



P&S Amateurfunkkurs HS 2016

Leitungen & Antennen

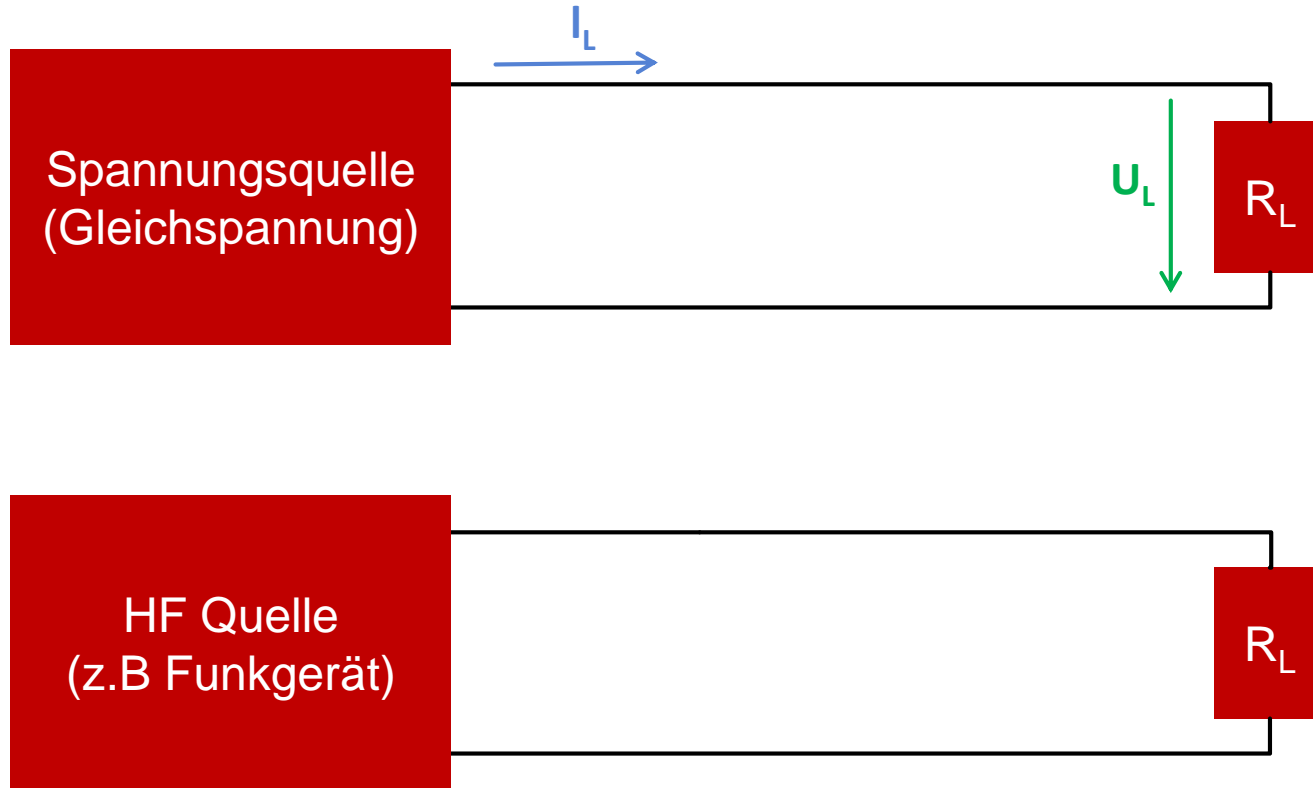
Marco Zahner (mzahner@ethz.ch)

Übersicht

- **HF Leitungen: Wellenimpedanz**
- **Impedanz und Anpassung**
- **Was ist eine Antenne**
- **Der Dipol**
- **Stromverteilungen**
- **Richtdiagramm**
- **Antennengewinn und ERP**

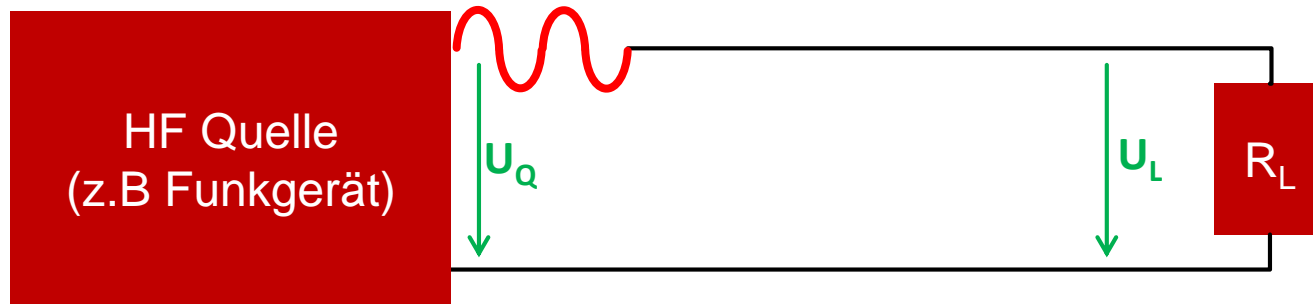
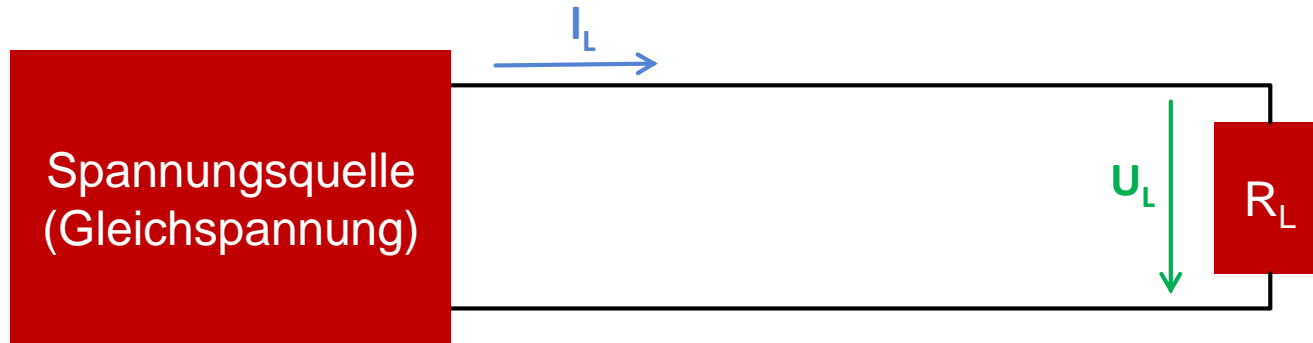
HF Leitungen und Wellenimpedanz

Wie wird Leistung von A nach B übertragen ?



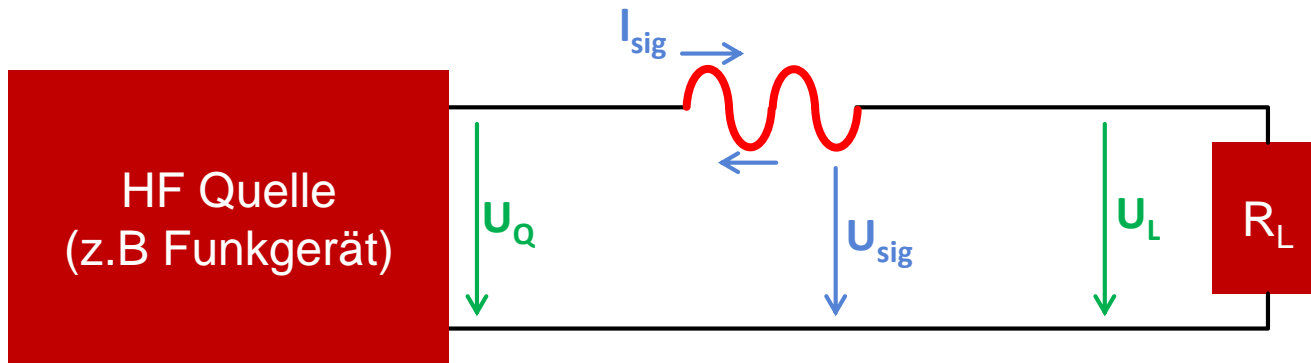
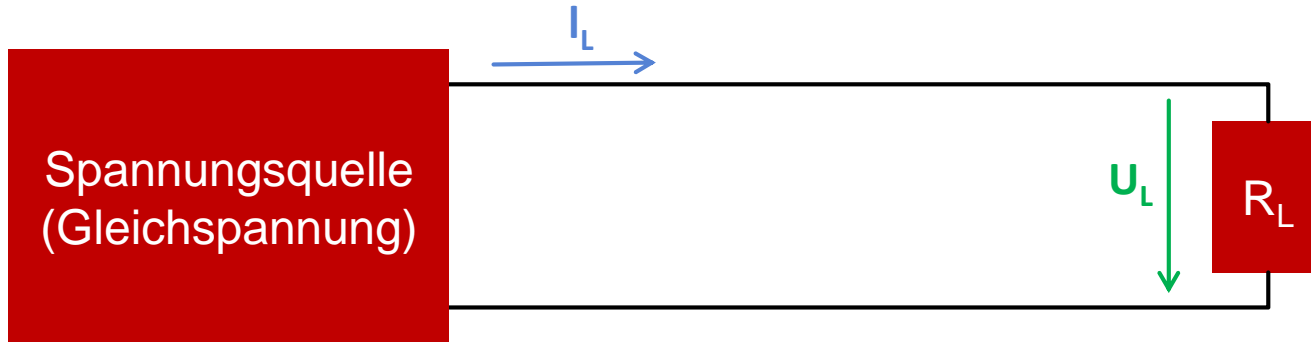
HF Leitungen und Wellenimpedanz

Wie wird Leistung von A nach B übertragen ?



HF Leitungen und Wellenimpedanz

Wie wird Leistung von A nach B übertragen ?

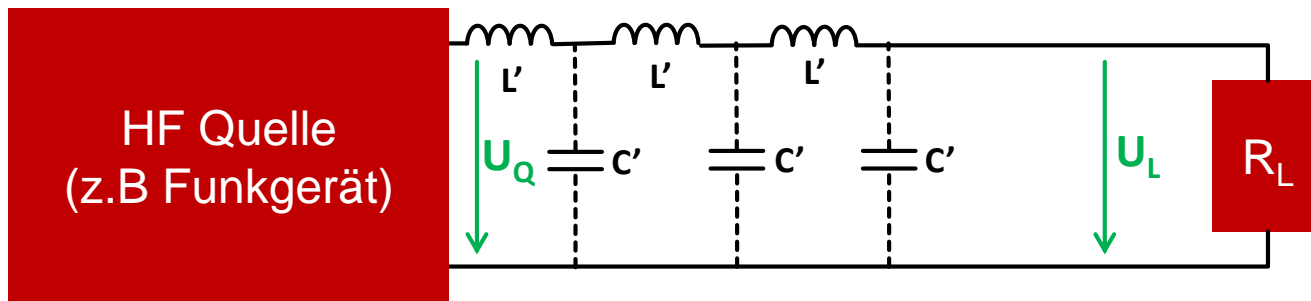
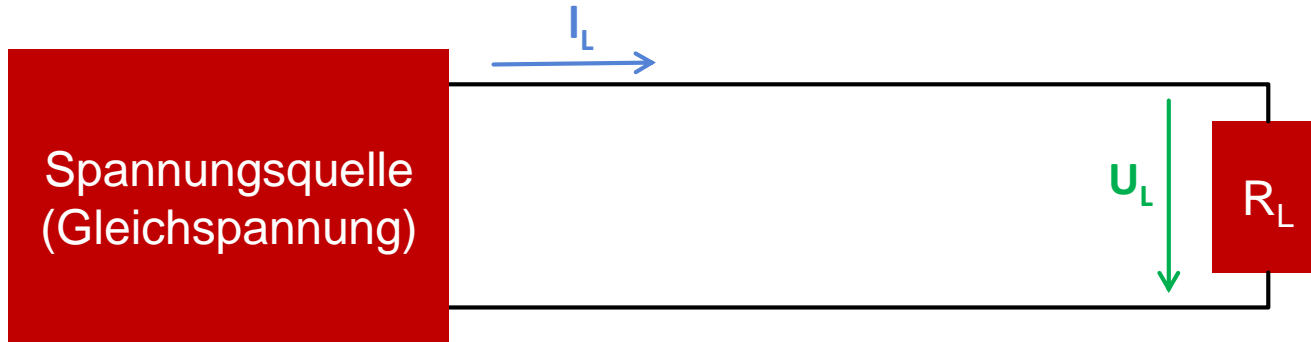


$$Z_{Leitung} = \frac{U_{sig}}{I_{sig}}$$

- > Energie wird in der Leitung zwischengespeichert
- > Spannung entlang der Leitung ist nicht überall gleich!

HF Leitungen und Wellenimpedanz

Wie wird Leistung von A nach B übertragen ?



$$Z_{\text{Leitung}} = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

C' Kapazitätsbelag [F/m]
 L' Induktivitätsbelag [H/m]

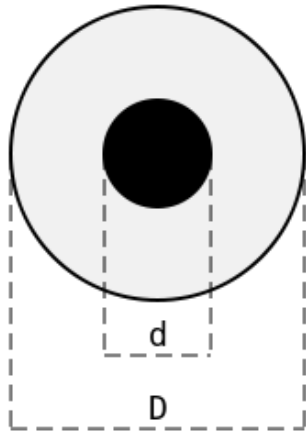
- > Energie wird in der Leitung zwischengespeichert
- > Spannung entlang der Leitung ist nicht überall gleich!

HF Leitungen und Wellenimpedanz

Die Wellenimpedanz einer Leitung ist

- Unabhängig von der Leitungslänge
- Durch Geometrie und Material der Leitung bestimmt

Beispiel: Koaxialleitung:



$$L' = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

$$C' = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(D/d)}$$

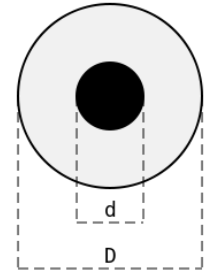
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

Signalgeschwindigkeit in der Leitung

Typisch: 0.6 – 0.9 fache Lichtgeschwindigkeit (Verkürzungsfaktor)

Wellenimpedanz: Wieso 50 Ω ?

Bei gegebenem Durchmesser D einer luftgefüllten Koaxleitung:



Wellenimpedanz	D : d	Eigenschaften
30 Ohm	1.7 : 1	Höchste (Peak-) Leistungsübertragung möglich
60 Ohm	2.7 : 1	Höchste Durchbruchspannung
77 Ohm	3.6 : 1	Geringste Dämpfung pro Länge

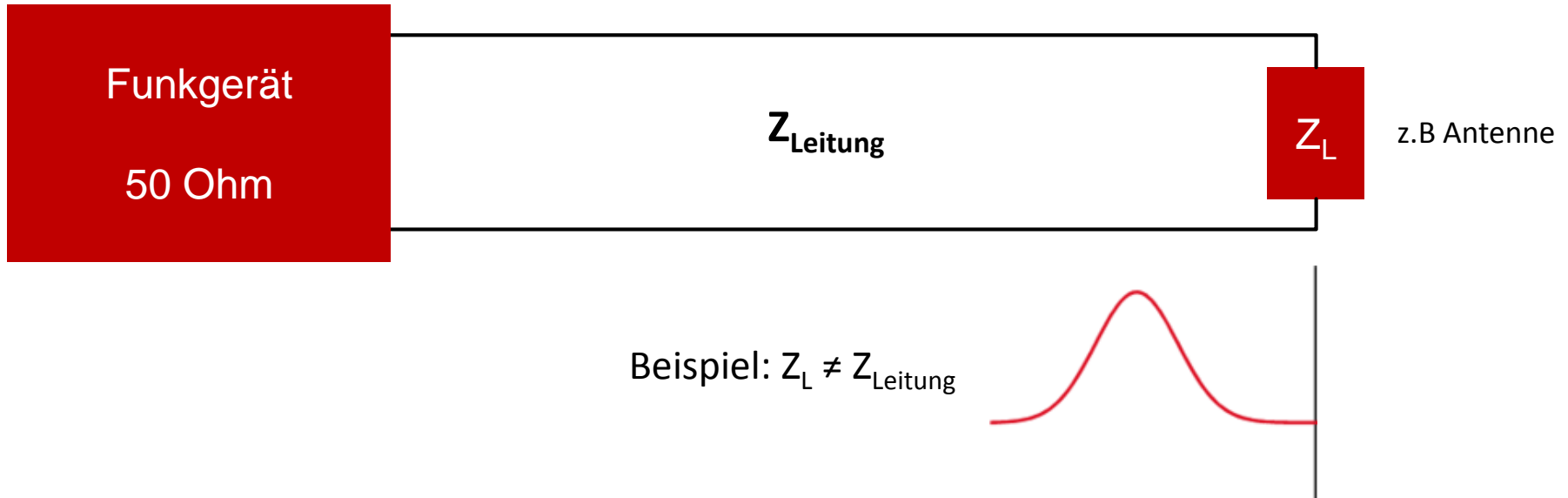
Was sich heute durchgesetzt hat:

50 Ohm für Funkgeräte, WLAN, Laborausrüstung etc.

75 Ohm für Video, TV, Kabelfernsehen

Wellenimpedanz: Anpassung und Reflexion

Beim Übergang verschiedener Impedanzen wird ein Teil der Leistung reflektiert
 -> Last ist schlecht angepasst



Lastimpedanz	Reflexion an einer 50 Ω Leitung		
	Spannung	Leistung	
0 Ω (Kurzschluss)	- 1.00	100 %	0 dB
20 Ω	- 0.43	19 %	-7.4 dB
40 Ω	- 0.11	1.2 %	-19 dB
50 Ω	0	0 %	-inf dB
75 Ω	+ 0.20	4 %	-14 dB
100 Ω	+ 0.33	11 %	-9.5 dB
Leerlauf	+ 1.00	100 %	0 dB

VSWR: Mass der Fehlanpassung

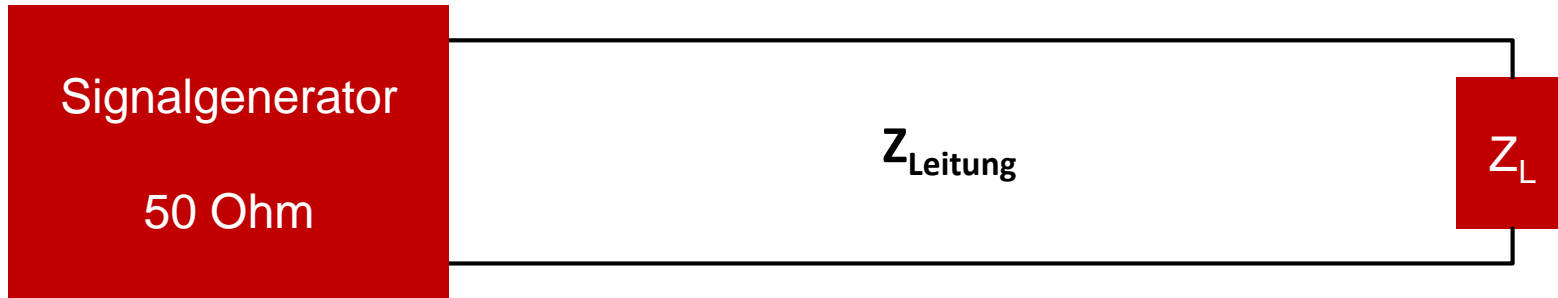
$$VSWR = \frac{U_{\text{hin}} + U_{\text{zurueck}}}{U_{\text{hin}} - U_{\text{zurueck}}}$$

VSWR = 1
Perfekt angepasst

VSWR = ∞
Vollständige Reflexion

Wellenimpedanz: Anpassung

Beim Übergang verschiedener Wellenimpedanzen wird ein Teil der Leistung reflektiert



1.66.

HB9

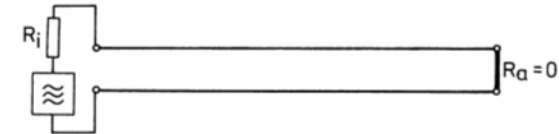
Warum muss die Ausgangsimpedanz eines Senders an die Eingangsimpedanz der Antenne angepasst werden?

- a) Damit eine maximale Leistungsübertragung (Leistungsanpassung) erfolgt.
- b) Damit gleichartige Stecker und Kabel verwendet werden können.
- c) Damit die Beschaltung einfacher wird.
- d) Damit die Antennenvorschriften eingehalten werden.

HF Leitunge: Lecher-Leitung

Lecherleitung

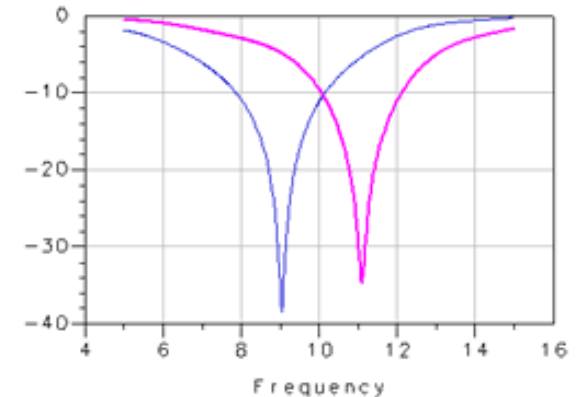
Ein kurzes Stück Leitung mit offenem oder kurzgeschlossenem Ende nennt man Lecher-Leitung.



Typische Anwendung: $\lambda/4$ Leitung

Notchfilter / Saugkreis

«Stubs»

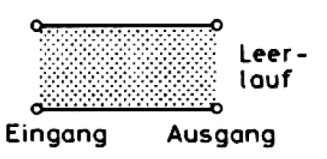
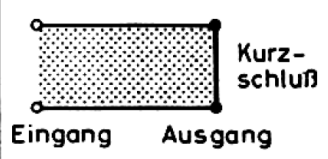
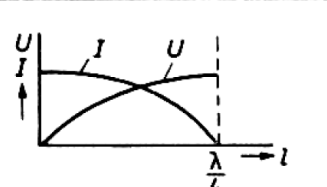
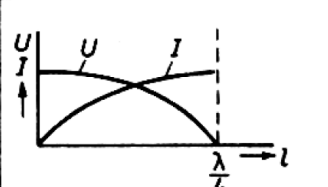
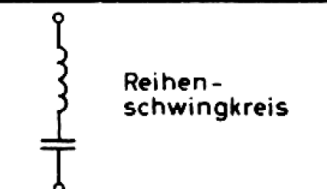
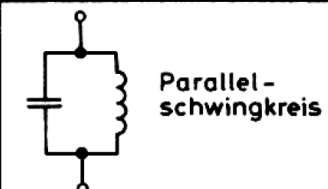


Vorteile

- Keine Bauteile (nur ein Leitungsstück)
- Einfaches Abstimmen (Länge)
- Auch für hohe und sehr hohe Frequenzen geeignet

HF Leitungen und Wellenimpedanz

$\lambda/4$ Leitung als Filter

Leitungs- abschluß	 Leer- lauf	 Kurz- schluß
Strom- und Spannungs- verteilung		
Elektrisches Verhalten am Eingang	 Reihen- schwingkreis	 Parallel- schwingkreis

$\lambda/4$ Leitung mit offenem Ende

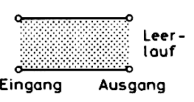
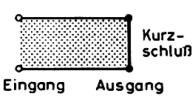
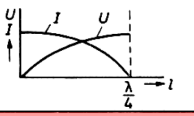
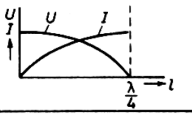

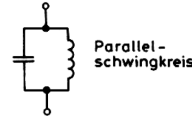
Eingangswiderstand	niedrig
Bei abweichender Frequenz	Widerstand nimmt zu
Verhält sich wie	Serie-Schwingkreis

$\lambda/4$ Leitung mit kurzgeschlossenem Ende

Eingangswiderstand	hoch
Bei abweichender Frequenz	Widerstand nimmt ab
Verhält sich wie	parallel-Schwingkreis

HF Leitungen und Wellenimpedanz

$\lambda/4$ Leitung als Filter

Leitungs- abschluß	 Leer- lauf	 Kurz- schluß
Strom- und Spannungs- verteilung		
Elektrisches Verhalten am Eingang	 Reihens- schwingkreis	 Parallels- schwingkreis

6.31.

HB9

Aus einem Koaxialkabel mit einem Verkürzungsfaktor von 0.8 bauen Sie einen Saugkreis (Notch) für 145.000MHz (Stub-Methode).

Wie lang muss dieser Stub sein und wie wird das Ende ausgeführt?

- 41.4cm, Ende offen
- 41.4cm, Ende kurzgeschlossen
- 51.7cm, Ende offen
- 51.7cm, Ende kurzgeschlossen



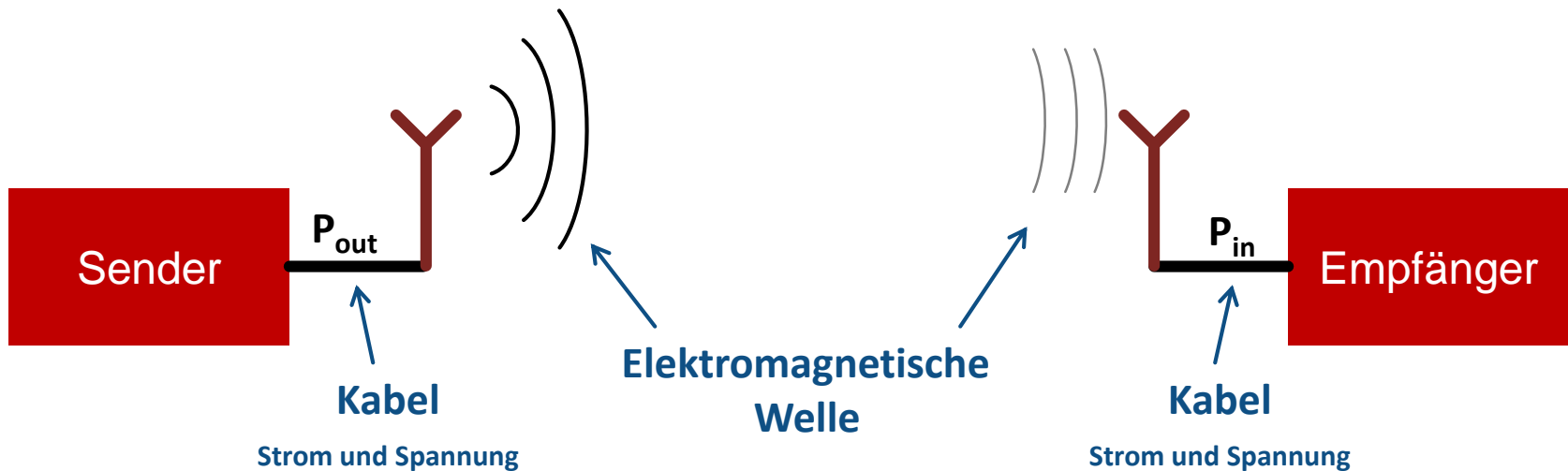
$$l = \frac{1}{4} \cdot \frac{c_0}{f} \cdot k$$

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{145 \cdot 10^6 \text{ Hz}} \cdot 0.8 = 41.38 \text{ cm}$$

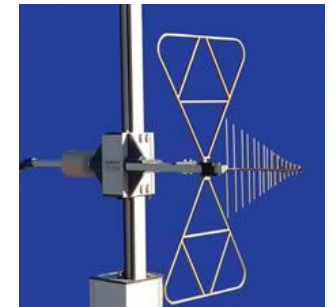
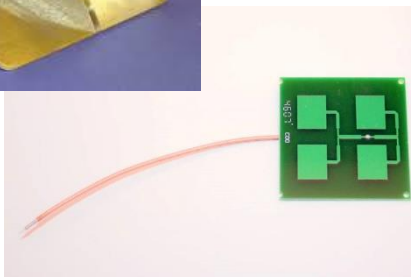
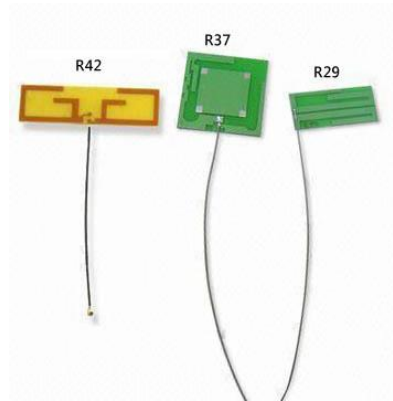
Antennen

Was ist eine Antenne ?

Antennen haben die Aufgabe, hochfrequente Wechselspannung in Form eines elektromagnetischen Feldes auszustrahlen bzw. umgekehrt.



Was ist eine Antenne ?



Der Dipol

Halbwellendipol: Länge = $\lambda/2$ (in der Realität geringfügig kürzer)

$$\lambda = c_0 / f$$



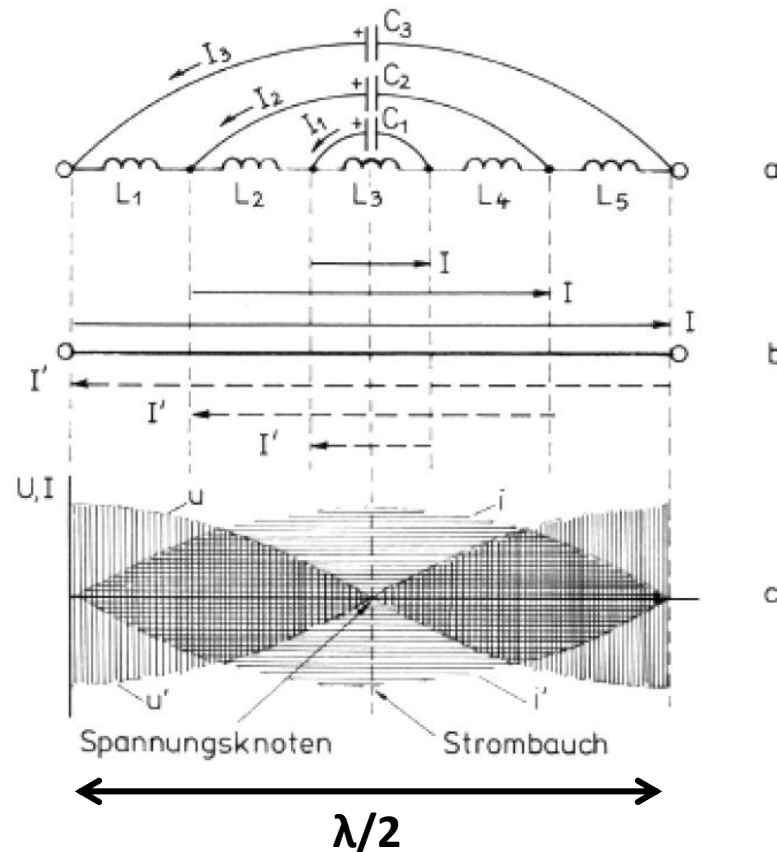
http://img.directindustry.de/images_di/photo-g/dipolantenne-35071-2825731.jpg

Eigenschaften

- Referenzantenne
- Sehr einfach aufgebaut
- Länge abhängig von der Betriebsfrequenz f

Der Dipol

Strom- und Spannungsverteilung im Halbwellendipol:



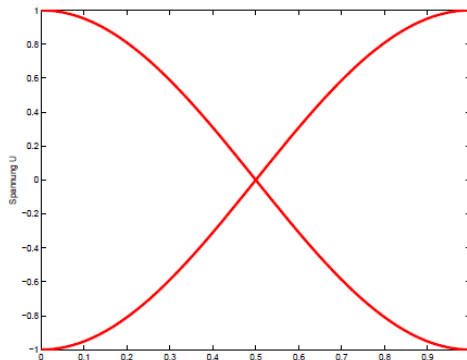
Der Dipol

Spannungsverteilung bei anderen Frequenzen

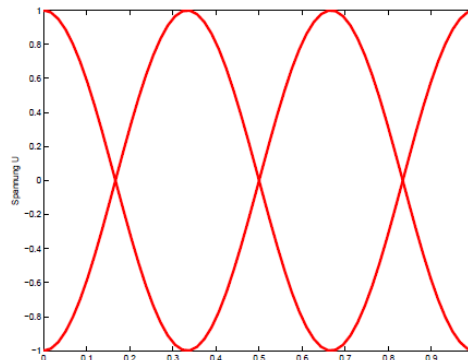
Ein Dipol kann auch auf anderen Frequenzen in Resonanz betrieben werden.

Ein (in der Mitte gespeister) Dipol hat auch eine Resonanz bei **ungeraden Vielfachen** seiner Grundfrequenz

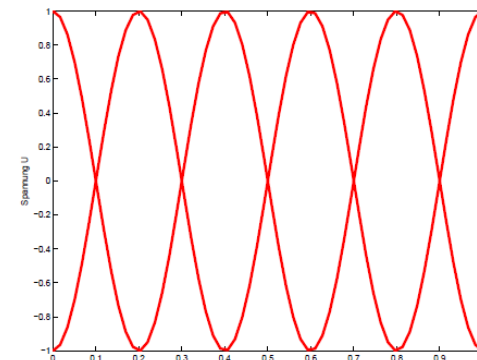
Die Abstrahlcharakteristik ist jedoch unterschiedlich



f_0 ($l = \lambda/2$)



$3f_0$ ($l = 3\lambda/2$)

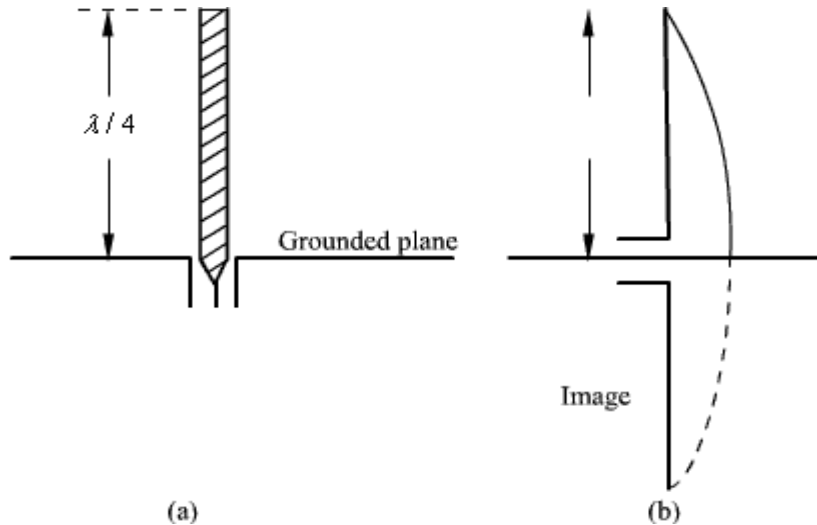


$5f_0$ ($l = 5\lambda/2$)

Die Monopolantenne ($\lambda/4$ -Antenne)

Ein Arm des Dipols kann durch eine leitfähige Fläche ersetzt werden

Die Resonanzfrequenz ist bei gleicher Länge halb so hoch wie beim Dipol



<http://nptel.ac.in/courses/117103065/modules/chap7/slides/slide34.htm>

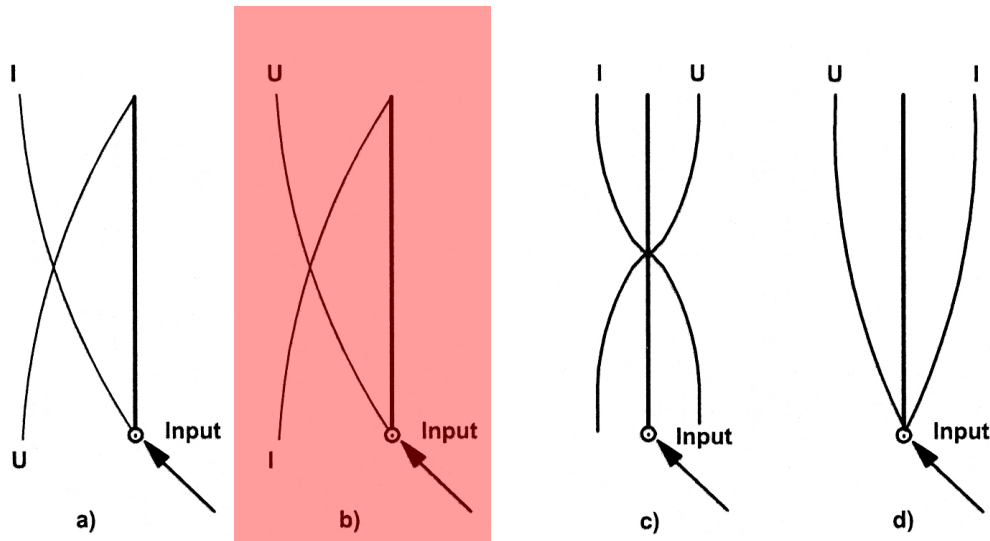


Die Monopolantenne ist auch bei **ganzzahligen Vielfachen** (1,2,3,...) seiner Grundfrequenz resonant.

Die Monopolantenne ($\lambda/4$ -Antenne)

Ein Arm des Dipols kann durch eine leitfähige Fläche ersetzt werden

Die Resonanzfrequenz ist bei gleicher Länge halb so hoch wie beim Dipol

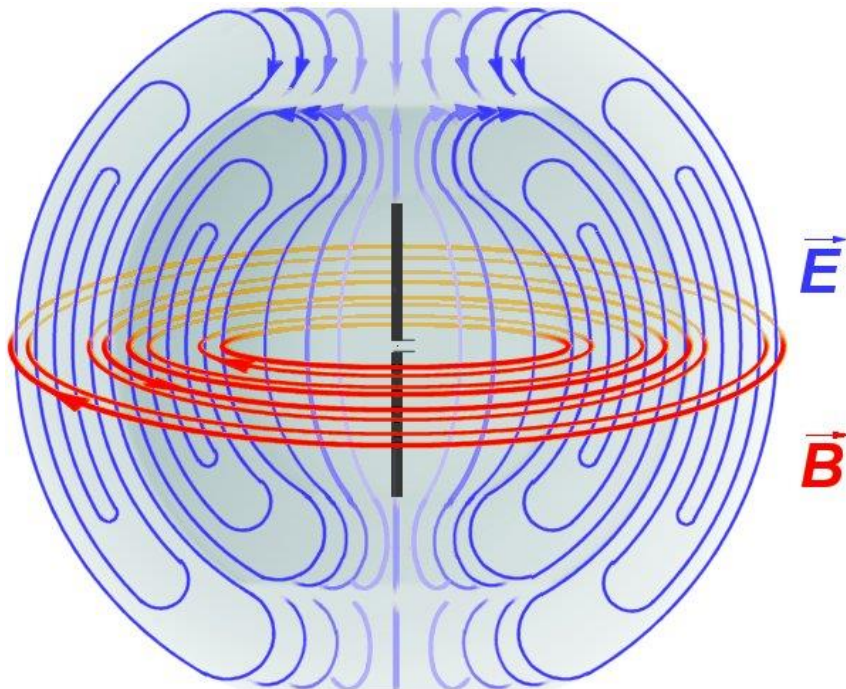


Die Monopolantenne hat auch eine Resonanz bei **ganzzahligen Vielfachen** (1,2,3,...) seiner Grundfrequenz

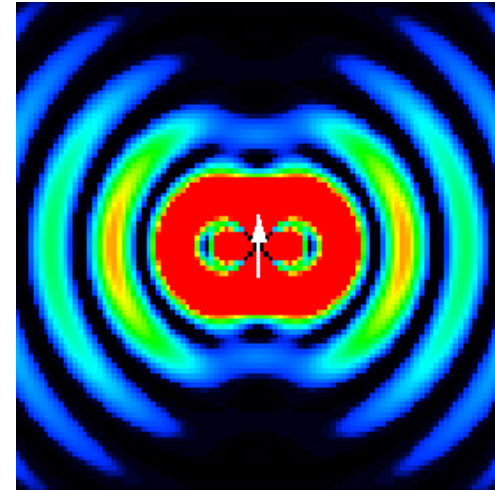
Das Richtdiagramm

Eine Antenne sendet nicht gleich stark in alle Richtungen

Beispiel: Dipol



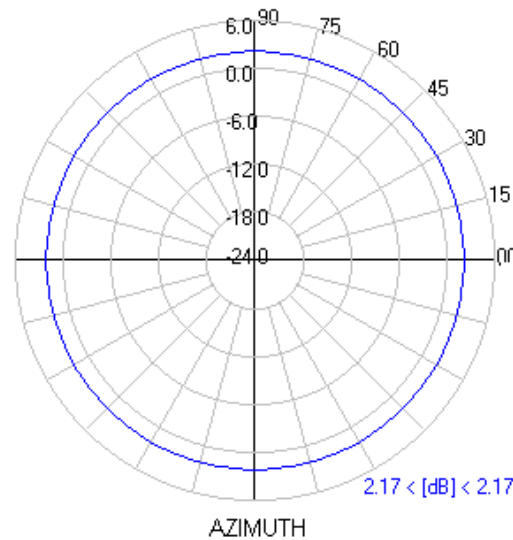
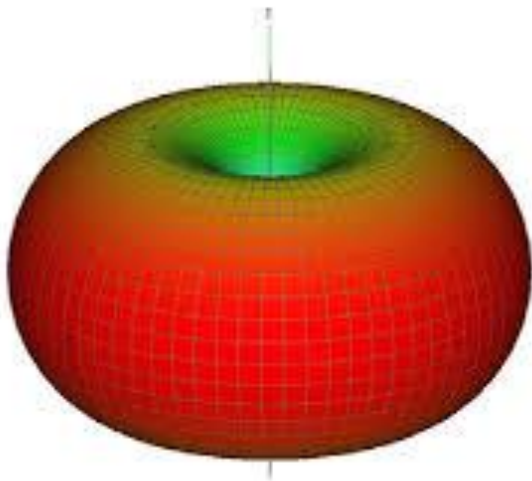
http://de.academic.ru/pictures/dewiki/70/Felder_um_Dipol.jpg



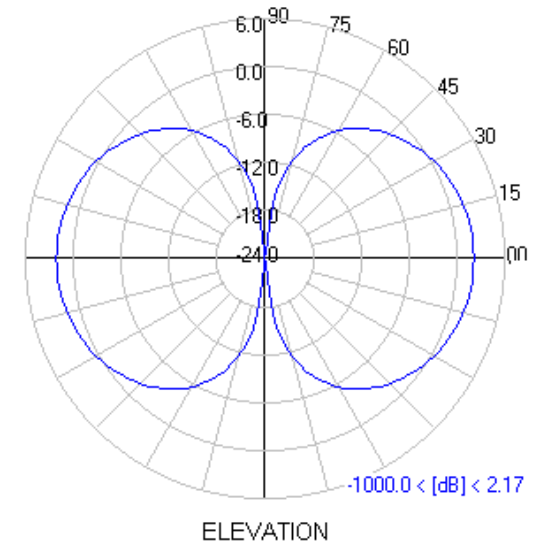
Das Richtdiagramm

Eine Antenne sendet nicht gleich stark in alle Richtungen

Beispiel: Dipol

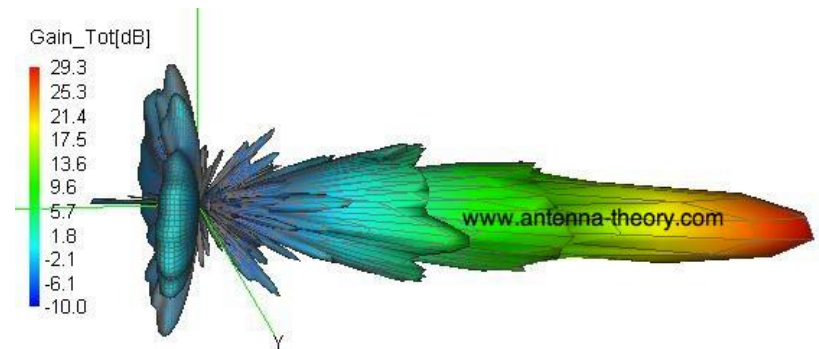
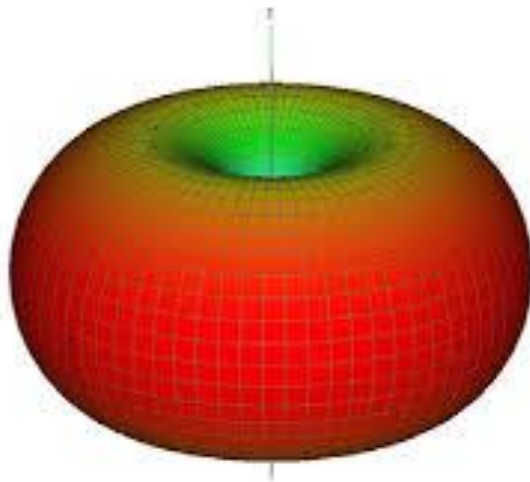


Von oben



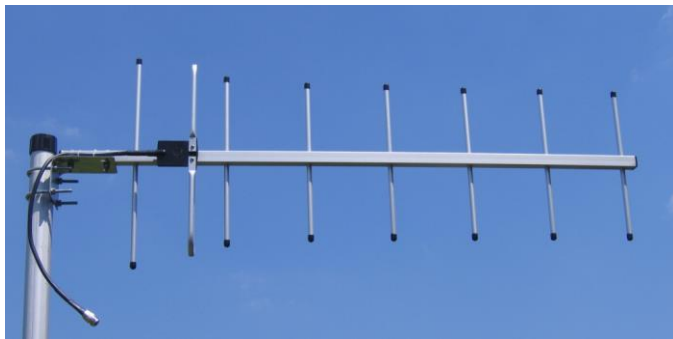
Von der Seite

Gerichtete und omnidirektionale Antennen



Gerichtete und omnidirektionale Antennen

Richtantennen



Yagi-Uda Antenne



Helixantenne

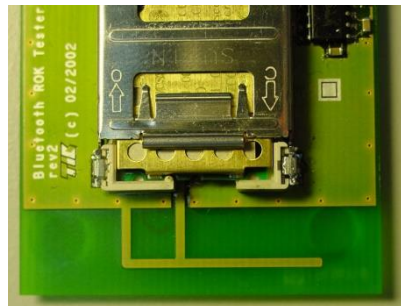


Hornantenne

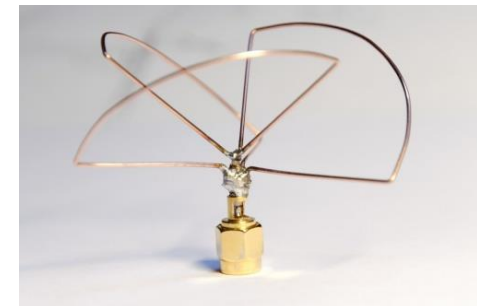
Omnidirektionale / isotrope Antennen



Dipolantenne



Inverted F Antenne (auf PCB)

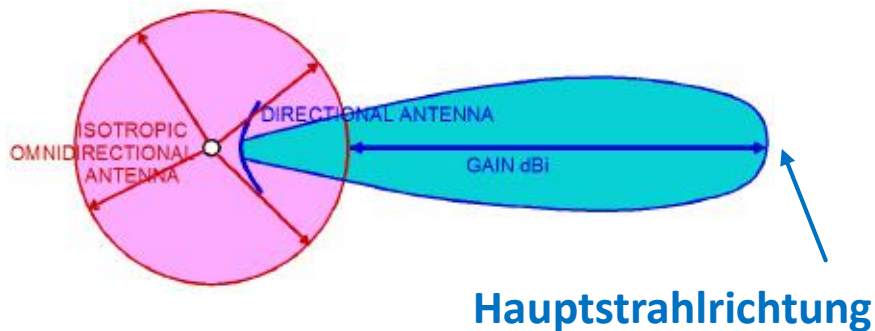


Cloverleaf Antenne

Antennengewinn

- Richtantennen: In Hauptabstrahlrichtung sieht eine Richtantenne wie eine mit höherer Leistung betriebene Dipolantenne aus. -> Gewinn!
- Der Gewinn bezeichnet das Verhältnis der abgestrahlten Leistungsdichte in Hauptstrahlrichtung gegenüber einer Dipolantenne bei gleicher Eingangsleistung.
- Gewinn nimmt zu, wenn mehrere Antennen zusammengeschaltet werden (Array)

Dipol vs. Richtantenne



Beispiele:

Dipolantenne	0 dBd
TV Dachantenne	8-12 dBd
TV Parabolantenne	30-40 dBd
Arecibo Radioteleskop	>70 dBd

Antennengewinn: ERP = Effective Radiated Power

- Richtantennen: In Hauptabstrahlrichtung sieht eine Richtantenne wie eine mit höherer Leistung betriebene Dipolantenne aus. -> Gewinn!
- Der Gewinn bezeichnet das Verhältnis der abgestrahlten Leistungsdichte in Hauptstrahlrichtung gegenüber einer Dipolantenne bei gleicher Eingangsleistung.

$$\text{ERP} = \text{Sendeleistung} \cdot \text{Antennengewinn}$$

Antennengewinn: ERP = Effective Radiated Power

6.16.

HB9

Eine Sendeanlage wird mit einer Strahlungsleistung von 10W ERP betrieben.

Wie gross ist die Strahlungsleistung, wenn Sie eine Antenne mit einem um 9dB grösseren Gewinn verwenden?

$$10 \text{ W} \cdot 10^{\frac{9}{10}} = 79.43 \text{ W}$$