

Ortsverband Amberg U01



Grundlagen der Elektrotechnik / HF

Kurs 2020/21 zur Erlangung der Amateurfunk Lizenz Klasse E

Klaus Scheibel DF5RO

Weitergabe ohne Änderung und mit Angabe der Quelle erlaubt

Größen und Einheiten

Volt, Watt, Amper Henry, Farad, Siemens, Tesla, Hz

Zehnerpotenzen

Milli, Kilo, μ , ppm, %

Schwingungen

Frequenz, Wellenlänge, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Verkürzungsfaktor

Das Dezibel

Spannung, Leistung, dB μ V, dBW,

Die S-Stufen

Strom – und Spannungsquelle

Innenwiderstand, Stromkreis

Elektrisches Feld

Magnetisches Feld

Elektromagnetisches Feld

Messungen und Messinstrumente

Drehspulenmessgerät, Oszilloskop, Dip-Meter

Durchführung von Messungen

Ohm'scher Widerstand

Widerstand, Leitfähigkeit,

Ohm'sches Gesetz

Leistung, Belastbarkeit,

Grundschaltungen

Reihenschaltung, Parallelschaltung, Spannungsteiler

Kondensator

Kapazität

Kondensator bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Kondensatorschaltungen

Spule

Die Induktivität

Spule bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Spulenschaltungen

Transformator

Schwingkreis und Filter

Schwingkreis

Resonanzfrequenz, Impedanzfrequenzgang, Bandbreite, Güte

Quarz als Schwingkreis, Topfkreis

Filter

Bandfilter, Sperrkreis, Bandpass

Leiter, Nichtleiter, Isolator

Halbleitermaterial

PN-Übergang

Diode, Typen und Kennlinien

Silizium, Germanium, Schottky-Diode

Kapazitätsdiode, Z-Diode, Fotodiode, LED

Anwendung , Schaltungen

Gleichrichter, Spannungsbegrenzung,

Transistoren, Typen und Kennlinien

bipolare Transistor, Feldeffekt-Transistor

Verstärker

Transistorverstärker

Basisvorspannungsteiler, Arbeitspunkt

Operationsverstärker

Die Elektronenröhre

Integrierte Schaltungen

Oszillator

Rückkopplung

Oszillatortypen

LC-Oszillator, Quarzoszillator, PLL Oszillator,

VCO

Kennzeichnung der Sendarten

Modulation

CW Modulation

Amplitudenmodulation

Modulationsgrad, Leistung bei AM

SSB Modulation

*Trägerunterdrückung, Ringmodulator,
Vergleich AM - SSB*

Frequenzmodulation

Erzeugung von FM

Demodulation

CW-Demodulation

AM-Demodulation

Der Audion-Demodulator

SSB Demodulation

*Demodulation von SSB
Der Produktdetektor*

FM Demodulation

FM-Demodulator, FM-Demodulator mit PLL

PLL

VCO, PLL mit Mischstufen

Sender

Einfachmischprinzip, Mehrfachmischprinzip,

Vervielfacher, Balance-Mischer (SSB)

CW, AM, FM Modulation

Transverter

Hochfrequenzverstärker

selektive Verstärker, PI-Filter, Leistungsverstärker,

Wirkungsgrad

Schaltungen

Senderleistungen

Beseitigung von Störungen

Größen und Einheiten

Volt, Watt, Ampere, Henry, Farad, Siemens, Tesla, Hz

Zehnerpotenzen

Milli, Kilo, μ , ppm, %

Schwingungen

Frequenz, Wellenlänge, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Verkürzungsfaktor

Das Dezibel

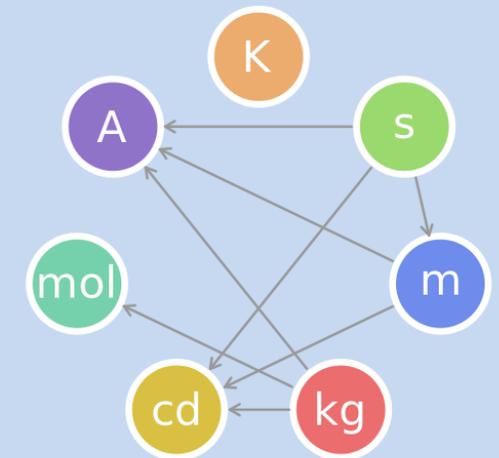
Spannung, Leistung, dB μ V, dBW,

Die S-Stufen

Internationales Einheitensystem SI (=systeme international d'unites)

Mit einem Gesetz wurden diese Grundeinheiten 1970 in der Bundesrepublik Deutschland gesetzlich vorgeschrieben.

Masse	m	Kilogramm	kg	Masse des internationalen Kilogrammprototyps
Zeit	t	Sekunde	s	Das 9.192.631.770-fache der Periodendauer einer Cäsium ¹³³ CS Schwingung / Strahlung
Thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K	1/273,16 der Temperatur des Tripelpunktes von Wasser bei genau spezifizierten Rahmenbedingungen
Länge	l	Meter	m	
Stromstärke	I	Ampere	A	
Stoffmenge	n	Mol	mol	
Lichtstärke	I _v	Candela	cd	



Alle anderen Einheiten werden von diese 7 Basiseinheiten abgeleitet.

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Internationales_Einheitensystem

Abgeleitete Einheiten

Spannung	U	Volt	V	
Strom	I	Ampere	A	
Widerstand	R	Ohm	Ω	$\Omega = V/A$
Impedanz	Z	Ohm	Ω	
Leitwert	G	Siemens	S	$S = 1/\Omega$
Leistung	P	Watt	W	$W = V \cdot A$
Arbeit	W	Wattsekunde	Ws	
Frequenz	f	Hertz	Hz	$Hz = 1/s$
Kapazität	C	Farad	F	$F = As/V$
Induktivität	L	Henry	H	$H = Vs/A$
Elektrische Feldstärke	E	Volt pro Meter	V/m	
Magnetische Feldstärke	H	Ampere pro Meter	A/m	
Magnetische Flussdichte	T	Tesla	Vs/m ²	
Lichtstrom		Lumen	lm	$lm = sr \cdot cd$
Beleuchtungsstärke	E_v	Lux	lx	$lx = lm/m^2$

1.1.2 Größen und Einheiten

TA201 Welche Einheit wird für die elektrische Spannung verwendet?

A Volt (V) B Ampere (A) C Ohm (Ω) D Amperestunden (Ah)

TA202 Welche Einheit wird für die elektrische Ladung verwendet?

A Amperesekunde (As) B Kilowatt (kW) C Joule (J) D Ampere (A)

TA204 In welcher Einheit wird der elektrische Widerstand angegeben?

A Ohm B Farad C Siemens D Henry

TA205 Welche der nachfolgenden Antworten enthält nur Basiseinheiten nach dem internationalen Einheitensystem?

A Ampere, Kelvin, Meter, Sekunde B Sekunde, Meter, Volt, Watt
C Farad, Henry, Ohm, Sekunde D Grad, Hertz, Ohm, Sekunde

TA206 0,22 μ F sind

A 220 nF. B 22 nF. C 220 pF. D 22 pF.

TA207 3,75 MHz sind

A 3750 kHz. B 375 kHz. C 0,0375 GHz. D 0,375 GHz.

TA208 Welche Einheit wird für die Kapazität verwendet?

A Farad (F) B Ohm (Ω) C Siemens (S) D Henry (H)

Zehnerpotenzen

Zehnerpotenzen sind eine übliche Darstellung von sehr großen oder sehr kleinen Zahlen. Sie basieren auf unserem Zehnersystem und werden als **Potenzen der Zahl 10** dargestellt: 10^n (gesprochen: 10 hoch n)

	Dezimal	Exponential	SI-Präfix	SI-Symbol		
Billionstel	0,000.000.000.001	10^{-12}	piko	p		
Milliardstel	0,000.000.001	10^{-9}	nano	n		
Millionstel	0,000.001	10^{-6}	mikro	μ	-> ppm	
Tausendstel	0,001	10^{-3}	milli	m	-> Promille	0/00
Hundertstel	0,01	10^{-2}	zenti	c	-> Prozent	%
Zehntel	0,1	10^{-1}	dezi	d		
Eins	1	10^0				
Zehn	10	10^1	deka	da		
Hundert	100	10^2	hekto	h		
Tausend	1000	10^3	kilo	k		
Million	1.000.000	10^6	mega	M		
Milliarde	1.000.000.000	10^9	giga	G		
Billion	1.000.000.000.000	10^{12}	tera	T		

Im Englischen Sprachraum werden z.T. unterschiedliche Bezeichnungen verwendet.

Deutsch: Milliarde -> Englisch: Billion

Zehnerpotenzen: Beispiele

1 kg	=	10^3 g	=	1.000 g	1 hl	=	10^2 l	=	100 l
100 kHz	=	$100 \cdot 10^3$ Hz	=	100.000 Hz	145 MHz	=	$145 \cdot 10^6$ Hz	=	145.000.000 Hz
2,4 GHz	=	$2,4 \cdot 10^9$ Hz	=	2.400.000.000 Hz					
1 mg	=	$1 \cdot 10^{-3}$ g	=	0,001 g	10 cm	=	$10 \cdot 10^{-1}$ m	=	0,10 m
4,7 pF	=	$4,7 \cdot 10^{-12}$ F	=	0,000.000.000.004.7 F	100 μ F	=	$100 \cdot 10^{-6}$ F	=	0,000.001 F
10 %	=	$10 \cdot 10^{-2}$	=	0,10	0,5 ‰	=	$0,5 \cdot 10^{-3}$	=	0,005
5 ppm	=	$5 \cdot 10^{-6}$	=	0,000.005					

Zehnerpotenzen haben den großen Vorteil, dass man mit ihnen auch astronomisch große Zahlen einfach ausdrücken kann.

$9.460.730.472.580.800 \text{ m} \approx 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m} \approx 9,461 \text{ Billionen Kilometer} \rightarrow 1 \text{ Lichtjahr.}$

*Wie lange braucht ein Flugzeug (1000km/h) für ein Lichtjahr? $\rightarrow 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m} = 9,461 \cdot 10^{12} \text{ km} / 1000 \text{ km/h} = 9,461 \cdot 10^9 \text{ h} \rightarrow 1.080.023 \text{ Jahre}$
 \rightarrow mehr als 1 Million Jahre*

Wie lange hätte Apollo 11 gebraucht? (11km/s) $\rightarrow 9,461 \cdot 10^{12} \text{ km} / 11 \text{ km/s} = 239 \cdot 10^6 \text{ h} = 27.273 \text{ Jahre}$

1.1.1 Allgemeine mathematische Grundlagen

TA101 0,042 A entspricht

A $42 \cdot 10^{-3}$ A.

B $42 \cdot 10^3$ A.

C $42 \cdot 10^{-2}$ A.

D $42 \cdot 10^{-1}$ A.

TA102 0,00042 A entspricht

A $420 \cdot 10^{-6}$ A.

B $420 \cdot 10^6$ A.

C $420 \cdot 10^{-5}$ A.

D $42 \cdot 10^{-6}$ A.

TA103 100 mW entspricht

A 10^{-1} W.

B 0,001 W.

C 0,01 W.

D 10^{-2} W.

TA104 4 200 000 Hz entspricht

A $4,2 \cdot 10^6$ Hz.

B $4,2 \cdot 10^5$ Hz.

C $42 \cdot 10^6$ Hz.

D $42 \cdot 10^{-5}$ Hz.

Strom – und Spannungsquelle

Innenwiderstand, Stromkreis

Elektrisches Feld

Magnetisches Feld

Elektromagnetisches Feld

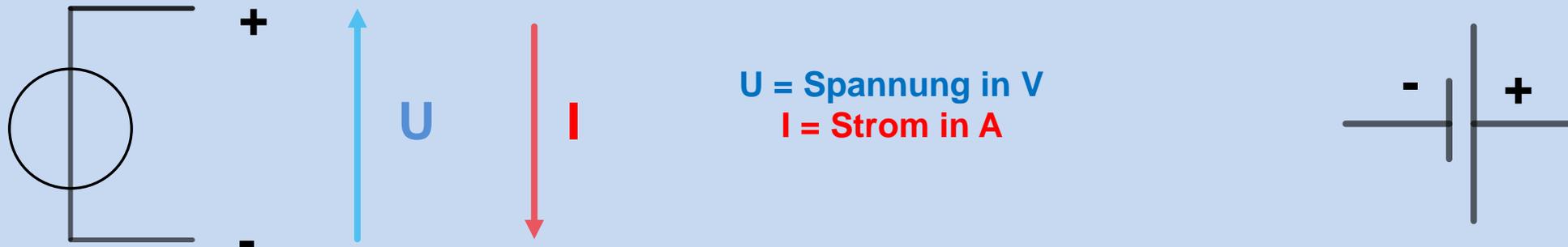
Messungen und Messinstrumente

Drehspulenmessgerät, Oszilloskop, Dip-Meter

Durchführung von Messungen

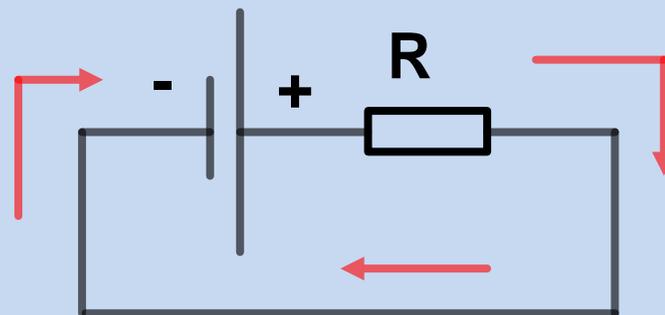
Strom- Spannungsquelle

Eine **Spannungsquelle** bzw. **Stromquelle** ist ein Gerät, das an seinen Anschlüssen eine **Spannung** oder einen **Strom** liefert.



Bei der **technischen Stromrichtung** fließt der Strom vom **Pluspol** zum **Minuspole**.

Dazu muss der **Stromkreis geschlossen** sein d.h. der Strom muss vom Pluspol zum Minuspole fließen können.



1.2.2 Strom und Spannungsquellen

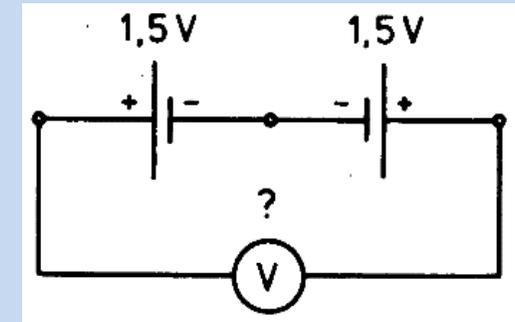
TB201 Welche Spannung zeigt der Spannungsmesser in folgender Schaltung?

A 0 V

B 3 V

C -3 V

D 1,5 V



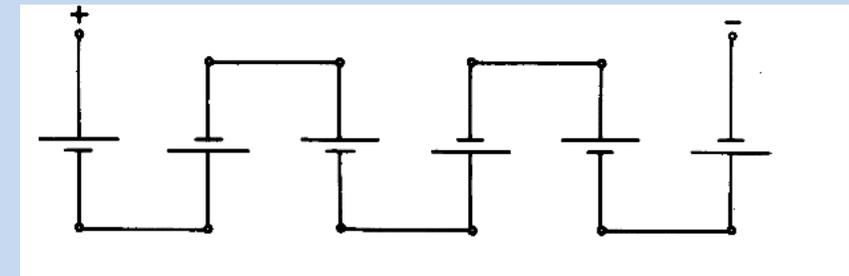
TB202 Folgende Schaltung eines Akkus besteht aus Zellen von je 2 V. Jede Zelle kann 10 Ah Ladung liefern. Welche Daten hat der Akku?

A 12 V / 10 Ah

B 12 V / 60 Ah

C 2 V / 10 Ah

D 2 V / 60 Ah



TB203 Was versteht man unter „technischer Stromrichtung“ in der Elektrotechnik?

A Man nimmt an, dass der Strom vom Pluspol zum Minuspol fließt.

B Man nimmt an, dass der Strom vom Minuspol zum Pluspol fließt.

C Es ist die Flussrichtung der Elektronen vom Minuspol zum Pluspol.

D Es ist die Flussrichtung der Elektronen vom Pluspol zum Minuspol.

1.2.2 Strom und Spannungsquellen

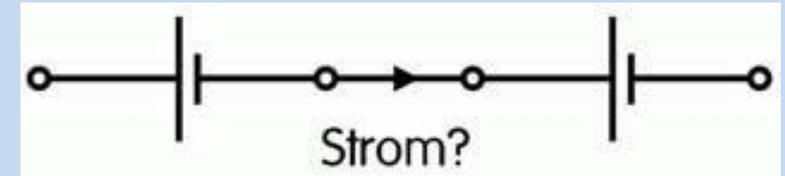
TB204 Kann in folgender Schaltung von zwei gleichen Spannungsquellen Strom fließen? Welche Begründung ist richtig?

A Nein, weil kein geschlossener Stromkreis vorhanden ist.

B Nein, weil der Pluspol mit dem Minuspol verbunden ist.

C Ja, sogar Kurzschlussstrom, weil der Pluspol mit dem Minuspol verbunden ist.

D Ja. Der Strom hängt vom Innenwiderstand der Batterien ab.



TB205 Wie lange könnte man mit einem voll geladenen Akku mit 55 Ah einen Amateurfunkempfänger betreiben, der einen Strom von 0,8 A aufnimmt?

A 68 Stunden und 45 Minuten

B Genau 44 Stunden

C 6 Stunden 52 Minuten und 30 Sekunden

D 69 Stunden und 15 Minuten

1.2.2 Strom und Spannungsquellen

TD301 Welche Eigenschaften sollten Strom- und Spannungsquellen aufweisen?

A Spannungsquellen sollten einen möglichst niedrigen Innenwiderstand und Stromquellen einen möglichst hohen Innenwiderstand haben.

B Strom- und Spannungsquellen sollten einen möglichst niedrigen Innenwiderstand haben.

C Strom- und Spannungsquellen sollten einen möglichst hohen Innenwiderstand haben.

D Spannungsquellen sollten einen möglichst hohen Innenwiderstand und Stromquellen einen möglichst niedrigen Innenwiderstand haben.

TD302 Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,5 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 1 A abgibt, sinkt die Klemmenspannung auf 12,4 V. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

A 1,1 Ω

B 13,5 Ω

C 12,4 Ω

D 1,2 Ω

TD303 Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,5 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 2 A abgibt, sinkt die Klemmenspannung auf 13 V. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

A 0,25 Ω

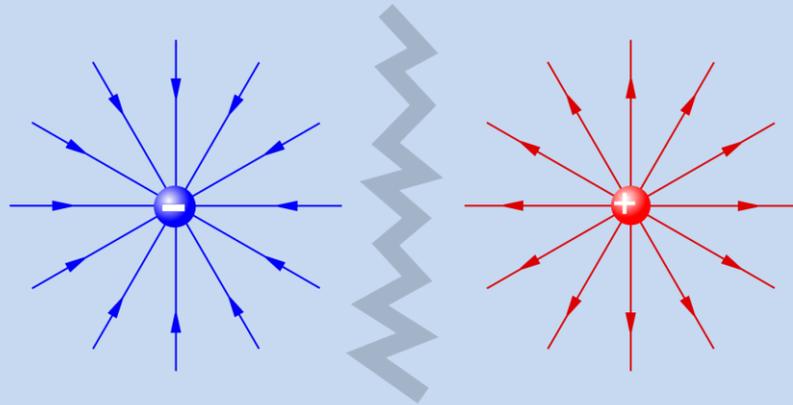
B 6,75 Ω

C 13 Ω

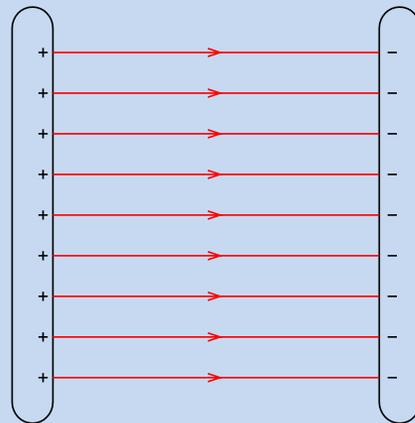
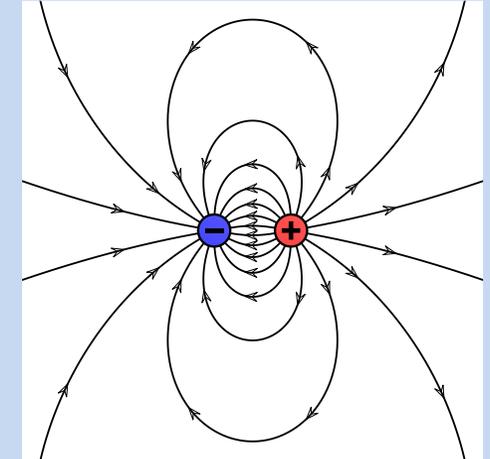
D 6,5 Ω

Elektrisches Feld (E-Feld)

Das **elektrische Feld** wirkt auf **elektrische Ladungen**. (Elektronen) Es wird durch die **elektrische Feldstärke** beschrieben. Sie zeigt die Stärke und die Richtung des Feldes.



Ausbreitung des elektrischen Feldes.



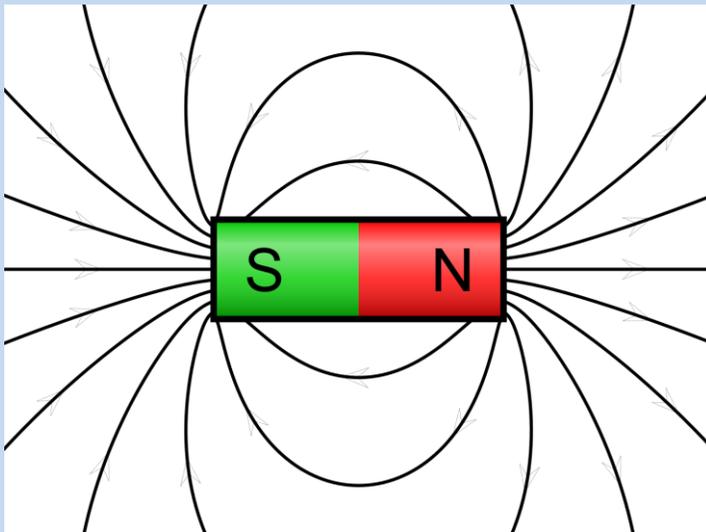
Elektrisches Feld eines Plattenkondensators
Homogenes Feld

Unterschiedliche Ladungen ziehen sich an.
Gleiche Ladungen stoßen sich ab.

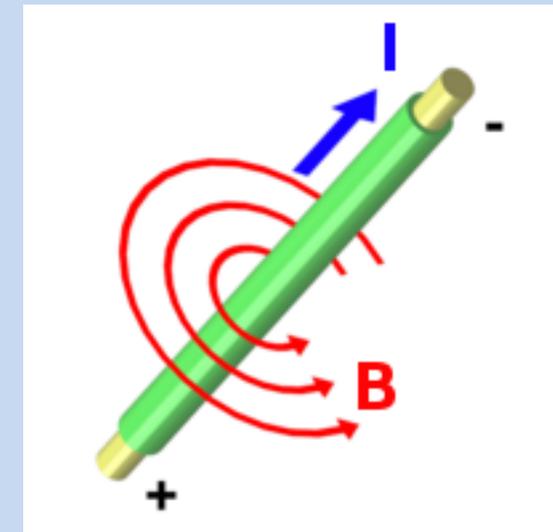
Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrisches_Feld

Das **magnetische Feld** wirkt auf magnetische Materialien oder auf **bewegte Ladungsträgern**. Es wird durch das Magnetfeld beschrieben, das von Objekten erzeugt wird oder auf Objekte wirkt.

Magnetfelder werden u.a. durch bewegte elektrische Ladungen erzeugt.
(mechanische Bewegung oder veränderlichen Strom -> **Wechselstrom**)



Magnetfeld eines Magneten



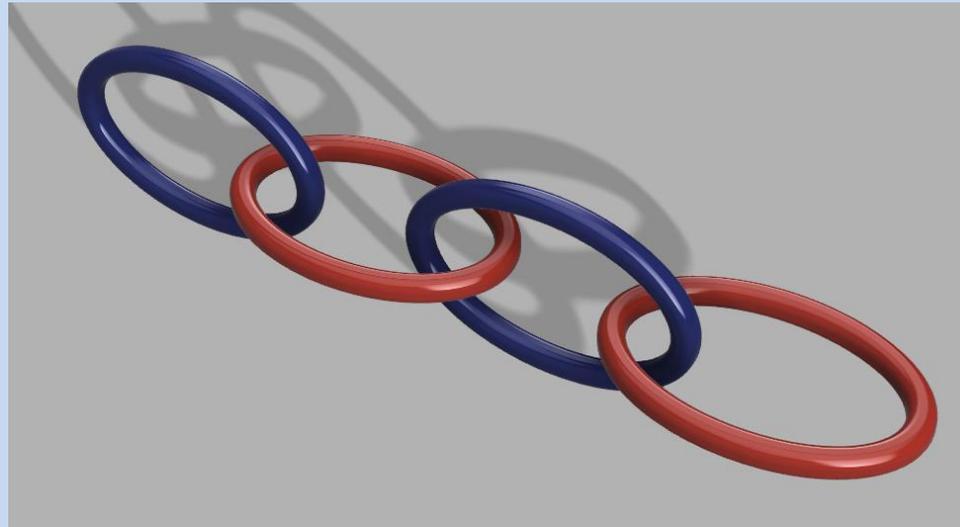
Magnetfeld um einen stromführenden Leiter.
„Rechte Hand Regen“

Das **elektromagnetische Feld** ist eine Kombination aus elektrischem Feld (E-Feld) und magnetischem Feld (H-Feld).

Es ist eine nichtionisierte **Strahlung**. (elektromagnetische Strahlung z.B. Funkwellen, Licht)

Die Ausbreitung geschieht durch die **Wechselwirkung** zwischen elektrischem (E) und magnetischen (H) Feld.

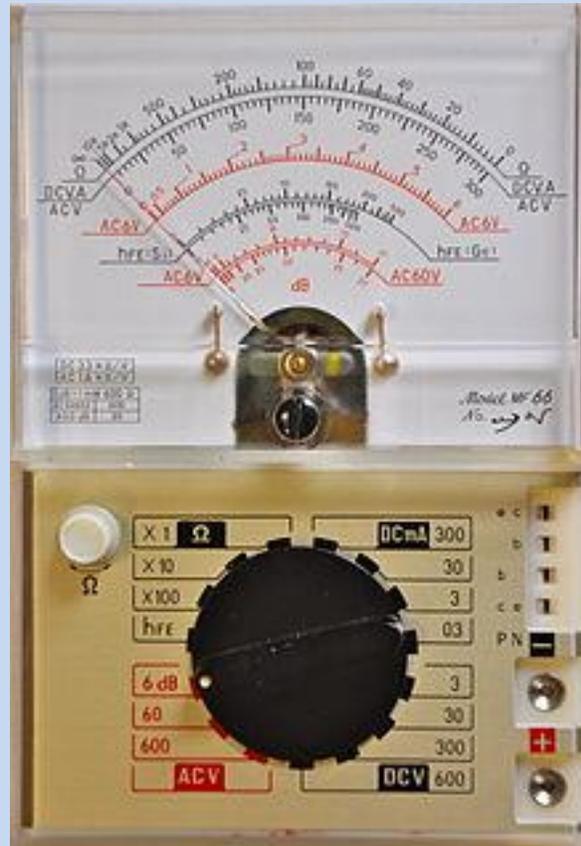
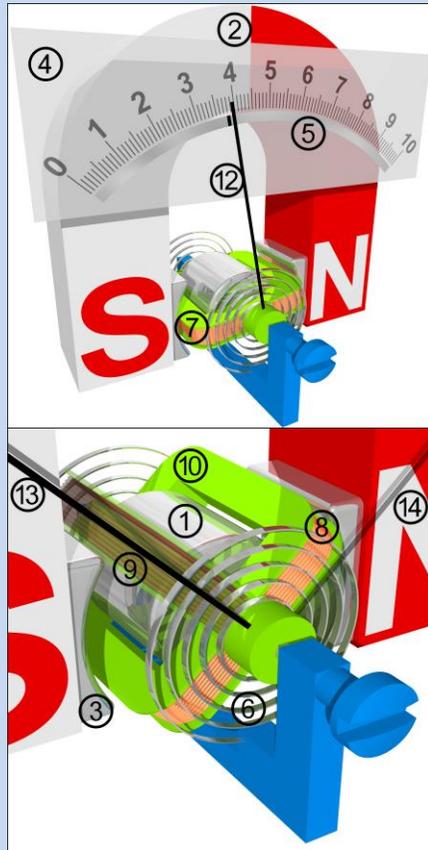
Die beiden Felder stehen dabei **senkrecht aufeinander** und sind verknüpft **wie die Glieder einer Kette**.



1.2.3, 1.2.4, 1.2.5 Felder

- TB301 Welche Einheit wird für die elektrische Feldstärke verwendet?
- TB302 Wie nennt man das Feld zwischen zwei parallelen Kondensatorplatten bei Anschluss einer Gleichspannung?
- TB303 Wie werden die mit X gekennzeichneten Feldlinien einer Vertikalantenne bezeichnet?
-
- TB401 Welche Einheit wird für die magnetische Feldstärke verwendet?
- TB402 Wie nennt man das Feld im Innern einer langen Zylinderspule beim Fließen eines Gleichstroms?
- TB403 Wenn Strom durch einen gestreckten Leiter fließt, entsteht ein
- TB404 Wie werden die mit X gekennzeichneten Feldlinien einer Vertikalantenne bezeichnet?
-
- TB501 Wodurch entsteht ein elektromagnetisches Feld?
- TB502 Wie erfolgt die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle?
- TB503 Das folgende Bild zeigt die Feldlinien eines elektromagnetischen Feldes.
Welche Polarisierung hat die skizzierte Wellenfront?
- TB504 Der Winkel zwischen den elektrischen und magnetischen Feldkomponenten eines elektromagnetischen Feldes beträgt im Fernfeld

Mit einem Drehspulenmessgerät kann man elektrische Ströme und Spannungen messen.
Der Messwert wird mit einem Zeiger auf einer Skala angezeigt.



Heute werden vorwiegend digitale Messgeräte eingesetzt. **Multimeter**



Messungen und Messgeräte 2: Oszilloskop

Ein **Oszilloskop** zeigt eine oder mehrere elektrische Spannungen und deren zeitlichen Verlauf auf einem Bildschirm.

Das Oszilloskop zeigt die Werte in einem **Koordinatensystem**.

Normalerweise ist die **horizontale Achse die Zeitachse** und die **vertikale Achse die Spannungsachse**.

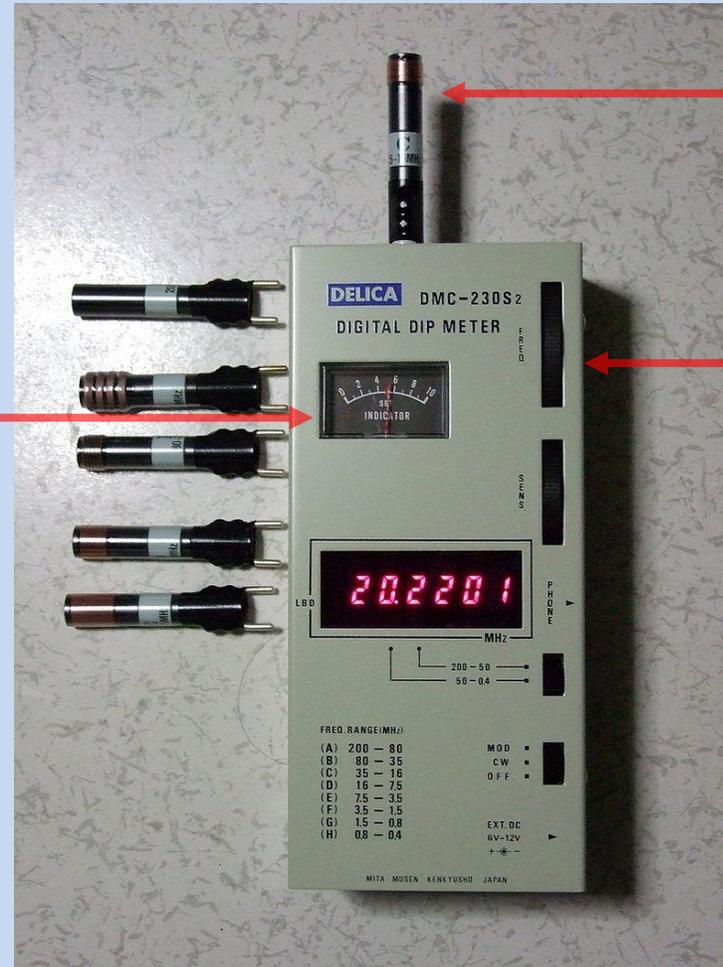
Das so entstehende Bild wird als **Oszillogramm** bezeichnet



Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Oszilloskop>

Ein **Dipmeter**, oder **Grid-Dipper** misst die Resonanzfrequenz von elektrischen Schwingkreisen oder Antennen. Er besteht aus einem **durchstimbaren Oszillator** mit einer Spule, die von außen zugänglich ist. Der Messbereich lässt sich in groben Schritten durch Austausch der Spule (Steckspule) wählen.

Beim Erreichen der Resonanzfrequenz schlägt das Instrument kurz aus:
Es „dippt“



Sendespule
Sie wird an den zu messenden Schwingkreis gehalten

Einstellung / Durchstimmung
Der Frequenz

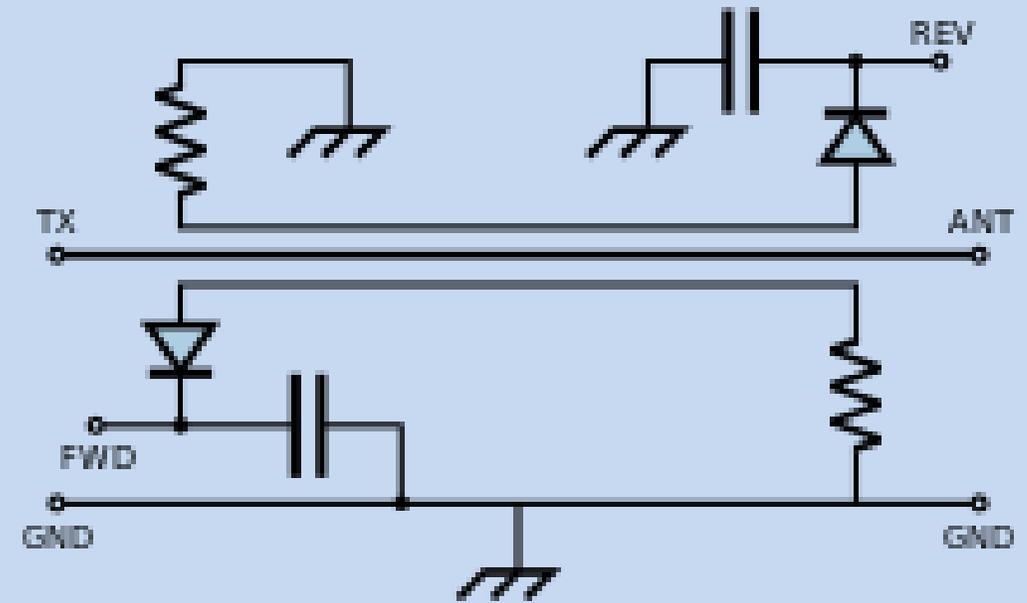
Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Dipmeter>

Ein **Stehwellenmessgerät** ist ein Gerät zur Messung des Stehwellenverhältnisses.

(SWR = standing wave ratio)

Es kann die in einem Kabel laufenden hochfrequenten Wellen **getrennt nach Richtung** in ihrem **Betrag** erfassen.

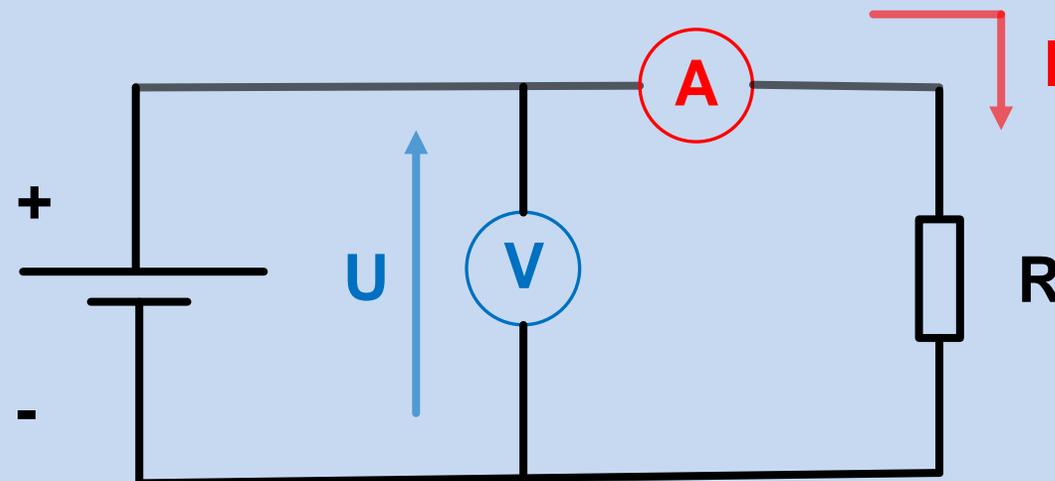
Es erlaubt eine Aussage über das Maß der Fehlanpassung einer Antenne.



Aufbau / Richtkoppler

Spannungen werden **parallel zur Last** gemessen. (hochohmig)

Ströme werden in **Reihe zur Last** gemessen. (niederohmig)



1.10 Messungen und Messinstrumente

- TJ101 Das Prinzip eines Drehspulmessgeräts beruht auf
- TJ102 Die Auflösung eines Messinstrumentes entspricht
- TJ103 Was ist ein Dipmeter?
- TJ104 Wozu wird ein Dipmeter beispielsweise verwendet?
- TJ105 Welches dieser Messgeräte ist für die Ermittlung der Resonanzfrequenz eines Traps, das für einen Dipol genutzt werden soll, am besten geeignet?
- TJ106 Wie ermittelt man die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises?
- TJ107 Für welche Messungen verwendet man ein Oszilloskop?
- TJ108 Welches dieser Geräte wird für die Anzeige von NF-Verzerrungen verwendet?
- TJ201 Welche Schaltung könnte dazu verwendet werden, den Wert eines Widerstandes anhand des ohmschen Gesetzes zu ermitteln?
- TJ202 Wie werden elektrische Spannungsmesser an Messobjekte angeschlossen und welche Anforderungen muss das Messgerät erfüllen, damit der Messfehler möglichst gering bleibt?
- TJ203 Die Zeitbasis eines Oszilloskops ist so eingestellt, dass ein Skalenteil 0,5 ms entspricht. Welche Frequenz hat die angelegte Spannung?
- TJ204 Für welchen Zweck wird eine Stehwellenmessbrücke verwendet?
- TJ205 Welche Spannung wird bei dem folgenden Messinstrument angezeigt, wenn dessen Messbereich auf 10 V eingestellt ist?
- TJ211 An welchem Punkt sollte das Stehwellenmessgerät eingeschleift werden, um zu prüfen, ob der Sender gut an die Antennenanlage angepasst ist?

Größen und Einheiten

Volt, Watt, Amper Henry, Farad, Siemens, Tesla, Hz

Zehnerpotenzen

Milli, Kilo, μ , ppm, %

Schwingungen

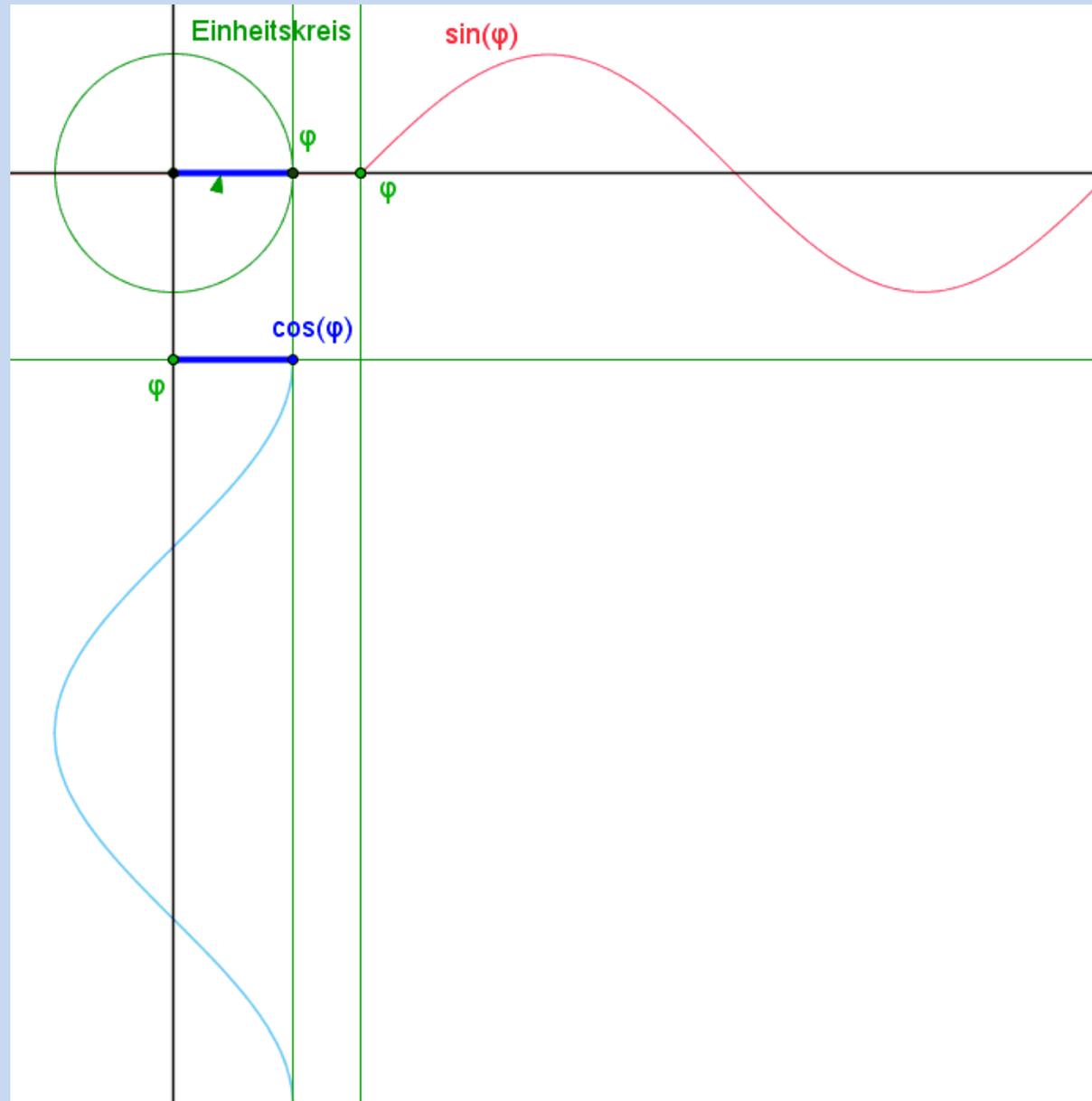
Frequenz, Wellenlänge, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Verkürzungsfaktor

Das Dezibel

Spannung, Leistung, $\text{dB}\mu\text{V}$, dBW ,

Die S-Stufen

Einschub: Einheitskreis und Sinus



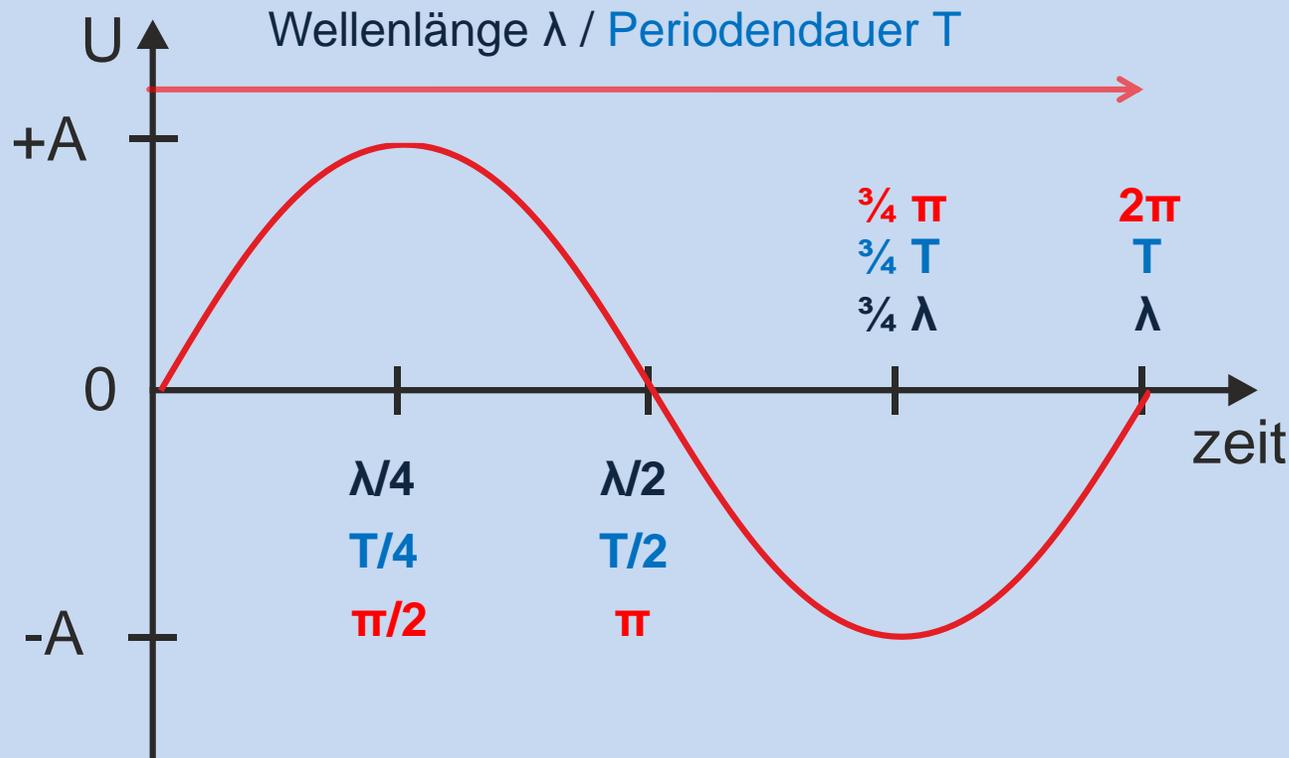
Sinus Schwingung: Frequenz und Wellenlänge

Funktsignale breiten sich in Form von **elektromagnetischen Wellen** aus.

Die **Grundform** einer Welle ist die **Sinus-Welle**.

Eine Sinus-Welle einer bestimmten **Wellenlänge** entspricht genau einer **Frequenz**.

Ein Wellenzug ist eine **Schwingung**. Die **Frequenz** gibt, wie viele Schwingungen/Sekunde gemacht werden.



$$f = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{f};$$

$$\lambda = \frac{c_0}{f}; \quad f = \frac{c_0}{\lambda}; \quad c_0 = \lambda * f;$$

T = Periodendauer

f = Frequenz

λ = Wellenlänge

c_0 = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

$c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s}$

$\pi = 180^\circ$;

$$\text{Amplitude } U = \sin(\text{zeit}) = \sin(\omega * t); \quad \omega = \text{Kreisfrequenz} \quad \omega = 2 * \pi * f;$$

Erde-Mond = 384.400km

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

- TB601 Welches ist die Einheit der Wellenlänge ?
 TB603 Welcher Wellenlänge λ entspricht die Frequenz 28,48 MHz ?
 TB604 Eine Wellenlänge von 2,06 m entspricht einer Frequenz von
 TB605 Eine Wellenlänge von 80,0 m entspricht einer Frequenz von
 TB607 Die Periodendauer von 50 μ s entspricht einer Frequenz von
TB602 Welcher Wellenlänge λ entspricht die Frequenz 1,84 MHz ?

$$\lambda = \frac{c_0}{f}; \quad f = \frac{c_0}{\lambda};$$

$$c_0 = \lambda * f;$$

$$f = \frac{1}{T};$$

$$\lambda = \frac{c_0}{f}; \quad f = \text{Frequenz} = 1,84 \text{ MHz}; \quad c_0 = \text{Lichtgeschwindigkeit} = \text{ca. } 300.000 \text{ km/s};$$

$$\lambda = \frac{300.000 \text{ km/s}}{1,84 \text{ MHz}} \rightarrow 300.000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 300.000.000 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 300 * 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

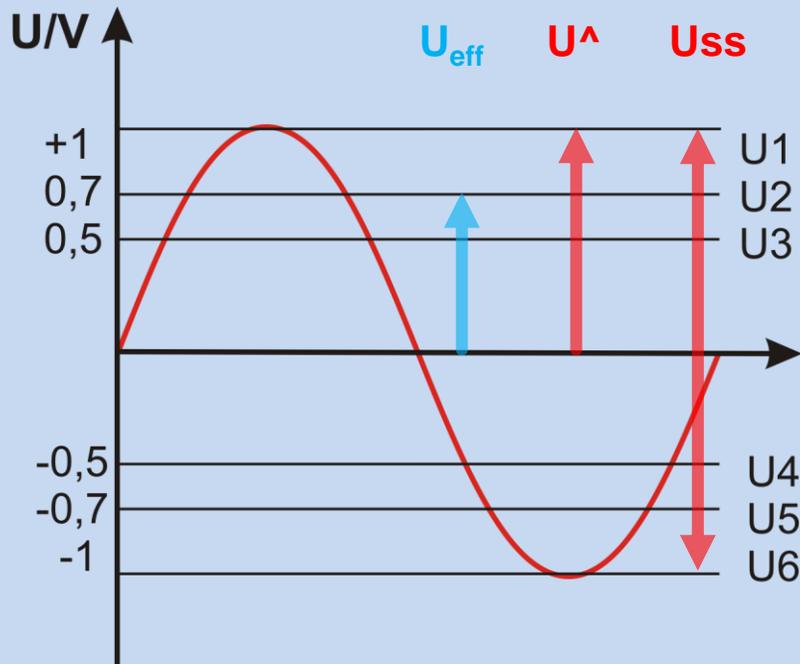
$$1,84 \text{ MHz} \rightarrow 1,84 \text{ MHz} = 1.840.000 \text{ Hz} = 1,84 * 10^6 \text{ Hz} = 1,84 * 10^6 \frac{1}{\text{s}};$$

$$\lambda = \frac{300 * 10^6 \text{ m s}}{\text{s} 1,84 * 10^6}$$

$$\lambda = \frac{300 \text{ m}}{1,84} = 163 \text{ m};$$

Sinus Schwingung: Spitzenwert und Effektivwert

Sinusförmige Signale werden außer durch die Frequenz durch ihre Amplitudenwerte bestimmt.
Man unterscheidet zwischen **Spitzenwert** und **Effektivwert**.



$$U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} * U^{\wedge}$$

Ca. 0,707

Spitzenwert

Maximale Amplitude der Schwingung.
Hier: U1 bzw. U6

Spitzen-Spitzen Wert U_{ss}

Doppelter Spitzenwert

Effektivwert

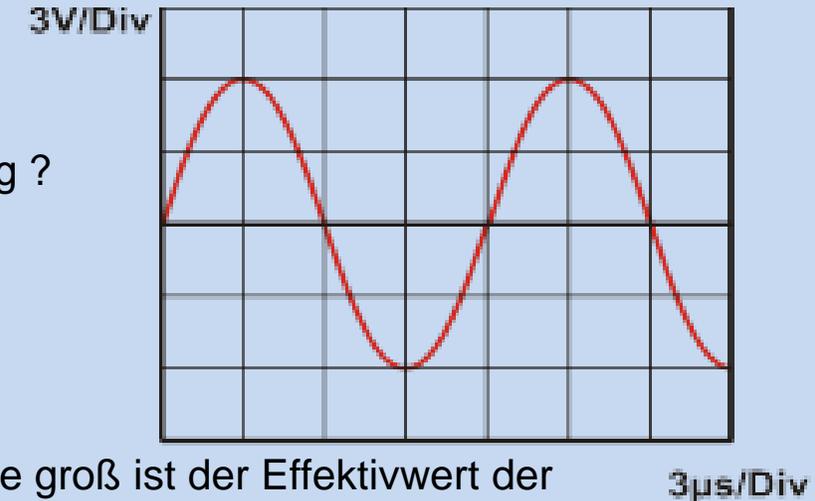
Entspricht dem Spannungswert, der eine Wirkleistung erzeugt d.h. eine Gleichspannung mit dem Wert der Effektivspannung erzeugt die gleiche Wirkleistung.
Hier: U2 bzw. U5

Englischer Begriff :

RMS (Root Mean Square, Quadratischer Mittelwert)

1.2.6 Sinusförmige Signale

- TB609 Das 70-cm Band befindet sich im
TB610 Welche Frequenz hat die in diesem Oszillogramm dargestellte Spannung ?
TB611 Welche Frequenz hat das in diesem Schirmbild dargestellte Signal ?



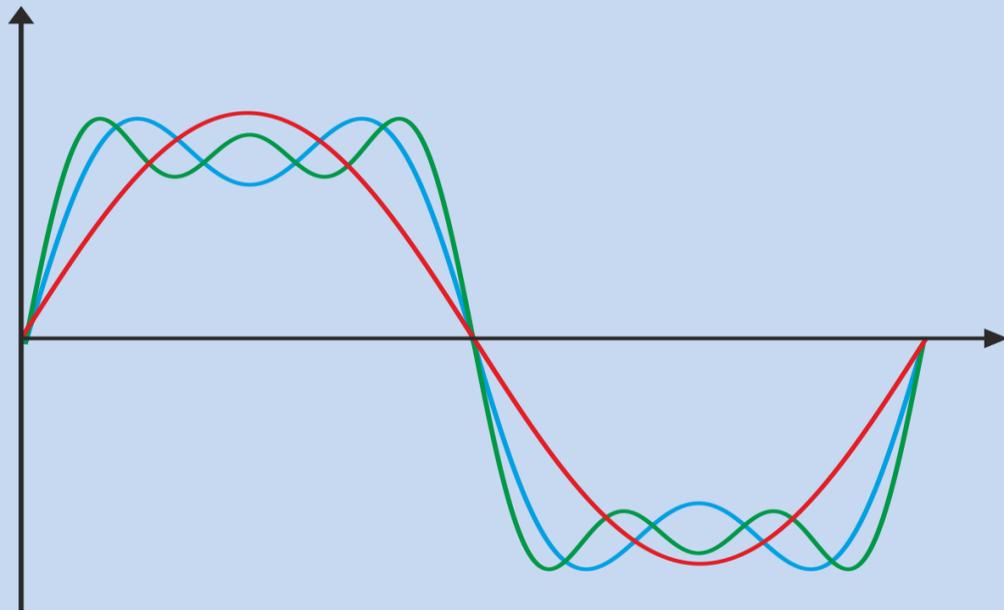
- TB612 Eine sinusförmige Wechselspannung hat einen Spitzenwert von 12V. Wie groß ist der Effektivwert der Wechselspannung ?
TB613 Eine sinusförmige Wechselspannung hat einen Effektivwert von 12V. Wie groß ist der Spitzen-Spitzen Wert?

$$U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \hat{U} \quad U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} * 12V = 0,707 * 12V = 8,48V;$$

$$\hat{U} = \sqrt{2} * U_{eff} \quad \hat{U} = \sqrt{2} * 12V \quad U = 1,41 * 12V = 16,92V \quad U_{ss} = 2 * 16,92V = 33,84V$$

Wellen: Kinder der Sinusschwingung

Die **Sinuswelle** ist die **Grundform** aller Wellen. Alle anderen Wellenformen entstehen durch **Mischung** von Sinuswellen mit unterschiedlicher Amplitude und Frequenz.



$$\omega = 2 * \pi * f;$$

$$A = \sin(\omega t);$$

$$A = \sin(\omega t) + \frac{1}{3} * \sin(3 * \omega t);$$

$$A = \sin(\omega t) + \frac{1}{3} * \sin(3 * \omega t) + \frac{1}{5} * \sin(5 * \omega t);$$

Alle Wellenformen können durch **Mischung von Sinuswellen** mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude erzeugt werden.

Alle Wellenformen können in Sinuswellen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude zerlegt werden.

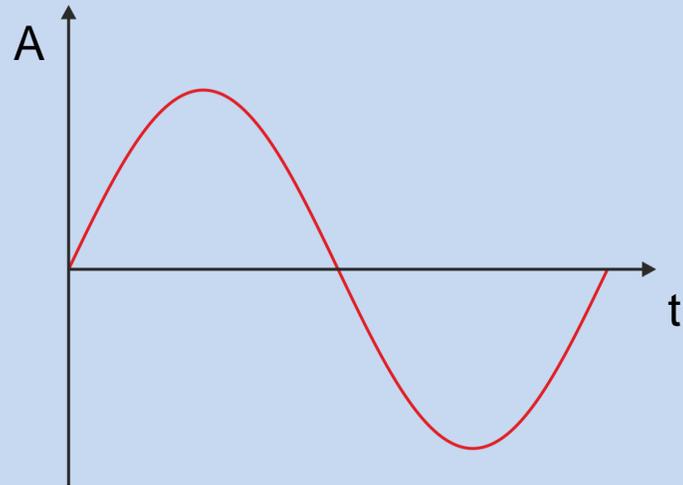
Fourier-Synthese

Fourier-Analyse

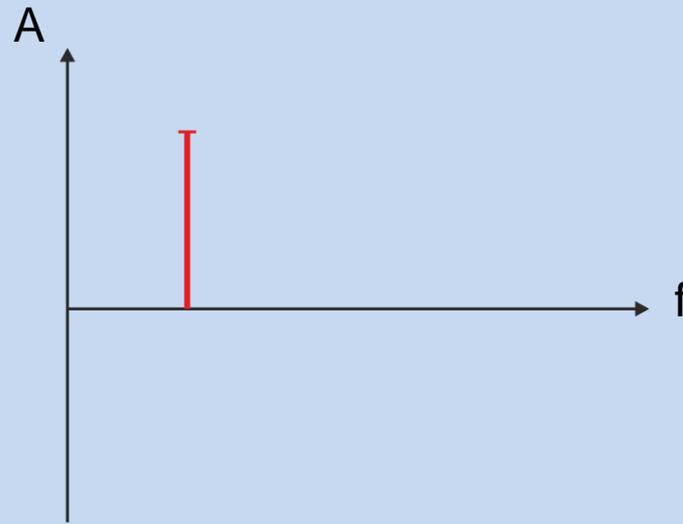
Jean Baptist Joseph Fourier 1822: Theorie analytique de la chaleur.

Wellen: Von der Zeit zur Frequenz

Wegen den von **Fourier** entdeckten Zusammenhängen kann die Darstellung von Wellenformen stark vereinfacht werden. Die die **Grundform** jeder Wellenform eine **Sinuswelle** ist, braucht sie nicht mehr „gezeichnet“ werden.



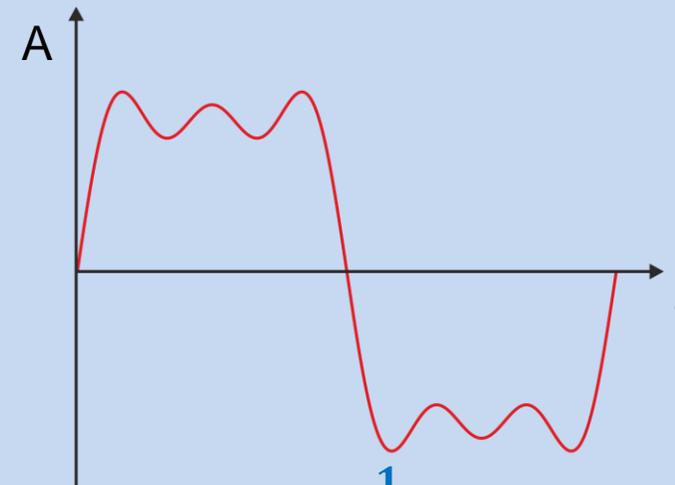
$$A = \sin(\omega t);$$



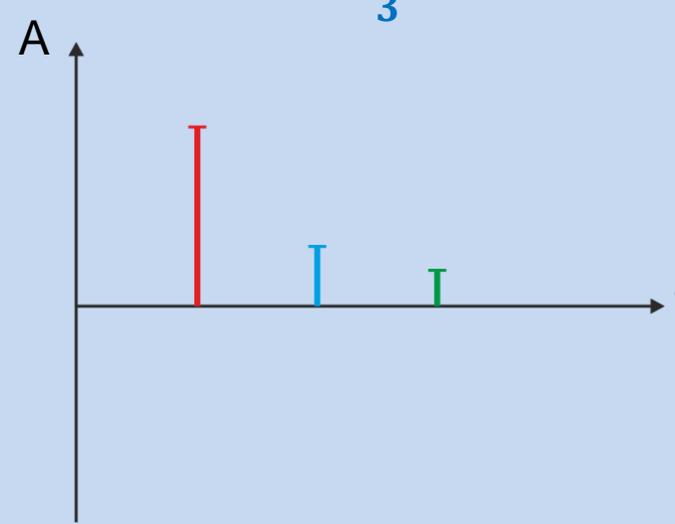
Zeitbereich



Frequenzbereich
Spektrum



$$A = \sin(\omega t) + \frac{1}{3} * \sin(3 * \omega t) + \frac{1}{5} * \sin(5 * \omega t)$$



Eine Harmonische ist ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz – eine Oberwelle. Dabei gilt folgende Festlegung:

Die **Grundschwingung** der Frequenz ist die **1. Harmonische**. 1. ungeradzahlige H.

Die **doppelte Frequenz** ist die 2. Harmonische bzw. **1. Oberwelle** 1. geradzahlige H.
(doppelte Frequenz = Oktave)

Die **dreifache Frequenz** ist die 3. Harmonische bzw. 2. Oberwelle 2. ungeradzahlige H.

Jeder Wellenverlauf, der von der **reinen Sinusform** abweicht, (= **verzerrt**) hat Oberwellen.

Je „**kantiger**“ die Wellenform ist, desto mehr Oberwellen sind vorhanden.

Worst case: Der Dirac-Stoß erzeugt unendlich viele Frequenzen. (Ein Impuls mit unendlich kurzer Länge.)

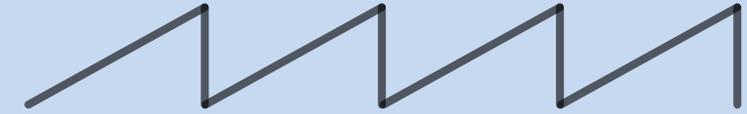
Jede aktive Schaltung verzerrt die Signalform und erzeugt damit Oberwellen.

Oberwellen: Beispiele



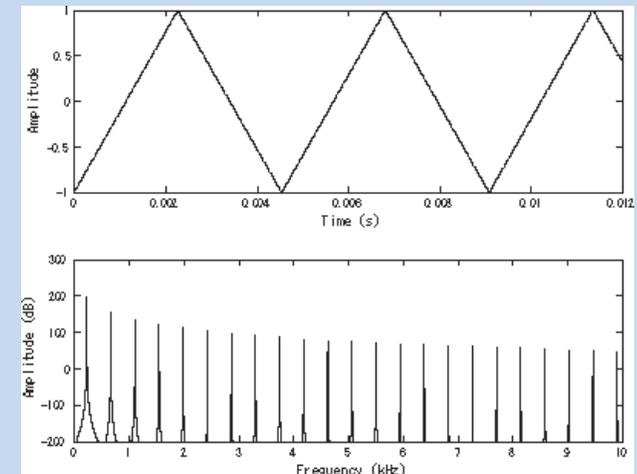
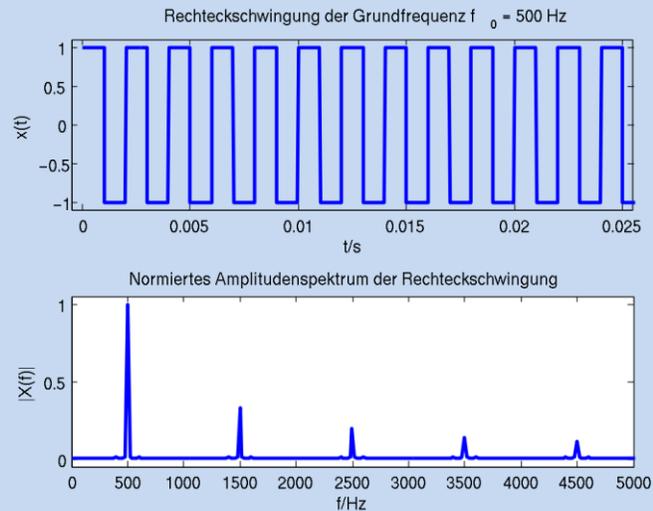
$$f(t) = \sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3 * \omega t) + \frac{1}{5} \sin(5 * \omega t) + \dots;$$

Es entstehen nur ungeradzahlige Oberwellen.



$$f(t) = \frac{2}{\pi} [\sin(\omega t) - \frac{1}{2} \sin(2\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) - \frac{1}{4} \sin(4\omega t) + \dots]$$

Es entstehen geradzahlige + ungeradzahlige Oberwellen.



Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Frequenzspektrum>

Wellen: Ausbreitungsgeschwindigkeit

Eine Welle breitet sich **nur im Vakuum** mit der maximal möglichen Geschwindigkeit, der **Lichtgeschwindigkeit des Vakuum c_0** aus.

$$c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s;}$$

In/auf jedem andern Medium ist die **Ausbreitungsgeschwindigkeit** einer Welle langsamer.

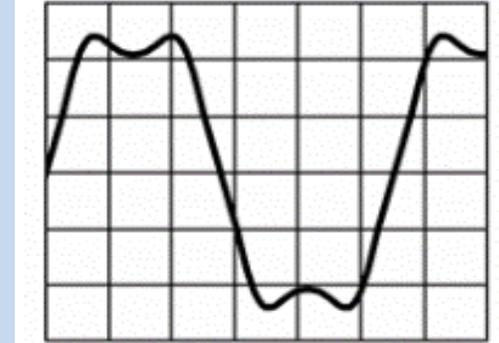
Der **Verkürzungsfaktor** (VKF) ist das Verhältnis der Signalgeschwindigkeit auf einer Leitung zur Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

Der **Verkürzungsfaktor** muss bei der Berechnung von Antennen und Kabeln berücksichtigt werden.

$$VKF = \frac{1}{c_0 * \sqrt{L' * C'}};$$

VKF = Verkürzungsfaktor
L' = Induktivitätsbelag
C' = Kapazitätsbelag

TB702 Ein periodische Schwingung, die wie das folgende Signal aussieht, besteht



Die zweite ungeradzahlige Harmonische der Frequenz 144,690 MHz ist

Die Harmonischen werden „durchgezählt“ -> 1 2 3 4 5 u.s.w.



Grüne Zahlen = gerade Zahlen = geradzahlig

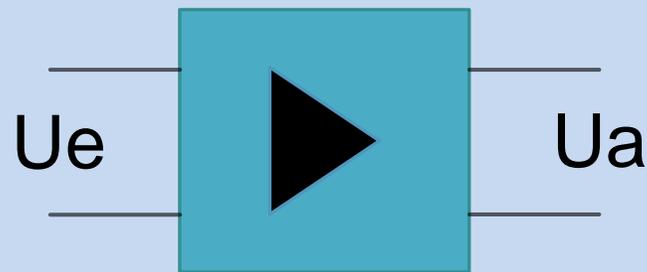
Rote Zahlen = ungerade Zahlen = ungeradzahlig

Alternative Leseart: Die 2. Harmonische ist die 1. geradzahlige Harmonische
Die 4. Harmonische ist die 2. geradzahlige Harmonische

Die 1. Harmonische ist die 1. ungeradzahlige Harmonische
Die 3. Harmonische ist die 2. ungeradzahlige Harmonische
Die 5. Harmonische ist die 3. ungeradzahlige Harmonische
u.s.w.

Verstärkung und Dämpfung

Diese beiden Begriffe gibt es nicht nur in der Elektrotechnik. Sie sollen aber hier nur für die Elektrotechnik behandelt werden. **Verstärkung** und **Dämpfung** sind von der Definition her gleich. Sie unterscheiden sich nur durch das Vorzeichen. Beide sind definiert als das **Verhältnis** von **Eingangswert** zu **Ausgangswert**.



Verstärkung $V = \frac{Ua}{Ue};$ $Ua > Ue$

Dämpfung $D = \frac{Ua}{Ue};$ $Ua < Ue$

Verstärkung und Dämpfung in dB

In der **Nachrichtentechnik** gibt es immer wieder das Problem **Übertragungsstrecken** zu berechnen, die aus vielen Verstärkern und Dämpfungsgliedern besteht.

Zur **Vereinfachung der Rechnungen** wurde ein logarithmischer Verhältniswert eingeführt, das Dezibel. (dB)

Das dB ist ein Verhältniswert – keine Einheit !

Das dB vereinfacht die Arbeit mit Verstärkungen und Dämpfungen.

Das dB ist aber auch der Anlass zu vielen Verwirrungen.

Man unterscheidet:

$$\text{Spannung [dB]} = 20 * \log\left(\frac{U1}{U2}\right);$$

$$\text{Leistung [dB]} = 10 * \log\left(\frac{P1}{P2}\right);$$

	Spannung	Leistung
3dB	*1,41	*2
6dB	*2	*4
10dB	*3,16	*10
20dB	*10	*100
30dB		*1000
40dB	*100	*10000

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

Benannt nach Alexander Graham Bell (*3.3.1847 +1.8.1922); [de.wikipedia.org/wiki/bel_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/bel_(Einheit))

Absolute dB

Man kann auch absolute Werte in dB angeben. Dann muss jedoch die **Bezugsgröße** spezifiziert werden.

dBm **Leistungspegel absolut**
Bezugswert ist 1 mW

1 μ W	=	-30 dBm
10 μ W	=	-20 dBm
100 μ W	=	-10 dBm
1 mW	=	0 dBm
10 mW	=	10 dBm
100 mW	=	20 dBm
1 W	=	30 dBm

dBW **Leistungspegel absolut**
Bezugswert ist 1 W

1 mW	=	-30 dBW
10 mW	=	-20 dBW
100 mW	=	-10 dBW
1 W	=	0 dBW
10 W	=	10 dBW
100 W	=	20 dBW
1 kW	=	30 dBW

Außerdem gibt es noch:

dBV/m Bezugswert ist 1V/m

dB μ V Bezugswert ist 1 μ V

dB i **Antennengewinn**

Bezugswert (0 dBi) ist ein hypothetischer Isotropstrahler, der in alle Richtungen die gleiche Abstrahlstärke hat.

Ausflug: Fragenkatalog Klasse A

- TA107 Ein Spannungsverhältnis von 15 entspricht
- TA108 Eine Leistungsverstärkung von 40 entspricht
- TA109 Wie groß ist der Unterschied zwischen S4 und S7?
- TA110 Der Pegelwert 120 dBµV/m entspricht einer elektrischen Feldstärke von
- TA112 Ein Sender mit 1 Watt Ausgangsleistung ist an eine Endstufe mit einer Verstärkung von 10 dB angeschlossen. Wie groß ist der Ausgangspegel der Endstufe?

Leistung:
 Faktor 10 = 10dB
 Faktor 4 = 6dB

40 = 10*4;
 Verstärkung = 10dB+6dB;

$$U_{pegel} = 20 * \log \left(\frac{U_{max}}{U_{min}} \right);$$

$$U_{pegel} = 20 * \log \left(\frac{15}{1} \right);$$

$$U_{pegel} = 20 * 1,17;$$

$$U_{pegel} = 23,5 \text{ dB};$$

120dB = 40 + 40 + 40 dB;
 40dB = Faktor 100;

Faktor = 100 * 100 * 100
 = 1.000.000 (1 Million)

Feldstärke = 1µV/m * 1.000.000;

Feldstärke = 1*10⁻⁶ * 10⁶ V/m;

Feldstärke = 1V/m

Ohm'scher Widerstand

Widerstand, Leitfähigkeit,

Ohm'sches Gesetz

Leistung, Belastbarkeit,

Grundsaltungen

Reihenschaltung, Parallelschaltung, Spannungsteiler

Spule

Die Induktivität

Spule bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Spulenschaltungen

Transformator

Kondensator

Kapazität

Kondensator bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Kondensatorschaltungen

Schwingkreis und Filter

Schwingkreis

Resonanzfrequenz, Impedanzfrequenzgang, Bandbreite, Güte

Quarz als Schwingkreis, Topfkreis

Filter

Bandfilter, Sperrkreis, Bandpass

Ohm'scher Widerstand eines Objektes

Der **ohm'sche Widerstand** eines Bauteils ist unabhängig von der anliegenden **Spannung**, dem fließenden **Strom** und der **Frequenz** der anliegenden Spannung.

Bei homogenen Materialien kann der Widerstand aus den geometrischen Abmessungen und der Materialkonstante ρ errechnet werden.

$$R = \rho * \frac{l}{A};$$

ρ = spezifischer Widerstand; (gesprochen : rho)

l = Länge des Objekts (z. B. Draht)

A = Querschnittsfläche des Objekts (z. B. Draht)

$$\text{Querschnitt eines Drahtes: } A = r^2 * \pi = d^2 * \frac{\pi}{4};$$

d = Durchmesser des Drahtes

Für den spezifischen Widerstand gibt es Materialtabellen.

z.B.

Kupfer $17 \cdot 10^{-3} \text{ } (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}$

Silber $16 \cdot 10^{-3} \text{ } (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{m}$

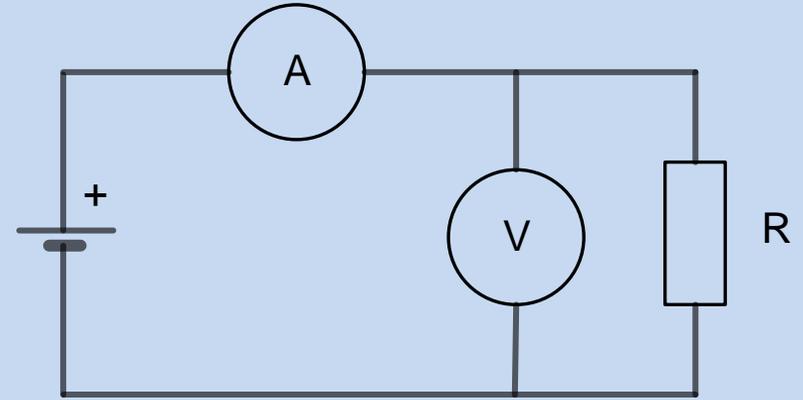
Georg Simon Ohm (16. März 1789 in Erlangen; † 6. Juli 1854 in München) deutscher Physiker.*

Ohm'scher Widerstand : Bauteil und Ohm'sches Gesetz

Schaltbild eines ohm'schen Widerstandes R



Messung eines ohm'schen Widerstandes R



*Spannung = Widerstand * Strom;*

$$U = R * I; \quad R = \frac{U}{I}; \quad I = \frac{U}{R};$$

Ohmsches Gesetz

Der ohm'sche Widerstandes R ist ein **reeller Widerstand** oder **Wirkwiderstand**. Die an ihm abfallende Spannung oder Strom „bewirkt“ eine Leistung. (z.B. Erzeugung von Wärme)

$$P = U * I; \quad P = \frac{U^2}{R}; \quad P = I^2 * R;$$

Ohm'scher Widerstand : Bauteilkennzeichnung

Schaltbild eines ohm'schen Widerstandes R

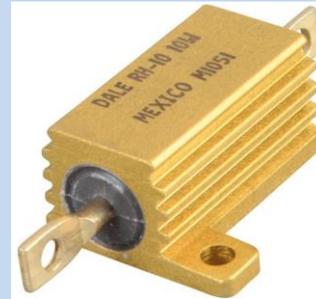


Der Wert eines Widerstands wird über farbige Ringe angegeben:

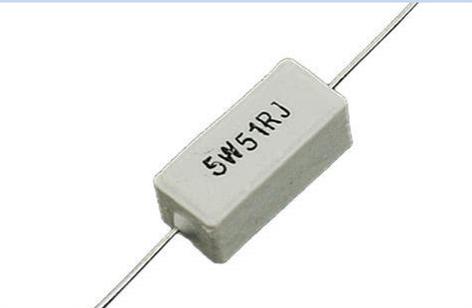
Farbe	Wert	Multiplikator	Toleranz	Temperaturkoeffizient
Silber	-	x 0,01	± 10%	-
Gold	-	x 0,1	± 5%	-
Schwarz	0	x 1	-	200 ppm
Braun	1	x 10	± 1%	100 ppm
Rot	2	x 100	± 2%	50 ppm
Orange	3	x 1.000	-	15 ppm
Gelb	4	x 10.000	-	25 ppm
Grün	5	x 100.000	± 0,5%	-
Blau	6	x 1.000.000	± 0,25%	10 ppm
Violett	7	x 10.000.000	± 0,1%	5 ppm
Grau	8	x 100.000.000	± 0,05%	1 ppm
Weiß	9	x 1.000.000.000	-	-



Standard Widerstand



Draht Widerstand



Keramik Widerstand



Potentiometer / Trimmwiderstand



Einschub: Formeln umstellen

Die Grundrechenarten ändern sich, wenn ein Faktor die Seite des Gleichheitszeichen ändert.

$$A = B$$

Aus + wird -
 Aus * wird /
 Aus Potenz wird Wurzel und umgekehrt.

$$U = R * I; \quad \rightarrow \quad I = \frac{U}{R};$$

$U = R * I;$ Beide Seiten mit „U“ dividieren ->

$$\frac{U}{U} = \frac{R * I}{U};$$

Alles was man beiden Seiten einer Gleichung gleich antut, ändert ihren Wert nicht.

$\frac{U}{U} = \frac{R * I}{U};$ Beide Seiten mit „I“ dividieren ->

$$\frac{U}{U * I} = \frac{R * I}{U * I};$$

$$\frac{U}{U * I} = \frac{R * I}{U * I};$$

Jetzt kürzen ->

$$\frac{1}{I} = \frac{R}{U};$$

Kürzen geht nur bei * oder /.

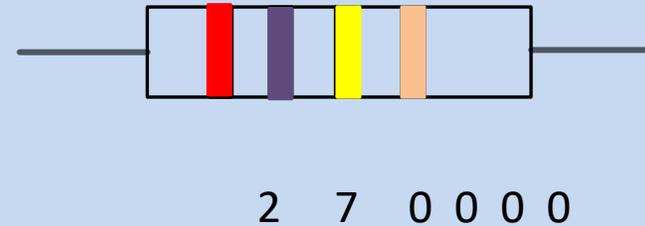
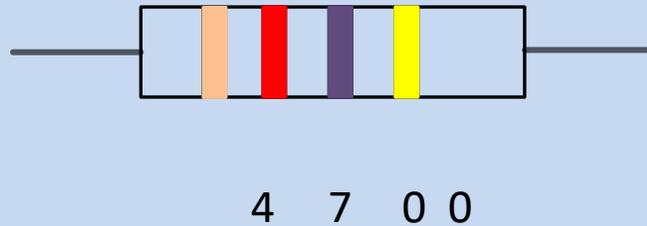
$$\frac{1}{I} = \frac{R}{U};$$

Jetzt stürzen ->

$$I = \frac{U}{R};$$

Alles was man beiden Seiten einer Gleichung gleich antut, ändert ihren Wert nicht.

- TC102 Die Farbringe gelb, violett und rot auf einem Widerstand mit 4 Farbringen bedeuten einen Widerstandswert
- TC103 Die Farbringe rot, violett und orange auf einem Widerstand mit 4 Farbringen bedeuten einen Widerstandswert
- TC104 Die Farbringe rot, violett und rot auf einem Widerstand mit 4 Farbringen bedeuten einen Widerstandswert von



Schwarz	0
Braun	1
Rot	2
Orange	3
Gelb	4
Grün	5
Blau	6
Violett	7
Grau	8
Weiß	9

- TC108 Ein Widerstand hat eine Toleranz von 10 %. Bei einem nominalen Widerstandswert von 5,6 k Ω liegt der tatsächliche Wert zwischen
- TC109 Welche Bauart von Widerstand folgender Auswahl ist am besten für eine künstliche Antenne (Dummy Load) geeignet?
- TC110 Welchen Wert hat ein SMD-Widerstand mit der Kennzeichnung 221?
- TC111 Welchen Wert hat ein SMD-Widerstand mit der Kennzeichnung 223?
- TJ109 Eine künstliche Antenne für den VHF Bereich könnte beispielsweise aus
- TJ110 Welche der folgenden Bauteile könnten für eine genaue künstliche Antenne, die bei 28 MHz eingesetzt werden soll, verwendet werden?

TC108 Ein Widerstand hat eine Toleranz von 10 %. Bei einem nominalen Widerstandswert von 5,6 k Ω liegt der tatsächliche Wert zwischen

A 5040 und 6160 Ω .

B 4760 und 6440 Ω .

C 4,7 und 6,8 k Ω .

D 5,2 und 6,3 k Ω .

TC109 Welche Bauart von Widerstand folgender Auswahl ist am besten für eine künstliche Antenne (Dummy Load) geeignet?

A Ein Metalloxidwiderstand

B Ein Kohleschichtwiderstand

C Ein keramischer Drahtwiderstand

D Ein frei gewickelter Drahtwiderstand aus Kupferdraht

TC110 Welchen Wert hat ein SMD-Widerstand mit der Kennzeichnung 221?

A 220 Ω

B 221 Ω

C 22 Ω

D 22 k Ω

TC111 Welchen Wert hat ein SMD-Widerstand mit der Kennzeichnung 223?

A 22 k Ω

B 221 Ω

C 22 Ω

D 220 Ω

TJ109 Eine künstliche Antenne für den VHF Bereich könnte beispielsweise aus
A ungewendelten Kohleschichtwiderständen zusammengebaut sein.

B hochbelastbaren Drahtwiderständen zusammengebaut sein.

C Glühbirnen zusammengebaut sein.

D temperaturfesten Blindwiderständen bestehen.

TJ110 Welche der folgenden Bauteile könnten für eine genaue künstliche Antenne, die bei 28 MHz eingesetzt werden soll, verwendet werden?

A 10 Kohleschichtwiderstände von 500 Ω

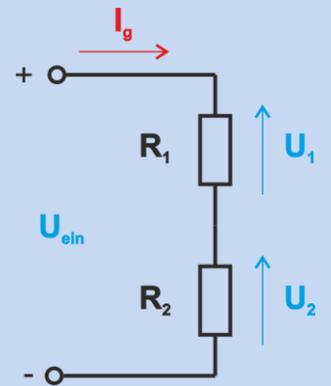
B ein 50- Ω -Drahtwiderstand

C 2 parallel geschaltete Drahtwiderstände von 100 Ω

D ein Spulenanpassfilter im Ölbad

Ohm'scher Widerstand: Grundschaltungen

Reihenschaltung



I_g fließt durch beide Widerstände; U_{ein} teilt sich auf.

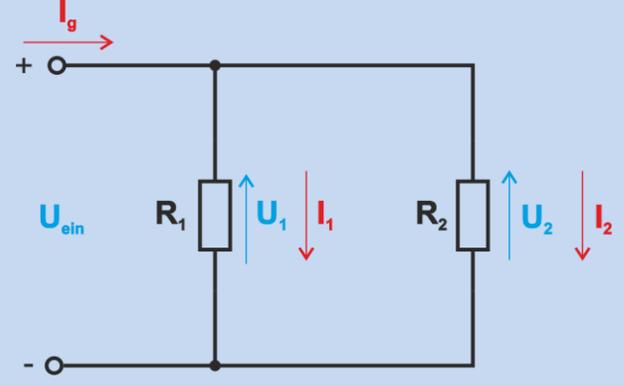
$$U_{ein} = U_1 + U_2;$$

$$R_g = \frac{U_{ein}}{I_g}; \quad R_1 = \frac{U_1}{I_g}; \quad R_2 = \frac{U_2}{I_g};$$

$$R_g = R_1 + R_2;$$

$$R = \frac{U}{I};$$

Parallelschaltung

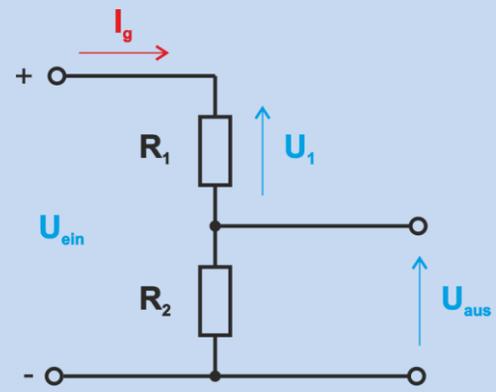


I_g teilt sich auf; U_{ein} liegt an allen Widerständen an.

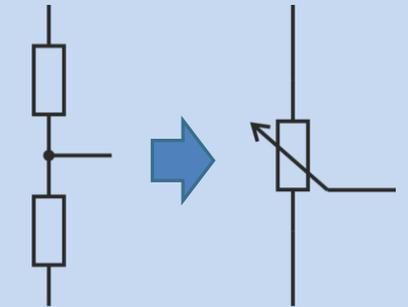
$$U_{ein} = U_1 = U_2; \quad I_g = I_1 + I_2;$$

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2};$$

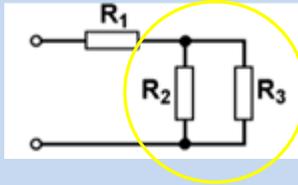
Spannungsteiler



$$U_{aus} = \frac{U_{ein}}{R_1 + R_2} * R_2; \quad I_g = \frac{U_{ein}}{R_1 + R_2};$$



Wie groß ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung, wenn $R_1 = 3,3k\Omega$, $R_2 = 4,7k\Omega$ und $R_3 = 27k\Omega$ beträgt?



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4,7k\Omega} + \frac{1}{27k\Omega} = 0,25 * 10^{-3};$$

$$R = 4 * 10^3 = 4k\Omega;$$

$$R_{ges} = R_1 + 4k\Omega = 3,3k\Omega + 4k\Omega = 7,3k\Omega;$$

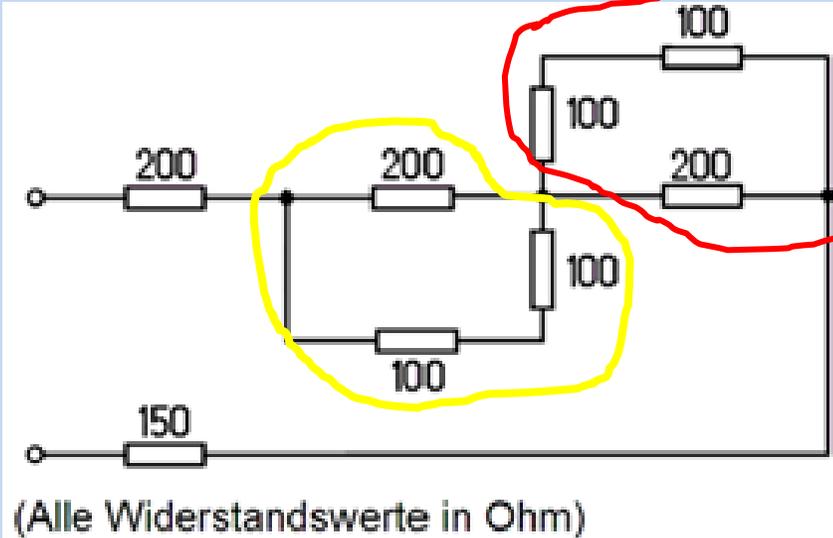
TD101 – TD 104 Wie groß ist der Ersatzwiderstand der Gesamtschaltung?

TD108 Die Gesamtspannung U an folgendem Spannungsteiler beträgt $12,2 \text{ V}$.
Die Widerstände haben die Werte $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$. Wie groß ist die Teilspannung U_2 ?

TD109 Zwei Widerstände mit $R_1 = 20 \Omega$ und $R_2 = 30 \Omega$ sind parallel geschaltet. Wie groß ist der Ersatzwiderstand?

TD110 Zwei Widerstände mit $R_1 = 100 \Omega$ und $R_2 = 150 \Omega$ sind parallel geschaltet.
Wie groß ist der Ersatzwiderstand?

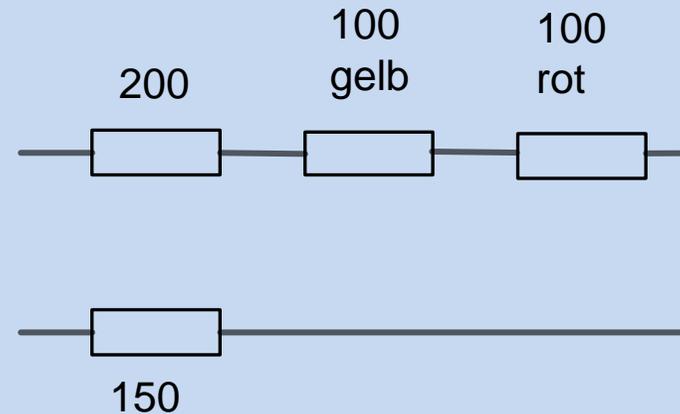
TD107 Wie groß ist der Gesamtwiderstand der dargestellten Schaltung?



$$\frac{1}{gelb} = \frac{1}{200} + \frac{1}{100 + 100} = 0,01;$$

$$gelb = 100\Omega$$

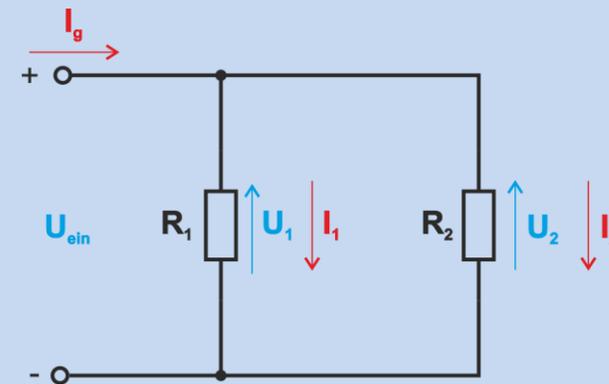
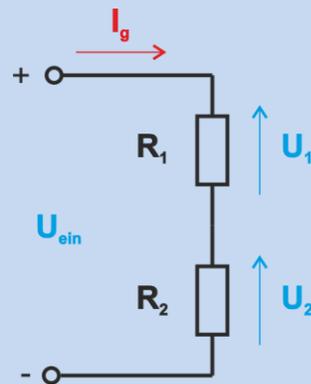
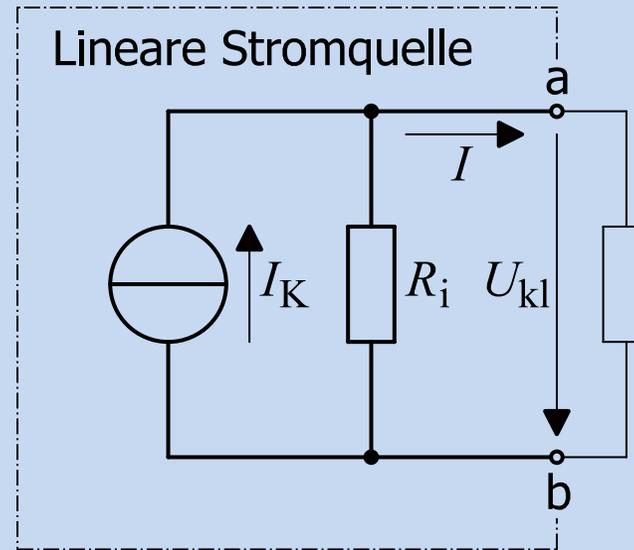
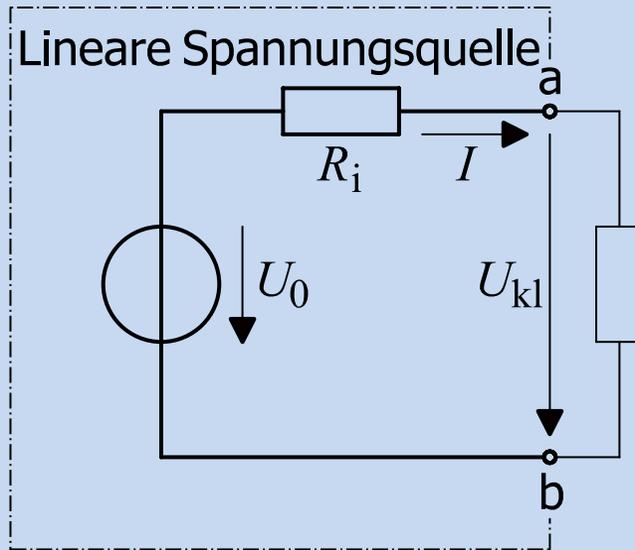
Ersatzwiderstand „rot“ ist gleich wie „gelb“.



$$R_{ges} = 200 + 100 + 100 + 150 = 550\Omega;$$

TD301 Welche Eigenschaften sollten Strom- und Spannungsquellen aufweisen?

A Spannungsquellen sollten einen möglichst niedrigen Innenwiderstand und Stromquellen einen möglichst hohen Innenwiderstand haben.



[https://de.wikipedia.org/wiki/Stromquelle_\(Schaltungstheorie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Stromquelle_(Schaltungstheorie))

Passive Bauelemente und Anwendungen

Ohm'scher Widerstand

Widerstand, Leitfähigkeit,

Ohm'sches Gesetz

Leistung, Belastbarkeit,

Grundsaltungen

Reihenschaltung, Parallelschaltung, Spannungsteiler

Kondensator

Kapazität

Kondensator bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Kondensatorschaltungen

Spule

Die Induktivität

Spule bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Spulenschaltungen

Transformator

Schwingkreis und Filter

Schwingkreis

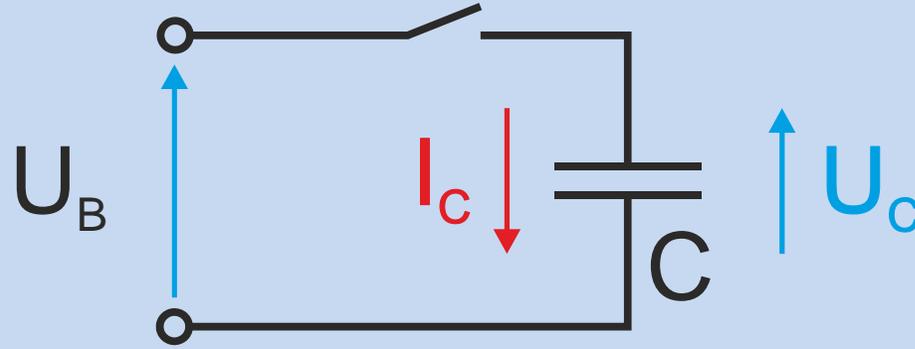
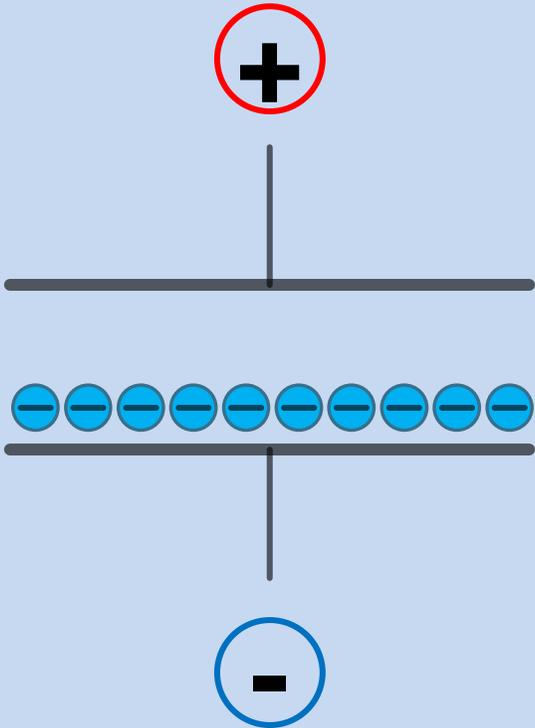
Resonanzfrequenz, Impedanzfrequenzgang, Bandbreite, Güte

Quarz als Schwingkreis, Topfkreis

Filter

Bandfilter, Sperrkreis, Bandpass

Kondensator

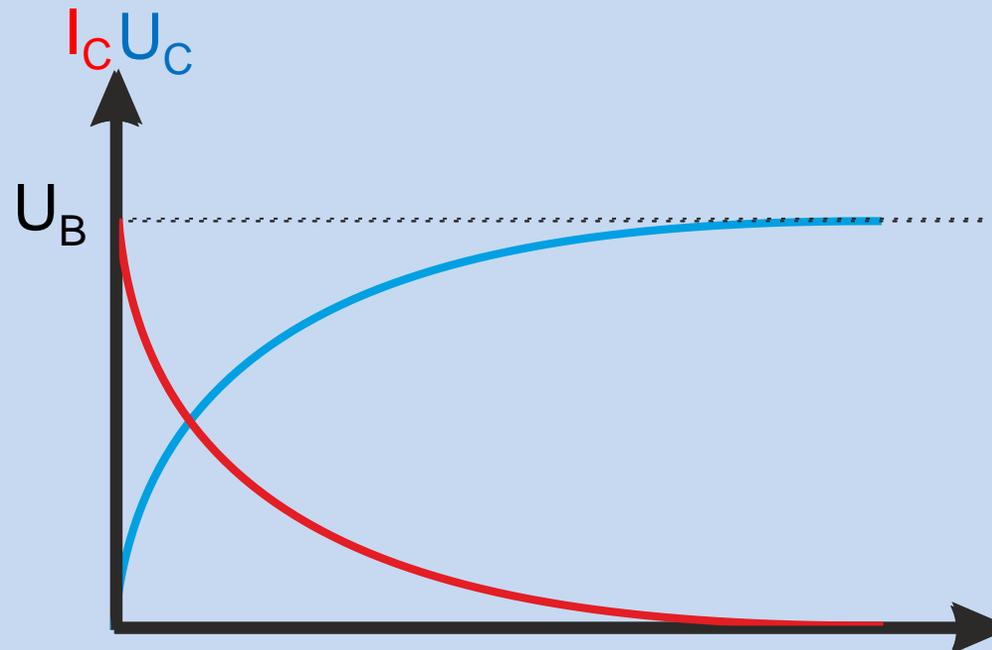


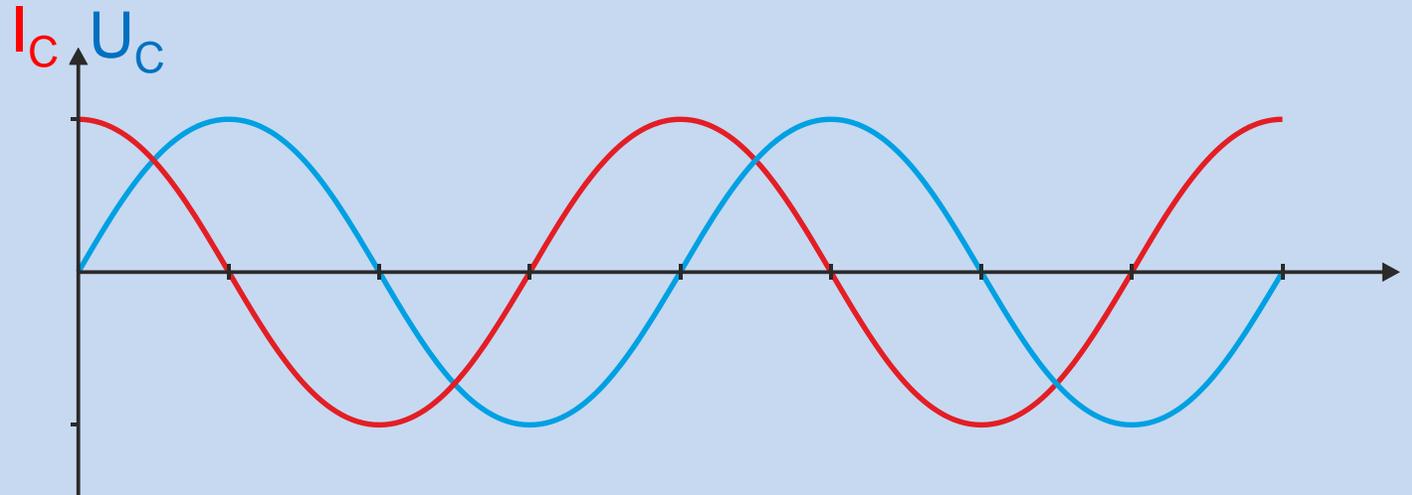
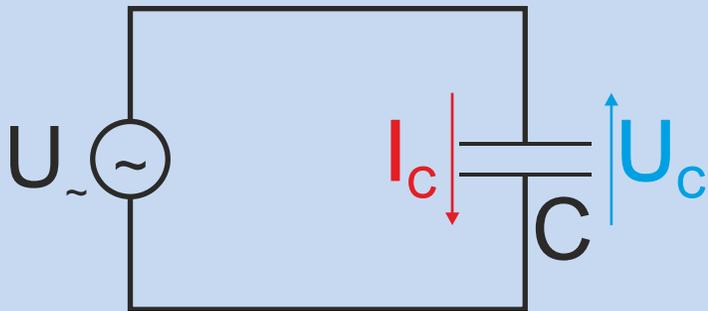
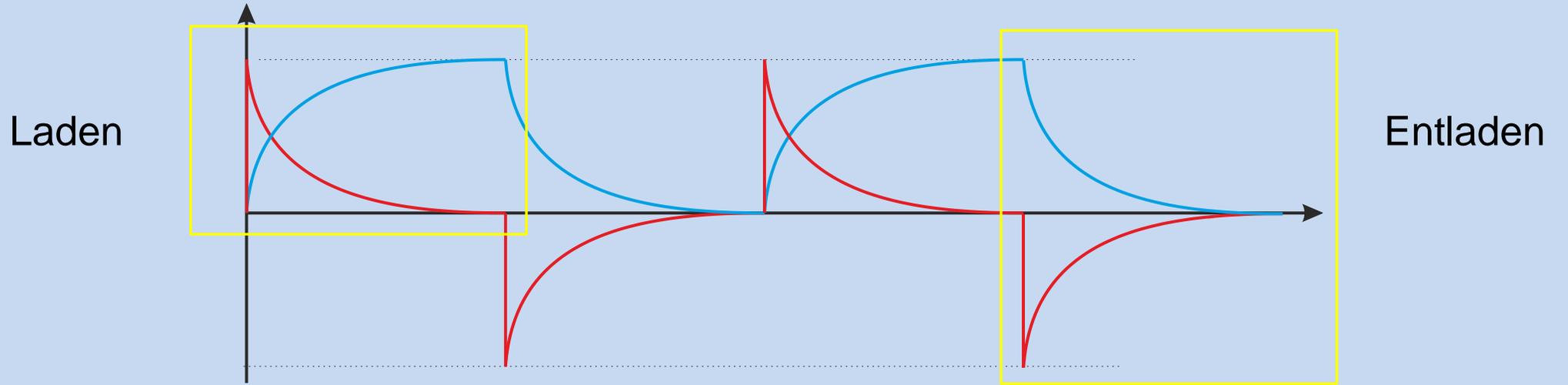
$$C = \frac{Q}{U};$$

C = Kapazität;

Q = Ladungsmenge;

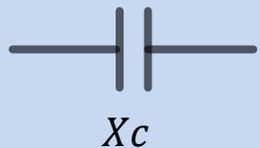
U = Spannung;





Am Kondensator – eilt der Strom vor

Kondensator: Kapazitiver Widerstand X_c



Der **ideale Kondensator** (= ohne Verluste) hat bei **Wechselstrom** einen **reinen Blindwiderstand** X_c .

$$X_c = \frac{1}{\omega * C};$$

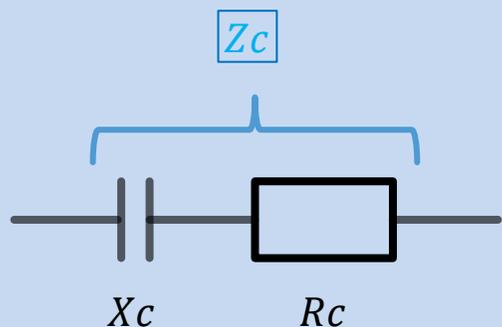
$\omega =$ Kreisfrequenz

$$\omega = 2 * \pi * f;$$

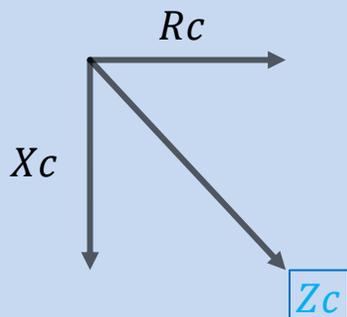
$\pi = 3,14159 \dots \dots$

$f =$ Frequenz der Wechselspannung

$C =$ Kapazität



Der **reale Kondensator** hat bei **Wechselstrom** auch einen **ohm'schen Widerstand** R_c (Wirkwiderstand). Der resultierende Widerstand ist Z_c . (**Scheinwiderstand**)



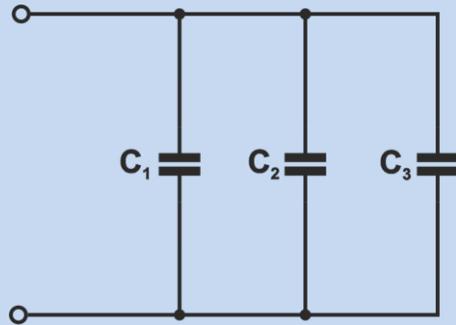
$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2};$$

Betrag des Vektors
Betrag des Scheinwiderstands

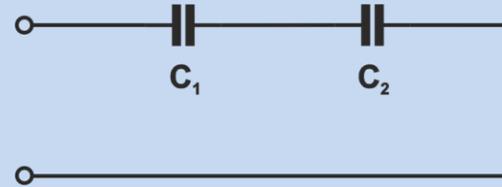
$$Z_c = R_c - jX_c;$$

Komplexer Widerstand

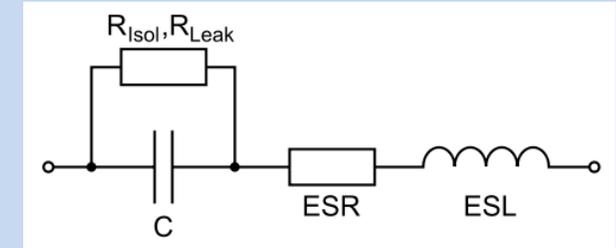
Kondensator: Grundschaltungen



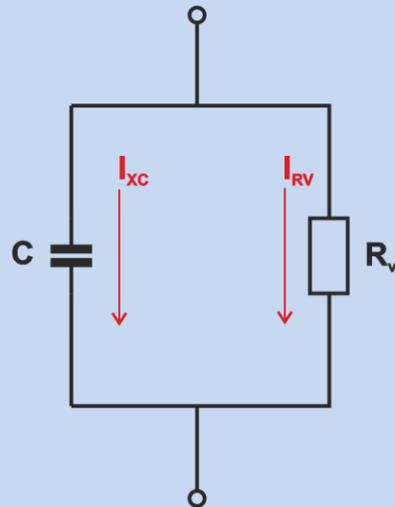
$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3;$$



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



Allgemeines Ersatzschaltbild eines Kondensators

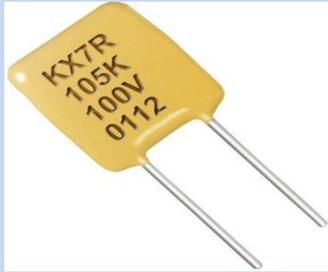


Es gibt auch einen Verlustwiderstand R_v der parallel zur Kapazität liegt. Daraus ergibt sich:

$$\text{Verlustfaktor } \tan(\delta) = \frac{I_{RV}}{I_{XC}} = \frac{X_c}{R_v};$$

Gesprochen: Tangens Delta

Kondensator: Verschiedene Bauformen



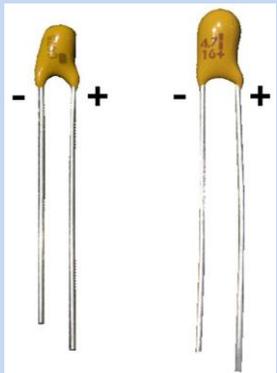
Keramik Kondensator



MKT Kondensator



Elektrolyt Kondensator
(gepolt)



Tantal Kondensator
(gepolt)



Dreh Kondensator
(einstellbar)

TD105 – TD107

Welche Gesamtkapazität hat die folgende Schaltung?

An einem unbekanntem Kondensator liegt eine Wechselspannung mit 16 V und 50 Hz.
Es wird ein Strom von 32 mA gemessen. Welche Kapazität hat der Kondensator?

$$\omega = 2\pi f$$

$$X_c = \frac{U}{I} = \frac{16V}{32mA} = 0,5k\Omega;$$

$$X_c = \frac{1}{\omega * C};$$

$$C = \frac{1}{\omega * X_c}$$

$$C = \frac{1s}{2 * \pi * 50 * 0,5 * 10^3 \Omega}$$

$$C = \frac{1}{157} * 10^{-3} = 6,37 * 10^{-3} * 10^{-3} = 6,37 * 10^{-6};$$

$$C = 6,37\mu F;$$

TC201 Welche Aussage zur Kapazität eines Plattenkondensators ist richtig?

- A Je größer der Plattenabstand ist, desto kleiner ist die Kapazität.
- B Je größer die angelegte Spannung ist, desto kleiner ist die Kapazität.
- C Je größer die Plattenoberfläche ist, desto kleiner ist die Kapazität.
- D Je größer die Dielektrizitätszahl ist, desto kleiner ist die Kapazität.

TC202 Ein Bauelement, bei dem sich Platten auf einer isolierten Achse befinden, die zwischen fest stehende Platten hineingedreht werden können, nennt man

- A Drehkondensator.
- B Tauchkondensator.
- C Keramischer Kondensator.
- D Rotorkondensator.

TC203 Welche Kapazität hat nebenstehend abgebildeter Kondensator?

- A 330 μF
- B 3,3 μF
- C 33 μF
- D 33000 μF



TC204 Welche Kapazität hat nebenstehend abgebildeter Kondensator?

- A 470 pF
- B 4,7 pF
- C 47 pF
- D 47000 pF



TC205 Welche Kapazität hat nebenstehend abgebildeter Kondensator?

- A 8,2 pF
- B 820 pF
- C 82 pF
- D 0,82 pF



TC206 Drei Kondensatoren mit den Kapazitäten $C_1 = 0,1 \mu\text{F}$, $C_2 = 150 \text{ nF}$ und $C_3 = 50000 \text{ pF}$ werden parallelgeschaltet. Wie groß ist die Gesamtkapazität?

A $0,3 \mu\text{F}$

B $2,73 \text{ nF}$

C $0,027 \mu\text{F}$

D $0,255 \mu\text{F}$

TC207 Bei welchem der folgenden Bauformen von Kondensatoren muss beim Einbau auf die Polarität geachtet werden?

A Elektrolytkondensator

B Keramischer Kondensator

C Styroflexkondensator

D Plattenkondensator

TC208 Mit zunehmender Frequenz

A sinkt der Wechselstromwiderstand von Kondensatoren.

B sinkt der Wechselstromwiderstand von Kondensatoren bis zu einem Minimum und steigt dann wieder.

C steigt der Wechselstromwiderstand von Kondensatoren.

D steigt der Wechselstromwiderstand von Kondensatoren bis zu einem Maximum und sinkt dann wieder.

Ohm'scher Widerstand

Widerstand, Leitfähigkeit,

Ohm'sches Gesetz

Leistung, Belastbarkeit,

Grundschaltungen

Reihenschaltung, Parallelschaltung, Spannungsteiler

Kondensator

Kapazität

Kondensator bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Kondensatorschaltungen

Spule

Die Induktivität

Spule bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Spulenschaltungen

Transformator

Schwingkreis und Filter

Schwingkreis

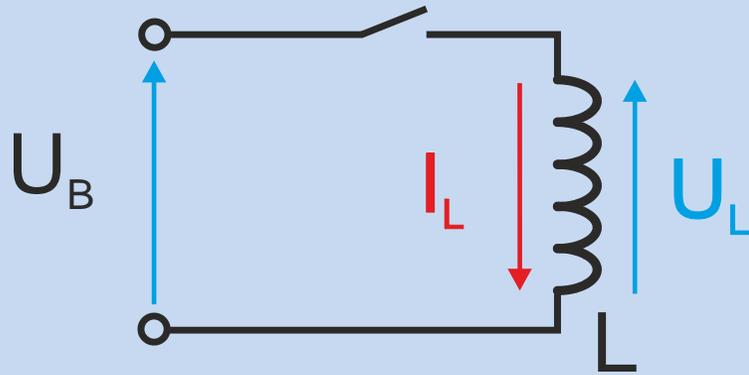
Resonanzfrequenz, Impedanzfrequenzgang, Bandbreite, Güte

Quarz als Schwingkreis, Topfkreis

Filter

Bandfilter, Sperrkreis, Bandpass

Spule



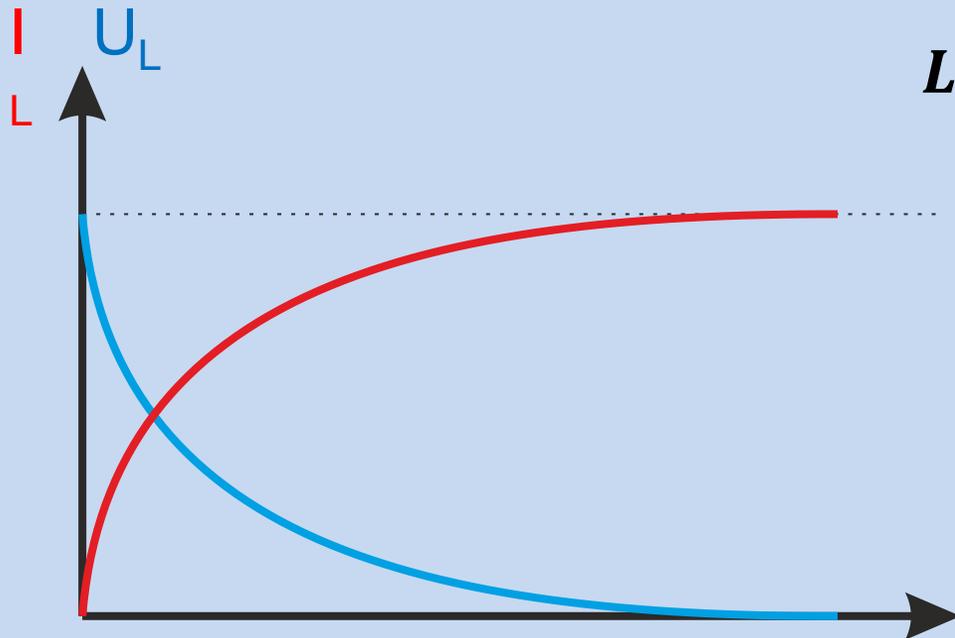
$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N * \phi}{I};$$

$L =$ Induktivität

$\Psi =$ verketteter magnetischer Fluss

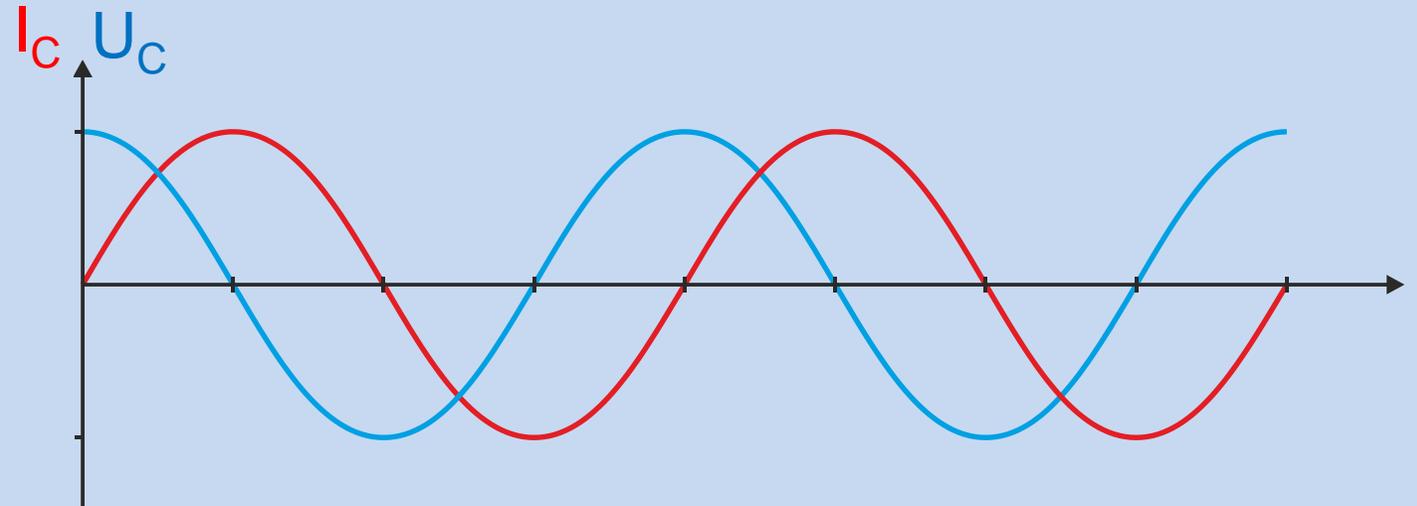
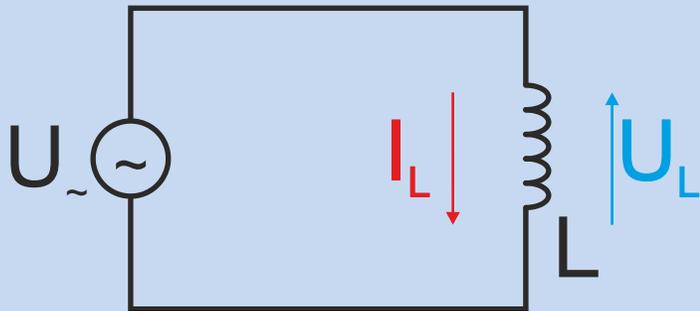
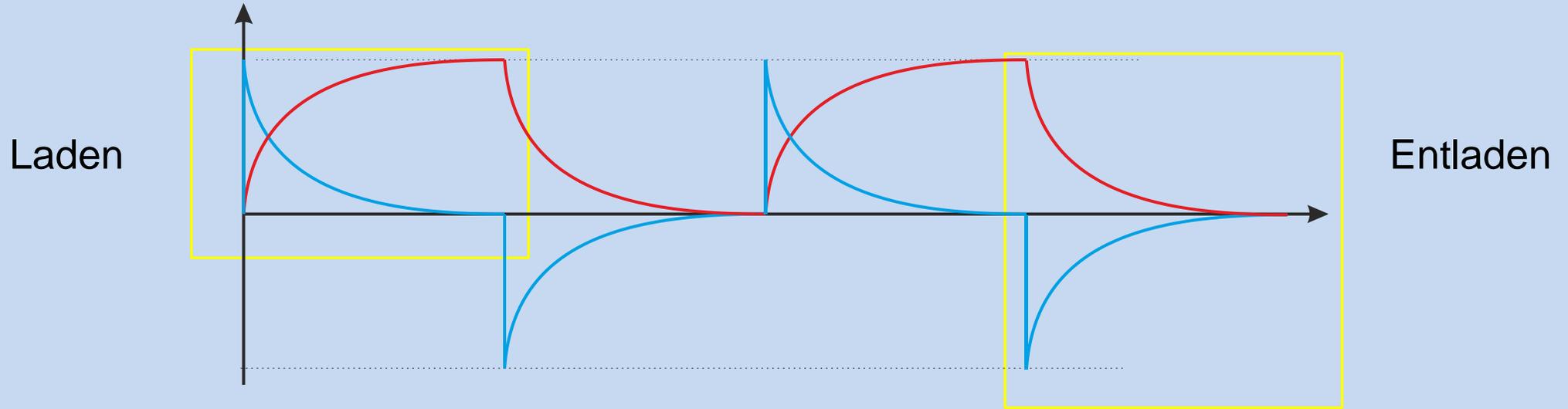
$\phi =$ magnetisch Fluss

$N =$ Anzahl der Windungen



$$L = AL * N;$$

A_L Wert = Herstellerwert in nH



An Induktivitäten – „tut sich“ der Strom verspäten

Spule Induktiver Widerstand X_L



X_L

Die **ideale Spule** (=ohne Verluste) hat bei **Wechselstrom** einen **reinen Blindwiderstand** X_L .

$$X_L = \omega * L;$$

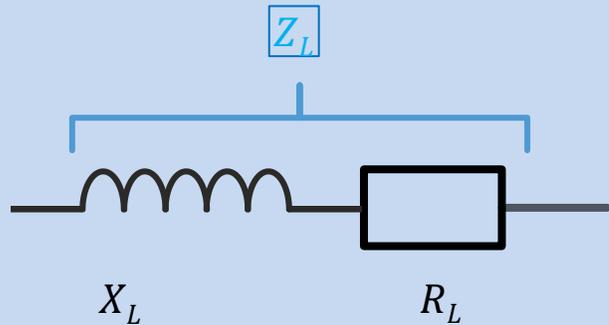
$\omega =$ Kreisfrequenz

$$\omega = 2 * \pi * f;$$

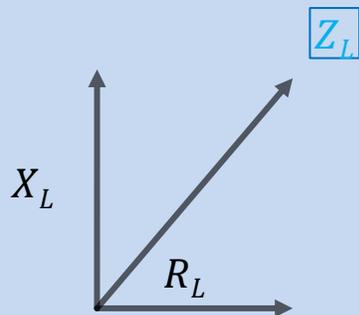
$\pi = 3,14159 \dots$

$f =$ Frequenz der Wechselspannung

$L =$ Induktivität



Die **reale Spule** (=mit Verluste) hat bei **Wechselstrom** auch einen **ohm'schen Widerstand** R_L . Der resultierende Widerstand ist Z_L . (Scheinwiderstand)



$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2};$$

Betrag des Vektors
Betrag des Scheinwiderstandes

$$Z_L = RL + jXL;$$

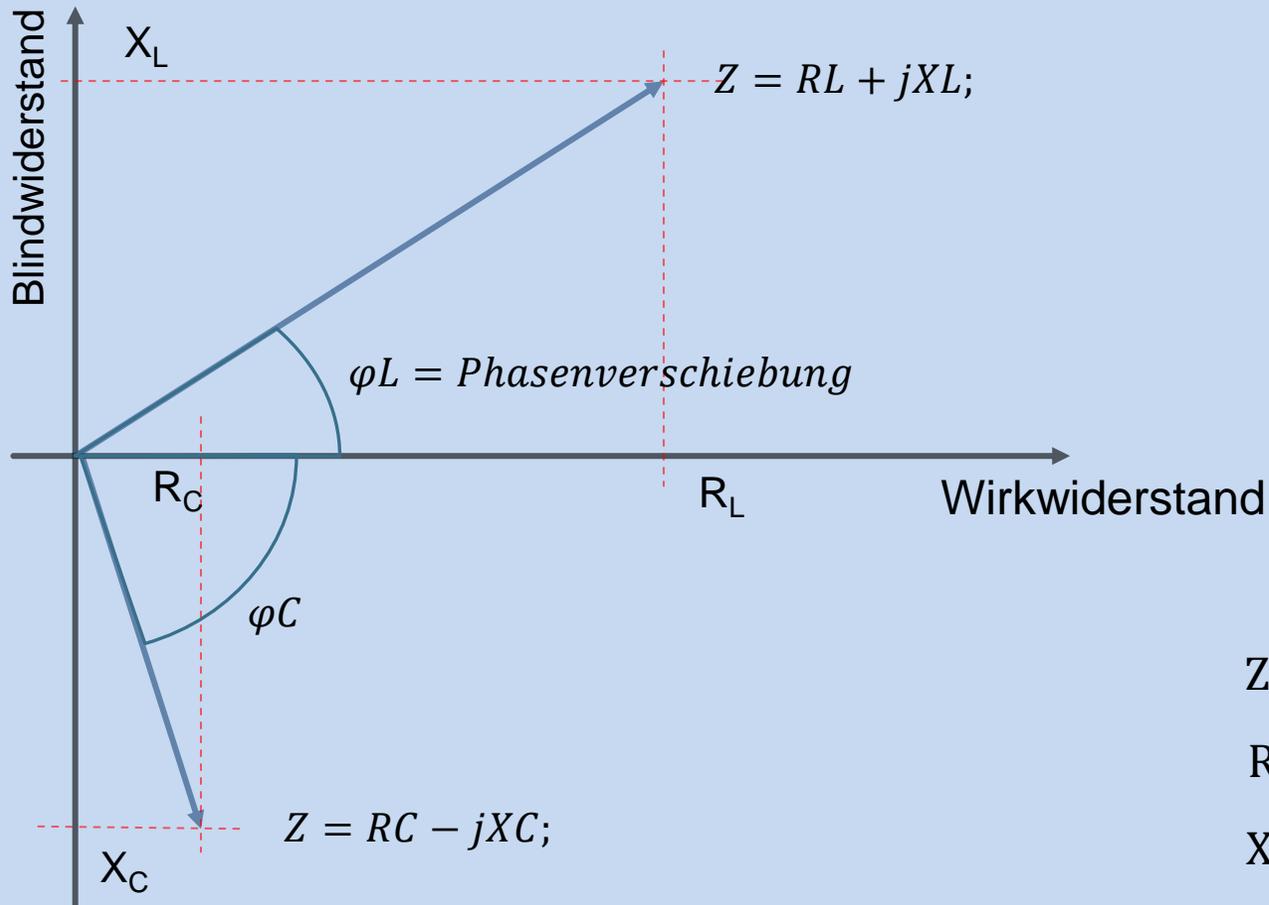
Komplexer Widerstand

Einschub: Phasenverschiebung

Komplexer Widerstand : $Z = R + jX$;

Realteil

Imaginärteil



$Z = \text{Impedanz} = \text{Scheinwiderstand};$

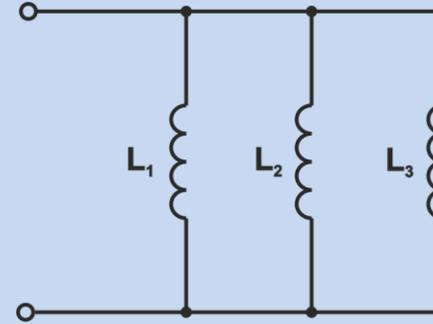
$R = \text{Wirkwiderstand (Ohmsch)};$

$X = \text{Blindwiderstand};$

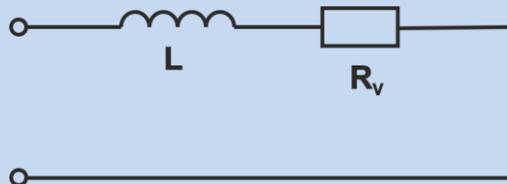
Spule: Grundschaltungen



$$L_{ges} = L1 + L2;$$



$$\frac{1}{L_{ges}} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3};$$



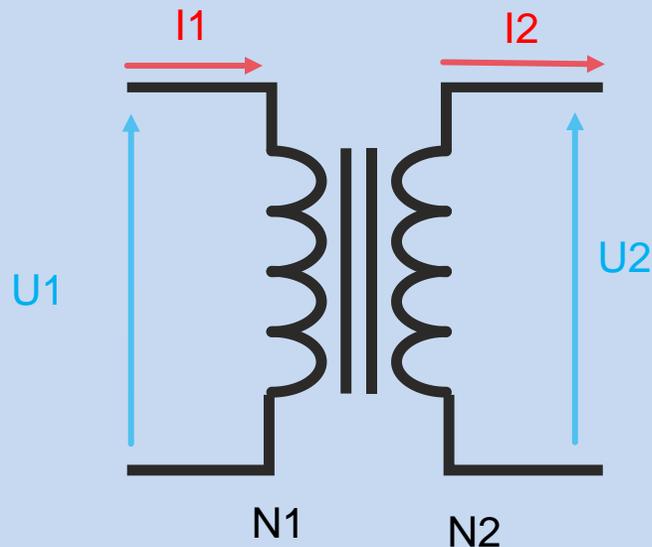
Auch bei der Spule gibt auch einen Verlustwiderstand R_v .
Er liegt in Reihe zur Induktivität. Es ergibt sich:

$$\text{Verlustfaktor } \tan(\delta) = \frac{R_v}{X_L};$$

Gesprochen: Tangens Delta

$$\text{Güte} = \frac{1}{\text{Verlustfaktor}};$$

Um einen magnetischen Kern sind zwei Spulen gewickelt. Legt man an eine Spule Wechselspannung, so wird in der anderen Spule ebenfalls eine Wechselspannung erzeugt, die vom Verhältnis der Windungen abhängig ist.



$$\frac{U1}{U2} = \frac{N1}{N2} = \text{Übertragungsverhältnis } \ddot{U};$$

$$U2 = \frac{N2}{N1} * U1; \quad I2 = \frac{N2}{N1} * I1;$$

$$U1 * I1 = U2 * I2;$$

$U1 = \text{Primärspannung}$

$I1 = \text{Primärstrom}$

$N1 = \text{Primärwicklung}$

Anzahl der Windungen

$U2 = \text{Sekundärspannung}$

$I2 = \text{Sekundärstrom}$

$N2 = \text{Sekundärwicklung}$

Anzahl der Windungen

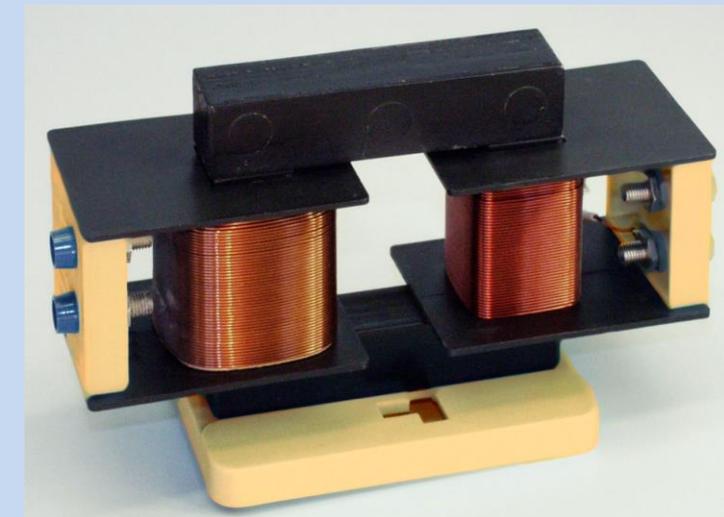
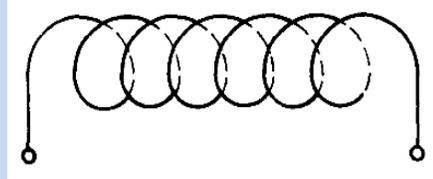


Bild : <http://de.wikipedia.org/wiki/Transformator>

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TC301 Wie ändert sich die Induktivität einer Spule von $12 \mu\text{H}$, wenn die Windungszahl bei gleicher Wickellänge verdoppelt wird?

- A Die Induktivität steigt auf $48 \mu\text{H}$.
- B Die Induktivität steigt auf $24 \mu\text{H}$.
- C Die Induktivität sinkt auf $6 \mu\text{H}$.
- D Die Induktivität sinkt auf $3 \mu\text{H}$.



TC302 Wie ändert sich die Induktivität einer Spule von $12 \mu\text{H}$, wenn die Wicklung auf dem Wickelkörper bei gleicher Windungszahl auf die doppelte Länge auseinander gezogen wird?

- A Die Induktivität sinkt auf $6 \mu\text{H}$.
- B Die Induktivität steigt auf $24 \mu\text{H}$.
- C Die Induktivität steigt auf $48 \mu\text{H}$.
- D Die Induktivität sinkt auf $3 \mu\text{H}$.

TC303 Wie kann man die Induktivität einer Spule vergrößern?

- A Durch Stauchen der Spule (Verkürzen der Spulenlänge).
- B Durch Auseinanderziehen der Spule (Vergrößerung der Spulenlänge).
- C Durch Einführen eines Kupferkerns in die Spule.
- D Durch Einbau der Spule in einen Abschirmbecher

TC304 Das folgende Bild zeigt einen Kern, um den ein Kabel für den Bau einer Netzdrossel gewickelt ist. Der Kern sollte aus

- A Ferrit bestehen.
- B Kunststoff bestehen.
- C Stahl bestehen.
- D aus gut leitendem Material bestehen.



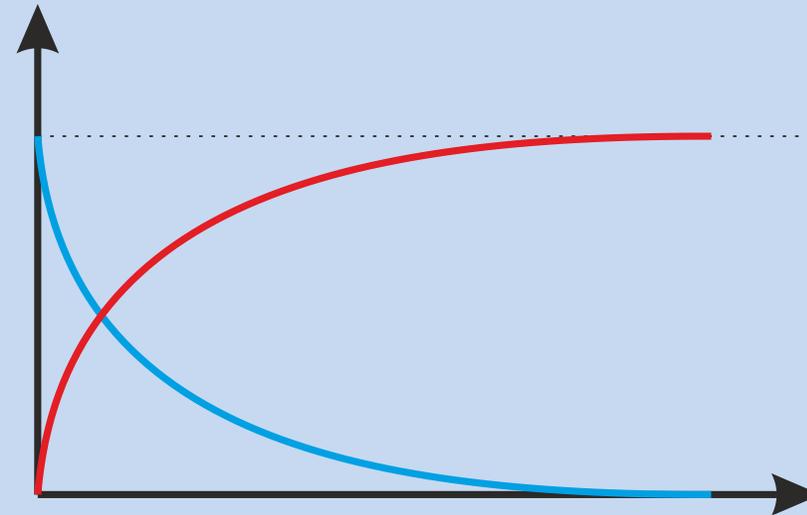
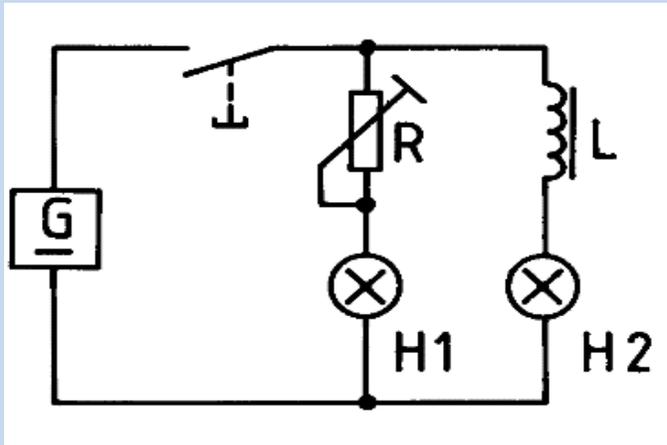
TC305 Schaltet man zwei Glühlampen gleichzeitig an eine Spannungsquelle, wobei eine Glühlampe zum Helligkeitsausgleich über einen Widerstand und die andere über eine Spule mit vielen Windungen und Eisenkern angeschlossen ist, so

A leuchtet H1 zuerst.

B leuchtet H2 zuerst.

C leuchten H1 und H2 genau gleich schnell.

D leuchtet H2 kurz auf und geht wieder aus. H1 leuchtet.



TC306 Mit zunehmender Frequenz

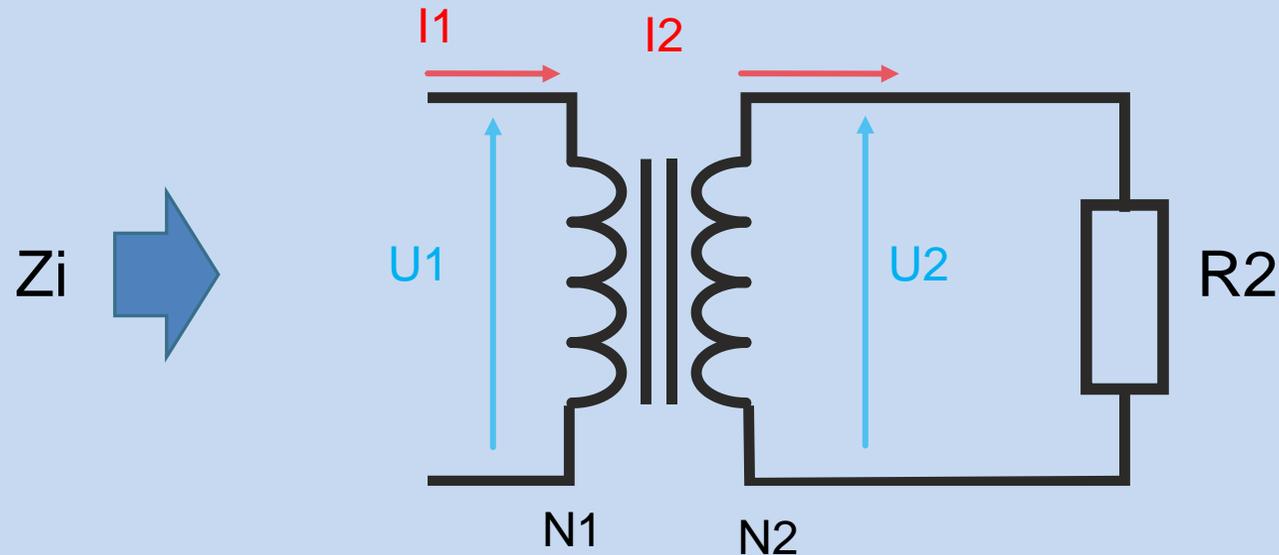
A steigt der Wechselstromwiderstand einer Spule.

B sinkt der Wechselstromwiderstand einer Spule.

C sinkt der Wechselstromwiderstand einer Spule bis zu einem Minimum und steigt dann wieder.

D steigt der Wechselstromwiderstand einer Spule bis zu einem Maximum und sinkt dann wieder.

In der Nachrichtentechnik nennt man Transformatoren, die mit kleiner Leistung in Signalwegen betrieben werden Übertrager. Mit ihnen werden auch Widerstände angepasst. („übertragen“)



Welche Impedanz Z_i messe ich, auf der Primärseite des Übertragers ?

$$P_1 = P_2; \text{ mit } P = \frac{U^2}{R}; \text{ ergibt sich: } \frac{U_1^2}{Z_i} = \frac{U_2^2}{R_2}; \text{ umgestellt: } \frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{Z_i}{R_2}; \text{ umgestellt: } \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = \frac{Z_1}{R_2};$$

$$\ddot{U}^2 = \frac{Z_1}{R_2}; \text{ umgestellt: } \mathbf{Z_1 = \ddot{U}^2 * R_2;}$$

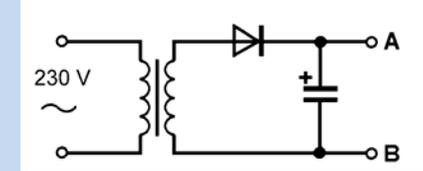
TD304 Berechnen Sie die Leerlaufausgangsspannung dieser Schaltung für ein Transformationsverhältnis von 5:1.

A ca. 65 Volt

B ca. 46 Volt

C ca. 40 Volt

D ca. 28 Volt



TC401 Ein Trafo liegt an 230 Volt und gibt 11,5 Volt ab. Seine Primärwicklung hat 600 Windungen. Wie groß ist seine Sekundärwindungszahl?

A 30 Windungen

B 20 Windungen

C 52 Windungen

D 180 Windungen

TC402 Ein Trafo liegt an 45 Volt und gibt 180 Volt ab. Seine Primärwicklung hat 150 Windungen. Wie groß ist seine Sekundärwindungszahl?

A 600 Windungen

B 850 Windungen

C 46 Windungen

D 30 Windungen

TC403 Die Primärspule eines Übertragers hat die fünffache Anzahl von Windungen der Sekundärspule. Wie hoch ist die erwartete Sekundärspannung, wenn die Primärspule an eine 230-V-Stromversorgung angeschlossen wird?

A 46 Volt

B 9,2 Volt

C 23 Volt

D 1150 Volt

Passive Bauelemente und Anwendungen

Ohm'scher Widerstand

Widerstand, Leitfähigkeit,

Ohm'sches Gesetz

Leistung, Belastbarkeit,

Grundschaltungen

Reihenschaltung, Parallelschaltung, Spannungsteiler

Kondensator

Kapazität

Kondensator bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Kondensatorschaltungen

Spule

Die Induktivität

Spule bei Gleichstrom / Wechselstrom

Verlustfaktor

Phasenbeziehung

Spulenschaltungen

Transformator

Schwingkreis und Filter

Schwingkreis

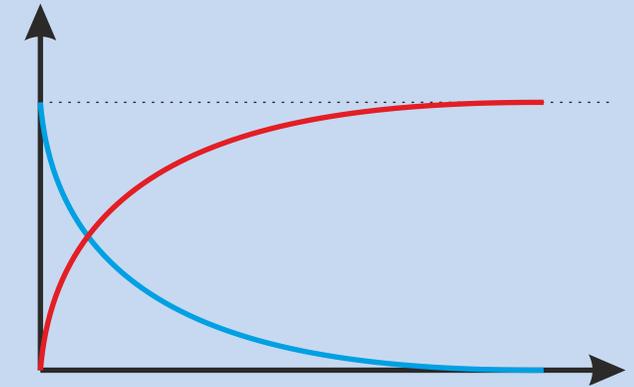
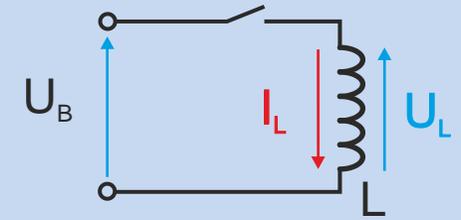
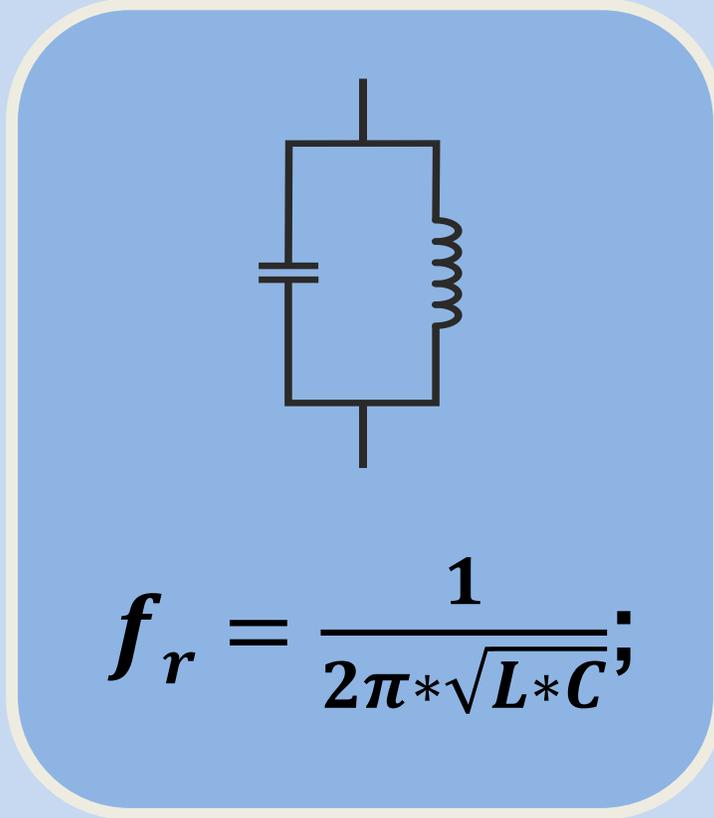
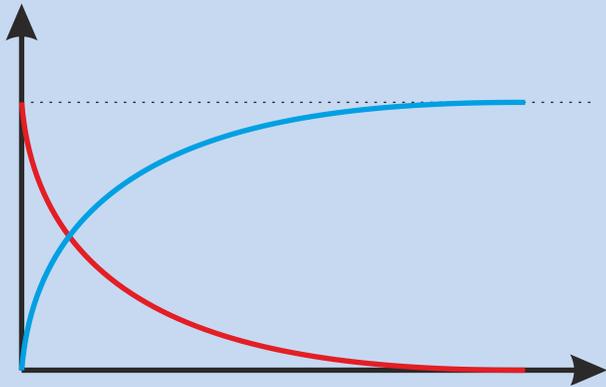
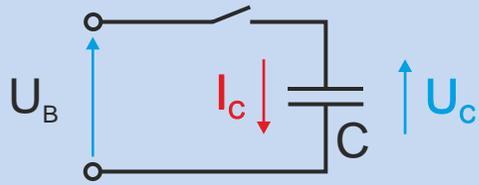
Resonanzfrequenz, Impedanzfrequenzgang, Bandbreite, Güte

Quarz als Schwingkreis, Topfkreis

Filter

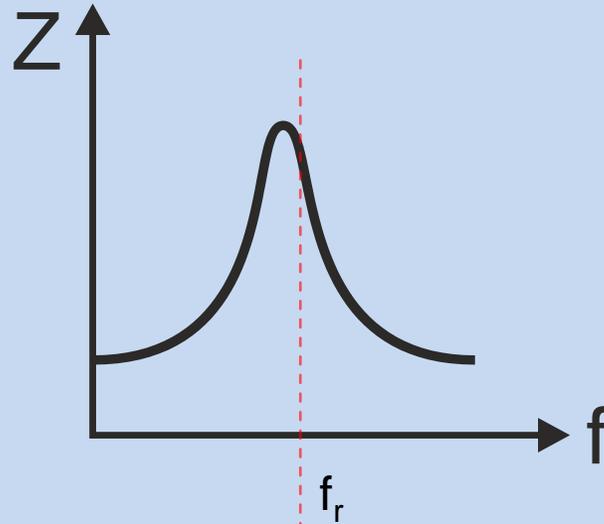
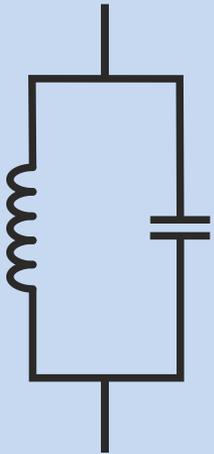
Bandfilter, Sperrkreis, Bandpass

LC-Schwingkreis

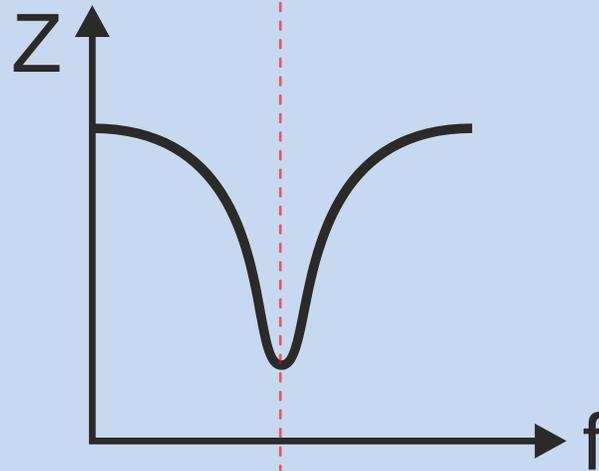


Thomson'sche Schwingungsgleichung

$f_r = \text{Resonanzfrequenz}$

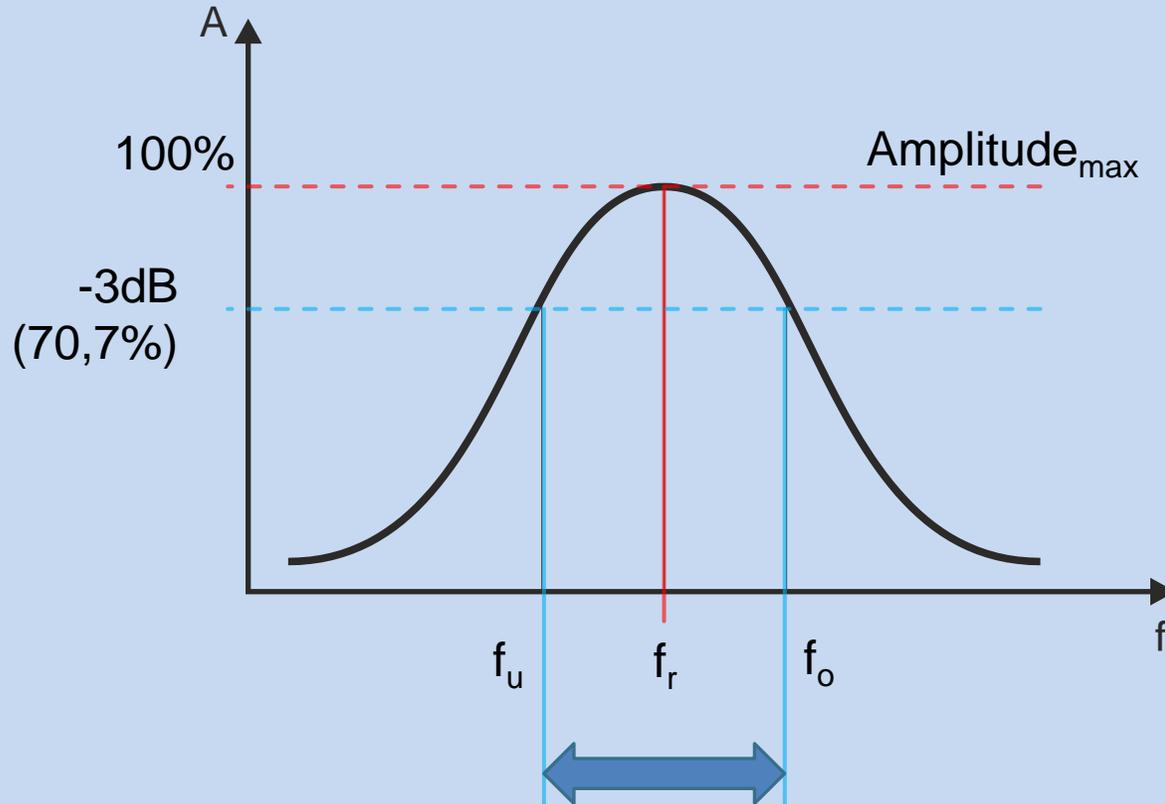


Bei **Parallelresonanz** ist der Schwingkreis bei der Resonanzfrequenz **hochohmig**.
Er wirkt als **Sperrkreis**.



Bei **Reihen/Serienresonanz** ist der Schwingkreis bei der Resonanzfrequenz **niederohmig**.
Er wirkt als **Leitkreis**.

Bandbreite - Güte



Bandbreite B
z.B. Kanalbandbreite

$$\text{Bandbreite } B = f_o - f_u; \quad \text{Güte } Q = \frac{f_r}{B};$$

Die **Bandbreite** und somit die **Güte** eines Schwingkreises hängen vom **Verlustwiderstand** des Kreises ab. In der **HF-Technik** ist das im Wesentlichen der **Verlustwiderstand** der Spule X_L . Der Verlustwiderstand des Kondensators kann vernachlässigt werden.

$$X_C = \frac{1}{\omega * C}; \quad \text{Wird mit steigender Frequenz kleiner.}$$

$$X_L = \omega * L; \quad \text{Wird mit steigender Frequenz größer.}$$

Mit folgenden Formeln kann man die Güte abschätzen:

$$\text{Parallelkreis:} \quad Q = \frac{R_{\text{parallel}}}{X_L};$$

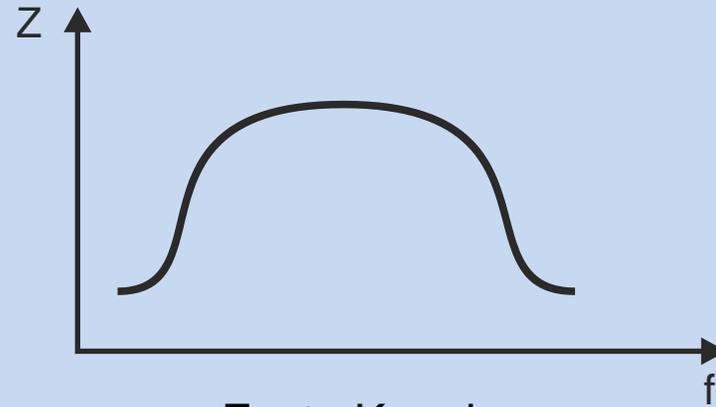
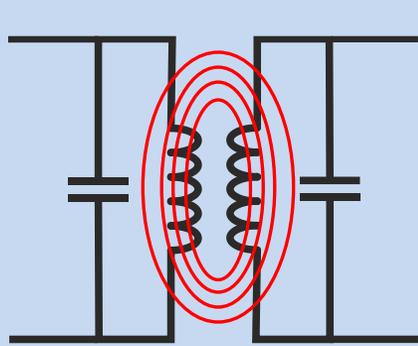
$$\text{Reihen/Serienkreis:} \quad Q = \frac{X_L}{R_{\text{serie}}};$$

Bandfilter - Bandpass

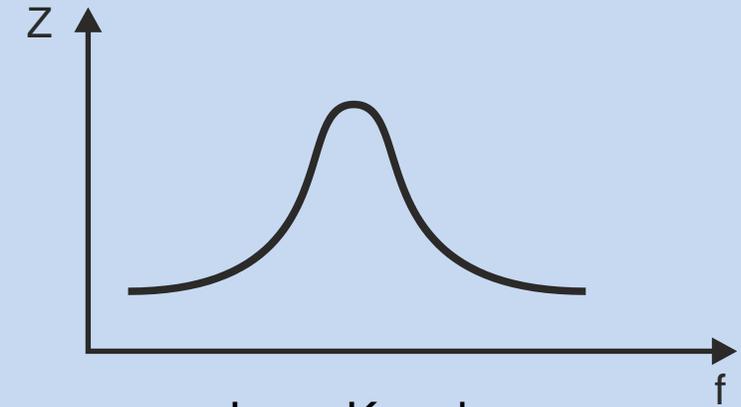
Bandfilter / Bandpässe sind **gekoppelte** LC-Schwingkreise.

Bringt man zwei Schwingkreise zusammen, so beeinflussen sie sich.

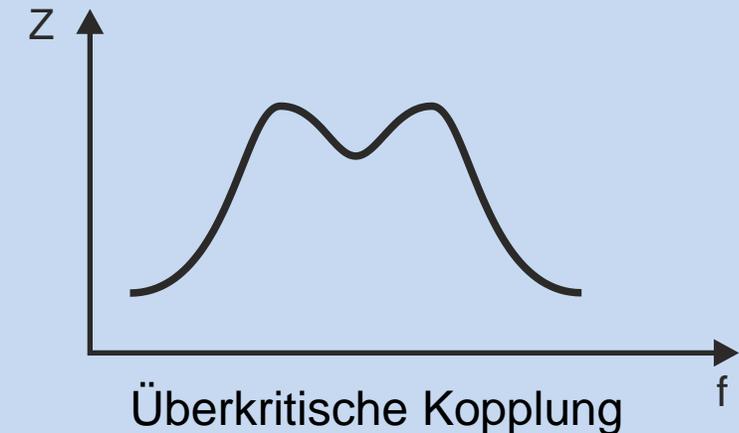
Ähnlich wie beim Transformator gelangt Energie von einem Kreis in den anderen.



Feste Kopplung



Lose Kopplung



Überkritische Kopplung

Man strebt eine **feste Kopplung** an, da hier die **Flankensteilheit** des Filters am größten ist. (**Selektivität**)
Ein Bandfilter, das aus **zwei Schwingkreisen** besteht nennt man „**zweipoliges Filter**“. (Pol = Resonanzfrequenz)

Quarzfilter – mechanische Filter



Legt man an bestimmte **Kristalle** Spannung an, so verändern sie Ihre Form.

(Piezo-elektrischer Effekt)

Durch Anlegen von Wechselspannung kann man sie zum Schwingen anregen. Sie verhalten sich dann wie ein elektrischer Schwingkreis mit **sehr hoher Güte**. (10.000 und mehr)

Quarze zeichnen sich durch ihre **hohe Frequenzstabilität** und durch **geringe Verluste** aus.

Die **Resonanzfrequenz** hängt nur von den mechanischen Abmessungen ab und ist nicht veränderbar. Quarzfilter und Quarzoszillatoren werden deshalb meist zusammen mit anderen Schaltungen z.B. PLL, Mischer verwendet.

Es gibt verschiedene Materialien z.B. spezielle Keramiken als Aluminiumoxyd, die ähnliche Effekte zeigen. **(Keramik-Resonatoren)**

Besonders bei hohen Frequenzen werden auch mechanische Konstruktionen als Filter verwendet z.B. Hohlraum-Resonatoren, Fingerfilter, Topfkreise.

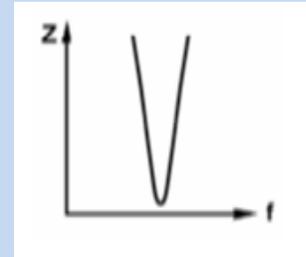
Alle diese Bauteile eignen sich zum Bau von äußerst **steilflankigen (= selektiven)**, **mehrpoligen Filtern**.



Einschub: Fragenkatalog Klasse E

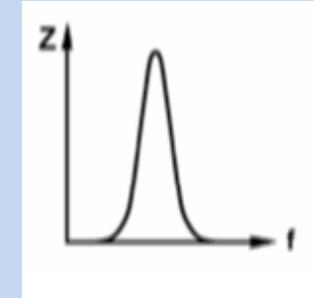
TD201 Der Impedanzfrequenzgang in der Abbildung zeigt die Kennlinie

- A eines Serienschwingkreises.
- B eines Parallelschwingkreises.
- C einer Induktivität.
- D einer Kapazität.

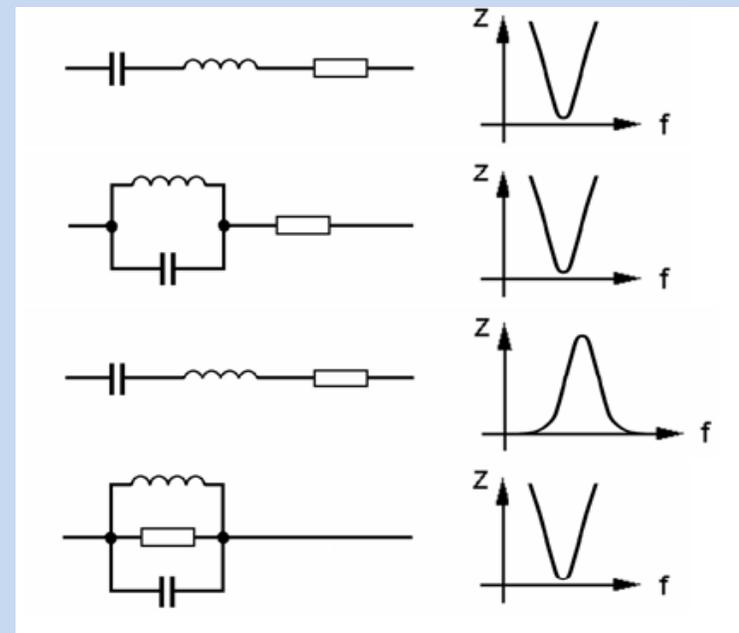


TD202 Der im folgenden Bild dargestellte Impedanzfrequenzgang ist typisch für

- A einen Parallelschwingkreis.
- B einen Kondensator.
- C eine Spule.
- D einen Serienschwingkreis.

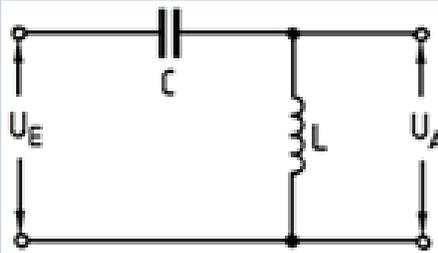


TD203 Welcher Schwingkreis passt zu dem neben der jeweiligen Schaltung dargestellten Verlauf des Scheinwiderstandes?

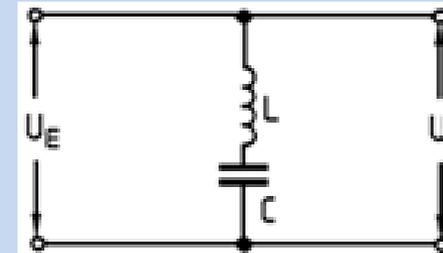


1.4.2 Schwingkreise und Filter TD201 – TD210

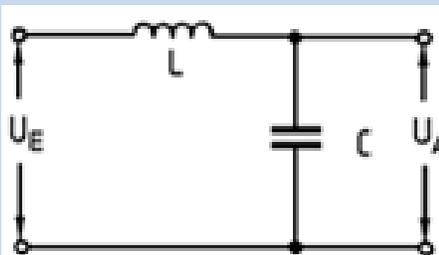
TD206 Was stellt diese Schaltung dar?



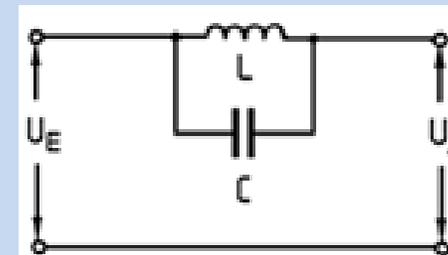
TD209 Was stellt diese Schaltung dar?



TD208 Was stellt diese Schaltung dar?



TD207 Was stellt diese Schaltung dar?



Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TD204 Wie ändert sich die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises, wenn 1. die Spule weniger Windungen erhält, 2. die Länge der Spule durch Zusammenschieben der Drahtwicklung verringert wird, 3. ein Ferritkern in das Innere der Spule gebracht wird?

- A Die Resonanzfrequenz wird bei 1. größer und bei 2. und 3. kleiner.
- B Die Resonanzfrequenz wird bei 1. und 2. kleiner und bei 3. größer.
- C Die Resonanzfrequenz wird bei 1. kleiner und bei 2. und 3. größer.
- D Die Resonanzfrequenz wird bei 1. und 2. größer und bei 3. kleiner.

TD205 Wie verhält sich ein Parallelschwingkreis bei der Resonanzfrequenz?

- A Wie ein hochohmiger Widerstand.
- B Wie ein niederohmiger Widerstand.
- C Wie ein Kondensator mit sehr kleiner Kapazität.
- D Wie eine Spule mit sehr großer Induktivität.

TD210 Welche der nachfolgenden Eigenschaften trifft auf einen Hochpass zu?

- A Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz werden durchgelassen.
- B Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz werden verstärkt.
- C Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz werden stark bedämpft.
- D Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz werden ungedämpft durchgelassen.

Leiter, Nichtleiter, Isolator

Halbleitermaterial

PN-Übergang

Diode, Typen und Kennlinien

Silizium, Germanium, Schottky-Diode

Kapazitätsdiode, Z-Diode, Fotodiode, LED

Anwendung , Schaltungen

Gleichrichter, Spannungsbegrenzung,

Transistoren, Typen und Kennlinien

bipolare Transistor, Feldeffekt-Transistor

Verstärker

Transistorverstärker

Basisvorspannungsteiler, Arbeitspunkt

Operationsverstärker

Die Elektronenröhre

Integrierte Schaltungen

Oszillator

Rückkopplung

Oszillatortypen

LC-Oszillator, Quarzoszillator, PLL Oszillator,

VCO

Man unterscheidet:

- **Leiter** (Silber, Kupfer, Aluminium, Zinn)
- **Nichtleiter / Isolatoren** (Kunststoffe, Gummi, Glas, Keramik, Holz, destilliertes Wasser,)
- **Halbleiter** (z.B. Silizium, Germanium,,)

In einem **Leiter** gibt es **freie Ladungsträger (Elektronen)**. Er ist zum Transport von Ladungsträgern geeignet. (= elektrischer Strom) Metalle leiten Strom, da ihre Atome eine **Kristallgitterstruktur** eingehen, in der die Elektronen schwach gebunden sind. (= **Elektronengas**)

Leiter haben einen geringen Widerstand.

Nichtleiter haben einen hohen Widerstand – sie isolieren.

TB101 Welche Gruppe enthält insgesamt die besten gut leitenden Metalle?

A Silber, Kupfer, Aluminium

B Silber, Kupfer, Blei

C Kupfer, Eisen, Zinn

D Aluminium, Kupfer, Quecksilber

TB102 Welches der genannten Metalle hat die beste elektrische Leitfähigkeit?

A Silber

B Kupfer

C Gold

D Zinn

TB103 Welches der genannten Metalle hat die schlechteste elektrische Leitfähigkeit?

A Zinn

B Kupfer

C Gold

D Aluminium

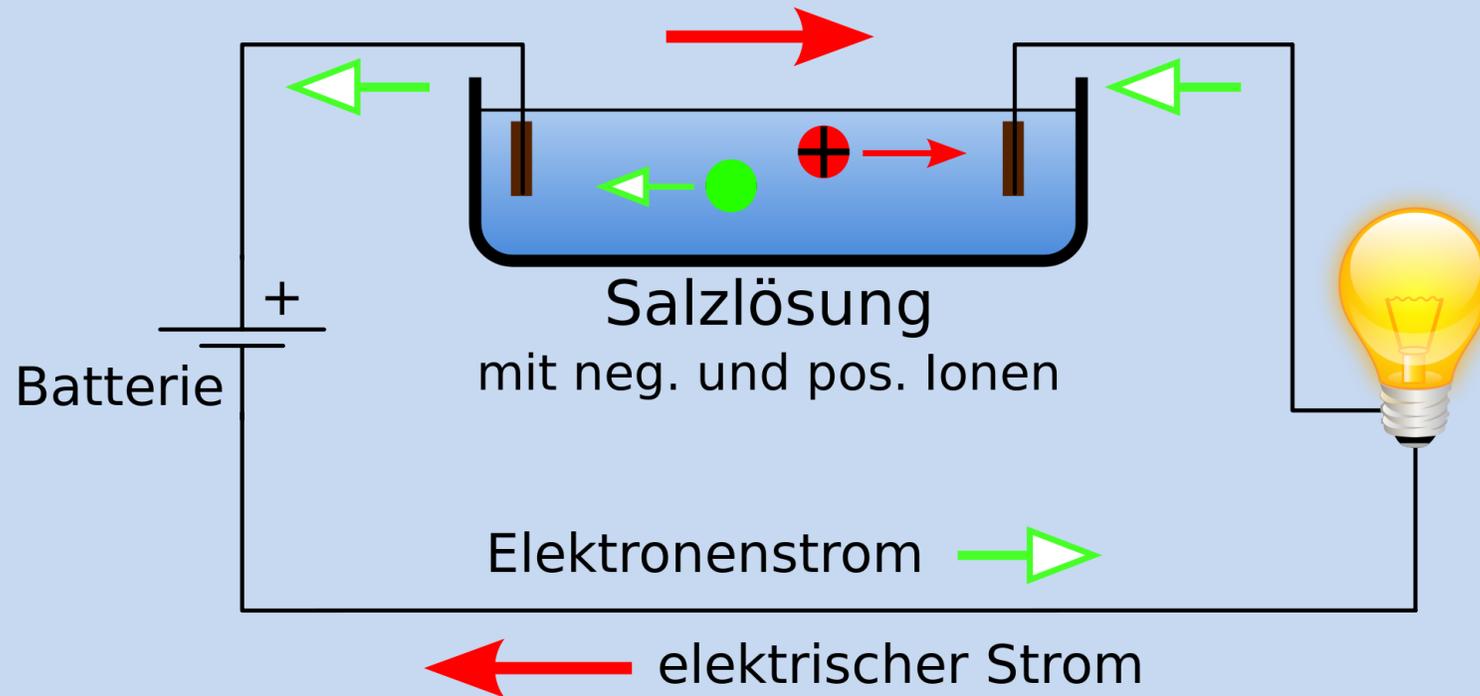
TB104 Welche Gruppe von Materialien enthält nur Nichtleiter (Isolatoren)?

A Epoxid, Polyethylen (PE), Polystyrol (PS)

B Pertinax, Polyvinylchlorid (PVC), Graphit

C Polyethylen (PE), Messing, Konstantan

D Teflon, Pertinax, Bronze



Aus historischen Gründen gibt es eine **physikalische Stromrichtung** (**Elektronenstrom**) und eine **technische Stromrichtung** (**elektrischer Strom**). Alle Schaltungen und Berechnungen beziehen sich immer auf die technische Stromrichtung. Strom kann nur dann fließen, wenn **freie Ladungsträger (Elektronen)** vorhanden sind.

Fragenkatalog TB203 : Was versteht man unter „technischer Stromrichtung“ in der Elektrotechnik ?

Einschub: Geschwindigkeit der Elektronen im Metall

Die **Driftgeschwindigkeit** der Elektronen ist abhängig vom Leiterwerkstoff, von seinem Querschnitt, von der Stromstärke und der Temperatur. Mit steigender Temperatur nimmt die **Brownsche Molekularbewegung** zu und verkürzt die **mittlere freie Weglänge** der Elektronen. Sie geraten öfter in die abstoßenden elektrischen Felder benachbarter Elektronen, wodurch ihre relative Geschwindigkeit abnimmt.

Es soll die mittlere Driftgeschwindigkeit der Elektronen im Kupferdraht berechnet werden. Der Draht hat einen Querschnitt von 1 mm^2 . Der Strom beträgt 1 A .

Die Elektronen bewegen sich in diesem Beispiel nur sehr langsam mit $v = 0,074 \text{ mm / s}$ durch den Leiter.

*Für die Strecke von Amberg nach Sulzbach würde Elektronen in diesem Beispiel $16 * 10^9 \text{ s}$ brauchen. Ca. 188 Tage.*

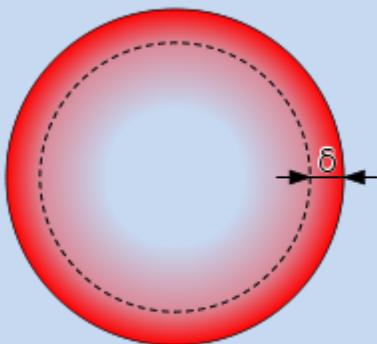
Wenn die mittlere freie Weglänge in der Sonne ca. 1 mm beträgt, wird es mehr als eine halbe Million Jahre dauern, bis ein Photon der Sonne entkommt. Wenn die freie Weglänge ca. 1 cm beträgt, dann dauert es ungefähr 5.000 Jahre, bis das Photon aus der Sonne kommt.

Quelle: <https://www.elektroniktutor.de/elektrophysik/strom.html>

Einschub: Der Skin-Effekt

Der **Skin-Effekt** (*Skin* = Haut) ist ein **Stromverdrängungs-Effekt** in von höherfrequentem Wechselstrom durchflossenen elektrischen Leitern, durch den die Stromdichte im Inneren eines Leiters niedriger ist als in äußeren Bereichen.

Die Ursache für den Skin-Effekt ist, dass die in den Leiter eindringenden Wechselfelder aufgrund der hohen Leitfähigkeit des Materials schon vor dem Erreichen des Leiterinneren weitgehend gedämpft werden.



Bei der **Energieübertragung** durch einen elektrischem Leiter mit Wechselstrom dringt ein Teil der elektromagnetischen Welle (Energie) in den Leiter ein.
Das **bindet die Welle an den Leiter**.

Frequenzabhängige Eindringtiefe (Abfall auf $1/e$, ca. 37 %) in einer Kupferleitung

Frequenz	Eindringtiefe
5 Hz	29,7 mm
50 Hz	9,38 mm
5 MHz	29,7 μm
16 MHz	16,6 μm
50 MHz	9,38 μm
160 MHz	5,24 μm
500 MHz	2,97 μm
1,6 GHz	1,66 μm
5 GHz	938 nm

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Skin-Effekt>

Halbleiter: Werkstoffe

Das **Halbleitermaterial** z.B. Silizium wird durch ein spezielles Herstellungsverfahren sehr rein und sehr gleichmäßig in der Kristallstruktur hergestellt.

Silizium Einkristall

Dieses Material ist neutral und fast ein **Isolator**.

Weitere Halbleiterelemente sind **Germanium** und **Selen**.

Auch Verbindungen aus Elementen können zum Bau von Halbleitern verwendet werden. Dazu werden z.B. Elemente aus der Gruppe 3 des Periodensystems mit Elementen aus der Gruppe 5 zusammengebracht. (sogen. **3-5 Verbindungen**.)

Ein sehr häufig verwendetes Material ist **GaAs** (Gallium-Arsenid). Es wird z.B. bei **Hochfrequenz Transistoren** verwendet.

Fragenkatalog TB105 : Was verstehen Sie unter Halbleitermaterialien?



Quelle: www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/werkstoffe/sand/

Einschub: Periodensystem

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
CAS-Gruppe	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	VIII B	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A					
Periode																			Schale				
1	1 H																	2 He	K				
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	L				
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	M				
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	N				
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	O				
6	55 Cs	56 Ba	* Lanthanoide	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	P				
7	87 Fr	88 Ra	** Actinoide	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo	Q				
			↓																				
			* Lanthanoide	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu					
			** Actinoide	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr					

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Periodensystem>

Werden ganz gezielt eine sehr geringe Menge an Fremdatomen in das Kristallgefüge eingebaut, so bilden sich Fehlstellen im Atomgefüge aus. (1 Donator/ 10^6 oder 10^7 Atome; bei schwacher Dotierung)

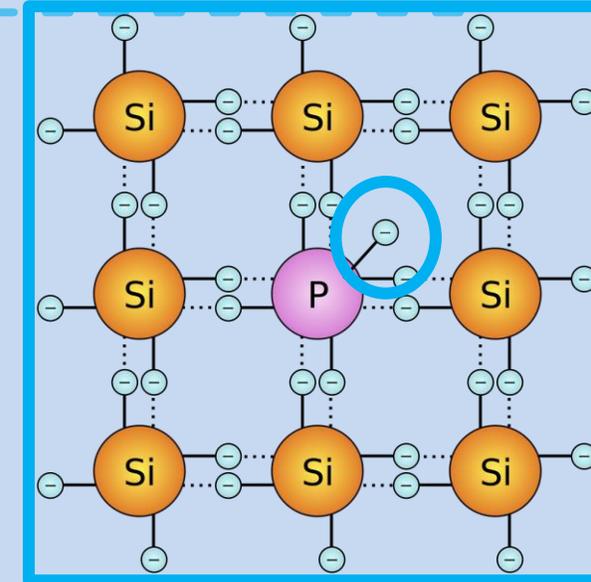
Es sind dann entweder zu viele Elektronen da (**Elektronenüberschuss, N-dotiert**), oder zu wenig. (**Elektronenmangel, P-dotiert.**)

Wird **P-dotiertes** Material mit **N-dotiertem** Material zusammengebracht, so bildet sich an der Trennfläche eine neutrale Zone aus.

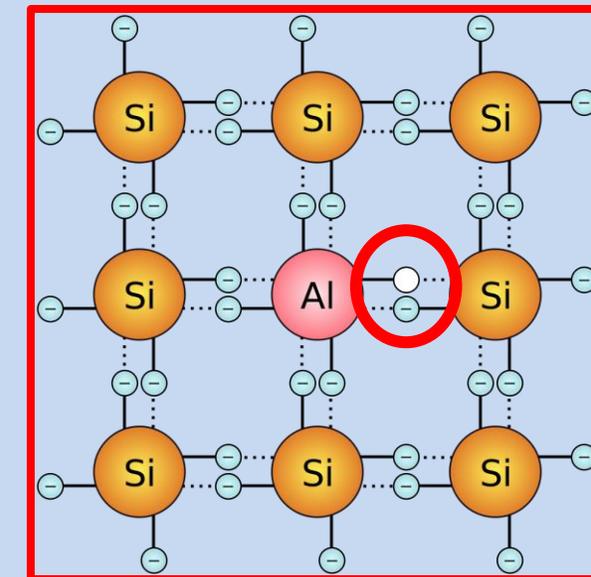
Diese Zone entsteht durch **Rekombination** der **Ladungsträger** und ist nicht leitend.

Diese Zone wird deshalb **Sperrschicht** genannt.

N

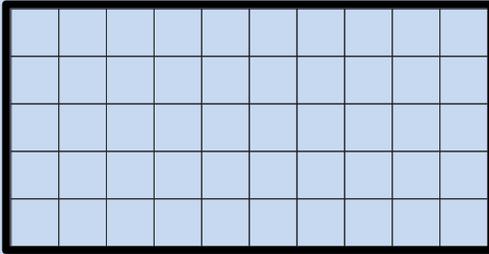


P



Bilder: <http://de.wikipedia.org/wiki/Dotierung>

Halbleiter: Dotieren 2



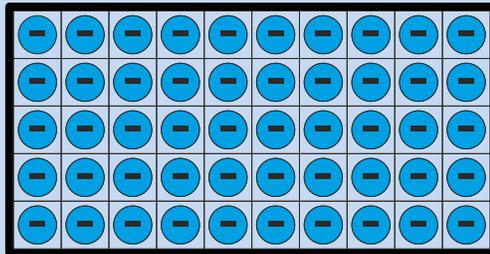
Neutrales Silizium

Gleichmäßige Anordnung aller Atome im Gitter.
(„Einkristall“)
Keine freien Ladungsträger.

Nichtleiter

Dotieren

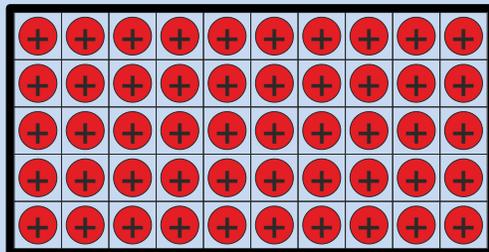
Durch das **Dotieren** entsteht entweder **P-Silizium** oder **N-Silizium**. Das jetzt elektrisch polarisiert Material besitzt **freie Ladungsträger**. Das ist die Grundvoraussetzung, das **Strom fließen** kann.



N-dotiertes Silizium

Jedes Atom hat ein Elektron zu viel.
Freien Ladungsträger: **Elektronen**

Leiter

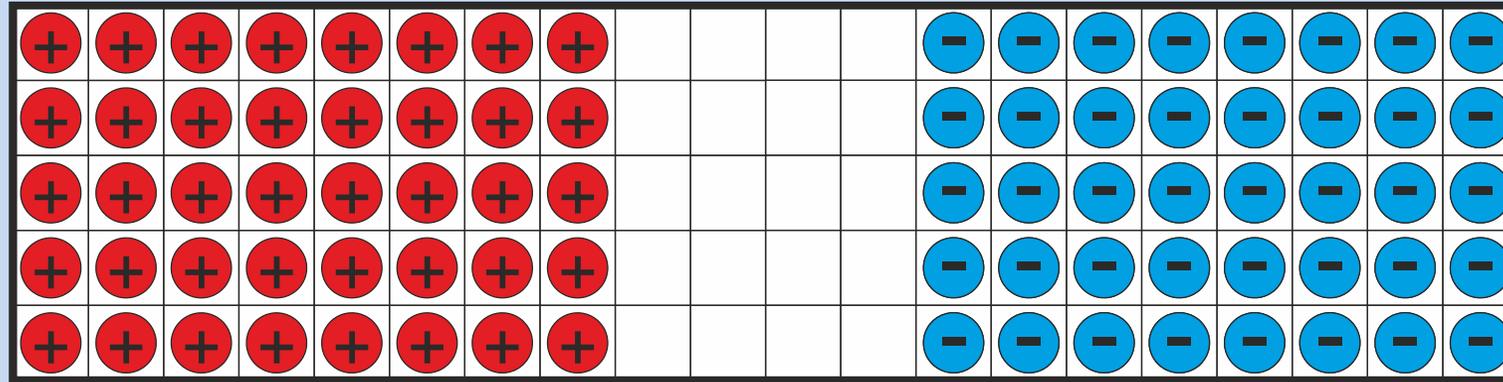


P-dotiertes Silizium

Jedem Atom fehlt ein Elektron.
Freien Ladungsträger: Elektronen Mangel = „**Löcher**“

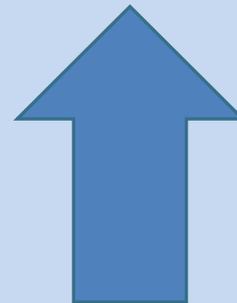
Leiter

Nach dem **Zusammenfügen** der beiden Materialien (auf atomarer Ebene) gleichen benachbarte Atome ihr Ungleichgewicht an Ladungsträgern aus. Es entstehen wieder **neutrale Atome** ohne freie Ladungsträger. In dieser Zone ist somit keine Stromleitung möglich. Es entsteht eine **Verarmungszone**, die sogenannte **Sperrschicht**.



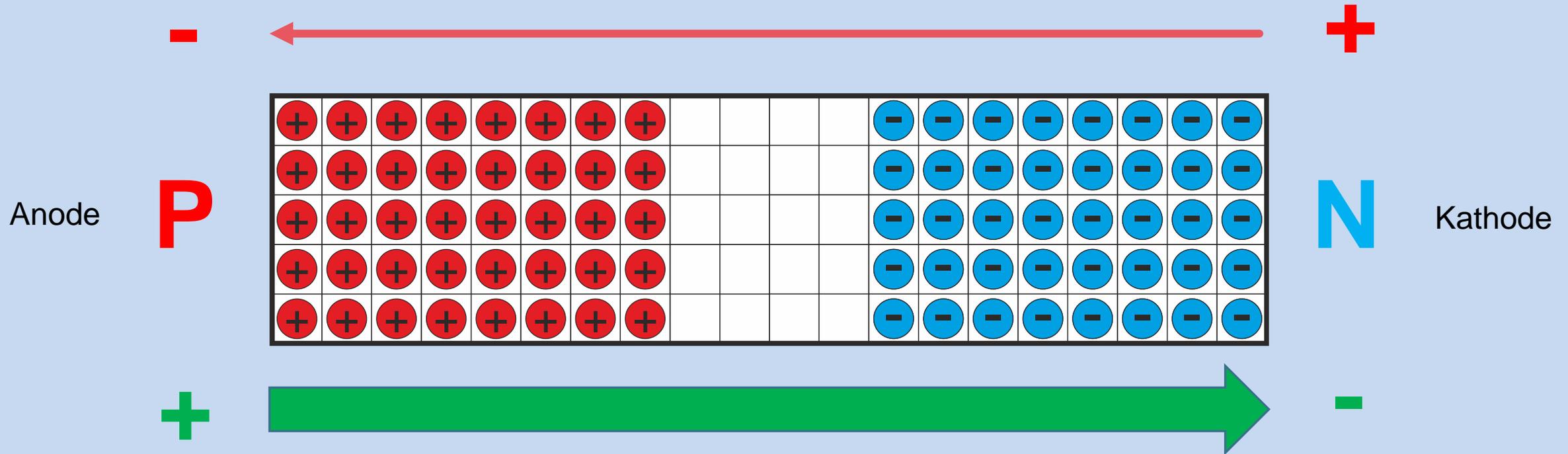
Auf der P-Seite wird der Elektronenmangel neutralisiert.

Auf der N-Seite wird der Elektronenüberschuß abgebaut.



Rekombination
Es bildet sich die Sperrschicht

Legt man Spannung in **Sperrrichtung** an, dann wird die Sperrschicht verstärkt. Die Verarmungszone wird vergrößert. Elektronen und Löcher werden von der Sperrschicht „weggezogen“.
Es fließt nur ein sehr geringer Sperrstrom.



Legt man Spannung in **Durchlassrichtung** an, dann wird die Sperrschicht abgebaut. Neue Ladungsträger fließen in die Sperrschicht. Es kommt zur ständigen Rekombination. Es fließt der Durchlassstrom. Er kann sehr groß sein und muss begrenzt werden.

TB105 Was verstehen Sie unter Halbleitermaterialien?

A Einige Stoffe (z.B. Silizium, Germanium) sind in reinem Zustand bei Raumtemperatur gute Isolatoren. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen oder bei hohen Temperaturen werden sie jedoch zu Leitern.

B Einige Stoffe (z.B. Silizium, Germanium) sind in reinem Zustand bei Raumtemperatur gute Leiter. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen oder bei hohen Temperaturen nimmt jedoch ihre Leitfähigkeit ab.

C Einige Stoffe wie z.B. Indium oder Magnesium sind in reinem Zustand gute Isolatoren. Durch geringfügige Zusätze von Silizium, Germanium oder geeigneten anderen Stoffen werden sie jedoch zu Leitern.

D Einige Stoffe (z.B. Silizium, Germanium) sind in trockenem Zustand gute Elektrolyten. Durch geringfügige Zusätze von Wismut oder Tellur kann man daraus entweder N-leitendes- oder P-leitendes Material für Anoden bzw. Kathoden von Halbleiterbauelementen herstellen.

TC501 P-dotiertes Halbleitermaterial ist solches, das mit einem zusätzlichen Stoff versehen wurde, der

A weniger als vier Valenzelektronen enthält.

B mehr als vier Valenzelektronen enthält.

C genau vier Valenzelektronen enthält.

D keine Valenzelektronen enthält.

TC502 N-leitendes Halbleitermaterial ist gekennzeichnet durch

A Überschuss an freien Elektronen.

B das Fehlen von Dotierungsatomen.

C das Fehlen von Atomen im Gitter des Halbleiterkristalls.

D bewegliche Elektronenlücken.

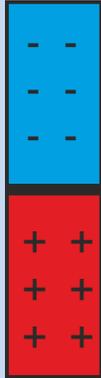
Diode

Dioden haben nur **eine Sperrschicht** und weisen **Ventilwirkung** auf d.h. sie lassen Strom nur in eine Richtung fließen.

Technische Stromrichtung: von Anode (+) nach Kathode (-).

Dioden werden aus verschiedenen Materialien gefertigt und haben dann verschiedene Flussspannungen.

Kathode (-)



N-Si

P-Si

Anode (+)

Es gibt verschieden Typen von Dioden. Sie sind für spezielle Anwendungen entworfen worden.



Z-Diode

Es wird nur die konstante Sperrspannung ausgenutzt. (Spannungsstabilisierung)



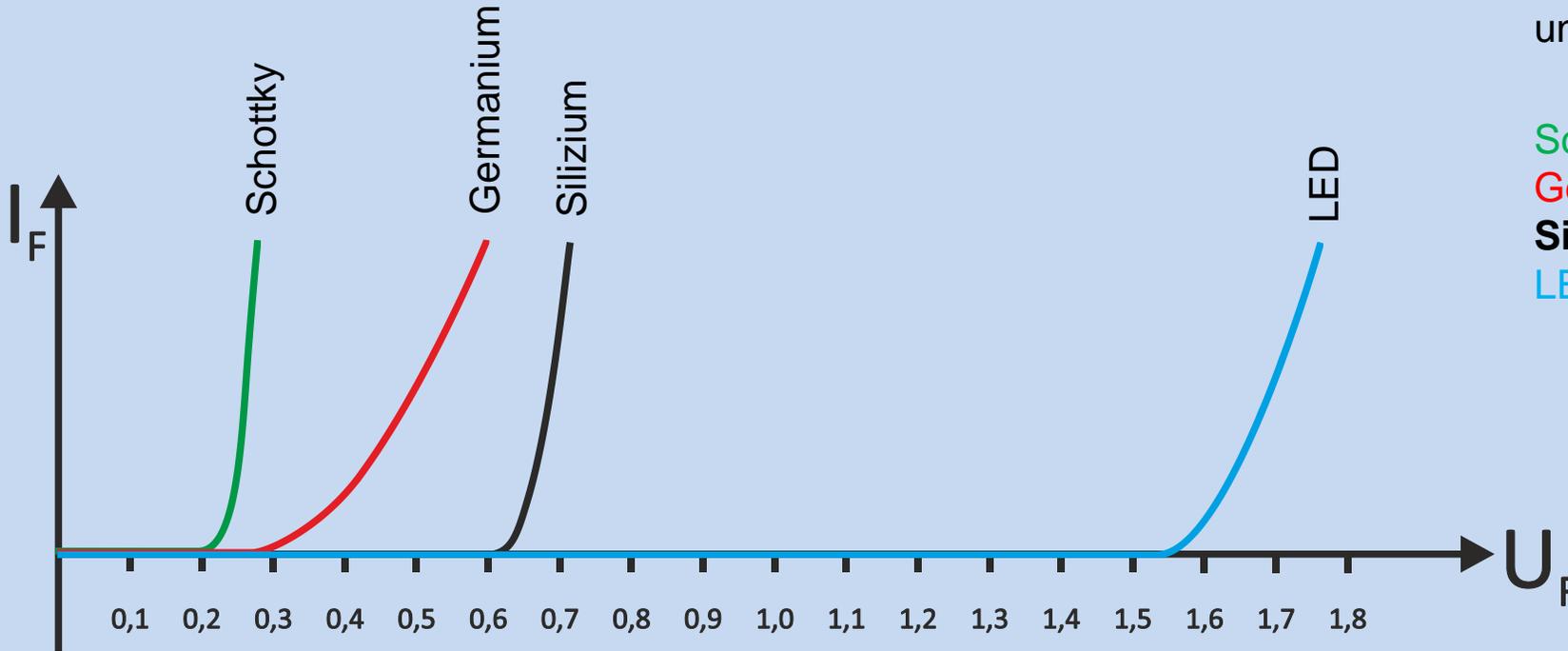
LED

Leuchtdiode



Kapazitätsdiode (Varaktor/Varicap)

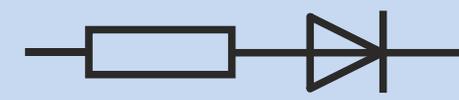
Es wird die Kapazität der Sperrschicht ausgenutzt. Diese Kapazität kann durch das Anlegen von Spannung verändert werden.



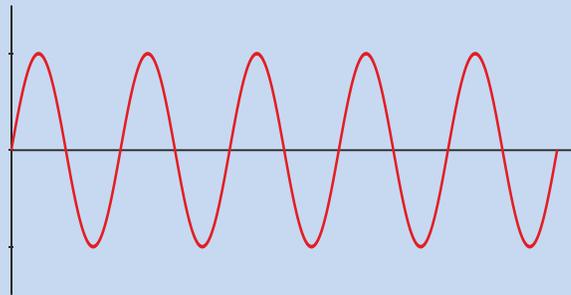
Verschiedene Diodentypen haben unterschiedliche **Flussspannungen**:

- Schottky ca. 0,2V
- Germanium ca. 0,2 – 0,4 V
- Silizium ca. 0,5 – 0,8 V
- LED ca. 1,5 V

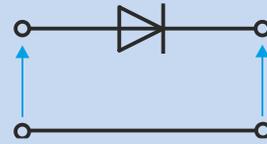
Wenn die Flussspannung erreicht wird, dann wird die Diode leitend. Der Strom muss dann begrenzt werden. (z.B. mit einem Widerstand)



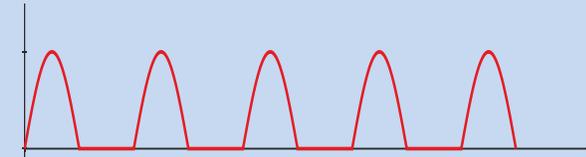
Walter Hans Schottky Deutscher Physiker (* 23. Juli 1886 † 4. März 1976)



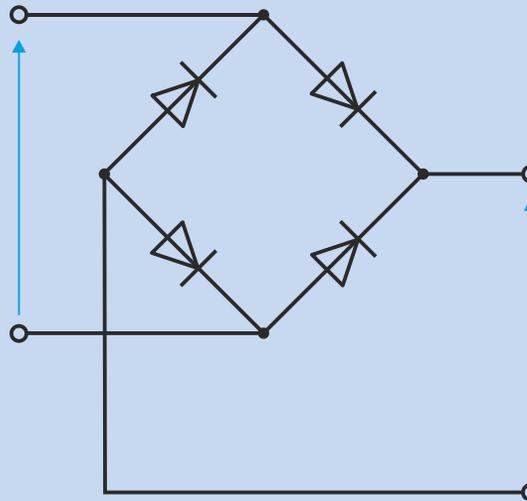
Wechselspannung



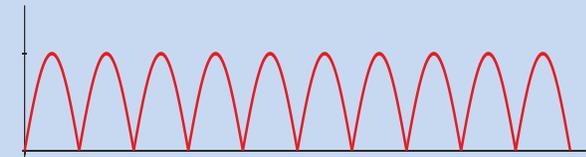
Einweg-Gleichrichter



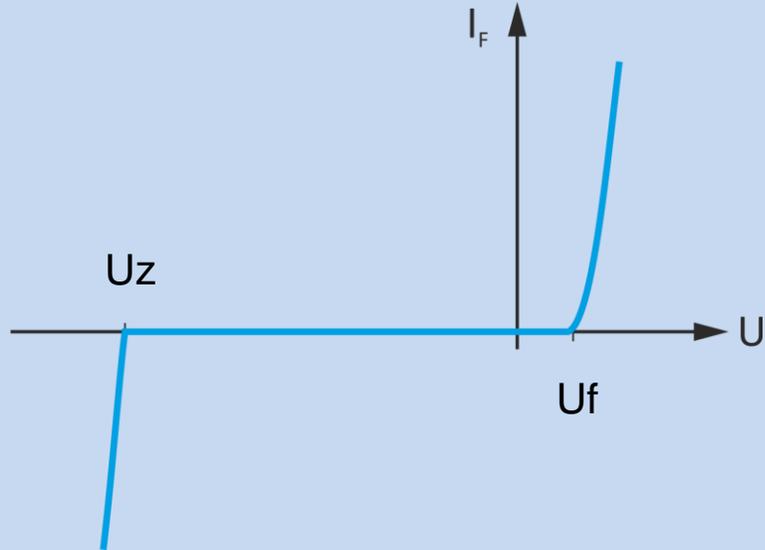
Negative Halbwellen werden abgeschnitten.



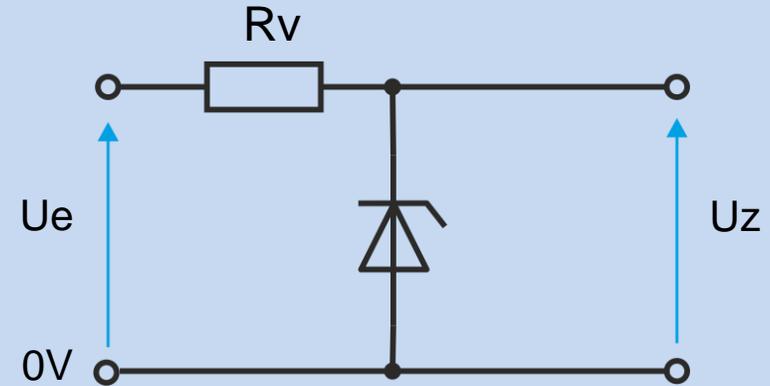
Brücken-Gleichrichter



Negative Halbwellen werden „nach oben“ geklappt.

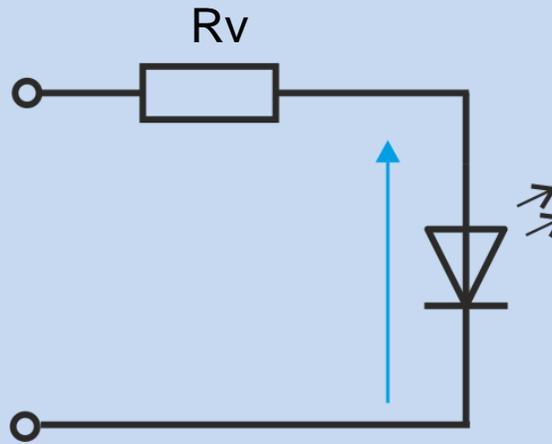


Zenerdioden haben eine genau festgelegte **2. Durchbruchspannung**, die **Zenerspannung** U_z .



Zenerdioden werden im **Sperrbetrieb** eingesetzt und begrenzen die Spannung auf den Wert ihrer **Zenerspannung** U_z . Sie werden für Netzteilschaltungen genutzt.

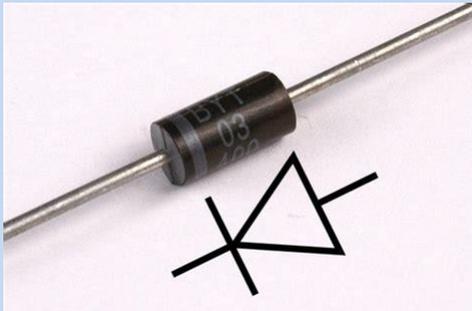
Der Vorwiderstand R_v **verhindert das „Durchlegieren“** der Z-Diode, da er den Strom begrenzt.



LEDs werden im **Durchlassbetrieb** eingesetzt.

Der Vorwiderstand R_v verhindert ein „Durchlegieren“, da er den Strom begrenzt.

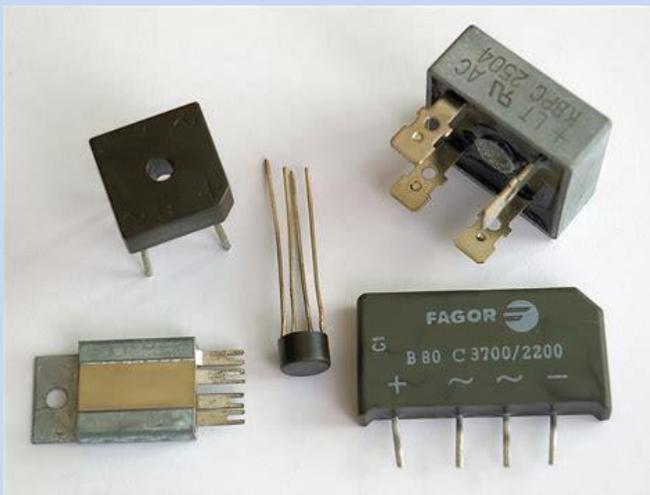
Die **Flussspannung** der LED ist **deutlich grösser** als die der „normalen“ Dioden.
Sie kann von Typ zu Typ unterschiedlich sein.



Normale Diode



Z Diode



Gleichrichter



LED

Farbe	λ in nm	Werkstoff
Infrarot	$\lambda > 760$	Galliumarsenid (GaAs), Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs)
Rot	$610 < \lambda < 760$	Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs), Galliumarsenidphosphid (GaAsP) Aluminiumgalliumindiumphosphid (AlGaInP), Galliumphosphid (GaP)
Orange	$590 < \lambda < 610$	Galliumarsenidphosphid (GaAsP), Aluminiumgalliumindiumphosphid (AlGaInP) Galliumphosphid (GaP)
Gelb	$570 < \lambda < 590$	Galliumarsenidphosphid (GaAsP), Aluminiumgalliumindiumphosphid (AlGaInP) Galliumphosphid (GaP)
Grün	$500 < \lambda < 570$	Indiumgalliumnitrid (InGaN), Galliumnitrid (GaN), Galliumphosphid (GaP) Aluminiumgalliumindiumphosphid (AlGaInP), Aluminiumgalliumphosphid (AlGaP)
Blau	$450 < \lambda < 500$	Zinkselenid (ZnSe), Indiumgalliumnitrid (InGaN), Siliziumkarbid (SiC)
Violett	$400 < \lambda < 450$	Indiumgalliumnitrid (InGaN)
Ultraviolett	$230 < \lambda < 400$	Aluminiumnitrid (AlN), Aluminiumgalliumnitrid (AlGaN), Aluminiumgalliumindiumnitrid (AlGaInN)

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>

TC503 Ein in Durchlassrichtung betriebener PN Übergang ermöglicht

A den Stromfluss von P nach N.

B den Stromfluss von N nach P.

C keinen Stromfluss.

D den Elektronenfluss von P nach N.

TC504 Eine in Sperrrichtung betriebene Diode hat

A einen hohen Widerstand.

B eine hohe Kapazität.

C eine geringe Impedanz.

D eine hohe Induktivität.

TC505 Die Auswahlantworten enthalten Silizium Dioden mit unterschiedlichen Arbeitspunkten. Bei welcher Antwort befindet sich die Diode in leitendem Zustand?

A 0,7V



1,3V

B -2,6V



-2,0 C

C 15V



9V

D 3,4V



4,0V

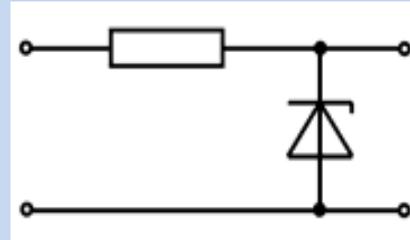
TC506 Die Auswahlantworten enthalten Silizium Dioden mit unterschiedlichen Arbeitspunkten. Bei welcher Antwort befindet sich die Diode in leitendem Zustand?

TC507 Wie verhält sich die Kapazität einer Kapazitätsdiode (Varicap)?

- A Sie nimmt mit abnehmender Sperrspannung zu.
- B Sie erhöht sich mit zunehmender Durchlassspannung.
- C Sie nimmt mit zunehmender Sperrspannung zu.
- D Sie erhöht sich mit zunehmendem Durchlassstrom.

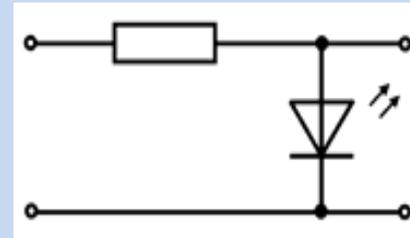
TC508 Wozu dient folgende Schaltung? Sie dient

- A zur Spannungsstabilisierung.
- B zur Signalbegrenzung.
- C als Leuchtanzeige.
- D zur Stromgewinnung.



TC509 Wozu dient die folgende Schaltung? Sie dient

- A als Leuchtanzeige.
- B zur Signalbegrenzung.
- C zur Spannungsstabilisierung.
- D zur Stromgewinnung.



Leiter, Nichtleiter, Isolator

Halbleitermaterial

PN-Übergang

Diode, Typen und Kennlinien

Silizium, Germanium, Schottky-Diode

Kapazitätsdiode, Z-Diode, Fotodiode, LED

Anwendung , Schaltungen

Gleichrichter, Spannungsbegrenzung

Oszillator

Rückkopplung

Oszillatortypen

LC-Oszillator, Quarzoszillator, PLL Oszillator,

VCO

Transistoren, Typen und Kennlinien

bipolare Transistor, Feldeffekt-Transistor

Verstärker

Transistorverstärker

Basisvorspannungsteiler, Arbeitspunkt

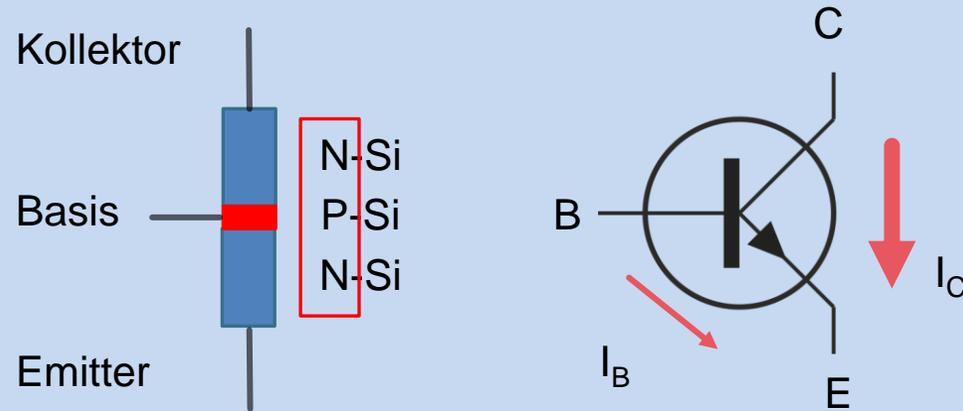
Operationsverstärker

Die Elektronenröhre

Integrierte Schaltungen

Bipolarer Transistor: Aufbau

NPN-Transistor



Bipolare Transistoren werden durch **Strom** gesteuert. Der kleine Basis-Strom I_B zwischen der Basis (B) und dem Emitter (E) steuert den großen Kollektor-Strom I_C zwischen Kollektor (C) und Emitter (E).

Statische Stromverstärkung

Transistoren werden häufig nach ihrer Gleichstromverstärkung in Gruppen eingeteilt. Die statische Stromverstärkung ist die Gleichstromverstärkung bei konstanter Kollektor-Basis Spannung.

$$B = \frac{I_C}{I_B};$$

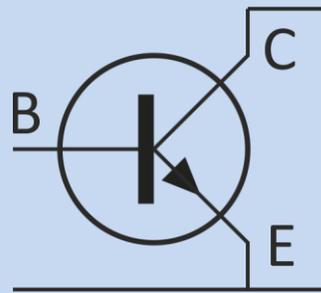
$B = \text{statische Stromverstärkung}$

$I_C = \text{Kollektorstrom}$

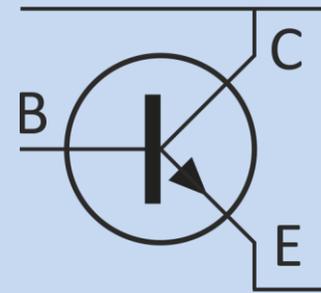
$I_B = \text{Basisstrom}$

Bipolarer Transistor: Vergleich

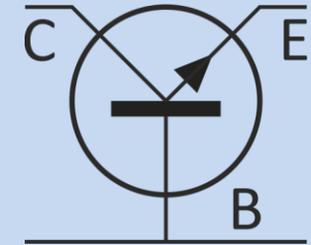
Man unterscheidet drei **Grundschaltungen**. Diese sind nach dem Transistoranschluss benannt, der in Bezug auf das Signal sowohl im Eingangskreis als auch im Ausgangskreis liegt.



Emitterschaltung



Kollektorschaltung

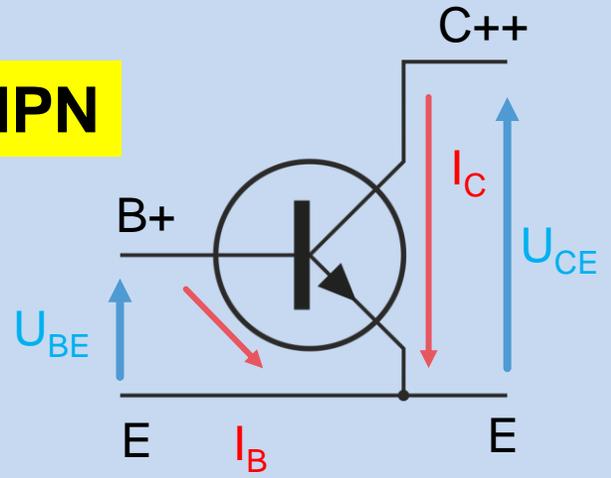


Basisschaltung

	Emitterschaltung	Kollektorschaltung	Basisschaltung
Eingangswiderstand	mittel 1...10kΩ	klein 10...100Ω	groß > 100kΩ
Ausgangswiderstand	groß 10kΩ...1MΩ	sehr groß > 100kΩ	klein 10...100Ω
Leistungsverstärkung	sehr groß	groß	mittel
Grenzfrequenz	niedrig	hoch	niedrig
Anwendung	universal	HF	Impedanzwandler

Bipolarer Transistor: Typen

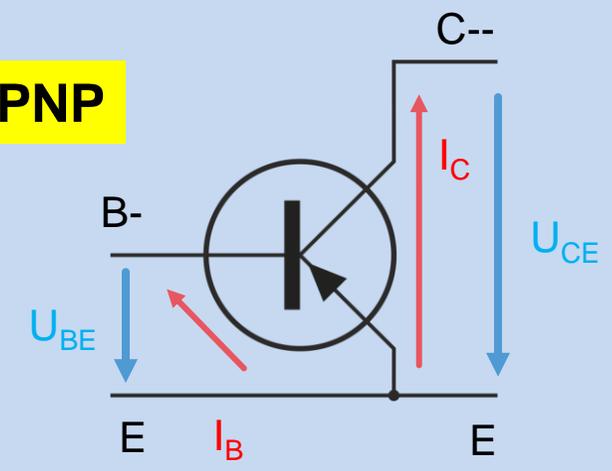
NPN



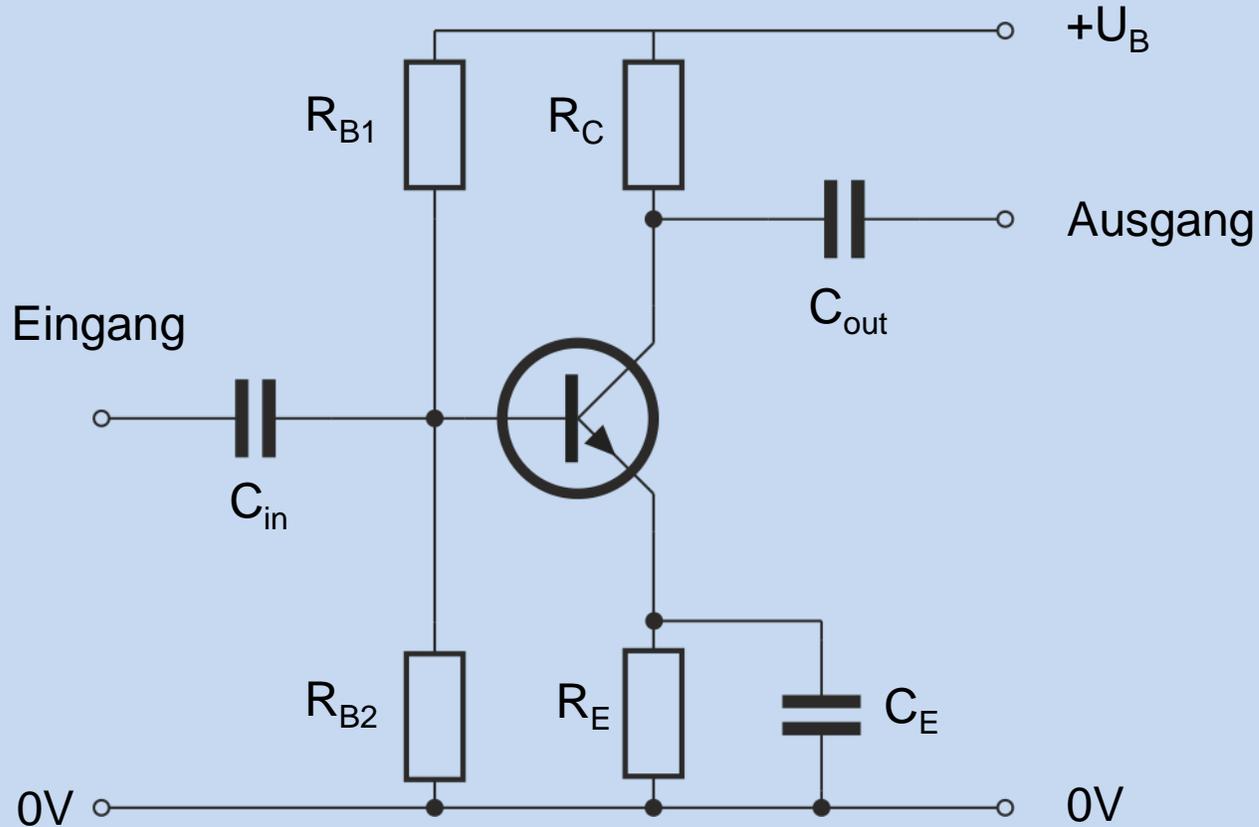
Die **Diodenschwellen** sind vom verwendeten Halbleitermaterial abhängig. z.B. Silizium ca. 0,6 – 0,7 V

Der **Transistor** leitet, wenn die Basis um eine **Diodenschwelle positiver** als der **Emitter** ist. Der Kollektor muss positiver als die Basis sein.

PNP



Der **Transistor** leitet, wenn die Basis um eine **Diodenschwelle negativer** als der **Emitter** ist. Der Kollektor muss negativer als die Basis sein.



$+UB = \text{Betriebsspannung}$

$0V = \text{Bezugspegel}$

R_{B1} und $R_{B2} = \text{Basis Spannungsteiler}$

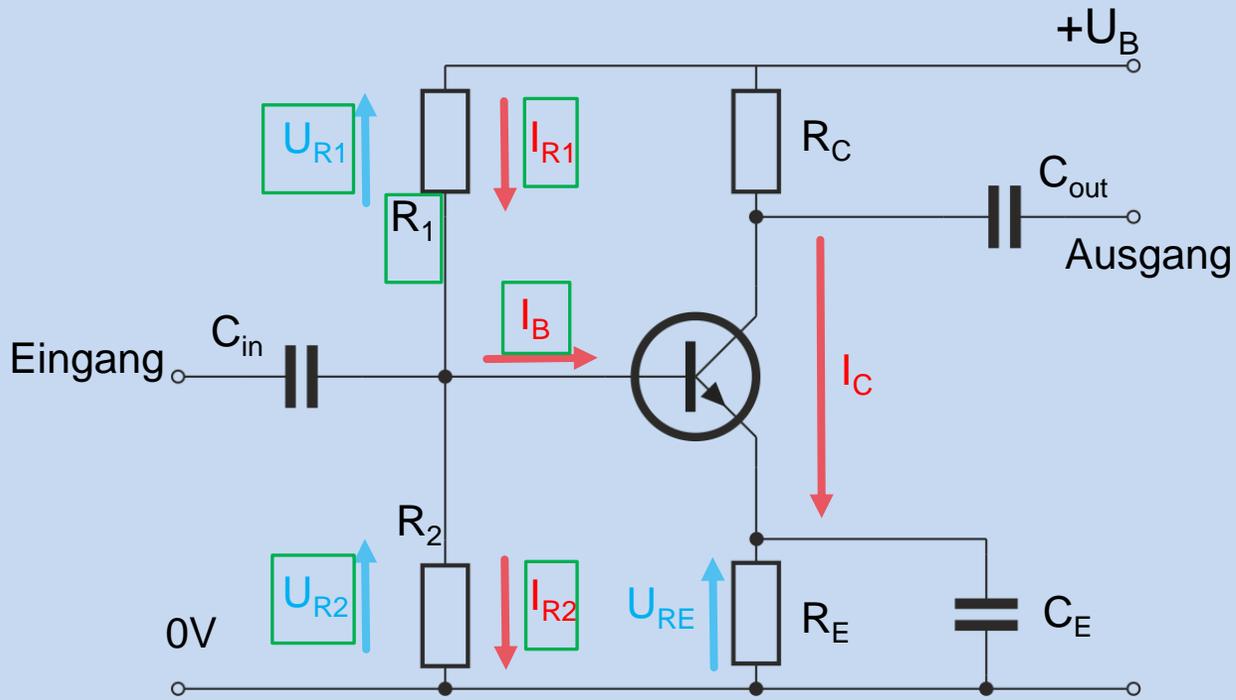
C_{in} und $C_{out} = \text{Signal Koppelkondensatoren}$

$R_C = \text{Kollektor Widerstand}$

$R_E = \text{Emitter Widerstand}$

$C_E = \text{Emitter Kondensator}$

Einschub: Rechenbeispiel



Gegeben:
 $U_B = 10V;$ $I_C = 2mA;$ $B = 200;$
 $U_{RE} = 1V;$ $I_{R2} = 10 * I_B;$

Gesucht: $R_1 = ?$

$I_B = I_C / B = 2mA / 200;$

$I_B = 10\mu A;$

$I_{R2} = 10 * I_B = 10 * 10\mu A;$

$I_{R2} = 100\mu A;$

$U_{R2} = U_{RE} + 0,6V = 1V + 0,6V;$

$U_{R2} = 1,6V;$

$I_{R1} = I_B + I_{R2} = 10\mu A + 100\mu A;$

$I_{R1} = 110\mu A;$

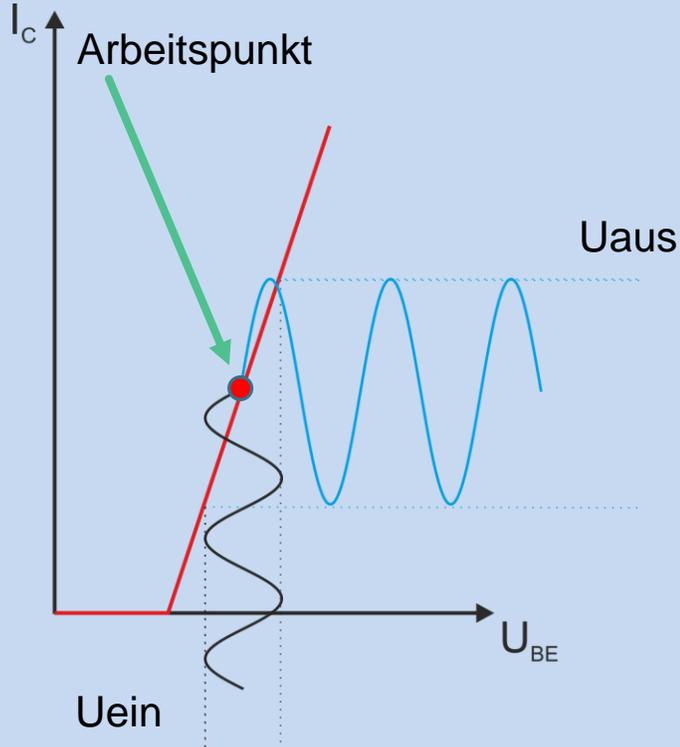
$U_{R1} = U_B - U_{R2} = 10V - 1,6V;$

$U_{R1} = 8,4V;$

$R_1 = U_{R1} / I_{R1} = 8,4V / 110\mu A;$

$R_1 = 76,4\Omega;$

Arbeitspunkt: A-Betrieb



Die **Arbeitskennlinie** des Transistors ist linearisiert dargestellt. **In Wirklichkeit ist sie nichtlinear.**

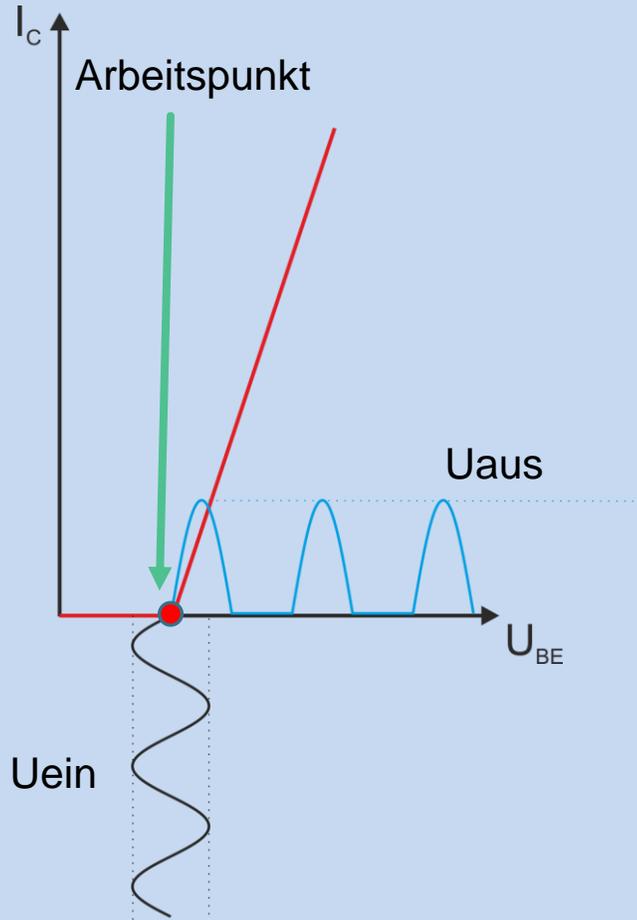
Die Eingangsspannung wird an der Arbeitskennlinie gespiegelt.

Dadurch entsteht die deutlich verstärkte Ausgangsspannung. Die **Steilheit** der Arbeitskennlinie ist ein Maß für die **Verstärkung** des Transistors.

Der Nullpunkt der Eingangsspannung liegt auf dem **Arbeitspunkt A**. Dieser Punkt liegt in einem Bereich der Kennlinie, die eine **verzerrungsarme** (lineare) Verstärkung ermöglicht.

Die Arbeitskennlinie stellt den Kollektorstrom I_C in Abhängigkeit der Basis-Emitter Spannung U_{BE} dar.

Arbeitspunkt: B-Betrieb



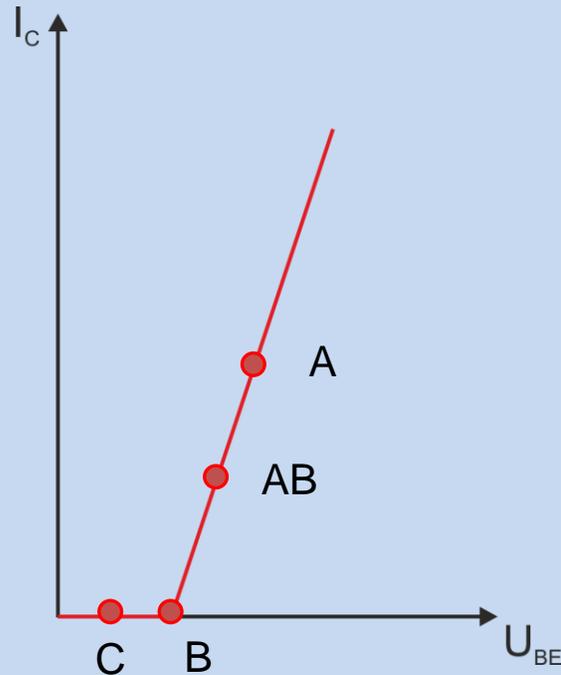
Die **Arbeitskennlinie** des Transistors ist linearisiert dargestellt. **In Wirklichkeit ist sie nichtlinear.**

Die Eingangsspannung wird an der Arbeitskennlinie gespiegelt.

Dadurch entsteht die deutlich verstärkte Ausgangsspannung. Die **Steilheit** der Arbeitskennlinie ist ein Maß für die **Verstärkung** des Transistors.

Der **Nullpunkt der Eingangsspannung** liegt auf dem **Arbeitspunkt B**. Dieser Punkt liegt direkt am Knick der Kennlinie. Dadurch wird nur eine Halbwelle der Eingangsspannung verstärkt. **Es entstehen starke Verzerrungen und viele Oberwellen.**

Die Arbeitskennlinie stellt den Kollektorstrom I_C in Abhängigkeit der Basis-Emitter Spannung U_{BE} dar.



A-Betrieb

Der Arbeitspunkt liegt in der Mitte des linearen Bereichs der Steuerkennlinie. Beide Halbwellen werden gleichmäßig verstärkt.

Hoher Ruhestrom; Wirkungsgrad ca. 0,4; sehr wenig Oberwellen.

B-Betrieb

Der Arbeitspunkt liegt im Knick der Kennlinie. Nur eine Halbwelle wird verstärkt. Hohe Verzerrungen. Findet Verwendung als Gegentakt-B-Verstärker.

Kleiner Ruhestrom; Wirkungsgrad ca. 0,7; wenig Oberwellen. (bei Gegentakt)

C-Betrieb

Der Arbeitspunkt liegt im Sperrbereich der Kennlinie. Verzerrt das Signal stark. Verwendung in FM-Endstufen mit großer Leistung.

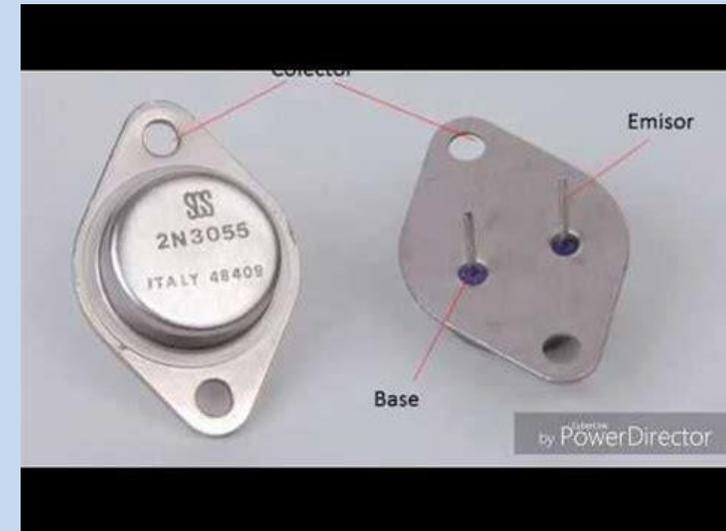
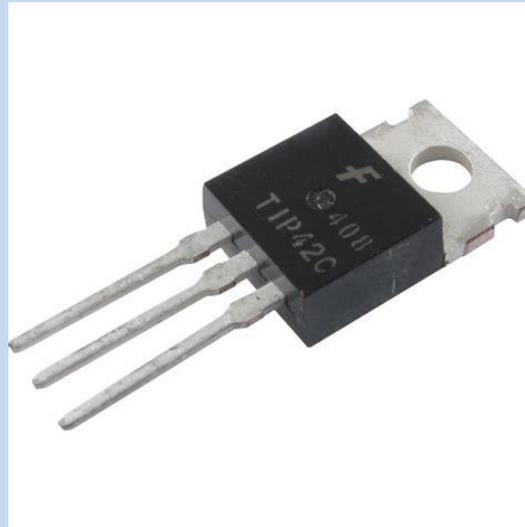
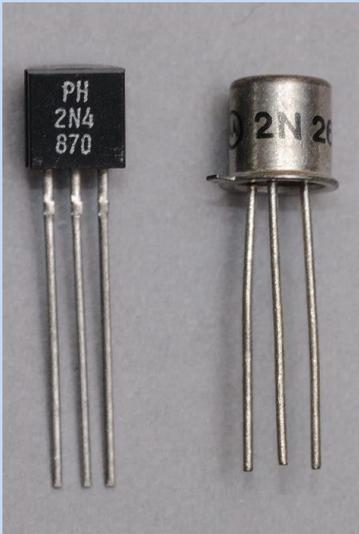
Wirkungsgrad ca. 0,9; Sehr viele Oberwellen.

AB-Betrieb

Der Arbeitspunkt liegt im unteren Bereich der Kennlinie. Meist gleitender Arbeitspunkt.

Kleine Ansteuerung -> B-Betrieb -> kleiner Ruhestrom

Große Ansteuerung -> A-Betrieb



Leistungstransistor

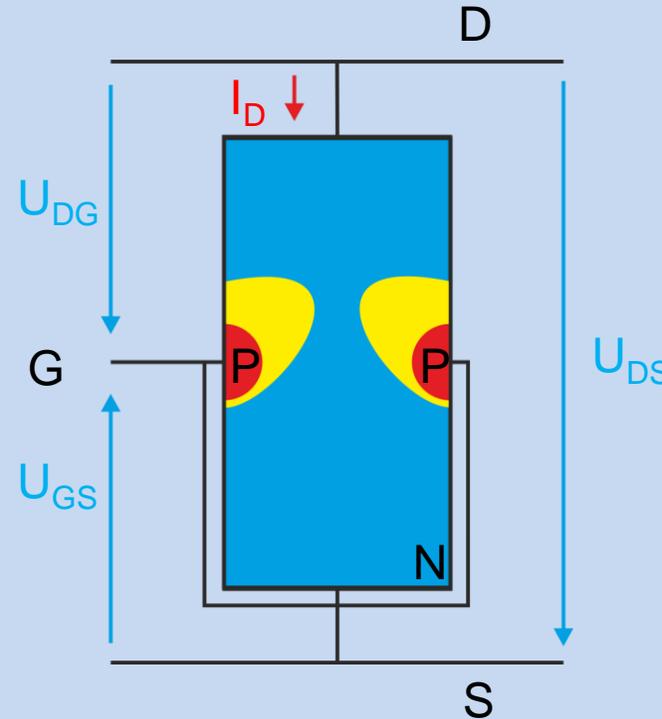
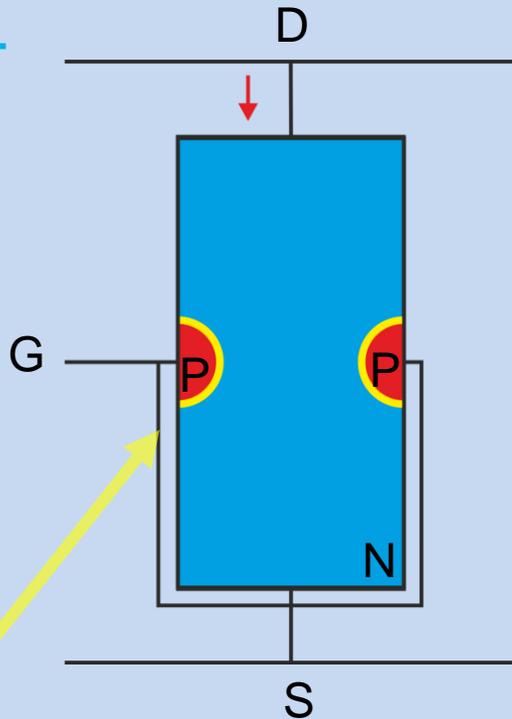
Feldeffekttransistor: Sperrschicht-Feldeffekttransistor (JFET)

Sperrschicht-FETs werden auch als JFET bezeichnet. Sperrschicht-FETs gibt es als N-Kanal und P-Kanal Typen.
(englisch: **J**unction-**F**ield-**E**ffect-**T**ransistor; *junction = Sperrschicht*)

Beispiel: N-Kanal JFET

Er besteht aus einem N-dotierten Kristall mit 2 P-dotierten Zonen.

Um diese P-Zonen herum bilden sich Sperrschichten.



Legt man eine negative Gatespannung U_{GS} an, dann „wachsen“ die Sperrschichten in die N-Zone und verengen den Kanal.

Der Drain-Strom I_D nimmt ab.

S = Source (Quelle) **D** = Drain (Abfluss) **G** = Gate (Tor)

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Feldeffekttransistor>

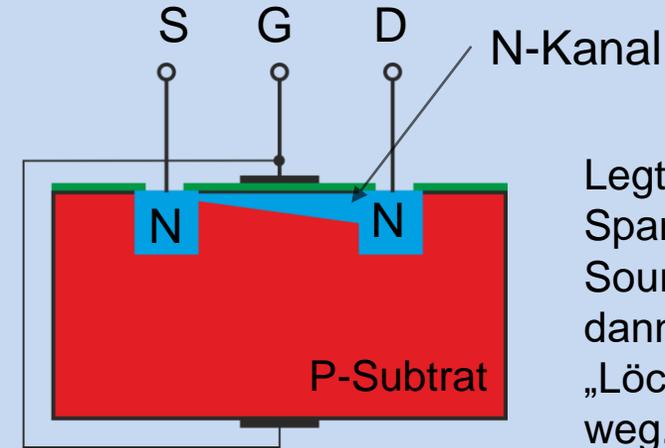
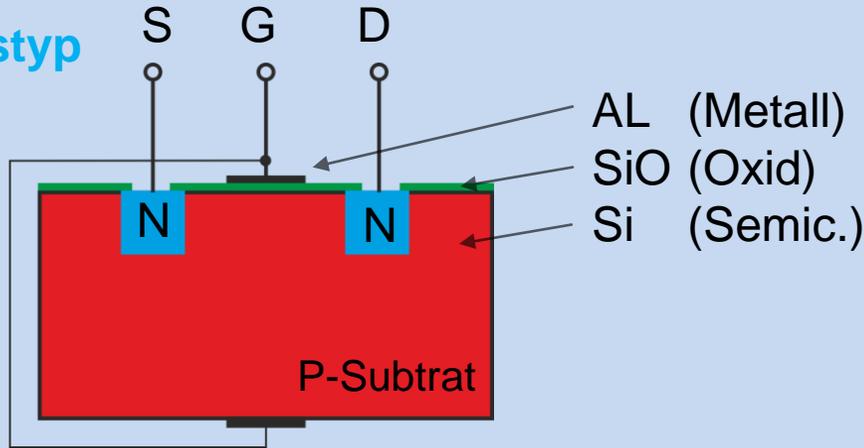
Feldeffekttransistor: MOS-FET

MOS-FETs werden auch als IG-FET bezeichnet. Es gibt Anreicherungstypen (selbst-sperrend) und Verarmungstypen (selbst leitend)

(MOS : **M**etal-**O**xid-**S**emiconductor; IG : **I**nsulated **G**ate = *isoliertes Gate*)

Beispiel: Anreicherungstyp

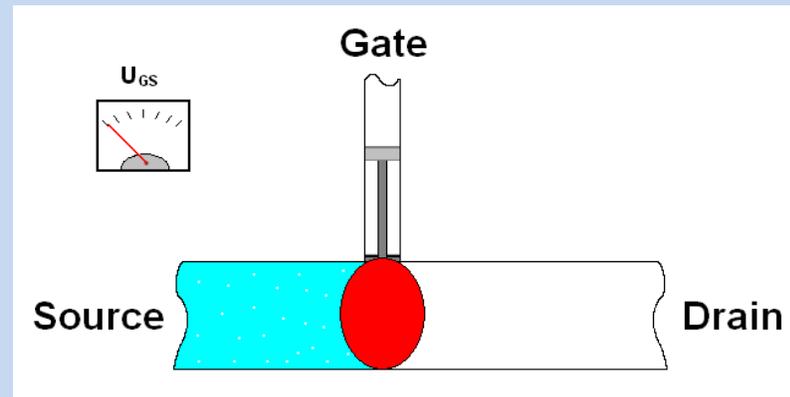
Wenn keine positive Spannung zwischen Source und Gate anliegt, dann fließt kein Strom zwischen Source und Drain.



Legt man eine positive Spannung zwischen Source und Gate an, dann „wandern“ die „Löcher“ vom Gate weg.

Der Bereich zwischen Source und Drain wird mit freien Elektronen angereichert.

Er wird leitfähig.



Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Feldeffekttransistor>

Feldeffekttransistor: Schaltbilder

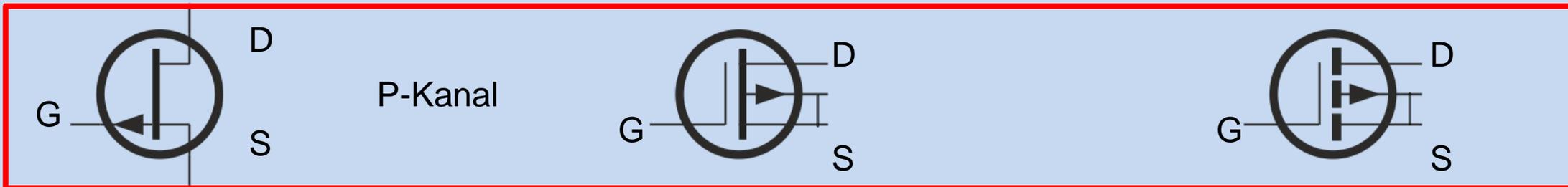
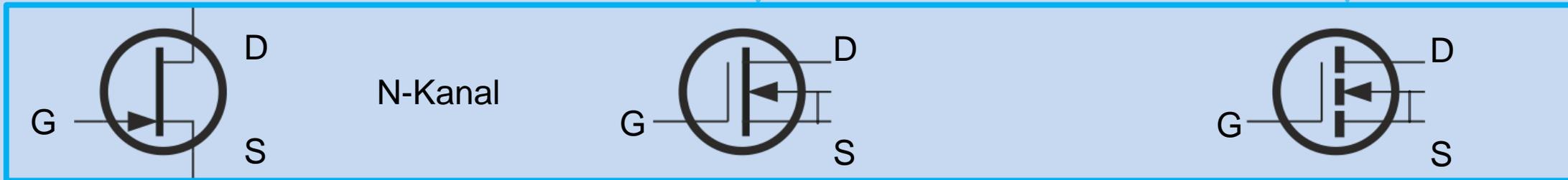
FET

J-FET

MOS-FET

Verarmungstyp
selbst leitend

Anreicherungstyp
selbst sperrend



TC601 Was versteht man unter Stromverstärkung beim Transistor?

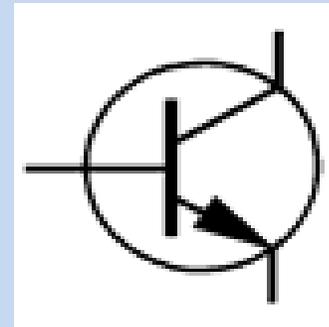
- A Mit einem geringen Strom (Basisstrom) wird ein großer Strom (Kollektorstrom) gesteuert.
- B Mit einem geringen Strom (Emitterstrom) wird ein großer Strom (Kollektorstrom) gesteuert.
- C Mit einem geringen Strom (Emitterstrom) wird ein großer Strom (Basisstrom) gesteuert.
- D Mit einem geringen Strom (Kollektorstrom) wird ein großer Strom (Emitterstrom) gesteuert.

TC602 Das Verhältnis von Kollektorstrom zum Basisstrom eines Transistors liegt üblicherweise im Bereich von

- A 10 zu 1 bis 900 zu 1.
- B 1 zu 50 bis 1 zu 100.
- C 1000 zu 1 bis 5000 zu 1.
- D 1 zu 100 bis 1 zu 500.

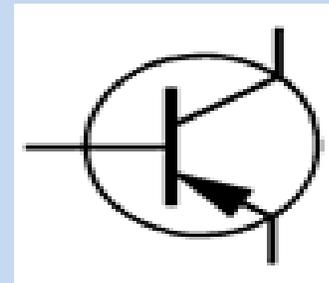
TC603 Bei diesem Bauelement handelt es sich um einen

- A NPN-Transistor.
- B PNP-Transistor.
- C Sperrschicht-FET.
- D MOSFET.



TC604 Bei diesem Bauelement handelt es sich um einen

- A PNP-Transistor.
- B NPN-Transistor.
- C P-Kanal-FET.
- D N-Kanal-FET.



TC605 Welche Kollektorspannungen haben NPN und PNP-Transistoren?

A NPN-Transistoren benötigen positive, PNP Transistoren negative Kollektorspannungen.

B NPN- und PNP-Transistoren benötigen negative Kollektorspannungen.

C PNP-Transistoren benötigen positive, NPN Transistoren negative Kollektorspannung.

D PNP- und NPN-Transistoren benötigen positive Kollektorspannungen.

TC606 Bei einem bipolaren Transistor in leitendem Zustand befindet sich die Emitter-Basis Diode

A in Durchlassrichtung.

B im Leerlauf.

C im Kurzschluss.

D in Sperrrichtung.

TC607 Welche Transistortypen sind bipolare Transistoren?

A NPN- und PNP-Transistoren

B Dual-Gate-MOS-FETs

C Isolierschicht-FETs

D Sperrschicht-FETs

TC608 Wie lauten die Bezeichnungen der Anschlüsse eines bipolaren Transistors?

A Emitter, Basis, Kollektor

B Emitter, Drain, Source

C Drain, Source, Kollektor

D Drain, Gate, Source

TC609 Ein bipolarer Transistor ist

A stromgesteuert.

B spannungsgesteuert.

C thermisch gesteuert.

D ein Gleichspannungsverstärker

TC610 Wenn die Basisspannung eines NPN Transistors gleich der Emitterspannung ist,

A fließt kein Kollektorstrom.

B fließt ein Kollektorstrom von etwa 0,6 A.

C liegt der Kollektorstrom zwischen 10 mA und 2 A.

D fließt ein sehr hoher Kollektor-Kurzschlussstrom.

TC611 Wie erfolgt die Steuerung des Stroms im Feldeffekttransistor (FET)?

A Die Gatespannung steuert den Widerstand des Kanals zwischen Source und Drain.

B Die Gatespannung ist allein verantwortlich für den Drainstrom.

C Der Gatestrom ist allein verantwortlich für den Drainstrom.

D Der Gatestrom steuert den Widerstand des Kanals zwischen Source und Drain.

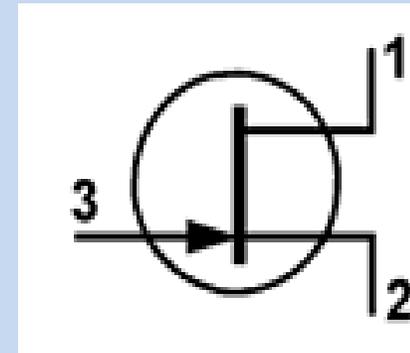
TC612 Wie bezeichnet man die Anschlüsse des nebenstehenden Transistors?

A 1 ... Drain, 2 ... Source, 3 ... Gate.

B 1 ... Source, 2 ... Drain, 3 ... Gate.

C 1 ... Anode, 2 ... Katode, 3 ... Gate.

D 1 ... Kollektor, 2 ... Emitter, 3 ... Basis.



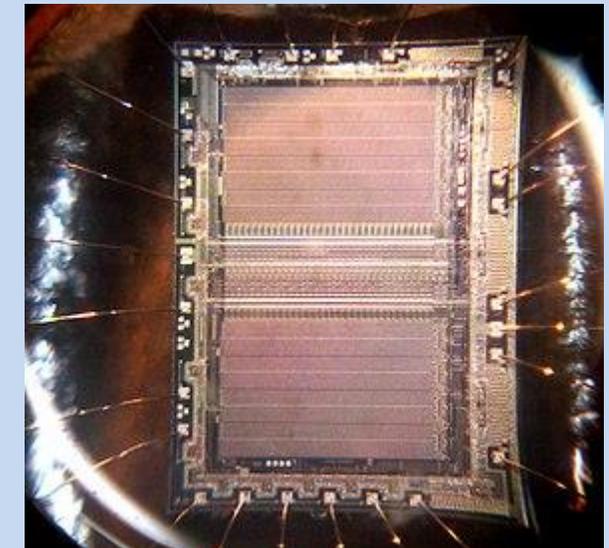
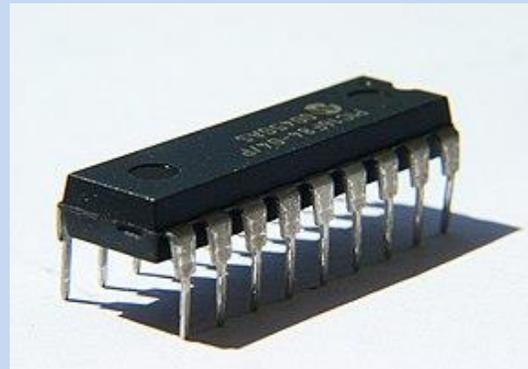
Integrierte Schaltungen (IC integrated circuit)

Wikipedia sagt:

Ein **integrierter Schaltkreis**, auch **integrierte Schaltung** (IC = integrated circuit) ist eine auf einem dünnen, meist einige Millimeter großen Plättchen aus Halbleiter-Material (chip) aufgebrachte elektronische Schaltung.

Sie wird manchmal auch als **Festkörperschaltkreis** oder monolithischer Schaltkreis (solid-state circuit bzw. monolithic integrated circuit) bezeichnet. Dieser **Chip** ist meist zum Schutz und zur einfacheren Kontaktierung in einem mehrfach größeren **Chipgehäuse** eingekapselt.

Ein IC enthält typischerweise eine Kombination von zahlreichen miteinander elektrisch verbundenen elektronischen Halbleiterbauelementen wie Transistoren, Dioden und/oder weiteren aktiven und passiven Bauelementen.

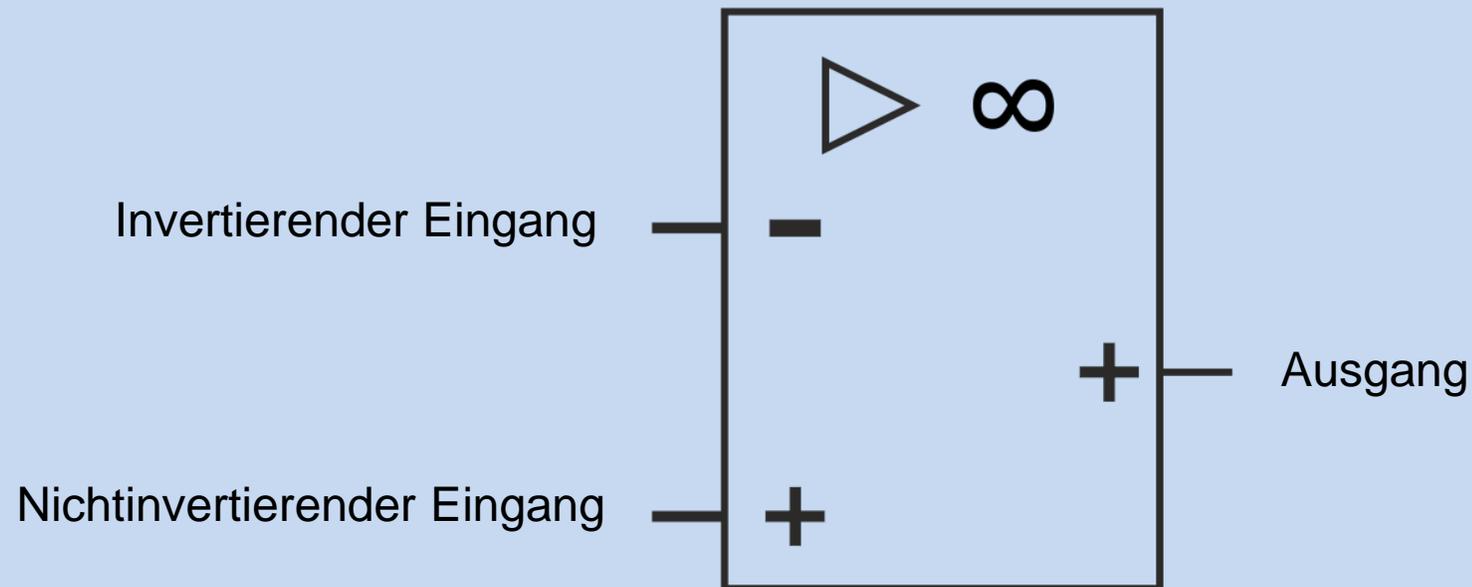


EPROM chip

https://de.wikipedia.org/wiki/Integrierter_Schaltkreis

Operationsverstärker: Symbol

Ein Operationsverstärker ist ein Verstärker mit **sehr hoher** (-> gegen unendlich) Verstärkung. Eingangs- und Ausgangssignale sind **Gleichspannungsgekoppelt**.



Versorgungsspannungsanschlüsse
nicht eingezeichnet.

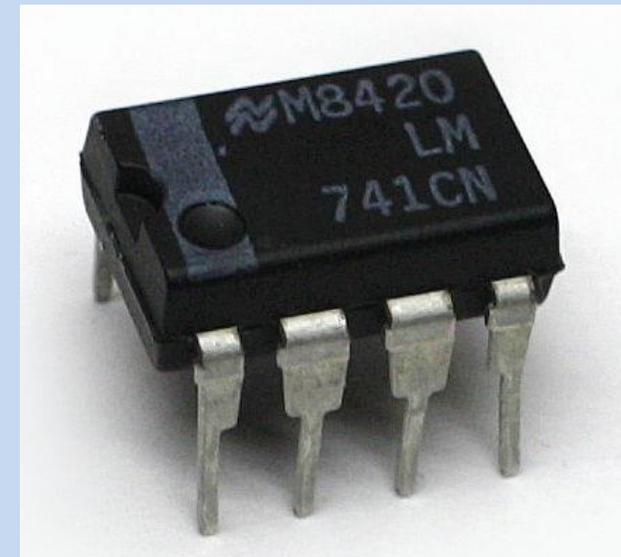
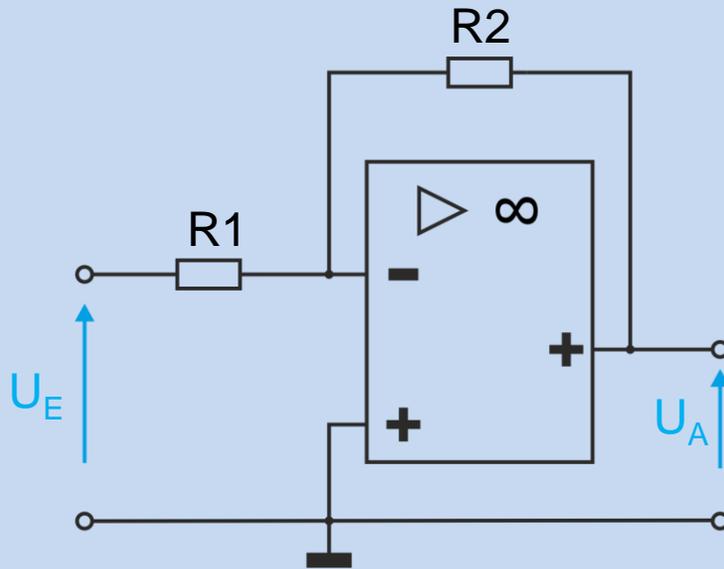


Bild: <http://de.wikipedia.org/wiki/Operationsverstärker>

Operationsverstärker: Grundschaltungen

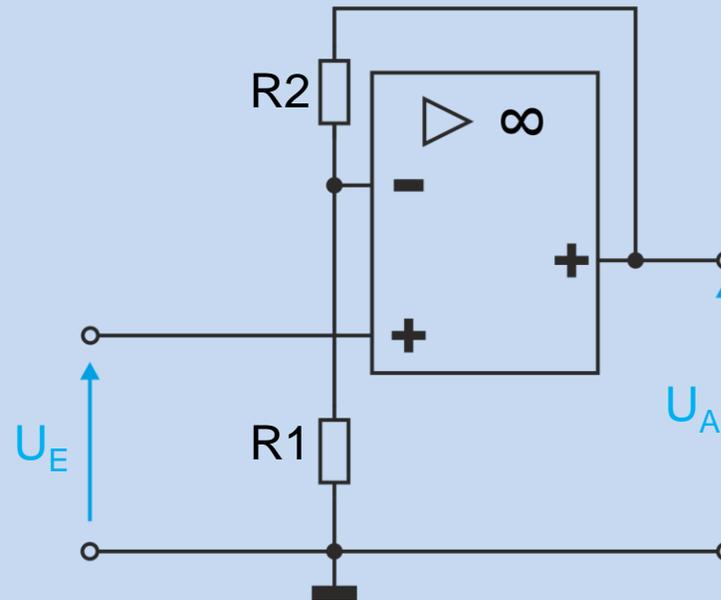


Invertierender Verstärker

$$U_A = v * U_E;$$

$$v = -\frac{R2}{R1};$$

$v = \text{Verstärkung};$

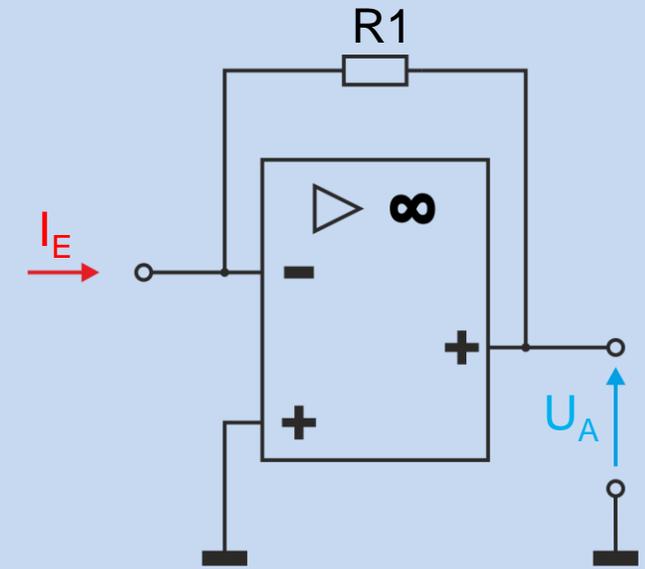


Nicht-Invertierender Verstärker

$$U_A = v * U_E;$$

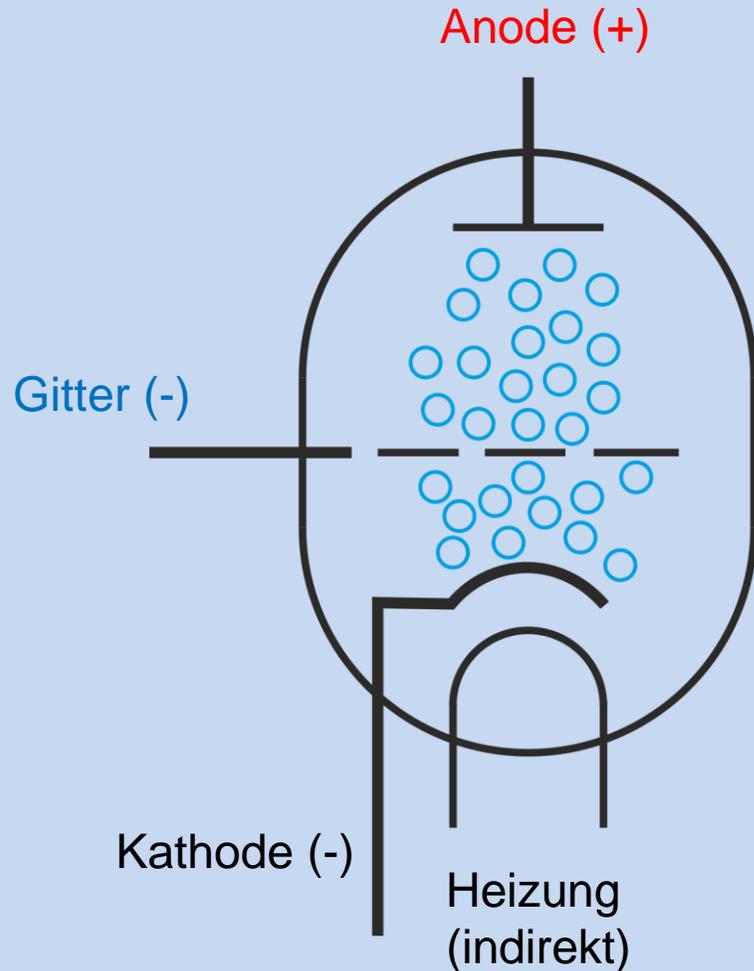
$$v = 1 + \frac{R2}{R1};$$

$v = \text{Verstärkung};$



Strom-Spannungs-Wandler

$$U_A = -R1 * I_E;$$

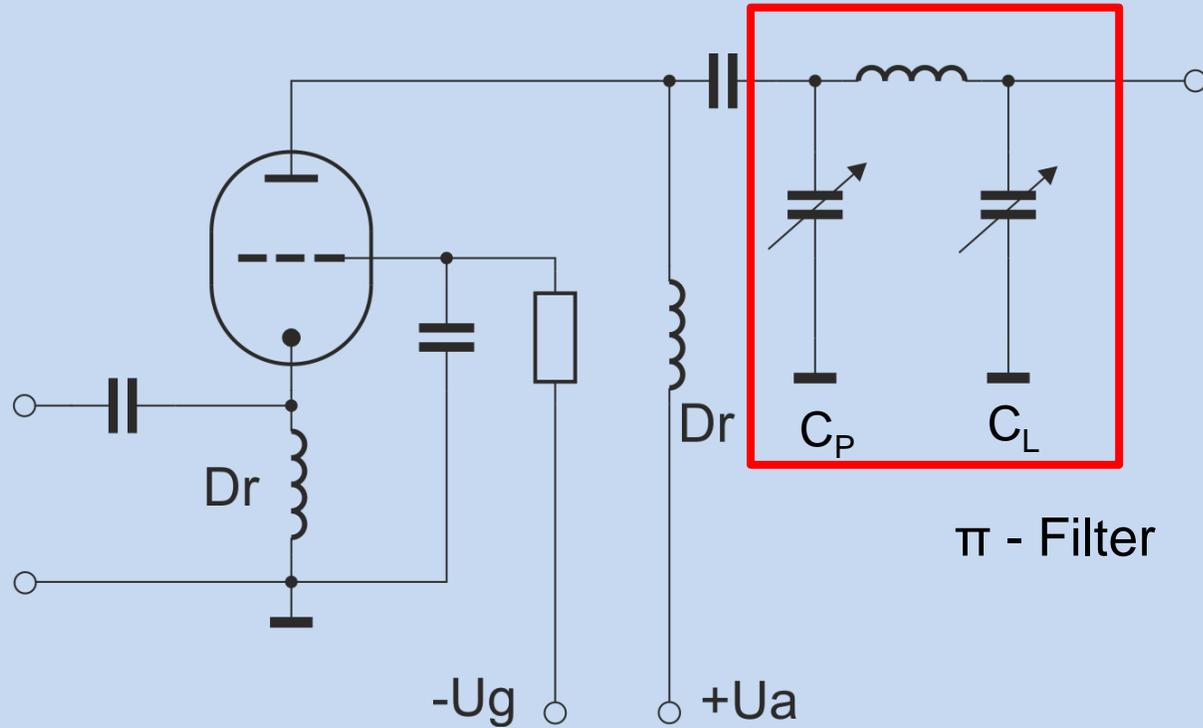


Mit der am **Gitter** angelegten Spannung wird der **Elektronenstrom** zwischen **Kathode** und **Anode** gesteuert.

Freie Elektronen werden durch Heizen der Kathode erzeugt.



Bild ://de.wikipedia.org/wiki/Elektronenröhre



Die beiden Kondensatoren des π – Filters sind meist mit „**Plate**“ und „**Load**“ beschriftet und dienen – zusammen mit der Spule – zur Anpassung der Ausgangsimpedanz der Röhre an die Antennenimpedanz.

„**Abstimmen**“

TD401 In welcher der folgenden Zeilen werden nur Verstärker-Bauelemente genannt?

A Transistor, MOSFET, Operationsverstärker, Röhre

B Transistor, Halbleiterdiode, Operationsverstärker, Röhre

C Transistor, Varicap-Diode, Operationsverstärker, Röhre

D Transistor, MOSFET, Halbleiterdiode, Röhre

TD402 Was versteht man in der Elektronik unter Verstärkung? Man spricht von Verstärkung, wenn

A das Ausgangssignal gegenüber dem Eingangssignal in der Leistung größer ist.

B das Eingangssignal gegenüber dem Ausgangssignal in der Leistung größer ist.

C z.B. bei einem Transformator die Ausgangsspannung größer ist als die Eingangsspannung.

D das Eingangssignal gegenüber dem Ausgangssignal in der Spannung größer ist.

TD403 Was ist ein Operationsverstärker?

A Operationsverstärker sind Gleichstrom gekoppelte Verstärker mit sehr hohem Verstärkungsfaktor und großer Linearität.

B Operationsverstärker sind Wechselstrom gekoppelte Verstärker mit niedrigem Eingangswiderstand und großer Linearität.

C Operationsverstärker sind in Empfängerstufen eingebaute Analogverstärker mit sehr niedrigem Verstärkungsfaktor aber großer Linearität.

D Operationsverstärker sind digitale Schaltkreise mit hohem Verstärkungsfaktor.

TD404 Ein IC (integrated circuit) ist

A eine komplexe Schaltung auf einem Halbleiterkristallplättchen.

B eine aus vielen einzelnen Bauteilen aufgebaute Schaltung auf einer Platine.

C eine miniaturisierte, aus SMD-Bauteilen aufgebaute Schaltung.

D eine Zusammenschaltung verschiedener Baugruppen zu einer Funktionseinheit.

TD405 Worauf beruht die Verstärkerwirkung von Elektronenröhren?

A Das von der Gitterspannung hervorgerufene elektrische Feld steuert den Anodenstrom.

B Die Anodenspannung steuert das magnetische Feld an der Anode und damit den Anodenstrom.

C Die Heizspannung steuert das elektrische Feld an der Kathode und damit den Anodenstrom.

D Die Kathodenvorspannung steuert das magnetische Feld an der Kathode und damit den Gitterstrom.

Es gibt Bausteine mit unterschiedlichen Logikfunktionen (=Gatter). Die gebräuchlichsten sind:

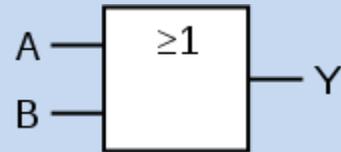
UND



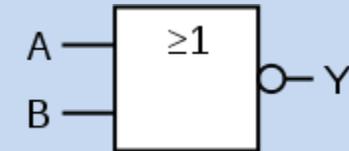
NAND (nicht und)



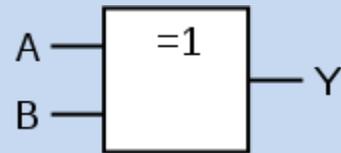
ODER



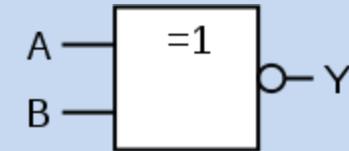
NOR (nicht oder)



X-ODER (exklusiv oder)



NXOR (nicht x-oder)

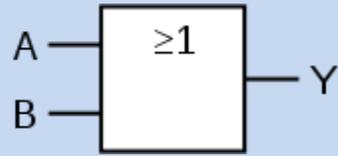


NICHT

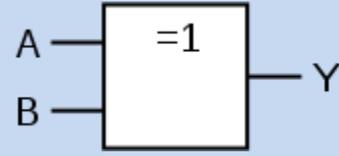




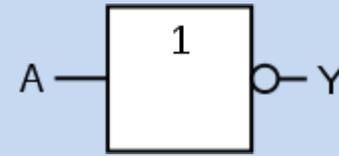
A	B	Y
0	1	0
0	0	0
1	1	1
1	0	0



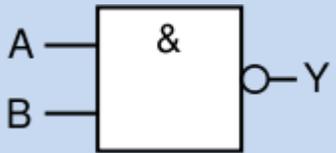
A	B	Y
0	1	1
0	0	0
1	1	1
1	0	1



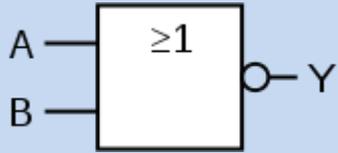
A	B	Y
0	1	1
0	0	0
1	1	0
1	0	1



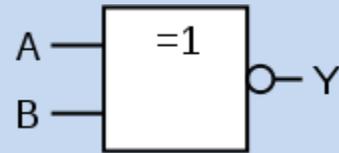
A	Y
0	1
1	0



A	B	Y
0	1	1
0	0	1
1	1	0
1	0	1



A	B	Y
0	1	0
0	0	1
1	1	0
1	0	0



A	B	Y
0	1	0
0	0	1
1	1	1
1	0	0

Die **Driftgeschwindigkeit** der Elektronen ist abhängig vom Leiterwerkstoff, von seinem Querschnitt, von der Stromstärke und der Temperatur. Mit steigender Temperatur nimmt die **Brownsche Molekularbewegung** zu und verkürzt die **mittlere freie Weglänge** der Elektronen.

Sie geraten öfter in die abstoßenden elektrischen Felder benachbarter Elektronen, wodurch ihre relative Geschwindigkeit abnimmt.

Es soll die mittlere Driftgeschwindigkeit der Elektronen im Kupferdraht berechnet werden.
Der Draht hat einen Querschnitt von 1 mm^2 . Der Strom beträgt 1 A .

Die Elektronen bewegen sich in diesem Beispiel nur sehr langsam mit $v = 0,074 \text{ mm / s}$ durch den Leiter.

Für die Strecke von Amberg nach Sulzbach würde Elektronen in diesem Beispiel $16 \cdot 10^9 \text{ s}$ brauchen. Ca. 188 Tage.

Wenn die mittlere freie Weglänge in der Sonne ca. 1 mm beträgt, wird es mehr als eine halbe Million Jahre dauern, bis ein Photon der Sonne entkommt. Wenn die freie Weglänge ca. 1 cm beträgt, dann dauert es ungefähr 5.000 Jahre, bis das Photon aus der Sonne kommt. (Sonnenradius ca. 700.000 km – Erde ca. 6.370 km)

Quelle: <https://www.elektroniktutor.de/elektrophysik/strom.html>

Leiter, Nichtleiter, Isolator

Halbleitermaterial

PN-Übergang

Diode, Typen und Kennlinien

Silizium, Germanium, Schottky-Diode

Kapazitätsdiode, Z-Diode, Fotodiode, LED

Anwendung , Schaltungen

Gleichrichter, Spannungsbegrenzung

Transistoren, Typen und Kennlinien

bipolare Transistor, Feldeffekt-Transistor

Verstärker

Transistorverstärker

Basisvorspannungsteiler, Arbeitspunkt

Operationsverstärker

Die Elektronenröhre

Integrierte Schaltungen

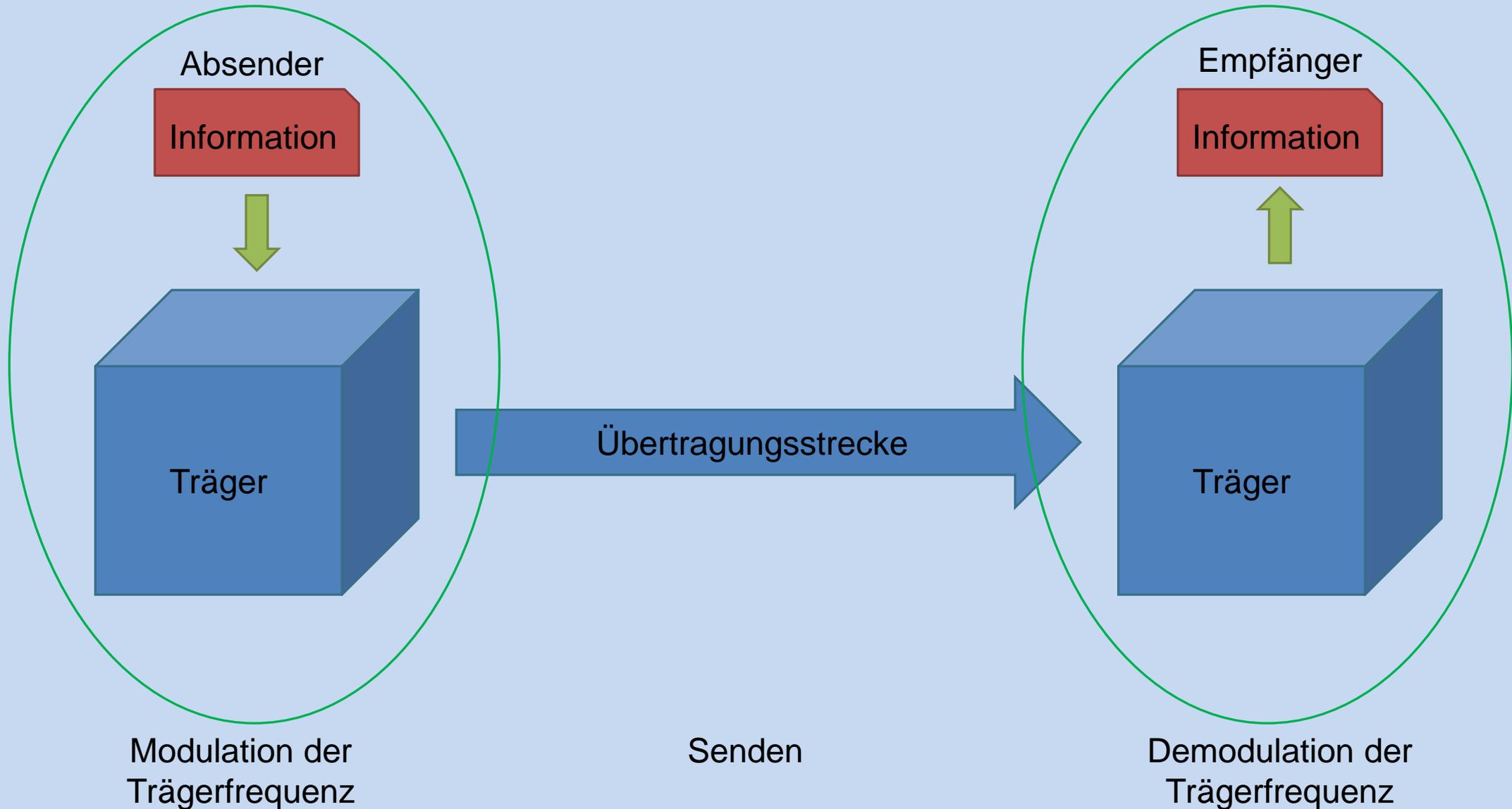
Oszillator

Rückkopplung

Oszillatortypen

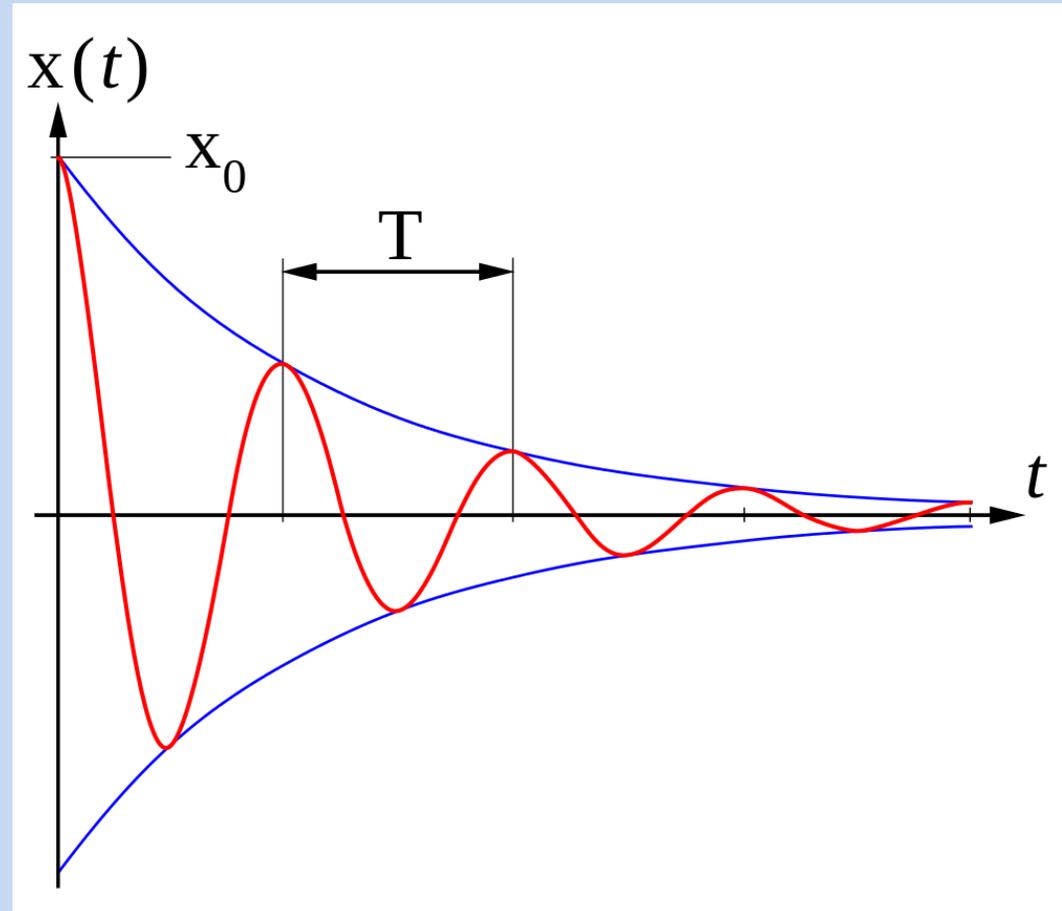
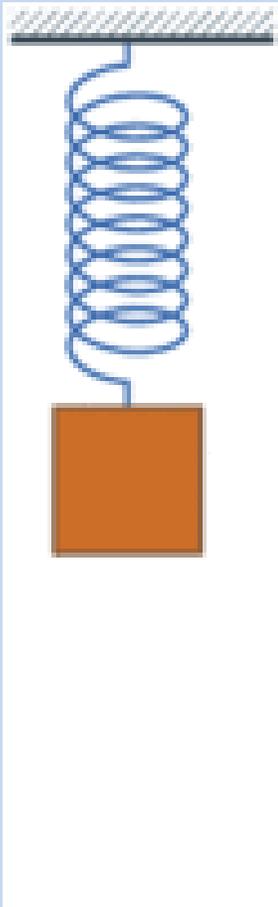
LC-Oszillator, Quarzoszillator, PLL Oszillator,

VCO



Oszillator: Gedämpfte Schwingung (oscillare = schaukeln)

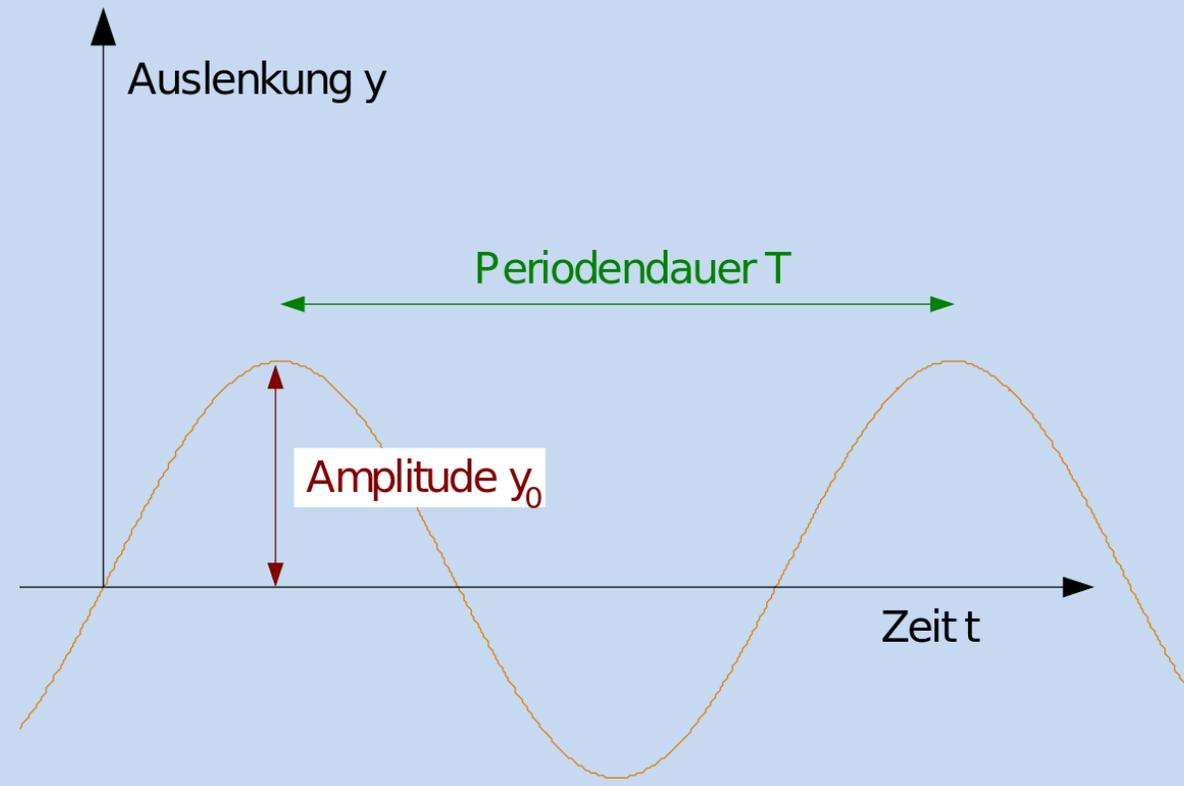
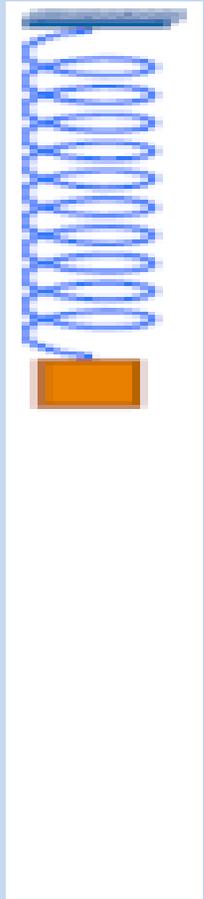
Schwingungen kommen, sofern ihnen nicht regelmäßig Energie zugeführt wird, nach einer gewissen Zeit zum Erliegen.
Einen Vorgang, bei denen die Amplitude stetig abnimmt, bezeichnet man als **gedämpfte Schwingung**.



https://de.wikipedia.org/wiki/Schwingung#Linear_ged%C3%A4mpfte_Schwingung

Oszillator: Ungedämpfte Schwingung

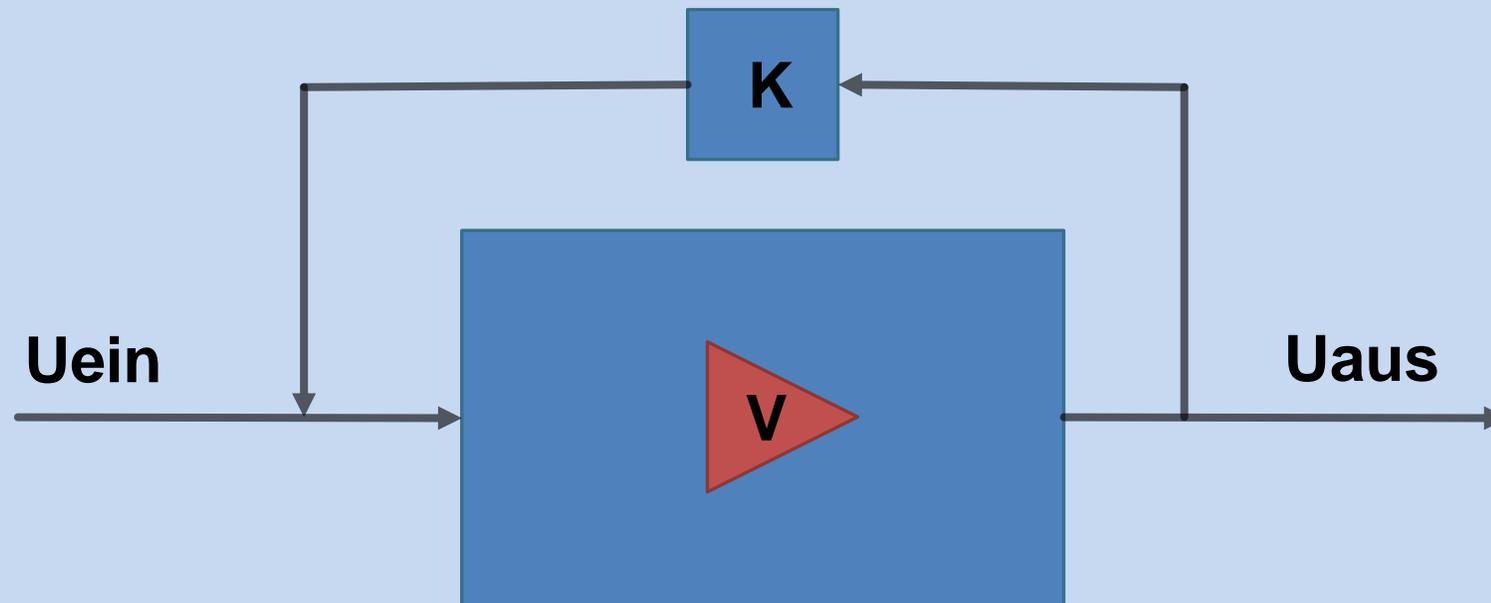
Als **harmonisch** wird eine Schwingung bezeichnet, deren Verlauf durch eine **Sinusfunktion** beschrieben werden kann.
Bei einer **ungedämpften Schwingung** setzt sich der Verlauf beliebig lange fort.



https://de.wikipedia.org/wiki/Schwingung#Linear_ged%C3%A4mpfte_Schwingung

Oszillator: Rückkopplung

Zur **Frequenzerzeugung** (= ungedämpfte Schwingung) werden **Oszillatoren** eingesetzt. Sie bestehen aus einem schwingfähigen System (z.B. LC-Kreis), das in den **Rückkopplungszweig** (hier: Mittkopplung) eines **Verstärkers** eingebaut ist.

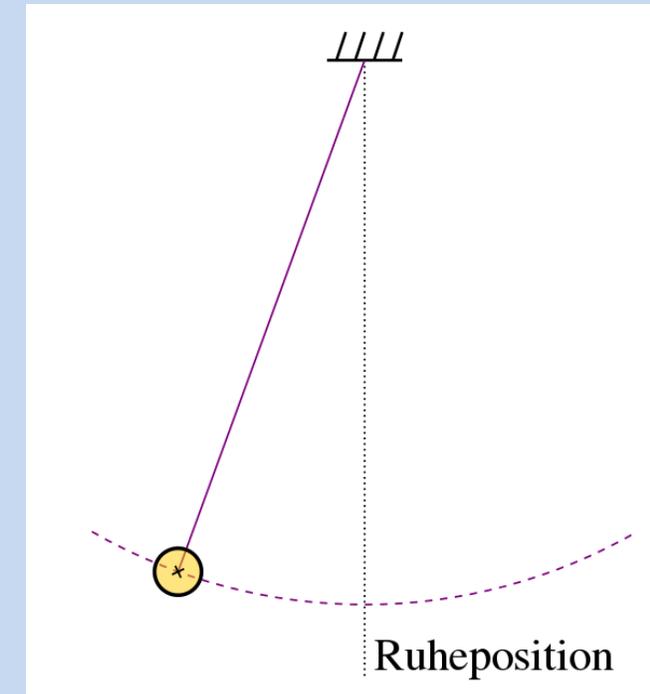


Schwingbedingung: $K * v = 1;$

$v = \text{Verstärkung};$

Anschwingbedingung: $K * v > 1;$

$K = \text{Rückkopplungsfaktor}$

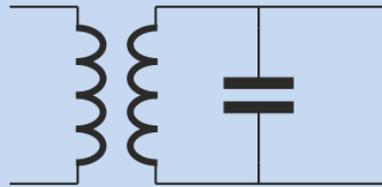


Grafik: <http://de.wikipedia.org/wiki/Pendel>

Grundsaltungen von LC-Oszillatoren

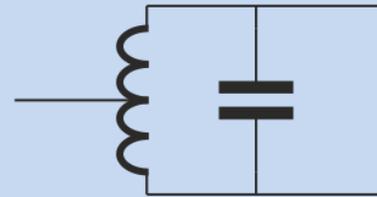
Es gibt drei unterschiedliche Arten von LC Oszillatoren. Sie sind nach ihren Erfindern benannt worden.

Meissner



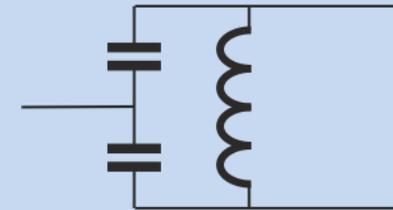
Induktive Rückkopplung
über einen Übertrager
„**Transformator**“

Hartley



Induktive Rückkopplung über die
Anzapfung an der Spule
induktive Dreipunktschaltung

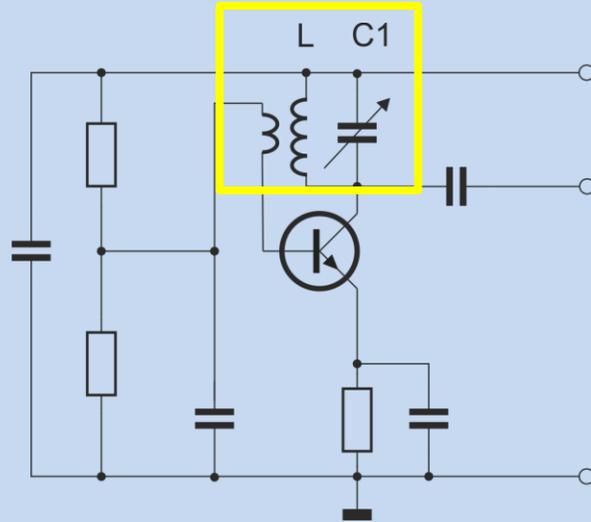
Colpitts



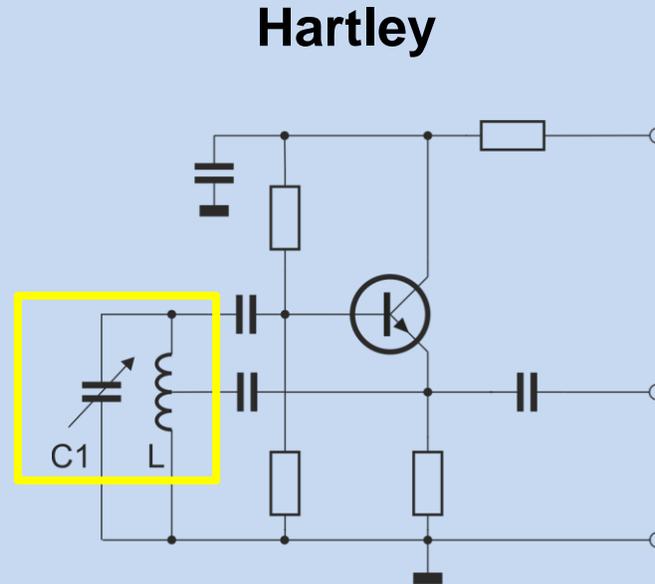
Kapazitive Rückkopplung
kapazitive Dreipunktschaltung

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

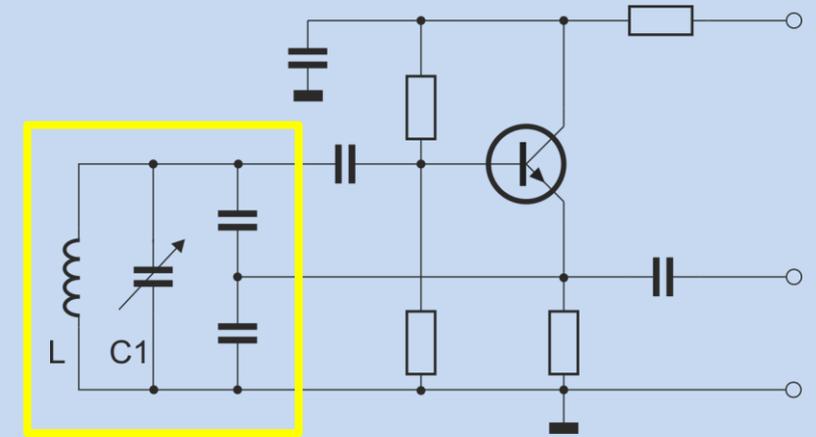
Schaltungsbeispiele von LC-Oszillatoren



Meissner



Hartley

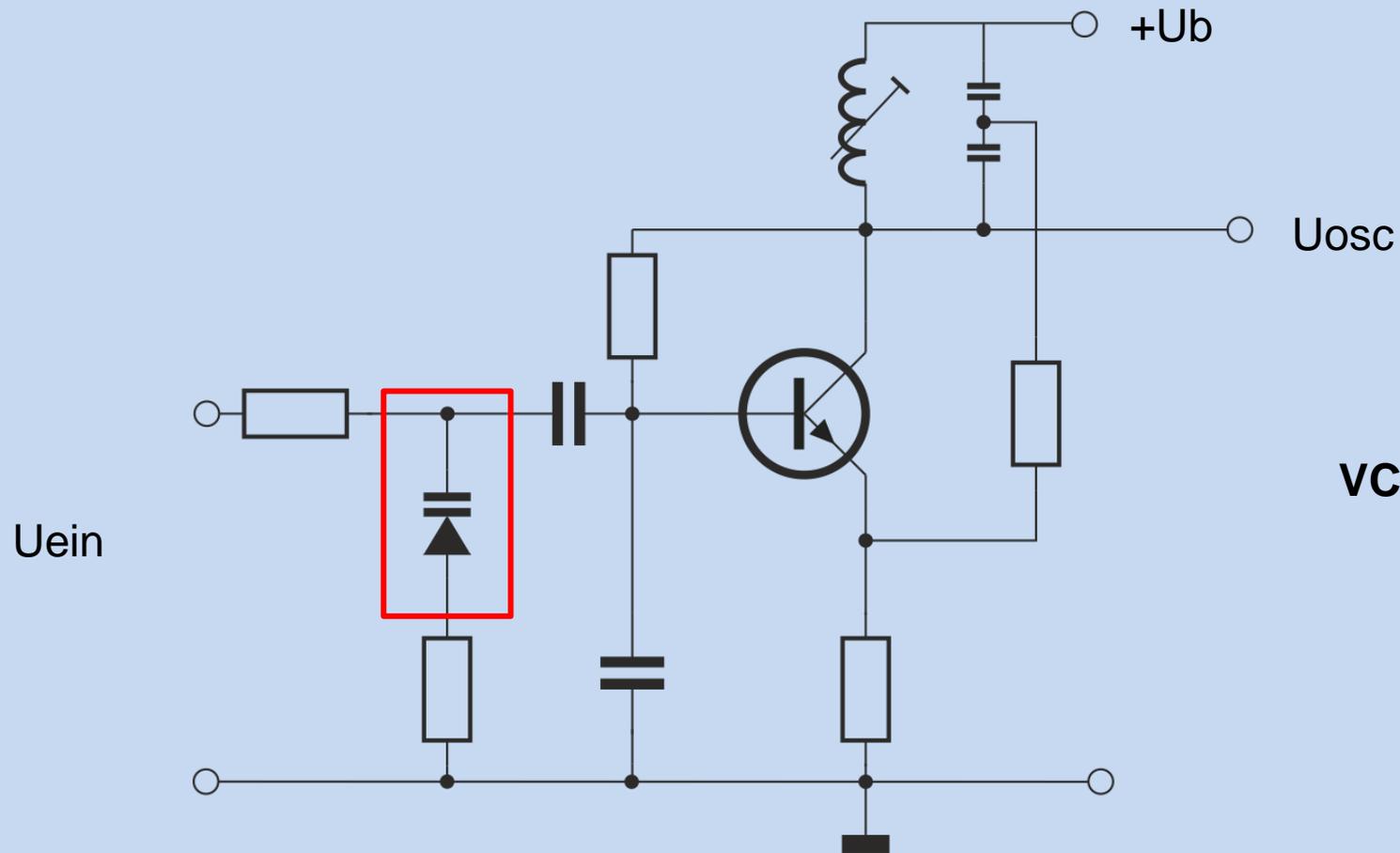


Colpitts

Die **Frequenzgenauigkeit** und **Frequenzstabilität** ist von der **Güte der Spule** und des **Kondensators** abhängig. Außerdem sind diese Schaltungen sehr abhängig von der **Umgebungstemperatur** und dem **mechanischen Aufbau** der Geräte.

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

VCO (voltage controlled oscillator = spannungsgesteuerter Oszillator)

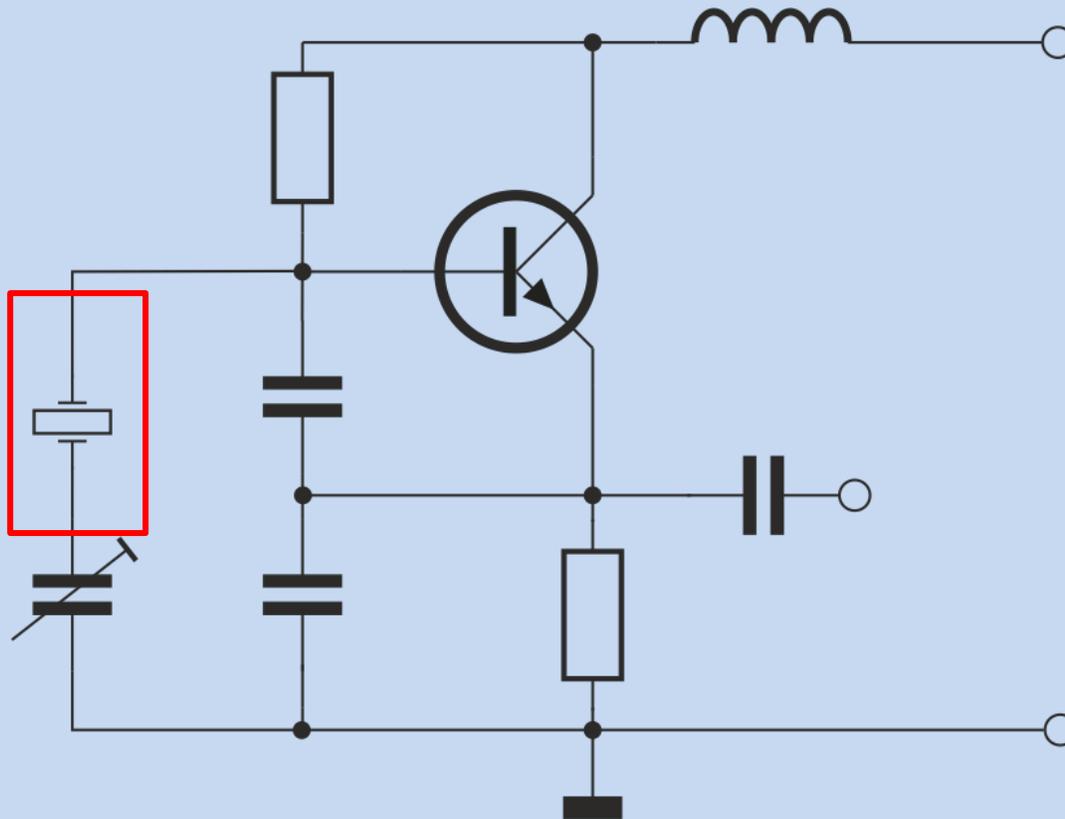


$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

VCO für sinusförmige Signale.

Die Frequenzvariation erfolgt mittels einer **Kapazitätsdiode**. (Varaktor/Varicap)

Das schwingfähige System besteht aus einem Quarz oder einer speziellen Keramik die den **piezo-elektrischen Effekt** zeigen.



Diese **Oszillatoren** schwingen sehr genau auf einer Frequenz und sind **sehr temperaturstabil**.

Der Nachteil ist, dass zum Frequenzwechsel der Quarz getauscht oder umgeschaltet werden muss.

Aus diesem Grund werden sie meistens in komplexeren Oszillatorschaltungen als „**Normale**“ verwendet. z.B. im PLL Oscillator

PLL Oszillator (Phasenregelschleife)

Eine **PLL** (phase-locked loop) ist eine Schaltung, die die Frequenz eines veränderbaren Oszillators (**VCO**) über einen geschlossenen Regelkreis so beeinflusst, dass die Phasenabweichung zwischen dem Ausgangssignal und dem Oszillator möglichst **konstant** ist.

Vorteil:

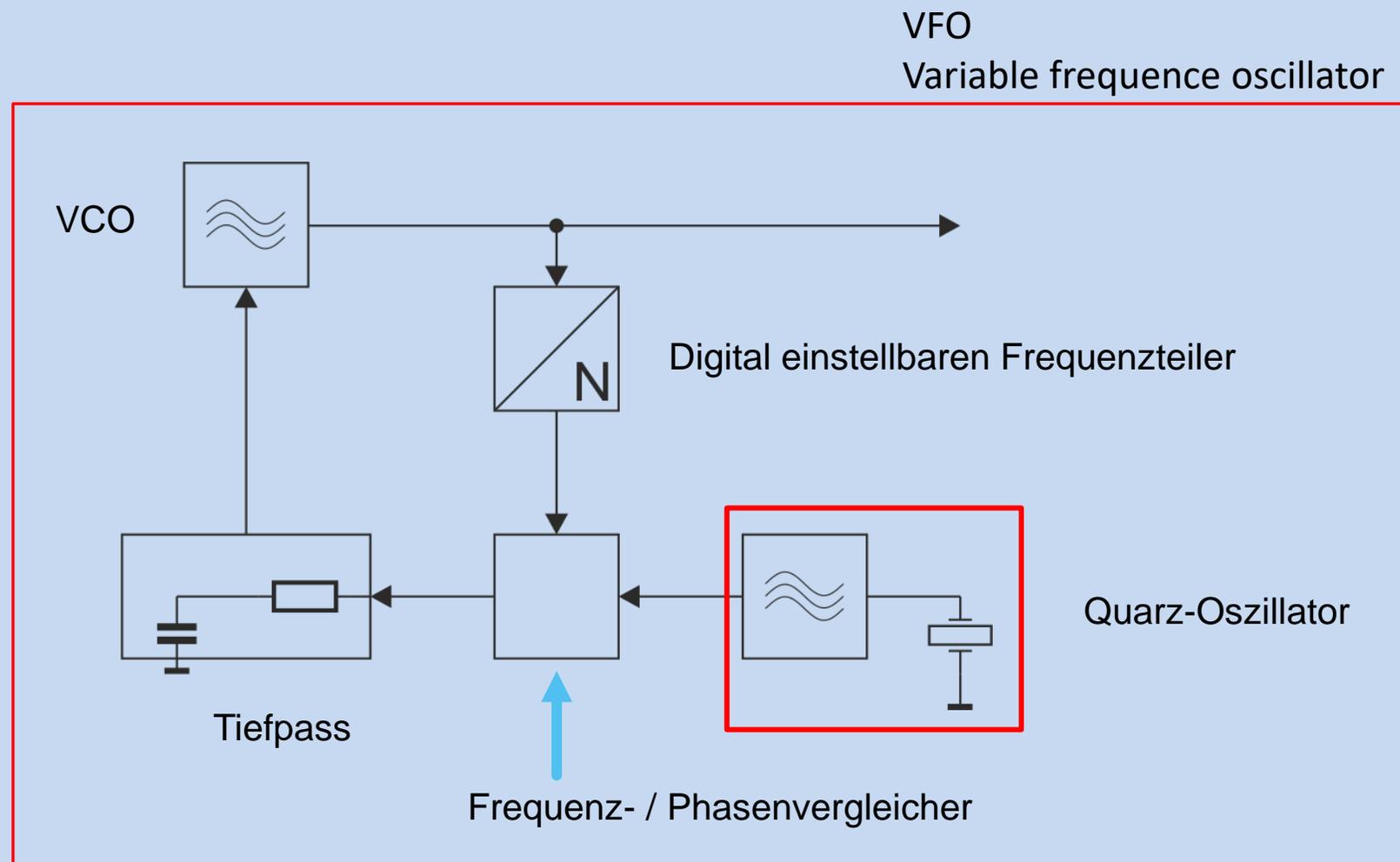
Die Frequenz kann in Stufen variiert werden.

Das Teilverhältnis kann digital eingestellt werden.

Nachteil:

Das Phasenrauschen verringert die Empfängerempfindlichkeit.

Relativ hoher Schaltungsaufwand.



Frequenzstabilität von Oszillatoren

Mit folgenden Maßnahmen kann man die Frequenzstabilität eines Oszillators verbessern:

- **Stabilisierung der Betriebsspannung** und der Arbeitspunkte von Transistoren und Röhren.
- **Mechanisch stabiler** Aufbau
- **Hohe Kreisgüten**
- **Lose Ankopplung** von Verstärkerelementen an den Schwingkreis. (geringe Rückwirkungen)
- **Kompensation der Frequenzdrift** durch die Wahl von Bauteilen mit entsprechenden Temperaturkoeffizienten.
- Einsatz von **Quarzen** z.B. auch in **Thermostaten**.

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TD601 Was verstehen Sie unter einem „Oszillator“?

A Es ist ein Schwingungserzeuger.

B Es ist ein sehr schmales Filter.

C Es ist ein Messgerät zur Anzeige von Schwingungen.

D Es ist ein FM-Modulator.

TD602 Was ist ein LC-Oszillator? Es ist ein Schwingungserzeuger, wobei die Frequenz

A von einer Spule und einem Kondensator (LC Schwingkreis) bestimmt wird.

B durch einen hochstabilen Quarz bestimmt wird.

C mittels LC-Tiefpass gefiltert wird.

D mittels LC-Hochpass gefiltert wird.

TD603 Was ist ein Quarz-Oszillator? Es ist ein Schwingungserzeuger, wobei die Frequenz

A durch einen hochstabilen Quarz bestimmt wird.

B allein durch einen Quarz erzeugt wird.

C mittels Quarz-Tiefpass gefiltert wird.

D mittels Quarz-Hochpass gefiltert wird.

TD604 Wie verhält sich die Frequenz eines LC Oszillators bei Temperaturanstieg, wenn die Kapazität des Schwingkreiskondensators mit dem Temperaturanstieg geringer wird?

A Die Frequenz wird erhöht.

C Die Frequenz wird niedriger.

B Die Schwingungen reißen ab (Aussetzer).

D Die Frequenz bleibt stabil.

TD605 Im VFO eines Senders steigt die Induktivität der Oszillatorspule mit der Temperatur. Der Kondensator bleibt sehr stabil. Welche Auswirkungen hat dies bei steigender Temperatur?

A Die VFO-Frequenz wandert nach unten.

C Die VFO-Ausgangsspannung nimmt zu.

B Die VFO-Frequenz wandert nach oben.

D Die VFO-Ausgangsspannung nimmt ab.

TD606 Der Vorteil von Quarzoszillatoren gegenüber LC-Oszillatoren liegt darin, dass sie

A eine bessere Frequenzstabilität aufweisen.

C einen geringeren Anteil an Oberwellen erzeugen.

B eine breitere Resonanzkurve haben.

D ein sehr viel geringes Seitenbandrauschen erzeugen.

Kennzeichnung der Sendarten

Modulation

CW Modulation

Amplitudenmodulation

Modulationsgrad, Leistung bei AM

SSB Modulation

*Trägerunterdrückung, Ringmodulator,
Vergleich AM - SSB*

Frequenzmodulation

Erzeugung von FM

Demodulation

CW-Demodulation

AM-Demodulation

Der Audion-Demodulator

SSB Demodulation

*Demodulation von SSB
Der Produktdetektor*

FM Demodulation

FM-Demodulator, FM-Demodulator mit PLL

In der Sende- und Empfangstechnik(= Nachrichtentechnik) hat man folgendes Problem:

Information (Sprache, Zeichen) soll drahtlos übertragen werden.

Dazu verwendet man allgemein ein Trägerfrequenz-Verfahren.

Die Information wird einem hochfrequenten Träger (HF) überlagert. (= moduliert)

Der **Träger** wird auf eine bestimmte Art und Weise **moduliert**.

Im Amateurfunk sind unter anderem folgende Modulationsarten gebräuchlich:

A1A	CW	Telegrafie; „Morsen“
A3E	AM	Amplituden Modulation
J3E	SSB	Einseitenband Modulation
C3F	ATV	Amateur Fernsehen
F1B	RTTY	Funkferschreiben
F3E	FM	Frequenz Modulation

Weitere gebräuchliche Übertragungsformate / Modulationsarten sind:

SSTV, FAX, Packet Radio, APRS, PSK31, AMTOR und PACTOR

Kennzeichnung der Modulationsarten

Die Funkübertragungen werden mit einem neunstelligen Code gekennzeichnet. Die ersten **4 Stellen** kennzeichnen die **Bandbreite**, die nächsten 3 Stellen kennzeichnen die Sendart und es gibt noch zwei Stellen für Signaleinheiten. Es reicht, wenn man für die Sendart die drei grundlegenden Kennzeichen angibt.

Modulationsart

N unmodulierter Träger
A Zweiseitenband-AM
 C Restseitenband
F Frequenzmodulation
 J SSB
 P Pulsmodulation

A1A = CW

Signalart der Modulation

0 kein moduliertes Signal
1 Ein Kanal mit quantisierter oder digitaler Information ohne moduliertem Hilfsträger
 2 Ein Kanal mit quantisierter oder digitaler Information mit moduliertem Hilfsträger
3 Ein Kanal mit analoger Information

Übertragene Information

N keine Information
A Morsetelegrafie CW
 B Funkfern schreiben RTTY
 C FAX
 J Datenübertragung, Fernsteuerung
E Sprechfunk
 F Fernsehen, Video

F3E = FM

Kennzeichnung der Sendarten

Modulation

CW Modulation

Amplitudenmodulation

Modulationsgrad, Leistung bei AM

SSB Modulation

*Trägerunterdrückung, Ringmodulator,
Vergleich AM - SSB*

Frequenzmodulation

Erzeugung von FM

Demodulation

CW-Demodulation

AM-Demodulation

Der Audion-Demodulator

SSB Demodulation

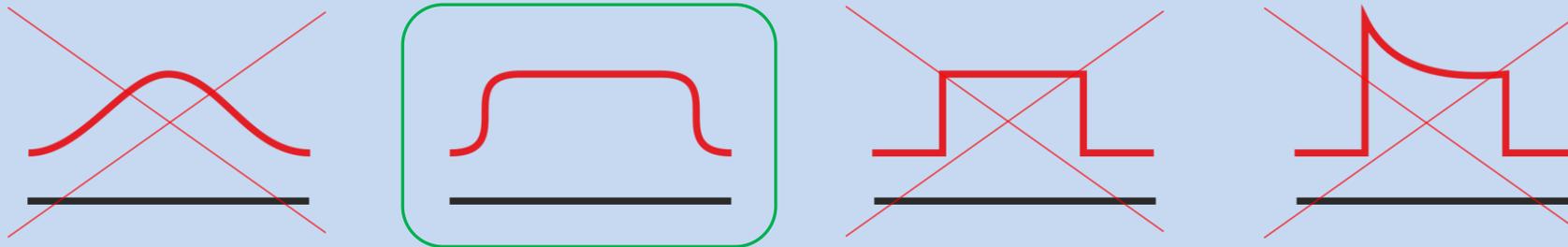
*Demodulation von SSB
Der Produktdetektor*

FM Demodulation

FM-Demodulator, FM-Demodulator mit PLL

Telegrafie CW (A1A, continuous wave)

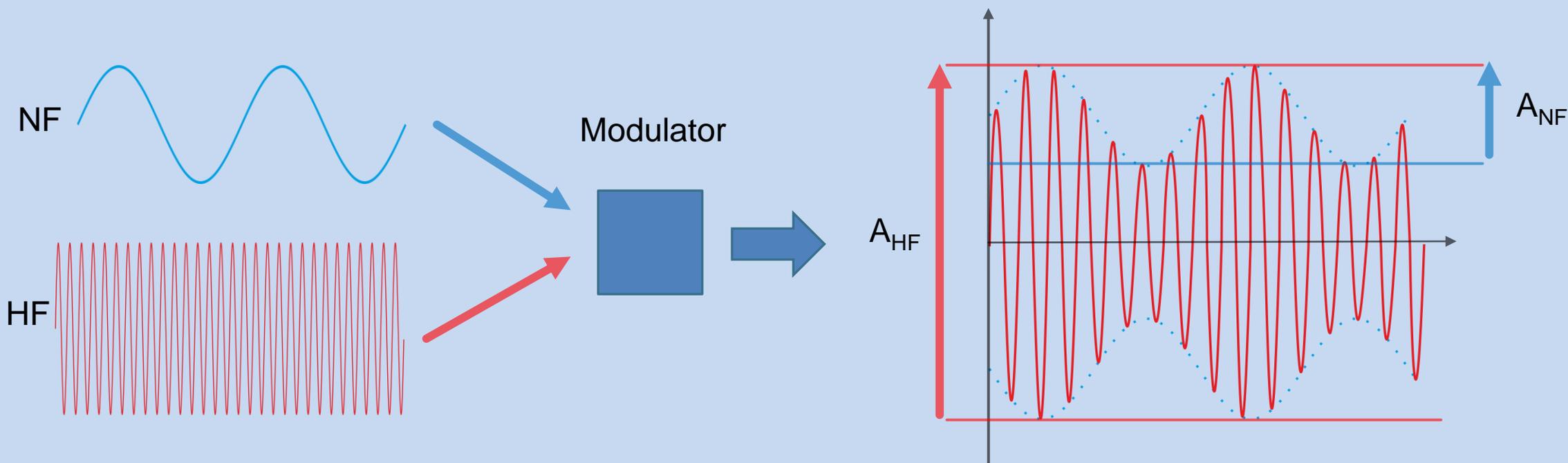
Strenggenommen handelt es sich bei CW um eine digitale Modulationsart, da nur der **Träger getastet** wird d.h. die HF wird ein- und ausgeschaltet. Dadurch entstehen Frequenzpakete, die die Länge der getasteten Zeichen haben. Von der Art der Tastung hängt auch die **Bandbreite** der Aussendung ab.



Am günstigsten ist es, wenn man den Sender „**weich**“ tastet. **Weiches Tasten**, also eine Tastung mit abgerundeten Zeichenflanken, bewirken eine **Reduzierung** der belegten Bandbreite und vermeiden Störungen. Bei **harter Tastung** bewirkt das steil-flankiges Signal eine erheblich größere **Nebenwellenausstrahlung**. Außerdem ist die belegte Bandbreite größer. Zu weiches Tasten führt zum „Verschmieren“ der Zeichen. Dadurch verringert sich die Lesbarkeit der Zeichen.

Amplitudenmodulation AM (A3E)

Hier steckt die Information in der Amplitude **der Hochfrequenz (= HF = Träger)**. Die **Höhe der Spannung der HF ändert sich im Rhythmus der Sprache**. Bei der AM findet man die Information wieder als Einhüllende des Trägers. Die Höhe der Amplitude ist ein Maß für die Lautstärke des moduliertem Signals.



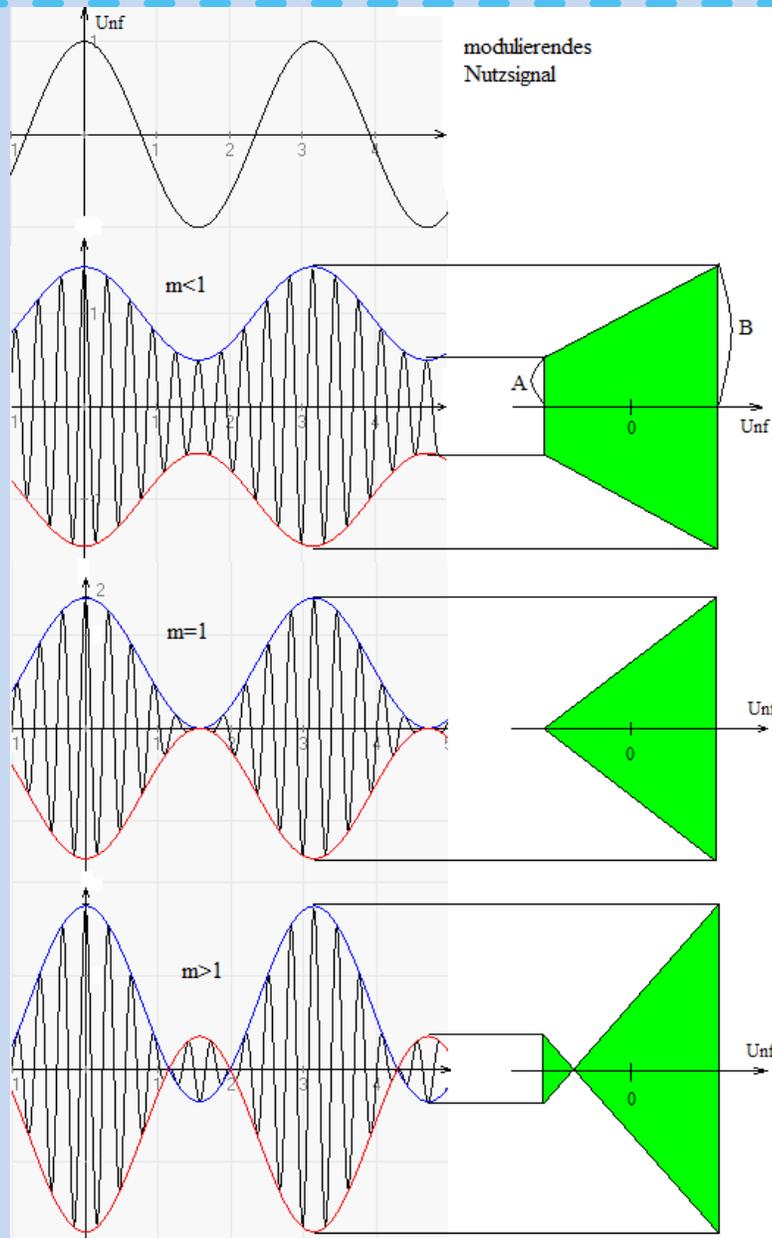
$NF = \text{Modulationssignal, Sprache u. s. w.}$

$HF = \text{Träger}$

$A_{HF} = \text{Stärke/Energie der Trägerwelle}$

$A_{NF} = \text{Lautstärke des NF Signals}$

AM: Modulationsgrad



Modulationsgrad $m = \frac{B-A}{B+A}$;

Modulationsgrad $m = 50\%$;

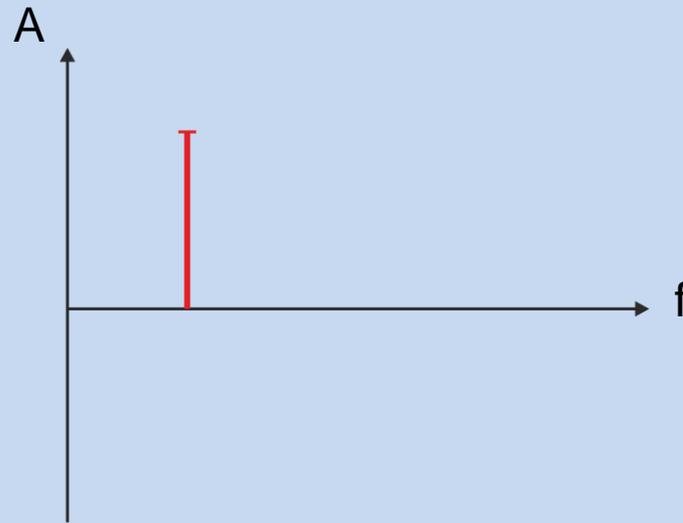
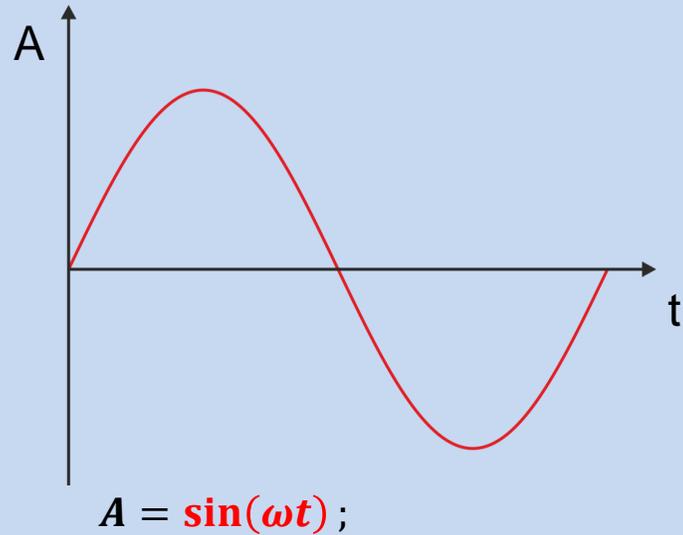
Modulationsgrad $m = 100\%$;

Übermodulation bei $m > 1$ ($> 100\%$);

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Amplitudenmodulation>

Wellen: Von der Zeit zur Frequenz

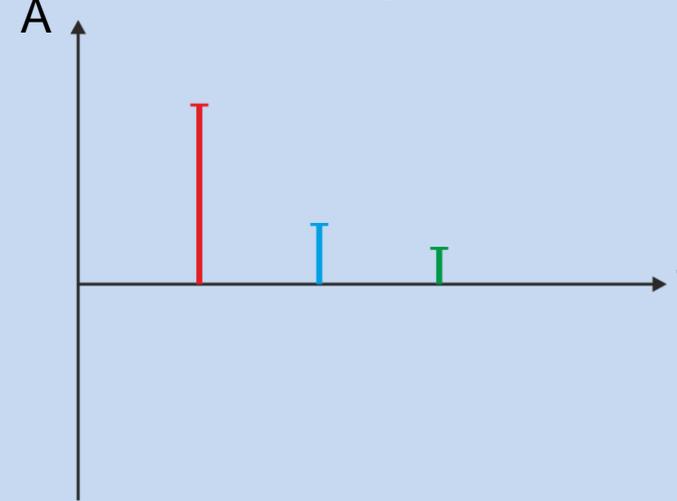
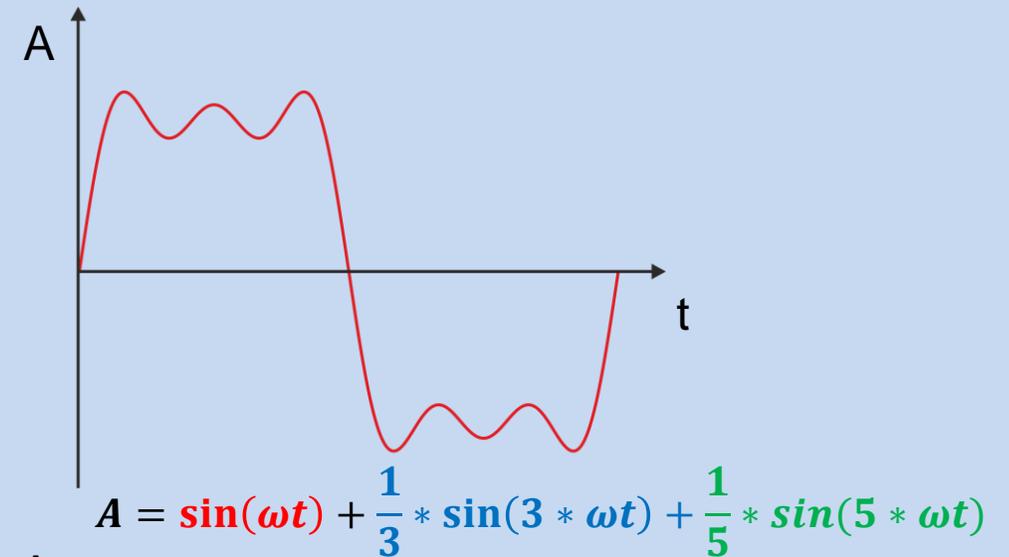
Wegen den von **Fourier** entdeckten Zusammenhängen kann die Darstellung von Wellenformen stark vereinfacht werden. Die die **Grundform** jeder Wellenform eine **Sinuswelle** ist, braucht sie nicht mehr „gezeichnet“ werden.



Zeitbereich



Frequenzbereich
Spektrum

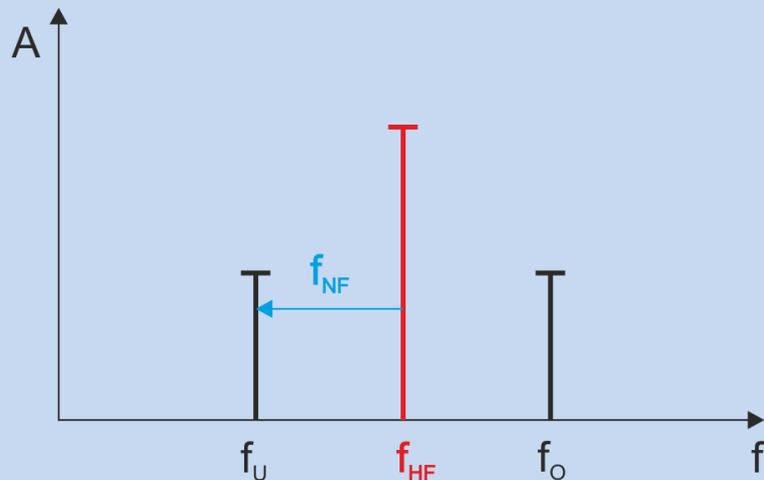


AM: Seitenbänder

Moduliert man einen **Träger** (f_{HF}) mit dem **Signal** (f_{NF}), so entstehen zusätzlich zur Trägerfrequenz noch **zwei andere Frequenzen**. Eine liegt oberhalb des Trägers (f_U) und eine liegt unterhalb des Trägers. (f_O)

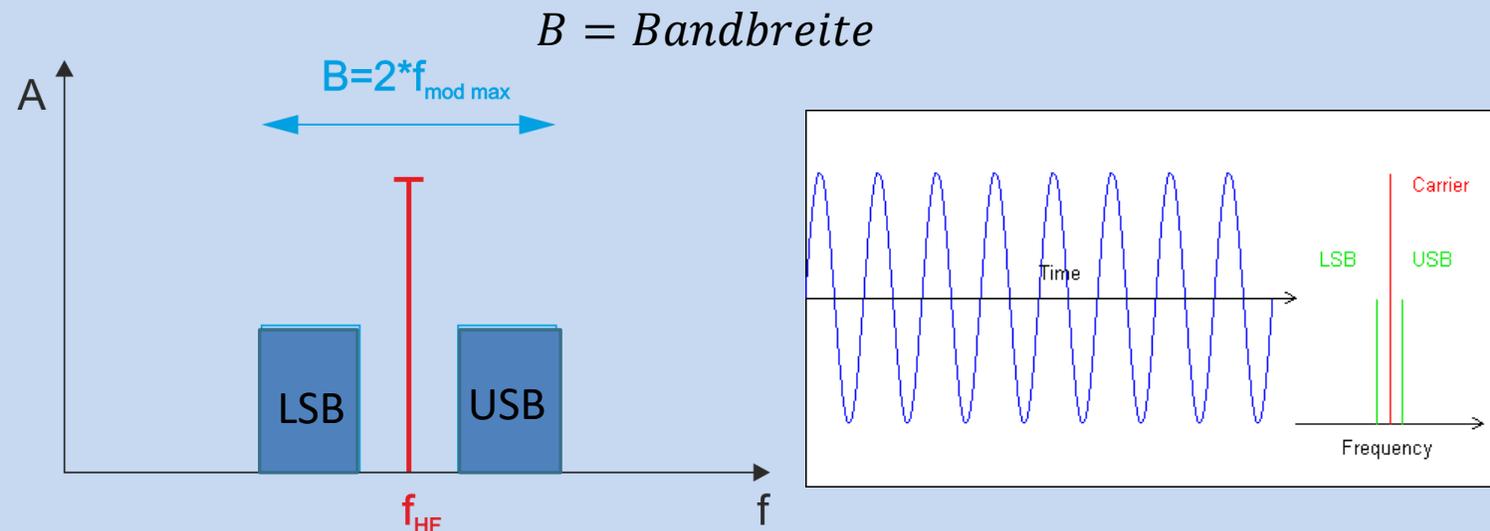
$$f_U = f_{HF} + f_{NF};$$

$$f_O = f_{HF} - f_{NF};$$



Die Information steckt in jedem der beiden Seitenbänder. Sie wird somit 2x übertragen.

Moduliert man einen Träger mit einem Frequenzgemisch z.B. Sprache, so entstehen **zwei Seitenbänder**. In jedem steckt die komplette Information, die man übertragen möchte. Die **Amplitude** der Seitenbänder entspricht dabei der Amplitude des niederfrequenten Modulationssignals und der **Abstand der Seitenbänder** von der Trägerfrequenz wird durch die **Modulationsfrequenz** bestimmt.



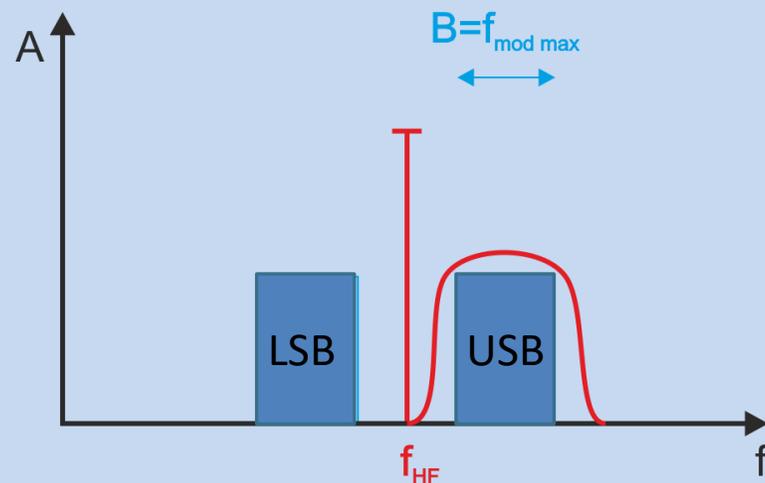
Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Amplitudenmodulation>

Einseitenbandmodulation SSB (J3E)

Wie schon erwähnt, steckt in einem AM Signal die Information 2 mal. Diese **doppelte Übertragung** kostet aber Bandbreite und Leistung. Aus diesem Grund ging man dazu über, nur ein Seitenband ohne Träger zu übertragen.

SSB hat folgende Vorteile:

- Die **Bandbreite** von SSB ist etwa **halb so groß** wie bei AM.
- Die **Energie** des ausgestrahlten Seitenband ist **4 mal so groß** wie die Energie des AM Signals.
- **Überlagerungspfeifen** auf benachbarten Frequenzen entfällt.
- **Störungen** verringern sich.
- Es können **mehr Stationen** auf den Frequenzen arbeiten.



LSB = lower side band = unteres Seitenband

USB = upper side band = oberes Seitenband

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TE101 Wie unterscheidet sich SSB (J3E) von AM (A3E) in Bezug auf die Bandbreite?

A Die Sendart J3E beansprucht weniger als die halbe Bandbreite der Sendart A3E.

B Die Sendart J3E beansprucht etwas mehr als die halbe Bandbreite der Sendart A3E.

C Die Sendart J3E beansprucht etwa 1/4 Bandbreite der Sendart A3E.

D Die unterschiedlichen Modulationsarten lassen keinen Vergleich zu, da sie grundverschieden erzeugt werden.

TE102 Welches der nachfolgenden Modulationsverfahren hat die geringste Störanfälligkeit bei Funkanlagen in Kraftfahrzeugen?

A FM

B SSB

C DSB

D AM

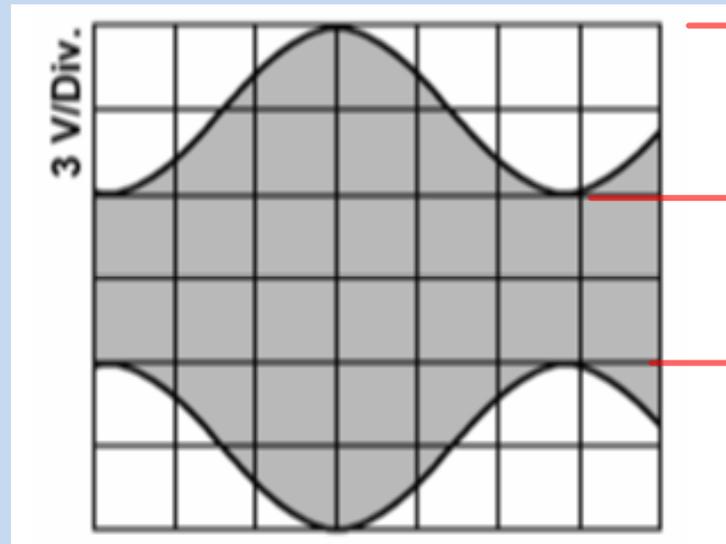
TE103 Das folgende Oszillogramm zeigt ein AM Signal. Der Modulationsgrad beträgt hier ca.

A 50 %.

B 33 %.

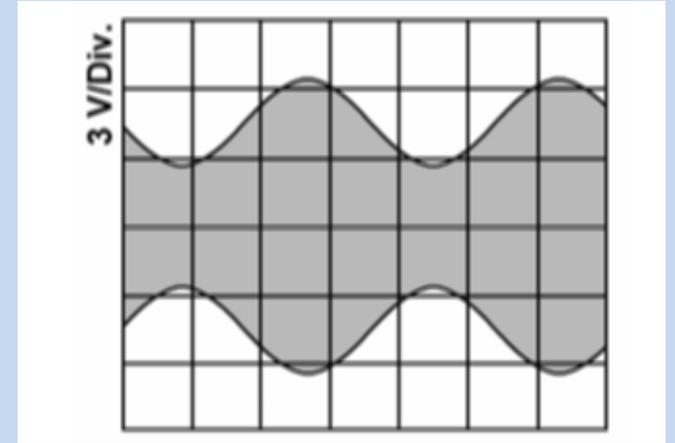
C 67 %.

D 75 %.



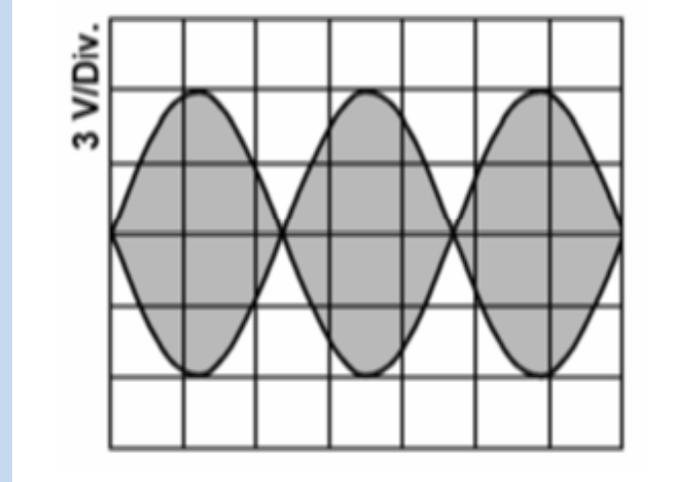
TE104 Das folgende Oszillogramm zeigt ein AM Signal. Der Modulationsgrad beträgt hier ca.

- A 45 %.
- B 55 %.
- C 30 %.
- D 75 %.



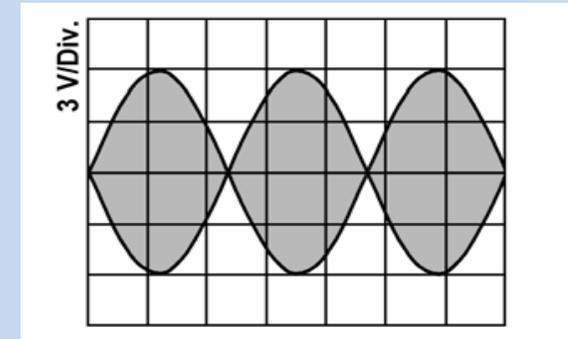
TE105 Das folgende Oszillogramm zeigt

- A ein typisches Zweiton-SSB-Testsignal.
- B ein typisches Einton-FM-Testsignal.
- C ein typisches 100%-AM-Signal.
- D ein typisches CW-Signal.



TE106 Das folgende Oszillogramm zeigt ein typisches Zweiton-SSB-Testsignal. Bestimmen Sie den Modulationsgrad!

- A Man kann keinen Modulationsgrad bestimmen, da es keinen Träger gibt.
- B Er beträgt 100 %.
- C Er beträgt 0 %.
- D Er beträgt ca. 50 %.



Frequenzmodulation FM (F3E)

Bei FM steckt die **Information** nicht in der Amplitude des Trägers (HF), sondern in der **Frequenz**.

Die Frequenz verschiebt sich im **Rhythmus der Modulation**.

Die Schnelligkeit der Frequenzänderung ist ein Maß für die Modulationsfrequenz f_s .

Die Größe der **Frequenzauslenkung (=Hub)** ist ein Maß für die Lautstärke des modulierten Signals.

Die Bandbreite ist somit von der Modulationsfrequenz und dem Hub abhängig.

$$B = 2 * (f_s + \Delta f_T);$$

$\eta = \text{Modulationsindex};$

$$B = 2 * f_s * (\eta + 1);$$

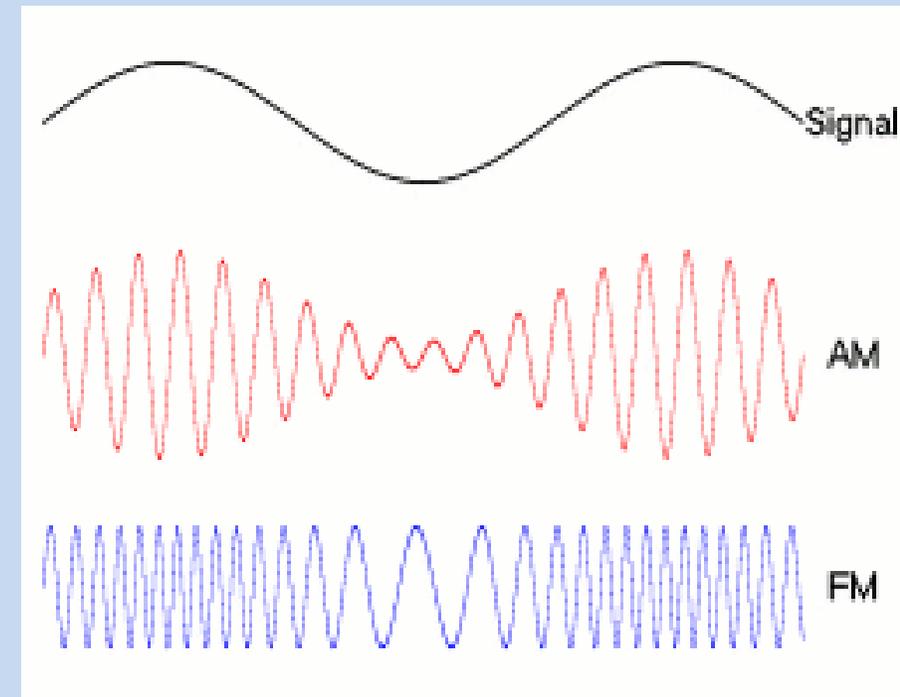
$\Delta f_T = \text{Hub} = \text{Lautstärke der NF};$

$$\eta = \frac{\Delta f_T}{f_s};$$

Da bei FM die **Amplitude keine Rolle** spielt, sind FM Übertragungen sehr **störungsfrei**.

FM beansprucht **mehr Bandbreite** als CW, AM oder SSB.

Ein weiterer Nachteil ist, das ständig der **Träger mit voller Leistung** ausgestrahlt werden muss.



Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Amplitudenmodulation>

Frequenzmodulation – Phasenmodulation ?

Analoge **Phasenmodulation** und **Frequenzmodulation** sind eng miteinander verwandt.

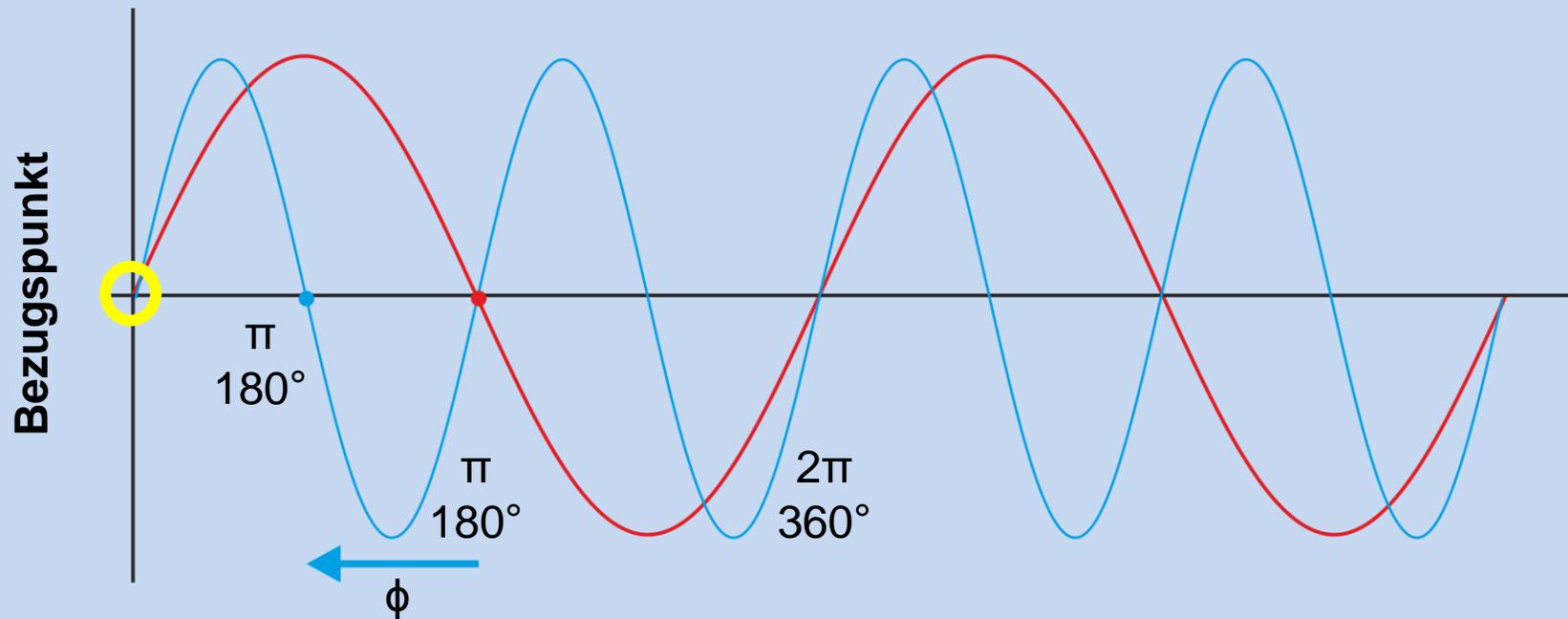
Bei Sprachübertragung kann man den Unterschied nicht erkennen.

Zur Demodulation muss der Empfänger die **exakte Phasenlage** des **ursprünglichen Sendesignals** wissen. Das ist bei analoger Übermittlung sehr aufwendig. (Synchronisation notwendig)

Erst bei digitalen Übertragungsarten wird sie vermehrt angewendet.

Bei digitalen Verfahren ist es üblich **Synchronisationssignale** mit dem Datenstrom zu verschicken. (Start / Stop Bits)

Somit ist die notwendige **Synchronisation** einfach durchzuführen.



Die blaue Kurve hat die doppelte Frequenz.

Anders betrachtet ist der Nulldurchgang um 90° früher als bei der roten Kurve. ($90^\circ = \pi/2$)

Die Phasenverschiebung $\phi = 90^\circ$;

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TE201 Wodurch wird bei Frequenzmodulation die Lautstärke-Information übertragen?

- A Durch die Größe der Trägerfrequenzauslenkung.
- B Durch die Geschwindigkeit der Trägerfrequenzänderung.
- C Durch die Änderung der Geschwindigkeit des Frequenzhubes.
- D Durch die Größe der Amplitude des HF-Signals.

TE202 FM hat gegenüber SSB den Vorteil der

- A geringeren Beeinflussung durch Störquellen.
- B geringen Anforderungen an die Bandbreite.
- C größeren Entfernungsüberbrückung.
- D besseren Kreisgüte.

TE203 Ein zu großer Hub eines FM-Senders führt dazu,

- A dass die HF-Bandbreite zu groß wird.
- B dass die Sendeendstufe übersteuert wird.
- C dass Verzerrungen auf Grund unerwünschter Unterdrückung der Trägerfrequenz auftreten.
- D dass Verzerrungen auf Grund gegenseitiger Auslöschung der Seitenbänder auftreten.

TE204 Größerer Frequenzhub führt bei einem FM Sender zu

- A einer größeren HF-Bandbreite.
- B einer Erhöhung der Senderausgangsleistung.
- C einer Erhöhung der Amplitude der Trägerfrequenz.
- D einer Reduktion der Amplituden der Seitenbänder.

Bandbreite

Eine wichtige Kenngröße beim Funken ist die **Bandbreite**. Sie bezeichnet den **Platz**, den ein modulierte Signal im Frequenzband braucht. Die Bandbreite ist nicht nur das **Maß für den Platz**, den ein Sender braucht, sondern sie ist auch ein **Maß für die Störungen**, die auf einem Signal sind.

Je kleiner die Bandbreite ist, desto geringer sind die eingestreuten Störungen.

Die Bandbreite der einzelnen Modulationsarten kann man an Hand von Formeln oder Erfahrungswerten abschätzen.

CW	abhängig von der Tastgeschwindigkeit; bei Tempo 80 = ca. 55Hz.	
AM	Träger + 2 Seitenbänder	$B = 2 \cdot f_{\text{mod}}$;
SSB	1 Seitenband	$B = f_{\text{mod}}$;
FM	abhängig vom Hub und Modulationsfrequenz	$B = 2 \cdot (HUB + f_{\text{mod}})$;

B = Bandbreite; fmod = höchste Modulationsfrequenz; HUB = Lautstärke des FM Signals;

Packet Radio	AFSK / FSK per FM	AX.25 / Datex-P
AMTOR (amateur teleprinting over radio)	AFSK	
PACTOR (packet radio + AMTOR)	AFSK	Version 4 mit Phasenmodulation
APRS (automatic packet reporting system)	AFSK	

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TD501 Durch Modulation

A werden Informationen auf einen oder mehrere Träger übertragen.

B wird einem oder mehreren Trägern Informationen entnommen.

C werden Sprach- und CW-Signale kombiniert.

D werden dem Signal NF-Komponenten entnommen.

TD502 Welche Aussage zum Frequenzmodulator ist richtig? Durch das Informationssignal

A wird die Frequenz des Trägers beeinflusst. Die Amplitude des Trägers bleibt dabei konstant.

B wird die Amplitude des Trägers beeinflusst. Die Frequenz des Trägers bleibt dabei konstant.

C werden gleichzeitig Frequenz und Amplitude des Trägers beeinflusst.

D findet keinerlei Beeinflussung von Trägerfrequenz oder Trägeramplitude statt. Die Information steuert nur die Kapazität des Oszillators.

TD503 Zur Aufbereitung des SSB-Signals müssen

A der Träger und ein Seitenband unterdrückt oder ausgefiltert werden.

B der Träger hinzugesetzt und ein Seitenband ausgefiltert werden.

C der Träger unterdrückt und ein Seitenband hinzugesetzt werden.

D der Träger unterdrückt und beide Seitenbänder ausgefiltert werden.

TD504 Wie kann ein SSB-Signal erzeugt werden?

A Im Balancemodulator wird ein Zweiseitenband Signal erzeugt. Das Seitenbandfilter selektiert ein Seitenband heraus.

B Im Balancemodulator wird ein Zweiseitenband Signal erzeugt. Ein auf die Trägerfrequenz abgestimmter Saugkreis filtert den Träger aus.

C Im Balancemodulator wird ein Einseitenband Signal erzeugt. Ein auf die Trägerfrequenz abgestimmter Sperrkreis filtert den Träger aus.

D Im Balancemodulator wird ein Zweiseitenband Signal erzeugt. In einem Frequenzteiler wird ein Seitenband abgespalten.

Kennzeichnung der Sendarten

Modulation

CW Modulation

Amplitudenmodulation

Modulationsgrad, Leistung bei AM

SSB Modulation

*Trägerunterdrückung, Ringmodulator,
Vergleich AM - SSB*

Frequenzmodulation

Erzeugung von FM

Demodulation

CW-Demodulation

AM-Demodulation

Der Audion-Demodulator

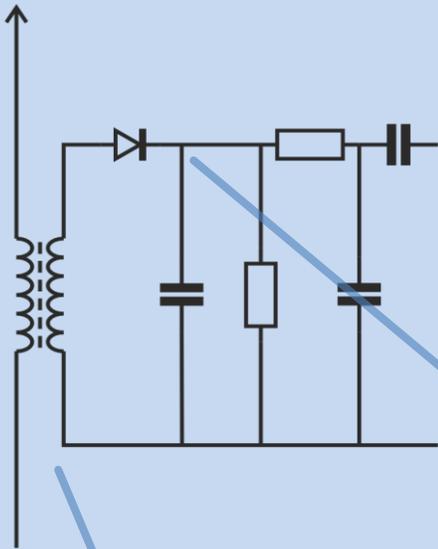
SSB Demodulation

*Demodulation von SSB
Der Produktdetektor*

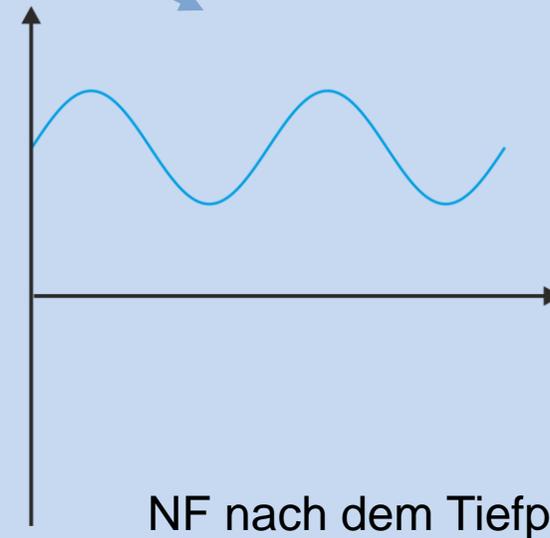
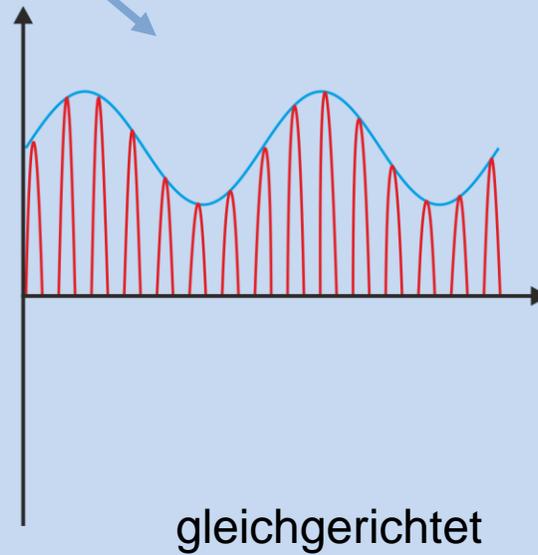
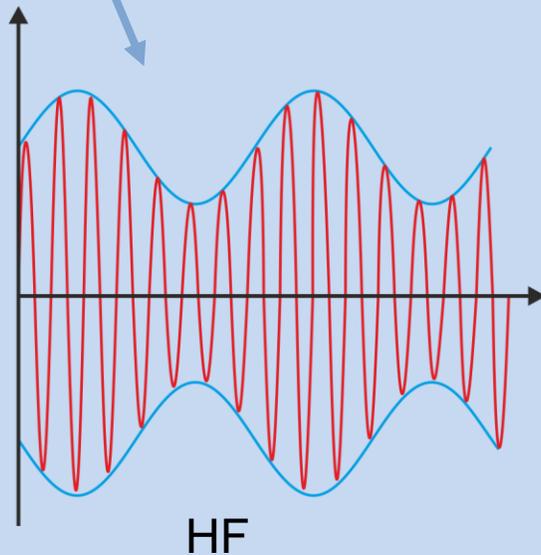
FM Demodulation

FM-Demodulator, FM-Demodulator mit PLL

Geradeausempfänger / Audion



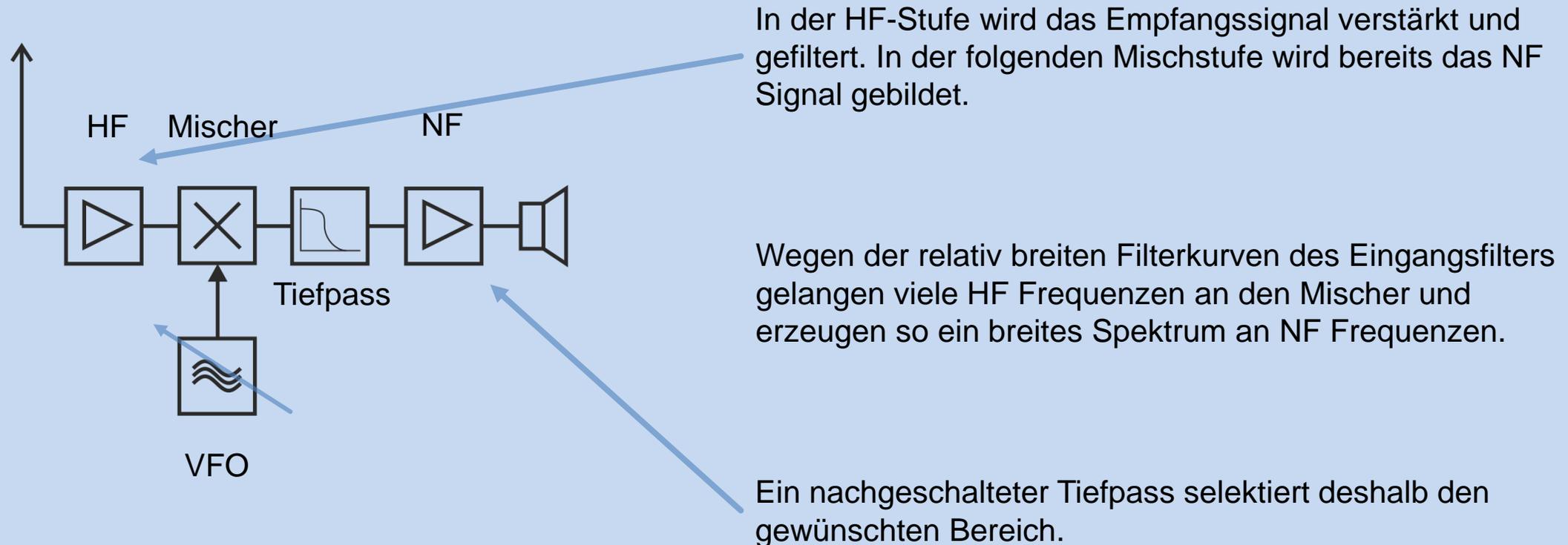
Der Geradeausempfänger ist das einfachste Empfängerprinzip. Bei ihm wird die HF direkt der Demodulationsstufe zugeführt. Beim Detektor ist noch nicht einmal eine Empfängerelektronik vorhanden. Er eignet sich nur zum Empfang von starken Ortssendern. Die modulierte HF wird gleichgerichtet. Danach wird der Träger durch einen Tiefpass herausgefiltert. Die NF kann nun mit einem kleinen Lautsprecher oder Ohrenhörer abgehört werden. Der Detektor eignet sich zum Empfang von AM-Sendern.



Ein weiterer Geradeausempfänger ist das Audion. Dort dient eine Röhre oder ein Transistor zur Demodulation und zur Verstärkung.

Überlagerungsempfänger / Superhet

Im Gegensatz zum **Geradeusempfänger** wird beim **Superhet-Empfänger** die ankommende HF mit einer variablen Oszillatorfrequenz so gemischt, dass eine andere Frequenzlage, die sogen. Zwischenfrequenz (ZF) entsteht. Alle nachfolgenden Stufen sind dann auf diese ZF fest abgestimmt.



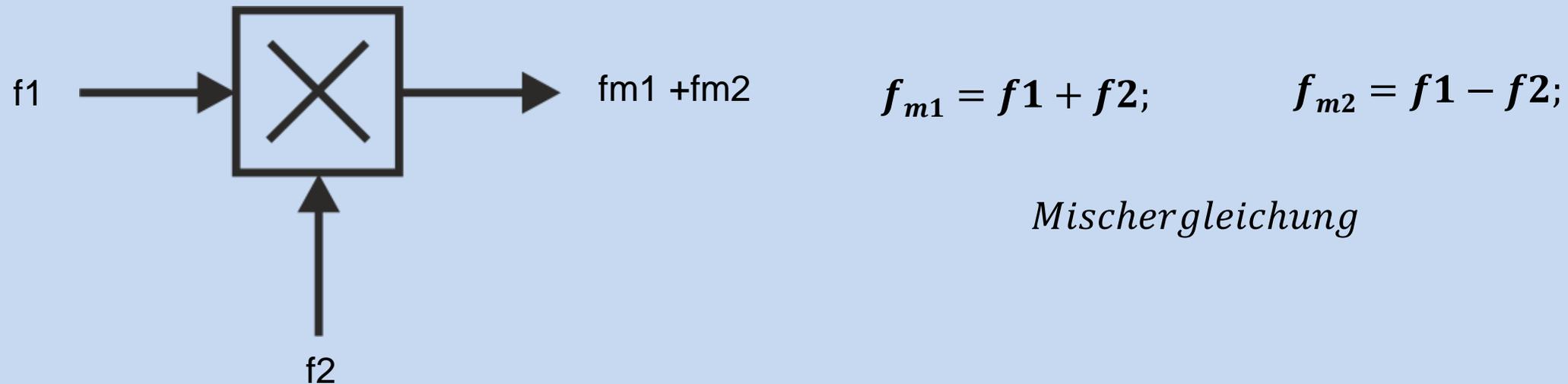
Superhet = Superheterodyn Empfänger = Überlagerungsempfänger

Im **Mischer** spielen sich ähnliche Vorgänge wie in einem AM-Modulator ab.

Es wird im Mischer quasi eine Frequenz mit einer anderen moduliert.

Es entstehen auch „**Seitenband-ähnliche**“ Gebilde, die hier jedoch Mischprodukte genannt werden.

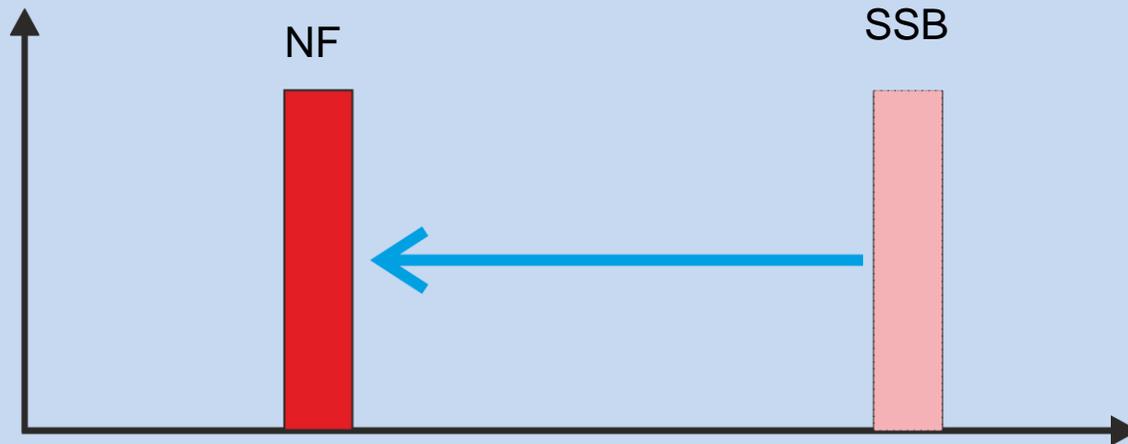
Es entstehen bei der Mischung von **zwei Frequenzen** immer **zwei Mischprodukte**.



In der Vielzahl der Anwendungen möchte man nur eine der beiden Mischprodukte.

Deshalb schaltet man der Mischstufe ein Filter nach, das nur eine gewünschte Frequenz durchlässt.

Versetzen eines Seitenbands durch Mischung



Bei der Demodulation von SSB wird das Seitenband mit einer Frequenz gemischt.

Dadurch wird das gesamte Frequenzband in den NF Bereich verschoben.

Die Eigenschaft des Mischers, immer zwei Mischprodukte zu erzeugen hat einen großen „Schönheitsfehler“: Sie ermöglicht das Auftreten von Spiegelfrequenzen.

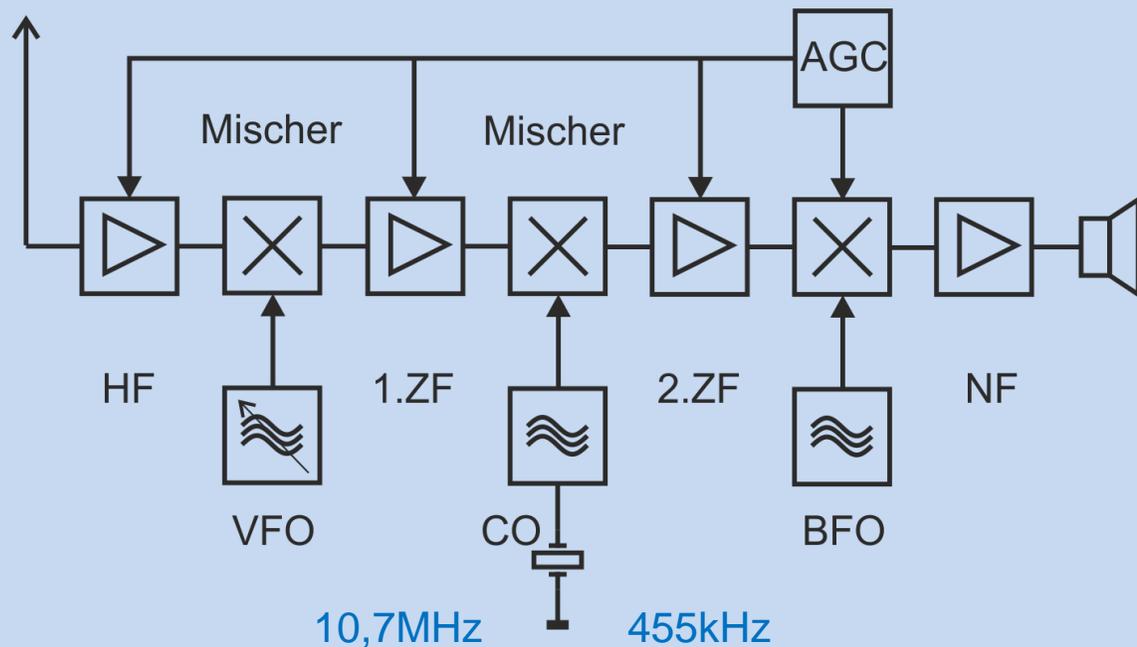
Die Spiegelfrequenz ist die Frequenz, die mit der Oszillatorfrequenz gemischt, auch die Zwischenfrequenz ergibt. Dadurch werden Signale mit dieser Frequenz auch empfangen und stören das gewünscht Signal.

Beispiel:

Um ein Signal, das auf 145,500 MHz gesendet wird zu demodulieren, mischt man es mit einer VFO Frequenz von 134,800 MHz auf die ZF von 10,7 MHz herunter. Die Spiegelfrequenz liegt um den Wert der ZF unterhalb der VFO Frequenz. Sie ist somit 124,100 MHz.

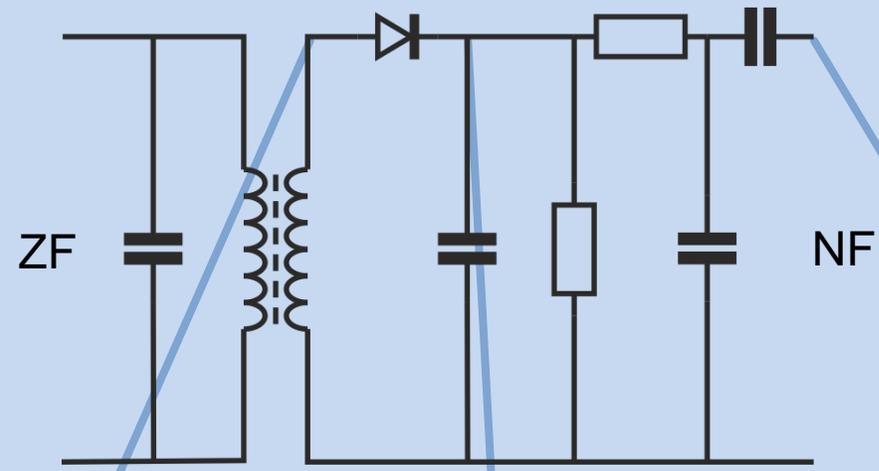
Doppel Superhet

Um das Problem der **Spiegelfrequenz** umgehen zu können, baut man in der HF-Vorstufe ein Filter ein, das zwar die gewünschte Frequenz durchlässt, jedoch die Siegelfrequenz abblockt. Aus Gründen der **besseren Selektion** baut man **Doppel-Superhet-Empfänger**. Das sind Empfänger, sie über zwei Zwischenfrequenzen verfügen.
Das folgende Bild zeigt das Prinzipschaltbild eines **Doppel-Superhet**.



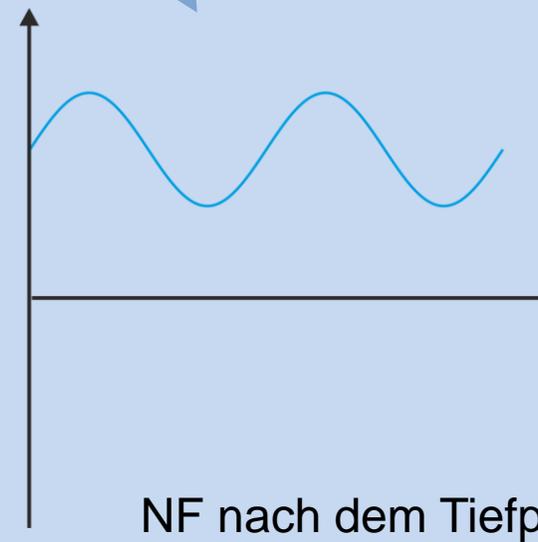
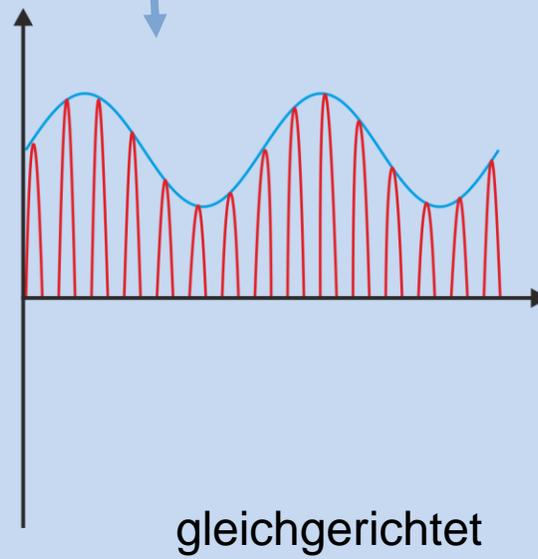
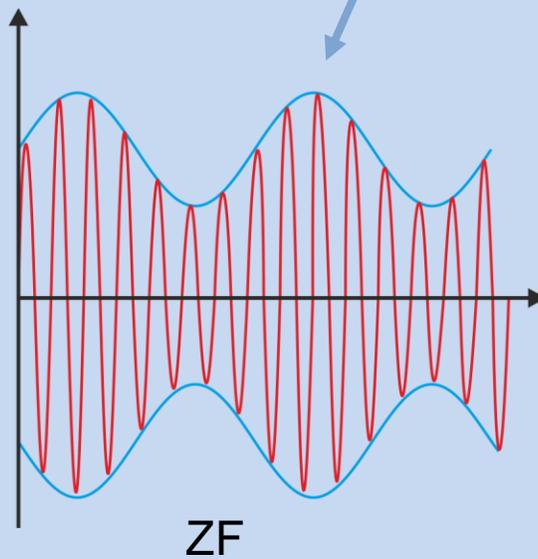
VFO	<i>variable frequency oscillator (einstellbarer Oszillator)</i>
CO	<i>crystal oscillator (Quarz Oszillator)</i>
BFO	<i>beat frequency oscillator (Schwebungoszillator; ersetzt den fehlenden Träger)</i>
AGC	<i>automatic gain control (automatische Verstärkungsregelung)</i>
ZF	<i>Zwischenfrequenz</i>

Demodulation von AM



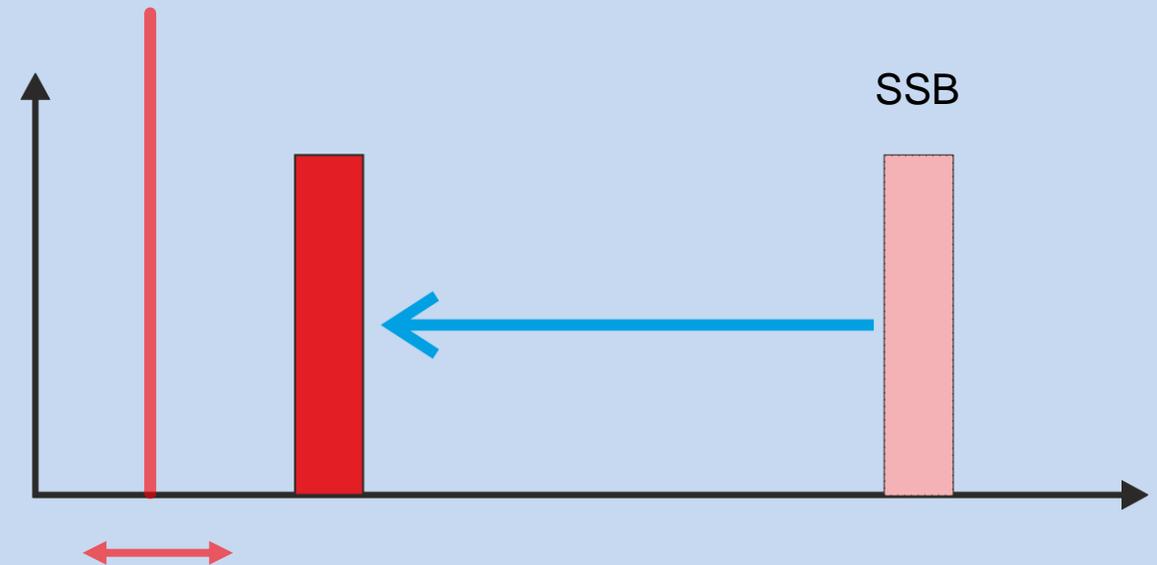
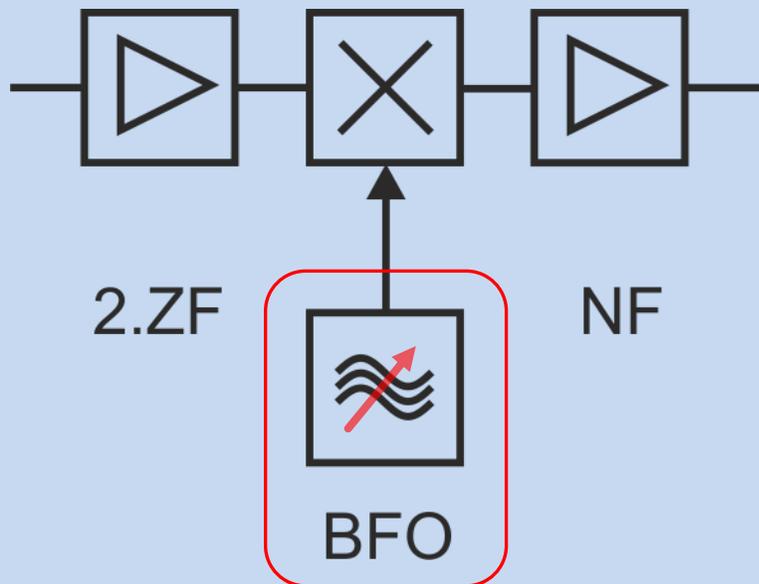
Hierzu wird die gleiche Schaltung wie beim Geradeausempfänger genutzt.

Das ZF Signal wird über einen Einweggleichrichter geführt. Im nachfolgenden Tiefpass werden die Reste der ZF entfernt.



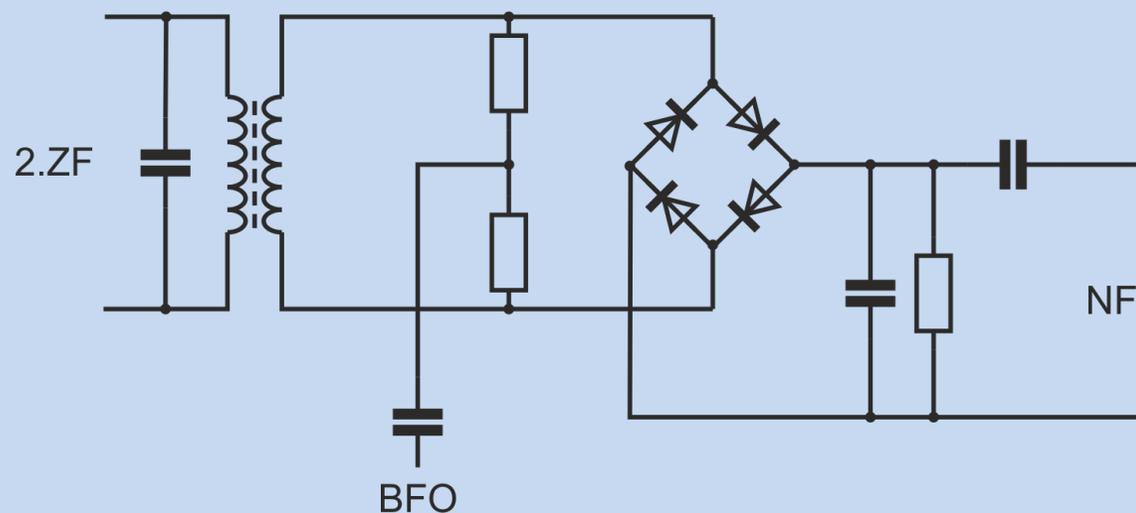
Demodulation von CW und SSB: BFO

Die einfachste Methode der Demodulation ist das Zusetzen des fehlenden Trägers und anschließend eine Demodulation wie bei AM.



Demodulation von SSB: Dioden-Ringmischer

Eine weitere Methode der CW, SSB Demodulation ist die Demodulation mit dem **Dioden-Ringmischer** (**Produkt-detektor**, Balance-Modulator). Er wird heute noch in großsignalfesten Transceivern eingesetzt. (Schottky-Ringmischer)

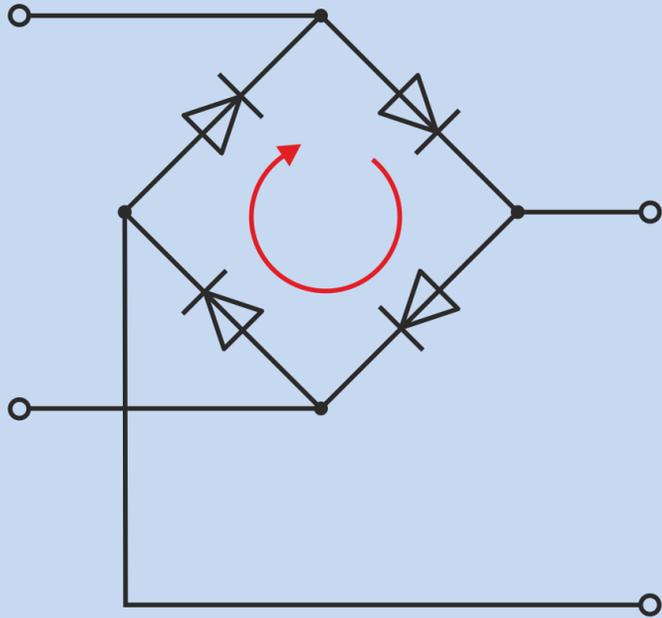


Im Ringmischer werden die beiden Eingangsfrequenz (2.ZF und BFO) miteinander multipliziert. Deshalb: **Produkt-detektor**.

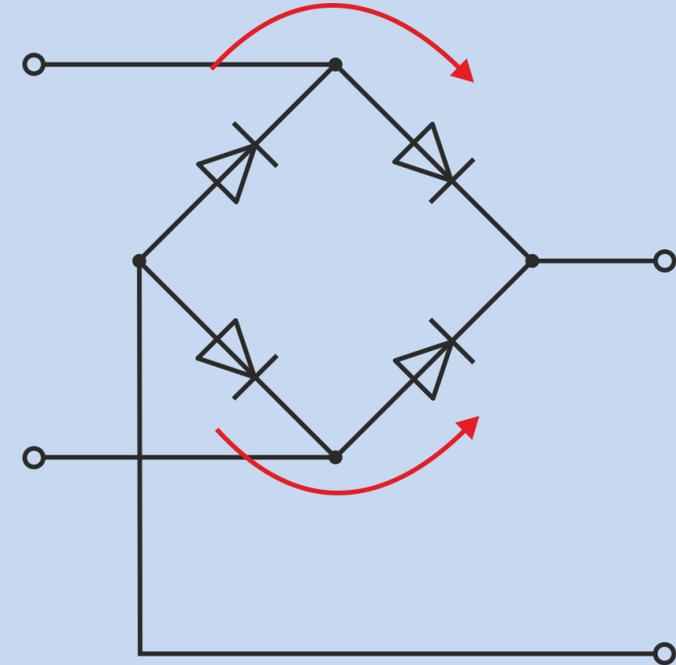
Die Trägerfrequenz wird auf „NULL“ heruntergemischt. Anschließend werden die hochfrequenten Anteile durch einen Tiefpass entfernt. Es bleibt nur die NF übrig.

In der allgemeinen Funktechnik wurde der Ringmodulator nach und nach von anderen Schaltungsvarianten verdrängt z.B. von FET-Mischern oder der sogen. Gilbertzelle.

Achtung Verwechslungsgefahr !

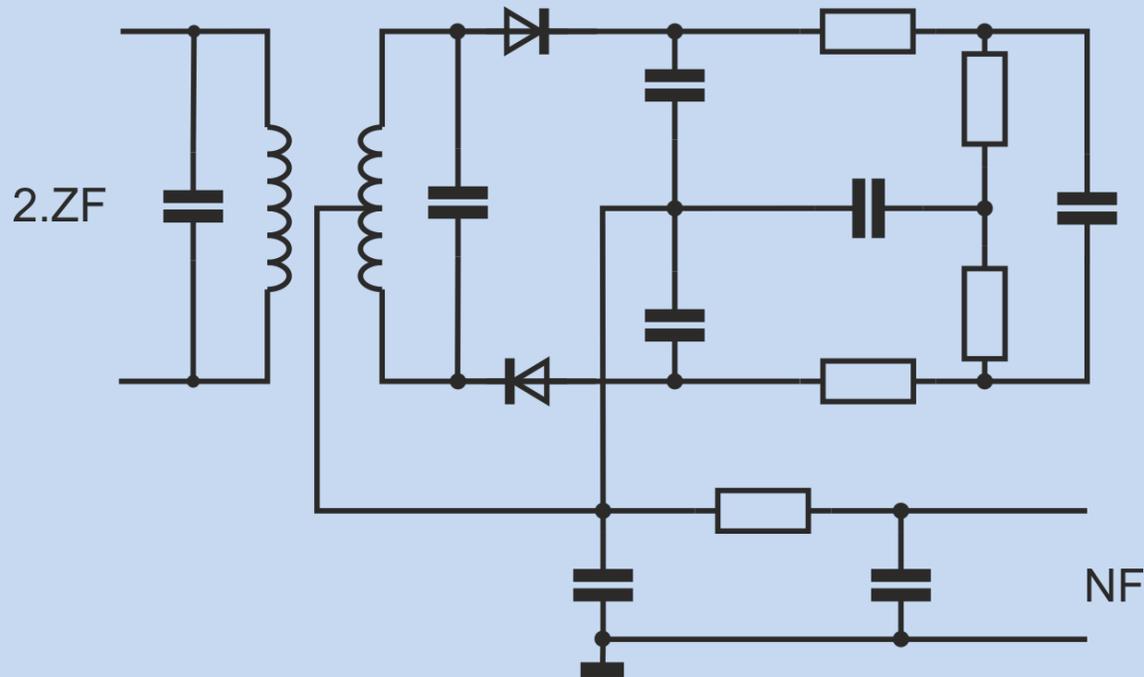


Dioden-Ringmischer
Ringmodulator



Graetz-Brücke
Brückengleichrichter

Für die Demodulation von FM wird vorzugsweise der Ratiodetektor (=Verhältnissgleichrichter) eingesetzt.



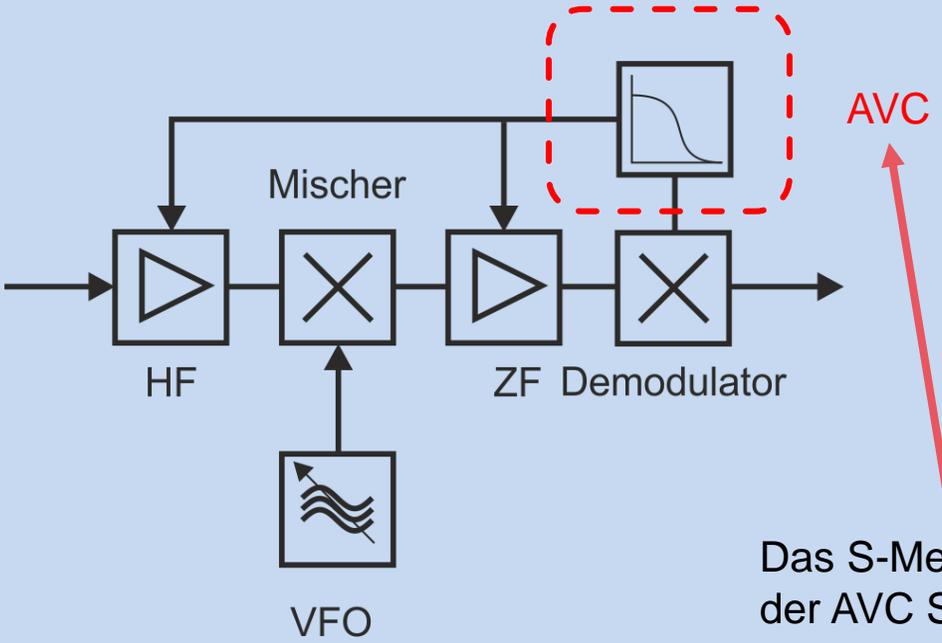
Zur Demodulation wird der frequenzabhängige Phasenunterschied der Spannung am Schwingkreis und der Spannung an der Sekundärwicklung des ZF-Übertragers ausgenutzt. Durch die Frequenzverschiebung (=Modulation) entstehen an den beiden Dioden ein entgegengesetzt gerichtetes, phasenverschobenes Signal. Die Differenz dieser Signale ist die NF.

Die Höhe der Ausgangsspannung hängt von der Größe der Frequenzverschiebung (=Hub) ab. Die Frequenz der Ausgangsspannung hängt von der Geschwindigkeit der Frequenzverschiebung ab.

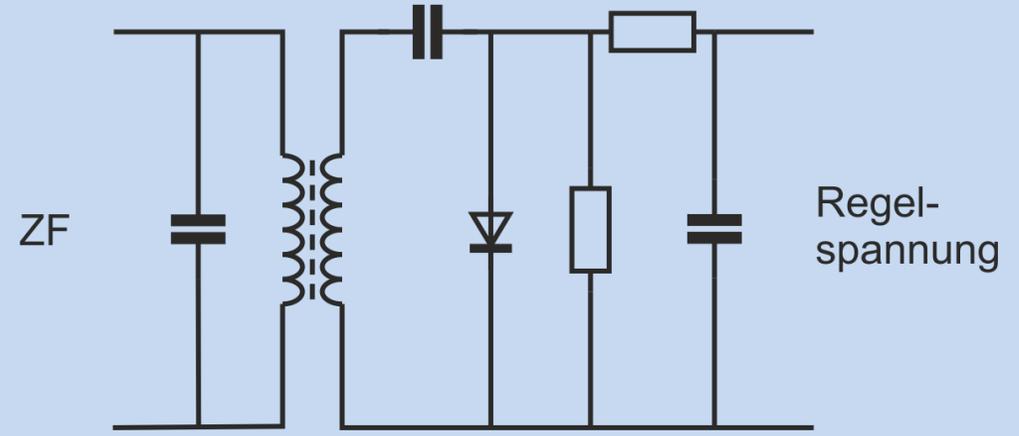
Zur Vollständigkeit möchte ich noch darauf hinweisen, dass man FM-Signale auch mit einem AM-Empfänger demodulieren kann. Dazu muss das FM-Signal an die Flanke der Durchlasskurve des ZF-Filters rücken. (=Flankendemodulation) Dadurch werden hohe Frequenzen stärker abgeschwächt als niedrige. Es entsteht AM, die demoduliert werden kann. Das Ausgangssignal ist jedoch verzerrt.

AVC Regelung und S-Meter

Ein Empfangsverstärker muss einen sehr großen Bereich von Eingangsspannungen verarbeiten können. Kleine Signale müssen sehr stark verstärkt werden, damit sie verarbeitet werden können. Starke Signale dürfen jedoch nur etwas verstärkt werden, da sie sonst verzerrt werden. (Störungen!) Aus diesem Gründen baut man in Empfängern eine **automatische Verstärkerregelung** ein.(= AVC = automatic volume control)Das dafür benötigte Signal wird durch eine kleine Gleichrichterschaltung von der letzten ZF-Stufe abgenommen und den einzelnen Verstärkern zugeführt.



Das S-Meter ist an der AVC Schaltung angeschlossen und zeigt die Höhe der empfangenen Spannung an



Das ZF-Signal wird durch eine Diode gleichgerichtet. Der folgende Tiefpass ist so ausgelegt, dass die Regelspannung frei von der ZF ist.

S-Meter

Die Differenz von Stufe zu Stufe der 10 Stufen des S-Meter beträgt 6dB. (Spannung = Verdopplung)

S9 entspricht 50 μ V, gemessen an 50 Ohm
Damit ergeben sich die Werte der S-Stufen:

$$S0 = 0,1 \mu V$$

$$S1 = 0,2 \mu V$$

$$S2 = 0,4 \mu V$$

$$S3 = 0,8 \mu V$$

$$S4 = 1,58 \mu V$$

$$S5 = 3,16 \mu V$$

$$S6 = 6,3 \mu V$$

$$S7 = 12,6 \mu V$$

$$S8 = 25 \mu V$$

$$S9 = 50 \mu V$$

$$S9+20dB = 158 \mu V$$

$$S9+40dB = 500 \mu V$$

$$S9+60dB = 5000 \mu V = 5mV$$

In der Realität sind die S-Meter bei Amateurfunkgeräten „weit weg“ von dieser Festlegung.

Hohe S-Stufen beim Empfang sollen einen sehr empfindlichen Empfänger zeigen.
(Marketing !)

Die meisten S-Meter sind „Schätz-Meter“.

TF403 Um wie viel S-Stufen müsste die S-Meter Anzeige Ihres Empfängers steigen, wenn Ihr Partner die Sendeleistung von 10 Watt auf 40 Watt erhöht?

A Um eine S-Stufe

B Um zwei S-Stufen

C Um vier S-Stufen

D Um acht S-Stufen

TF404 Ein Funkamateurlaut S-Meter mit S7 an. Dann schaltet er seine Endstufe ein und bittet um einen erneuten Rapport. Das S Meter zeigt S9+8dB. Um welchen Faktor müsste der Funkamateurlaut seine Leistung erhöht haben?

A 100-fach

B 20-fach

C 10-fach

D 120-fach

TF405 Ein Funkamateurlaut hat eine Endstufe, welche die Leistung verzehnfacht (von 10 auf 100 Watt). Ohne seine Endstufe zeigt Ihr S-Meter genau S8. Auf welchen Wert müsste die Anzeige Ihres S-Meters ansteigen, wenn er die Endstufe dazuschaltet?

A S9+4dB

B S18

C S10+10 dB

D S9+9 dB

TF406 Wie groß ist der Unterschied von S4 nach S7 in dB?

A 18 dB

B 9 dB

C 3 dB

D 24 dB

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TF101 Eine hohe erste ZF vereinfacht die Filterung zur Vermeidung von

A Spiegelfrequenzstörungen.

B Beeinflussung des lokalen Oszillators.

C Nebenaussendungen.

D Störungen der zweiten ZF.

TF102 Eine hohe erste Zwischenfrequenz

A ermöglicht bei großem Abstand zur Empfangsfrequenz eine hohe Spiegelfrequenzunterdrückung.

B trägt dazu bei, mögliche Beeinflussungen des lokalen Oszillators durch Empfangssignale zu reduzieren.

C sollte möglichst nahe an der Empfangsfrequenz liegen, um eine gute Spiegelfrequenzunterdrückung zu erreichen.

D verhindert auf Grund ihrer Höhe, dass durch die Umsetzung auf die zweite Zwischenfrequenz Spiegelfrequenzen auftreten.

TF103 Welche Aussage ist für einen Doppelsuper richtig?

A Mit einer niedrigen zweiten ZF erreicht man leicht eine gute Trennschärfe.

B Das von der Antenne aufgenommene Signal bleibt bis zum Demodulator in seiner Frequenz erhalten.

C Durch eine hohe erste ZF erreicht man leicht eine gute Trennschärfe.

D Durch eine niedrige zweite ZF erreicht man leicht eine gute Spiegelselektion.

TF104 Ein Empfänger hat eine ZF von 10,7 MHz und ist auf 28,5 MHz abgestimmt. Der Oszillator des Empfängers schwingt oberhalb der Empfangsfrequenz. Welche Frequenz hat die Spiegelfrequenz?

A 49,9 MHz

B 48,9 MHz

C 39,2 MHz

D 17,8 MHz

TF105 Wodurch wird beim Überlagerungsempfänger die Spiegelfrequenzdämpfung bestimmt? Sie wird vor allem bestimmt durch

A die Höhe der ersten ZF.

B die Höhe der zweiten ZF bei einem Doppelüberlagerungsempfänger.

C die Bandbreite der ZF-Stufen.

D die NF-Bandbreite.

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TF106 Einem Mischer werden die Frequenzen 136 MHz und 145 MHz zugeführt. Welche Frequenzen werden beim Mischvorgang erzeugt?

A 9 MHz und 281 MHz

B 127 MHz und 154 MHz

C 272 MHz und 290 MHz

D 140,5 MHz und 281 MHz

TF107 Einem Mischer werden die Frequenzen 28 MHz und 38,7 MHz zugeführt. Welche Frequenzen werden beim Mischvorgang erzeugt?

A 10,7 MHz und 66,7 MHz

B nur 10,7 MHz

C 56 MHz und 66,7 MHz

D 10,7 MHz und 56 MHz

TF108 Eine schmale Empfängerbandbreite führt im Allgemeinen zu einer

A hohen Trennschärfe.

B fehlenden Trennschärfe.

C unzulänglichen Trennschärfe.

D schlechten Demodulation.

TF109 Die Frequenzdifferenz zwischen dem HF Nutzsignal und dem Spiegelsignal entspricht

A dem zweifachen der ersten ZF.

B der Frequenz des lokalen Oszillators.

C der HF-Eingangsfrequenz.

D der Frequenz des Preselektors.

TF110 Durch welchen Vorgang setzt ein Konverter einen Frequenzbereich für einen vorhandenen Empfänger um?

A Durch Mischung.

B Durch Vervielfachung.

C Durch Frequenzteilung.

D Durch Rückkopplung.

Frequenzaufbereitung und Sendertechnik

PLL

VCO, PLL mit Mischstufen

Sender

Einfachmischprinzip, Mehrfachmischprinzip,

Vervielfacher, Balance-Mischer (SSB)

CW, AM, FM Modulation

Transverter

Hochfrequenzverstärker

selektive Verstärker, PI-Filter, Leistungsverstärker,

Wirkungsgrad

Schaltungen

Senderleistungen

Beseitigung von Störungen

Sender

Ein Sender hat die Aufgabe modulierte Hochfrequenz zu erzeugen und sie über eine geeignete Antenne abzustrahlen. Jeder Sender besteht aus vier Grundeinheiten:

Oszillator

bestimmt die Frequenz des zu sendenden Signals.

Modulator

versieht die HF mit der gewünschten Information.

Leistungsverstärker

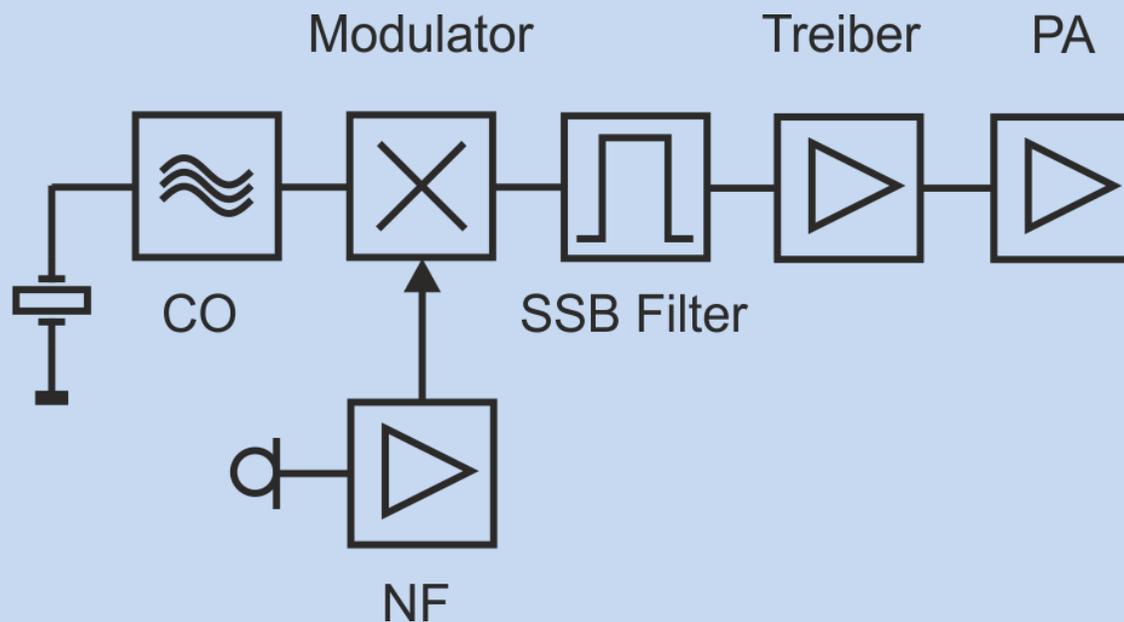
ermöglicht die gewünschte Reichweite.

Filter

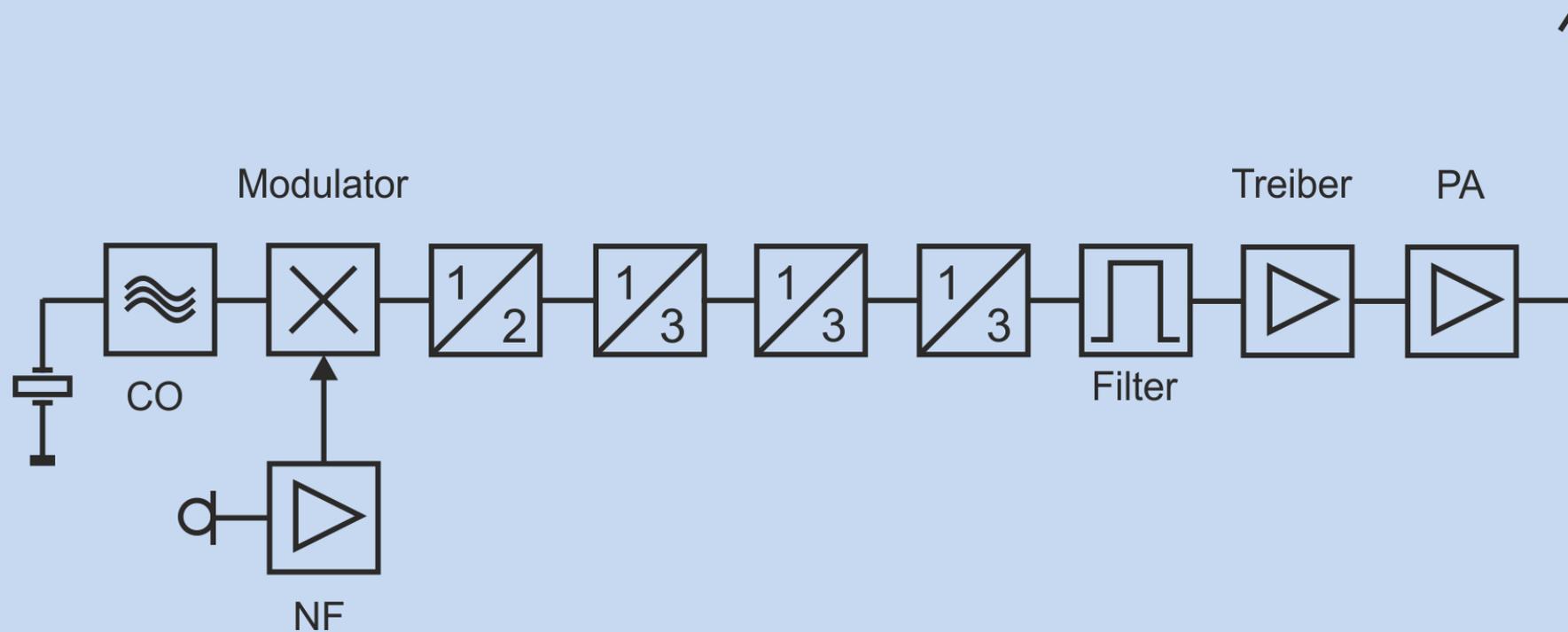
passt den Sender an die Antenne an und verhindert die Aussendung von unerwünschten Frequenzen.

Signalaufbereitung: Sendefrequenz

Dazu dienen in erster Linie die Oszillatoren. Man erzeugt jedoch in den seltensten Fällen die Sendefrequenz direkt mit dem Oszillator. Entweder mischt man zwei Frequenzen so, dass die gewünschte Sendefrequenz entsteht oder man vervielfacht das Oszillatorsignal und erhält so die gewünschte Sendefrequenz.



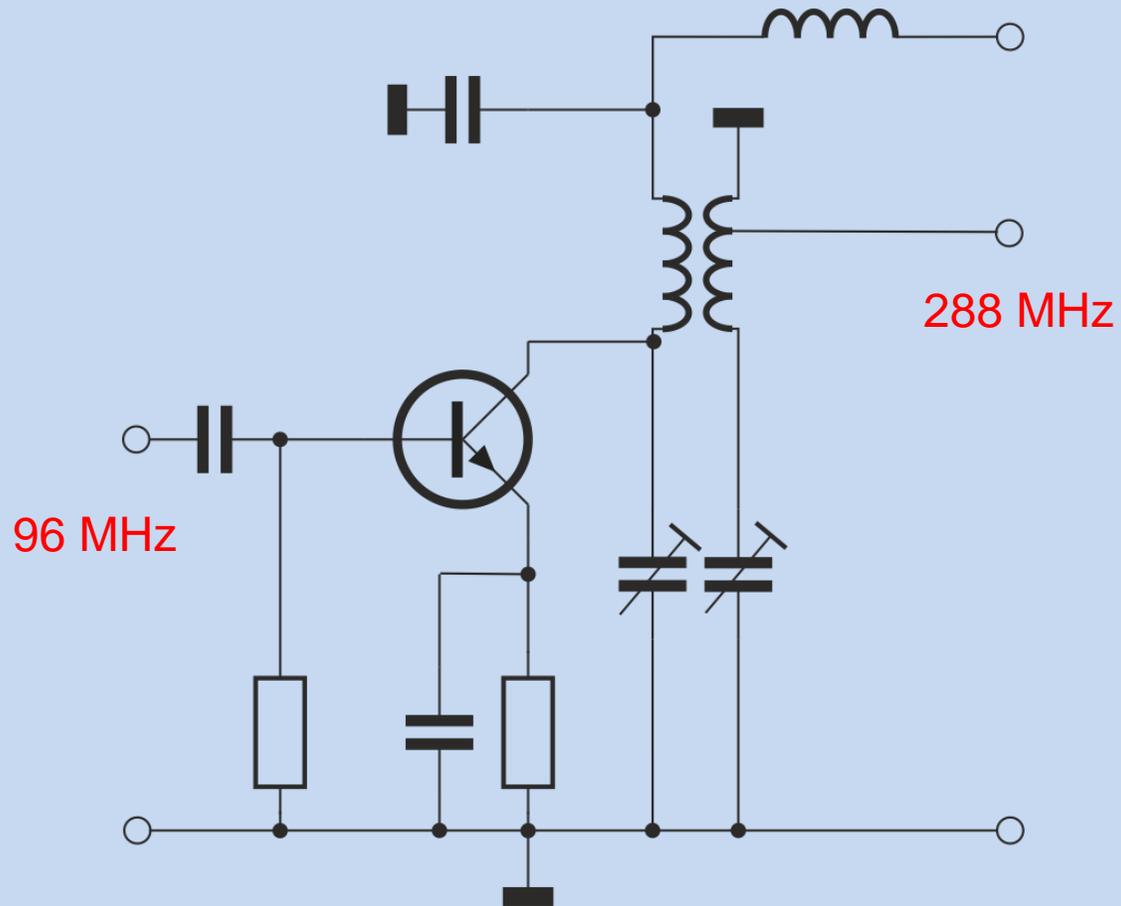
Das Verfahren der Frequenzmischung wendet man hauptsächlich bei Kurwellengeräten an, da hier die Frequenzen so niedrig sind, dass man ohne Schwierigkeiten stabile Oszillatoren für diese Frequenzen bauen kann.



Das Verfahren der **Frequenzvervielfachung** wird im **VHF**(= very high frequency) und **UHF**(= ultra high frequency) Bereich angewendet. Man kann stabile Oszillatoren nur für einen bestimmten Frequenzbereich aufbauen. Deshalb benutzt man dieses Verfahren um die Sendefrequenz zu erhalten. Zur Erzeugung der Grundfrequenz wird ein Quarzoszillator eingesetzt. Dieser Oszillator hat eine Verstärkerstufe, die im C-Betrieb arbeitet.

Durch den nichtlinearen Betrieb entstehen Oberwellen.

Die gewünschte Frequenz wird durch einen **Resonanzkreis** herausgefiltert und weiter verstärkt. Im praktischen Betrieb geht man nicht über eine **Verdreifachung** hinaus, da die Amplituden der höheren **Harmonischen** zu klein sind.



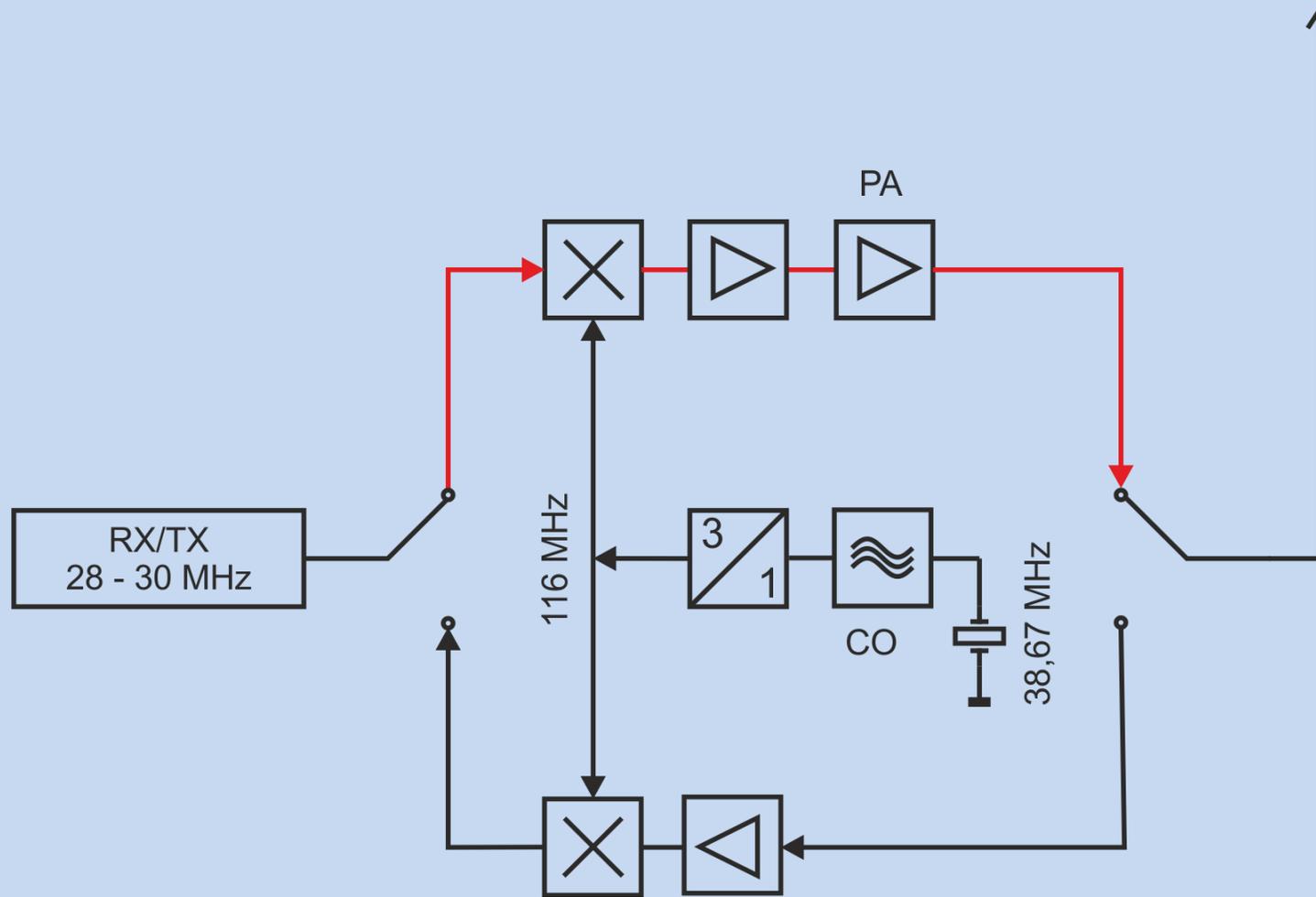
Das Signal wird einer nicht linearen Verstärkerstufe zugeführt. (Verzerrer)

Die gewünschte Oberwelle wird ausgefiltert.

z.B. Eingangsfrequenz 96 MHz
Ausgangsfrequenz 288 MHz

Ein hochwertiger KW Transceiver wird im 2m Band genutzt.

Bereich 44 – 146 MHz

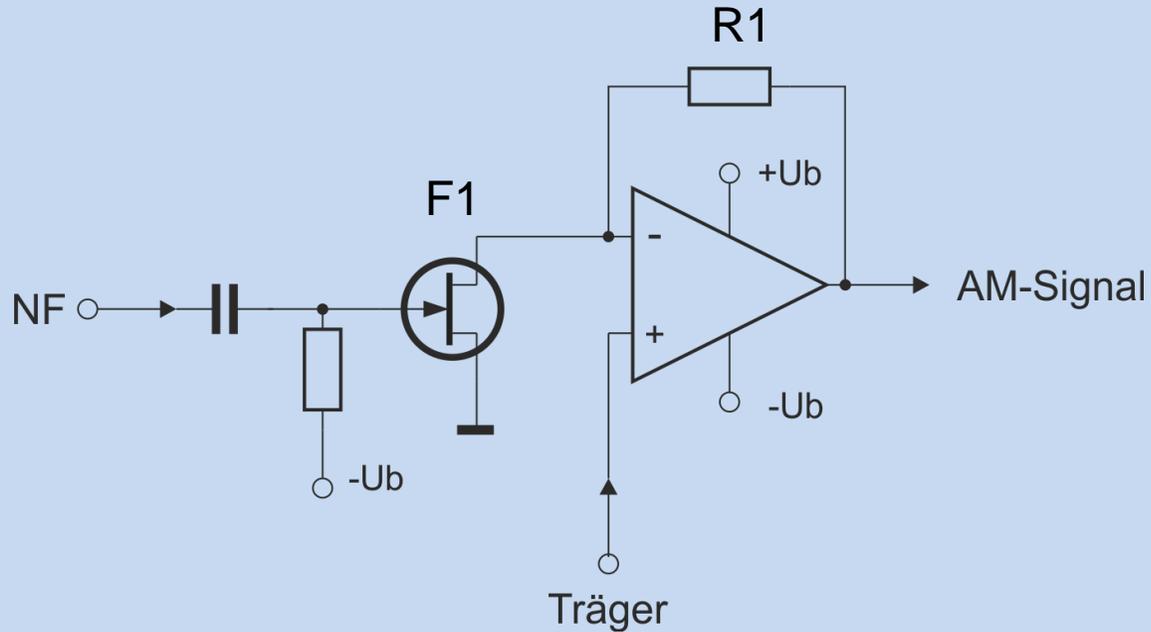


Die einfachste Modulationsart ist CW, da hier die HF „nur“ ein- und ausgeschaltet wird. Aber dieses Ein- und Ausschalten muss richtig geschehen, um ein sauberes Signal zu erhalten.

Folgende Punkte sind zu beachten:

- Es soll immer eine Stufe mit **kleiner Leistung** getastet werden.
- Der Zeicheneinsatz soll **weich** sein, damit die **Bandbreite** des Sendesignals **klein** bleibt.
- **Nie den Oszillator direkt tasten**, da dieses zu „Chirp“ führt.
- Zwischen Oszillator und Taststufe soll auf jeden Fall eine **Pufferstufe** eingebaut werden, um **Rückwirkungen** auf den Oszillator zu vermeiden.

Amplitudenmodulation AM Modulator



$$v = 1 + \frac{R1}{Z(F1)};$$

$v = \text{Verstärkung};$

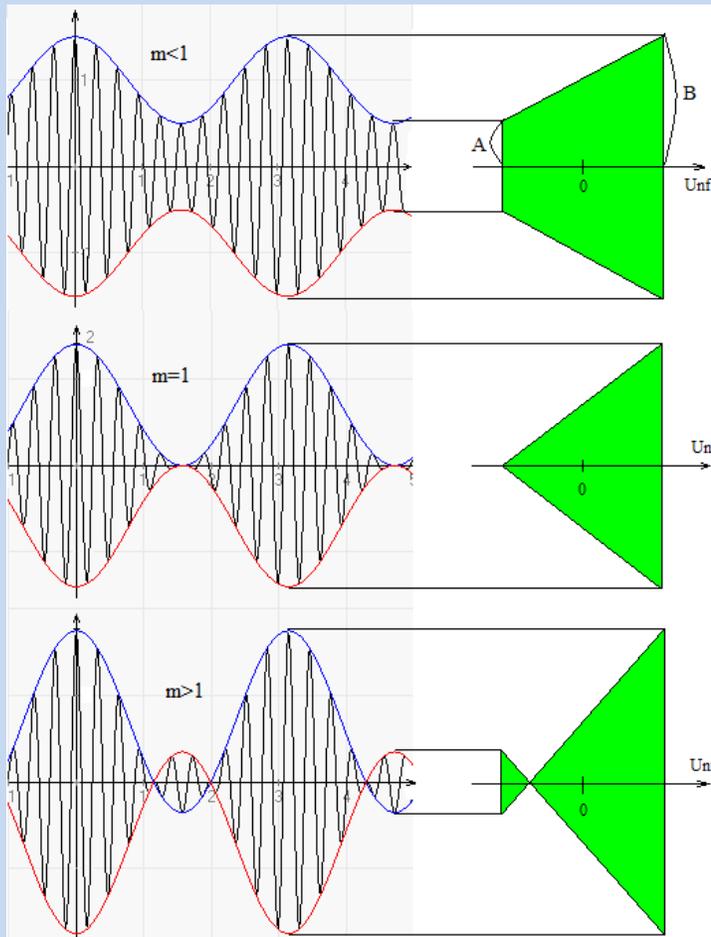
Das NF Signal steuert die Amplitude des Träger Signal.

Dazu wird die Verstärkung des Operationsverstärkers im Rhythmus der NF geändert.

Der FET F1 wirkt dabei wie ein **steuerbarer Widerstand**.

Amplitudenmodulation AM

Man kann bei AM die gleiche Frequenzaufbereitung wie bei CW verwenden. Der Unterschied liegt darin, dass man bei AM die Hochfrequenz in der Treiber- oder Endstufe moduliert. Um bei AM eine optimale Reichweite der Signale zu erreichen muss man dafür sorgen, dass die HF 100% moduliert wird. Zur Kontrolle kann man ein Oszilloskop benutzen.



Untermoduliert

Schlechte Ausnutzung der Energie

100% Modulationsgrad

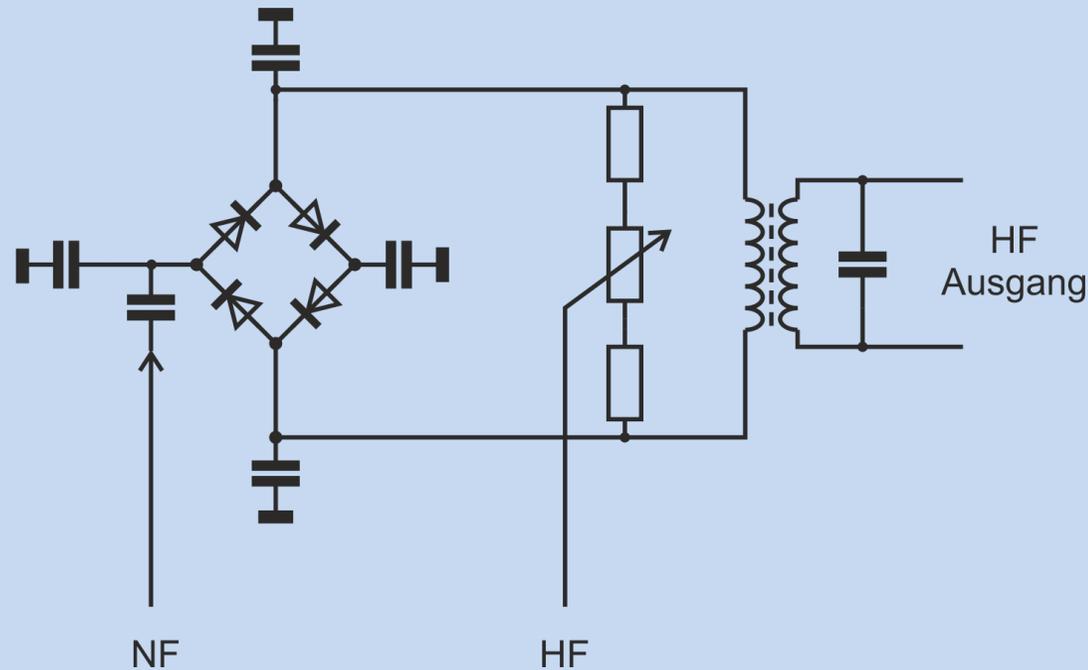
Optimale Nutzung der Energie

Übermoduliert

Bandbreite und Oberwellen nehmen zu.

Übermodulation steigert nicht die Reichweite des Signals. Anodenstrom / Kollektorstrom der Endstufe steigen zwar an und es wird scheinbar mehr Leistung produziert. Diese „Mehrleistung“ wird aber nur als Oberwellen abgestrahlt. Sehr oft steht dann für das Nutzsignal weniger Leistung zur Verfügung.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Amplitudenmodulation>



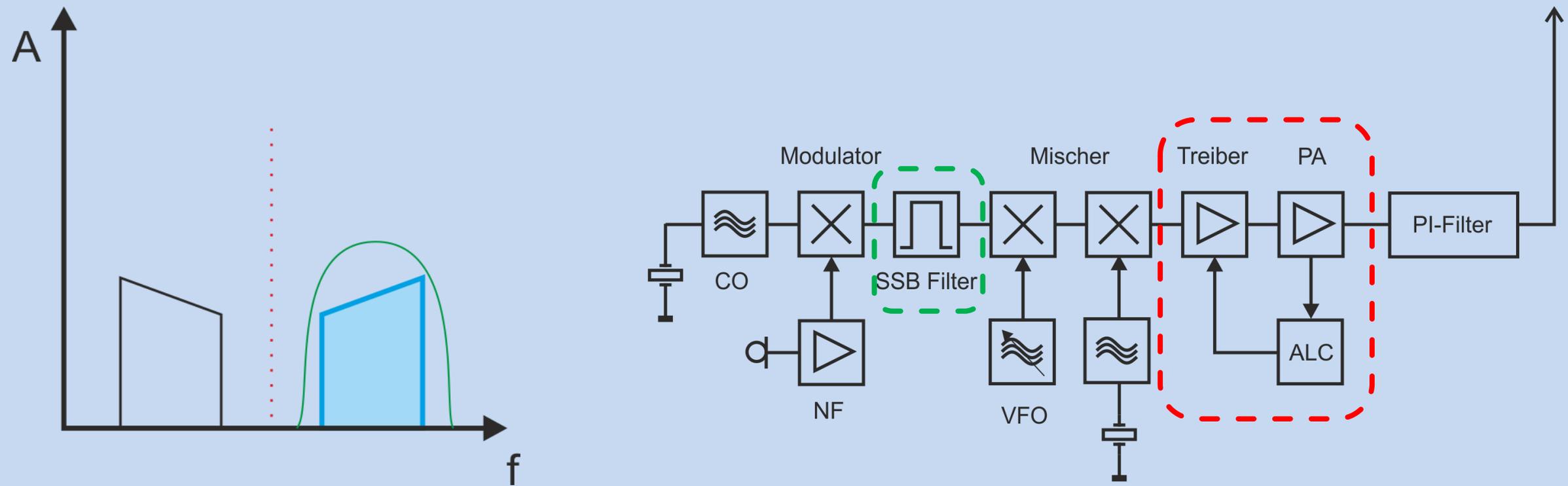
Obwohl SSB mit AM verwandt ist, unterscheiden sich die Sender für die beiden Betriebsarten total voneinander. SSB Sender arbeiten nach der **Filtermethode** d.h. durch eine geeignete Schaltung moduliert man die HF so, dass nur zwei Seitenbänder entstehen. Danach wird das nicht gewünschte Seitenband durch ein sehr steiles und schmalbandiges Filter herausgefiltert. Dieses Filter kann man nur für niedrige Frequenzen herstellen. Die gewünschte Sendefrequenz wird durch ein- oder mehrmaliges Mischen erreicht.

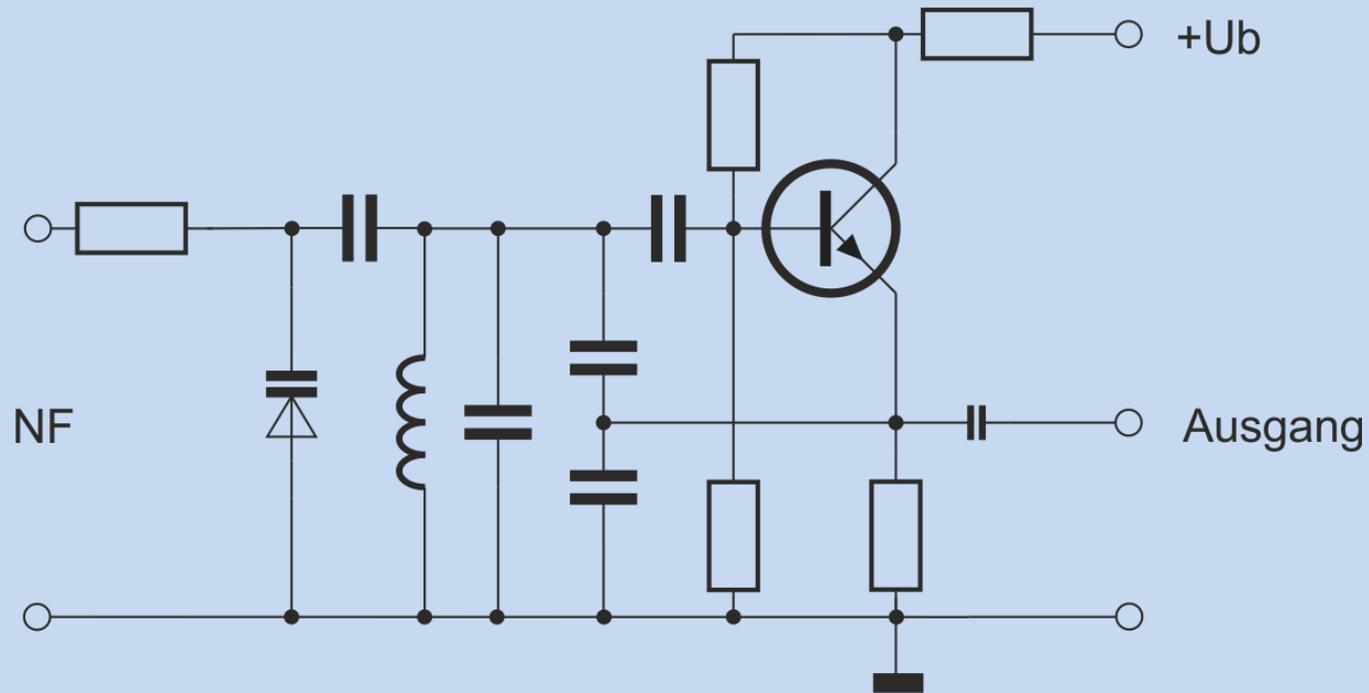
Zur Herstellung eines trägerlosen SSB Signals kann man eine **Balancemodulator** (= Ringmodulator) verwenden.

SSB Seitenbandfilter

Nach dem **Balancemodulator** filtert man das nicht gewünschte Seitenband aus und mischt es auf die gewünschte Sendefrequenz. Die nachfolgenden Treiber- und Endstufen ermöglichen die gewünschte Leistung. Die Verstärkerstufen dürfen die Form des Signales nicht verändern. Sie müssen alle linear arbeiten. Speziell die Endstufe muss im **A(AB)-Betrieb** arbeiten, da sonst das Signal verzerrt wird. (B-Betrieb bei Gegentakt Endstufen)

Eine zusätzliche Möglichkeit, um **Verzerrungen zu vermeiden** ist eine **Verstärkerregelung** der Treiberstufen. Diese Regelung (**ALC=automatic level control**) setzt, beim Erreichen der Aussteuergrenze der Endstufe, die Verstärkung der Vorstufe herunter und verhindert so die Übersteuerung, die zu einer Verzerrung des Signals führt.





Bei FM steckt die Information in der **Frequenz des Signals**. FM lässt sich durch eine **Kapazitätsdiode** (Varicap) herstellen, die in einem Schwingkreis parallel zum Kondensator geschaltet ist. Damit ist es möglich, durch eine Spannung die Frequenz des Oszillators zu ändern.

Bei Sendern mit Vervielfacherstufen muss man beachten, dass sich der Hub auch vervielfacht !

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TG101 Wie kann die hochfrequente Ausgangsleistung eines SSB-Senders vermindert werden?

- A Durch die Verringerung der NF-Ansteuerung und/oder durch Einfügung eines Dämpfungsgliedes zwischen Steuersender und Endstufe.
- B Durch die Veränderung des Arbeitspunktes der Endstufe.
- C Durch die Verringerung des Hubes und/oder durch Einfügung eines Dämpfungsgliedes zwischen Steuersender und Endstufe.
- D Nur durch Verringerung des Hubes allein.

TG102 Welche der nachfolgenden Antworten trifft für die Wirkungsweise eines Transverters zu?

- A Ein Transverter setzt beim Empfangen z.B. ein 70-cm-Signal in das 10-m-Band und beim Senden das 10-m-Sendesignal auf das 70-cm-Band um.
- B Ein Transverter setzt beim Senden als auch beim Empfangen z.B. ein 70-cm-Signal in das 10-m-Band um.
- C Ein Transverter setzt beim Senden als auch beim Empfangen z.B. ein frequenzmoduliertes Signal in ein amplitudenmoduliertes Signal um.
- D Ein Transverter setzt nur den zu empfangenden Frequenzbereich in einen anderen Frequenzbereich um, z.B. das 70-cm-Band in das 10-m-Band.

TG103 Was kann man tun, wenn der Hub bei einem Handfunkgerät oder Mobil-Transceiver zu groß ist?

- A Leiser ins Mikrofon sprechen.
- B Lauter ins Mikrofon sprechen.
- C Weniger Leistung verwenden.
- D Mehr Leistung verwenden.

TG104 Was bewirkt in der Regel eine zu hohe Mikrofonverstärkung bei einem SSB-Transceiver?

- A Splatter bei Stationen, die auf dem Nachbarkanal arbeiten.
- B Störungen von Stationen, die auf einem anderen Frequenzband arbeiten.
- C Störungen der Stromversorgung des Transceivers.
- D Störungen von Computern.

TG105 Was bewirkt eine zu geringe Mikrofonverstärkung bei einem SSB-Transceiver?

A geringe Ausgangsleistung

B Störungen von Stationen, die auf einem anderen Frequenzband arbeiten

C Verringerung der Modulationsqualität

D Splatter bei Stationen, die auf dem Nachbarkanal arbeiten

TG201 Wie heißt die Stufe in einem Sender, welche die Eigenschaft hat, leise Sprachsignale gegenüber den lauten etwas anzuheben?

A Speech Processor

B Noise Blanker

C Clarifier

D Notchfilter

TG202 Welche Schaltung in einem Sender bewirkt, dass der Transceiver allein durch die Stimme auf Sendung geschaltet werden kann?

A VOX

B PTT

C RIT

D PSK

TG203 Welche Anforderungen muss ein FM-Funkgerät erfüllen, damit es für die Übertragung von Packet Radio mit 9600 Baud geeignet ist?

A Es muss sende- und empfangsseitig den Frequenzbereich von 20 Hz bis 6 kHz möglichst linear übertragen können und die Zeit für die Sende-Empfangsumschaltung muss so kurz wie möglich sein z.B. < 10...100 ms.

B Es muss sende- und empfangsseitig den Frequenzbereich von 300 Hz bis 3,4 kHz möglichst linear übertragen können und die Zeit für die Sende-Empfangsumschaltung muss zwischen 100...300 ms liegen.

C Es muss über einen Anschluss für Mikrofon und Lautsprecher verfügen, an dem ein TNC oder Modem angeschlossen werden kann.

D Es muss den Frequenzbereich von 300 Hz bis 10 kHz linear übertragen können und ein TX Delay von kleiner 1 ms haben.

TG401 Was kann man tun, wenn der Hub bei einem Handfunkgerät oder Mobil-Transceiver zu groß ist?

A Leiser ins Mikrofon sprechen

B Mehr Leistung verwenden

C Weniger Leistung verwenden

D Lauter ins Mikrofon sprechen

TG402 In welcher der folgenden Antworten sind Betriebsarten üblicher Kurzwellen Transceiver aufgezählt?

A USB, LSB, FM, AM, CW

B USB, PSK31, FM, SSTV, CW

C USB, LSB, FM, SSTV, CW

D USB, LSB, Amtor, Pactor, CW

TG403 Wenn man beim Funkbetrieb mit einem Transceiver die Empfangsfrequenz gegenüber der Senderfrequenz geringfügig verstellen möchte, muss man

A die RIT bedienen.

B das Notchfilter einschalten.

C die Passband-Tuning verstellen.

D die PTT einschalten.

TG404 Wie wird die Taste am Mikrofon bezeichnet, mit der man einen Transceiver auf Sendung schalten kann?

A PTT

B VOX

C RIT

D SSB

TG405 Wie wird der Funkbetrieb bezeichnet, bei dem man einen Transceiver allein durch die Stimme auf Sendung schalten kann?

A VOX-Betrieb

B PTT-Betrieb

C RIT-Betrieb

D SSB-Betrieb

Frequenzaufbereitung und Sendertechnik

PLL

VCO, PLL mit Mischstufen

Sender

Einfachmischprinzip, Mehrfachmischprinzip,

Vervielfacher, Balance-Mischer (SSB)

CW, AM, FM Modulation

Transverter

Hochfrequenzverstärker

selektive Verstärker, PI-Filter, Leistungsverstärker,

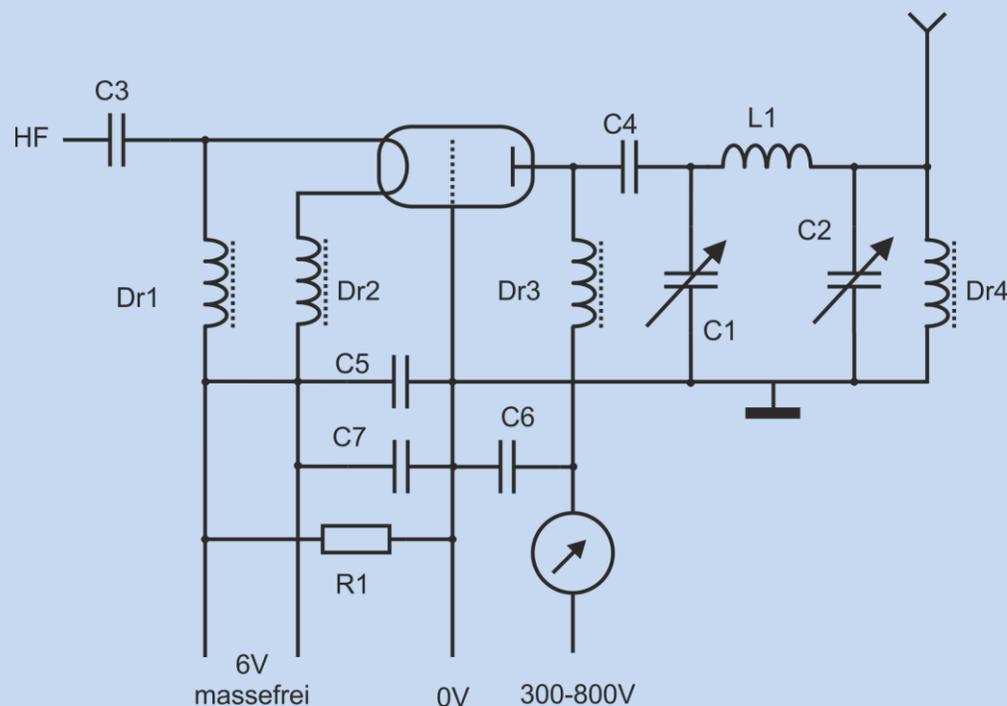
Wirkungsgrad

Schaltungen

Senderleistungen

Beseitigung von Störungen

Endstufe PA (power amplifier)



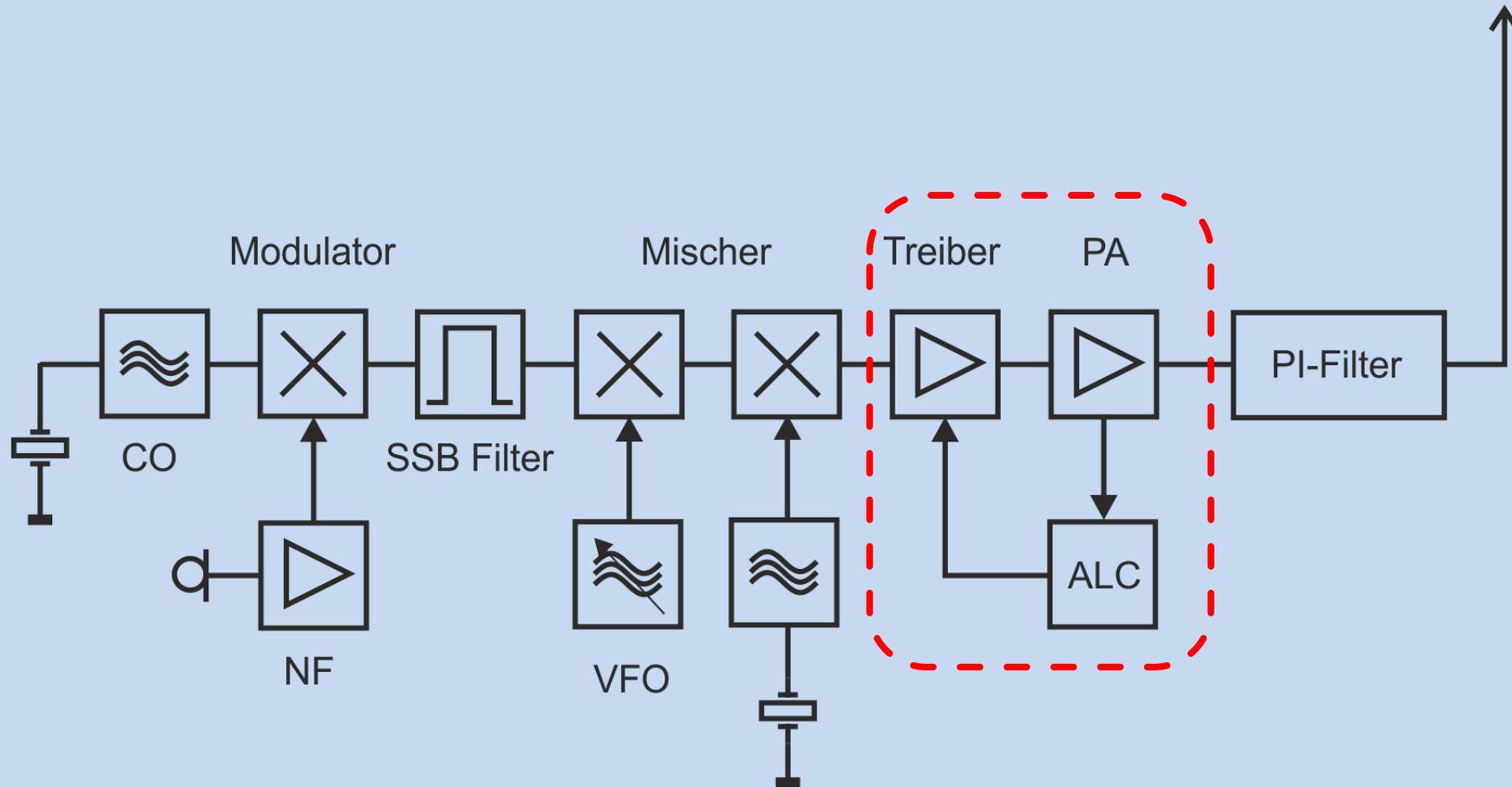
Endstufen werden am günstigsten **linear** betrieben, da so die wenigsten Störungen (Oberwellen, Verzerrungen) entstehen. Man wählt also A-Betrieb oder AB-Betrieb.

Bei Gegentakt Endstufen aus zwei Röhren oder Transistoren, wählt man B-Betrieb.

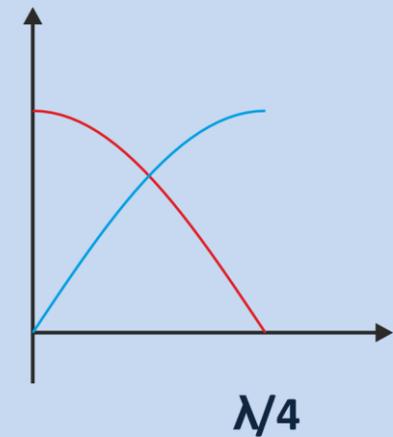
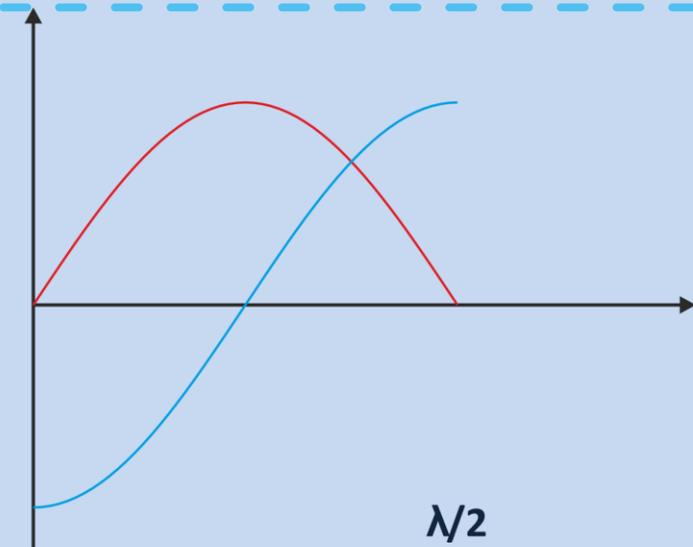
Bei FM-Endstufen kann man auch C-Betrieb wählen, da hier die Form der Amplitude keine Rolle spielt.

Jede Endstufe muss in ihrem Ausgangskreis ein Filter besitzen. Am häufigsten benützt man ein **PI-Filter**. Es wirkt als Tiefpass und schwächt somit die Oberwellen ab. Außerdem ermöglicht es, den Sender an die Antenne anzupassen. Die beiden Kondensatoren **C1 (=Plate)** und **C2 (=Load)** werden für den **Abstimmvorgang** benutzt. Zur Kontrolle wird das Messgerät für den Anodenstrom, oder am besten ein externes Leistungsmessgerät benutzt. Mit den beiden Kondensatoren wird immer auf **maximale Ausgangsleistung** abgestimmt.

Eine weitere Möglichkeit um Oberwellen und Verzerrungen zu vermeiden ist, die Endstufe mit einer Verstärkerregelung (ALC = automatic level control) zu versehen.



Endstufe PA: Lecherleitung

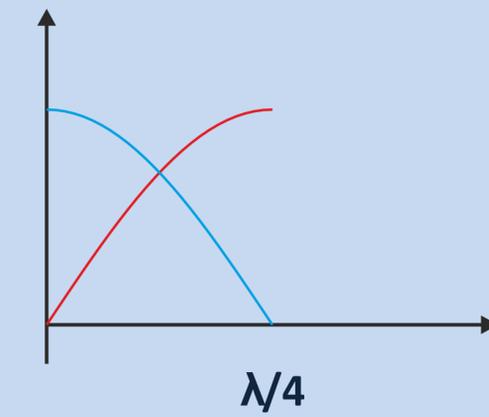
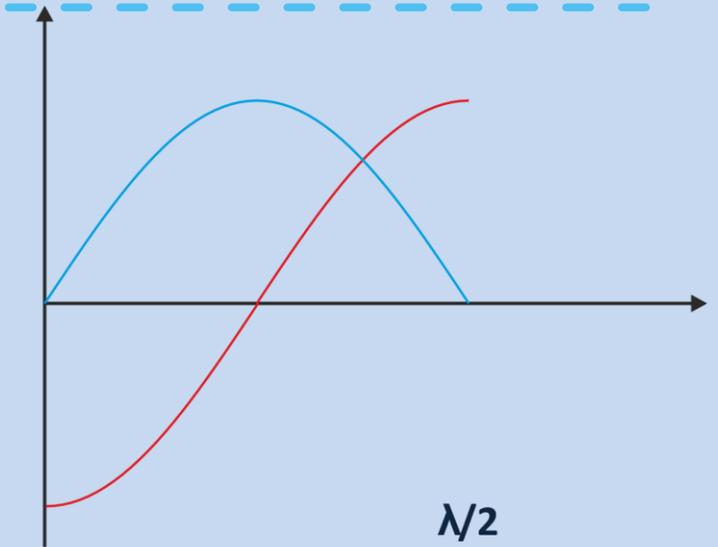


Im VHF/UHF Bereich nutzt man auch sogen. Lecherleitungen als **Filterelemente**. Sie sind mechanisch auf eine Frequenz abgestimmt und haben **sehr hohe Güten**.

Lecherleitungen können z.B. als **Streifenleiter** direkt auf Leiterplatten hergestellt werden.

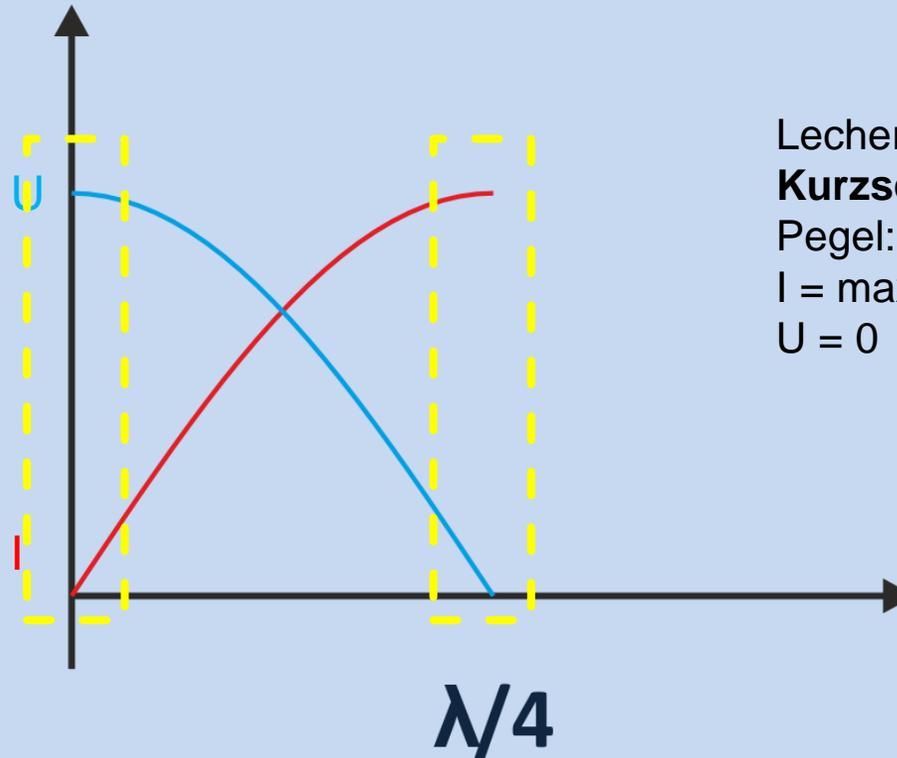
Man kann dazu auch **Koax-Kabel entsprechender Länge** verwenden.

Verkürzungsfaktor beachten.



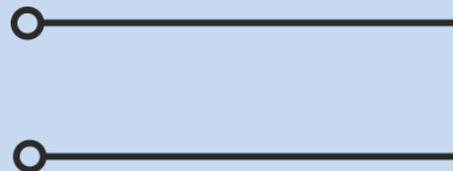
Einschub: Lecherleitung Erklärung

Wegen des sinusförmigen Verlaufs
eines Welle stellen sich am
Eingang der Lecherleitung diese
Pegel ein:
 $I = 0$
 $U = \text{maximal}$



Lecherleitung hat am Ende einen
Kurzschluss und erzwingt damit diese
Pegel:
 $I = \text{maximal}$
 $U = 0$

Am Eingang der Lecherleitung
sieht es für die entsprechende
Frequenz wie ein „**Leerlauf**“ aus.
Sie wird somit nicht gedämpft.



Lecherleitung hat die Länge $\lambda/4$ der
gewünschten Frequenz.
(Verkürzungsfaktor beachten !)

Endstufe PA: Vermeidung von Störungen

Von großer Bedeutung bei allen HF-Verstärkern und besonders bei Endstufen ist die Verhinderung von **Selbsterregung**. Selbsterregung entsteht dadurch, dass HF vom Ausgang zurück zum Eingang gelangt. (**Rückkopplung**; hier **Mittkopplung**) Hat diese rückgekoppelte HF die richtige Phasenlage und ist groß genug, so wird die Endstufe zum Schwingen angeregt.

Eine weitere Gefahr ist die Schwingneigung der Röhren bei hohen Frequenzen. Vor allem bei Trioden ist der **Huth-Kühn Effekt** (= Rückkopplung der HF von der Anode zum Gitter, bedingt durch die Gitter-Anoden Kapazität) so stark, dass Selbsterregung eintritt. Die dabei erzeugten Schwingungen liegen meist nicht auf der Sendefrequenz.

Gegen all diese „Dreckeffekte“ muss man Maßnahmen ergreifen. Aus diesem Grund muss großer Wert gelegt werden auf:

- Solide mechanische Konstruktion
- Abschirmbleche
- Kurze und gerade HF Leitungen
- Abblockung der Versorgungsspannung mit Drosseln oder Ferrit-Perlen

Ausgangsleistung und Wirkungsgrad

Endstufen sind zur Leistungserzeugung da. Jedoch ist „Leistung“ nicht gleich „Leistung“. Man unterscheidet:

Ausgangsleistung = Output = P_{out}

Leistung, die an die Antenne abgegeben wird

Achtung!

Leistung aus der Stromversorgung.
Nicht Steuerleistung

Eingangsleistung = Input = P_{in}

Leistung, die von der Endstufe aus dem Netz (Batterie) entnommen wird. Sie ist die Summe aller im Gerät vorkommenden Leistungen.

Anoden/Kollektor-Verlustleistung = P_v

Leistung, die an der Anode / am Kollektor in Wärme umgesetzt wird.

$$P_v = P_{in} - P_{out};$$

Das Verhältnis von Ausgangsleistung zu Eingangsleistung wird als Wirkungsgrad bezeichnet. Der Wirkungsgrad jedes Gerätes ist immer kleiner als 1 bzw. 100%

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}; \text{ bzw. } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\%;$$

Ausgangsleistung und Kenngrößen

Eine Amateurfunkstation besteht immer aus Sender + Antenne. Somit macht es Sinn die Ausgangsleistung auf das gesamte System zu beziehen. Dadurch entstehen zwei neue Definitionen:

ERP (effective radiated power)

Die ERP (effektive Strahlungsleistung) ist das Produkt aus der Leistung, die unmittelbar der Antenne zugeführt wird und dem Antennengewinn in einer Richtung, bezogen auf den **Halbwellendipol**.

EIRP (effective isotrop radiated power)

Die EIRP ist das Produkt aus der Leistung, die unmittelbar der Antenne zugeführt wird und dem Antennengewinn in einer Richtung, bezogen auf den **isotropen Strahler**.

$$ERP/EIRP = (P_{sender} - P_{verlust}) * G_{antenne}$$

Der beste HF-Verstärker ist die Antenne !

Es kann auch mit kleiner Leistung (QRP) große Reichweiten erzielt werden. Dazu muss eine entsprechend leistungsfähige Antenne verwendet werden um eine entsprechend hohe ERP / EIRP zu erzeugen. Bei Nutzung von Verstärkern steigt die Gefahr, dass die Bandbreite größer wird und mehr Störungen erzeugt werden.

TG301 Ein Sender mit 1 Watt Ausgangsleistung ist an eine Endstufe mit einer Verstärkung von 10 dB angeschlossen. Wie groß ist der Ausgangspegel der Endstufe?

A 10 dBW

B 1 dBW

C 3 dBW

D 20 dBW

TG302 Ein HF-Leistungsverstärker hat eine Verstärkung von 16 dB. Welche HF-Ausgangsleistung ist zu erwarten, wenn der Verstärker mit 1 W HF-Eingangsleistung angesteuert wird?

A 40 W

B 4 W

C 16 W

D 20 W

TG303 Die Ausgangsleistung eines Senders ist

A die unmittelbar nach dem Senderausgang messbare Leistung, bevor sie Zusatzgeräte (z.B. Anpassgeräte) durchläuft.

B die unmittelbar nach dem Senderausgang gemessene Differenz aus vorlaufender und rücklaufender Leistung.

C die unmittelbar nach den erforderlichen Zusatzgeräten (z.B. Anpassgeräte) messbare Leistung.

D die unmittelbar nach dem Senderausgang gemessene Summe aus vorlaufender und rücklaufender Leistung.

TG304 Die Spitzenleistung eines Senders ist die

A HF-Leistung bei der höchsten Spitze der Hüllkurve.

B Durchschnittsleistung einer SSB-Übertragung.

C Spitzen-Spitzen-Leistung bei den höchsten Spitzen der Modulationshüllkurve.

D Mindestleistung bei der Modulationsspitze.

TG305 Eine Verdopplung der Leistung entspricht wie viel dB?

A 3 dB B 6 dB C 1,5 dB D 12 dB

TG306 Die Ausgangsleistung eines FM-Senders

A wird nicht durch die Modulation beeinflusst.

B ändert sich durch die Modulation.

C beträgt bei fehlender Modulation Null.

D verringert sich durch Modulation auf 70 %.

TG307 Wie wird in der Regel die hochfrequente Ausgangsleistung eines SSB-Senders vermindert?

A Durch die Verringerung der NF- Ansteuerung und/oder durch Einfügung eines Dämpfungsgliedes zwischen Steuersender und Endstufe.

B Durch die Veränderung des Arbeitspunktes der Endstufe.

C Durch die Verringerung des Hubes und/oder durch Einfügung eines Dämpfungsgliedes zwischen Steuersender und Endstufe.

D Nur durch Verringerung des Hubes allein.

Isotroper Strahler

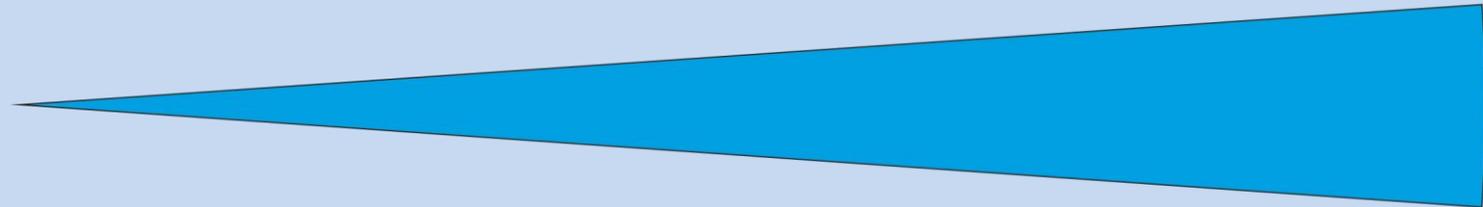
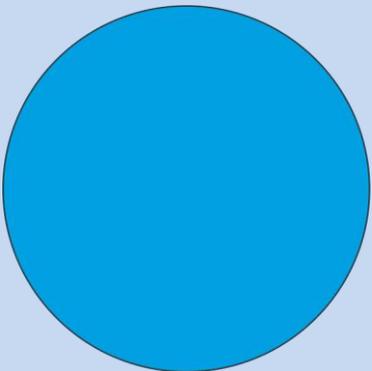
Wikipedia sagt:

Ein Isotropstrahler (engl. isotropic antenna), auch Kugelstrahler genannt, ist ein Modell bzw. die hypothetische Idealisierung eines Punktstrahlers, der isotrop (d. h. gleichmäßig in alle Raumrichtungen) und verlustlos sendet bzw. empfängt. Er sendet transversale Kugelwellen aus. Die gesamte Sendeleistung P_{TX} gleichmäßig auf die Fläche A einer Kugel, die Leistungsdichte S_0 im Abstand r beträgt daher:

$$S_0 = \frac{P_{TX}}{4\pi * r^2};$$

Der Isotrope Strahler ist ein theoretischer Ansatz. Er ist in der Praxis nicht realisierbar, da jede reelle Antenne eine gewisse Charakteristik hat. Als Bezug für den Antennengewinn ist der isotrope Strahler sehr sinnvoll. Der resultierende Antennengewinn wird in dBi angegeben.

z.B. ein $\lambda/2$ Dipol hat in Richtung senkrecht zur Antennenachse einen Gewinn von 2,15 dBi.



Jeder aktive Verstärker hat eine nichtlineare Kennlinie.

Auch wenn ein Verstärker im A-Betrieb arbeitet, so bewegt sich sein Arbeitspunkt immer noch auf einer nichtlinearen Kennlinie. Somit entstehen in jeder Verstärkerstufe Oberwellen. Diese Oberwellen müssen so stark abgeschwächt (= gedämpft) werden, dass sie nicht mehr stören. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten:

Bandpass (Bandfilter)

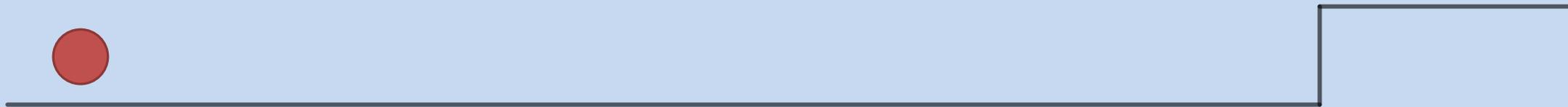
Sie lassen nur einen bestimmten Frequenzbereich durch. Alle andere Frequenzen werden stark gedämpft.

Induktive Auskopplung

Da Induktivitäten (Spulen) einen Widerstand haben, der mit der Frequenz steigt, werden die Oberwellen stärker gedämpft als die Grundwelle.

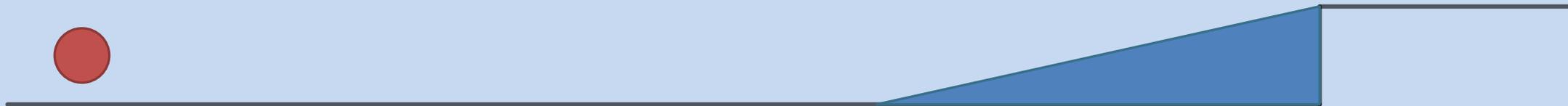
PI-Filter

Das PI-Filter dämpft Frequenzen, die über der Sendefrequenz liegen sehr stark.



Leistung wird reflektiert -> schlechtes SWR -> keine Abstrahlung

Ohne Anpassung



Mit Anpassung

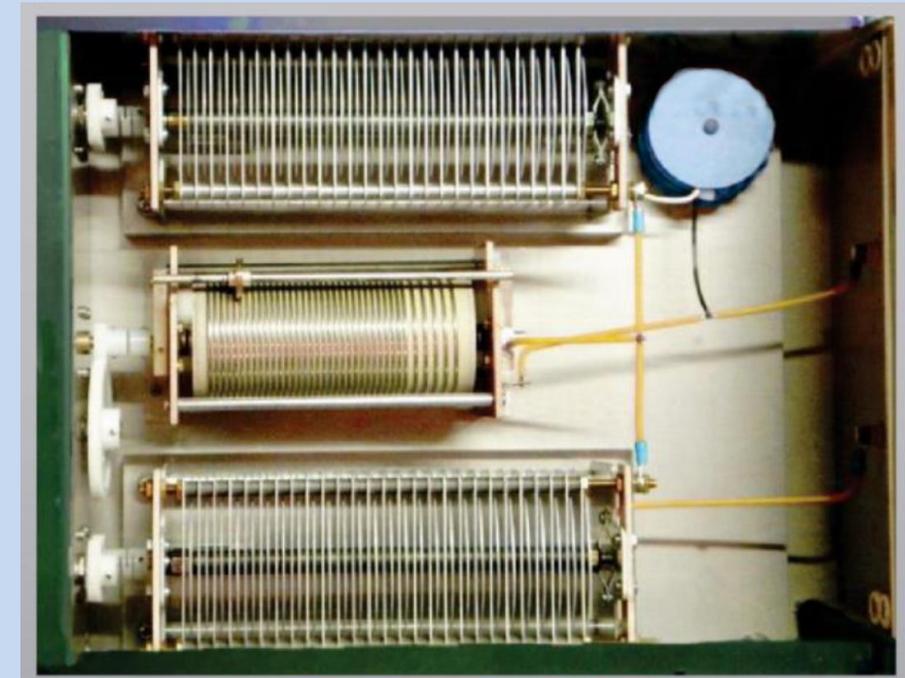
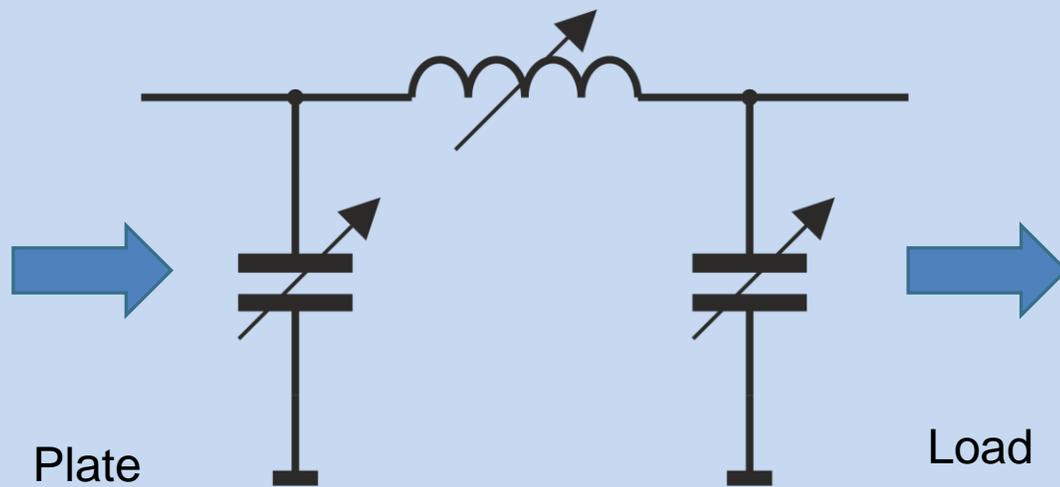
Leistung wird abgestrahlt -> gutes SWR -> geringe Belastung der Endstufe

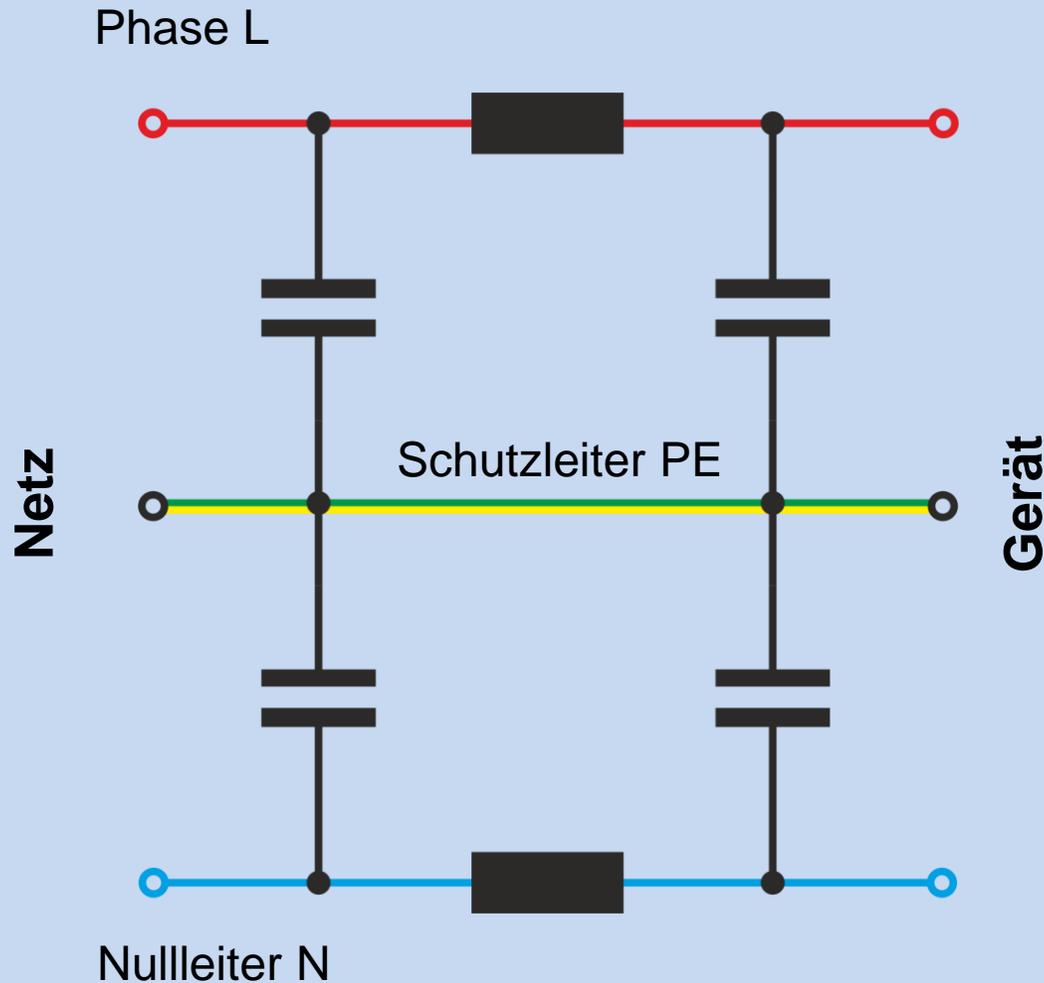
PI-Filter / Matchbox

Legt man ein **PI-Filter** so aus, dass die beiden Kondensatoren und die Spule **durchstimmbar** sind, so erhält man ein **Anpass-Netzwerk** (= Matchbox) Mit dieser Schaltung kann man den Senderausgang und den Antenneneingang optimal aufeinander abstimmen. (SWR 1:1)

Dadurch erreicht man,

- dass die optimale Sendeleistung an die Antenne abgegeben wird.
- dass die rücklaufende Leistung minimal ist und somit die Endstufe am geringsten belastet wird.
- dass die störenden Abstrahlungen auf der Speiseleitung der Antenne auf ein Minimum reduziert werden.





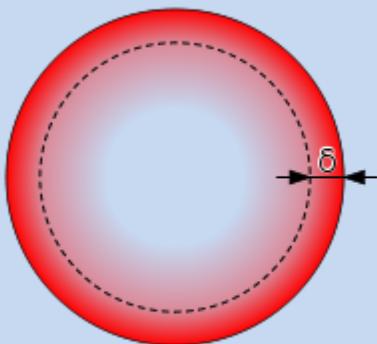
Mit der Erzeugung eines „sauberen“ Ausgangssignals allein sind jedoch nicht alle Störungen zu vermeiden. Viele Störungen entstehen durch Direkteinstrahlung von HF in elektrische Geräte. Diese Störungen nehmen mit Erhöhung der Leistung zu. Die elektrischen Leitungen und Metallteile in den gestörten Geräten wirken wie Antennen. Sie fangen die HF ein. Diese HF wird in den Halbleiter-Bauelementen gleichgerichtet und an andere Teile weitergegeben. (z.B. an Verstärker)

Häufig werden Störungen auch über das Stromnetz geleitet. Bei Einstrahlung ins Netz hilft ein Tiefpass Filter, das direkt in die Netz-Zuführung des Senders geschaltet wird.

Erinnerung: Der Skin-Effekt

Der **Skin-Effekt** (*Skin* = Haut) ist ein **Stromverdrängungs-Effekt** in von höherfrequentem Wechselstrom durchflossenen elektrischen Leitern, durch den die Stromdichte im Inneren eines Leiters niedriger ist als in äußeren Bereichen.

Die Ursache für den Skin-Effekt ist, dass die in den Leiter eindringenden Wechselfelder aufgrund der hohen Leitfähigkeit des Materials schon vor dem Erreichen des Leiterinneren weitgehend gedämpft werden.



Bei der **Energieübertragung** durch einen elektrischem Leiter mit Wechselstrom dringt ein Teil der elektromagnetischen Welle (Energie) in den Leiter ein.
Das **bindet die Welle an den Leiter**.

Frequenzabhängige Eindringtiefe (Abfall auf $1/e$, ca. 37 %) in einer Kupferleitung

Frequenz	Eindringtiefe
5 Hz	29,7 mm
50 Hz	9,38 mm
5 MHz	29,7 μm
16 MHz	16,6 μm
50 MHz	9,38 μm
160 MHz	5,24 μm
500 MHz	2,97 μm
1,6 GHz	1,66 μm
5 GHz	938 nm

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Skin-Effekt>

Beseitigung von Störungen 2

Lange Leitungen, Verstärkereingänge o.ä. kann man durch Einfügen von Sperr- oder Saugkreisen entstören. Auch bei der Wahl der richtigen Antenne und ihrer Aufstellung sollte man die Möglichkeit von Direkteinstrahlung und Oberwellenerzeugung bedenken. So erzeugen unsymmetrische Antennen (z.B. Groundplane) mehr Störungen als symmetrische Antennen (z.B. Dipol). Allgemein soll die Speisung der Antenne über ein Koaxialkabel und ein Symmetrierglied geschehen.

Antennen und ihre Zuleitungen müssen immer so aufgebaut oder verlegt werden, dass sie von Netzleitungen, Fernsehantennen, Telefonleitungen o.ä. möglichst weit entfernt sind. Viele Störungen lassen sich dadurch vermeiden, dass man die Antenne ausreichend erdet und zwar nicht an dem Erdungspunkt an dem die anderen Erdleitungen (z.B. Telecom, Kabelfernsehen) zusammenlaufen.

Manche Störungen lassen sich aber auch nicht verhindern!

In diesen Fällen muss der Amateur die Sendung auf diesen Frequenzen zu gewissen Zeiten einstellen. Wenn der Fall eintritt, dass BCI, TVI oder Direkteinstrahlung produziert werden, so sollte man sich mit anderen Amateuren in Verbindung setzen, um zu erfahren ob ein ähnlicher Störfall schon aufgetreten ist. Auch gibt es in den meisten Ortsverbänden Literatur über dieses Thema.

In hartnäckigen Fällen sollte man aber auch nicht davor zurückschrecken die **Bundesnetzagentur** zu benachrichtigen, um so Streitigkeiten zu klären.

Einschub: Fragenkatalog Klasse E

TG501 Wodurch werden Tastklicks bei einem CW Sender hervorgerufen?

A Durch zu steile Flanken der Tastimpulse

B Durch prellende Kontakte der verwendeten Taste

C Durch direkte Tastung der Oszillatorstufe

D Durch ein unterdimensioniertes Netzteil, dessen Spannung beim Auftasten kurzzeitig zusammenbricht

TG502 Welches Filter wäre zwischen Senderausgang und Antenne eingeschleift am besten zur Verringerung der Oberwellenausstrahlungen geeignet?

A Ein Tiefpassfilter

B Ein Hochpassfilter

C Ein Antennenfilter

D Ein Sperrkreisfilter

TG503 Um Nachbarkanalstörungen zu minimieren, sollte die Übertragungsbandbreite bei SSB

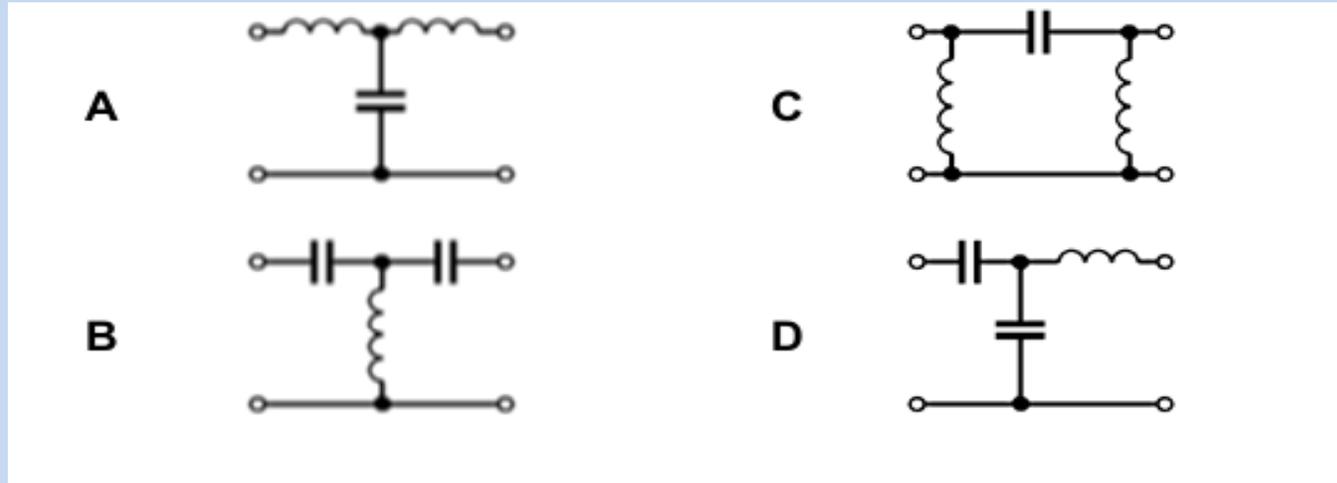
A höchstens 3 kHz betragen.

B höchstens 5 kHz betragen.

C höchstens 10 kHz betragen.

D höchstens 15 kHz betragen

TG504 Welche Schaltung wäre zwischen Senderausgang und Antenne eingeschleift am besten zur Verringerung der Oberwellenausstrahlungen geeignet?



TG505 Bei der erstmaligen Prüfung eines Senders sollten die Signale zunächst

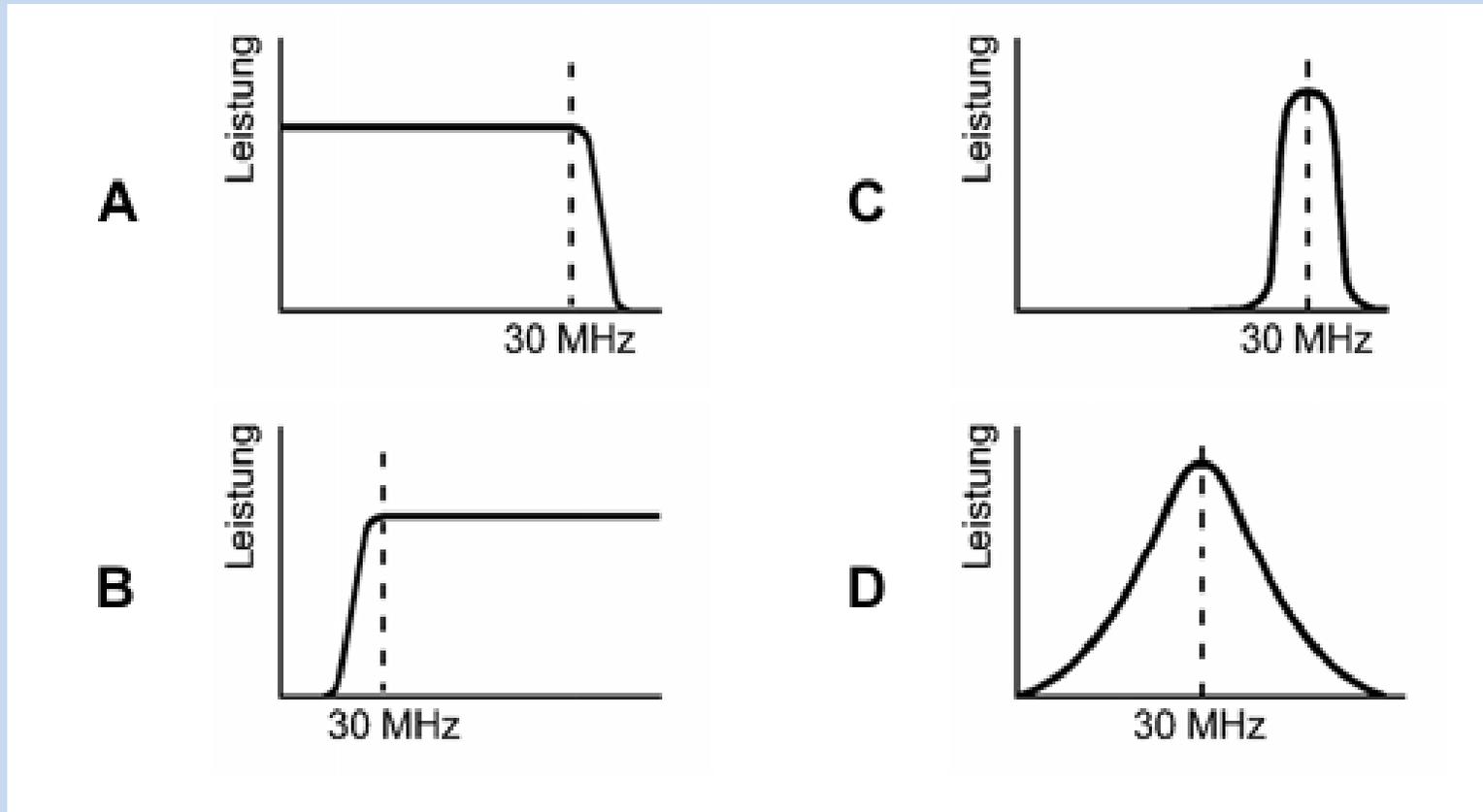
A in eine künstliche 50- Ω -Antenne eingespeist werden.

B in eine Antenne eingespeist werden.

C in einen Kondensator mit einem Blindwiderstand von 50 Ω eingespeist werden.

D in einen 50- Ω -Drahtwiderstand eingespeist werden.

TG506 Welche Filtercharakteristik würde sich am besten für einen KW-Mehrband-Sender eignen?



Ortsverband Amberg U01



Viel Erfolg bei der Prüfung

Klaus Scheibel DF5RO

Weitergabe ohne Änderung und mit Angabe der Quelle erlaubt

Diese Folien liegen auf www.r-a-maker.de zum Online Arbeiten oder als pdf zum Download.