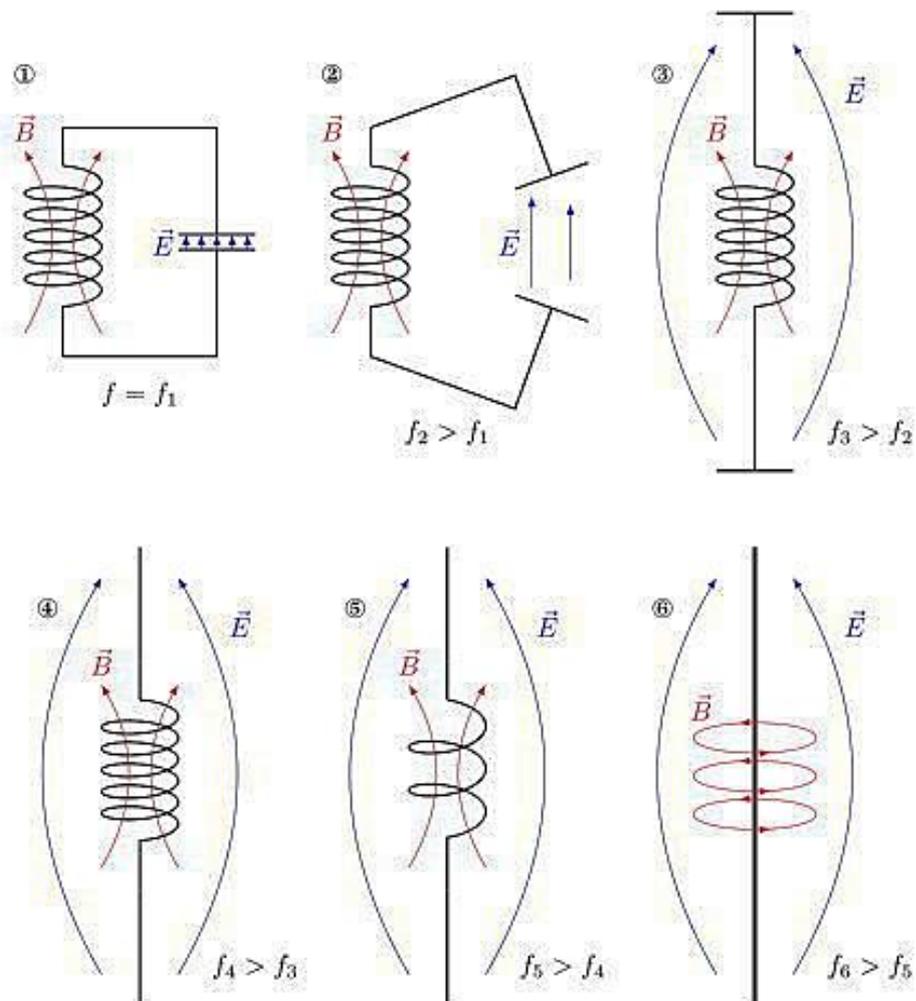


Rund um die Antenne

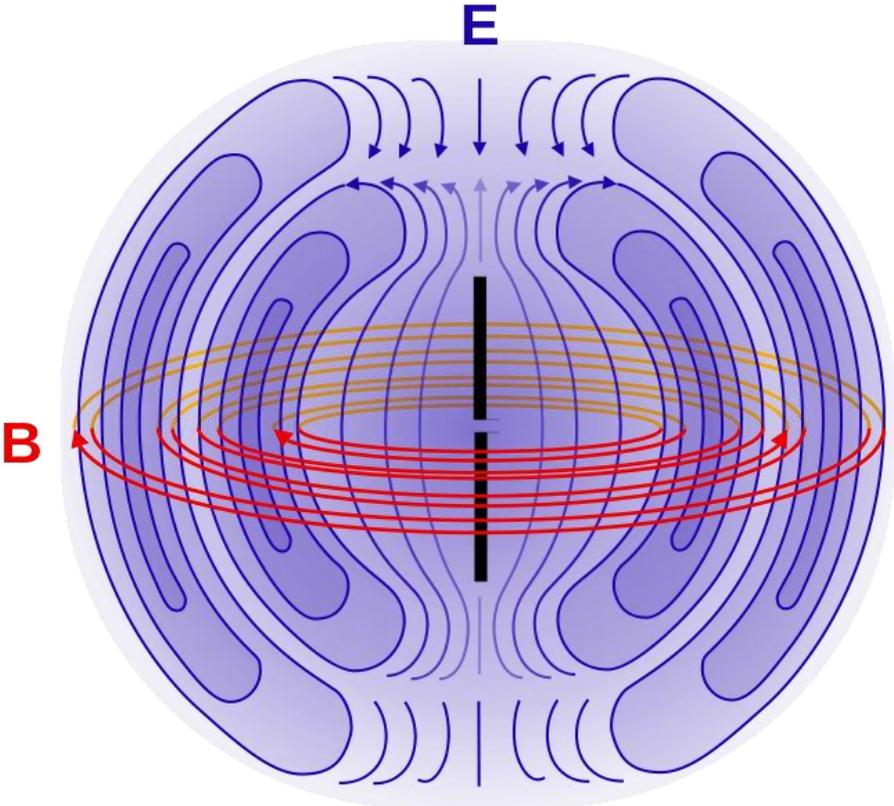
(Grundlagen; Vortrag DL6OAA im H39 Workshop)

- Vom geschlossenen zum offenen Schwingkreis
- Wellenausbreitung Dipol
- Ablösung Raumwelle
- Strom und Spannungsverteilung an einem Dipol
- Impedanzverlauf Dipol
- Strom- und spannungsgespeiste Antennen
- Resonanz und Anpassung
- Messung an einer MP1-Antenne

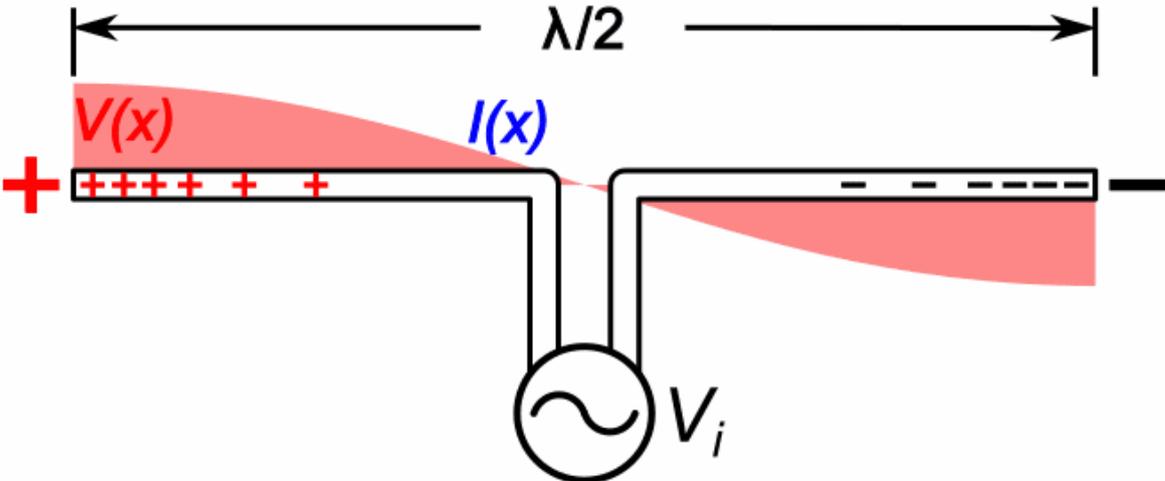
Vom Parallelschwingkreis zum Dipol:



Wellenausbreitung:



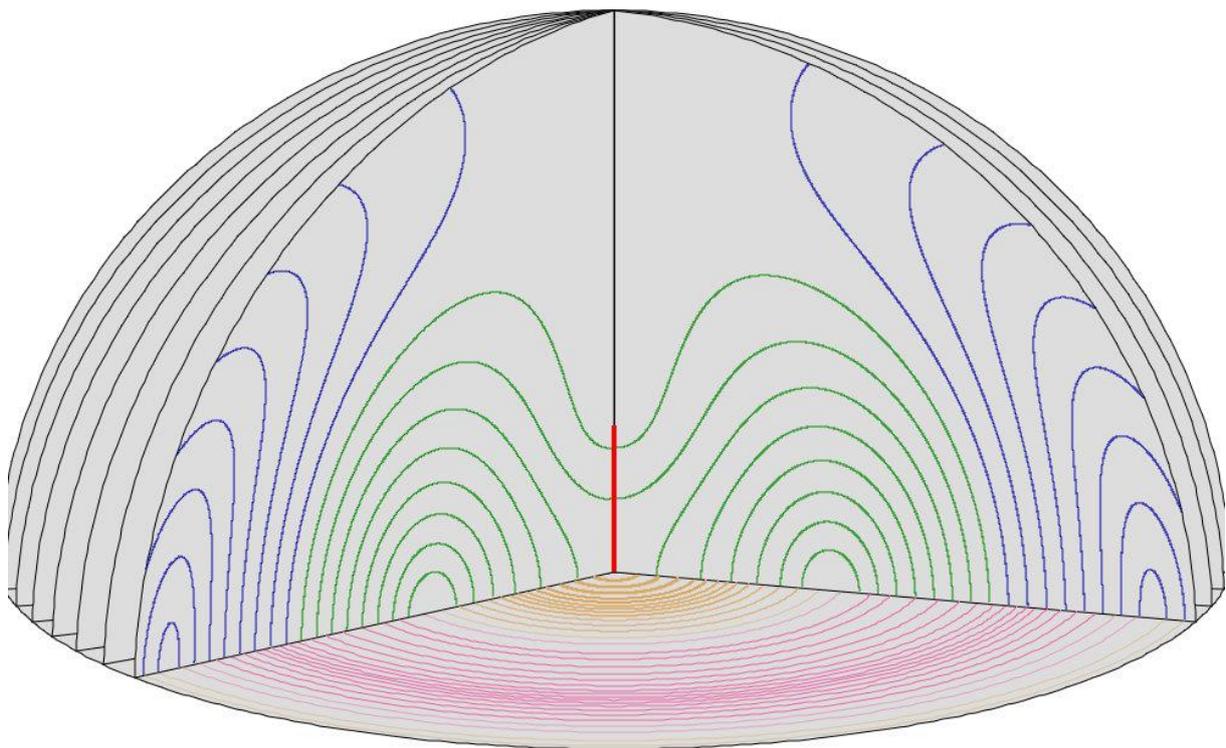
Dipol: Strom- und Spannungsverteilung:



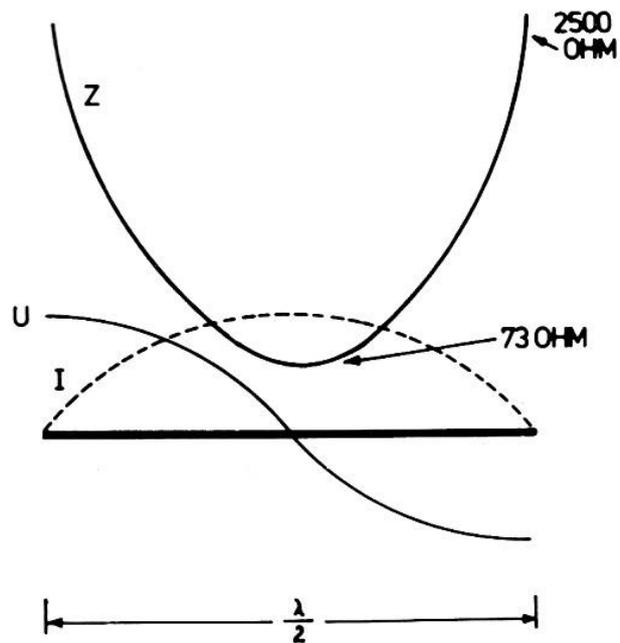
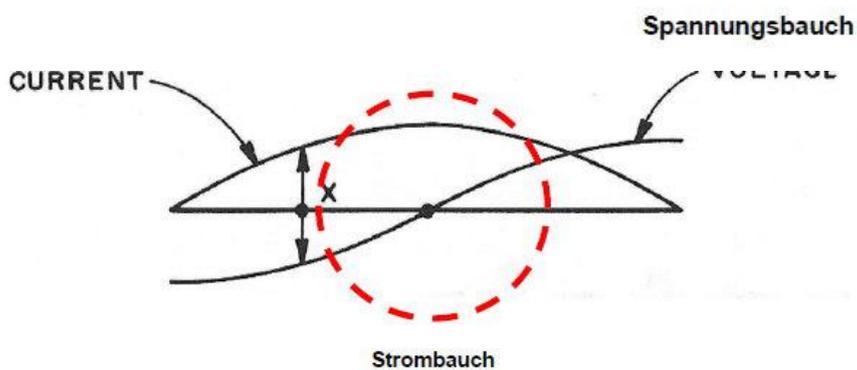
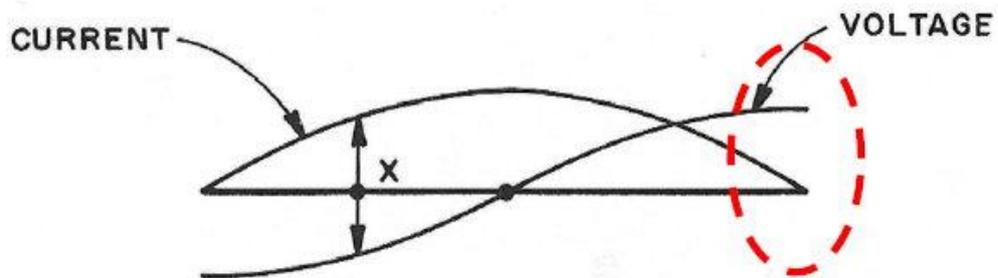
Mit dem Ansteigen des Wechselstromes baut sich – durch die Laufzeit etwas verzögert – ein elektromagnetisches Wechselfeld auf. Fällt der Strom entsprechend dem sinusförmigen Verlauf wieder ab, dann kehrt auch die Feldenergie wieder in den Leiter zurück. Da aber, bedingt durch die Laufzeit, Teile der Feldenergie verspätet beim Leiter ankommen, herrscht dort bereits eine völlig veränderte Stromverteilung. Dieser neue Strom baut wieder ein neues Feld auf, das Teile des zurückkehrenden alten Feldes vom Leiter wegdrückt. Die auf diese Weise „ausgesperrten“ elektrischen Feldlinien bilden geschlossene Schleifen, die von magnetischen Feldlinien umschlungen sind. Da sich dieser Vorgang entsprechend der Periodizität des Wechselstromes dauernd wiederholt, breitet sich eine elektromagnetische Welle aus, die in Frequenz und Wellenlänge dem erregenden Wechselstrom genau entspricht. Sie entfernt sich mit Lichtgeschwindigkeit vom Leiter in den Raum.
... Die Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Wellen im freien Raum verläuft senkrecht zum elektromagnetischen Feld

Die Voraussetzung dafür, dass sich elektromagnetische Wellen im freien Raum ausbilden können, besteht darin, dass der Generator stets zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt eine entgegengesetzt gerichtete Stromverteilung liefert, die dem zusammenbrechenden Feld die Rückkehr zum Leiter versperrt und es somit zwingt, in den Raum abzuwandern (Rothammel S.21).

Animation: Wellenausbreitung

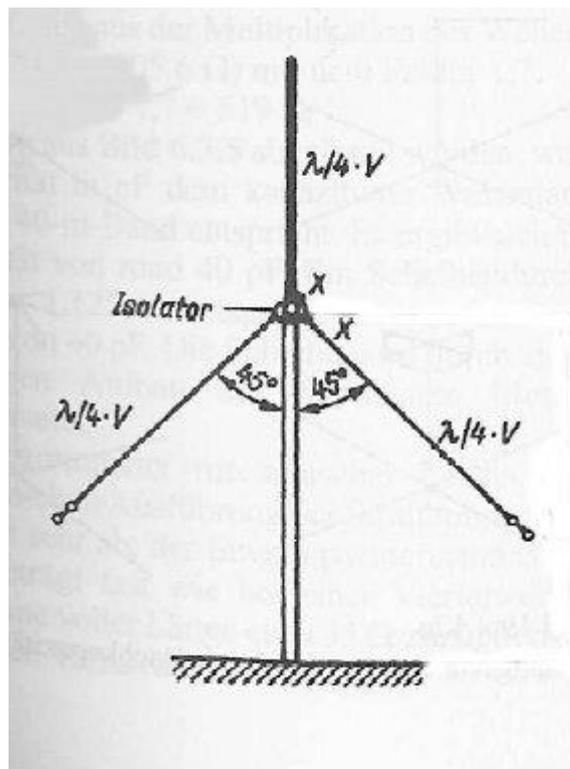
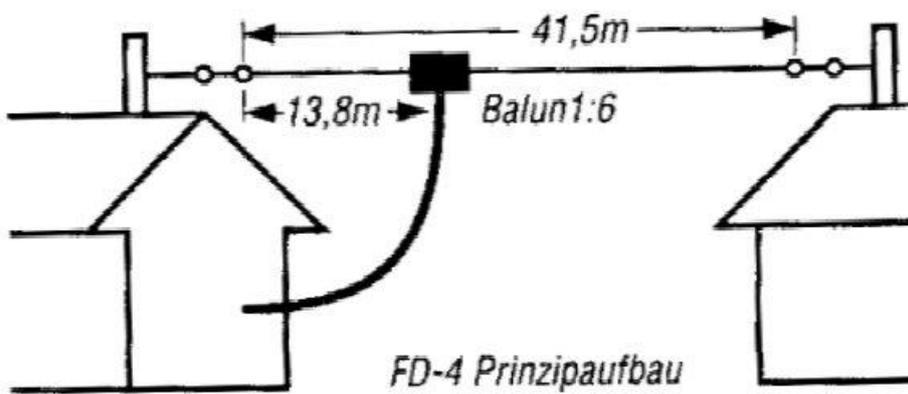
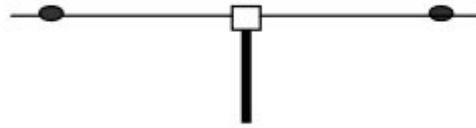
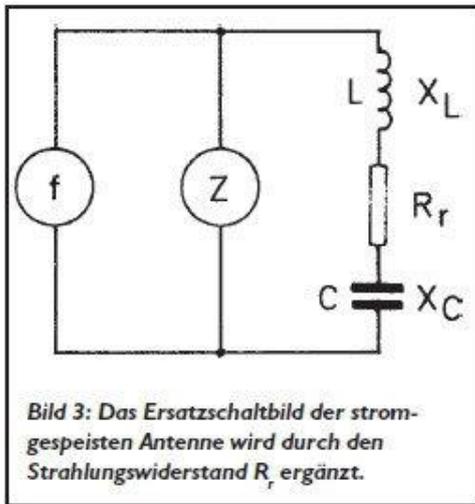


Strom- und Spannungsverlauf an einem Dipol / Impedanzverlauf entlang eines Dipols:

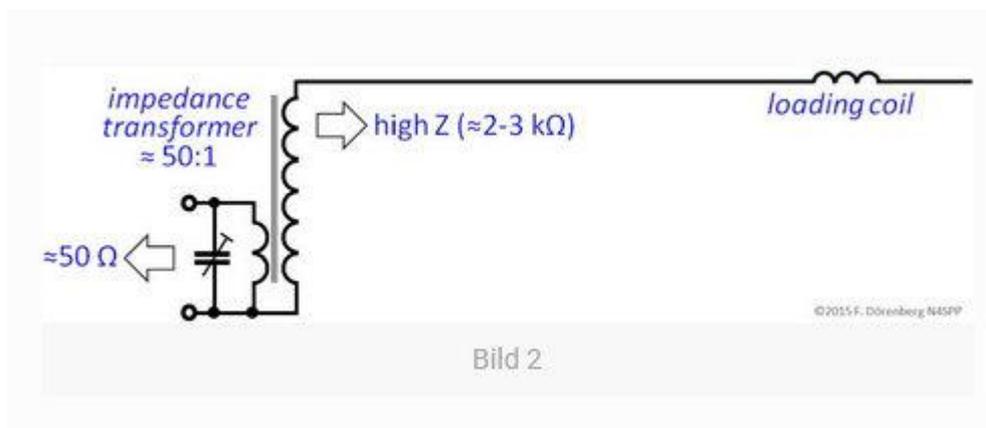
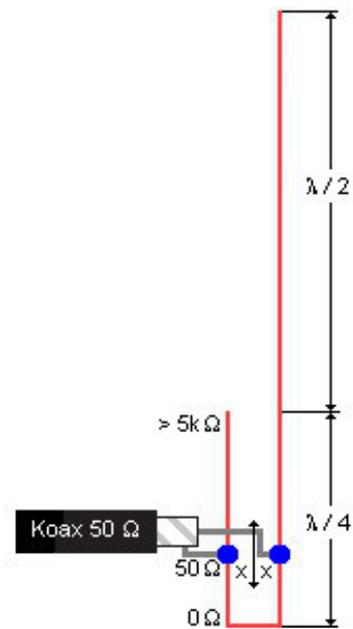
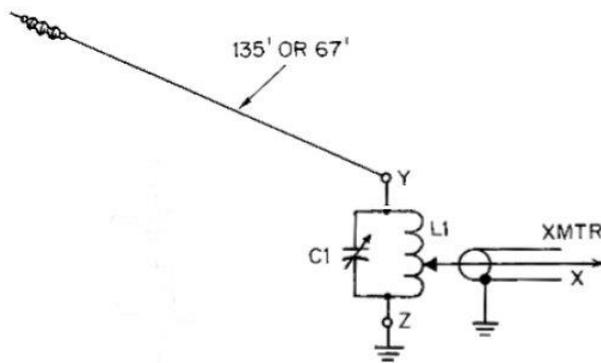
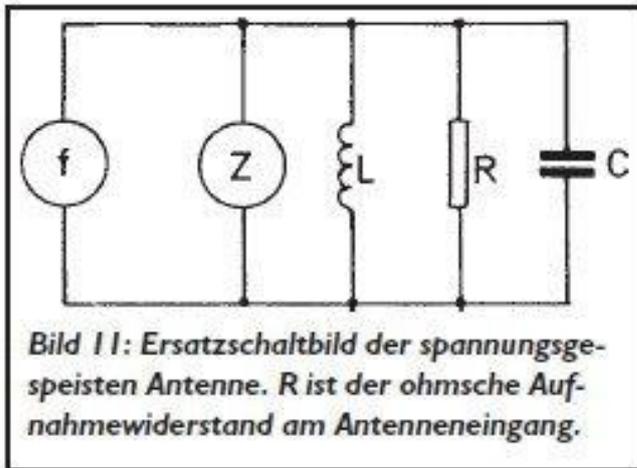


Bei einer resonanten Antenne bilden sich im Resonanzfall stehende Wellen aus. Der Impedanzverlauf entlang eines Dipols ist gekennzeichnet durch einen Strombauch am Einspeisepunkt und eines Spannungsbauches an den Enden des Dipols.

Stromgespeiste Antennen / Ersatzschaltbild und Beispiele::



Spannungsgespeiste Antennen / Ersatzschaltbild und Beispiele::



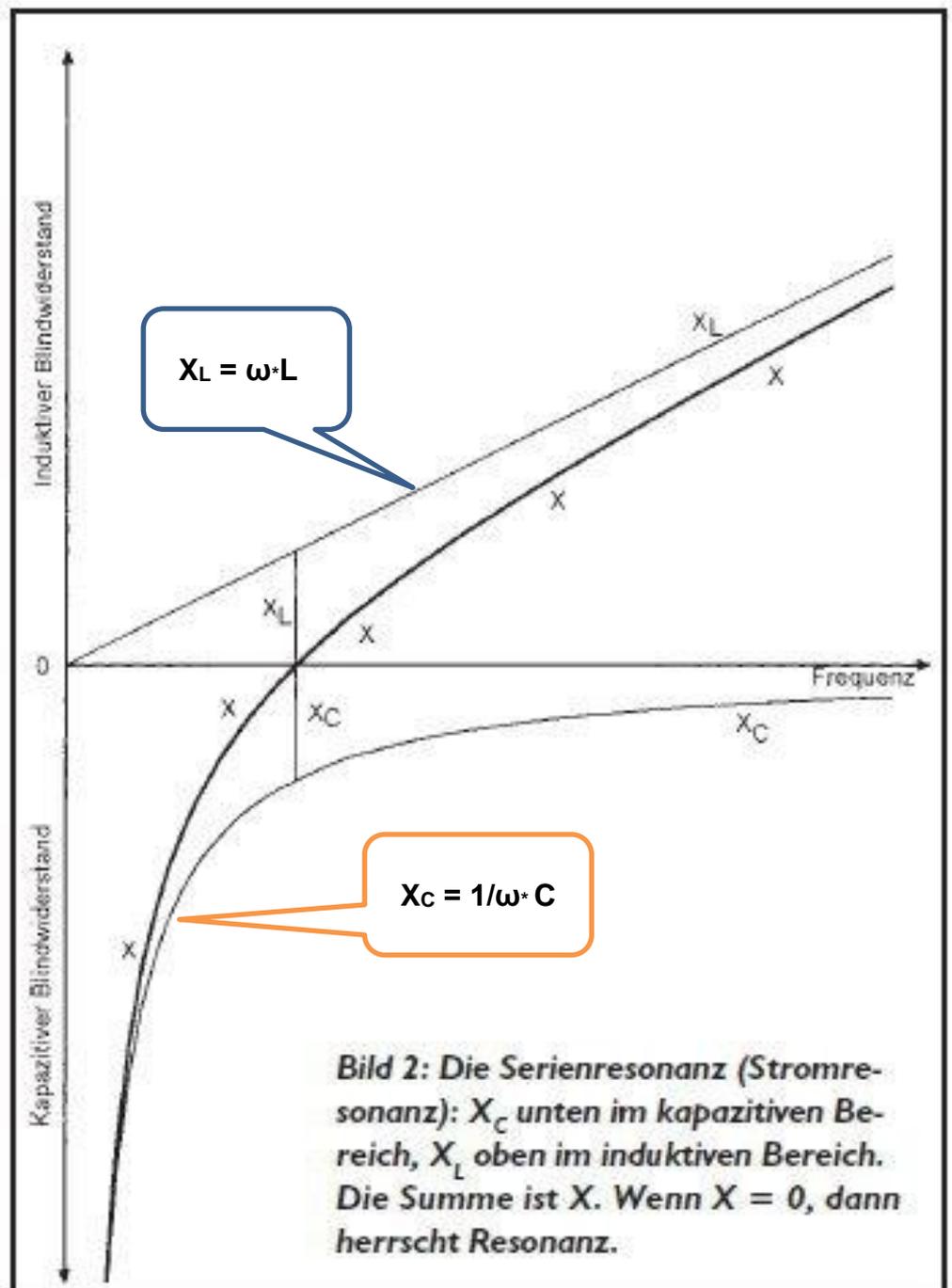
Was versteht man unter der Resonanz einer Antenne bzw. Schwingkreises?

Induktiver Blindwiderstand: $X_L = \omega L$

Kapazitiver Blindwiderstand: $X_C = 1 / \omega C$

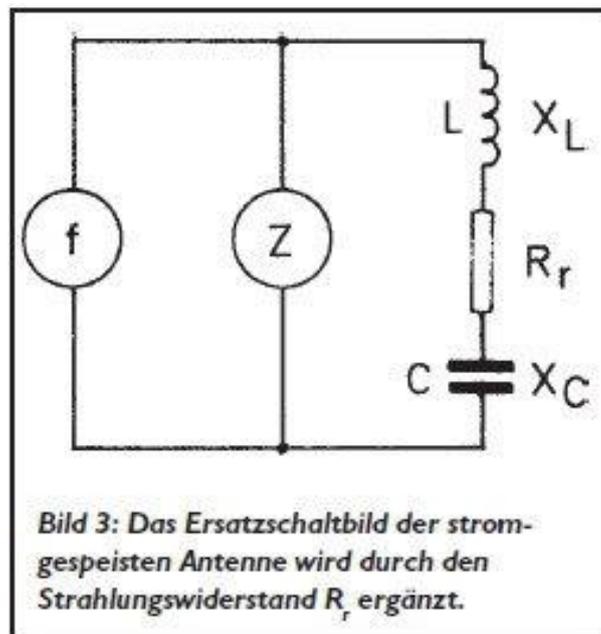
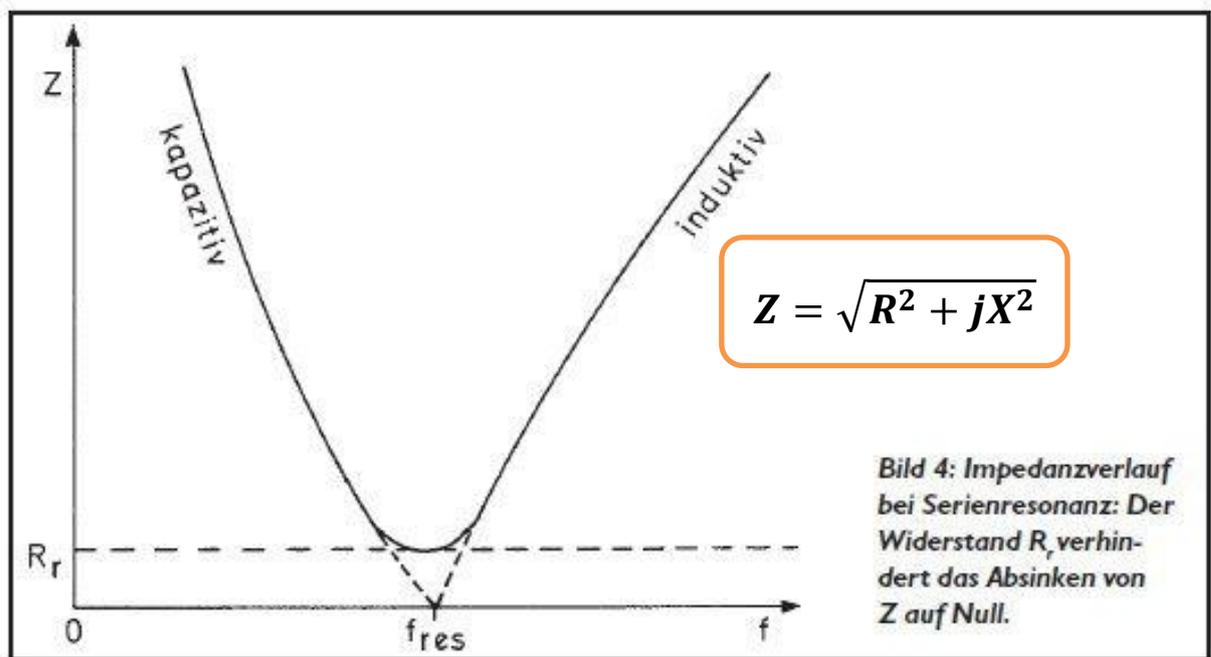
Die **Impedanz** des Serienkreises ist die Summe des positiven Blindwiderstandes der Spule ωL und des negativen Blindwiderstandes des Kondensators $1/\omega C$, also **$X = \omega L + (- 1/\omega C)$**

Diagramm:



Beim Sweepen des Senders gibt es einen Augenblick, in dem die X-Kurve die x-Achse schneidet. X ist also Null. Dann ist der induktive Blindwiderstand genau so groß, wie der kapazitive Blindwiderstand $\omega L = 1/\omega C$. Diese Erscheinung heißt Resonanz. Hier heben sich Kapazität und Induktivität gegenseitig auf, das heißt $X = 0$ und der Kurzschluss ist perfekt. Es müsste ein unendlich großer Kurzschluss-Strom fließen, aber die Antenne hat ihren Strahlungswiderstand R_r , er ist für den Strombauch der Antenne definiert. Es ist der Widerstand, der an dieser Stelle vom maximalen Strom durchflossen wird, die Leistung aufnimmt und in Strahlung umwandelt.

Impedanzverlauf bei $|Z|$



Da im Diagramm nur der **Betrag von Z** angegeben ist, verläuft die Kurve nur im Positiven. Bei Resonanz müsste sie sich auf die x-Achse senken, weil ja dort $Z = 0$ ist (gestrichelter Verlauf). Das kann sie aber nicht, denn der Strahlungswiderstand R_r verhindert diesen Kurzschluss. Der Eingangswiderstand senkt sich nur auf den Wert R_r , tiefer geht es nicht.

Resonanz

1. Der Blindwiderstand X_L ist positiv, der Blindwiderstand X_C ist negativ. Sie sind entgegengesetzt gerichtet.
2. Bei Resonanz sind X_L und X_C gleich groß und heben sich daher auf.
3. Bei Resonanz sinkt der Eingangswiderstand auf den Strahlungswiderstand R_r herab.
4. Bei stromgespeisten Antennen ist unterhalb der Resonanzfrequenz die Impedanz kapazitiv, oberhalb der Resonanzfrequenz ist die Impedanz induktiv.
5. Bei Resonanz gibt es keine kapazitive und keine induktive Komponente. Es wirkt nur der rein ohmsche Strahlungswiderstand R_r .
6. Eine zu lange, stromgespeiste Antenne reagiert induktiv, eine zu kurze Antenne reagiert kapazitiv.

Impedanz eines Halbwellendipols, abhängig vom Speisepunkt (DL6MBI):

Für die Impedanz einer Antenne ist immer der Speisepunkt zuständig

Anmerkungen:

1. Mitte = geometrisch "Null"
2. Der Einfachheit halber Freiraum-Bedingung

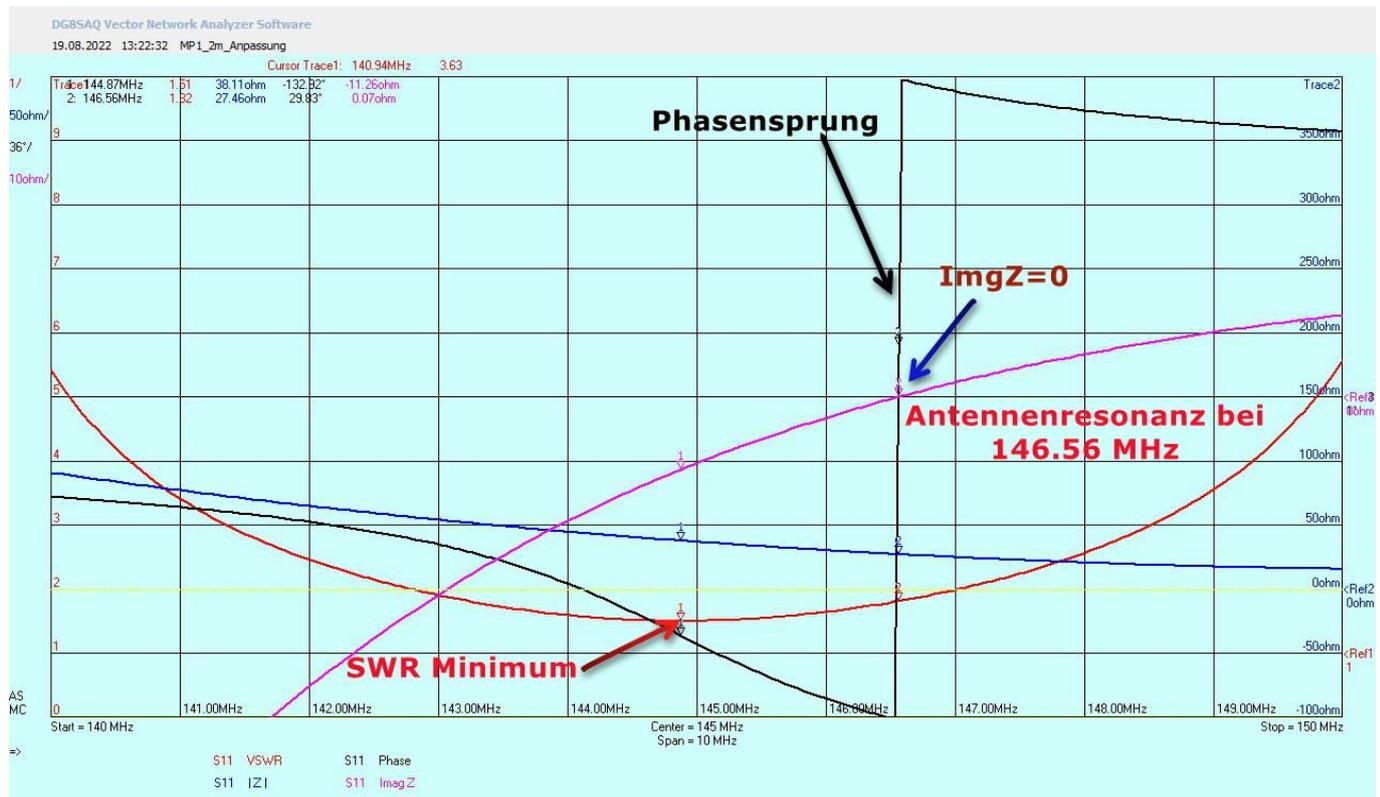
Linke Spalte: Entfernung des Speisepunktes vom Mittelpunkt in λ .

Rechte Spalte: Impedanz des Speisepunktes in $R + jX$ Ohm.

VSWR bezogen auf 50 Ohm.

0.000	: 77 - j0.0	- VSWR = 1.5 (Mitte)
0.025	: 78 - j0.4	- VSWR = 1.6
0.050	: 84 - j1.0	- VSWR = 1.7
0.075	: 95 - j2.2	- VSWR = 1.9
0.100	: 114 - j4.7	- VSWR = 2.3
0.125	: 146 - j10	- VSWR = 3.0
0.150	: 206 - j23	- VSWR = 4.1
0.175	: 327 - j61	- VSWR = 6.8
0.200	: 622 - j213	- VSWR = 14
0.225	: 1490 - j1210	- VSWR = 50
0.250	: unendlich	(Drahtende, also $\lambda/4$ weg von "mittig gespeist")

Messungen an einer MP1-Antenne (stromgespeist), Beispiel 2m-Band:



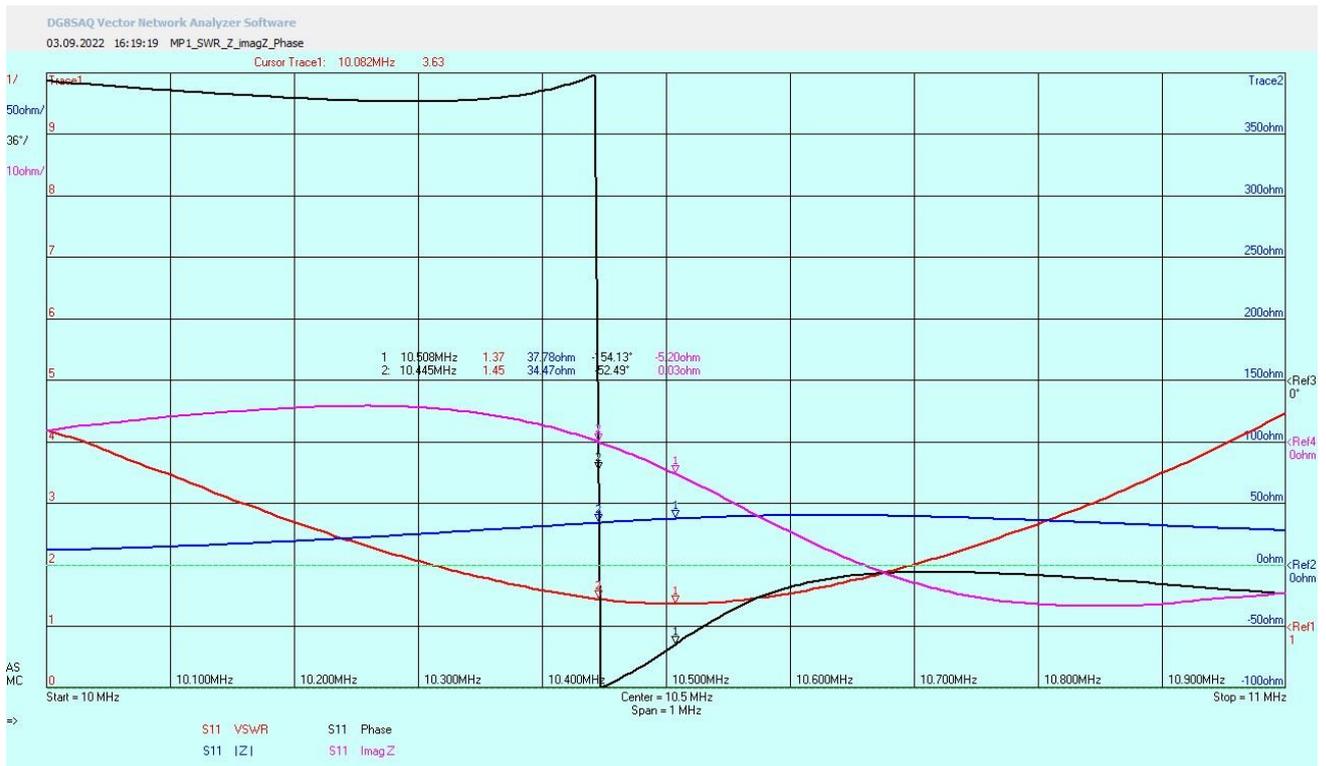
SWR-Minimum: 144,87 MHz
Antennenresonanz: 146,56 MHz

Eine Antenne hat kein SWR, sondern eine bestimmte Impedanz am Speisepunkt. Das SWR ist eine Aussage über die Anpassung der Speiseleitung an die Antenne im Einspeisepunkt.

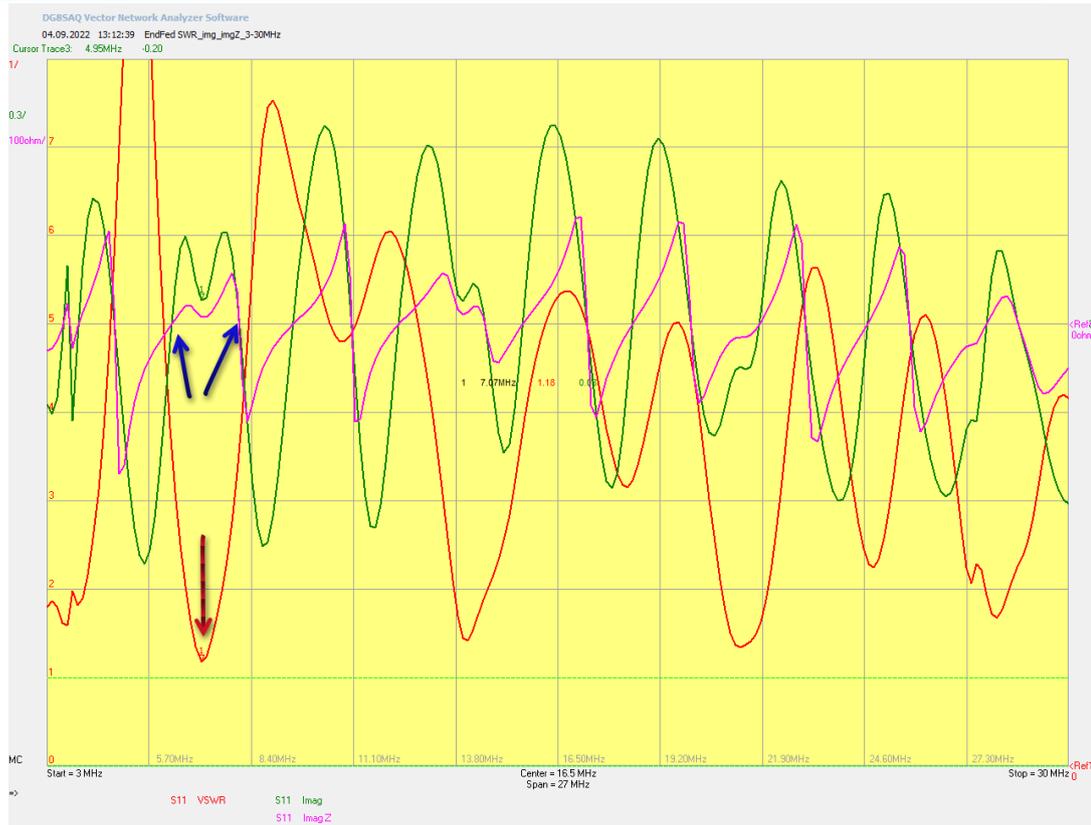
Ein SWR von 1 besagt nur, dass an diesem Punkt die maximale Leistung an die Antenne abgegeben wird, d.h. es treten keine rücklaufenden Wellen auf.

Die Resonanzfrequenz einer Antenne ist nur dann mit der Sendefrequenz identisch, wenn eine Anpassung von 1,000 vorliegt.

Beispiel 10,5 MHz:



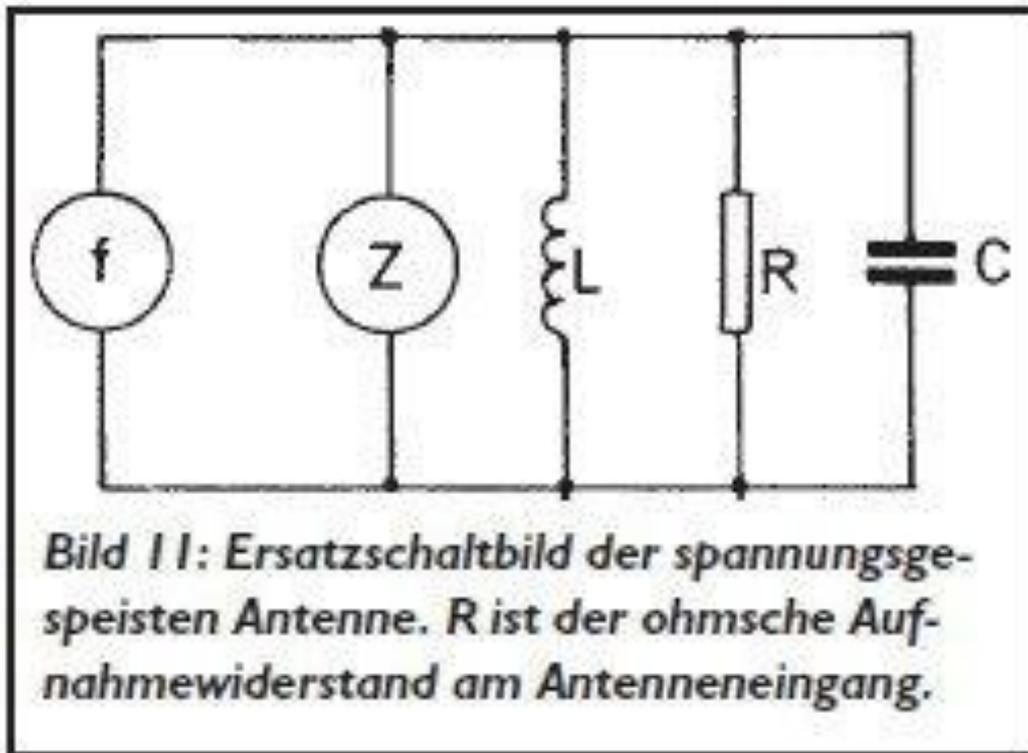
SWR-Minimum:
10,508 MHz
 $Z=0$ /
Phasensprung →
Resonanz: 10,445
MHz



Das nächste Beispiel ist eine Messung an meiner EndFed-Antenne im Bereich 3-30MHz. Man sieht auch hier, dass bei einem SWR >1,000 die Resonanzfrequenz nicht identisch ist mit der Frequenz beim SWR-Minimum.

Spannungsgespeiste Antennen (z.B. Fuchs-Antenne; EndFed)

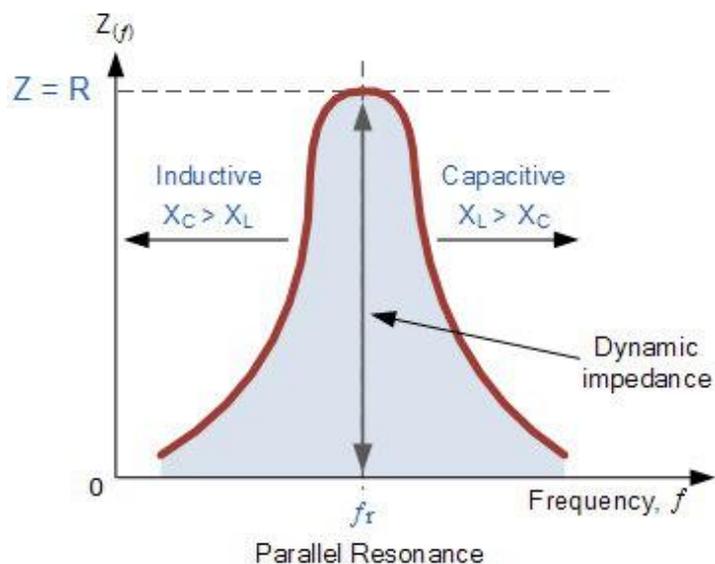
Ersatzschaltbild:



Wenn die Antenne in Spannungspeisung erregt wird, so gelten dafür völlig andere Verhältnisse und auch ein anderes Ersatzschaltbild:

Es ist ein Parallelschwingkreis. Spule und Kondensator liegen parallel. Der **Aufnahmewiderstand** ist dazu parallel geschaltet. Er ist mit dem Strahlungswiderstand nicht identisch.

Die Impedanz des Parallelkreises ist hoch, was genau der Spannungspeisung entspricht.



Antiresonanz = Spannungsresonanz

1. X_L und X_C sind entgegengesetzt gerichtet.
 2. Bei Antiresonanz sind X_L und X_C gleich groß und heben sich daher auf, nur noch der Aufnahmewiderstand bleibt übrig.
 3. Bei Antiresonanz steigt der Eingangswiderstand auf das Maximum des Aufnahmewiderstandes.
 4. Bei spannungsgespeisten Antennen ist unterhalb der Antiresonanzfrequenz die Impedanz induktiv und oberhalb der Antiresonanzfrequenz kapazitiv.
 5. Bei Antiresonanz gibt es keine kapazitive und keine induktive Komponente. Es wirkt nur der rein ohmsche Strahlungswiderstand R_r im Strombauch, der durch den Antennenschwingkreis auf den höheren Eingangswiderstand hinauf transformiert wird.
 6. Eine zu lange, spannungsgespeiste Antenne reagiert kapazitiv, eine zu kurze Antenne reagiert induktiv.
-

Quellen:

- Artikel „Die Resonanz der Antenne“, FUNK Redaktion, 2007, S.36ff
- Rund um die Antenne, HB8ACC
- Antenne und Speiseleitung, DK6NR
- Amateurfunk-Kurs DL4MDF Ortsverband C Ø1, Vaterstetten
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Resonanzwiderstand>
- https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Felder_um_Dipol.svg
- <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=440px-Dipol.svg#imgrc=eqEhNyT84HKeGM>
- <https://www.abiweb.de/physik-elektromagnetismus/elektromagnetische-wellen/hertzscher-dipol/feldverteilungen-am-dipol.html>
- Karl Rothammel Y21BK, Antennenbuch
- <https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/programme/dipolstr/Dipolstr1c.html?m=101001#>
- W.Gierlach, Das DARC Antennenbuch (3.1.15)