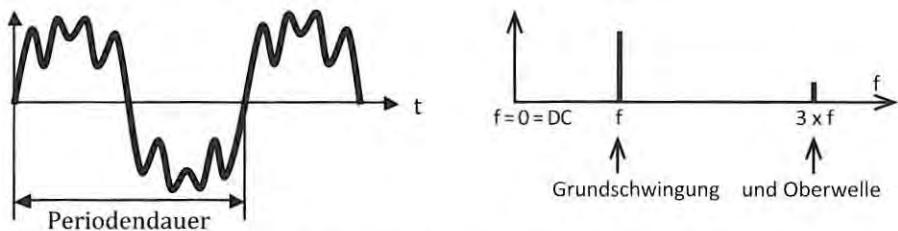


Abbildung 27: Sinus mit Oberwellen in Zeitdarstellung;  
Sinus mit Oberwelle in Frequenzdarstellung

### Zusammenfassung

- Sinusförmige Signale haben einen Amplitudenverlauf, der exakt einer mathematischen Sinusfunktion entspricht.
- Nicht-sinusförmige Signale setzen sich aus mehreren Sinus-Schwingungen zusammen und haben daher einen erheblichen Anteil an Oberwellen (= vielfache Frequenzen der Grundwelle), z. B. Dreiecksignal, Sägezahnsignal, Rechtecksignal, Trapezsignal.
- Kenngrößen von Signalen sind Scheitelspannung, Kurvenform und Frequenz (1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde, 1 kHz = 1000 Hz, 1 MHz = 1.000.000 Hz, 1 GHz = 1.000.000.000 Hz).

## 8

### Skin-Effekt

Jeder Leiter stellt eine Induktivität dar, d. h., durch Änderung des elektrischen Stroms wird ein Magnetfeld aufgebaut, das dieser Stromänderung entgegenwirkt. Bei höheren Frequenzen wird der Stromfluss durch die Gegeninduktion immer mehr aus der Mitte des Leiters zum Rand hin abgedrängt. Strom fließt praktisch nur mehr auf der Außenhaut des Leiters (*skin*).

**Abhilfe:** Verwendung mehrerer dünner Drähte (Litzen), um die Oberfläche zu vergrößern, dickere Drähte, Rohre oder Versilbern des Kupferdrahtes.

**Skindicke:** 9,38 mm bei 50 Hz, 0,66 mm bei 10 kHz, 70 µm bei 1 MHz (2 x Cu-Beschichtung auf Leiterplatten), 21 µm bei 10 MHz, 7 µm bei 100MHz.

## Gleich- und Wechselspannung und ihre Kenngrößen

In der Elektrotechnik wird in Gleichspannung (*direct current, DC*) und Wechselspannung (*alternating current, AC*) unterschieden. Bei Gleichspannung ist die Amplitude zu jeder Zeit gleich groß. Beispiele für Gleichspannungsquellen sind Batterien, Akkus oder Solarzellen.

### Gleichspannung

Die Spannung ist konstant, die Polarität verändert sich nicht.

**Kenngrößen** sind die Spannung, Strombelastbarkeit der Quelle und Kapazität in Ah (bei Primär- oder Sekundärbatterien).

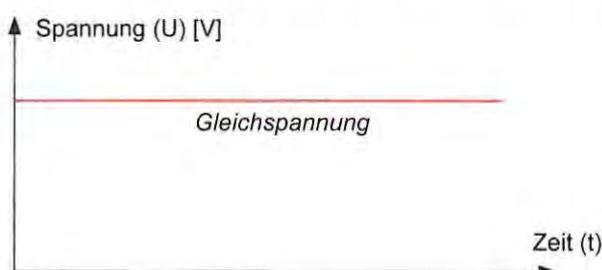


Abbildung 28: Gleichspannung

### Wechselspannung

Bei Wechselspannung ändert sich die Polarität der Spannung. Das bekannteste Beispiel ist die 230 Volt-Wechselspannung aus der Steckdose.

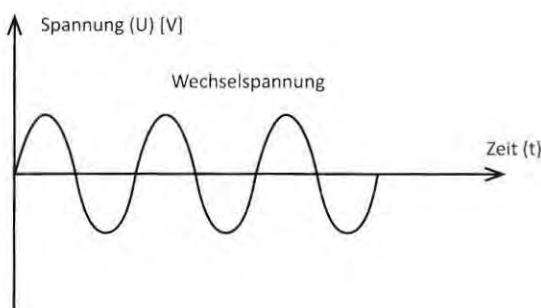


Abbildung 29: Wechselspannung

### Nachfolgend die gängigen Kenngrößen

Als **Spitzen- oder Scheitelwert** bezeichnet man den größten Betrag der Augenblickswerte eines Wechselsignals. Bei sinusförmigen Wechselsignalen wird der Scheitelwert als Amplitude bezeichnet.

Der **Spitze-Spitze-Wert** gibt die Höhe der Auslenkung vom niedrigsten Wert bis zum höchsten Wert. Bei symmetrischen Wechselgrößen entspricht der Spitze-Spitze-Wert dem doppelten Maximalwert.

# VORSICHT !

Gefahrengrenze: International werden Spannungen über 50 V (Effektivwert) als gefährlich eingestuft, da bereits bei diesen Spannungen gefährliche Ströme durch den Körper fließen können. Deshalb muss unbedingt verhindert werden, dass Personen in einen elektrischen Stromkreis geraten können.

Unter dem **Effektivwert** (*root mean square, RMS*) versteht man den quadratischen Mittelwert eines zeitlich veränderlichen Signals. Zu einer Wechselgröße (Wechselstrom, Wechselspannung) gibt der Effektivwert denjenigen Wert einer Gleichgröße an, die an einem ohmschen Verbraucher in einer vorgegebenen Zeit dieselbe Leistung umsetzt. Der Effektivwert hängt sowohl vom Scheitelwert (Amplitude) als auch von der Kurvenform ab.

**Periodendauer:** ist jene Zeit bis sich die Periode von neuem wiederholt.

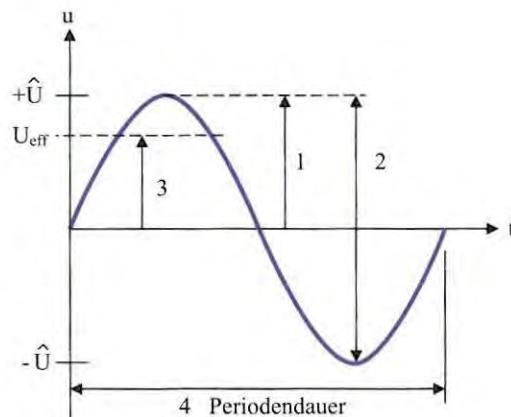


Abbildung 30: Periodendauer

Weitere wichtige Kenngrößen des Wechselstroms sind die **Spannung** (Amplitude), **Frequenz** (Schwingungen pro Sekunde), **Kurvenform** (Sinus, Dreieck, Rechteck) und **Strombelastbarkeit** der Quelle.

## 10

### Permeabilität

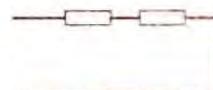
Ist ein Eisenkern in eine Spule eingebracht, erhöht dies die Induktivität der Spule. Die Permeabilität gibt ein Maß für die Erhöhung der Induktivität an. Dieser Wert ist materialabhängig. Man bezeichnet diese Eigenschaft des Materials auch als *ferro-magnetisch*.

Formelzeichen:  $\mu$ .

Als Verhältnis ist die Permeabilität dimensionslos, es gibt also keine Einheiten (Luft 1, Al 250, Ni 600, Fe 5000,  $\mu$ -Metall 100.000).

## Serien- und Parallelschaltung von Widerstand (R), Spule (L) und Kondensator (C)

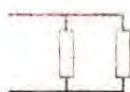
Bei Serienschaltung von Widerständen oder Induktivitäten ...



... ist der Gesamtwiderstand (Gesamtinduktivität) größer als die größte Einzelwiderstand (Einzelinduktivität).

$$L_{\text{ges}} = L_1 + L_2 + \dots$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots$$



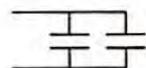
Bei parallel geschalteten Widerständen oder Induktivitäten ...



... ist der Gesamtwiderstand (Gesamtinduktivität) kleiner als der kleinste Einzelwiderstand (Einzelinduktivität)

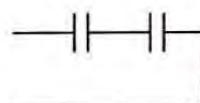
$$\frac{1}{L_{\text{ges}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$



Bei parallel geschalteten Kondensatoren ist die Gesamtkapazität größer als der größte Einzelkondensator.

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + \dots$$



Bei Serienschaltung von Kondensatoren ist die Gesamtkapazität kleiner als der kleinste Einzelkondensator.

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

### Zusammenfassung

- R in Serie erhöht den Gesamtwiderstand, R parallel erniedrigt den Gesamtwiderstand.
- L in Serie erhöht die Gesamtinduktivität, L parallel erniedrigt die Gesamtinduktivität.
- C in Serie erniedrigt die Gesamtkapazität, C parallel erhöht die Gesamtkapazität.

## Dielektrikum

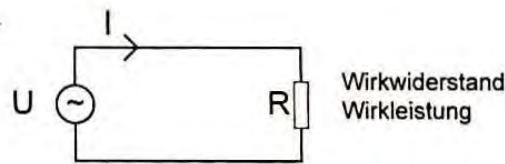
Das Dielektrikum ist die isolierende Schicht zwischen den beiden Platten eines Kondensators, z. B. Keramik, Kunststoff, Teflon und Aluminiumoxid.

Die **Dielektrizitätskonstante** ist eine Materialkonstante, die angibt, um wie viel höher die Kapazität gegenüber Luft ist, wenn dieses Material zwischen den Kondensatorplatten angeordnet wird. Luft 1, Aluminiumoxid 7, Papier 1–4, Teflon 2, Tantalpentoxid 27 (!), reines Wasser 80.

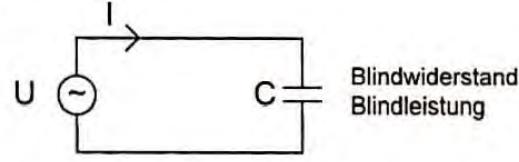
## Wirk-, Blind- und Scheinleistung bei Wechselstrom

**Wirkleistung** ergibt sich, wenn im Stromkreis nur rein ohmsche Verbraucher vorhanden sind. **Blindleistung** ergibt sich, wenn nur rein kapazitive oder induktive Blindwiderstände im Stromkreis vorhanden sind. **Scheinleistung** tritt auf, wenn im Stromkreis sowohl ohm'sche als auch kapazitive oder induktive Widerstände vorkommen.

**Wirkleistung ( $P_W$ )** nur an ohmschen Widerstand ( $P=UxI$ ). Maßeinheit Watt (W).



**Blindleistung ( $P_B$ )** nur an Kapazitiven od. induktiven Blindwiderstand. Maßeinheit Volt-Ampere-reakтив (VAr).



**Scheinleistung (S)** nur bei Parallel- oder Serienschaltung von Wirk- und Blindwiderständen (Impedanz). Maßeinheit Volt-Ampere (VA).

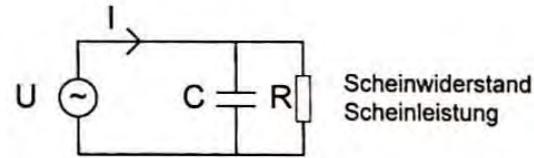


Abbildung 31: Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung



Abbildung 32: Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung; Zeigerdiagramm (Bild: Len Rizzi)

## Elektrischer Widerstand (Begriff; Schein-, Wirk-, Blindwiderstand; Leitwert)

14

Der elektrische Widerstand gibt an, welche Spannung erforderlich ist, damit ein bestimmter Strom durch einen elektrischen Leiter fließen kann. Formelzeichen  $R$ , Maßeinheit Ohm ( $\Omega$ ).

Ohm'sche Widerstände bewirken keine Phasenverschiebung (**Wirkwiderstand**). Kondensatoren und Induktivitäten bewirken eine Phasenverschiebung zwischen Strom- und Spannungsverlauf um 90 Grad (**Blindwiderstand**).

Schaltungen mit Widerstand-Kondensator- oder Widerstand-Spule-Kombinationen (RC bzw. RL) ergeben eine Phasenverschiebung im Bereich von 0 bis 90 Grad. Der resultierende Gesamtwiderstand bei RC- oder RL-Kombinationen wird als **Scheinwiderstand** (Impedanz, Gesamtwiderstand) bezeichnet. Formelzeichen  $Z$ , Maßeinheit Ohm ( $\Omega$ ).

Der **Leitwert** ist der Kehrwert des ohmschen Widerstandes.

**WISSEN-KOMPAKT**

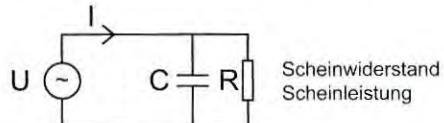
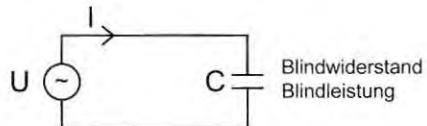
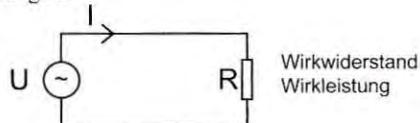


deutsche **Georg Simon Ohm** (1789–1854) verfasste zahlreiche Schriften zur Theorie des elektrischen Stroms.

Formelzeichen G, Maßeinheit Siemens (S).

$$G = \frac{1}{R}$$

Schaltungen:



Zeigerdiagramme:

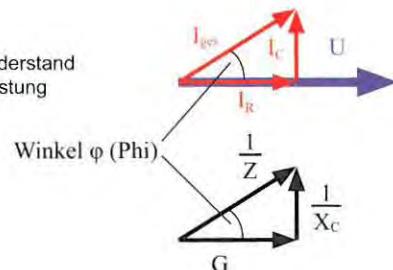


Abbildung 33: Widerstand

Der Scheinwiderstand im Beispiel oben ist:

$$Z = \frac{U}{I_{ges}} \quad \frac{1}{Z^2} = \frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}$$

Bei den Bauformen werden Festwiderstände (Kohleschichtwiderstand, Metallschichtwiderstand, Drahtwiderstand) und einstellbare Widerstände (Potentiometer, Trimmer) unterschieden.

**Physikalisch veränderbare Widerstände:** **LDR** (*light dependend resistor*, verändert den Widerstandswert in Abhängigkeit der Lichtstärke), **VDR** (*voltage dependend resistor*, verändert den Widerstandswert in Abhängigkeit von der Spannung), **NTC** (*negative temperature coefficient*, bei Temperaturanstieg sinkt der Widerstandswert) und **PTC** (*positive temperature coefficient*, bei Temperaturanstieg steigt der Widerstandswert).

## WISSEN-KOMPAKT !



Ernst Werner von Siemens

(1816–1892) entwickelte den Zeigertelegrafen und eine Maschine zum Isolieren von Drähten. Aus einer Werkstatt im Hinterhof (1847) wurde ein Weltkonzern.



Abbildung 34: Kohleschichtwiderstand; Dummy Load

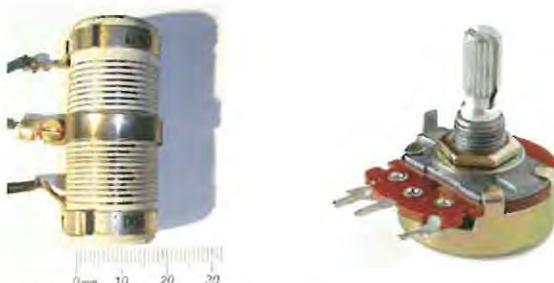


Abbildung 35: Drahtwiderstand; Potentiometer (Quelle: lainf)



Abbildung 36: LDR; VDR (Quelle: Michael Schmid)

### Zusammenfassung

- Ohmsche Widerstände bewirken keine Phasenverschiebung (Wirk-Widerstand). Kondensatoren und Induktivitäten bewirken eine Phasenverschiebung zwischen Strom- und Spannungsverlauf um 90 Grad (Blindwiderstand). Schaltungen mit RC- oder RL-Kombinationen ergeben eine Phasenverschiebung im Bereich von 0 bis 90 Grad.
- Der resultierende Gesamtwiderstand bei RC- oder RL-Kombinationen wird als Scheinwiderstand oder Impedanz bezeichnet. Formelzeichen  $Z$ , Maßeinheit Ohm ( $\Omega$ ).
- Der Leitwert ist der Kehrwert des ohmschen Widerstandes. Formelzeichen  $G$ , Maßeinheit Siemens ( $S$ ).

$$G = \frac{1}{R}$$

## 15

### Berechnung des induktiven Blindwiderstands einer Spule

Die vorgegebenen Werte variieren bei der Prüfung.

**Formel:**  $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$  wobei  $f$  in Hz,  $L$  in Henry.  $\pi$  ist ein Festwert (3,14).

**Beispiel:** 30  $\mu$ H bei 7 MHz.

**Lösung:**

$$X_L = 2 \times 3,14 \times f \times L = 6,28 \times 7.000.000 \times \frac{30}{1.000.000} = 1318,8 \text{ Ohm}$$

## 16

### Berechnung des kapazitiven Blindwiderstandes eines Kondensators

Die vorgegebenen Zahlen variieren bei der Prüfung.

**Formel:**  $X_C = \frac{1}{(2 \times \pi \times f \times C)}$  wobei  $f$  in Hz und  $C$  in F

**Beispiel:** Vorgabe 500 pF bei 10 MHz

**Anmerkung:**

1 pF (Pikofarad) =  $10^{-12} = 0,000.000.000.001$  F

1 MHz (Megahertz) =  $10^6 = 1.000.000$  Hz

$$\begin{aligned} X_C &= \frac{1}{(2 \times 3,14 \times f \times C)} = \\ &= \frac{1}{(2 \times 3,14 \times 10.000.000 \times \frac{500}{1.000.000.000.000})} = 31.84 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

## 17

### Prinzip und Anwendung von Transformatoren

Auf einem gemeinsamen Spulenkern befinden sich mindestens zwei Wicklungen. Die Wechselspannungen an den Wicklungen verhalten sich proportional zum Windungsverhältnis. Dieses Prinzip wird zur Auf- oder Abwärtstransformation in der Energieversorgungs-, NF- und HF-Technik angewandt. Transformatoren werden auch als Übertrager bezeichnet, wenn damit Signale übertragen werden.

**Übersetzungsverhältnis ü:**  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$

**Spannungsverhältnis**  $\frac{U_1}{U_2}$  entspricht dem Verhältnis der Windungsanzahl  
(Anzahl der Wicklungen)  $\frac{n_1}{n_2}$

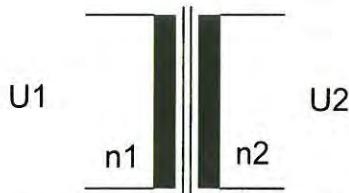


Abbildung 37: Schaltung

### Merke

- Eingangs- und Ausgangsspannung des Transfomers verhalten sich proportional zum Übersetzungsverhältnis.
- Eingangs- und Ausgangstrom verhalten sich umgekehrt proportional zum Übersetzungsverhältnis.
- Eingangs- und Ausgangsimpedanz werden im Quadrat des Übersetzungsverhältnisses transformiert. (Beispiel: Bei einer Eingangsimpedanz von 50 Ohm erreicht man mit einem Übersetzungsverhältnis von 2 eine Ausgangsimpedanz von 200 Ohm ( $50 \times 2^2 = 200$ )).

**Kenndaten von Transformatoren:** Primär- und Sekundärspannung, Windungszahlen  $n_1$  und  $n_2$ , maximal übertragbare Leistung, Übersetzungsverhältnis, Impedanz.

### Beispiel

Bei einer Eingangsspannung von 230V und einer gewünschten Ausgangsspannung von 12V benötigt man ein Windungsverhältnis von 230:12. Die eine Spule muss 230 Windungen aufweisen, die andere 12 (bzw. jeweils ein Vielfaches davon).

### Bauformen:



Abbildung 38: Übertrager (Quelle: Zátónyi Sándor, ifj.)



Abbildung 39: Hochspannungstransformator (Quelle: Smial); Balun

### KLASSE 3 und 4 !

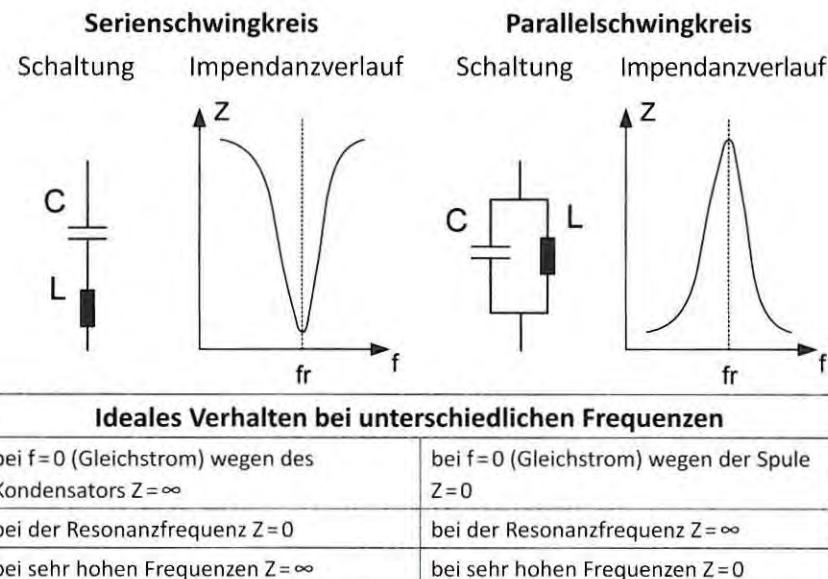
#### Anwendung:

Transformatoren werden verwendet, um Spannungen, Ströme oder Widerstände zu vergrößern oder zu verkleinern (= Transformation).

In der Funktechnik ist es besonders interessant, wenn Ausgangswiderstand (z. B. eines Verstärkers) gleich dem Anschlusswiderstand des angeschlossenen Koaxkabels ist. Man spricht dann von Leistungsanpassung (Siehe auch Frage 60 und Frage 61). Fehlanpassung tritt auf, wenn dies nicht der Fall ist.

## Der Resonanzschwingkreis und seine Kenngrößen

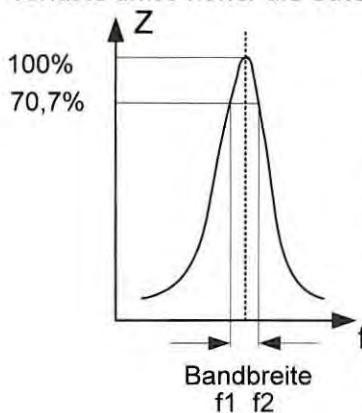
Ein Resonanzschwingkreis besteht aus Spule (L) und Kondensator (C). Kenngrößen sind Resonanzfrequenz, Güte und Bandbreite. Zwei Schaltungsvarianten sind möglich.



Die Resonanzfrequenz wird errechnet mit  $f_r = \frac{159}{\sqrt{L \times C}}$  (wobei L in der Einheit  $\mu\text{H}$  und C in der Einheit  $\text{pF}$  einzusetzen ist). Die Zahl 159 ist ein Fixwert. Vergleiche Frage 20.

Die Spannungen und Ströme an L (Induktivität) und C (Kapazität) können bei Resonanz um vieles größer werden als von außen zugefügt.

Da aber L und C immer Verluste haben (z. B. Widerstand der Anschlussdrähte), wird die Impedanz Z nicht ganz 0 und niemals  $\infty$ . Je weniger Verluste umso höher die Güte!



Misst man den Verlauf der Impedanz eines Parallelschwingkreises, so ergibt sich eine Kurve ähnlich nebenstehender Skizze.

Zeichnet man die Punkte auf der Kurve ein, wo der Wert von Z vom Maximum (100%) auf 70,7% abgesunken ist (= -3 dB Punkte), so erhält man zwei Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ .

Der Unterschied zwischen diesen beiden Frequenzen ist die Bandbreite

$$\text{Bandbreite } B = f_2 - f_1$$

### Beispiel

Welche Resonanzfrequenz hat ein Schwingkreis mit  $C = 100 \text{ pF}$  und  $L = 21 \mu\text{H}$ ?

$$f = \frac{159}{\sqrt{21 \times 100}}$$

$$= \frac{159}{45,82} = 3,47 \text{ MHz}$$

### Beispiel

Welche Güte hat ein Schwingkreis mit  $f_r = 10.000 \text{ kHz}$  und  $B = 100 \text{ kHz}$ ?

$$Q = \frac{10.000}{100} = 100$$

Die Schwingkreisgüte errechnet sich aus dem Verhältnis der Resonanzfrequenz zur Bandbreite.

$$\text{Güte } Q = \frac{f_r}{B}$$

## Zusammenfassung

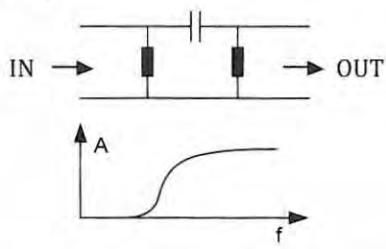
- Ein Resonanzschwingkreis besteht aus Spule und Kondensator.
- Kenngrößen sind die Resonanzfrequenz, Güte und Bandbreite.
- Die Güte Q ist ein Maß für die Verluste im Schwingkreis.

19

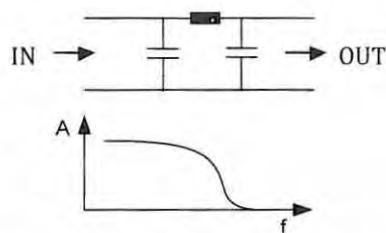
## Anwendung eines Resonanzschwingkreises in der Funktechnik

Durch gezielte Zusammenschaltung von Spule (L) und Kondensator (C) ergeben sich Filter und andere Schaltungen, die wesentlich für den Aufbau von Sender- und Empfängerschaltungen sind.

Hochpass



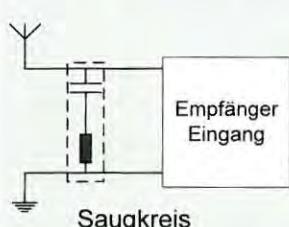
Tiefpass



Lässt nur hohe Frequenzen vom Eingang zum Ausgang passieren.

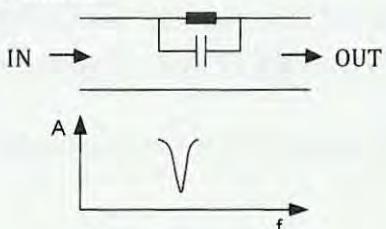
Lässt nur tiefe Frequenzen vom Eingang zum Ausgang passieren.

Bandsperre



Die Bandsperre sperrt ein Frequenzband und lässt es nicht zum Empfänger. Bei einem Saugkreis wird nur eine Frequenz von der Antenne Richtung Masse „abgesaugt“.

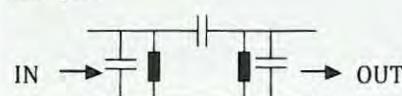
Sperrkreis



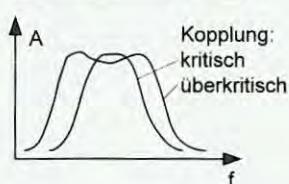
Ein Sperrkreis ist ein Parallelschwingkreis, der genau eine Frequenz sperrt.

Saugkreis und Sperrkreis bewirken letztlich das Gleiche: Eine Frequenz kommt nicht vom Eingang zum Ausgang der Schaltung.

Bandpass



Der Bandpass lässt nur ein Frequenzband vom Eingang zum Ausgang passieren.



Die wesentliche Eigenschaft eines Empfängers ist es, das Nutzsignal aus den vielen vorhandenen Signalen zu selektieren (filtern) und letztendlich wieder hörbar zu machen (bei Sprache) oder für einen Computer aufzubereiten (z. B. bei Fernschreiben, Packet Radio etc.)

Bei der analogen Empfängertechnik sind L-und-C-Filter in allen Variationen nicht mehr wegzudenken.

Ein Quarz verhält sich ähnlich wie ein Schwingkreis sehr hoher Güte. Wird ein Bandfilter mit Quarzen aufgebaut, entsteht ein **Quarzfilter**.

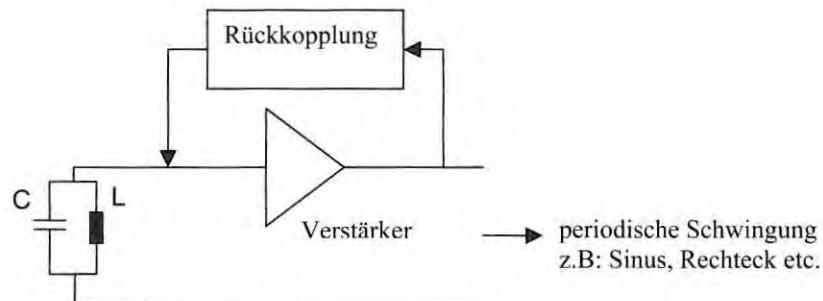


Abbildung 40: Schwingkreis bei Oszillatoren

Wird anstatt des LC-Schwingkreises ein Quarz verwendet entsteht ein Quarzoszillator. Oszillatoren erzeugen periodische Schwingungen, z. B. um eine bestimmte Frequenz als Grundsignal zu erzeugen.

## 20

### Berechnung der Resonanzfrequenz eines Schwingkreises (Resonanzkreises)

Die Angaben bei der Prüfung variieren.

#### Beispiel

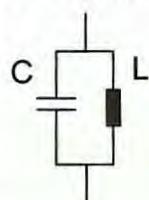
$$L = 15 \mu\text{H}, C = 30 \text{ pF}$$

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \times C}} = \frac{159}{\sqrt{15 \times 30}}$$

$$= \frac{159}{\sqrt{21,213}} = 7,496 \text{ MHz}$$

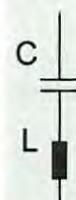
Die Resonanzfrequenz wird errechnet mit  $f_r = \frac{159}{\sqrt{L \times C}}$ , wobei L in der Einheit  $\mu\text{H}$  und C in der Einheit  $\text{pF}$  einzusetzen ist). Die Zahl 159 ist ein Fixwert. Siehe auch Frage 18.

#### Parallelresonanz



bei Resonanzfrequenz hochohmig;  $Z \sim \infty$

#### Serienresonanz



bei Resonanzfrequenz niederohmig;  $Z \sim 0$

## Aufbau, Verwendung und Wirkungsweise von Filtern

Durch Kombination von Widerständen (R), Spulen (L) und Kondensatoren (C) können Filterschaltungen aufgebaut werden. Man unterscheidet Tiefpass, Hochpass, Bandpass und Bandsperrenfilter. Siehe auch Frage 19.

In der Sende- und Empfangstechnik werden Filter verwendet, um unerwünschte Frequenzen zu entfernen bzw. nur die gewünschten Frequenzanteile weiterzuverarbeiten.

Filter können als sogenannte PI-Schaltung und T-Schaltung aufgebaut werden und identische Filtereigenschaften haben. Um Verluste bei Filtern zu vermeiden, verzichtet man auf RL- bzw. RC-Schaltungen (Widerstand–Spule bzw. Widerstand–Kondensator).

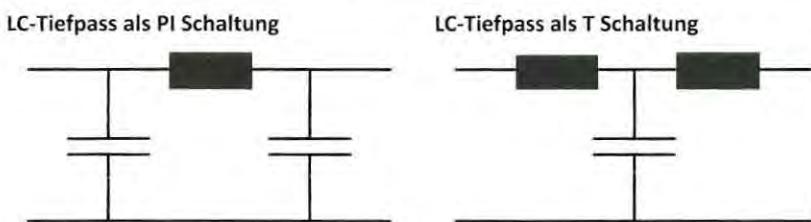


Abbildung 41: Tiefpass  $\Pi$ , T-Schaltung

### Zusammenfassung

- Filter werden in Kombination von R, L und C errichtet. Sie können mit Operationsverstärkern aufgebaut werden (aktive Filter).
- Filter eliminieren unerwünschte Frequenzen (Hochpass, Tiefpass, Bandpass), führen zu besserer Selektivität (Bandpass am Eingang von Empfängern) und werden in Form eines Schwingkreises als frequenzbestimmendes Teil in Oszillatoren verwendet.
- Ein Quarz verhält sich wie ein Schwingkreis mit extrem hoher Güte. Mit mehreren Quarzen lassen sich Filter mit hervorragender Selektion herstellen (Quarzfilter).

## Was sind Halbleiter?

Halbleiter sind Bauteile, deren Leitfähigkeit durch elektrische oder physikalische Einflüsse gesteuert werden können. Das Ausgangsmaterial ist meist Galliumarsenid, früher auch Silizium oder Germanium, das mit einer winzigen Verunreinigung versehen (dotiert) wird. Bekannte Halbleiterbauteile sind Diode, Transistor und Thyristor.

Betrachten wir das Gefüge eines Halbleiterkristalls, dann sieht die Anordnung der Atome etwa wie in der nachfolgenden Abbildung aus. **Atome** sind winzige, mit freiem Auge nicht sichtbare Bauteile der Materie. Holz, Luft, Lebewesen – alles besteht aus Atomen. Sie bestehen aus einem **Atomkern** mit **Protonen** (positiv geladenen Teilchen) und **Neutronen** (neutral geladenen Teilchen), die von freien **Elektronen** (negativ geladenen Teilchen) umgeben sind.

Auf der äußersten Schale befinden sich bei Halbleitern vier Valenzelektronen.

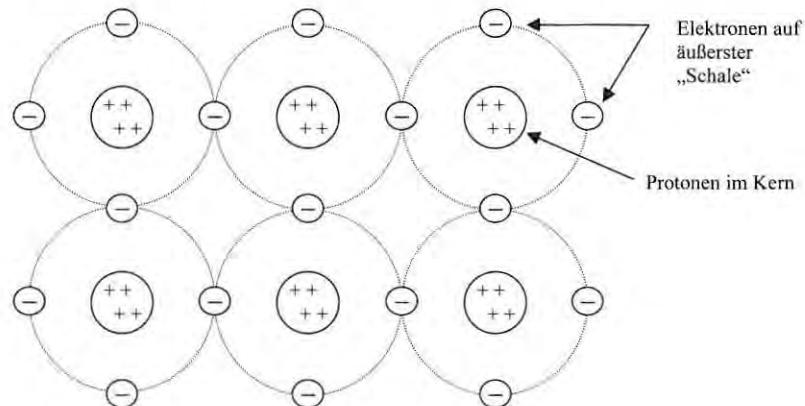


Abbildung 42: Halbleiter

Bei einem idealen Halbleiterkristall sind bei Raumtemperatur keine freien Ladungsträger vorhanden. Jedes der Elektronen ist an den Kern festgebunden.

Fügt man Fremdatome mit fünf Valenzelektronen in das Kristallgefüge ein (Dotierung), so gibt es einen Überschuss an Elektronen, die zur Stromleitung zu Verfügung stehen. Man spricht von **n-Leitung**.

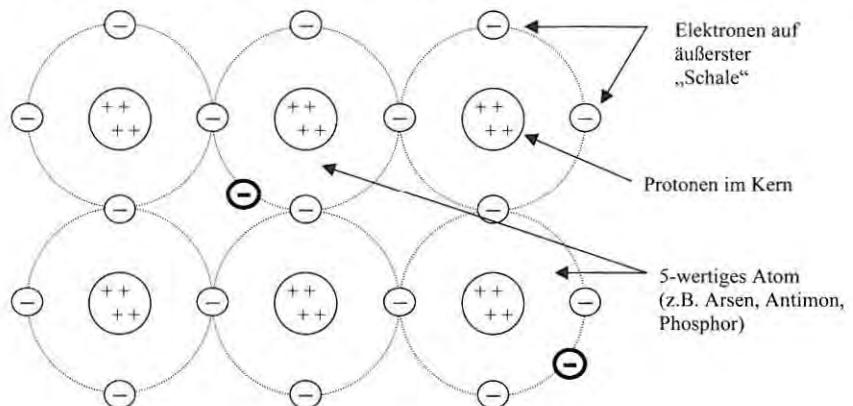


Abbildung 43: n-Leitung

Bringt man Atome mit nur drei Valenzelektronen in den Gitterverband ein (Dotierung), so entstehen Löcher im Gefüge. Diese Löcher können von Elektronen, die von außen kommen, aufgefüllt werden. Da der Kristall nun einen Elektronenmangel hat und gegenüber dem reinen Kristall positiv geladen ist, spricht man von **p-Leitung**.

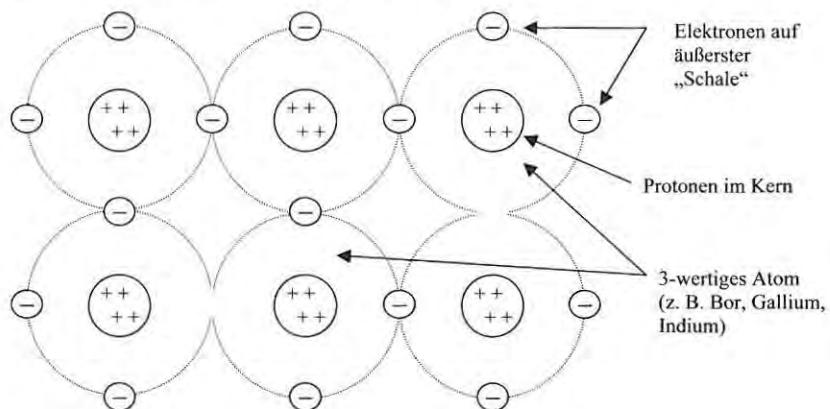


Abbildung 44: p-Leitung

## Zusammenfassung

- Halbleiter sind Bauteile, deren Leitfähigkeit durch elektrische oder physikalische Einflüsse gesteuert werden können. Das Ausgangsmaterial ist Silizium oder Germanium, das mit einer winzigen Verunreinigung versehen wird (Dotierung).
- 3-wertige Atome sind Bor, Gallium, Indium. 5-wertige Atome sind Arsen, Antimon, Phosphor.
- Bekannte Halbleiter sind Diode, Transistor und Thyristor (zu Leitern siehe Frage 2).

23

## Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung von Dioden

Dioden sind Halbleiter. Sie lassen Strom nur in eine Richtung fließen. Damit wirken sie wie ein Ventil.

Ein positiv (p) leitender und ein negativ (n) leitender Halbleiter werden miteinander verbunden. Dadurch entsteht an der Kontaktstelle eine neutrale Schicht (= Sperrsicht), in der vom n-Gebiet Elektronen in das p-Gebiet wandern (= Rekombination).

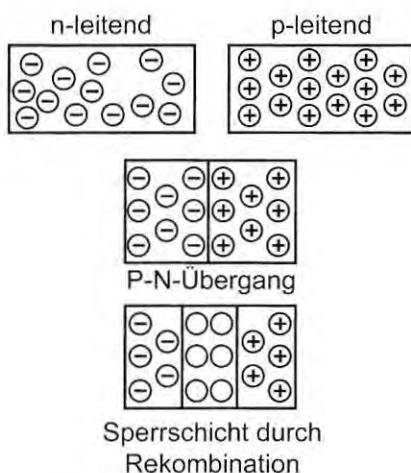
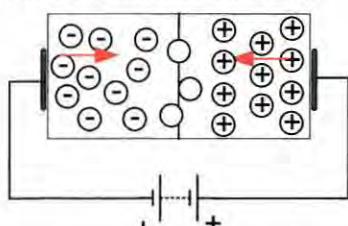


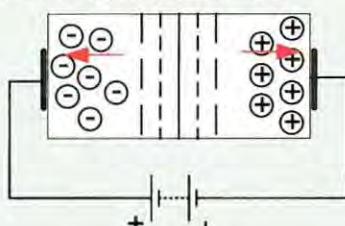
Abbildung 45: Rekombination

p-n Übergang in Durchlassrichtung



Legt man eine kleine Spannung mit (+) am p-Gebiet und (-) am n-Gebiet an, so passiert zunächst nicht viel. Erst beim Überschreiten der „Durchlassspannung“ beginnt der Strom durch die Diode zu fließen.

p-n Übergang in Sperrrichtung



Legt man eine Spannung mit (+) am n-Gebiet und mit (-) am p-Gebiet an, so werden Elektronen vom n-Gebiet abgesaugt und Elektronen ins p-Gebiet hineingepumpt. Die Sperrsicht wird immer breiter.  
→ kein nennenswerter Stromfluss

# VORSICHT !

Wird die Diode in Sperrrichtung betrieben, fließt ein sehr geringer Sperrstrom (kein idealer Isolator). Erhöht man diese Sperrspannung, tritt plötzlich ein starker Stromfluss auf, der die Diode zerstören kann (Durchbruchspannung). Weiters sind Dioden lichtempfindlich, weshalb sie in lichtdichten Gehäusen untergebracht sind.

Die Diode lässt den Strom nur in eine Richtung fließen und funktioniert wie ein Ventil. Die Durchlassspannung (=Flussspannung) ist bei Silizium-Dioden etwa 0,7V und bei Germanium-Dioden etwa 0,3V.

Schaltsymbol:

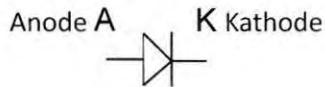


Abbildung 46: Dioden (Quelle: Honina)



Abbildung 47: Kleinleistungsdioden (Quelle: Vonvon)



Abbildung 48: Dioden (Quellen: Mr.checker, André Karwath/Aka)

**Bauformen:** Gleichrichterdiode, Kapazitätsdiode, Leuchtdiode (*light emitting diode, LED*), Zener-Diode, PIN-Diode, Photodiode, Schottky-Diode. Auch die Solarzelle ist vom Aufbau her eine Diode.

**Kenndaten:** maximaler Durchlassstrom, maximale Sperrspannung, maximale Verlustleistung.

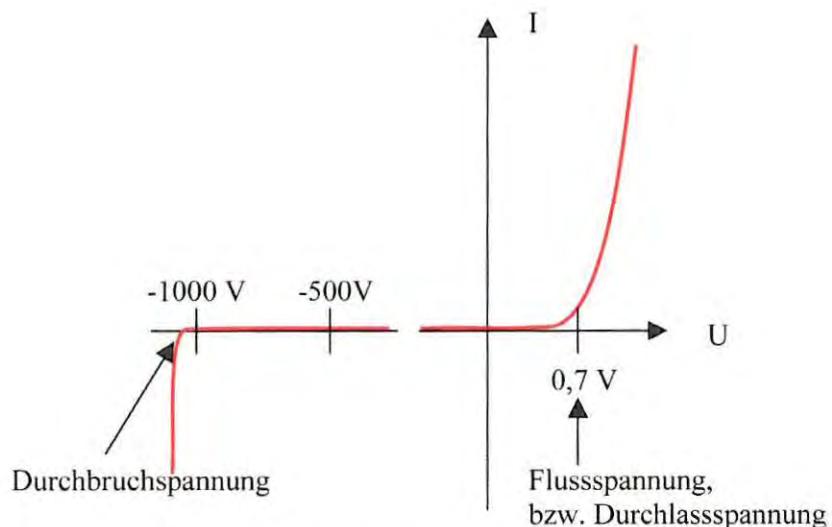


Abbildung 49: Diodenkennlinie

## KLASSE 3 und 4



### Zusammenfassung

- Ein **p-leitender** und ein **n-leitender Halbleiter** werden miteinander verbunden. Dadurch entsteht an der Kontaktstelle eine neutrale Schicht (= Sperrsicht), in der vom n-Gebiet Elektronen in das p-Gebiet wandern (Rekombination).
- **Strom** kann nur **in eine Richtung** fließen, deshalb entsteht eine **Gleichrichterwirkung**.
- Dioden werden zur Gleichrichtung von Wechselspannungen, Erzeugung von Licht (LED), Erzeugung von Strom (Solarzelle), Stabilisierung von Spannungen (Zener-Diode) und als veränderbare Kapazität (Kapazitätsdiode) verwendet.
- Erzeugung von GHz-Frequenzen = Gunn-Diode.

## Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung von Transistoren

24

Transistoren sind Halbleiter. In der Funktechnik werden sie u.a. als Verstärker und Schalter verwendet.

Zwei n-leitende Halbleiter werden mit einem p-leitenden Halbleiter verbunden, damit entsteht ein Bauteil mit drei Anschlüssen. Genau so gut kann der Aufbau auch p-n-p lauten. Der mittlere Anschluss ist die **Basis**. Die äußeren Anschlüsse heißen **Kollektor** und **Emitter**.

Transistoren mit p- und n-Schichten werden als Bipolartransistoren bezeichnet.

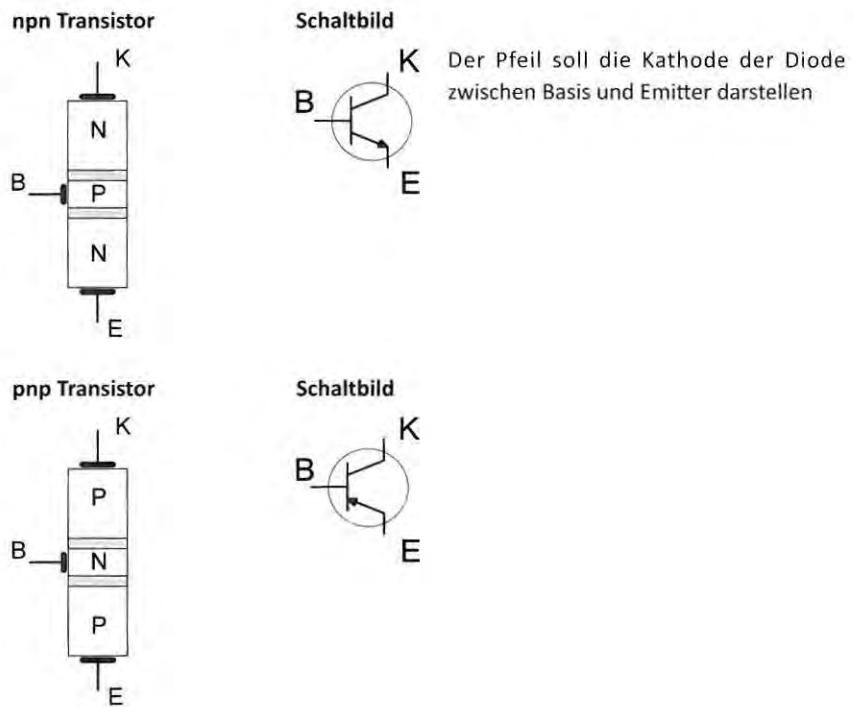


Abbildung 50: Bipolartransistoren, Schaltbild

Im Kollektor fließt erst Strom, wenn Basisstrom fließt, d.h., wenn die Spannung zwischen Basis und Emitter mindestens +0,7 V (für Si-Transistoren) beträgt (siehe Sperrsicht einer Diode). Der geringe Strom in die Basis ruft im Kollektorkreis einen wesentlich größeren Strom hervor. Diese Verstärkung wird für NF- und HF-Verstärker, Oszillatoren, als steuerbarer Widerstand und als Schalter genutzt.

In digitalen Schaltkreisen wird eine Vielzahl von Transistoren auf einem gemeinsamen Trägermaterial (Substrat) realisiert.

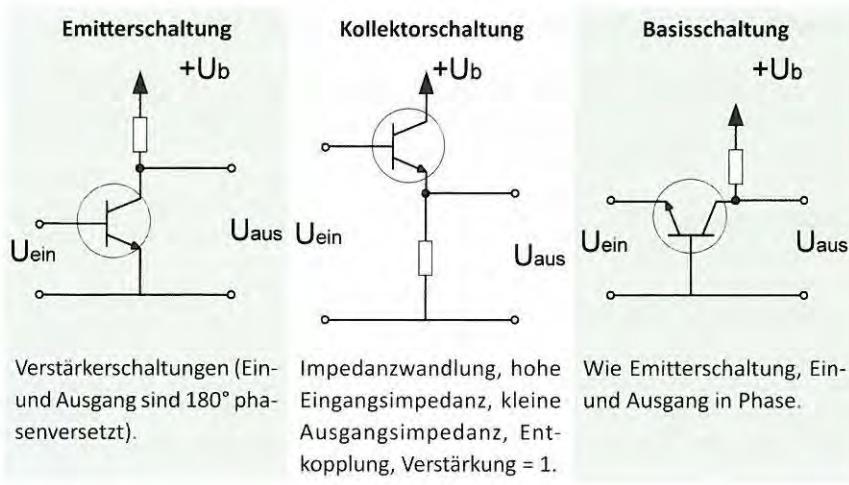
**Kenngrößen:** Typ (NPN oder PNP), Stromverstärkung, maximaler Kollektorstrom, maximale Kollektorspannung, maximale Verlustleistung, Grenzfrequenz.

$$\text{Formel für die Stromverstärkung: } B = \frac{\text{Kollektorstrom } I_C}{\text{Basisstrom } I_B}$$

**Weitere Typen:** Unipolar- bzw. Feldeffekt-Transistoren (FET), Metalloxid-Semiconductor-Feldeffekt-Transistoren (MOSFET), Phototransistor.

### Grundschaltungen mit Transistoren

Die Transistor-Grundschaltungen werden nach dem gemeinsamen Anschlusspunkt (Basis, Emitter, Kollektor) bezeichnet. Jede Schaltung weist besondere Eigenschaften auf, die entsprechend dem Anwendungsfall ausgewählt werden.



## KLASSE 3 und 4 !

### Zusammenfassung

- Zwei n-leitende Halbleiter werden mit einem p-leitenden Halbleiter verbunden, damit entsteht ein Bauteil mit drei Anschlüssen. Genauso gut kann der Aufbau auch p-n-p lauten. Der mittlere Anschluss ist die Basis. Die äußeren Anschlüsse heißen Kollektor und Emitter.
- Wird ein sehr geringer Strom in die Basis eingespeist, ruft dieser im Kollektorkreis einen wesentlich größeren Strom hervor.
- Diese Verstärkung wird für NF- und HF-Verstärker, Oszillatoren, als steuerbarer Widerstand und als Schalter genutzt.

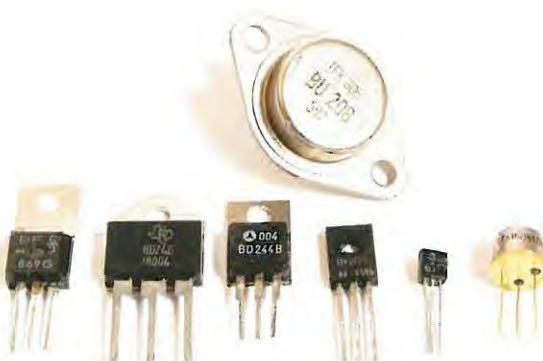
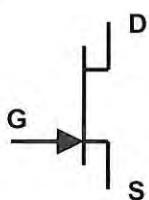


Abbildung 51: Transistoren

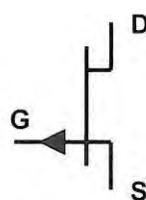
## FET – Feldeffekt-Transistor / Unipolarer Transistor

Im Gegensatz zu den stromgesteuerten Bipolartransistoren sind Feldeffektransistoren spannungsgesteuert.

### Schaltzeichen



n-Kanal-Sperrsicht-FET



p-Kanal-Sperrsicht-FET

Die Anschlüsse beim FET werden anders bezeichnet als beim bipolaren Transistor. Das Gate (Tor), kurz G, ist die Steuerelektrode. Der Drain (Abfluss), kurz D, ist mit dem Kollektor vergleichbar. Über diesen Anschluss fließt der Elektronenstrom ab. Der Source (Quelle), kurz S, ist mit dem Emitter vergleichbar. Dort fließt der Elektronenstrom in den FET hinein.

Die Steuerung erfolgt über die Gate-Source-Spannung. Die Steuerspannung bewirkt ein Vergrößern und Verkleinern (= Abschnüren) des leitenden Halbleiterkristalls, und damit eine Veränderung des Widerstandwertes zwischen Source und Drain.

## Sperrsicht-Feldeffektransistoren (JFET)

Sperrsicht-FETs werden im Englischen als JFET bezeichnet. Das J steht für Junction (=Sperrsicht). Sperrsicht-FETs gibt es als n-Kanal- und p-Kanal-Typen.

### Anwendungen

- Analogschalter
- Verstärker
- Konstantstromquelle

Ein besonderer Vorteil ist der große Eingangswiderstand, der eine leistungslose Steuerung bei tiefen Frequenzen ermöglicht (z.B.: Elektret Mikrofon). Der FET eignet sich auch gut für hochfrequente Anwendungen.

### Schaltungsvarianten

Ähnlich wie beim Bipolartransistor gibt es Gate-, Darin- und Source-Schalung

### Andere FET Typen

- Unterscheidung auch in selbstsperrende und selbstleitende Typen
- MOS FET: Metall Oxyd Semiconductor (die Isolierschicht zwischen Gate und Kanal ist ein Metall Oxyd)
- Leistungs MOS FET: für Schaltanwendungen z.B. in Schaltnetzteilen

## 25

## Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung von Elektronenröhren

In einem luftleeren Glaskolben befinden sich zwei oder mehrere Elektroden (Elektronenleiter, meist aus Metall oder Graphit).

Eine davon, die **Kathode**, wird durch einen Heizfaden zum Glühen gebracht und emittiert dadurch freie Elektronen. Die gegenüberliegende Elektrode heißt **Anode** und fängt diese Elektronen auf. Ein Stromfluss ist deshalb nur in einer Richtung möglich (Diode).

Wird zwischen Kathode und Anode noch eine gitterförmige Elektrode eingebbracht, kann hier mit einer kleinen Spannungsänderung eine große Anodenstromänderung bewirkt werden. Damit entsteht eine Triode. Diese kann als Verstärker verwendet werden (vgl. Transistor).

Röhren werden im Amateurfunk praktisch nur mehr für HF-Leistungsverstärker (power amplifier, PA) verwendet.

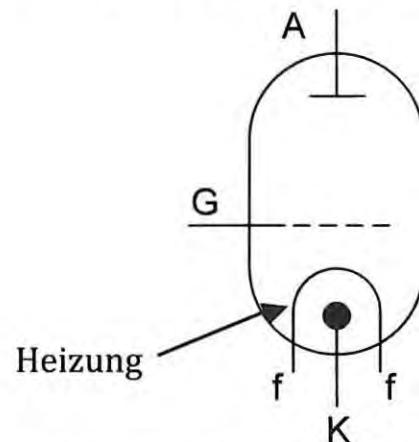


Abbildung 52: Schalsymbol Triode



Abbildung 53: Elektronenröhren (Quelle: Stefan Riepl/Quark48)

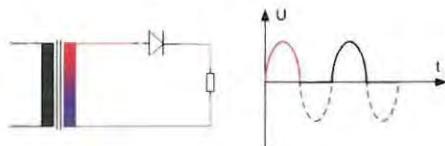
**Weitere Röhrentypen:** Bildröhre (Braunsche Röhre), Magisches Auge, Röntgenröhre (Erzeugung von Röntgenstrahlung), Klystron (Sendeverstärker bei Mikrowellen), Wanderfeldröhre (Signalverstärker in der Radartechnik und Radioastronomie), Magnetron (Mikrowellengenerator im Mikrowellenherd und Radartechnik) und Restlichtverstärker (Nachtsichtgeräte).

## 26

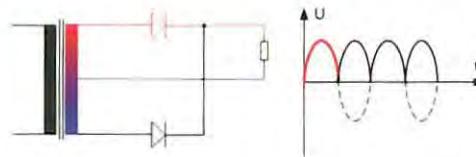
### Arten und Wirkungsweise von Gleichrichterschaltungen

Gleichrichter (Konverter) wandeln Wechselspannung in Gleichspannung um.

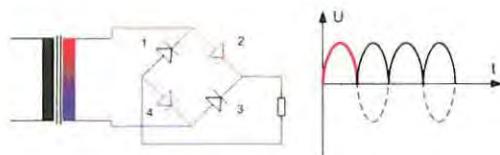
**Einweggleichrichter** verwenden nur eine Halbwelle der Wechselspannung (hohe Restwelligkeit mit 50 Hz).



**Doppelweggleichrichter** nutzen beide Halbwellen der Wechselspannung (geringere 100 Hz-Restwelligkeit).

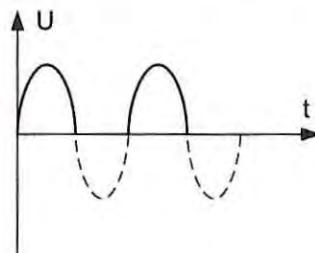
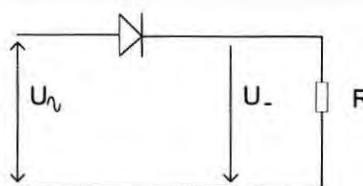


Bei **Vollweg- oder Brücken-gleichrichter** werden beide Halbwellen verwendet. Zudem ist nur eine Trafowicklung erforderlich (geringere 100 Hz-Restwelligkeit, aber doppelter Spannungsabfall über die Dioden).

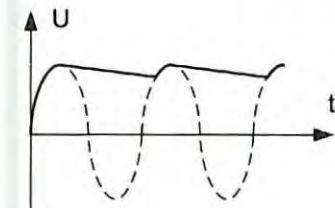
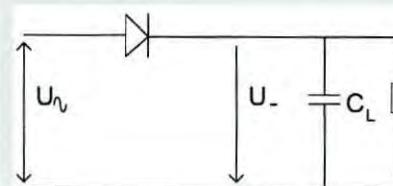


## Wirkungsweise von Einweggleichrichtern

Ohne Glättungskondensator



Mit Glättungskondensator



Je weniger Strom entnommen wird, umso kleiner ist die „Restwelligkeit“. Abhilfe schaffen ein größerer Kondensator oder eine Spannungsstabilisierung.

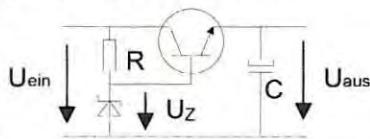
## 27

## Stabilisorschaltungen

### Beispiel

Dimensionierungsbeispiel:

Nimmt man eine 5,6V Zener-Diode und einen Transistor, dessen Basis-Emitter Spannungsabfall ca. 0,6V ist, so ergibt sich die Ausgangsspannung zu 5V. Zener-Dioden sind besonders dotierte Silizium-Dioden mit geringer Sperrsichtdicke.



Vielfach ist es nötig, konstante Spannungen für Schaltungen zur Verfügung zu stellen. Mit einer Zener-Diode und einem Längstransistor kann so eine einfache Spannungsstabilisierung aufgebaut werden.

Stabilisierungsschaltungen sind als Festspannungsregler (unveränderliche Ausgangsspannung) in Form integrierter Schaltungen fertig erhältlich.

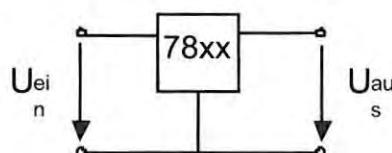


Abbildung 54: Spannungsregler (Quelle: Christoph D)

## Aufbau und Dimensionierung von Hochspannungsnetzteilen (Schutzmaßnahmen)

Aus Gründen der Sicherheit ist bei Hochspannung perfekter Berührungsenschutz vorgeschrieben. Er wird durch einen geschlossenen Hochspannungskäfig mit Deckelschalter und Entladewiderstände über Elektro kondensatoren erreicht.

Vor jedem Eingriff in ein Hochspannungsnetzteil ist der Netzstecker zu ziehen und einige Minuten zum Entladen der Elkos abzuwarten.

Zur Erzeugung hoher Spannungen wird oft eine Spannungsverdopplerschaltung verwendet, z. B. bei Röhrengeräten.

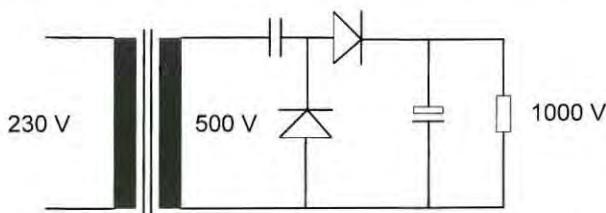


Abbildung 55: Spannungsverdopplerschaltung

## Arten und Wirkungsweise von digitalen Bauteilen

Die Digitaltechnik kennt nur zwei Zustände, z. B. *0/1* oder auch *keine Spannung/Spannung* oder *ein/aus*.

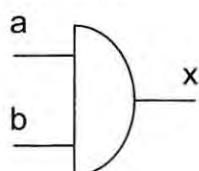
Digitalbausteine sind entweder *statisch* (sogenannte Gatter) oder *dynamisch* (Kippstufen, auch Flipflop genannt). Sie bestehen aus Dioden, Transistoren und Widerständen, die in miniaturisierter Form auf einem gemeinsamen Substrat in einem Chip eingebaut sind.

### Statische Digitalbausteine (Gatter)

**Statische Digitalbausteine (Gatter)** sind die Grundbausteine der Logik. Hierzu gehören **UND**, **ODER** und **INVERTER**.

#### UND (and)

Schaltersymbol

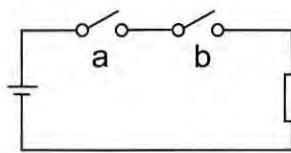


Wahrheitstabelle

a	b	x
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Beschreibung: Wenn beide Eingänge a und b auf logisch 1 sind, dann ist am Ausgang x auch eine 1.

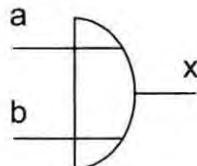
### Schaltungsbeispiel



Wenn die beiden Schalter a und b geschlossen sind, dann fließt Strom. Anwendung z. B. in der Sicherheitstechnik: zwei Schalter müssen auf ON stehen.

### ODER (or)

#### Schaltersymbol

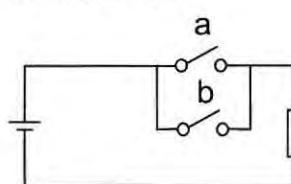


#### Wahrheitstabelle

a	b	x
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Beschreibung: Wenn einer der Eingänge a oder b auf logisch 1 ist, dann ist am Ausgang x auch eine 1.

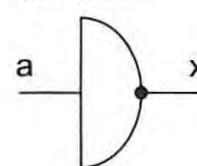
#### Schaltungsbeispiel



Wenn einer der beiden Schalter a oder b geschlossen ist, dann fließt Strom (z. B. Wechselschalter für Licht).

### INVERTER

#### Schaltersymbol



#### Wahrheitstabelle

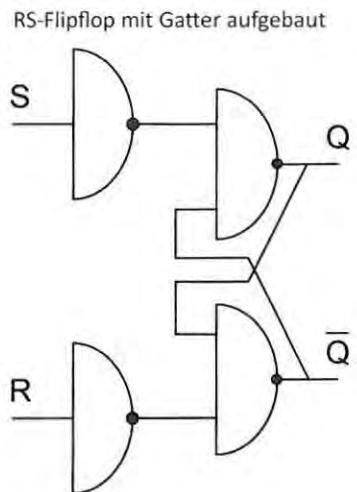
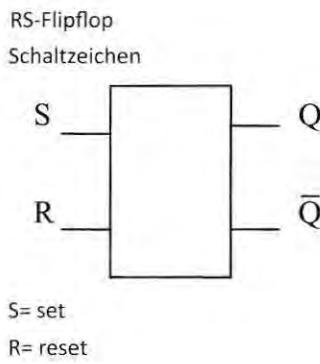
a	x
0	1
1	0

Beschreibung: Das am Eingang anliegende Signal wird in den jeweils anderen Zustand umgesetzt.

Alle weiteren statischen Gatter wie **NAND**, **NOR**, **EXNOR** können aus den obigen drei Grundbausteinen erzeugt werden.

### Dynamische Bauteile (Kippstufen)

Dynamische Digitalbausteine (Kippstufen) verändern ihren Zustand immer bei definierten Eingangszuständen. Sie bestehen aus logischen Gattern und können Zustände speichern.



Wird ein logisch 1 an den Set-Eingang angelegt, geht der Ausgang auf 1. Das Flipflop speichert diesen Zustand so lange, bis der Reset-Eingang auf 1 gesetzt wird. Weitere Flipflop sind JK-Flipflop, D-Flipflop und T-Flipflop.

Flipflops können als 1-Bit-Speicher betrachtet werden. Aus ihnen lassen sich Speicher verschiedener Wortbreiten („Wort“ z. B. 1 Byte = 8 bit) zusammensetzen, wie sie beispielsweise in Mikroprozessoren Verwendung finden.

Auch die einzelnen Speicherzellen von statischen RAM bestehen aus Flipflop-Schaltungen. Flipflops sind unverzichtbar in digitalen Zählerschaltungen. Hier kommen besonders D- oder T-Flipflops als Frequenzteiler zum Einsatz.

**Monostabile Kippstufen** kippen nach einem Eingangsimpuls in die andere Lage und kehren dann nach Ablauf einer bestimmbarer Zeit wieder in den Ausgangszustand zurück. Anwendung: Zeitverzögerung, Treppenhauslicht und Tastenentprellung.

**Astabile Kippstufen** besitzen keinen stabilen Zustand. Nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit wechselt der Ausgang immer in den anderen Zustand. Diese Schaltung wird auch als Multivibrator bezeichnet. Anwendung: Rechteck-Generator und DC-AC-Wandler.

## Zusammenfassung

- Die digitale Bautechnik kennt nur zwei Zustände, z. B. 0/1 oder ein/aus.
- Statische Digitalbausteine sind sogenannte Gatter (INVERTER, UND, ODER). Dynamische Digitalbausteine sind Kippstufen (RS-Flipflop, JK-Flipflop, D-Flipflop, Einsatz als Speicherelemente und in Frequenzteilern; monostabile Kippstufe; astabile Kippstufe).
- In der Digitaltechnik finden diese Bausteine als Frequenzteiler in PLL-Schaltungen (*phase lock loop*), Phasenvergleicher in PLL-Schaltungen, digitale Frequanzanzeige, digitaler VFO (*variable frequency oscillator*), Analog-Digital-Umsetzer, DSP (digitaler Signalprozessor) oder DDS (*direct digital synthesizer*) Anwendung.

## Elektronische Gatter und ihre Wirkungsweise

30

Gatter sind logische Digitalbauelemente. Sie kennen nur zwei Zustände, z. B. *low/high*, *aktiv/passiv*, 0/1. Es gibt AND, NAND, OR, NOR und INVERTER. Siehe Frage 29.

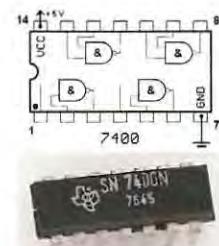
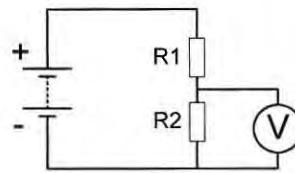


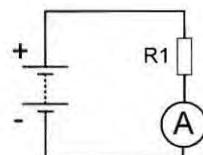
Abbildung 56: Chip mit 4 NANDs (Quelle: Audrius Meskauskas)

31

## Messung von Spannung und Strom am Beispiel eines vorgegebenen Stromkreises



Spannung wird mit einem Voltmeter (V) gemessen. Das Voltmeter wird parallel zum Widerstand R2 geschaltet und misst dort den Spannungsabfall. Der ohmsche Widerstand (Innenwiderstand) des Voltmeters soll möglichst hoch sein, um den Messwert nicht zu verfälschen!



Strom wird mit einem Amperemeter (A) gemessen. Die Leitung muss aufgetrennt werden und das Amperemeter in die Leitung eingefügt werden (Schaltung in Serie). Gemessen wird der Strom durch R1. Der ohmsche Widerstand (Innenwiderstand) des Amperemeters soll möglichst gering sein!

Abbildung 57: Spannungs- und Strommessung

Sehr hohe Ströme können auch mittels Shunt-Widerstand gemessen werden. Der **Shunt** ist ein niederohmiger Widerstand R, der in den Stromkreis eingefügt wird und an dem der Spannungsabfall U gemessen wird. Mit dem Ohm'schen Gesetz kann der Strom ermittelt werden:  $I = \frac{U}{R}$

32

## Erklären Sie die prinzipielle Wirkungsweise eines Grid-Dipmeters

Ein Grid-Dipmeter (GDM) ist ein Transistor- oder Röhrenoszillator, der Resonanzen erkennt. Ohne dieses Messinstrument müssten Resonanzen rechnerisch bestimmt werden.

Funktion:

1. Der Schwingkreis eines Grid-Dipmeters wird einem unbekannten Schwingkreis genähert.
2. Der eingebaute Schwingkreis wird solange verändert, bis die beiden Resonanzfrequenzen übereinstimmen: In den unbekannten Schwingkreis wird Energie übergekoppelt.
3. Der Energieverlust ist am Messgerät als plötzlicher Einbruch (*dip*) sichtbar. Somit kann die Resonanzfrequenz des unbekannten Schwingkreises durch Ablesen an einer Skala ermittelt werden.



Abbildung 58: TR-Dipmeter in Transistorausführung mit auswechselbaren Spulen für mehrere Frequenzbereiche

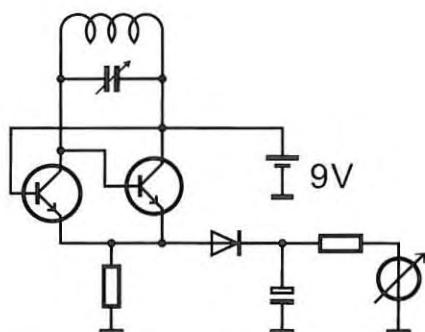


Abbildung 59: Schaltbild TR-Dipmeter

## KLASSE 3 und 4

!

### Zusammenfassung:

- Der Schwingkreis eines Transistor- oder Röhrenoszillators (Grid-Dipmeter) wird einem unbekannten Schwingkreis genähert.
- Wenn die beiden Resonanzfrequenzen übereinstimmen, wird diesem Oszillator Energie entzogen.
- Dies ist an einem Messinstrument als Einbruch (*dip*) sichtbar. Somit kann die Resonanzfrequenz des unbekannten Schwingkreises ermittelt werden.
- Mit einem Dipmeter kann die Resonanzfrequenz einer Antenne bestimmt werden.

## Erklären sie die Funktion eines HF-Wattmeters

Grundsätzlich erfolgt die Messung der Hochfrequenzleistung durch Spannungsmessung an einem Widerstand (typisch  $50\Omega$ ). Der Widerstand muss für die Leistung und den Frequenzbereich geeignet sein. Zwei Varianten sind zu unterscheiden.

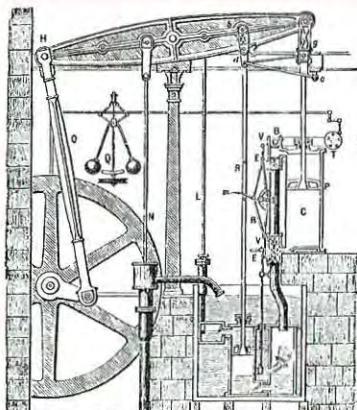
### Direkte Messung

#### Beispiel

12V und  $50\Omega$ :

$$\frac{12^2}{50} = \frac{144}{50} = 2,88 \text{ Watt}$$

### WISSEN-KOMPAKT !



Der schottische Erfinder James Watt (1736–1819) verbesserte den Wirkungsgrad der Dampfmaschine. Sein erster Finanzier stritt immer wieder mit ihm um technische Details – und machte pleite. Sein zweiter Partner konzentrierte sich auf kaufmännische Belange und den Verkauf. Die technische Umsetzung überließ er Watt. Anders als Watt erwartete er großen Absatz in den Bergwerken – und behielt recht. Ergebnis war nicht nur eine Dampfmaschine mit überzeugender Wirkung, sondern die industrielle Revolution. Die Leistung seiner Dampfmaschinen verglich Watt mit jener von Pferden: die mittlerweile veraltete Maßeinheit Pferdestärke (PS) war geboren.

Die HF-Spannung wird mittels Einweggleichrichtung und Kondensator gleichgerichtet und an einem Voltmeter angezeigt. Die Spannung hängt quadratisch mit der Leistung zusammen:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Deshalb muss die Skala der Anzeige für Leistung kalibriert werden.

Bei dieser Variante wird die Leistung gänzlich in Wärme umgewandelt. Sie wird deshalb vor allem dann eingesetzt, wenn eine Verstärkerstufe getestet wird, aber keine Aussendung erfolgen soll.

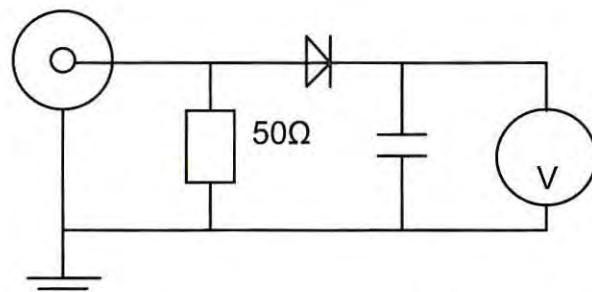


Abbildung 60: Direkte Messung der HF Leistung

### KLASSE 3 und 4 !

#### Messung mittels Richtkoppler (SWR-Meter)

Die vorlaufende und rücklaufende Leistung wird an parallelen Leitungen ausgeteilt und mittels Spannungsmessung wie oben angezeigt. Die Anzeige muss auf Leistung kalibriert werden.

Bei dieser Variante wird nur ein geringer Teil der Leistung für Messzwecke abgezweigt. Sie eignet sich daher für Messungen im laufenden Betrieb.

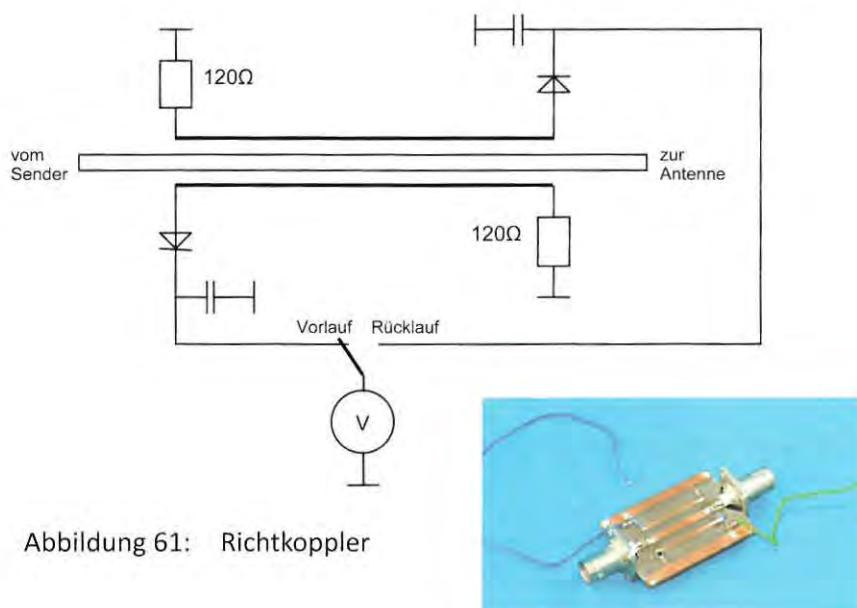


Abbildung 61: Richtkoppler

34

## Erklären Sie die Funktionsweise eines Oszillografen (Oszilloskop)

Ein **Oszillograf** (Oszilloskop) kann zeitlich sich wiederholende elektrische Spannungen im Zeitablauf darstellen. Im Amateurfunk ist er eines der wichtigsten Diagnosewerkzeuge. Siehe auch Frage 52.

Der Zeitverlauf wird *horizontal* dargestellt, die Amplitude *vertikal*. Auch Frequenz und Kurvenverlauf können abgelesen werden.

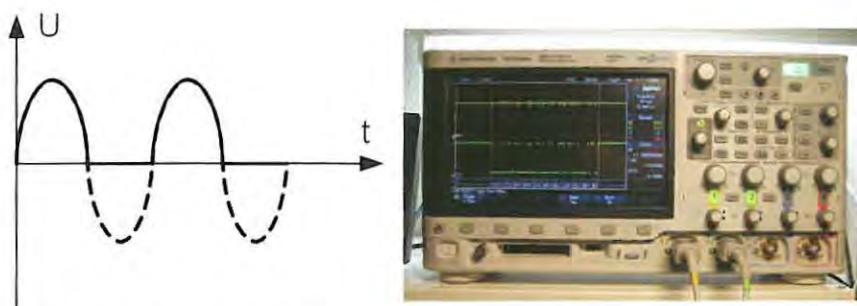


Abbildung 62: Oszillograf (Quelle: DG3YEV)

Ältere (analoge) Geräte verwenden zur Darstellung Kathodenstrahlröhren. Moderne (digitale) Oszillografen haben Flachbildschirm (*touch-screen*) oder kommen ohne Display aus, da die Daten ohnehin per USB-Anschluss an einen Computer übertragen werden.

Ein Oszillograf kann auch den Zeitablauf darstellen, ein Oszilloskop zeigt nur eine Momentaufnahme.

Am Display können Wechselspannungen in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt und gemessen werden (horizontal: Zeit, vertikal: Amplitude).

## Erklären Sie die Funktionsweise eines Spektrumanalysators

Ein Spektrumanalysator zeigt das Bild eines Frequenzbereichs, eines Nutzsignals oder einer Nebenaussendung. Er zeigt unterschiedliche Frequenzen in Echtzeit auf einer Zeitachse an und ist ein wichtiges Diagnoseinstrument. Damit überprüfen Funkamateure beispielsweise, ob sie innerhalb der erlaubten Frequenzbänder senden.

Ältere (analoge) Geräte verwenden zur Darstellung Kathodenstrahlröhren. Moderne (digitale) Spektrumanalysatoren haben Flachbildschirm (*touch-screen*) oder kommen ohne Display aus, da die Daten ohnehin per USB-Anschluss an einen Computer übertragen werden.

Am Bildschirm können Frequenzbereiche dargestellt und gemessen werden (horizontal: Frequenz, vertikal: Amplitude). Auf dem Bildschirm ist ein bestimmter Frequenzbereich zu sehen. Ist in diesem Frequenzbereich ein Signal vorhanden, wird dies durch eine der Amplitude entsprechende Auslenkung des Strahls dargestellt.

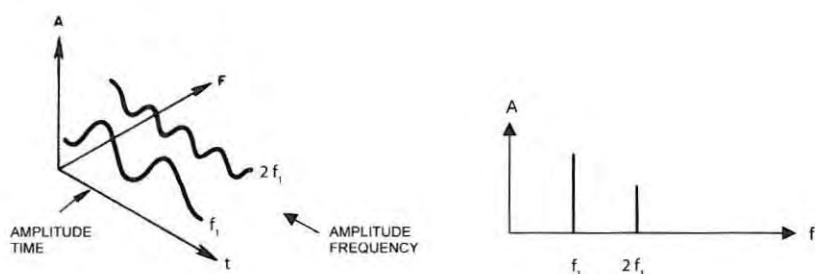


Abbildung 63: Frequenzbereich

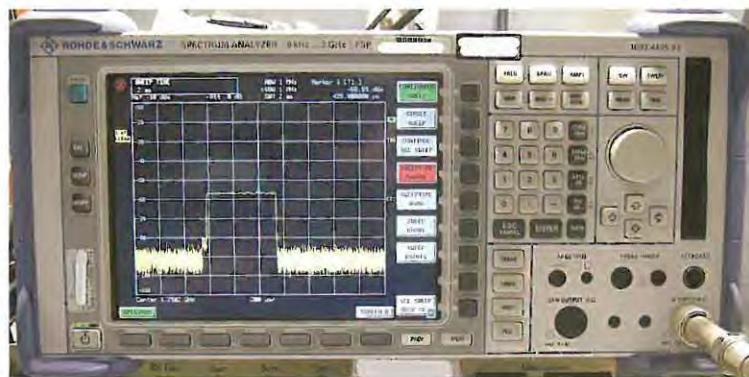


Abbildung 64: Spektrumanalysator (Quelle: Wikipedia, Vonvon)

## Erklären Sie den Begriff Demodulation

Bei der Demodulation wird das niederfrequente Signal (Sprache oder Daten) aus dem modulierten Hochfrequenzträger zurückgewonnen.

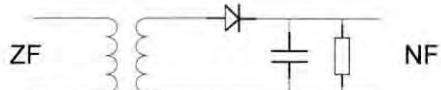


Abbildung 65: Diodendemodulator (Amplitudendemodulation)

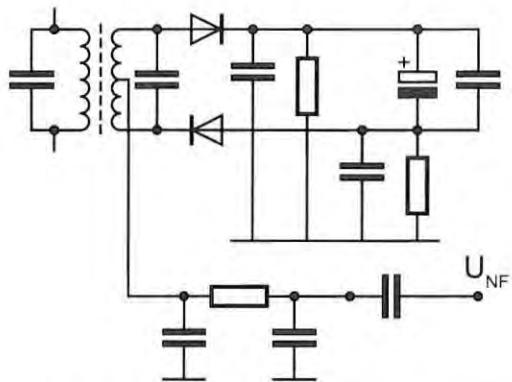


Abbildung 66: Ratiendetektor (Frequenzmodulation)

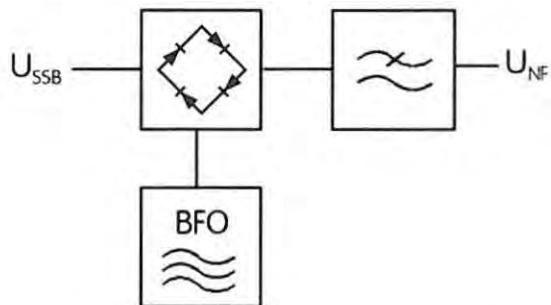


Abbildung 67: Quadraturdetektor (SSB-Demodulation)

Moderne Geräte mit digitalen Signalprozessoren (DSP) bewerkstelligen die Demodulation per Software. Am Ausgang muss dann nur noch eine Digital-analog-Umwandlung gemacht werden. Bei Digitalübertragung (z. B. RTTY) wird der Datenstrom gleich digital weiterverwendet.

## Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines Überlagerungsempfängers

### WISSEN-KOMPAKT !

#### Problem Spiegelfrequenz

Bei der Mischung mit der VFO-Frequenz (*variable frequency oscillator*) entstehen die Summe und die Differenz der beiden Frequenzen. In diesem Beispiel ist nur die Differenz erwünscht (14MHz – 5MHz VFO = 9MHz ZF). Bei einem Eingangssignal von 4MHz entsteht im Mischer als Summe (4MHz + 5MHz = 9MHz ZF) ebenfalls die ZF-Frequenz, die vom ZF-Filter durchgelassen wird. Diese Spiegelfrequenz kann nur durch eine Filterung im Eingang unterdrückt werden. Mittels Bandpassfilter kann nur die Empfangsfrequenz passieren. Siehe auch Frage 38.

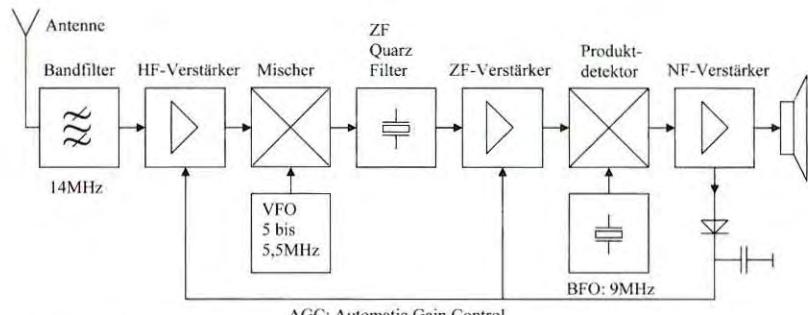


Abbildung 68: Überlagerungsempfänger

### KLASSE 3 und 4 !

#### Prinzip:

- Über die **Antenne** gelangen alle Empfangsfrequenzen zum **Bandpass-Filter**, das das gewünschte Frequenzband herausfiltert.
- Nach **Verstärkung** wird das Empfangssignal mit einem Signal des Oszillators mit veränderbarer Frequenz (*variable frequency oscillator*, VFO) gemischt.
- Aus den **Mischprodukten** (Summe und Differenz) wird durch das Zwischenfrequenzfilter (Quarzfilter) die gewünschte Empfangsfrequenz herausgefiltert und verstärkt.
- Im **Produktdetektor** erfolgt eine weitere Mischung mit dem Schwebungssignal (*beat frequency oscillator*, BFO), um dem SSB-ZF-Signal den fehlenden Träger wieder zuzusetzen.
- Das entstehende **AM-Signal** wird demoduliert und das **NF-Signal** verstärkt dem Lautsprecher zugeführt.
- Aus dem Niederfrequenz-Signal wird die **Regelspannung** für die Automatische Verstärkungsregelung (*automatic gain control*, AGC) erzeugt und dem HF- und ZF-Verstärker zugeführt. Damit wird die Verstärkung dieser Stufen an die Stärke des Empfangssignals angepasst (kleines Signal – hohe Verstärkung und umgekehrt). Die Höhe dieser Gleichspannung ist damit proportional der Eingangssignalstärke und wird als Empfangsfeldstärke (S-Wert) am Empfangsgerät angezeigt.

AFC (*automatic frequency control*) ist ein Regelmechanismus im Empfänger zur Angleichung der Empfangsfrequenz an die Sendefrequenz.

## Was verstehen Sie unter Spiegelfrequenz und Zwischenfrequenz?

**Spiegelfrequenz** ist die unerwünschte zweite Empfangsfrequenz eines Überlagerungsempfängers. Bei jeder Mischung entstehen Summe und Differenz. Es gibt zwei Lösungen, um Eingangsfrequenzen mittels Mischen mit einer konstanten Oszillatorkreisfrequenz auf eine Zwischenfrequenz zu bringen. Siehe auch Frage 37.

### KLASSE 3 und 4



Die **Zwischenfrequenz** entsteht im Überlagerungsempfänger durch Mischung der Eingangsfrequenz mit der Oszillatorkreisfrequenz.

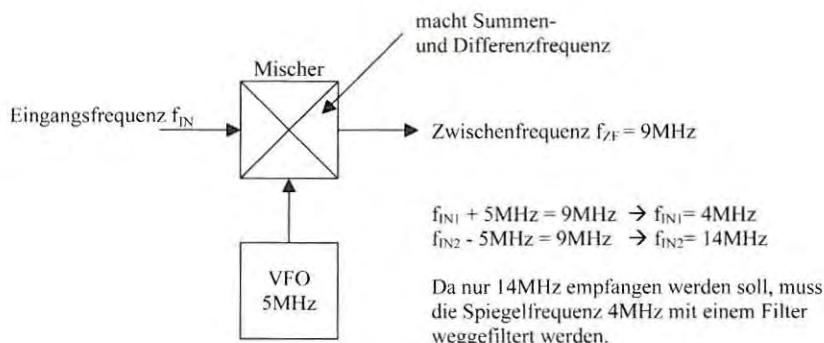


Abbildung 69: Beispiel:  $f_{ZF} = 9 \text{ MHz}$

## Erklären Sie die Kenngrößen eines Empfängers – Empfindlichkeit, intermodulationsfreier Bereich, Eigenrauschen

Der Empfänger wirkt wie ein Verstärker: Kleine Eingangssignale sollen am Ausgang verstärkt wiedergegeben werden. Die Herausforderung in der Technik ist es, die Kennlinie zwischen Eingangs- und Ausgangssignal möglichst linear zu machen.

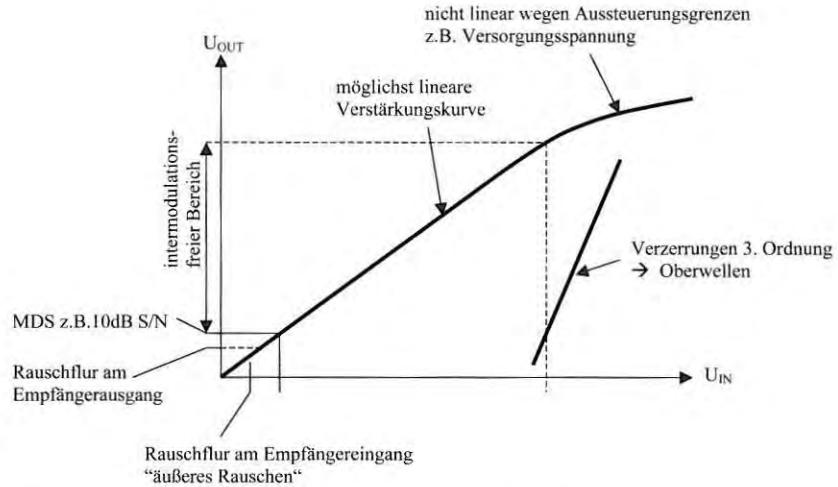


Abbildung 70: Kenngrößen eines Empfängers

Da alle Bauteile rauschen, leidet auch jeder Empfänger an einem gewissen Eigenrauschen. Hinzu kommt die Rauschflur am Empfängereingang. Siehe auch Frage 40.

## KLASSE 3 und 4 !

### Zusammenfassung

- **Empfindlichkeit** ist die Fähigkeit eines Empfängers, ein kleinstes Signal mit einem Signal-Rausch-Abstand von 3dB (minimum detectable signal, MDS) oder 10dB zu empfangen. Üblich und besser: 0,2µV oder -130dBm für 10dB S/N (*signal to noise*).
- Die zwei größten, gleich starken Signale, die ein Empfänger verkraften kann ohne zu übersteuern (dann entstehen nämlich Empfangsmischprodukte – „Geistersignale“), ergeben den **intermodulationsfreien Bereich**. Gute Empfänger haben einen intermodulationsfreien Dynamikbereich von mindestens 90dB.
- Das **Eigenrauschen** bestimmt den Eingangspiegel, unter dem normalerweise kein Empfang möglich ist (Rauschflur).

40

## Erklären Sie den Begriff des Rauschens – Auswirkungen auf den Empfang

Durch unregelmäßige Elektronenbewegungen entsteht in jedem Bauteil ein Rauschen. Je kleiner dieses Rauschen gehalten werden kann, desto schwächere Signale kann der Empfänger noch aufnehmen. Siehe auch Frage 39.

Alle durch die Bauteile innerhalb eines Gerätes zusammenwirkenden Rauschquellen ergeben das Eigenrauschen. Es kann nur durch Verwendung rauscharmer Bauteile oder Kühlung verringert werden kann. Dazu kommt das äußere Rauschen, das sich aus dem atmosphärischen Rauschen, dem galaktischen Rauschen (Milchstraße) und technischen Rauschquellen (*man made noise*) zusammensetzt. Das äußere Rauschen ist frequenz- und standortabhängig.

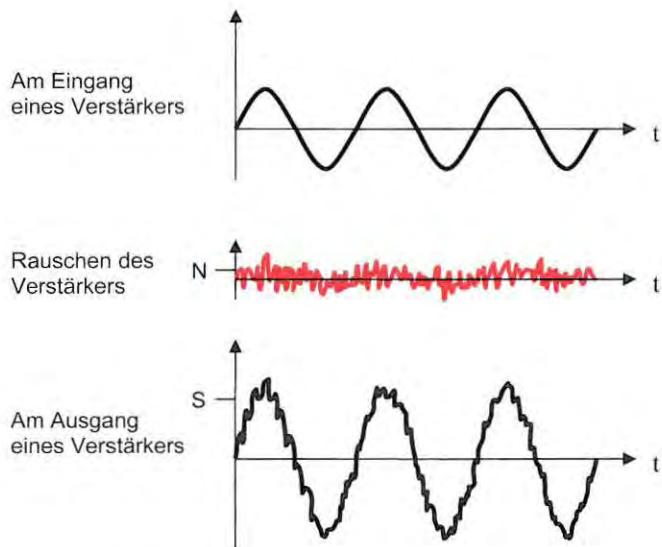


Abbildung 71: Rauschen

## KLASSE 3 und 4



Das **S/N-Verhältnis** (*signal to noise ratio*) ist der Signalpegel dividiert durch Rauschpegel und wird häufig in dB angegeben.

## Mischer in Empfängern – Funktionsweise und mögliche technische Probleme

41

Der Mischer mischt die Empfangsfrequenz mit einem im Gerät befindlichen Oszillatoren (*variable frequency oscillator, VFO*). Dadurch entstehen die Summe und die Differenz der beiden Frequenzen.

Falls die unerwünschte Spiegelfrequenz (siehe Frage 38) nicht schon am Eingang ausgefiltert (unterdrückt) wird, besteht die Gefahr des Spiegelfrequenzempfanges.

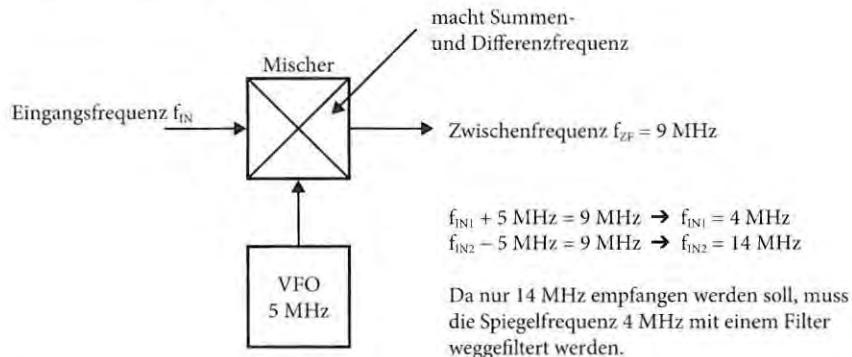


Abbildung 72: Beispiel:  $f_{ZF} = 9 \text{ MHz}$

Abhilfe schafft ein Bandpassfilter für die gewünschte Empfangsfrequenz vor dem Mischer:

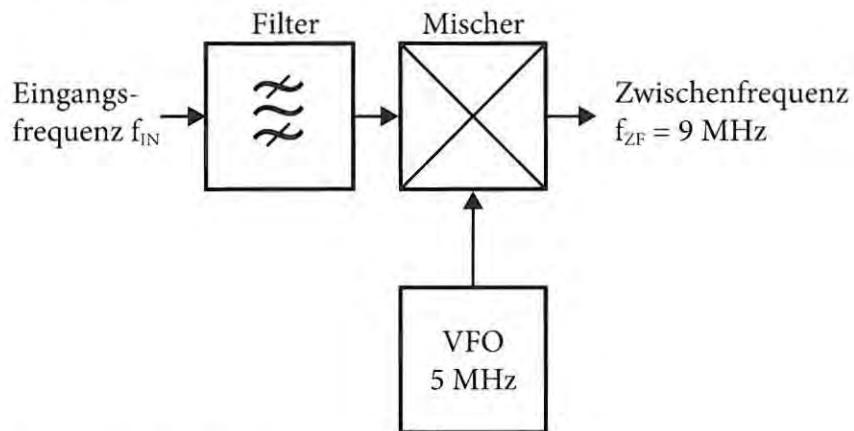


Abbildung 73: Bandpassfilter

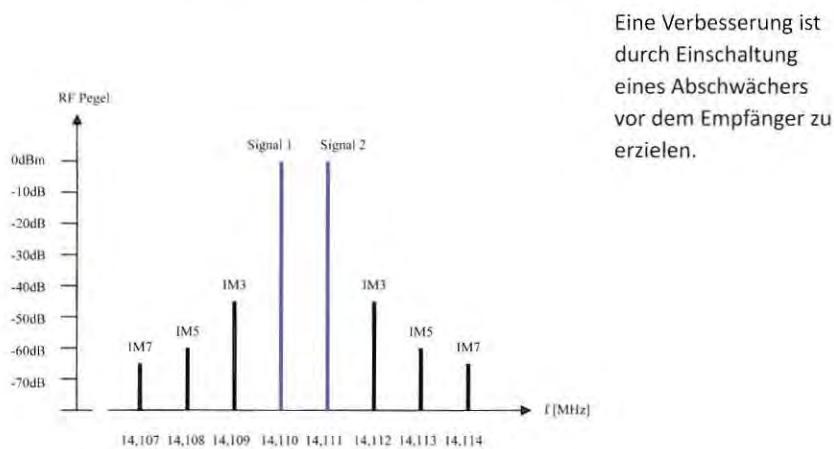
### Zusammenfassung

- Der Mischer mischt die Empfangsfrequenz mit einem im Gerät befindlichen Oszillator (VFO).
- Dadurch entstehen die Summe und die Differenz der beiden Frequenzen.
- Falls die unerwünschte Spiegelfrequenz nicht schon am Eingang ausgefiltert (unterdrückt) wird, besteht die Gefahr des Spiegelfrequenzempfanges.

## Nichtlineare Verzerrungen – Ursachen und Auswirkungen

Wenn durch starke Signale im Empfangszweig eine Stufe in den nichtlinearen Kennlinienteil ausgesteuert wird, entstehen scheinbar weitere Signale, die am Eingang gar nicht vorhanden sind (Geistersignale). Störungen sind die Folge. Diese nichtlinearen Verzerrungen werden auch als Inter- oder Kreuzmodulation bezeichnet.

In einem solchen Fall kann eine Vorstufe des Empfängers durch zwei oder mehrere starke anliegende unerwünschte Signale diese in den Empfangsbereich des Empfängers als Störungen „hineinmischen“.



IM3: Intermodulationsprodukt 3. Ordnung

IM5: Intermodulationsprodukt 5. Ordnung

IM7: Intermodulationsprodukt 7. Ordnung

## Empfängerstörstrahlung – Ursachen und Auswirkungen

Jeder Oszillator ist ein Sender kleiner Leistung. Er muss vom Antennen-eingang so gut entkoppelt werden, damit die Oszillatormasten auf keinen Fall über die Antenne abgestrahlt wird.

Die Entkopplung erfolgt durch HF-Vorverstärker, aktive Mischung und Bandfilter. Sie lassen nur das gewünschte Empfangssignal durch und unterdrücken das Oszillatormasten.

Die Messung der Empfängerstörstrahlung erfolgt mit einem Spektrumanalysator am Antenneneingang oder mit einer Hilfsantenne am Spektrumanalysator (mit der direkte Abstrahlungen lokalisiert werden können).

## KLASSE 3 und 4



Jedes Mikrofon dient der Umwandlung von Schallwellen in elektrische Wellen (Wechselstrom oder -spannung).

**Kohlemikrofon:** Hier presst eine Membran eine Schicht aus Kohlekörnchen zusammen. Beim Besprechen ändert sich dieser Druck und der elektrische Widerstand der Kohleschicht ändert sich im Rhythmus mit der Sprache. Anwendung früher im Telefonhörer, heute veraltet.

**Kondensatormikrofon:** Eine elektrisch leitfähige Membran ist dicht vor einer Metallplatte angebracht, und zwar elektrisch isoliert. Technisch betrachtet entspricht diese Anordnung einem Plattenkondensator, der eine elektrische Kapazität besitzt. Eintreffender Schall bringt die Membran zum Schwingen, wodurch sich der Abstand der beiden Kondensatorfolien und damit die Kapazität des Kondensators verändert. Diese Kapazitätsschwankungen führen zu Spannungsschwankungen – einem elektrischen Signal. Um das Potenzialgefälle zwischen den Kondensatorplatten zu erreichen sowie zur Versorgung des Mikrofonverstärkers (Impedanzwandler), ist eine Spannungsquelle notwendig.

**Elektret-Mikrofon:** Ähnlich dem Kondensatormikrofon, nur ist hier die Polarisationsspannung in einer Kunststofffolie (Elektret) „eingefroren“. Um Störungen auf der Mikrofonleitung zu minimieren, muss direkt an der Kapsel ein Impedanzwandler (Stromverstärker mit FET) angeordnet sein. Wenn dieser Verstärker nicht fernespeist wird, befindet sich meist eine 1,5-V-Zelle im Mikrofongehäuse.

**Dynamisches Mikrofon:** Eine Membran ist mit einer beweglichen Spule verbunden. Diese taucht in das Magnetfeld eines Dauermagneten ein. Wenn sich die Spule durch das Besprechen bewegt, wird darin eine Wechselspannung induziert, die der Sprache entspricht.

**Kristallmikrofon:** Kristalle aus Turmalin und bestimmte Keramiken haben die Eigenschaft, bei mechanischer Belastung eine kleine elektrische Spannung abzugeben (Piezo-Effekt). Eine Membran wird mit dem Kristall verbunden. Beim Besprechen gibt dieser eine Spannung ab.

Kohle-, Kondensator- und Elektret-Mikrofone benötigen eine externe Stromversorgung. Dynamisches und Kristallmikrofone erzeugen das Mikrofonsignal ohne externe Stromversorgung.

## Prinzip, Arten und Kenngrößen der Einseitenbandmodulation

### KLASSE 3 und 4



Bei der Amplitudenmodulation sind 66,6% der gesamten Sendeenergie im Träger je 16,6% in den beiden Seitenbändern. Da die Information aber in jedem der beiden Seitenbänder vorhanden ist, wird sie praktisch zweimal ausgesendet (Redundanz). Mit der Einseitenbandmodulation (Single Side Band, SSB) gelingt es das Trägersignal und ein Seitenband zu unterdrücken. **Vorteile:** Die Sendeleistung des Seitenbandes kann vervielfacht werden, die Störabstände sind besser und der Bandbreitenbedarf des Senders sinkt. Je nach verwendetem Seitenband spricht man von **LSB= Lower Side Band** oder **USB= Upper Side Band**.

Amplitudenmodulation (AM):



SSB-Signal (nur USB):



Abbildung 74: Amplitudenmodulation (AM) und SSB

Es gibt zwei Verfahren, ein Einseitenbandsignal zu erzeugen:

- Bei der **Filtermethode** wird nur ein Seitenband mittels Quarzfilter durchgelassen.
- Bei der **Phasenmethode** wird das SSB-Signal über Phasenschieber-Netzwerke erzeugt.

**Kenngrößen** sind die Spitzenausgangsleistung und die Unterdrückung des Trägers bzw. des unerwünschten Seitenbandes.

## Prinzip, Arten und Kenngrößen der Pulsmodulation

Bei der Pulsmodulation werden einzelne Impulse gesendet. Die Information liegt in der Höhe (Amplitude), der Dauer, der Lage usw. der Impulse. Pulsmodulation wurde früher verwendet, um Sprache zu übertragen. Heute hat sie an Bedeutung verloren.

Die **Pulsamplitudenmodulation (PAM)** ist ein analoges Modulationsverfahren mit hoher Empfindlichkeit gegenüber Störungen. Es wurde früher bei Telefonen eingesetzt.

Bei der **Pulsdauermodulation (PDM)** schwankt die technische Größe zwischen zwei Werten. Die Frequenz bleibt gleich, nur die Breite des Impulses wird modifiziert.

Die **Pulsfrequenzmodulation (PFM)** ist die Modulation eines Rechtecksignals in seiner Periodendauer. Sie wird z. B. in der Fernmesstechnik eingesetzt.

Mittels **Puls-Code-Modulation (PCM)** werden analoge in digitale Signale umgewandelt. Das Verfahren wird auch für Videofunk verwendet. Bei der PCM wird der zu übertragende Wert der Niederfrequenz (Amplitude) digital kodiert gesendet.

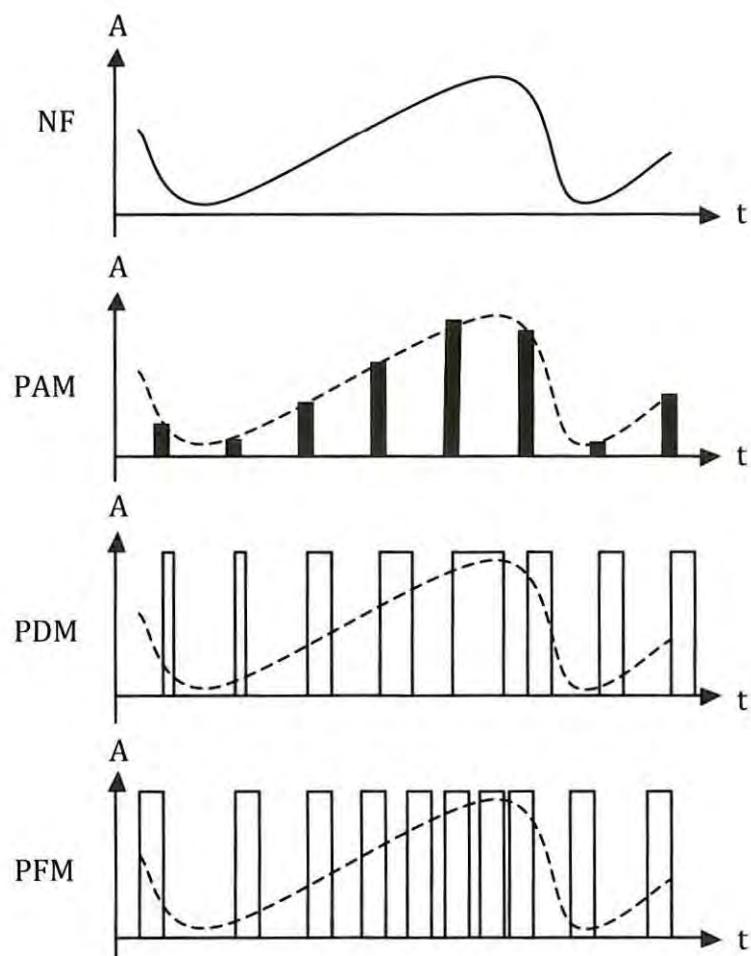


Abbildung 75: Darstellung der Pulsmodulation

Kenngrößen sind Pulssamplitude, -dauer, -phasen/-frequenzhub bzw. Codierung d.h. quantisierten Samples.

Diese Modulationsarten werden nur auf sehr hohen Frequenzen (über dem 70 cm-Band) angewendet!

47

## Erklären Sie die wichtigsten Anwendungen der digitalen Modulationsverfahren

Mit digitalen Modulationsverfahren können die eingesetzten Ressourcen besser genutzt werden. Beispielsweise können mehrere Funkverbindungen zeitgleich oder in besserer Qualität aufgebaut werden. Dabei werden im Wesentlichen drei Verfahren angewandt, nämlich Frequenzumtastung, Phasenumtastung und Quadratur-Amplitudenmodulation.

**Frequenzumtastung (frequency shift keying, FSK)** ist eine Art der Frequenzmodulation. Der Träger wird zwischen zwei fix definierten Frequenzen hin und her getastet.

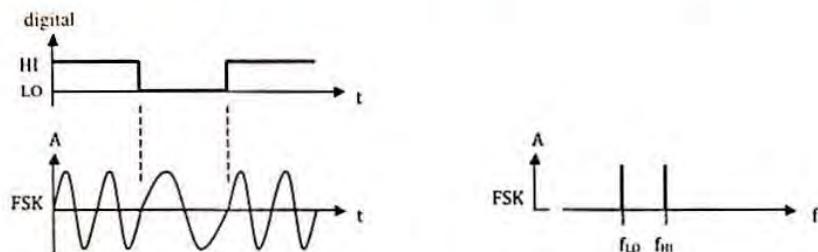


Abbildung 76: Frequenzumtastung

**Phasenumtastung (phase shift keying, PSK)** ist eine Art Phasenmodulation. Der Träger wird um 45, 90 oder 180 Grad in der Phase verschoben. Dadurch können in einer HF-Schwingung zwei oder vier digitale Zustände ausgedrückt werden.

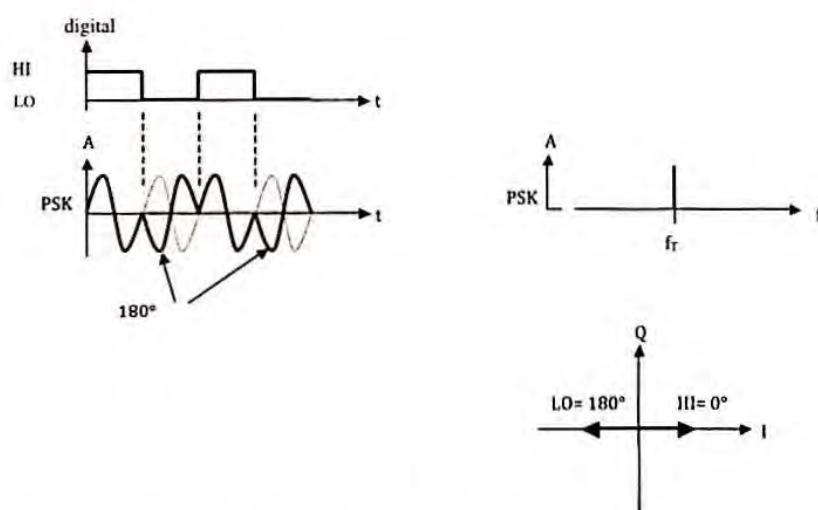


Abbildung 77: Darstellung einer PSK mit zwei Zuständen

Phasendarstellung QPSK = vier Zustände. Zwei Bit können mit einem Symbol übertragen werden.

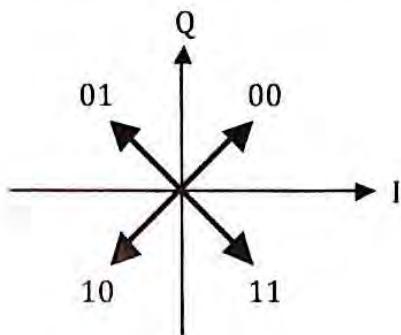


Abbildung 78: Phasendarstellung QPSK

Bei der **Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM)** wird der Träger sowohl in der Amplitude als auch in der Phase moduliert. Dadurch können noch mehr Informationen pro HF-Schwingung übertragen werden.

Phasendarstellung QAM: Drei Bit können mit einem Symbol übertragen werden.

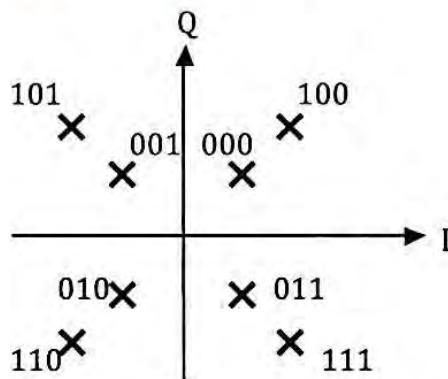


Abbildung 79: Phasendarstellung QAM

**Anwendungen:** FSK z. B. für RTTY und Packet Radio; PSK z. B. für PSK 31; QAM z. B. für digitales Fernsehen und Datenübertragung

### Zusammenfassung

- Die **Frequenzumtastung (frequency shift keying, FSK)** ist eine Art der Frequenzmodulation. Der Träger wird zwischen zwei fix definierten Frequenzen hin und her getastet.
- Die **Phasenumtastung (phase shift keying, PSK)** ist eine Art Phasenmodulation. Der Träger wird um 45, 90 oder 180 Grad in der Phase verschoben. Dadurch können in einer HF-Schwingung zwei oder vier digitale Zustände ausgedrückt werden.
- Bei der **Quadratur-Amplitudenmodulation (QAM)** wird der Träger sowohl in der Amplitude als auch in der Phase moduliert. So können noch mehr Informationen pro HF-Schwingung übertragen werden.

## Erklären Sie die Begriffe CRC und FEC

Informationen sollen beim Empfänger so ankommen, wie sie vom Sender abgestrahlt wurden. Bei digitalen Aussendungen gibt es automatisierte Prüfverfahren, die dies sicherstellen.

**CRC (cyclic redundancy check):** In einer Digitalaussendung wird eine binäre Prüfsumme für die Daten errechnet und mitgesendet. Im Empfänger wird diese neu errechnet und mit der empfangenen verglichen. Stimmt diese nicht überein, fordert der Empfänger eine Wiederholung des Datenpakets an (*automatic repeat request, ARQ*).

**FEC (forward error correction):** Bereits bei der Aussendung werden redundante Informationen mitgesendet, die eine fehlerfreie Dekodierung bzw. die Korrektur von Übertragungsfehlern beim Empfänger ermöglichen. Im einfachsten Fall wird die Information zeitversetzt noch einmal gesendet.

## Prinzip und Kenngrößen der Frequenzmodulation

Bei der Frequenzmodulation (FM) bleibt die Amplitude konstant. Die Ausgangsleistung des Senders wird nicht verändert, wohl aber die Frequenz. Aufgrund der konstanten Amplitude ist dieses Modulationsverfahren wesentlich unempfindlicher gegenüber Zündfunkenstörungen durch Blitz und Motoren.

Nimmt man ein niederfrequentes Signal und moduliert damit einen Träger konstanter Amplitude in FM, so entstehen im Zeitablauf und Frequenzbereich:

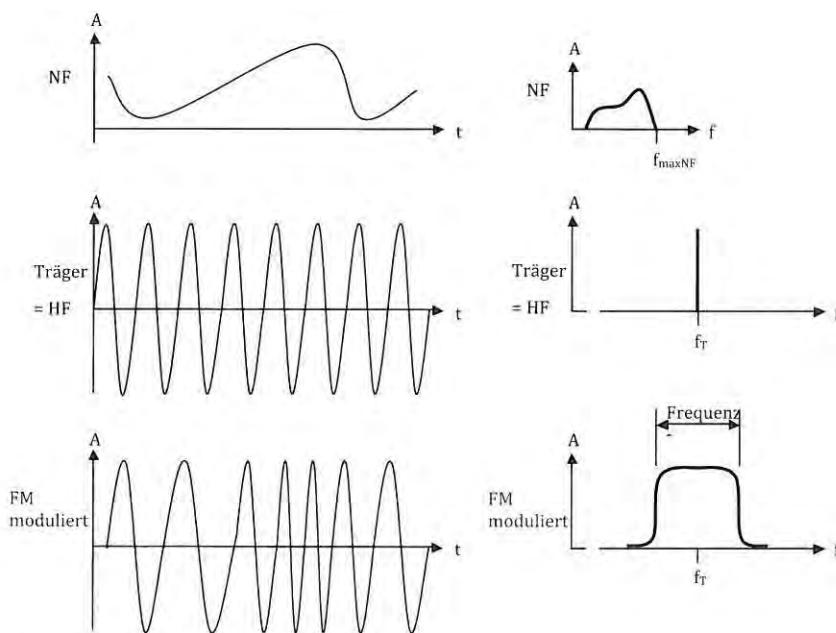


Abbildung 80: Frequenzmodulation

**Kenngrößen** der FM sind (1) Frequenzhub in kHz (belegte Bandbreite des Senders) und (2) der Modulationsindex mit der

$$\text{Formel } n = \frac{\text{Frequenzhub}}{\max \text{ NF}}$$

## KLASSE 3 und 4 !

### Zusammenfassung

- Die NF verändert die Grundfrequenz des Sende-Oszillators.
- Kenngrößen sind der Frequenzhub in kHz und der Modulationsindex.
- Die Lautstärke des Modulationssignals ergibt die Weite der Ablenkung von der Trägerfrequenz. Typisch für Amateurfunkgeräte ist ein Frequenzhub von 5 kHz. FM wird auf 2 m und 70 cm eingesetzt.

50

## Prinzip und Kenngrößen der Amplitudenmodulation

Bei der Amplitudenmodulation (AM) wird die Amplitude umgeformt, beispielsweise um Sprache (niederfrequent) über eine hochfrequente Trägerwelle zu übertragen. Die Sprache wird also auf das Ausgangssignal eines Senders moduliert.

Die Amplitude entspricht der Stärke des Ausgangssignals eines Senders (präziser: „maximale Auslenkung einer sinusförmigen Wechselgröße“).

Nimmt man ein niederfrequentes Signal und moduliert damit einen Träger konstanter Amplitude in Amplitudenmodulation, so entstehen die folgenden Diagramme im Zeitablauf und Frequenzbereich:

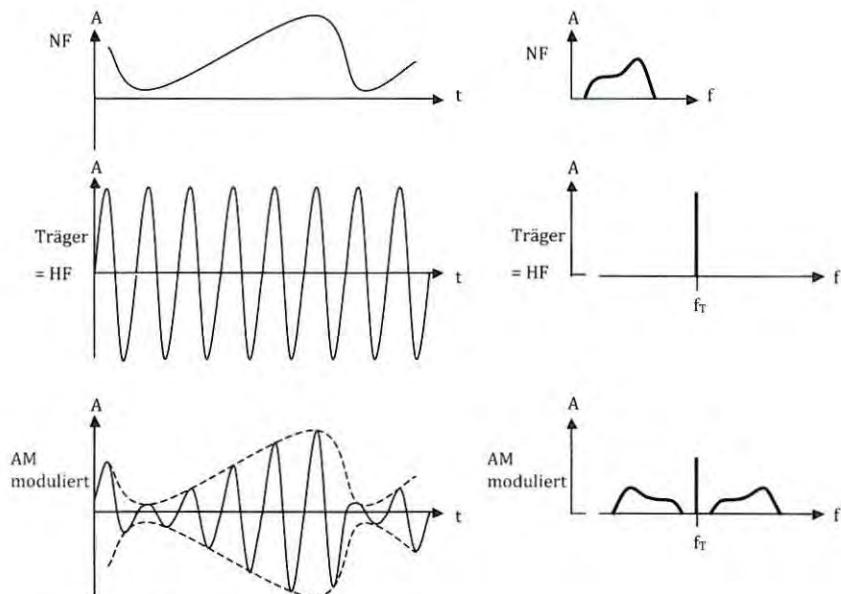


Abbildung 81: Amplitudenmodulation

## KLASSE 3 und 4



### Zusammenfassung

- Die NF verändert die Ausgangsleistung des Senders (Amplitude). Die Lautstärke des Modulationssignals ergibt die Amplitude des HF-Trägers. Die Frequenz des Modulationssignals ergibt die Bandbreite der Seitenbänder.
- Kenngröße ist der Modulationsgrad von 0 bis 100 %. Wird der Modulationsgrad von 100 % überschritten (übermoduliert), so kommt es zu Verzerrungen der ausgesendeten Signale.
- Amateurfunk auf Kurzwelle erfolgt praktisch nur mehr im SSB (bessere Nutzung von Leistung und Frequenz).

51

## Erklären Sie den Begriff Modulation (analoge und digitale Verfahren)

## KLASSE 3 und 4



Sprache hat in der Luft nur eine begrenzte Reichweite. Per Funk lässt sich Sprache über weite Strecken auf einem Trägersignal übertragen. Dazu muss die Sprache beim Sender in ein für den Funk taugliches Signal umgeformt (moduliert) werden. Beim Empfänger wird das Transportsignal wieder in Sprache zurückverwandelt (demoduliert).

Beim Funk wird als Träger ein hochfrequentes Signal verwendet. Dieses breitet sich – je nach Frequenz – sogar weltweit aus. Die Sprache liegt etwa im Bereich von 300 Hz bis 3 kHz, also im niederfrequenten Bereich.

**Modulation** ist demnach ein Vorgang, bei dem einem hochfrequenten Träger ein niederfrequentes Signal aufgeprägt wird.

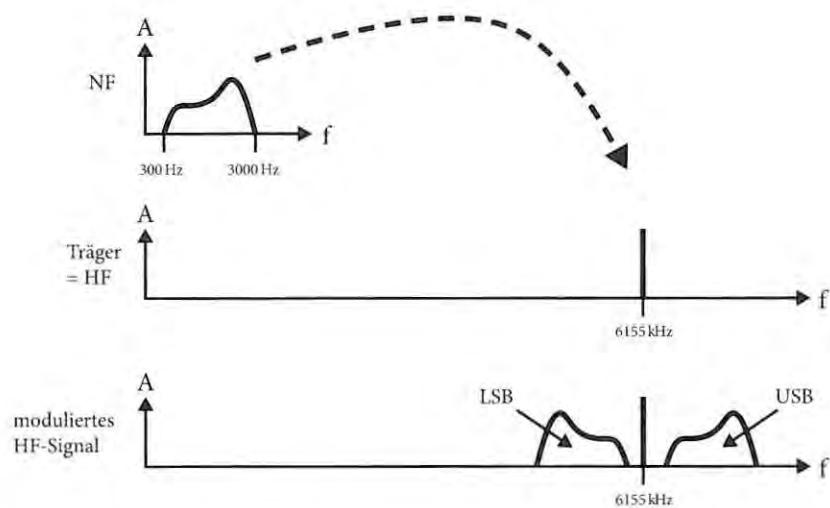


Abbildung 82: Beispiel: Modulation auf 6155 kHz

Der Modulationsvorgang ist mathematisch gesehen eine Multiplikation.  
Multipliziert man zwei Cosinus-Signale, so ergibt sich rechnerisch

$$\begin{array}{l} \cos a \times \cos b = \frac{1}{2} \times [\cos(a-b) + \cos(a+b)] \\ \text{Träger} \quad \text{NF-Signal} \quad \text{Träger - NF} \quad \text{Träger + NF} \end{array}$$

Es entstehen also mit der Modulation zwei „neue“ Frequenzen:

- Träger - NF
- Träger + NF

Zwei Fachbegriffe kommen immer wieder vor (siehe auch Frage 45):

- LSB, *lower side band* („neue“ Frequenzen, die kleiner als der Träger sind)
- USB, *upper side band* („neue“ Frequenzen, die höher als der Träger sind)

Wenn anstatt Sprache digitale Signale (0/1, HI/LO ...) übertragen werden, so spricht man von digitaler Modulation.

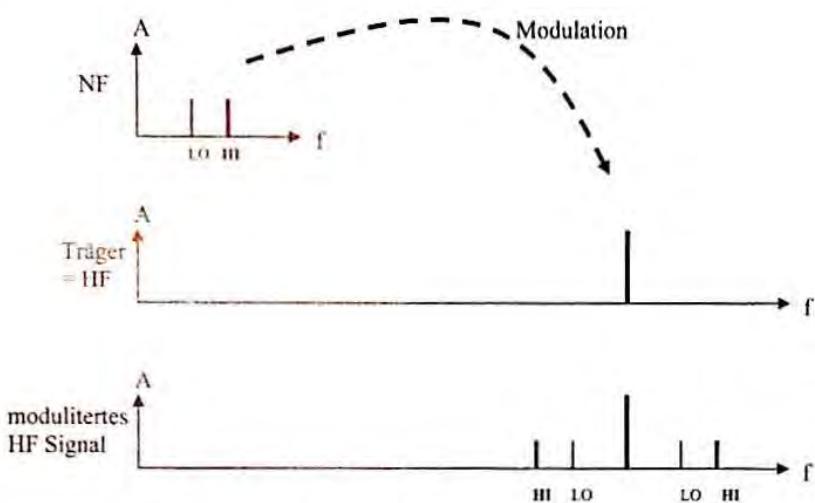


Abbildung 83: Beispiel Funkfernenschreiben (*radio teletype RTTY*)

- HI ... z. B. Signal (Strom)  
LO... z. B. kein Signal (kein Strom)

### Zusammenfassung

- Modulation ist ein Vorgang, bei dem einem hochfrequenten Träger ein niederfrequentes Signal aufgeprägt wird.
- Wenn das niederfrequente Signal jeden Zwischenwert zwischen höchstem und niedrigstem Pegel annehmen kann, spricht man von analoger Modulation (Sprache, Musik).
- Wenn das niederfrequente Signal nur zwei Zustände kennt, spricht man von digitaler Modulation (Fernschreiben, Datenübertragung).

## KLASSE 3 und 4



### Begriffe

Als **Analogsignal** wird ein Signal bezeichnet, wenn dessen Augenblickswert kontinuierlich jeden Wert stufenlos zwischen einem Minimum und einem Maximum annehmen kann, z. B. Sinussignal.

Ein **Digitalsignal** hat gestufte Werte (etwa 0 und 1) und ändert seinen Zustand nur zu definierten Zeitpunkten, z. B. Rechtecksignal. Siehe Frage 7.

**KLASSE 3 und 4**

Ein Oszillator ist eine Schaltung, die Wechselspannung für die Signalverarbeitung erzeugt. Ein Oszillator benötigt ein frequenzbestimmendes Bauteil, meist einen Schwingkreis (oder einen Quarz) und einen Verstärker, der per Rückkopplung einen Teil des verstärkten Signals in den Schwingkreis zurückführen kann. Bekannte Oszillatortypen sind: Meißner, Clapp, Hartley, Colpitts und Huth-Kühn.

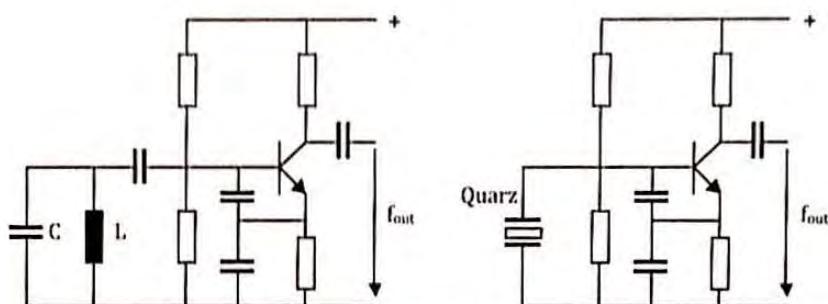


Abbildung 84: Colpitts Oszillator; Colpitts Quarz-Oszillator

Wird anstelle eines Schwingkreises ein Quarz mit seiner hohen Güte und Temperaturstabilität eingesetzt, bekommt man wesentlich stabilere Oszillatorkräfte. Um den Temperatureinfluss des Quarzes zu eliminieren, wird der Quarz auf konstante Temperatur gehalten. Man spricht von temperaturkompensierten Oszillatoren (*temperature compensated chrystral oscillators, TCXO*).

**Erklären Sie den Begriff VCO**

Oszillatoren erzeugen Schwingungen. (Siehe auch Frage 50). VCO steht für *voltage controlled oscillator* = spannungsgesteuerter Oszillator.

Der frequenzbestimmenden Kombination aus Spule (L) und Kondensator (C) eines Oszillators wird eine Kapazitätsdiode (D) hinzugeschaltet. An diese Diode wird eine variable Gleichspannung ( $U_{VCO}$ ) angeschlossen.

Bei jeder Diode verhält sich die Sperrsicht wie ein Kondensator: Je höher die Spannung in Sperrrichtung ist, desto geringer ist die Kapazität (Sperrsicht wird dicker, „Plattenabstand“ größer).

Damit verändert die Kapazitätsdiode je nach angelegter Spannung ihre Kapazität und auch die Ausgangsfrequenz des Oszillators wird entsprechend verändert.

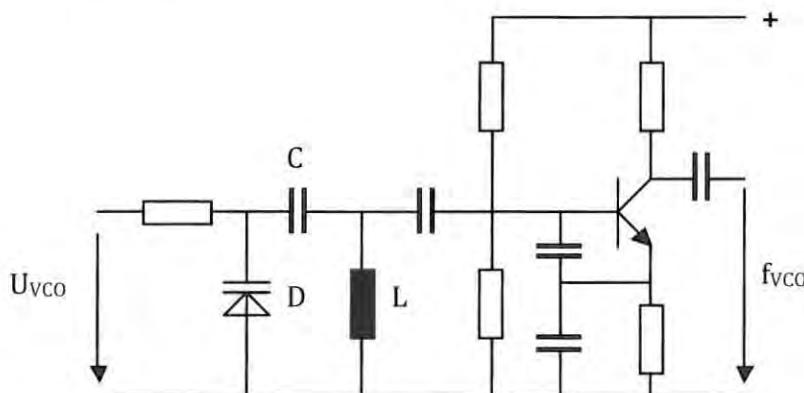


Abbildung 85: Schaltung eines Colpitts-VCO

54

### Erklären Sie den Begriff PLL

Als PLL (*phase lock loop*) wird eine phasenverriegelte Schleife bezeichnet. Dabei wird aus einer hochkonstanten Referenzfrequenz (z. B. 1 MHz) ein Vielfaches (z. B. 144 MHz erzeugt). Der Vorteil: Es sind keine mechanischen Veränderungen an den Bauteilen erforderlich, denn die Steuerung erfolgt elektronisch.

Die Ausgangsfrequenz eines VCO (siehe Frage 53) wird über einen Frequenzteiler einem Phasenvergleicher zugeführt. Die Referenzfrequenz des Phasenvergleichers bildet meist ein Quarzoszillator.

Am Ausgang des Phasenvergleichers steht eine veränderliche Gleichspannung zur Verfügung, die die Kapazitätsdiode des Oszillators steuert.

Somit entsteht ein geschlossener Regelkreis, der die Oszillatorkreisfrequenz stets auf den Sollwert nachstimmt.

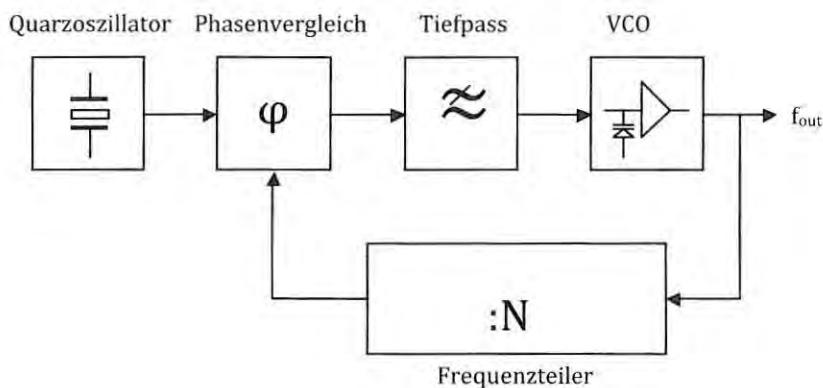


Abbildung 86: PLL

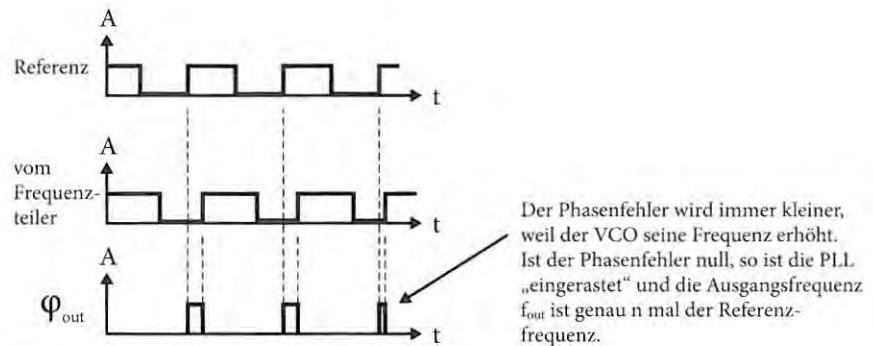


Abbildung 87: Phasenvergleich

Das Ausgangssignal des Phasenvergleichers wird mittels Tiefpass in eine konstante Gleichspannung für den VCO aufbereitet. Das Ausgangssignal des VCO ist ein quarzstabiles Signal auf wesentlich höheren Frequenzen, als man es mit Quarzen erzeugen könnte. Durch Ändern des Teilungsverhältnisses des Frequenzteilers kann die PLL auf die gewünschte Frequenz abgestimmt werden.

Moderne Funkgeräte verwenden DDS (*direct digital synthesizer*) anstatt der PLL.

### Zusammenfassung

- Die Ausgangsfrequenz eines VCO wird über einen Frequenzteiler einem Phasenvergleicher zugeführt. Die Referenzfrequenz des Phasenvergleichers bildet meist ein Quarzoszillator.
- Am Ausgang des Phasenvergleichers steht eine veränderliche Gleichspannung zur Verfügung, die die Kapazitätsdiode des Oszillators steuert.
- Somit entsteht ein geschlossener Regelkreis, der die Oszillatorkreisfrequenz stets auf den Sollwert nachstimmt.

## Erklären Sie den Begriff DSP (*digital signal processing*)

Mit Hilfe der Prozessortechnik können viele Aufgaben in Sendern und Empfängern, wie Modulation und Demodulation, Verstärkung, Filterung, Rauschunterdrückung u. a. m., erfüllt werden. Das kann in der HF-, ZF- oder NF-Ebene erfolgen.

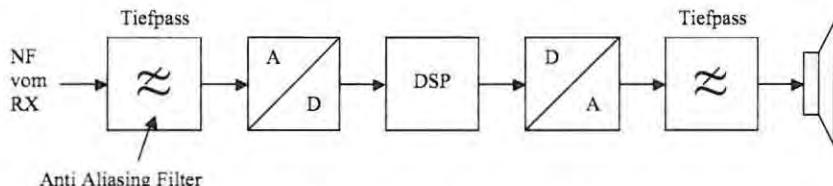


Abbildung 88: Beispiel: DSP zur Verbesserung der NF Wiedergabe beim Kurzwellenempfang

Das zu verarbeitende analoge Signal wird auf seinen Amplitudenwert hin abgetastet und gespeichert (**Sampling**). Die Abtastung hat nach dem Abtasttheorem von Shannon/Nyquist mindestens mit der doppelten Frequenz zu erfolgen.

**Anti-Aliasing-Filter** vor dieser Abtastung (A/D) dienen dazu, das Ausgangssignal von Fehlinterpretationen durch die Signalabtastung zu befreien.

Mit dem Signalprozessor (**DSP**) wird die gewünschte analoge Funktion (Demodulation, Filter, Rauschunterdrückung etc.) nachgebildet. Der Vorteil: Es ist kein eigener Bauteil erforderlich.

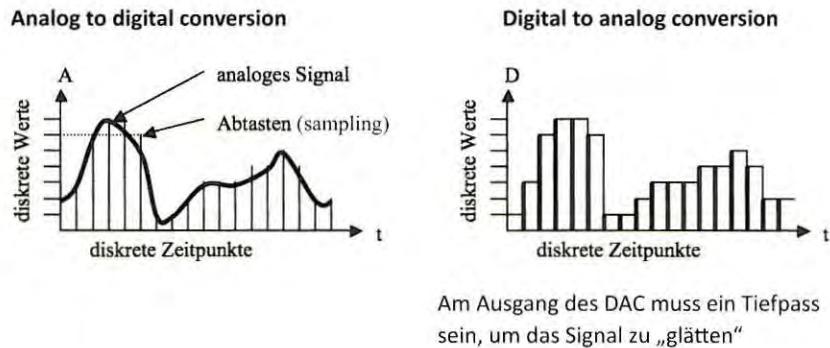
Anschließend muss das digitale Ergebnis noch durch einen **Digital Analog Converter** (D/A) in ein analoges Signal zurückgewandelt werden. Ein nachfolgender Tiefpass unterdrückt Störungen aus dem Digital Analog Converter.

## *Sampling, Anti-Aliasing-Filter und ADC/DAC*

**Sampling** bedeutet Abtastung. Das zu digitalisierende Signal wird mit einer bestimmten Frequenz auf seinen Amplitudenwert abgetastet und zur weiteren Verarbeitung gespeichert.

**Anti-Aliasing-Filter:** Ist die Eingangsfrequenz höher als die halbe Abtastfrequenz, entstehen bei der Abtastung unerwünschte „Alias-“Signale. Daher wird durch ein Tiefpassfilter am Eingang sichergestellt, dass Frequenzen, die höher sind, unterdrückt werden.

**ADC/DAC:** *analog digital converter bzw. digital analog converter.*



Am Ausgang des DAC muss ein Tiefpass sein, um das Signal zu „glätten“

57

## Merkmale, Komponenten, Baugruppen eines Senders

### KLASSE 3 und 4 !

Ein einfacher **FM-Sender** besteht aus: Oszillator, Modulator, Pufferstufe, Frequenzvervielfacher, Treiber (Verstärker), Endstufe.

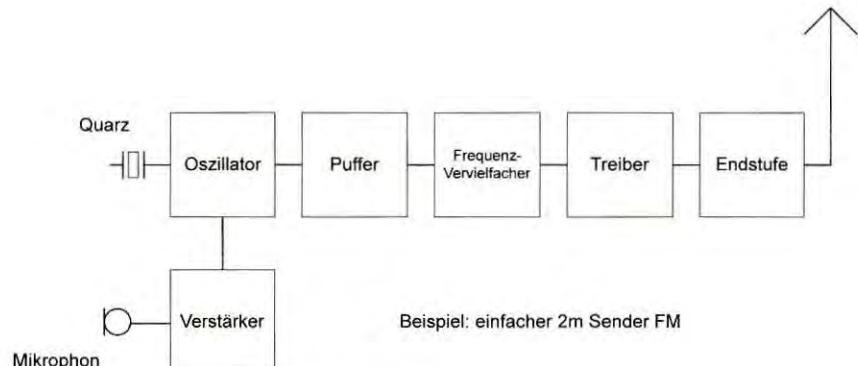


Abbildung 89: Einfacher FM-Sender (2 m)

1. Das Oszillator-Signal wird vom Modulator in seiner Frequenz moduliert.
2. Über die Puffer-Stufe gelangt das Signal zum Frequenzvervielfacher, der die gewünschte Sende-Frequenz erzeugt.
3. Das Signal wird in der Treiber- und Endstufe verstärkt.
4. Die Aussendung erfolgt schließlich über die Antenne.

In dieser einfachen Bauart werden praktisch nur mehr billige UKW-Sender gefertigt.

Ein **SSB-Sender** besteht aus: Oszillator, Modulator, Balance-Modulator, Mischstufe, Filter, Treiber, Endstufe, Antennenanpassung.  
 Abbildung 90: KW-Sender für USB

1. Das Signal des Quarz-Oszillators wird im Balance-Modulator mit dem NF-Signal zu einer Zwischenfrequenz gemischt.
2. Durch das Quarzfilter wird ein Seitenband eliminiert.
3. Das gleichzeitig erzeugte SSB-Signal wird mittels Mischer und den VFO auf die Sendefrequenz hochgemischt.
4. Treiber und Endstufe verstärken das Signal.
5. Das Signal durchläuft die Antennenanpassung und wird über die Antenne abgestrahlt.

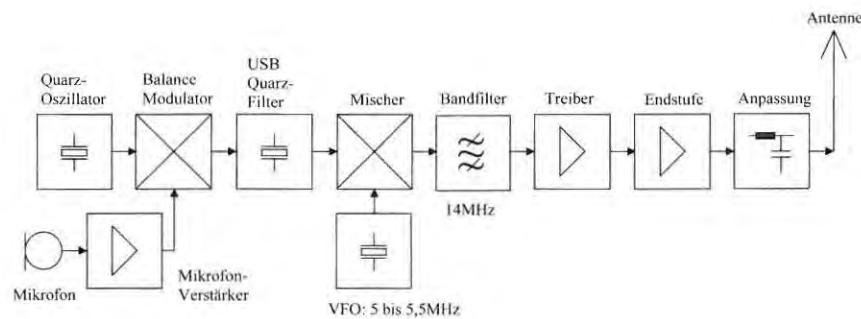


Abbildung 91: KW-Sender für USB

58

## Zweck und Aufbau von Puffer- und Vervielfacherstufen

Eine **Pufferstufe** entkoppelt einen Oszillator von den nachfolgenden Stufen. Sie ist meist als sehr schwach gekoppelter Verstärker aufgebaut.

Anders die Wirkung eines **Vervielfachers**. Eine stark übersteuerte Verstärkerstufe erzeugt viele Oberwellen. Am Ausgang filtert ein Resonanzkreis die gewünschte Oberwelle aus und unterdrückt die anderen Oberwellen und die Grundwelle.

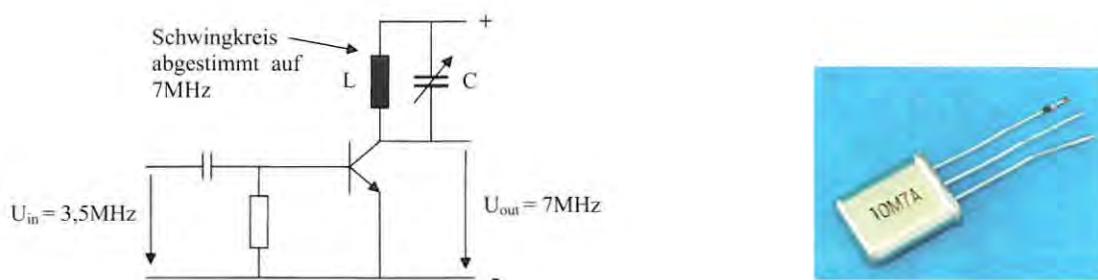


Abbildung 92: Schaltung einer Vervielfacherstufe, um mit einem Eingangssignal im 80 m-Band ein Ausgangssignal im 40 m-Band zu erzeugen

## Aufbau einer Senderendstufe und Wirkung einer Leistungsauskopplung

Die **Senderendstufe** verstärkt das Signal auf die erwünschte/geforderte Sendeausgangsleistung. Dabei können die verstärkenden Elemente (Röhren oder Transistoren) einzeln, parallel oder in Gegentakt betrieben werden.

Mit Hilfe der **Leistungsauskopplung** (= Ausgangsanpassung) wird der Hochfrequenzwiderstand der verstärkenden Elemente auf den Normwiderstand der Senderschnittstelle transformiert (heute typisch 50 Ohm). Damit ist optimale Leistungsabgabe an die Antennenleitung sichergestellt.

Das folgende Tiefpassfilter dient der Oberwellenunterdrückung.

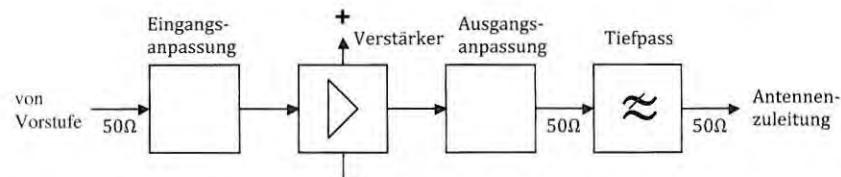


Abbildung 93: Senderendstufe

## Anpassung eines Senderausgangs an eine symmetrische oder unsymmetrische Antennenspeiseleitung

Die Leistungsübertragung ist optimal, wenn Senderschnittstelle und Antennenspeiseleitung beim Wellenwiderstand und/oder den Symmetrieeigenschaften übereinstimmen.

Weichen diese Kenngrößen voneinander ab, dann muss transformiert (Wellenwiderstand, Anpassung) und/oder mittels Balun (siehe Frage 63) symmetriert werden, da sonst kein optimaler Leistungsfluss möglich ist oder Mantelwellen auftreten. In kombinierter Form erfolgt dieser Vorgang durch ein Anpassgerät mit Balun-Funktion.

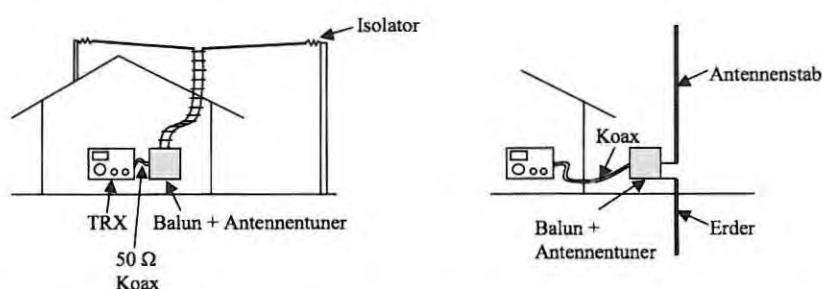


Abbildung 94: Anpassung an symmetrische Antenne; an unsymmetrische Antenne

## Wirkungsweise, Beispiele und Skizze eines Antennentuners

### KLASSE 3 und 4 !

Der „echte“ Antennentuner (zur Impedanzanpassung) sitzt idealerweise unmittelbar an der Antennenschnittstelle und dient zur Resonanzabstimmung der Antenne.

Häufig wird jedoch ein Anpassgerät an der Schnittstelle von Senderausgang und Antennenkabel verwendet, um dem Sender den geforderten Nennwiderstand (heute meistens  $50\text{ Ohm}$ ) anzubieten und so die geforderte Nennleistung des Senders zu erhalten.

Bei Fehlanpassung ohne Verwendung eines Anpassgerätes regelt die Schutzschaltung moderner Sender sicherheitshalber die Sendeleistung zurück.

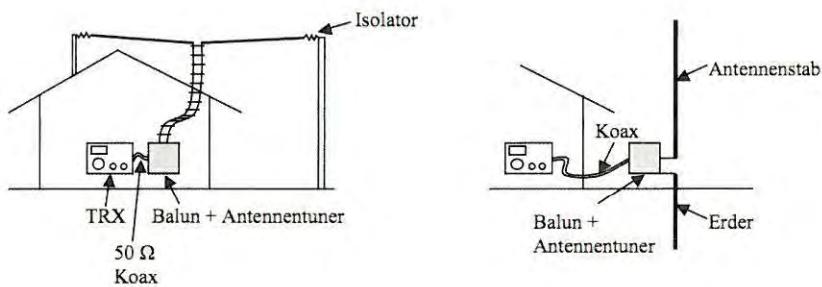


Abbildung 95: Anpassung an symmetrische Antenne; Anpassung an unsymmetrische Antenne

## Aufbau und Kenngrößen von Antennenzuleitungen

**Symmetrische Speiseleitungen** sind Bandkabel und Paralleldrahtleitung.



Aufbau: zwei Leiter und isolierende Abstandshalter

**Unsymmetrische Speiseleitungen** sind Koaxialkabel.



Aufbau: Innenleiter, Dielektrikum, Außenleiter, Isolation

Im GHz-Bereich kann HF-Energie sehr verlustarm durch rechteckige oder runde Rohre ohne einen weiteren Innenleiter transportiert werden (**Hohlleiter**). Der Querschnitt muss in einem bestimmten Zusammenhang zur Wellenlänge stehen. Material: Kupfer, Aluminium und versilberte Werkstoffe.



**Kenngrößen:** Impedanz (Wellenwiderstand), Dämpfung (frequenzabhängig, längenabhängig), Verkürzungsfaktor, Belastbarkeit. Mechanische Kenngrößen wie kleinster Krümmungsradius, mechanische Belastbarkeit usw.

Für einfach geschirmte Koaxialkabel gilt der fünffache Kabeldurchmesser, bei doppelt geschirmten der zehnfache als kleinster Krümmungsradius.

## Begriff, Aufbau, Verwendung und Wirkungsweise eines Baluns

Ein Balun ist ein Bauteil. Er kann eine *symmetrische* Last an eine *unsymmetrische* Last anpassen und umgekehrt. Eine typische Verwendung ist an der Schnittstelle einer unsymmetrischen Antennenleitung (Koaxialkabel) und symmetrischen Antennenformen (z. B. Dipol).

Der Name ist ein Kunstwort aus dem Englischen: *balanced to unbalanced*.

Wird nicht symmetriert, dann treten am Koaxialkabel sog. „Mantelwellen“ auf. Dadurch geht die Schirmwirkung des Koaxialkabels teilweise oder gänzlich verloren. Das Kabel beginnt selbst zu strahlen und wirkt als Antenne. Besonders bei Kabelführung innerhalb von Gebäuden kann dies leicht zu Störungen (*television interference, TVI*; *broadcast interference, BCI*) führen.

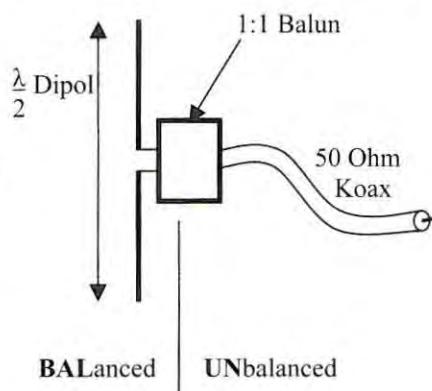


Abbildung 96: Balun

## Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Dipolen

Der Dipol ist eine Antenne, die aus zwei gleich langen Leiterhälften besteht.

Bei einer elektrischen Gesamtlänge von einer halben Wellenlänge ( $\frac{\lambda}{2}$ )

spricht man von einem Halbwelldipol. Wird dieser mittig angespeist, zeigt sich ein Wellenwiderstand um 50 Ohm, sodass eine symmetrische Anspeisung mit herkömmlichem Koaxialkabel bei Verwendung eines 1:1-Baluns leicht möglich ist.

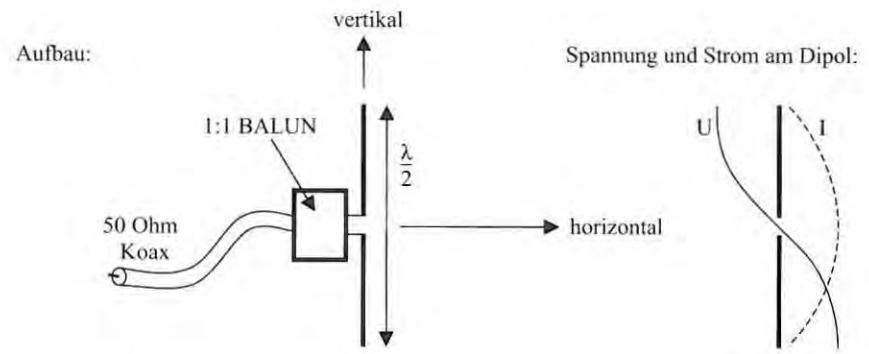


Abbildung 97: Balun

Das Strahlungsdiagramm dieses Halbwellendipols hat die Form einer Acht, d. h., es treten quer zur Antennenausrichtung zwei Strahlungsmaxima auf, in Antennenausrichtung hingegen zwei Minima.

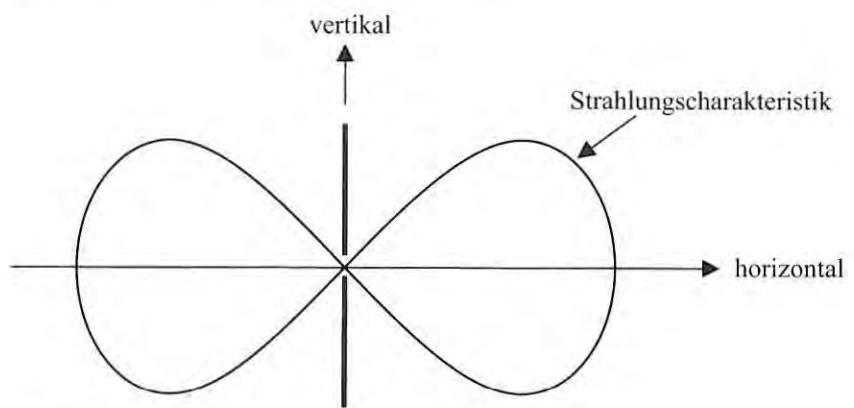


Abbildung 98: Strahlungscharakteristik

**Formen:** Im Amateurfunk werden häufig gestreckte Drahdipole und abgewinkelte Dipole (*inverted vee*) verwendet.

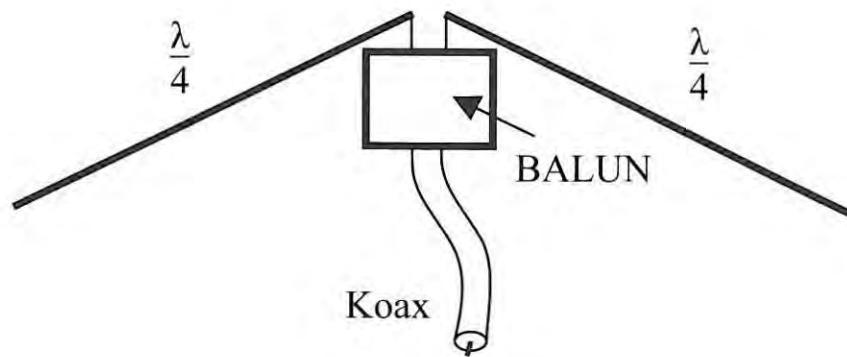


Abbildung 99: Inverted Vee

## KLASSE 3 und 4



**Kenngrößen:** Resonanzfrequenz, Gewinn, vertikaler und horizontaler Öffnungswinkel, Polarisation (vertikal oder horizontal), Bandbreite, mechanische Länge. Siehe auch Frage 77.

## Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Vertikalantennen

65

### KLASSE 3 und 4



Vertikalantennen sind senkrecht zur Erdoberfläche angeordnete Antennen, die dadurch zu einer vertikalen Polarisation führen.

Verbreitet ist die Verwendung von Viertelwellenstrahlern, bei der die zum Halbwellendipol fehlende Strahlerhälfte durch ein Erdnetz oder durch sog. Radials simuliert wird. Im Resonanzfall ergibt sich ein Strahlungswiderstand von etwa 30 Ohm. Die horizontale Antennencharakteristik ergibt einen Rundstrahler, die vertikale Charakteristik ist stark von den umgebenden Bodeneigenschaften abhängig.

Vertikalantennen werden typischerweise als Mobilantennen (Peitschenantennen) verwendet, wobei das Fahrzeugchassis das erforderliche Gegengewicht darstellt.

**Kenngrößen:** Resonanzfrequenz, Gewinn (Wirkungsgrad), vertikaler Abstrahlwinkel und Bandbreite. Siehe auch Frage 77.

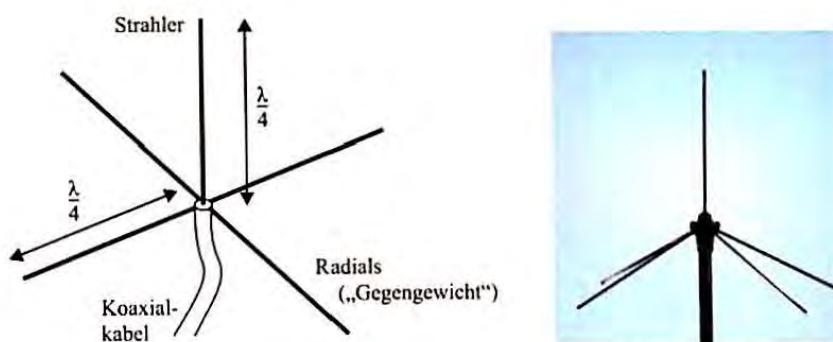


Abbildung 100: Vertikaler  $\lambda/4$  Strahler mit Radials = Groundplane; praktische Realisierung (Quelle: David Jordan)

Weitere vertikale Antennenformen sind die J-Antenne (mit entsprechender Form), die Sperrtopfantenne oder 5/8- $\lambda$ -Antenne.

## **KLASSE 3 und 4**

!

Mobilantennen sind meist als Vertikalantennen ausgeführt.  
Der **Montageort** ist häufig am Dach oder Kotflügel des KFZ, jedenfalls an gut leitfähiger Metallfläche.

**Kenngrößen:** Resonanzfrequenz, Gewinn (Wirkungsgrad), vertikaler Abstrahlwinkel und Bandbreite, maximal zulässige Sendeleistung. Siehe auch Frage 77.

**66**

## **Gekoppelte Antennen – Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften**

### **KLASSE 3 und 4**

!

Mehrere Dipole können über Koppelleitungen so verbunden werden, dass alle Dipole die gleiche Abstrahlphase besitzen. Dadurch entsteht die sehr leistungsfähige Gruppenantenne mit ausgeprägter Richtwirkung.

Der Gewinn verdoppelt sich (+3 dB) mit jeder Verdoppelung der Dipolanzahl. Ein Reflektor hinter dieser Gruppenantenne erhöht den Gewinn weiter.

**Kenngrößen:** Resonanzfrequenz, Gewinn, vertikaler und horizontaler Öffnungswinkel, Rückwärts- und Seitwärtsdämpfung und Nebenkeulen. Siehe auch Frage 77.



Abbildung 101: Gruppenantenne für EME-Verbindungen  
(Quelle: Wikipedia Charly Whisky)

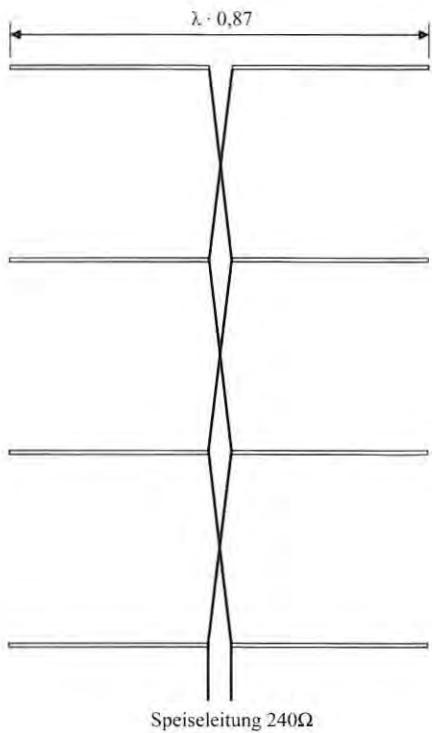


Abbildung 102: Gekoppelte Antenne

## Strahlungsdiagramme von Antennen

67

Das Strahlungsdiagramm einer Antenne zeigt die räumliche Verteilung des abgestrahlten Feldes um die Antenne („Energiedichte-Verteilung“).

Beim terrestrischen Funk stellt die Erdoberfläche die Bezugsfläche dar. Das räumliche Diagramm kann meist ausreichend durch das **Horizontaldiagramm** (Strahlungsverteilung parallel zur Erdoberfläche) und das **Vertikaldiagramm** (Strahlungsverteilung senkrecht zur Erdoberfläche) charakterisiert werden.

Die wichtigsten **Kenngrößen** eines Strahlungsdiagrammes sind vertikaler Erhebungs-/Abstrahlwinkel, horizontaler Öffnungswinkel („3 dB-Winkel“), Hauptkeule(n)/Nebenkeulen und Vor-Rückwärts-Verhältnis. Siehe auch Frage 77.

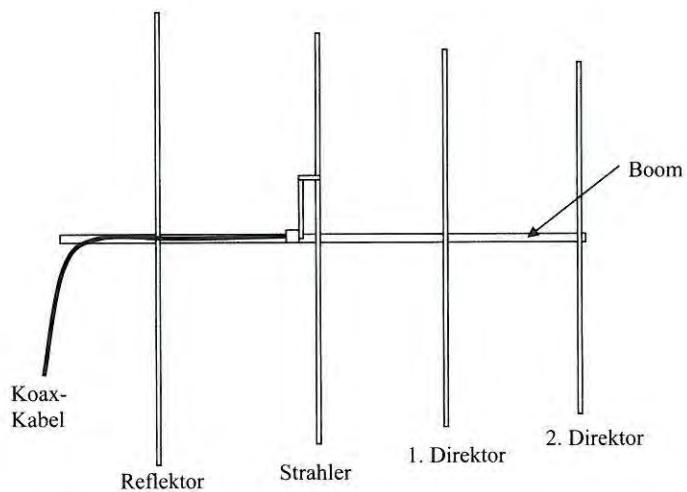


Abbildung 103: Aufbau einer 4-Element-Yagi-Antenne

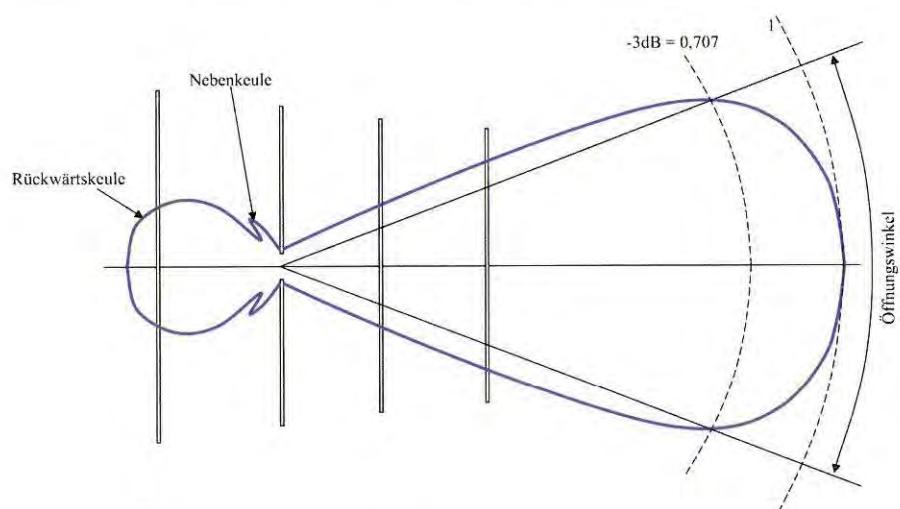


Abbildung 104: Horizontaldiagramm

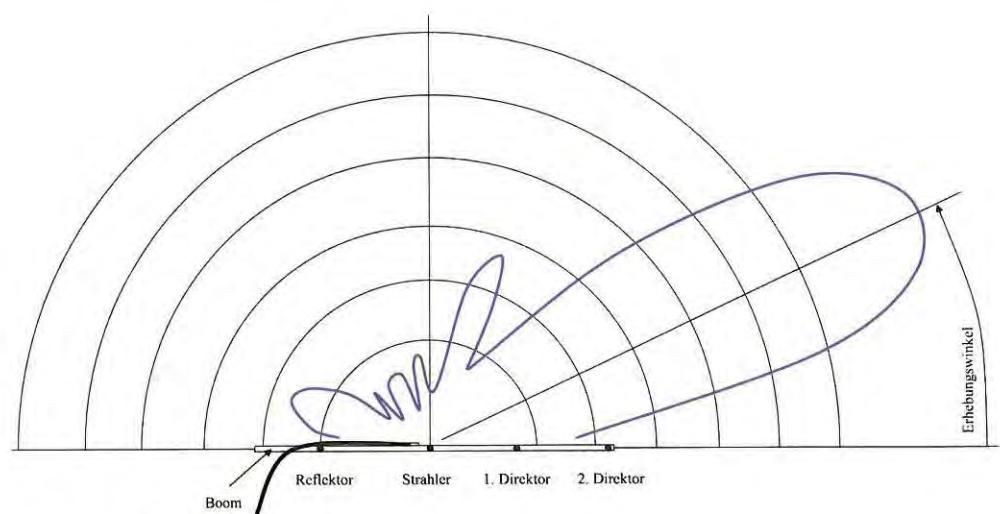


Abbildung 105: Vertikaldiagramm

## Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Yagi-Antennen

### KLASSE 3 und 4



Wird ein aktiv gespeister resonanter Halbwelldipol durch zwei oder mehrere Halbwellenstrahler ergänzt, dann spricht man von einer Yagi-Antenne. Sie wirkt nur in eine Richtung.

Während in Richtung des Reflektors die Welle gedämpft wird („Rückdämpfung“), wird sie in Richtung des oder der Direktoren verstärkt. Je mehr Direktoren, desto größer die Richtwirkung. Diese Richtwirkung lässt sich bis etwa 18dB steigern.

**Kenngrößen:** Resonanzfrequenz, Gewinn (in dB), horizontaler Öffnungswinkel („3dB-Öffnungswinkel“), Rückwärts- und Seitwärtsdämpfung und Nebenkeulen. Siehe auch Frage 77.

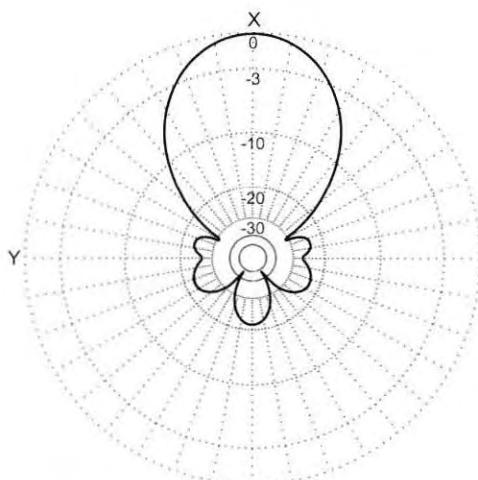
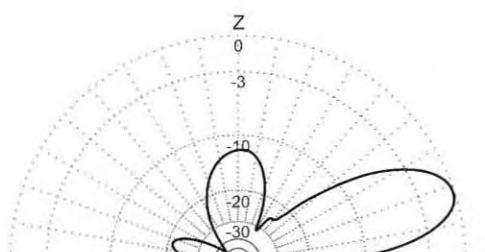


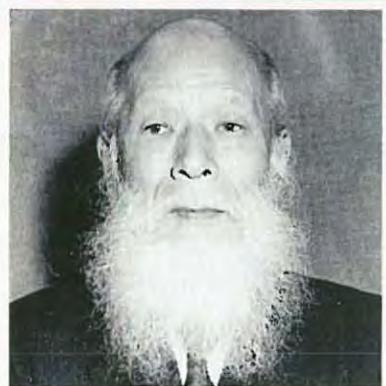
Abbildung 106: Horizontaldiagramm einer Yagi-Antenne  
(Quelle: Dimitri Aguero)



Ga: 14.87 dBi = 0 dB (Horizontal polarization)  
F/B: 20.99 dB; Rear: Azim. 120 dg, Elev. 60 dg  
Freq: 28.500 MHz  
Z: 36.482 + j1.287 Ohm  
SWR: 1.4 (50.0 Ohm), 16.4 (600 Ohm)  
Elev: 18.3 dg (Real GND :7.00 m height)

Abbildung 107: Vertikaldiagramm einer Yagi-Antenne  
(Quelle: Dimitri Aguero)

### WISSEN-KOMPAKT



Shintaro Uda und Hidetsugu Yagi (Foto) entwickelten die Yagi-Uda-Antenne in den 1920er Jahren. Im Zweiten Weltkrieg wurde sie beim Radar eingesetzt. Mit ihr wurde auch die Explosionshöhe der Hiroshima-Bombe bestimmt. In seinem Meisterwerk „Fahrenheit 451“ hat François Truffaut der alten Fernsehantenne ein filmisches Denkmal gesetzt.



Abbildung 108: VHF-/UHF-Yagi-Antenne

Der Öffnungswinkel wird beim -3 dB Wert (0,707 fache) der Strahlungskeule gemessen. Man erkennt, dass der Reflektor die nach hinten gerichtete Abstrahlung nicht völlig verhindern kann.



Abbildung 109: Drei-Element-Yagi-Antenne für Kurzwelle

Die Hauptstrahlrichtung ist vom Strahler in Richtung Direktoren. Der Strahler kann als  $\lambda/2$ -Dipol oder auch als Faltdipol ausgeführt sein. Je mehr Elemente, desto höher der Gewinn und desto kleiner der Öffnungswinkel.

## Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Breitbandantennen

Bei Breitbandantennen ändern sich innerhalb eines definierten Frequenzbereiches die Antenneneigenschaften nicht wesentlich. Dabei steht vor allem der **Fußpunktwiderstand** (Anschlusswiderstand) im Vordergrund.

Je nach Bauformen und Aufwand sind **Bandbreiten** von 1:2 bis über 1:10 erzielbar.

Das breitbandigen Verhaltens lässt sich durch die folgenden Maßnahmen erzielen:

- dicke Antennenelemente in Rohr- oder Reusenform (mechanische Grenzen!)
- Bedämpfung der Antennen, um annähernd linearen Stromverteilung herbeizuführen (dabei Verluste bis 50 % zu Gunsten der Breitbandigkeit)
- aufwendige geometrische Bauformen wie z. B. logarithmisch-periodische Antennen (LP).

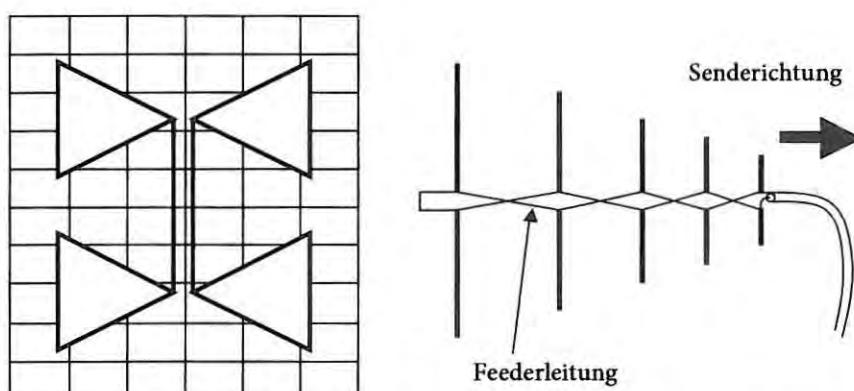


Abbildung 110: Breitbandantenne vor Reflektorwand; Logarithmisch periodische Antenne

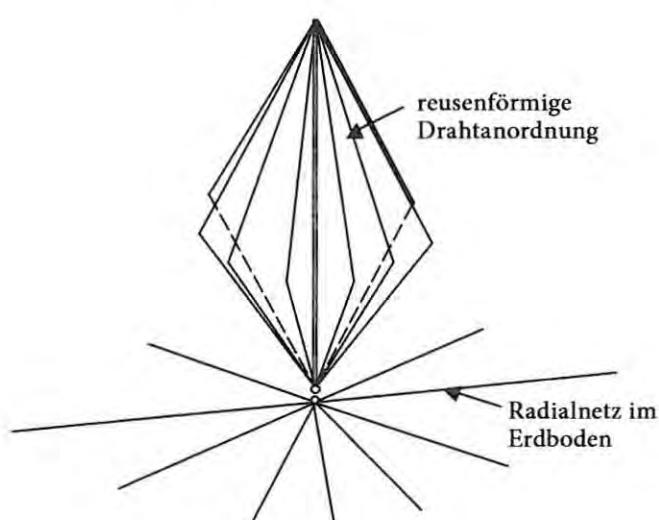


Abbildung 111: Reusenantenne

### KLASSE 3 und 4



Wird hinter einem Strahler eine parabolförmige Reflektorwand angebracht, dann ergibt diese Kombination eine sehr ausgeprägte Richtwirkung. Dabei befindet sich der Strahler im Brennpunkt des Parabolas. Gewinne deutlich über 30 dB bei ausgeprägter Rückwärtsdämpfung sind möglich.

**Kenngrößen:** Gewinn, (3 dB) Öffnungswinkel der Hauptkeule, Rückdämpfung, Nebenkeulen und Flächenwirkungsgrad. Siehe auch Frage 77.

Bei Sat-Antennen wird eine asymmetrische Spiegelanordnung verwendet (Offset-Antennen).

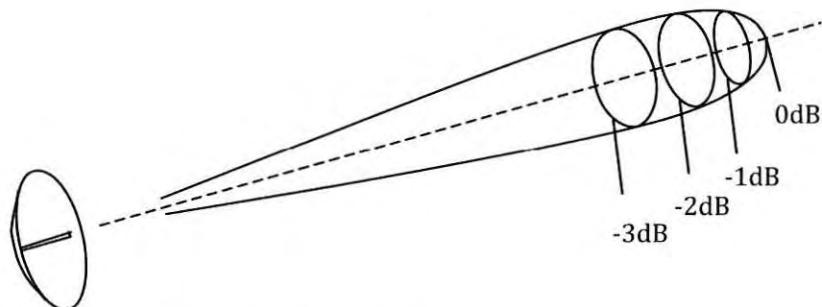


Abbildung 112: Parabolantenne

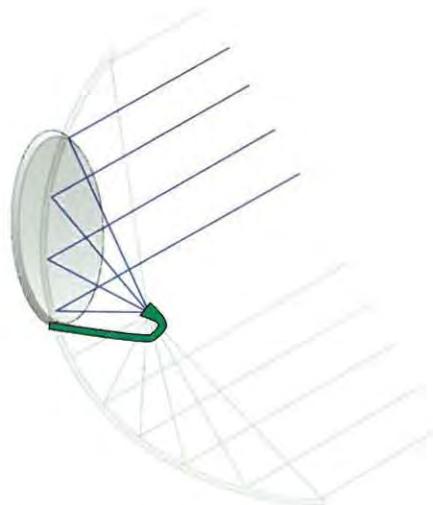


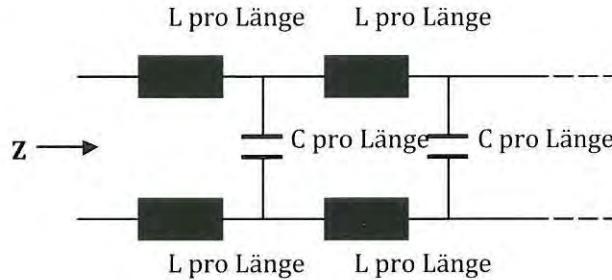
Abbildung 113: Off-set Parabolantenne

## Wellenwiderstand

Unter dem Wellenwiderstand versteht man die Kenngröße einer Leitung, die angibt, mit welchem ohmschen Widerstand eine Leitung abgeschlossen werden müsste, damit Anpassung herrscht.

Er ist eine charakteristische Kenngröße für hochfrequente Leitungen und vom L- und C-Belag (Spule und Kondensator) der Leitung abhängig (Induktivität pro Länge bzw. Kapazität pro Länge).

Ideales Ersatzschaltbild:



Formel Wellenwiderstand:  $Z = \sqrt{\frac{L \text{ pro Länge}}{C \text{ pro Länge}}}$

### KLASSE 3 und 4



Der **Wellenwiderstand** ist von der Länge der Leitung unabhängig. Gängige Wellenwiderstände von Koaxialkabeln sind:  $Z = 50$  (Amateurfunk) oder  $75 \Omega$  (Hausinstallation). Dabei wird die Impedanz vom Durchmesserverhältnis zwischen Innen- und Außenleiter bestimmt.

Die Antenne ist mit Empfänger/Sender mittels **Speiseleitung** verbunden. Die Speiseleitung kann man sich als eine fortgesetzte Kombination von Parallelkapazitäten und Reiheninduktivitäten vorstellen. Wenn diese Leitung unendlich lang wäre, ergäbe sich dadurch ein charakteristischer **Wellenwiderstand Z**, der bei einer realen Leitung genau mit dieser Impedanz abgeschlossen werden muss, um Verluste durch Fehlanpassung zu verhindern.

## Ursachen und Auswirkungen von Steh- und Wanderwellen

### KLASSE 3 und 4



Ist eine hochfrequente Schnittstelle (z. B. Antenne, Senderausgang) impedanzrichtig abgeschlossen, treten auf einer Leitung nur **Wanderwellen** auf und der Leistungstransport erfolgt nur in einer Richtung.

Bei Fehlanpassung kommt es zum Auftreten von **Stehwellen**, da ein Teil der Leistung an der Schnittstelle reflektiert wird. Das Verhältnis aus vorlaufender und rücklaufender Welle kann mit dem Stehwellenverhältnis charakterisiert werden. Messtechnisch wird dies mit dem SWR-Meter gemessen (*standing wave ratio*). Siehe Frage 33.

Ein Beispiel aus dem Alltagsleben ist die Reflexion einer Wasserwelle an der Poolwand. Die reflektierte Welle überlagert sich mit der einfallenden Welle und es bilden sich Stellen mit wesentlich größeren Wellenbergen bzw. tieferen Wellentälern.

Durch die Fehlanpassung kommt es zu einer Überlastung der Endstufe und einem zusätzlichen Leistungsverlust auf der fehlangepassten Leitung.

Wird ein symmetrischer Dipol direkt von einem Koaxkabel angespeist (ohne Balun), dann treten auf der abgeschirmten Leitung (Koaxialkabel) **Mantelwellen** auf und die Leitung beginnt auch selbst zu strahlen. Dies kann Störungen in benachbarten elektronischen Geräten (BCI/TVI) bewirken.

Bei einer Flöte versetzt die Stehwelle das Instrument in Schwingung, die austretende Luft ist die Wanderwelle.

## Strahlungsfeld und Gefahren von Antennen

### WISSEN-KOMPAKT



Zu beachten ist insbesondere ÖNORM S1120 (ÖVE/ÖNORM E 8850). Sie legt Grenzwerte für die Exposition der Bevölkerung durch elektromagnetische Felder (EMF) fest.

Funkamateure sind verpflichtet, europäische und nationale Vorschriften und Normen zur Strahlenbelastung durch elektromagnetische Wellen einzuhalten.

Durch folgende technische Maßnahmen mindern Sie die Gefahren durch Exposition (auch für Sie selbst!):

- Vergrößerung des Abstandes zur Antenne (Montagehöhe!)
- Absenkung oder Vermeidung der Emission (z. B. Leistungsreduktion; Abschalten; Anordnung der Antennen)
- Beschränkung der Aufenthalts-/Expositions dauer

## Aufbau und Kenngrößen eines Koaxialkabels

Koaxkabel wirken wie ein Faraday'scher Käfig. Störungen von außen wirken nicht auf den Innenleiter, der die Information transportiert.

**Aufbau:** Zentraler Innenleiter aus Kupfer oder versilbert, Dielektrikum aus Kunststoff, Teflon etc., Außenleiter aus Kupfergeflecht oder Kupferfolie, darüber Kunststoffisolation als Schutz nach außen.

**Kenngrößen:** Dämpfung (in dB/100 m; frequenzabhängig), Schirmungsfaktor, Spannungsfestigkeit und Leistungsbelastbarkeit.

**Mechanische Eigenschaften:** kleinster zulässiger Biegeradius und Zugfestigkeit.

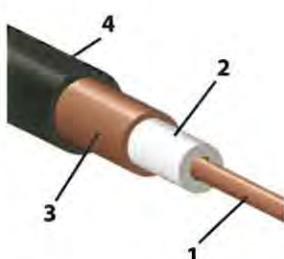


Abbildung 114: Koaxialkabel: 1. Seile oder Innenleiter, 2. Isolation oder Dielektrikum zwischen Innenleiter und Kabelschirm, 3. Außenleiter und Abschirmung, 4. Schutzmantel (Quelle: Tkgd2007)

Gängige Wellenwiderstände von Koaxialkabeln sind:  $Z = 50$  (Amateurfunk) bzw. 75 Ohm (Hausinstallation). Dabei wird die Impedanz vom Durchmesserverhältnis zwischen Innen- und Außenleiter bestimmt.

## Erklären Sie den Begriff Dezibel am Beispiel der Anwendung in der Antennentechnik

Dezibel in der Nachrichtentechnik beschreibt z. B. ein Leistungsverhältnis.

$$dB = 10 * \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

### Beispiel

Eine Antenne mit 6 dB Gewinn über Dipol strahlt in ihrer Hauptstrahlrichtung die 4-fache Leistung wie ein Dipol ab. 12 dB Gewinn entsprechen der 16-fachen Leistung!

## KLASSE 3 und 4



In der Nachrichtentechnik treten einerseits sehr kleine Signale ( $\mu\text{V}$  beim Empfang) und andererseits sehr große Signale ( $\text{kV}$  bei Sendern) auf. Um das Rechnen mit diesen Größen zu vereinfachen, hat sich ein logarithmischer Maßstab bewährt.

Dezibel in der Nachrichtentechnik beschreibt z. B. ein Leistungsverhältnis.

### Merke:

3dB	doppelte Leistung
6dB	4-fache Leistung
10dB	10-fache Leistung
13dB	20-fache Leistung
20dB	100-fache Leistung

dB kann auch **Spannungsverhältnisse** beschreiben:

6dB	doppelte Spannung
12dB	4-fache Spannung
20dB	10-fache Spannung

**Dämpfungen** entsprechen negativen dB Werten. So bedeuten -3 dB die halbe Leistung.

Wird als Referenzgröße  $P_{in} = 1 \text{ mW}$  angegeben, so ergibt sich dBm. Bei einer Referenzgröße  $P_{in} = 1 \mu\text{W}$  ergibt sich dB $\mu$ .

### Beispiel

0dBm entspricht 1 mW,  
3dBm entsprechen 2 mW,  
6dBm entsprechen 4 mW usw.

76

## Richtantennen und ihre Anwendungsmöglichkeiten

Richtantennen weisen eine oder mehrere Vorzugsrichtungen im Antennendiagramm auf. Ziel ist es, die Sendeleistung in diese Vorzugsrichtung zu bündeln und einen hohen „Antennengewinn“ zu erzielen.

Gleichzeitig können unerwünschte Signale und Störungen aus anderen Richtungen ausgeblendet werden.

**Bauformen:** Yagi-Antenne (siehe auch Frage 68), Dipolzeilen und Dipolflächen (Arrays, Gruppenantennen, siehe auch Frage 66), logarithmisch periodische (LP) Antennen, Rhombic- und Patch-Antennen (GPS-Antenne, „flache Satellitenschüssel“).

**Kenngrößen** (siehe auch Frage 77): Gewinn, (3 dB) Öffnungswinkel, Rückdämpfung, Seitendämpfung, Nebenkeulen, Abstrahlwinkel.

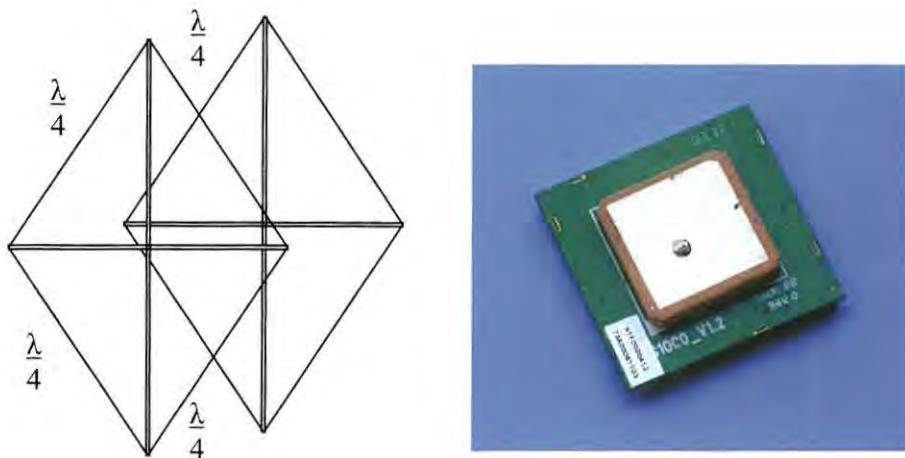


Abbildung 115: Cubical Quad, Patch Antenne

## Kenngrößen von Antennen und ihre Messung

77

Über die Kenngrößen von Antennen informieren ihre Datenblätter. Darüber hinaus können die technischen Eigenschaften mit Hilfe von Messinstrumenten ermittelt werden oder hängen von den verwendeten Leitern und Anpasselementen ab.

Kenngröße	Messgerät
Resonanzfrequenz	Dipmeter
Fußpunktwiderstand (Dies ist der Ersatzwiderstand am Anschluss der Antenne. Bei Resonanz ist der Fußpunktwiderstand ohne kapazitiven oder induktiven Anteil, also rein ohmsch.)	Impedanzmessbrücke
Gewinn, Abstrahlwinkel, Strahlungsdiagramm	Messsender, Pegelmessgerät und Referenzantenne
Vor-Rückwärts-Verhältnis: Richtantennen senden nicht nur in die gewünschte Richtung, sondern einen geringen Teil nach „hinten“.	Strahlungsdiagramm
Bandbreite (Frequenzbereich, innerhalb die Antenne ein festgelegtes SWR hat)	Stehwellenmessgerät (SWR-Meter)
Maximal zulässige Leistung	Stärke und Material der verwendeten Leiter und Anpasselemente

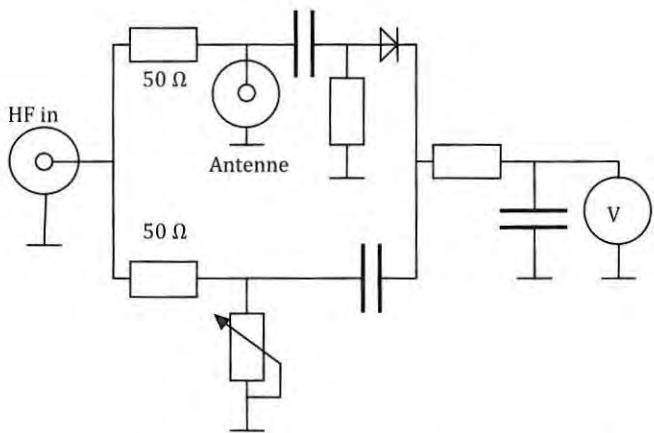


Abbildung 116: Schaltung Impedanzmessbrücke

## 78

### Dimensionieren Sie einen Halbwellendipol

#### Beispiel

Die vorgegebenen Werte variieren bei der Prüfung.

$$f = 3,6 \text{ MHz}, v = 0,97$$

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

$\lambda$  (Lambda) ist das Symbol für die Wellenlänge und wird in Metern, Dezimetern oder cm angegeben.

$$\begin{aligned} \lambda [m] &= \frac{v \times 300}{2 \times f[\text{MHz}]} = \\ &= \frac{0,97 \times 300}{2 \times 3,6} = 40,41 \text{ m} \end{aligned}$$

Gängige Kurzwellenamateurfunkbänder:

Frequenz	Band	$\lambda/2$ -Dipol
1,9 MHz	160 m-Band	83 m
3,5 MHz	80 m-Band	41 m
7 MHz	40 m-Band	20 m
14 MHz	20 m-Band	10 m
21 MHz	15 m-Band	7 m
28 MHz	10 m-Band	5 m

## Bestimmung der effektiven Strahlungsleistung 1

Die Vorgaben variieren bei der Prüfung.

**Aufgabe:** Bestimmen Sie die effektive Strahlungsleistung bei: Sendeleistung: 200 Watt; Dämpfung der Antennenleitung: 6 dB/100 m; Kabellänge: 50 m; Gewinn: 10 dB.

**Lösung:** Die Kabeldämpfung ist  $6 \text{ dB} \times \left( \frac{50}{100} \right) = 3 \text{ dB}$

Es wird an der Antenne die halbe Leistung  $= \frac{200}{2} = 100 \text{ Watt}$  ankommen.

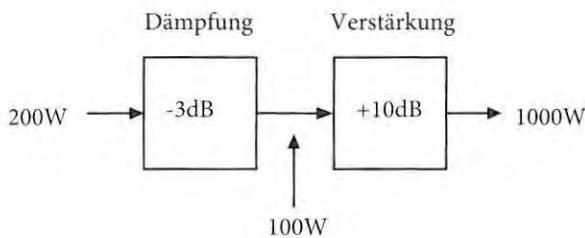


Abbildung 117: Dämpfung – Verstärkung

Der Antennengewinn ist 10 dB (= 10-fach) und ergibt eine effektive Strahlungsleistung von  $100 \times 10 = 1000 \text{ Watt}$ .

**Gewinn:** Wenn eine Antenne so gebaut ist, dass sie ihre Energie nicht kugelförmig, sondern nach einer Seite gerichtet abstrahlt (Richtstrahler), entsteht in dieser Richtung ein Antennengewinn.

**Isotropstrahler:** Ein Strahler mit kugelförmiger Abstrahlcharakteristik ist ein theoretisches Rechenmodell und kann in der Praxis nicht realisiert werden. Als Rechenmodell hat er große Bedeutung, da die Gewinne realer Antennen im Verhältnis zu diesem Isotropstrahler gemessen und angegeben werden (*isotrop* = in allen Richtungen gleich, richtungsunabhängig).

### KLASSE 3 und 4



**ERP:** Die effektive Strahlungsleistung (*effective radiated power*) ergibt sich aus dem Produkt aus *Sendeleistung*  $\times$  *Antennengewinn*. Diese Werte werden üblicherweise in dBW, dBm oder dB angegeben.

**Beispiel:** Sendeleistung: 10 Watt, Antennengewinn 6 dB.  $ERP = 16 \text{ dBW}$ . Anders ausgedrückt: Strahlungsleistung = 40 Watt. Falls auf der Antennenzuleitung ein messbarer Verlust auftritt, ist dieser abzuziehen.

Wenn man die Verstärkung/Dämpfung im logarithmischen Maß dB angibt, dann kann die Multiplikation der Leistung durch eine einfache Addition der dB-Werte ersetzt werden.

## Bestimmung der effektiven Strahlungsleistung 2

Die Vorgaben variieren bei der Prüfung.

**Aufgabe:** Bestimmen Sie die effektive Strahlungsleistung bei: Sendeleistung: 100 Watt; Dämpfung der Antennenleitung: 12 dB/100 m; Kabellänge: 25 m; Rundstrahlantenne mit einem Gesamtwirkungsgrad von 50 %.

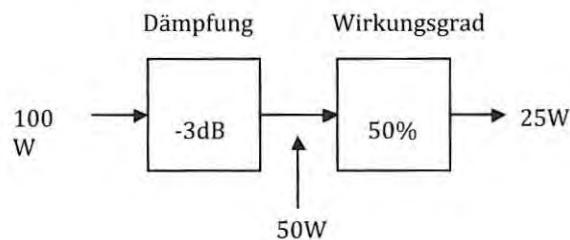


Abbildung 118: Strahlungsleistung

**Lösung:** Kabeldämpfung ist 3 dB, also halbe Leistung = 50 Watt. Der Wirkungsgrad der Antenne ist 50 %, daher ergibt sich eine effektive Strahlungsleistung von 25 Watt.

## Aufbau, Kenngrößen und Eigenschaften von Langdrahtantennen

Langdrahtantennen sind lineare Antennenformen (z. B. Drahtantenne), die länger als eine Wellenlänge sind. Dadurch steigt der Gewinn (Verstärkungswirkung in eine Richtung) gegenüber einem Halbwellendipol allmählich an und das Strahlungsdiagramm zeigt zunehmend Vorzugsrichtungen, die sich immer mehr der Antennenachse nähern.

Bei der „Endspeisung“ herrscht oft hohe Fußpunktimpedanz.

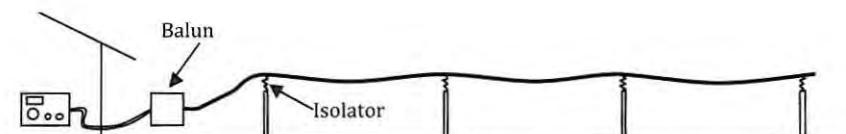


Abbildung 119: Langdrahtantenne – Ansicht von der Seite

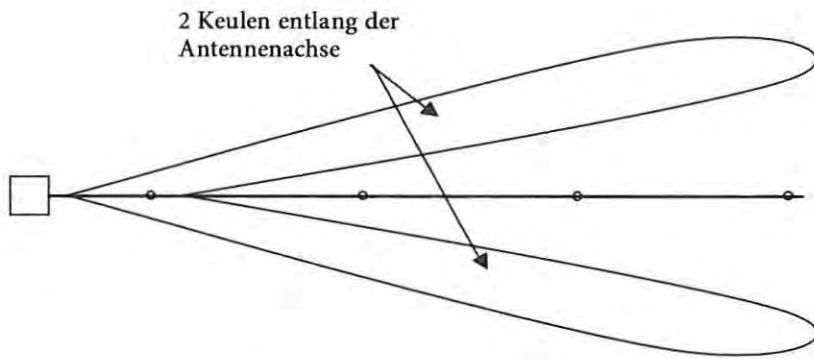


Abbildung 120: Mögliches Strahlungsdiagramm von oben gesehen

82

## Zweck und Dimensionierung von Radials und Erdnetzen bei Vertikalantennen

Radials und Erde ersetzen eine fehlende Dipolhälfte durch Spiegelung an einer möglichst gut leitenden Fläche (Salzwasser, Erdboden). Dazu werden im Boden eine Vielzahl radial verlaufende (= sternförmig verlegte) Drähte eingegraben, die im Zentrum verbunden sind und an einen Pol der Speiseleitung angeschlossen werden.

Der andere Pol wird an einen (in der Regel) vertikalen Viertelwellenstrahler (Monopol) angeschlossen, der direkt am Erdboden aufsitzt. Vertikalantennen dieser Art zeichnen sich durch besonders flache Abstrahlwinkel aus.

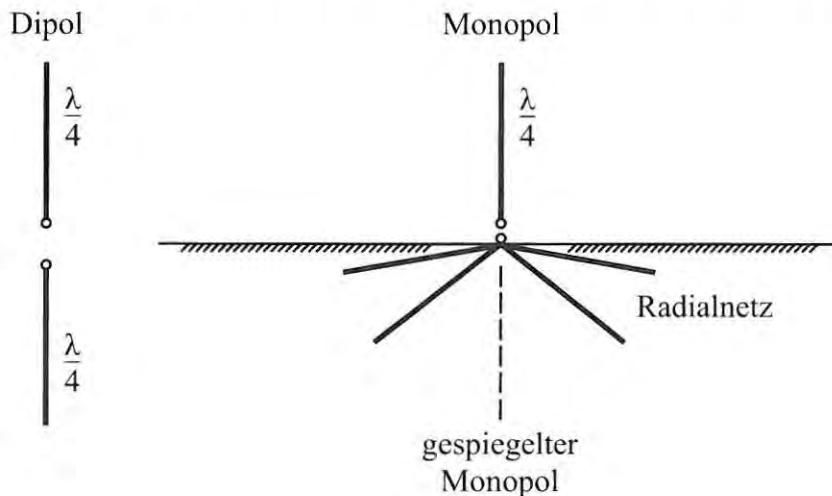


Abbildung 121: Übergang von Dipol zu Monopol mit Radialnetz in der Erde

## Blitzschutz bei Antennenanlagen

### Beispiel

Schutzerde (*protection earth, PE*) am Gerätegehäuse, Abschirmungen (Shield, RS 232 Pin 1/25).

Das Standrohr von Außenantennen und deren Ableitungen (Antennenkabel) müssen über geeignete Komponenten an den Blitzschutz angeschlossen bzw. für sich blitzschutzmäßig geerdet werden. Ist kein Blitzschutz vorhanden, muss ein Blitzschutz von einer konzessionierten Blitzschutz-Firma installiert werden.

### KLASSE 3 und 4



Die **Betriebserde** dient dem Betrieb. Beispiele sind: Neutralleiter (N, Nullleiter), Signal Ground (RS 232 Pin 5/9). Die **Schutzerde** dient dem Schutz der Benutzer. Beispiele sind Schutzerde (*protection earth, PE*) am Gerätegehäuse, Abschirmungen (Shield, RS 232 Pin 1/25).

Die **Blitzschutzerde** soll bei Blitzschlag Verletzungen an Menschen vollständig und Beschädigungen an Geräten möglichst ganz vermeiden.

## Sicherheitsabstände bei Antennen

Die gesamte Anlage muss so ausgeführt sein, dass elektrische und mechanische Sicherheit gewährleistet ist. Mehrere Antennenanlagen auf einem Dach dürfen sich gegenseitig nicht behindern. Der Errichter haftet für alle Schäden.

Dabei geht es um die grundlegende Sicherheit von Antennenanlagen, auch wenn keine elektromagnetischen Felder abgestrahlt werden, also auch wenn die Antennenanlage nur zu Empfangszwecken benutzt wird!

Antennenstandrohre sind vom Fachmann an den vorhandenen Blitzableiter anzuschließen. Ist kein Blitzschutz vorhanden, muss ein solcher angebracht werden. Auch diese Arbeit darf nur vom Fachmann ausgeführt werden.

Falls die Antennenanlage als Bauwerk eingestuft wird, sind die baupolizeilichen Vorschriften einzuhalten. Näheres regelt die Bauordnung des betreffenden Bundeslandes.

## KLASSE 3 und 4



Bei der Abstrahlung von hochfrequenten Wellen bildet sich immer ein elektromagnetisches Feld aus, das sich von der Antenne mit Lichtgeschwindigkeit wegbewegt. Je nach Antennenform wird dabei zuerst die elektrische oder die magnetische Komponente des Feldes angeregt bzw. ausgenützt.

Außer den kleineren Rahmenantennen werden im Amateurfunk vorrangig elektrische Antennen verwendet. Das elektromagnetische Feld wird per Definition durch das Verhalten der elektrischen Feldkomponente charakterisiert. Dieses wird durch den elektrischen Feldvektor eindeutig beschrieben.

**Kenngrößen:** Feldstärke (V/m), Polarisation (Schwingungsebene des elektrischen Feldanteils, bezogen auf die Erdoberfläche – vertikal, horizontal bzw. zirkular) und Ausbreitungsrichtung.

**Merke:** Die Entstehung des elektromagnetischen Feldes und seine Fortpflanzung beruhen auf folgender Gesetzmäßigkeit:

- Wenn sich ein elektrisches Feld ändert, wird ein magnetisches Feld erzeugt.
- Wenn sich ein magnetisches Feld ändert, wird ein elektrisches Feld erzeugt.

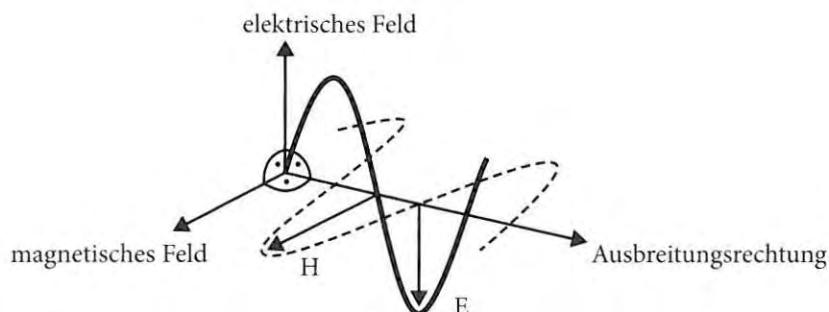


Abbildung 122: Darstellung der elektromagnetischen Feldstärken in Ausbreitungsrichtung (vertikale Polarisation)

E ... elektrisches Feld

H ... magnetisches Feld

Bei der Wellenausbreitung spricht man von horizontaler und vertikaler Polarisation. Hierbei wird die Richtung des elektrischen Feldes (E-Feld) als Bezug genommen (Erdoberfläche = horizontal).

## Elektrisches/magnetisches Feld und Abschirmmaßnahmen

Zwischen den Platten eines Kondensators bildet sich ein elektrisches Feld aus, das durch die elektrische Feldstärke ( $V/m$ ) gekennzeichnet wird.

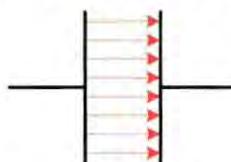


Abbildung 123: Feldstärke

Elektrische Felder können durch „Abschirmung“ am Eindringen bzw. Ausstreiten eines Raumes gehindert werden (Faraday'scher Käfig). Kenngröße: Schirmfaktor.

Um einen stromdurchflossenen Leiter bildet sich ein magnetisches Feld aus (Messgröße Tesla).

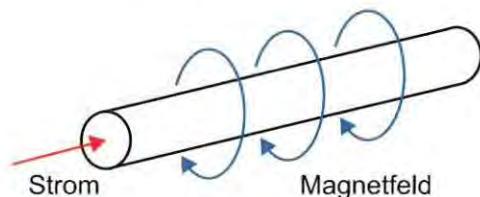


Abbildung 124: Magnetfeld

Eine Abschirmung von magnetischen Gleichfeldern kann nur unvollständig durch ferromagnetische Stoffe (Kenngröße Permeabilität) bzw. von magnetischen Wechselfeldern durch elektrisch gut leitende Materialien (z.B. Kupferblech) bewirkt werden (Achtung: keine Kurzschlüsse erzeugen, in jedem Fall Wirbelstromverluste!).

## EMV und ihre Bedeutung im Amateurfunk

Unter der **elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)** versteht man das Verhalten eines elektrischen/elektronischen Gerätes gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Bei Amateurfunk können Kommunikationsanlagen beeinflusst werden und es kann zu Störungen bei elektrischen und elektronischen Geräten kommen. Dadurch kann die bestimmungsgemäße Funktion der beeinflussten Anlagen bzw. Geräte beeinträchtigt werden. Bei medizinischen Geräten wie Herzschrittmachern, EKG oder Lungenautomaten kann dies zu schwerwiegenden Problemen führen.

## Die EMVU und ihre Bedeutung im Amateurfunk

Unter der **elektromagnetischen Umweltverträglichkeit (EMVU)** versteht man das Verhalten biologischen Gewebes gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Im Vordergrund steht die mögliche Gefährdung von Menschen.

Grundsätzlich erwärmt sich biologisches Gewebe durch Absorption der Felder. Diese Eigenschaft wird gezielt genutzt, etwa bei kontrollierten medizinischen Anwendungen (Diathermiegeräte in eigens zugewiesenen Frequenzbereichen) oder durch Mikrowellenherde im Haushalt.

In Abhängigkeit von der Frequenz von Wechselfeldern kann es sogar zu Resonanzeffekten kommen, wie sie etwa für bildgebende Magnetresonanzgeräte in der medizinischen Diagnostik angewendet werden.

Die Erwärmung von Gewebe durch hohe Feldstärken im Nahfeld von Mobiltelefonen ist nachweisbar.

**Kritische Kenngrößen:** Abstand zur Strahlungsquelle, Sendeleistung und Frequenz.

**Abhilfe:** Vergrößerung des Abstandes zur Antenne (Anordnung der Antennen), Absenkung oder Vermeidung der Emission (z. B. Leistungsreduktion; Abschalten) und Beschränkung der Aufenthaltsdauer (Expositionsdauer).

Zum Schutz von Personen vor unzulässiger Exposition in elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz bestehen **EU-Vorschriften**:

- Schutz der Allgemeinbevölkerung: 1999/519/EG Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz).
- Schutz von Arbeitnehmern: 2004/40/EG Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder).

## Aufbau und Wirkung von Traps

*Trap* heißt Falle. Ein Dipol kann mit *traps* zu einer Mehrbandantenne gemacht werden. Meist als Parallelschwingkreis (Parallelschaltung von Spule und Kondensator) gefertigt, sperrt er für die höhere Frequenz und wirkt für die tiefere Frequenz als Verlängerungsspule für die äußeren Antennenelemente.

**Anwendung:** Mehrbandantennen, z. B. W3DZZ-Antenne (Dipol) und Mehrband-Yagi-Antennen. Es gibt auch Mehrband-Yagi-Antennen, die die volle Elementlänge besitzen (*full size*).

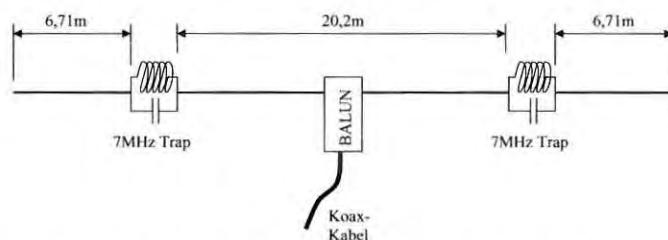


Abbildung 125: Multibandantenne für 40 m- und 80 m-Band

*Traps* werden auch in Empfängern und Sendern als Sperrkreise eingesetzt, um unerwünschte Frequenzen zu unterdrücken.

## Der Hohlraumresonator und seine Anwendung

### Beispiel

Hohlraumresonatoren spielen auch bei Mikrowellenherd und in der Akustik (Blasinstrumente, Orgelpfeifen, „Heulen“ von Kaminen bei Sturmwind) eine Rolle.

Ein **Hohlraumresonator** ist ein rechteckiger oder runder Hohlzylinder mit einer geeigneten HF-Ankopplung. Durch die Abmessungen ergibt sich Resonanz im GHz-Bereich. Er kann als Schwingkreis oder Filter verwendet werden.

Da das Einbringen von Leitern oder Nichtleitern die Resonanzfrequenz eines derartigen Gebildes verändern kann, werden zur Feinabstimmung oft Schrauben verwendet, die mehr oder weniger weit in den Hohlraum hineinragen.

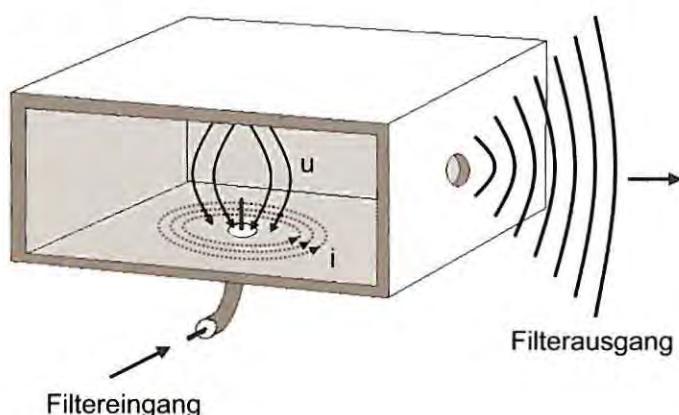


Abbildung 126: Hohlraumresonator

## Funkentstörmaßnahmen im Bereich Stromversorgung der Amateurfunkstelle

Durch korrekte Verdrosselung und Abblockung der Netzzuleitungen kann das Abfließen von HF in das Stromnetz verhindert werden.

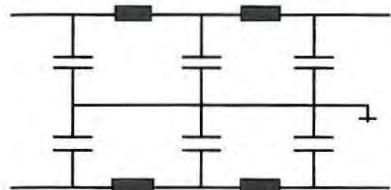


Abbildung 127: Schaltung eines Netzfilters

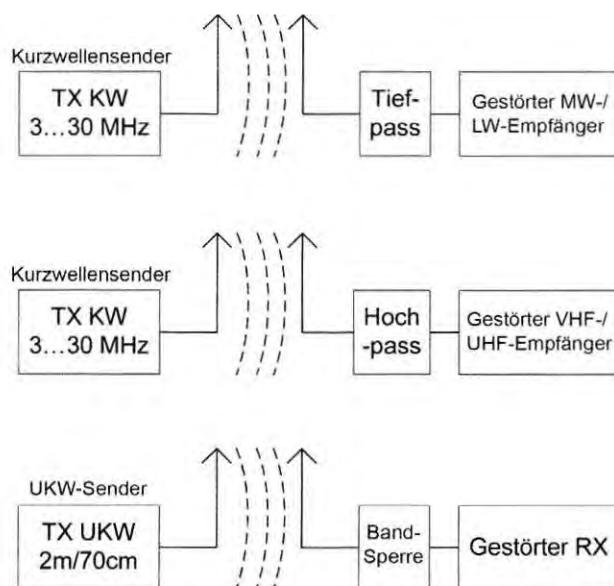


Abbildung 128: Auswahl von Tiefpass, Hochpass und Bandsperre bei Einströmung über die Antennenzuleitung

## Funkentstörmaßnahmen bei Beeinflussung durch hochfrequente Ströme und Felder

Grundsätzlich muss zwischen (a) schädlichen Störungen durch Nebenausstrahlungen des Senders und (b) einer störenden Beeinflussung unterschieden werden.

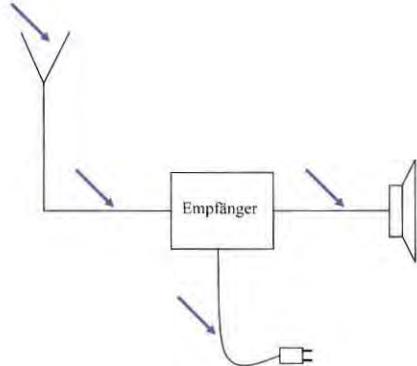
- (a) Ist eine Funkanlage nicht ordnungsgemäß aufgebaut, kann sie Störungen verursachen. Funkamateure haben alles zu unternehmen, um unerwünschte Aussendungen zu unterbinden.

## KLASSE 3 und 4



(b) Eine störende Beeinflussung kommt durch unzulängliche Großsignalfestigkeit eines Rundfunkempfängers (BCI) oder Fernsehgerätes (TVI) zustande. Diese Art von Störungen kann nicht an der Amateurfunkanlage, sondern nur am gestörten Gerät beseitigt werden.

Einströmung:



Einstrahlung:

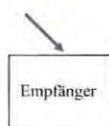


Abbildung 129: Einströmung; Einstrahlung

Hochfrequenz kann sich auf verschiedenen Wegen unerwünscht ausbreiten:

1. Durch das **Stromnetz**. Netzteile und andere mit dem Stromnetz verbundene Komponenten müssen fachgerecht gegen das Eindringen von Hochfrequenz geschützt sein. Andernfalls kann Hochfrequenz das Stromnetz verseuchen und bei benachbarten Elektrogeräten Störungen aller Art verursachen. Abhilfe schaffen korrekte Verdrosselung und Abblockung der Netzteile (Line-Filter).
2. Durch die Speiseleitung oder die **Antenne**. Wenn im erzeugten Sende-signal unerwünschte Ober- oder Nebenwellen enthalten sind, gelangen diese zur Abstrahlung und können benachbarte Funkdienste oder Rundfunkempfänger empfindlich beeinträchtigen. Diese Störungen sind durch korrekten Aufbau der Sendeendstufe und/oder Anwendung eines Tiefpassfilters abzustellen.
3. Durch **Einströmung** bzw. **Einstrahlung** selbst bei nebenwellenfreier Aussendung.

## KLASSE 3 und 4

!

**Abhilfe:** Entkopplung der Antennen, Einbau von Hochpass- oder Tiefpass-Filtern, Verhinderung von HF-Einströmung in Lautsprecher und NF-Leitungen durch Ferritdrosseln und Einbau des beeinflussten Gerätes in ein Abschirmgehäuse.

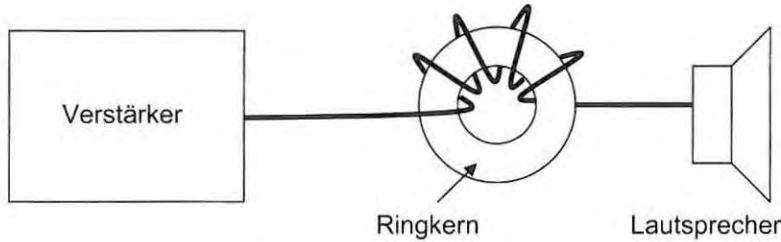


Abbildung 130: Beseitigung von störenden Beeinflussungen bei Einströmung über Lautsprecherleitungen

### Was sind Tastlicks, wie werden sie vermieden?

93

Wenn die Sendertastung eines Morsesignals ganz hart (= rechteckförmig) erfolgt, entsteht eine Verbreiterung der belegten Bandbreite. Durch RC-Glieder kann die Tastung weicher gestaltet werden, damit entsteht eine kleinere belegte Bandbreite. Siehe auch Frage 100.

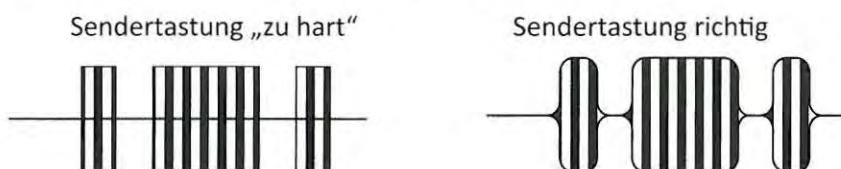


Abbildung 131: Sendertastungen

## Unerwünschte Aussendungen, Außerband-aussendungen und Nebenaussendungen (spurious emissions)

### KLASSE 3 und 4 !

**Unerwünschte Aussendungen** sind z. B. schlechte Träger- und Seitenbandunterdrückung beim SSB-Sender oder Bandbreitenüberschreitung beim AM- und FM-Sender durch Übermodulation.

**Außerbandaussendungen** entstehen durch Oberwellen, die nicht vorschriftsmäßig unterdrückt sind.

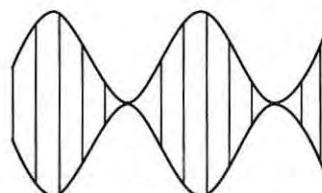
**Nebenaussendungen** können entstehen, wenn das Sendesignal durch einen Mischvorgang gebildet wird und das unerwünschte Mischprodukt nicht korrekt ausgefiltert wird oder durch Selbsterregung einer der Verstärkerstufen im Sender. Siehe auch Frage 92 und Frage 101.

## Splatter und ihre Ursachen und Auswirkungen

Splatter sind Störungen bei SSB- oder AM-Sendungen, die durch nichtlineare Kennlinien in der Signalverarbeitung verursacht werden. Meist wird dies durch Übersteuerung der Endstufe verursacht. Splatter machen sich durch eine unmäßige, groß belegte Bandbreite des Signals bemerkbar.

Verursacht werden Splatter durch Übermodulation bei AM- und SSB-Sendern. Dadurch wird der Sender in den nichtlinearen Zustand ausgesteuert. Die Folgen: erhöhte belegte Bandbreite und schlechte Verständlichkeit durch Intermodulation. Siehe auch Frage 100.

AM-Signal 100% moduliert



AM-Signal 100% übermoduliert

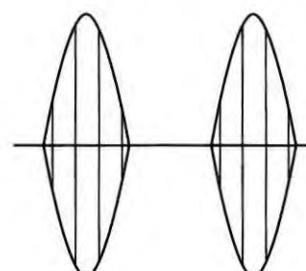


Abbildung 132: AM-Modulationen

**KLASSE 3 und 4**

Eine schädliche Störung ist eine Störung, welche die Abwicklung des Funkverkehrs bei einem anderen Funkdienst, Navigationsfunkdienst, Sicherheitsfunkdienst gefährdet oder den Verkehr bei einem Funkdienst, der in Übereinstimmung mit den für den Funkverkehr geltenden Vorschriften wahrgenommen wird, ernstlich beeinträchtigt, ihn behindert oder wiederholt unterbricht. Siehe auch Frage 92 und Frage 101.

**Aufbau von Relais- und Bakenfunkstellen**

Relais ermöglichen Funkverbindungen über weite Strecken. Baken informieren über Ausbreitungsbedingungen von Wellen.

**Relais**

Eine direkte Verbindung über größere Strecken ist oft nicht möglich, weil z.B. Gebirgsketten die direkte Verbindung verhindern. Als Ausweg bietet sich der Umweg über eine Relaisstation an, die das Signal auffängt, verstärkt und weitersendet. Relaisstationen (Umsetzer, *repeater*) arbeiten automatisch.

Bei einer Relaisstation sind Sender und Empfänger auf zwei unterschiedlichen Frequenzen gleichzeitig in Betrieb, meist an einer gemeinsamen Antenne an einem hochgelegenen Standort. Das Empfangssignal moduliert den Sender. So kann auch der UKW-Amateur große Reichweiten erzielen.

Die Senderauftastung erfolgt durch *Squelch* (Rauschunterdrückung) oder CTSS (*continuous tone coded squelch system*). In regelmäßigen Abständen sendet das Relais sein Rufzeichen in CW oder Phonie.

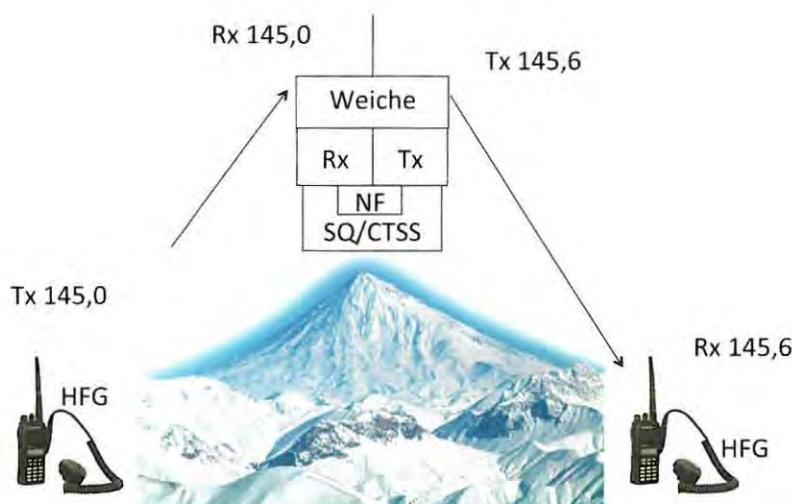


Abbildung 133: Relais (Bildquellen: Wikipedia, Arad; HFG: Florian Fuchs)

Die Relaisliste des ÖVSV ist auf der Internetseite [www.oevsv.at](http://www.oevsv.at) zu finden.

## Bake

Ein Bakensender (Funkbake, *radio beacon*) befindet sich an einem hochgelegenen Standort und sendet eindeutig zuordenbare Rufzeichengeber in CW. Ihr Empfang gibt Hinweise über die aktuell herrschenden Ausbreitungsverhältnisse von Funkwellen. Informationen zum weltweiten DX-Bakennetz (20, 17, 15, 12, 10 m) finden Sie im Internet: z. B. [www.ncdx.org/beacons.html](http://www.ncdx.org/beacons.html)

98

## Definieren Sie den Begriff Sendeleistung

### KLASSE 3 und 4

!

Sendeleistung ist die der Antennenspeiseleitung zugeführte Leistung.  
§1 Amateurfunkverordnung (AFV).

Für den Funkamateuren gelten vier Leistungsstufen:

- A 100 Watt
- B 200 Watt
- C 400 Watt  
(nach Antrag und einem Jahr störungsfreien Betriebs)
- D 1000 Watt (Vereine)

### KLASSE 3 und 4

!

Die **Ausgangsleistung** ist im Allgemeinen jene Nutzleistung, die aus der Anlage ausgekoppelt wird (Beispiele: Drehleistung eines KFZ-Motors, Senderausgangsleistung).

Die **Verlustleistung** ist jene Leistung, die zur Erzeugung der Ausgangsleistung nötig ist, aber meist als Abwärme in die Umgebung abgegeben werden muss (Beispiele: Kühlung des KFZ-Motors, Abwärme an der Endstufe).

**KLASSE 3 und 4**

In der Hochfrequenztechnik bezeichnet die Spitzenleistung (PEP, *peak envelope power*) die Effektivleistung, die ein Sender im Laufe einer Periode der Hochfrequenzschwingung während der höchsten Spalte der Modulationshüllkurve unverzerrt der Antennenspeiseleitung zuführt. Wird diese Leistung überschritten, kommt es zu Splattern.

PEP ist die höchste erzielbare verzerrungsfreie Effektivleistung eines SSB-Senders.

Anmerkung:

Viele Messgeräte zeigen nicht die Spitzenleistung, sondern die gemittelte Effektivleistung an. Diese hängt vor allem von der Modulationsart (AM, SSB ...) ab. Gerade bei SSB wird dann deutlich weniger Leistung als die Spitzenleistung angezeigt.

Ein Kompressor am Funkgerät erhöht bei gleicher PEP die mittlere Effektivleistung, damit steigt der mittlere Signal-Rauschabstand (SNR).

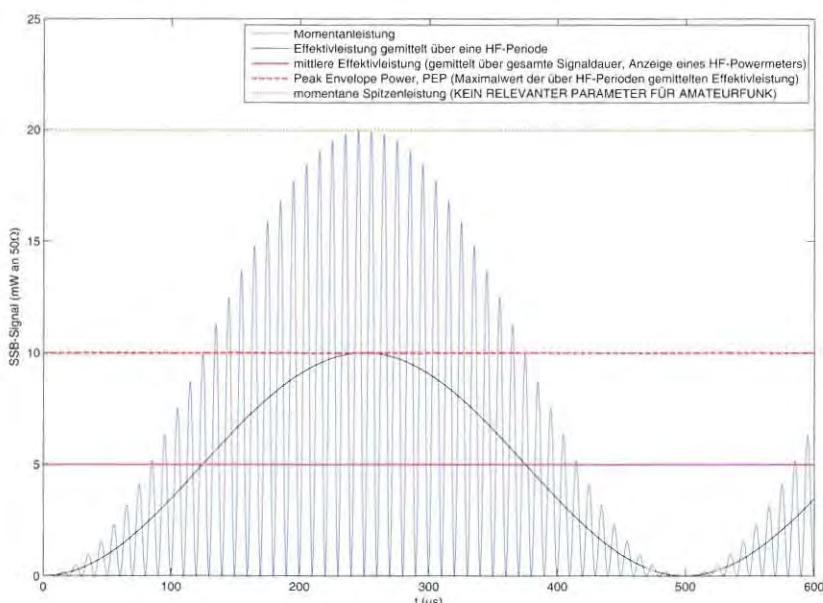


Abbildung 134: Leistungen eines SSB Signals mit einem Sinus Signal moduliert

**KLASSE 3 und 4**

Die belegte Bandbreite ist der Frequenzbereich, den eine Aussendung samt Träger und aller Seitenbänder in Anspruch nimmt.

Die nachstehenden Effekte können die belegte Bandbreite über das beabsichtigte bzw. zulässige Maß hinaus vergrößern.

**Splatter** (siehe auch Frage 95) sind Störungen bei SSB- oder AM-Sendungen, die durch nichtlineare Kennlinien in der Signalverarbeitung verursacht werden. Meist wird dies durch Übersteuerung der Endstufe verursacht. Splatter machen sich durch eine unmaßige, groß belegte Bandbreite des Signals bemerkbar. Siehe Frage 95.

**Beispiel**

$2f_1 - f_o$  ergibt IM3 Produkte.  
Durch IM (Intermodulation) werden sowohl die belegte Bandbreite stark vergrößert als auch die Verständlichkeit verschlechtert. (Frequenz 1 = 500 kHz, Frequenz 2 = 1 MHz, Oberwelle  $2 \times f_1 = 2 \text{ MHz}$ ;  $2 \text{ MHz} - f_o$ ; somit 1,5 MHz unerwünscht).

**Intermodulation:** Es gibt nicht nur die bereits beim Empfänger beschriebene Intermodulation. Auch beim Sender können durch unzweckmäßigen Aufbau oder Betriebsweise Störungen auftreten. Intermodulation entsteht durch Mischung in einer übersteuerten oder nicht linear betriebenen Verstärkerstufe. Dadurch werden z. B. Summe und Differenz der entstehenden Oberwellen dem Ausgangsspektrum hinzugefügt.

**Tastklicks** treten bei Morse sendungen auf, wenn die Tastung zu hart (rechteckförmig) vorgenommen wird. Es kommt ebenfalls zu einer unzulässigen Verbreiterung der belegten Bandbreite. Hier kann mit einem R-C-Filter die Tastung weicher gestaltet und somit die zu große Bandbreite vermieden werden. Siehe Frage 93.

Interferenz bedeutet Überlagerung.

Im Falle von Funk bedeutet Interferenz das Überlagern einer erwünschten mit unerwünschten (dadurch störende) Aussendungen (es sind meist mehrere). Interferenz kann schädliche Störungen verursachen. Siehe Frage 96.

Ursachen liegen im Aufbau/Konzept einer Empfangsanlage, etwa wenn zu viel verstärkt wird.

**Gegenmaßnahmen:** selektive Eingangsfilter und hochwertige Filter im ZF-Bereich.

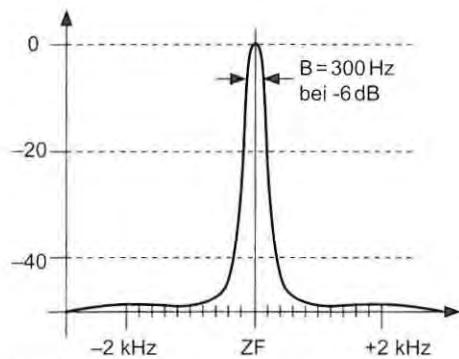


Abbildung 135: Ideale CW-Selektion in der ZF

102

## Blocking und Intermodulation

**Blocking** (= zustopfen) bedeutet, dass ein abseits von der Empfangsfrequenz liegendes, extrem starkes Fremdsignal eine Vorstufe derart übersteuert, dass kein Empfang schwächerer Signale mehr möglich ist.

**Intermodulation** ist die unbeabsichtigte Mischung in einer Empfängerstufe mit zwei oder mehreren Signalen. Dadurch entstehen unerwünschte Mischprodukte, die Signale vortäuschen, welche gar nicht existieren.

Die Intermodulation im Empfänger ist zu unterscheiden von unerwünschten Nebenausstrahlungen, die durch Intermodulation im Sender hervorgerufen werden können (siehe Frage 94).

103

## Gefahren für Personen durch elektrischen Strom

Der menschliche Körper besitzt eine je nach Hautfeuchtigkeit mehr oder weniger gute Leitfähigkeit. International werden Spannungen über 50V (Effektivwert) als gefährlich eingestuft, da bereits bei diesen Spannungen gefährliche Ströme durch den Körper fließen können. Deshalb muss unbedingt verhindert werden, dass Personen in einen elektrischen Stromkreis geraten können.

Ein Stromschlag kann Verbrennungen, Herzflimmern und Herzstillstand verursachen.

## Sicherheitsmaßnahmen beim Betrieb von Hochspannung führenden Geräten

Alle Hochspannung führenden Geräteteile müssen in einen allseitig geschlossenen Hochspannungskäfig mit Deckelschalter eingebaut werden.

Vor Entfernen eines Deckels unbedingt Netzstecker ziehen und einige Minuten abwarten. So können sich auch die Hochspannungs-Kondensatoren entladen, die mit Entladewiderständen überbrückt sein müssen.

Niemals an Hochspannungsgeräten im eingeschalteten Zustand arbeiten!

## Gefahren durch Gewitter für die Funkstation und das Bedienpersonal und Vorbeugemaßnahmen

Antennen sind in aller Regel hoch angebracht. Dadurch kann ein Blitz direkt einschlagen (**Primärblitzschlag**).

Ein **Sekundärblitzschlag** ist dann der Fall, wenn der primäre Einschlag z. B. in die 230 Volt Leitung erfolgt und durch induktive Spannungsspitzen angeschlossene Geräte beschädigt werden.

### Vorbeugemaßnahmen:

Funkbetrieb einstellen, Antennenkabel vom Gerät trennen und erden, bei Herannahen eines Gewitters alle Antennen erden, korrekter Blitzschutz.

# PRÜFUNGSFRAGEN KLASSE 3 UND 4

Die **nachstehenden Ausführungen** beziehen sich nur auf die **Lizenzkasse**  
**3.** Sie decken aber **nicht den gesamten Prüfungsstoff** dafür ab.

Wer die Lizenz zur Klasse 3 erreichen will, muss auch einen **Teil der grundlegenden Ausführungen** zur **Betriebstechnik** beherrschen. Die betroffenen Abschnitte sind **entsprechend gekennzeichnet**. Das betrifft die Fragen Nr. 1, 2, 6, 9, 17, 23, 24, 32, 33, 37-40, 44, 45, 49, 50-52, 57, 61, 64, 65, 66, 68, 70-72, 75, 79, 83, 85, 92, 94, 96, 98-100.

Sie werden den Stoff besser verstehen, wenn Sie jeweils den kompletten Fragenabschnitt lesen. Bei der Prüfung beherrscht werden müssen allerdings nur die entsprechenden Passagen und natürlich die jetzt folgenden Erläuterungen.

---

## Nennen Sie die wichtigsten Eigenschaften von ohmschen Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten

Ohmsche Widerstände sind elektrische Widerstände, die dem Stromfluss einen Widerstand entgegensetzen. Über diesem Widerstand entsteht ein Spannungsabfall. Es entsteht Wirkleistung im Widerstand, die als Wärme an die Umgebung abgeführt wird – ähnlich einem Wasserkraftwerk, in dem das Wasser durch ein Rohr zur Turbine fließt.

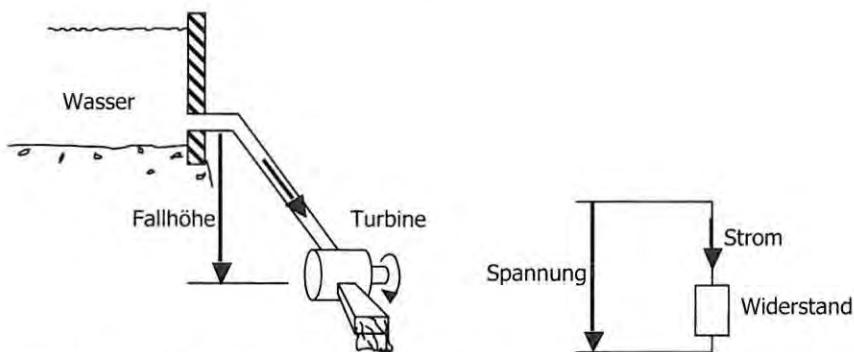


Abbildung 136: Umwandlung des Wasserstromes in Drehbewegung bzw. des Elektronenstromes in Wärme

### Induktivität

Wird eine Spule von einem Strom durchflossen, so baut sich ein magnetisches Feld rings um die Windungen auf. Dieses Magnetfeld wirkt als Energiespeicher. Eine Änderung des Stromes durch die Spule bewirkt eine nachfolgende Spannungsänderung.

Die Induktivität ist die wesentliche Eigenschaft der Spule und beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung und Strom in Abhängigkeit von der Frequenz. Maßeinheit Henry (H).

Für Gleichstrom ist die ideale Spule ein Kurzschluss (0 Ohm Widerstand). Mit steigender Frequenz des Stromes nimmt der Spannungsabfall an der Spule zu. Man spricht von induktivem Blindwiderstand.

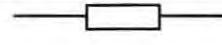
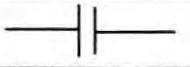
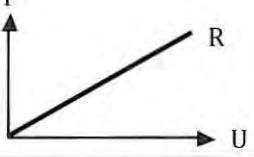
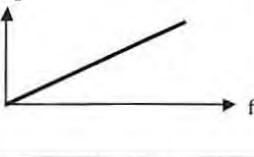
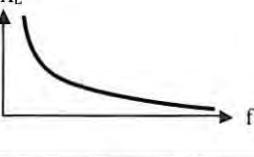
## Kapazität

Wird an einen Kondensator eine Spannung angelegt, so fließt ein Strom, um die gegenüberliegenden Platten des Kondensators aufzuladen. Es baut sich zwischen den Platten ein elektrisches Feld auf. Dieses elektrische Feld wirkt als Energiespeicher.

Eine Änderung der Spannung an den Platten bewirkt einen Stromfluss, um das elektrische Feld anzulegen.

Die Kapazität ist die wesentliche Eigenschaft des Kondensators und beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung und Strom in Abhängigkeit von der Frequenz. Maßeinheit Farad (F).

Für Gleichstrom ist der ideale Kondensator ein Leerlauf ( $\infty$  Ohm Widerstand). Mit steigender Frequenz der Spannung nimmt der Stromfluss durch den Kondensator zu. Man spricht von kapazitivem Blindwiderstand.

Ohmscher Widerstand	Induktivität	Kapazität
ist die Eigenschaft eines elektrischen Leiters	ist die Eigenschaft einer Spule	ist die Eigenschaft eines Kondensators
Bezeichnung mit R	Bezeichnung mit L	Bezeichnung mit C
Maßeinheit: Ohm [ $\Omega$ ]	Maßeinheit: Henry [H]	Maßeinheit: Farad [F]
Formelzeichen	Formelzeichen	Formelzeichen
		
Ohmscher Widerstand	induktiver Blindwiderstand	kapazitiver Blindwiderstand
$R = \frac{U}{I}$	$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$	$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$
		
Umwandlung der Energie in Wärme	Die Energie steckt im Magnetfeld der Spule (und kann wieder in elektrische Energie zurückgewandelt werden – keine Verluste)	Die Energie steckt im elektrischen Feld zwischen den beiden Platten (und kann wieder in elektrische Energie zurückgewandelt werden – keine Verluste)

## Prinzipieller Aufbau eines Kommunikationssystems

Ein Kommunikationssystem besteht aus:

Nachrichtenquelle (Mensch, Sprache/Mund) – Sender – Sendeantenne – Übertragungsstrecke – Empfangsantenne – Empfänger – Nachrichtensenke (Mensch – Sprache/Ohr)

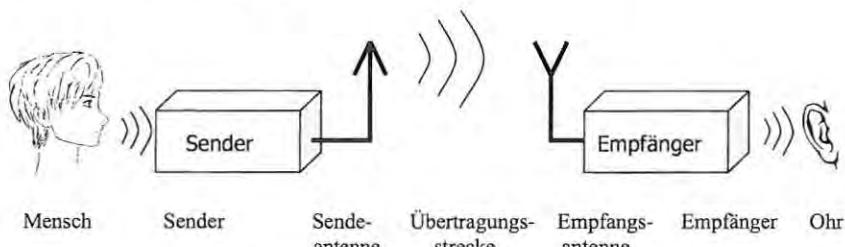


Abbildung 137: Kommunikation

- Zur Übertragung verwendet man in der Funktechnik hochfrequente Schwingungen, die elektromagnetische Felder erzeugen – vergleichbar mit Licht –, welche sich über sehr große Entfernungen übertragen lassen.
- Das Signal der Nachrichtenquelle wird in ein elektrisches Signal umgesetzt (Schall mittels Mikrofon in elektrische Spannung).
- Der Sender mit seiner hochfrequenten Oszillatorkreisfrequenz wird von diesem elektrischen Signal beeinflusst (Modulation der Amplitude oder Frequenz).
- Nach einer Verstärkung und Anpassung an die Sendeantenne wird das hochfrequente Signal der Sendeantenne zugeführt.
- Die Sendeantenne wandelt die Leitungswellen in Freiraumwellen um.
- Während der Übertragung zur Empfangsantenne wird das hochfrequente Signal sehr stark abgeschwächt (gedämpft).
- In der Empfangsantenne erfolgt die Umwandlung der Freiraumwellen in die Leitungswellen.
- Das hochfrequente Signal muss nun vielfach verstärkt und danach die Information wieder zurückgewonnen werden (Demodulation).
- Mittels Umwandlung in Schallwellen (Lautsprecher) wird das ursprüngliche Schallsignal wieder hörbar.

Natürlich können auch alle anderen Informationen wie Druck, Temperatur, Bildinformationen (TV) etc. übertragen werden.

## Prinzipieller Aufbau eines Empfängers

Zweck eines **Empfängers** ist es, die über die Empfangsanenne aufgenommenen hochfrequenten Wellen selektiv zu verstärken und durch Demodulation den Nachrichteninhalt wiederzugeben.

Ein Empfänger besteht daher aus mehreren Verstärkerstufen mit Filter, Demodulator und NF-Verstärker, um das Signal in seiner ausgesendeten Art etwa an einem Lautsprecher wiederzugeben.

Man unterscheidet **Überlagerungs- und Direktmischverfahren**, um die Antennensignale zu verstärken.

Die **Filter** können LC-Filter, Oberflächenresonatoren oder Quarzschaltungen sein.

Als **Demodulator** kennen wir Diodendemodulator, Quadraturdemodulator oder Ratiotektor. Ein Signalprozessor kann jede gewünschte Demodulation mittels Software bewerkstelligen.

## Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle für Sprechfunk (Komponenten)

Sprechfunk (*phone*) ist jene Betriebsart, bei der menschliche Sprache übermittelt wird. Die Übertragung kann dabei analog oder digital sein.

Die Komponenten für Sprechfunk:

- ein Mikrofon zum Umwandeln der Schallsignale in elektrische Signale
- eine Sende- und Empfangsanlage bzw. getrennte Geräte für Senden (*transmit*) und empfangen (*receive*) – oder eine Kombination daraus (*Transceiver*)
- Antennenanlage
- Lautsprecher oder Kopfhörer zum Umwandeln von elektrischen Signalen in Schallsignale

## Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle für Packet Radio (PR)

Packet Radio ist eine digitale Betriebsart, bei der die Informationen in Form von Datenpaketen übermittelt werden.

Die Grundausrüstung besteht aus:

- PC
- Modem (Kunstwort aus Modulator – Demodulator)
- Transceiver
- Antennenanlage

Der PC sendet und empfängt die Daten.

Das Modem wandelt die Digitalsignale des PC in Analogsignale für den Sender um, demoduliert die empfangenen Töne und wandelt diese in Digitalsignale für den PC um.

Modems können als externe Komponenten (*terminal node controller*, TNC) oder als Softwarelösung für die eingebaute Soundkarte ausgeführt sein.

---

## Grundausrüstung einer Amateurfunkstelle für ATV-Betrieb

Unter ATV (*amateur television*) versteht man die Übertragung bewegter Bilder, also Amateurfunk-Fernsehen.

Als Grundausrüstung benötigt man:

- Kamera (Fernsehkamera oder Webcam)
- Transceiver
- Antennenanlage
- Monitor

Das Bildsignal kann analog oder digital übertragen werden.

---

## Was versteht man unter dem Squelch – wozu dient er?

Unter Squelch versteht man eine Rauschsperre. Es ist dies eine elektronische Schaltung, die erst bei Überschreiten eines eingestellten Schwellwertes das Nutzsignal an den Lautsprecher weiterleitet.

Es dient zur Unterdrückung des Rauschens, wenn kein Nutzsignal empfangen wird.

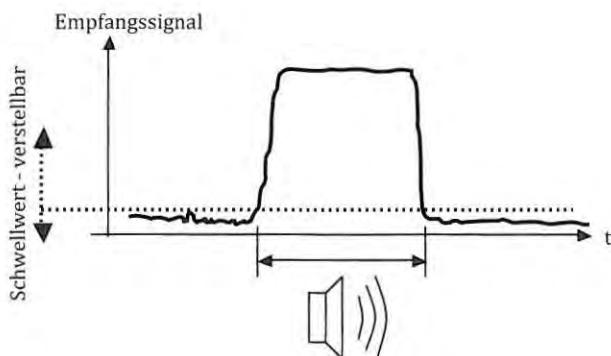


Abbildung 138: Squelch

## Was versteht man unter „Dopplershift“?

Bewegen sich Sender und Empfänger voneinander weg oder zueinander hin, ändert sich die Empfangsfrequenz. Man nennt die Frequenzverschiebung Dopplershift (nach dem österreichischen Physiker Christian Doppler).

Wenn sich Sender und Empfänger voneinander weg bewegen wird die Empfangsfrequenz niedriger.

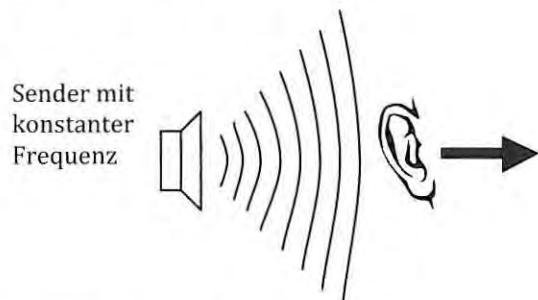


Abbildung 139: Dopplershift

Wenn sich Sender und Empfänger zueinander bewegen wird die Empfangsfrequenz höher.

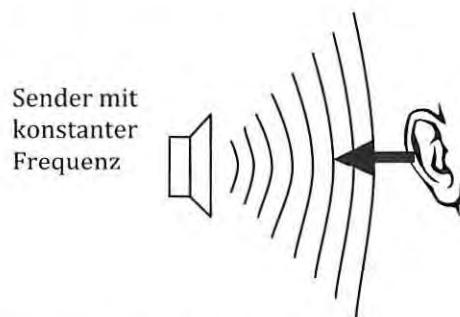


Abbildung 140: Dopplershift

Wichtig ist dies beim Betrieb mit schnell bewegten Objekten wie über Satellit oder bei Metorscatter. In der Akustik hören wir diese Frequenzverschiebung bei Formel-1-Rennen oder bei einer vorbeifahrenden Eisenbahn.

## Komponenten einer Amateurfunkstation für Satellitenfunk

Komponenten:

- Transceiver, eventuell mit externem Leistungsverstärker
- Nachführbare Richtantennen (manuell oder automatisch)
- Antennenvorverstärker direkt bei der Empfangsantenne (mit Schutz bei Sendebetrieb, z.B. Umschaltrelais)
- Nachstellung der Empfangsfrequenz wegen Dopplereffekt (manuell oder automatisch)

---

## Was versteht man unter Freiraumausbreitung?

Darunter versteht man die Ausbreitung elektromagnetischer Felder im materiefreien Raum, also im Vakuum.

Hierbei nimmt die Feldstärke mit wachsender Distanz vom Sender nur aufgrund der Entfernung ab (Entfernungsämpfung).

Freiraumbedingungen herrschen praktisch im Weltraum und noch mit guter Näherung innerhalb des optischen Horizonts auf der Erde, vorausgesetzt es treten keine störende Effekte wie z.B. Niederschlag oder Reflexion auf.

---

## Welche Einflüsse haben Hindernisse auf die UKW-Ausbreitung?

Hindernisse schatten die Funkausbreitung ab. Es entsteht ein „Funkschatten“. Durch Beugung an der Hinderniskante kann ein Teil des Feldes im Schatten empfangen werden.

Durch Mehrwegausbreitung, etwa in der Stadt, kann auch im direkten Funkschatten das Empfangssignal für eine Funkverbindung ausreichen.

Die Beugung an Hindernissen nutzt man manchmal, indem Richtanten auf die Hinderniskante ausgerichtet werden.





