QTC an der See E09 2023

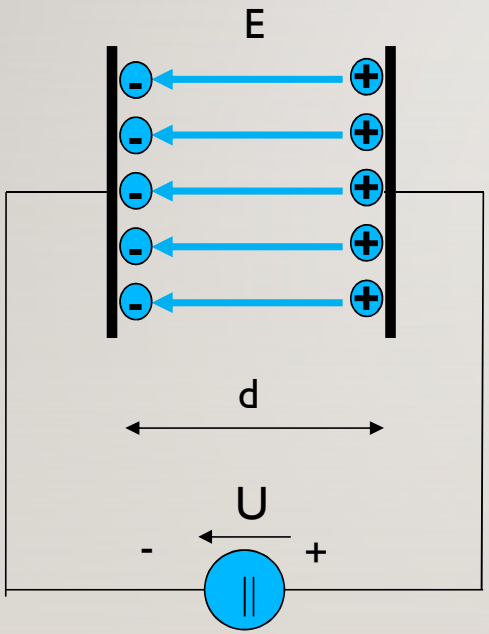
ANTENNEN: DIE GRUNDLAGEN RICHTIG VERSTEHEN

DF5HC

JENS FISCHER / SEP 2023

U = Spannung
d = Anstand / Länge [m] der Feldlinie

GRUNDLAGEN: ELEKTRISCHES FELD (E)



Durch Anlegen einer Spannungsquelle an zwei isoliert angebrachte leitende Platten entsteht zwischen den Platten ein **Elektrisches Feld E**

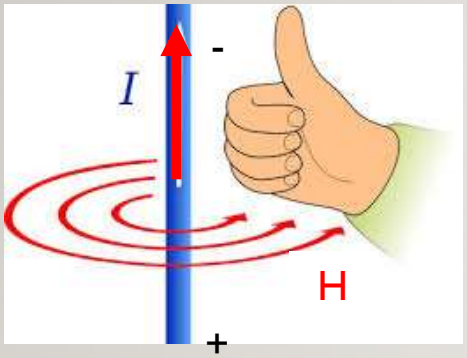
$$E = \frac{U}{d} \qquad \left[\frac{V}{m} \right]$$

Ist die Elektrische Feldstärke überall gleichstark, so spricht man von einem **homogenen Feld. (Plattenkondensator)**

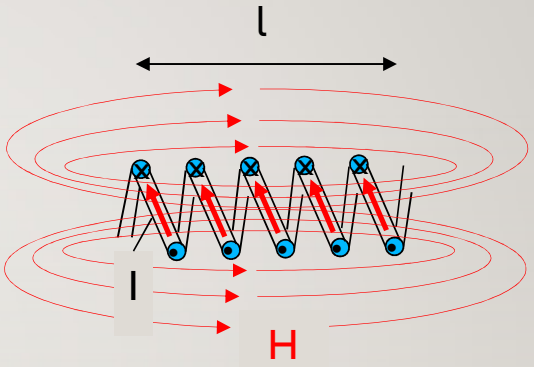
Elektrische Feldlinen beginnen an einer positiven Ladung **und enden** an einer negativen Ladung. Sie treffen auf leitende Materialien **senkrecht** auf.

N = Windungzahl
l = Länge [m] der Feldline
I = Strom [A]
μo = 1,26 E-06 [Vs/Am]

GRUNDLAGEN: MAGNETISCHES FELD (H)



Rechte Hand Regel



Durchfließt ein elektrischer Strom I einen Leiter , so entsteht ein **magnetisches Feld H um den Leiter herum.**

Magnetische Feldlinien sind immer **geschlossen** und besitzen **kein Anfang und kein Ende**.

Bei einer Spule ergibt sich ein homogenes magnetisches Feld

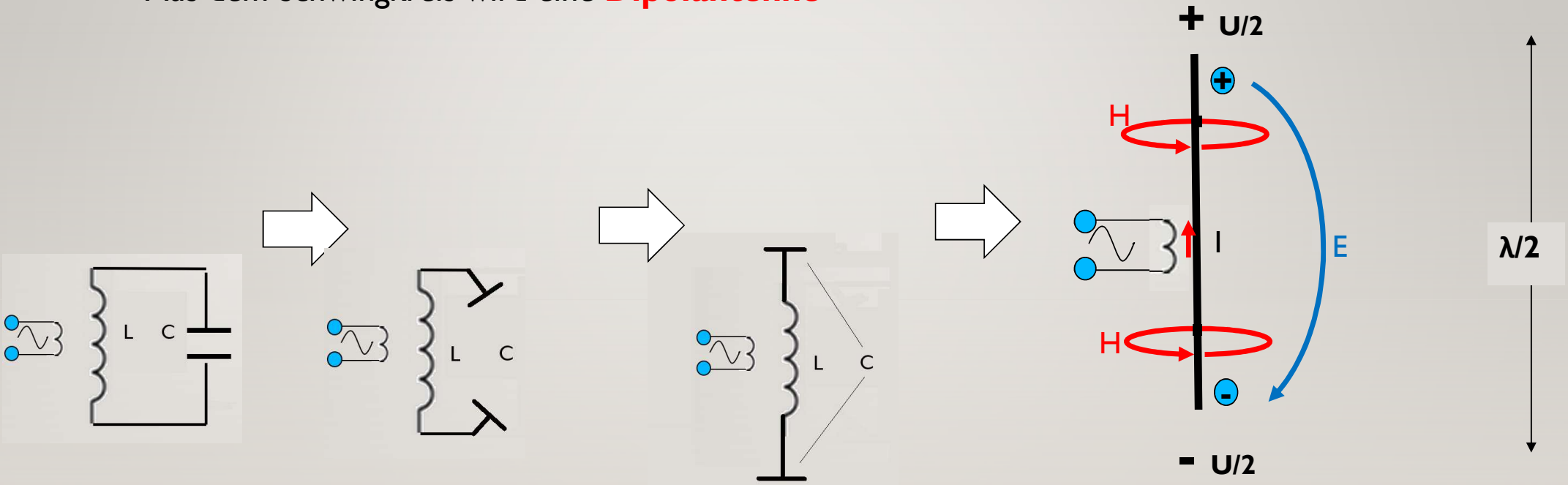
Feldstärke H bzw Flussdichte B

$$H = \frac{N * I}{l} \quad [\frac{A}{m}] \qquad B = \mu o * \mu r * H \quad [Tesla]$$

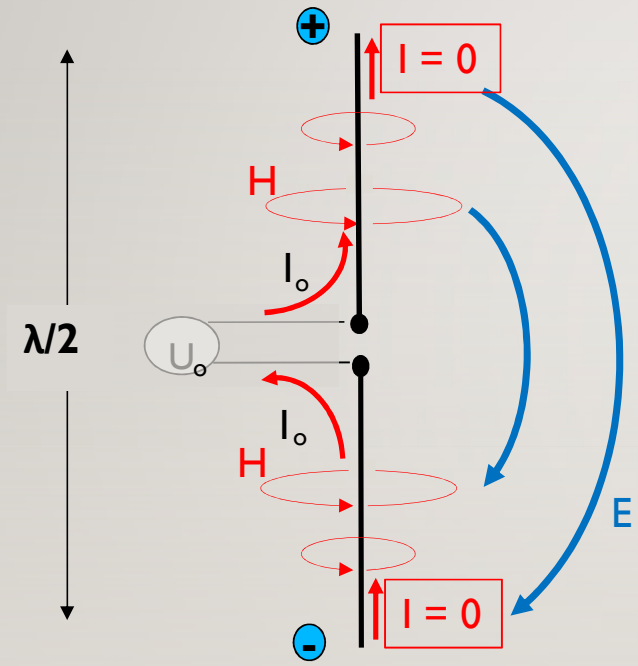
μr = Permeabilität (magn. Leitfähigkeit)
1 bei Luft, bei Eisen / Ferrit = 300..10000

ELEKTROMAGNETISCHE FELDER

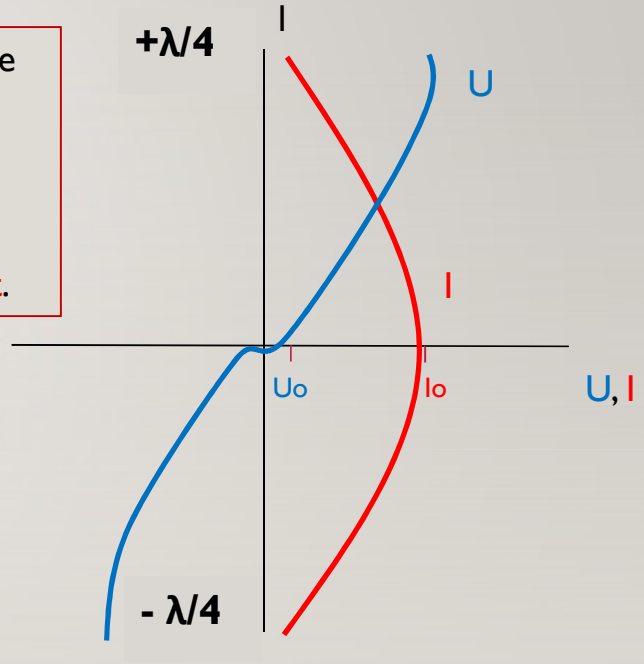
Aus dem Schwingkreis wird eine **Dipolantenne**



DIPOL – STROM UND SPANNUNG



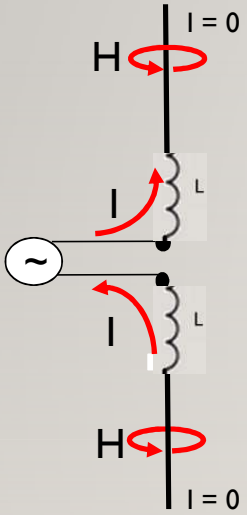
Der Strombauch erzeugt in der Mitte die größte H-Feldstärke.
Die Spannung ist zwar aussen am höchsten, aber die E-Feldstärke über die Länge des Dipols konstant.
Somit wird von der Mitte abgestraht.



Zo = Uo/Io ~ 70 Ohm

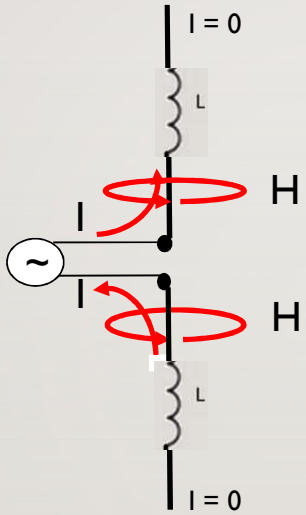
Das Elektromagnetische Feld breitet sich in Lichtgeschwindigkeit aus (Luft / Vakuum = $3*10^8$ m/s) .
Für andere Isolier-Materialien gibt es Verkürzungsfaktoren v = $\sqrt{1/\varepsilon r}$ (PVC = 0,67 / Teflon = 0,69)

METHODEN ZUR VERKÜRZUNG VON DIPOLEN



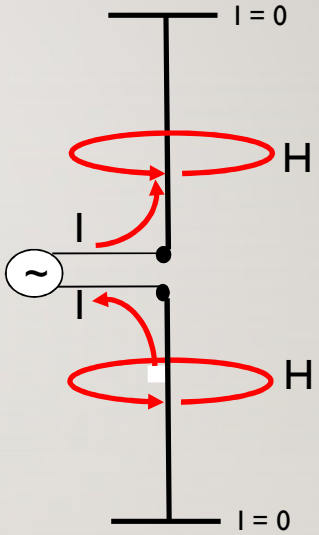
Verkürzungsspule
am Fusspunkt

da Strom nach aussen abnimmt
deutlich schwächeres H-Feld
Spule strahlt nicht



Verkürzungsspule
mittig

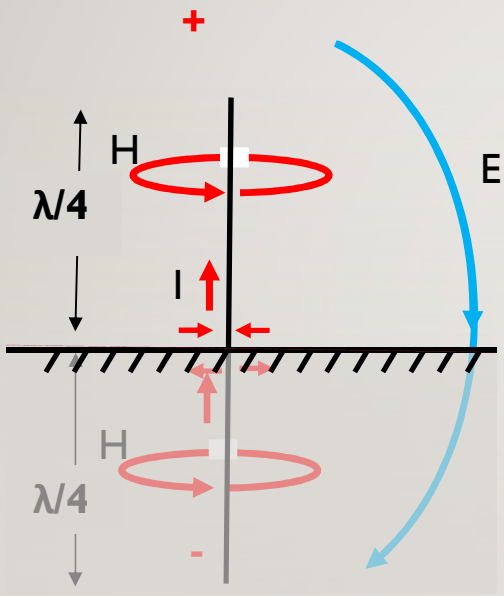
..schon besser..
(innen max Strom)

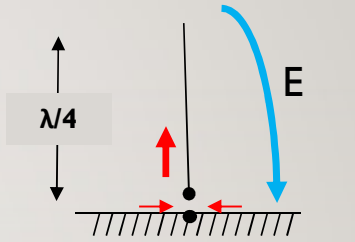


End-Kapazität

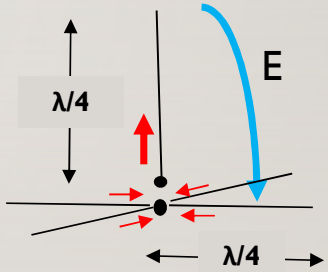
.. optimale Wirkung ..
(Strom kann H-Feld voll entfalten)

VERTIKAL-ANTENNE





Marconi-Antenne



Ground Plane Antenne

Beim Dipol erkennt man eine **Symmetrie** im Feld.
So kann man die eine Hälfte auch durch eine leitende Fläche – wie einen Spiegel – ersetzen

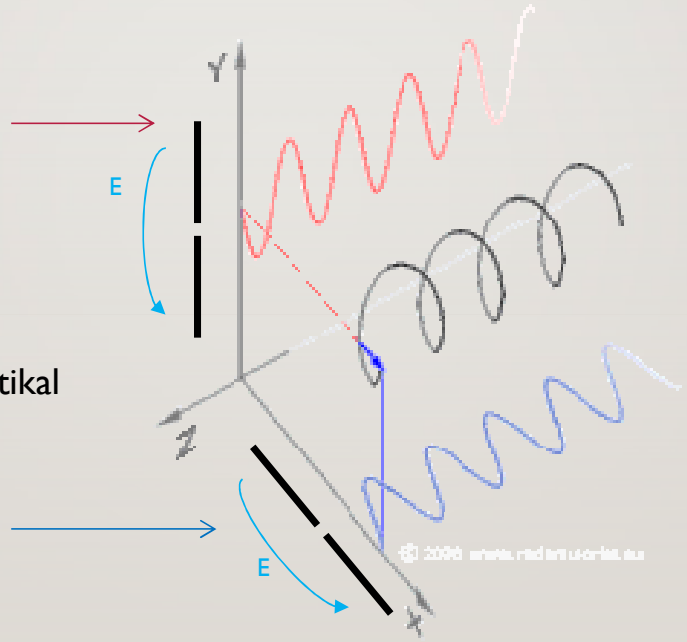
POLARISATION

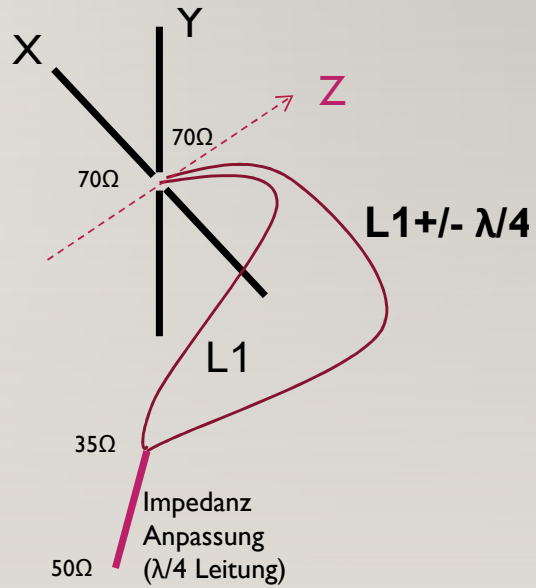
Unter der **Polarisation** einer transversalen Welle versteht man die **Schwingungsrichtung des elektrischen Feldes E.**

Vertikale Polarisation

Zirkulare Polarisation
hier dreht sich die Polarisation,
(rechtsdrehend, linksdrehend)
2 Antennen, Horizontal und Vertikal
werden um 90 ° verschoben

Horizontale Polarisation





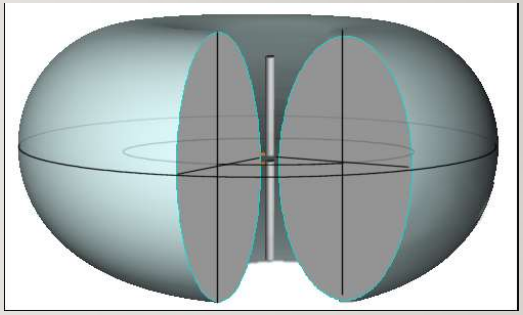
RICHTDIAGRAMM

Das Richtdiagramm gibt an wie stark die Antenne in welche Richtung strahlt. Es ist somit immer **3-dimensional.**

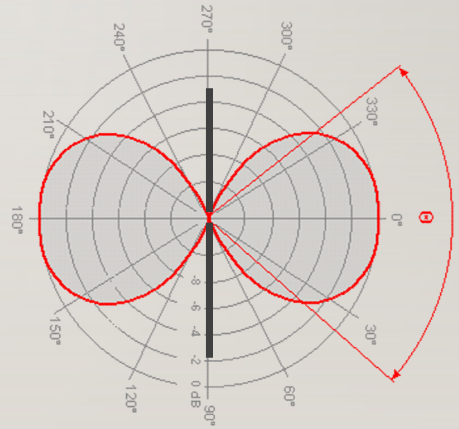
Meist interessieren aber nicht alle 3 Achsen und man gibt dann nur einzelne **Schnittebenen** an.

Den Winkel zwischen den um 3dB reduzierten Punkten nennt man **Öffnungswinkel**, der üblicherweise für jede Ebene ein anderer ist.

Merke:
Ein Dipol hat eine **Nullstelle** in Richtung seiner Achse.



Richtdiagramm eines Dipols (dreidimensional)



Richtdiagramm eines Dipols (Schnitt Y-Ebene)

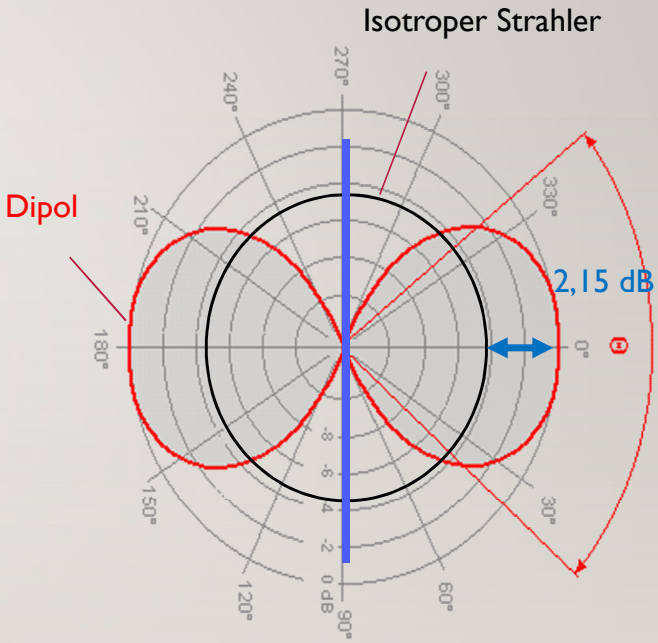
Quelle: Wikipedia

ANTENNENGEWINN

Unter dem Antennengewinn versteht man die „Verstärkung“ der Antenne in eine Hauptstrahlrichtung.

Der Antennengewinn wird in dB_d oder dB_i bezogen auf einen Halbwellendipol (d) oder einen Isotropen Strahler (i) angegeben. (isotroper Strahler = theor. Kugelstrahler)

Ein Halbwellendipol besitzt einen Gewinn von 2,15 dB_i = 0dB_d , weil er nicht entlang seiner Achse strahlt, anders als der rein theoretische isotrope Strahler.



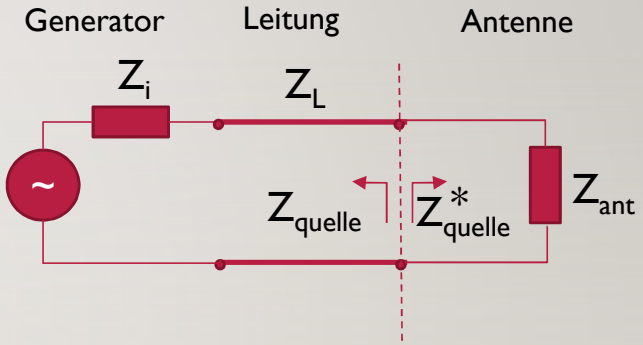
FUSSPUNKTWIDERSTAND

Der Antennenimpedanz Z_{ant} gibt das *frequenzabhängige* Verhältnis von Spannung und Strom an dem Speisepunkt der Antenne an.

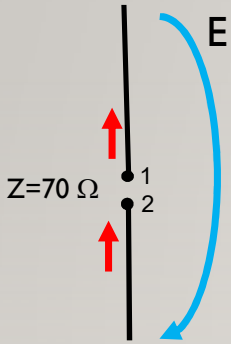
Bei Resonanz wird die Antennenimpedanz reell und der komplexe Anteil wird zu Null.
Diesen Wert nennt man Fusspunktwiderstand.

Um maximale Leistung aus der Quelle aufnehmen zu können, muss Leistungsanpassung vorliegen ($Z_{ant} = Z_{quelle}^{*}$) , ggf über Baluns oder Transformationsleitungen.

Der Fusspunktwiderstand eines Halbwellendipols beträgt ca 70 Ω.



GROUND PLANE - FUSSPUNKTWIDERSTAND + GEWINN



Dipol
symmetrisch gespeist

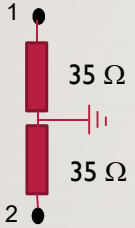
Z=70 Ω

G= 0 dB_d

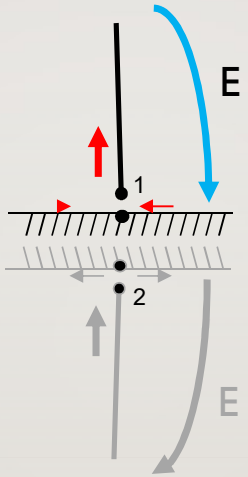
=>

Ersatzschaltbild

=>



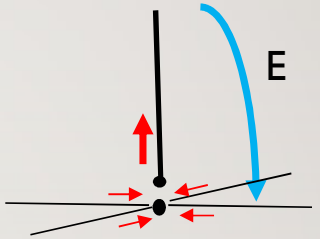
=>



2x Marconi-Antenne

Z=35 Ω

G=3 dB_d

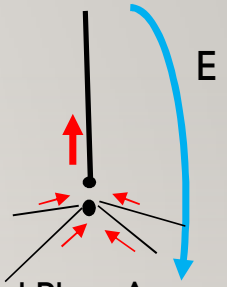


Ground Plane Antenne

Gleiches Feld wie
Marconi Antenne

Z=35 Ω

G=3 dB_d



Ground Plane Antenne
abgewinkelte Radials

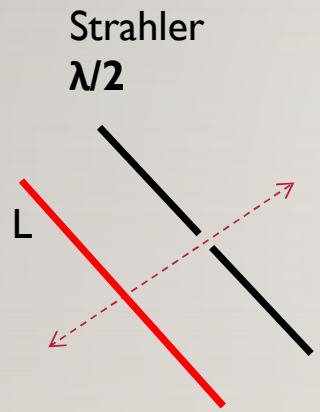
wieder Dipol - ähnlicher

Z ~ 50 Ω

G= 1,5 dB_d

Nur Oberhälfte des Strahlungsdiagramms
des Dipols bei gleicher Speiseleistung = 3 dB

RICHTANTENNEN



parasitär
angeregtes
Element
L= **λ/2 +/-** Δ

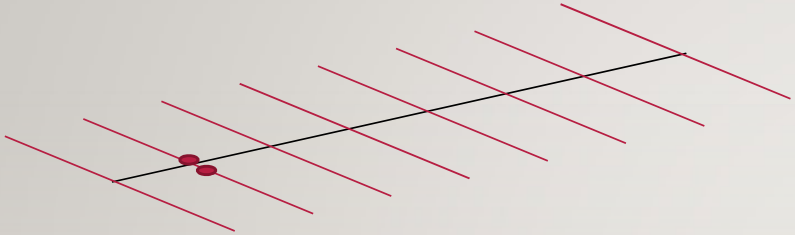
Durch hinzufügen eines parasitär angeregten Elements von ebenfalls etwa **λ/2 Länge** neben den Strahler erhält die Antenne eine Richtwirkung.

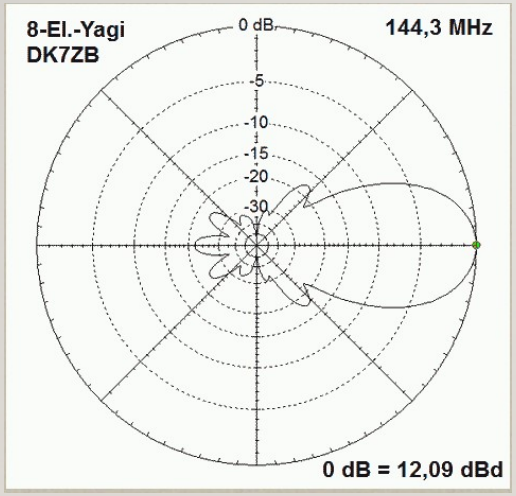
Ist **L < λ/2**, dann wirkt das Element als **Direktor** und die Antenne strahlt in die diese Richtung.

Ist **L > λ/2** , dann wirkt das Element als **Reflektor**. Die Antenne strahlt entgegengesetzt.

Beides kann man auch kombinieren und vervielfältigen, dann kommt man zu einer **Yagi Antenne.**

YAGI ANTENNE



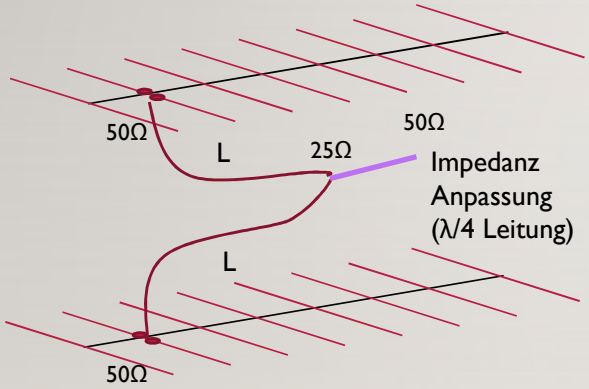


Erhebliche Richtwirkung kann man mit Yagi Antennen erreichen, indem viele parasitäre Elemente von einem Stahler erregt werden.

Länge / Abstand wird heute mit Computerprogrammen wie EZNEC oder MMANA optimiert. Ohne diese Optimierung wird die Antenne nicht funktionieren.

Bei 8 gekoppelten Elementen ist immerhin ein Gewinn von
12 dBd = Faktor 16 über Dipol oder
14,2 dbi = Faktor 25 über Rundstahler möglich.

STOCKEN VON ANTENNEN



Eine weitere Erhöhung des Antennengewinns um 3dB ist durch Stockung von phasengleich gespeisten Antennen möglich. Die Stockung kann horizontal oder vertikal geschehen und halbiert dadurch den jeweiligen Öffnungswinkel.

Auch hier ist wieder eine Impedanz-Anpassung nötig, die meinst mit **λ/4** Leitungen gemacht wird.

Auf diese Weise werden z.B für EME oft eine Vielzahl von gleichen Antennen zusammengeschaltet.

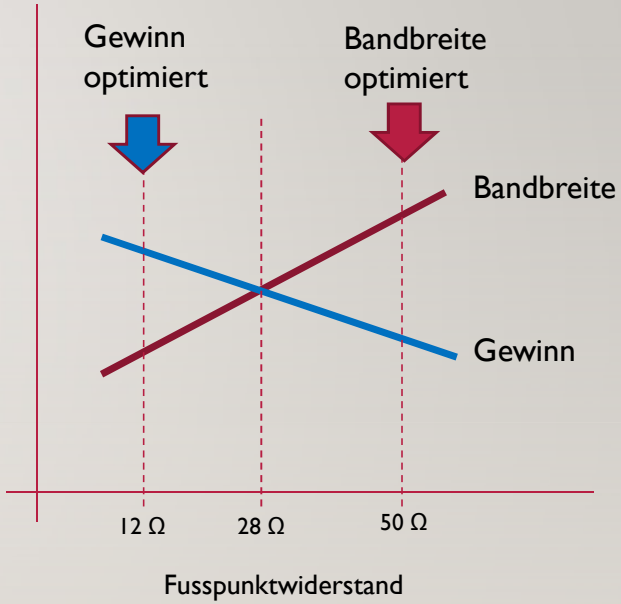
FUSSPUNKTWIDERSTAND VON YAGI ANTENNEN

Durch das heranrücken von parasitären Elementen an den Strahler sinkt der Fusspunktwiderstand einer Yagi Antenne deutlich ab.

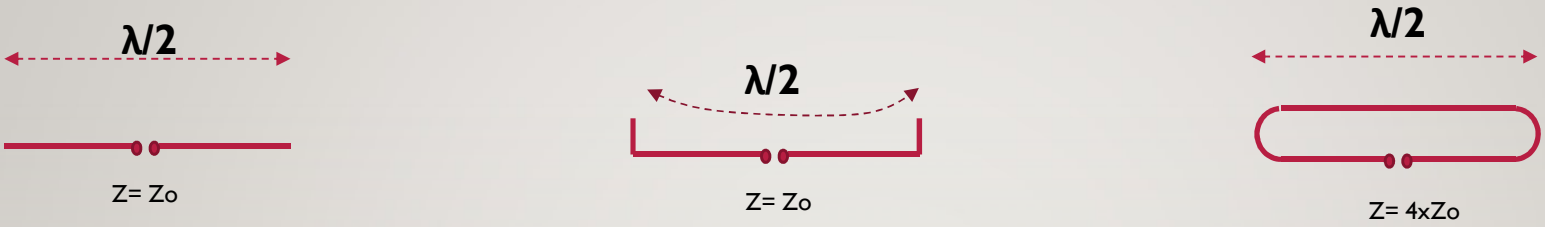
Während ein Dipol im Freiraum noch 70 Ω hat, haben Dipole in Yagis je nach Design zwischen 10 … 50 Ω.

Niedriger Fusspunktwiderstand = schmalbandig + hoher Gewinn

Hoher Fusspunktwiderstand = breitbandig + reduzierter Gewinn



DIPOL-STRAHLER FÜR YAGI ANTENNEN

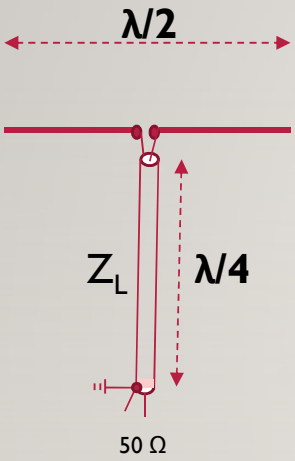


gestreckter Dipol | Moxon | Falt-Dipol

Gestreckte Dipole werden meist als Strahler im Amateurfunk genutzt. Etwas breitbandiger und mit leicht gesteigertem Gewinn werden seit wenigen Jahren die Abwandlung als Moxon für Strahler und Reflektor benutzt.

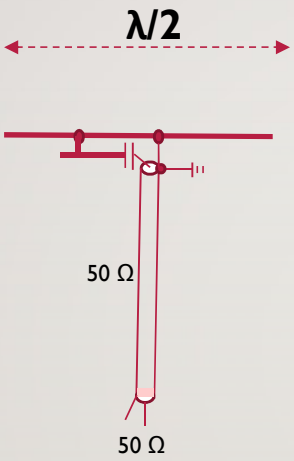
Rundfunk- & FernsehYagis haben oft Falt-Dipole, die einen um Faktor 4 erhöhten Fusspunktwiderstand haben. Vermutlich noch zurückzuführen auf das viel verwendetes 240 Ω Flachkabel als Zuleitung (vor 40 Jahren).

EINSPEISUNGEN VON DIPOL STAHLERN

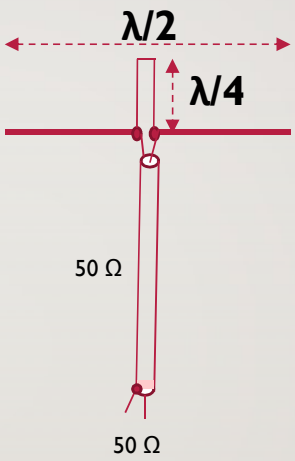


λ/4 Leitung als
- Mantelwellensperre
- Transformationsleitung

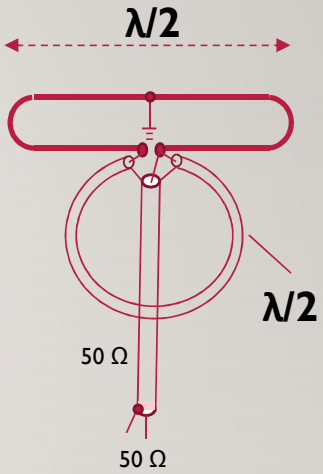
alternativ:
1:1 Balun



Gamma Match
häufig bei Kurzwellen
Monoband Beams
(unsymmetrisch)



Beta Match
seltener, Symmetrierung
durch kurzgeschlossene
λ/4 Feeder Leitung



Falt Dipol mit λ/2 Umwegleitung
Transformation 1:4 von 50 auf 200 Ω
heute kaum noch verwendet.

Zum Teil bei 12 Ω Yagis auch Strahler direkt an 50 Ω Coax angeschlossen.
Dann aber λ/4 Mantelwellensperre !

IMPEDANZ ANPASSUNG PER λ/4 LEITUNG

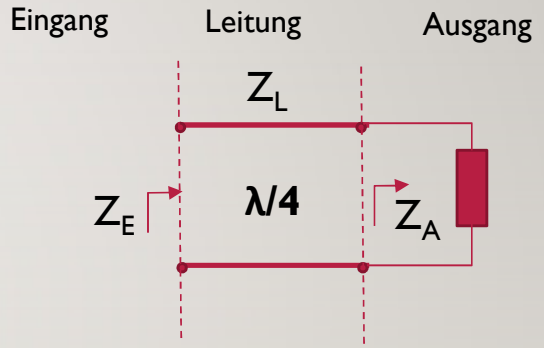
Mit Hilfe einer **λ/4** Leitung können reelle Impedanzen wieder in relle Impedanzen transformiert werden.

$Z_E * Z_A = Z_L^2$

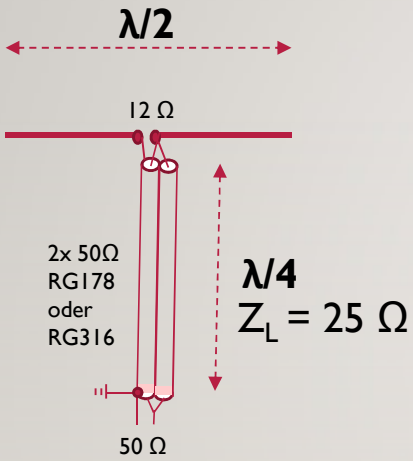
<u>Beispiel:</u>

Z_A = 28 Ω (Fusspunktwiderstand Yagi)
Z_E = 50 Ω (Anschlusskabel)

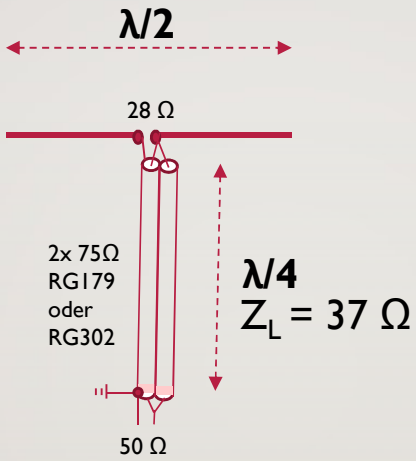
=> ZL = 37.5 Ω (realisierbar durch zwei 75 Ω Kabel parallel)



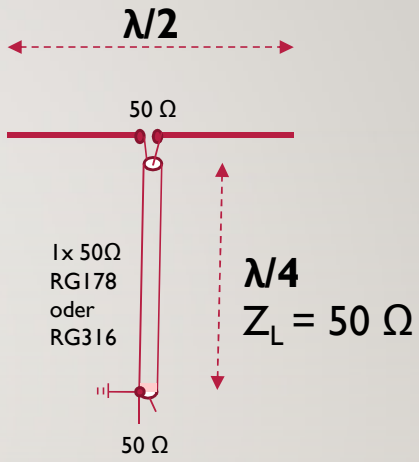
PRAKTISCHE ANPASSUNG VON 12 / 28 / 50 Ω UKW YAGIS



12 Ω Yagi



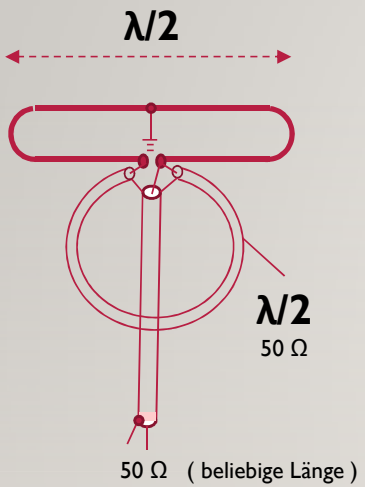
28 Ω Yagi



50 Ω Yagi

Anpassleitung wirkt immer noch als Symmetrierung

λ/2 UMWEGLEITUNG BEIM FALTDIPOL

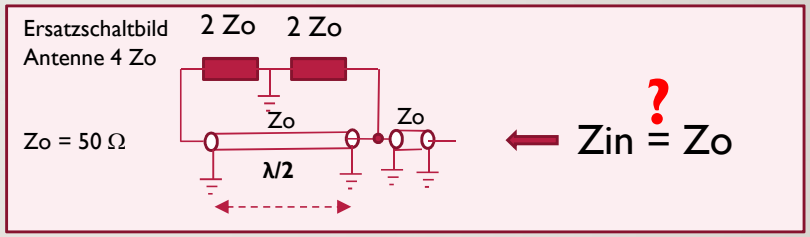


Falt Dipol mit λ/2 Umwegleitung
Transformation 1:4

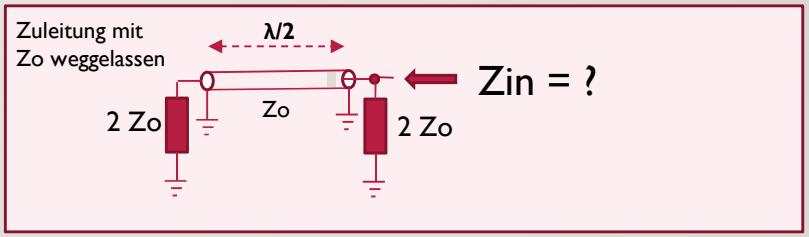
Wie geht das ?

1 Annahme: Die Schaltung transformiert wirklich 1:4,
dann muss Schaltung den Faltdipol = 4 Zo auf 1x Zo im Eingang transformieren.

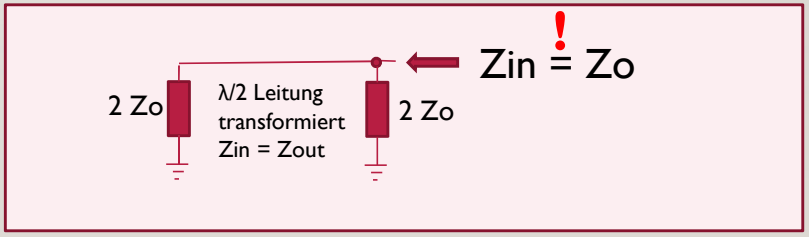
2



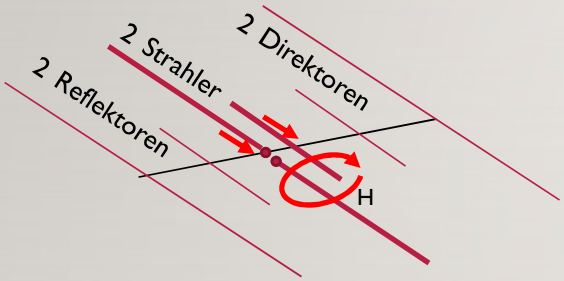
3



4



SONDERFORMEN – MULTIBAND-YAGIS



Elemente für ein anderes Band können mit nur wenig Einfluss auf den selben Boom montiert werden, soweit Ihre Resonanzfrequenzen deutlich auseinander liegen. (typisch Optibeam)

Entweder werden die Strahler über verschiedene Zuleitungen versorgt oder parasitär gekoppelt. Dabei wird immer der Strahler mit der größen Wellenlänge gespeist.

Bei parasitärer Kopplung kann keine Impedanztransformation per λ/4 Leitung für mehrere Bänder erfolgen. Deshalb werden Multiband-Yagis oft als 50 Ω Designs gebaut und sind damit nicht gewinn-optimiert oder müssen breitbandig mit Ferritkern-Baluns angepasst werden.

FRAGENRUNDE ERÖFFNET

DF5HC

Jens Fischer

Robert-Koch-Str. 44

64297 Darmstadt

Email: df5hc@arcor.de