

# Wire Antenna Basics for Hams

---

Hans E. Krüger, DJ8EI, PA8EI, KX4BR  
OV Bad Honnef, G09, 2018



# Inhalt

---

## Teil A: Antennen und Speiseleitungen

- Antennenaufbauhöhe
- Die „klassische“ Dipolantenne
- Aufbauformen des Dipols
- Antennengewinn
- Polarisation von KW Antennen
- Stehwellen SWR
- Speiseleitungen
- SWR Messungen an der Funkanlage

## Teil B: Praxis KW Antennen

- Vertikal Antenne
- Langdraht Antenne
- Delta Loop
- G5RV und ZS6BKW Multiband Dipol
- Windom Antenne (Non Center Fed Dipole)
- „Hy Endfed“ Antenne und Lambda/2 Koax Antenne
- NVIS Antenne
- Kelemen Multiband Trap Antenne
- Quellen für Material zum Selbstbauen



# Antennenaufbauhöhe

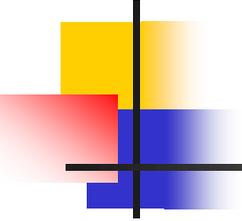
---



# Möglichst hoch !?

---

- Optimal  $>$  Lambda
- Im Verhältnis zur Wellenlänge hängen unsere Antennen aber meist zu niedrig.
- Jeder Höhengewinn ist positiv für die DX - Abstrahlung
- Raus aus dem Störnebel („man made noise“)



# Aber.....

---

- Für DL und Europa braucht man eher Steilstrahler, also geringere Aufbauhöhen
- Siehe NVIS Antenne (Near Vertical Incident Scattering)

# Höhe über Grund und Abstrahlung (Vertikaldiagramm)

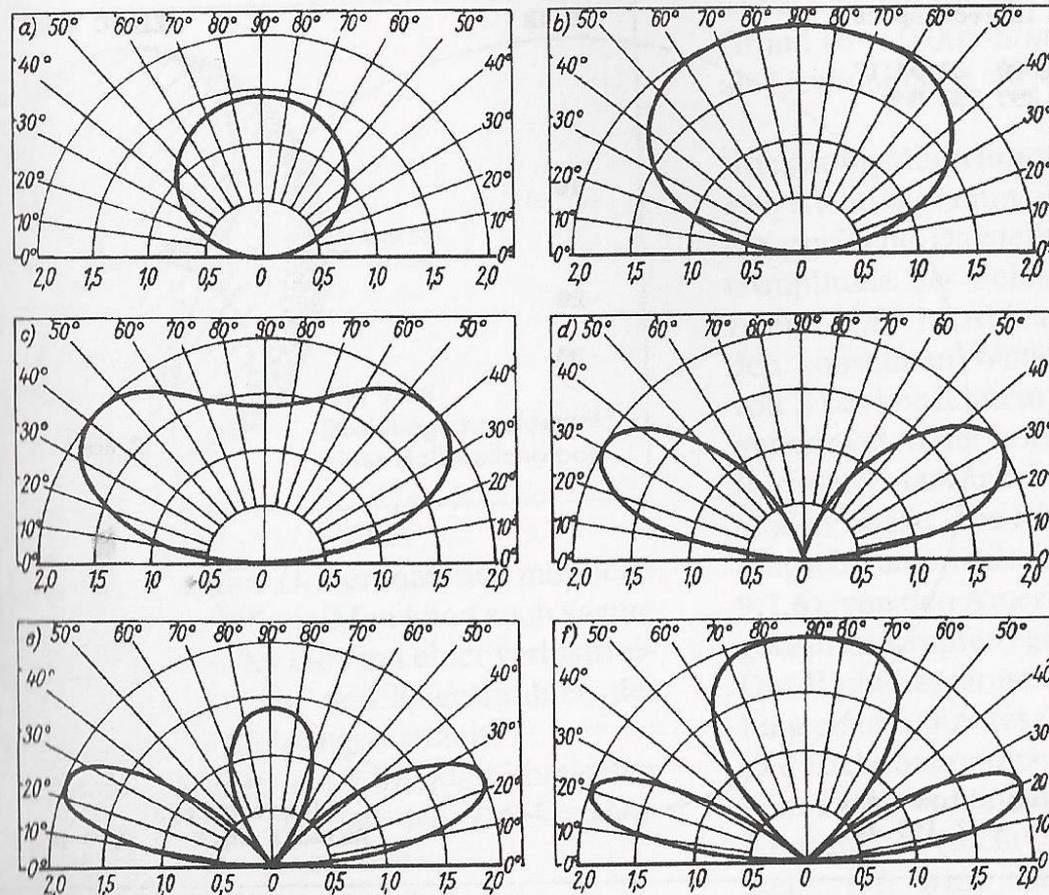


Bild 9.1.9  
Vertikaldiagramme  
eines horizontalen  
Halbwelldipols  
in Abhängigkeit von  
der Höhe über ideal  
leitender Erde (I)  
a)  $1/8\lambda$   
b)  $1/4\lambda$   
c)  $3/8\lambda$   
d)  $1/2\lambda$   
e)  $5/8\lambda$   
f)  $3/4\lambda$

Quelle: Rothammel



# Der resonante Dipol in der Literatur

---

- Länge  $\lambda/2$  (2x  $\lambda/4$ )
- Einspeisung in der Mitte, Impedanz je nach Quelle 50 – 75 Ohm
- Richtwirkungsdiagramm horizontal „liegende 8“
- Gewinn ggü. Isotropstrahler +2.15 dBi
- Diesen Dipol gibt es nicht in der Realität!

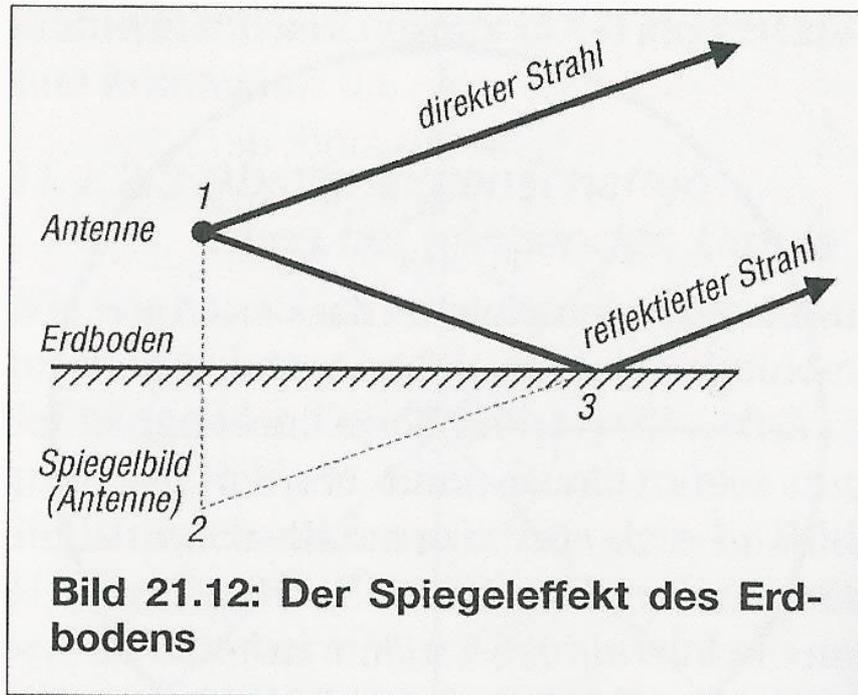


# Der „reale“ Dipol

---

- Wo bleiben die 2,15 dBi Gewinn, die der Dipol ggü. dem Isotropstrahler haben soll?
  - Kein Freiraum
  - Einfluss des Erdbodens als Spiegel
- Ein real aufgebauter Dipol hat deshalb höhere Gewinne als der theoretische Freiraum – Wert
- aber auch ein anderes Abstrahldiagramm

# Der Erdboden als Spiegel



**Tabelle 21.1: Typischer Einfluss der Bodenleitfähigkeit**

Bodentyp	Dielektrizitätszahl $\epsilon_r$	Leitfähigkeit $\sigma$ [S/m]	Gewinn [dBi]
Meerwasser	81	5	8,4
feuchter Boden	20	0,03	7,2
mittlerer Boden trockener	13	0,005	5,8
Boden, Berge	10	0,002	4,9
Stadt mit hohen Gebäuden	3	0,001	4,4

Quelle: HB9ACC

# Abstrahldiagramm eines realen tiefhängenden Dipols (160/80/40m)

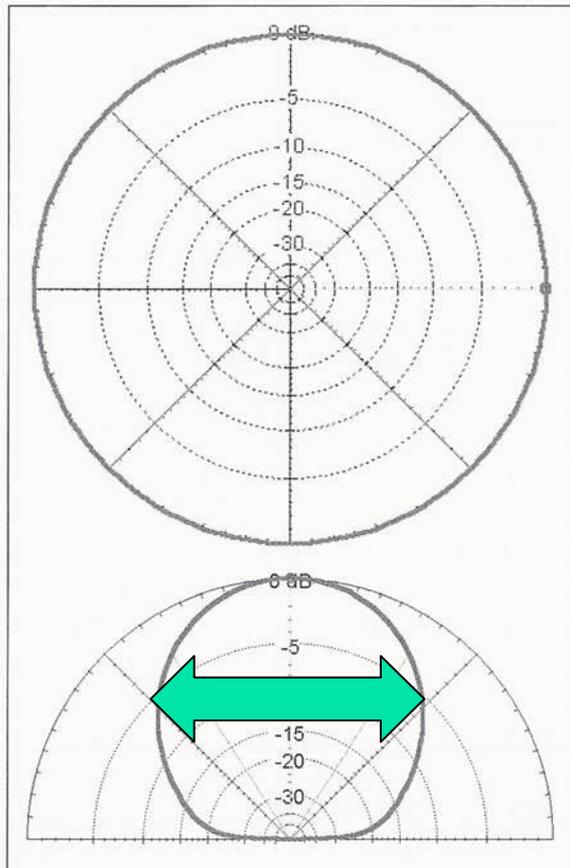


Bild 21.10: Abstrahldiagramm eines tief hängenden Dipols

Tief hängend bedeutet:

0,1 – 0.25 Lambda

0,1 Lambda Höhe bei 160m = 16 m

0,1 Lambda Höhe bei 80m = 8 m

0,25 Lambda Höhe bei 40m = 10 m

Ideal für Europa Verkehr

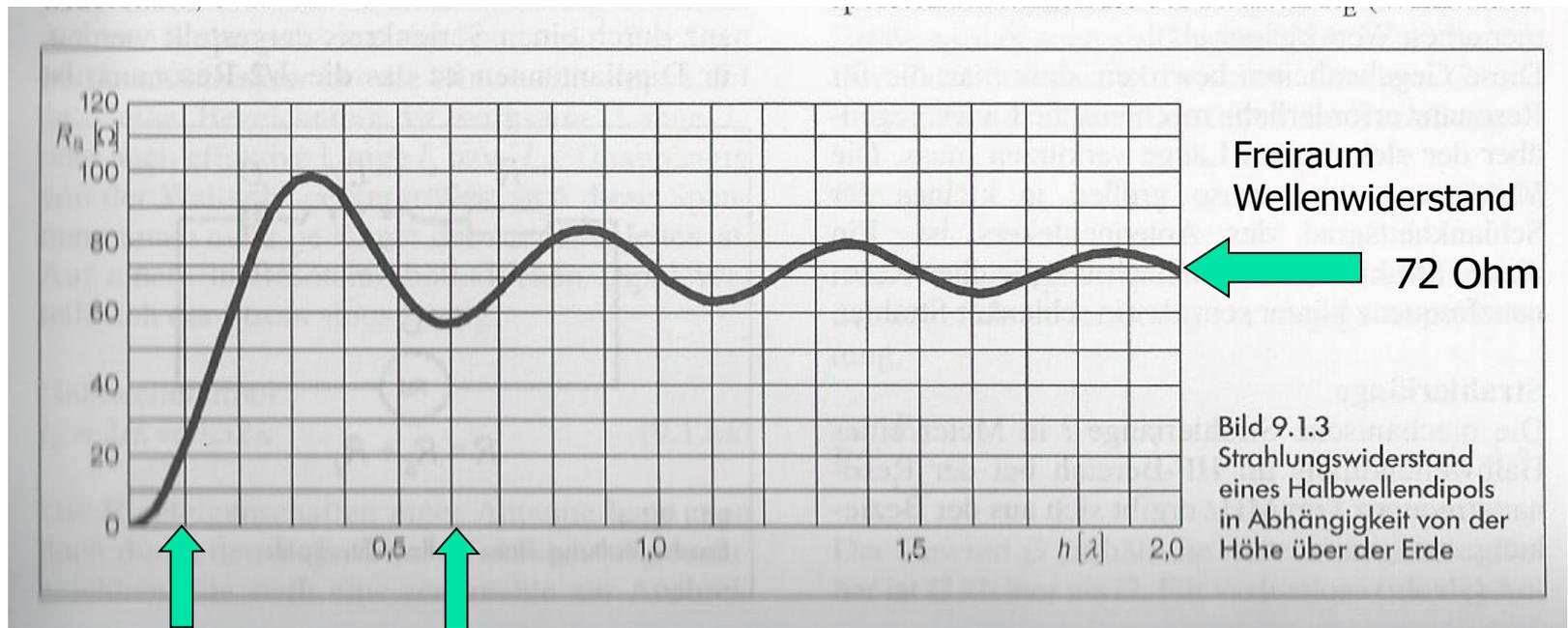
Gewinn in 90 Grad/senkrecht nach oben  
ca. + 5,8 dBi

Aber... Gewinn für DX; 40 Grad  
Abstrahlung noch -4,7 dBi

Differenz 10,5 db = knapp 2 S-Stufen  
weniger...

Quelle: HB9ACC

# Aufbauhöhe und Fußpunktswiderstand



Quelle: Rothammel



# Fazit Antennenaufbauhöhe

---

Die Antennenaufbauhöhe beeinflusst im Wesentlichen

- den Abstrahlwinkel (DX, Europa, Steilstrahlung (NVIS))
- den Antennenfußpunktwidestand
- bei Aufbauhöhen  $< \lambda/8$  Verluste bedingt durch schlechte Leitfähigkeiten des Erdbodens



# Die „klassische“ Dipolantenne

---

- Übrigens....  
alle Antennen sind Dipole!!
- ...auch wenn`s nicht so aussieht....
- Es gibt keine einbeinigen Antennen!



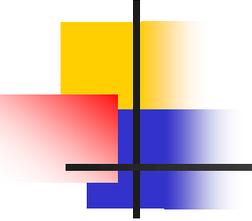
# Woher kommt die ominöse Formel für die Dipollänge?

---

- Literatur: Länge eines Lambda Halbe Dipols  
( $\lambda = c/f$ )

$$\mathbf{L \text{ (m)} = 145,3 / f \text{ (MHz)}}$$

- Lichtgeschwindigkeit im Vacuum  
 $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$  ( $300\,000 \text{ km/s}$ )
- Wellenausbreitung im Draht mit  $v = 0.97$
- $L/2 \text{ (m)} = 299\dots/2 \times 0.97 / f \text{ (MHz)}$  ergibt obige Formel
- $v =$  Verkürzungsfaktor



# Viel Draht

---

- Antenne mit viel Draht bringt die besseren Ergebnisse
- Antennenstandort bestimmt weitgehend die mögliche Drahtlänge
- Viel Draht lässt sich aber auch anders als in Spannweite umsetzen, Schleifen, Delta Loop Antennen, L – Antennen, T – Antennen, Sloper, Endgespeiste Antennen, Verticals etc.



# Drahtlänge beim Antennenbau

---

- Starten mit Drahtlänge + 5 % !
- Drahtlänge ist immer eine Funktion der Umgebungsbedingungen, keine Formel stimmt!
- Abschneiden ist einfacher als (wetterdicht) anlöten
- Vorsicht! Kupferdraht dehnt sich
- Verdrillter (Armee Stahl -) Draht,  $f_{res} \sim -7\%$

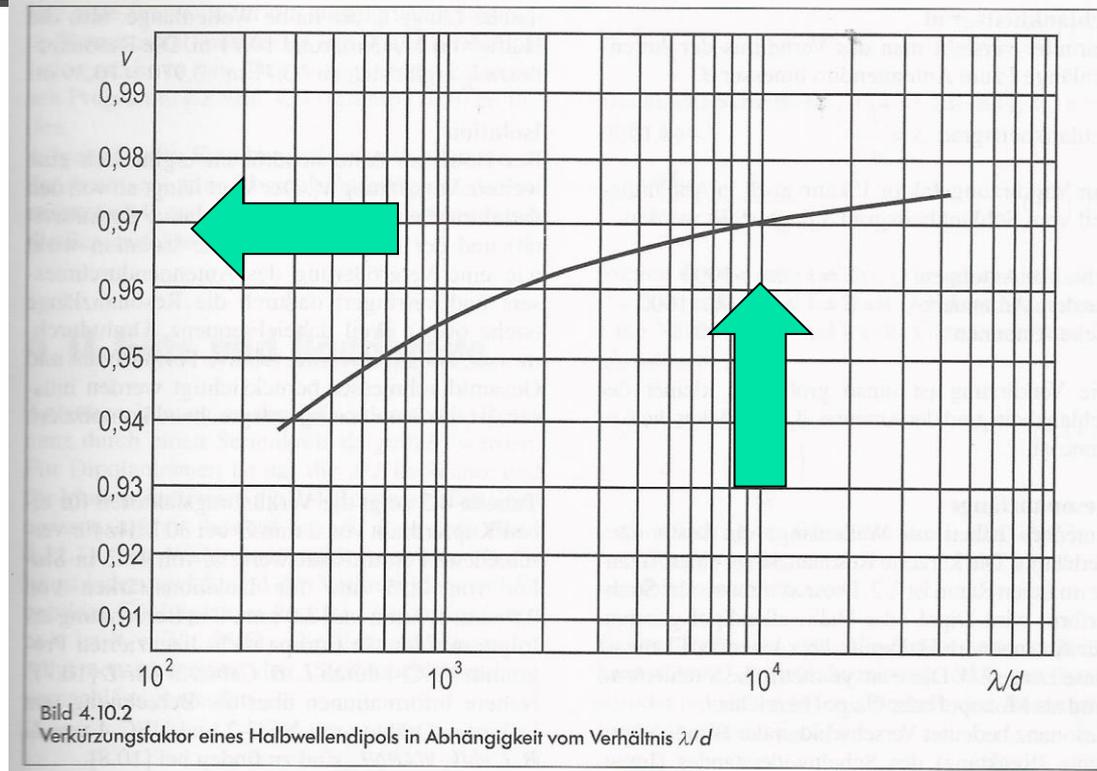


# Verkürzungsfaktor Drahtantennen

---

- Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Draht geringer als im Freiraum/Vacuum
- Kapazitive Randwirkungen, abhängig von
  - Antennenlänge/durchmesser
  - Material des Drahtes, Isolierung
  - Kapazitäten rund um die Antenne, Abspannungen, Antennenhalterung etc.
- Drahtlänge deshalb kürzer als ideal berechnet mit  $\lambda = c_0 / f$

# Verkürzungsfaktor Drahtantennen

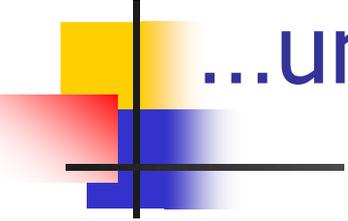


Beispiel: 20m Band: 2mm Drahtdurchmesser

$\lambda/d = 10^4$        $v = 0.97$

Länge  $\lambda/2$  Dipol – 30 cm (bei 80m: – 1,20 m!)

Quelle: Rothammel



## ...und „richtiger“ Draht!

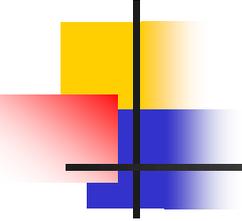
**Tabelle 5.2: Gewinnunterschied bei einem Dipol entsprechend dem verwendeten Material des Antennendrahtes**

Material des Antennendrahtes	spezifischer elektrischer Widerstand $\rho/\Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$	Gewinn bei Durchmesser	
		1 mm [dBi]	2 mm [dBi]
verlustfrei	0	8,67	8,67
Kupfer hart	0,0174 	8,20	8,43
Stahldraht	0,14 	7,49	8,07

Differenz nur 0,71 dB...immerhin „schluckt“ der Stahldraht 15,3 Watt von 100 W

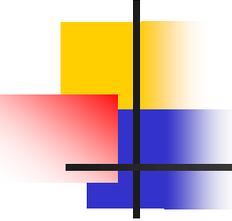
Quelle: HB9ACC

# Fazit Dipol Draht und Länge



---

- Drahtlänge: Viel Draht!
- Verkürzungsfaktor beachten
- Durchmesser und Material des Antennendrahtes sind nicht unwichtig



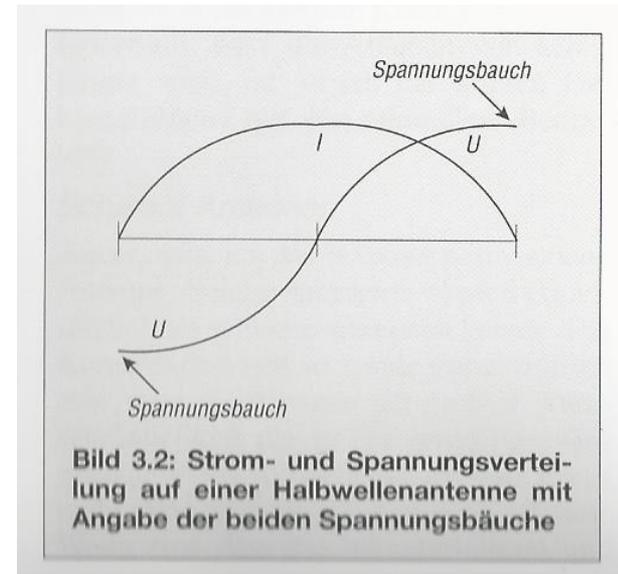
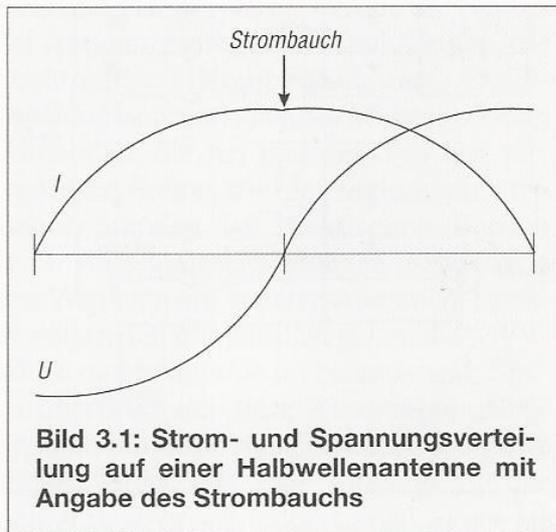
# Aufbauformen des Dipols

---

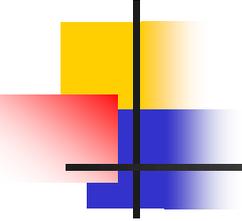
....und wenn ich den Dipol abknicke??

„Strom strahlt“

# Strombauch und Spannungsbauch



Quelle: HB9ACC

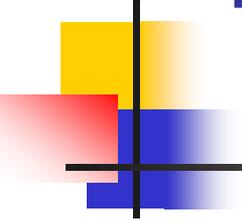


# Strom strahlt

---

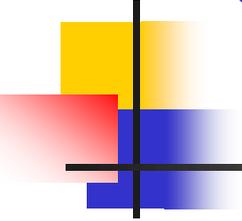
- Im Strombauch wird die meiste Leistung abgestrahlt.
- Der Teil der Antenne, der den meisten Strom führt, sollte möglichst hoch hängen
- Die Enden der Antennen sind vor allem für die Resonanzabstimmung
- Abwinkeln der Antennenenden unkritisch
- Verlängerungsspulen nicht im Strombauch!

# Freie Enden - Spannungsbauch



---

- Wo ein Draht aufhört, kann kein Strom mehr fließen
- Speisung am Ende des Drahtes – Speisung im Spannungsbauch – also hochohmig
- Bei Langdrahtantennen Längen vermeiden, die am Speisepunkt einen Spannungsbauch ergeben



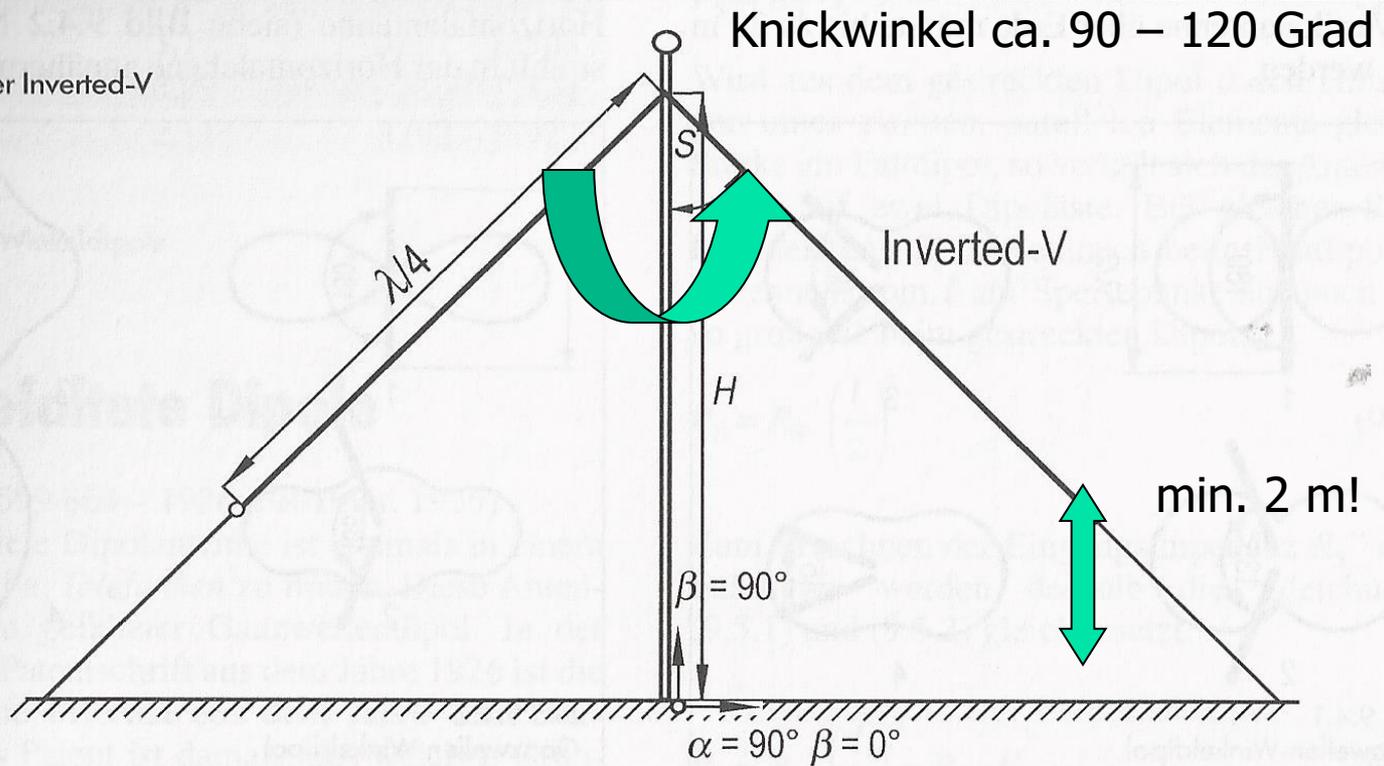
# Geerdete Antennen = Strombauch

---

- Wo der Antennendraht in die Erde übergeht Strombauch!
- Gilt für alle Antennen, die nicht symmetrisch sind, z. B. Verticals, GPA Fritzel, Marconi etc.
- Leitfähigkeit der Erde entscheidend
- z. B. Salzwasser 1000 mal bessere Leitfähigkeit / Abstrahlung ggü. Süßwasser (siehe Fotos von DXpeditionen, wo die Verticals oft mitten in der Lagune stehen!)

# Inverted V - Dipol

Bild 9.3.1  
Skizze einer Inverted-V



Quelle: Rothammel

# Inverted V - Strahlungswiderstand

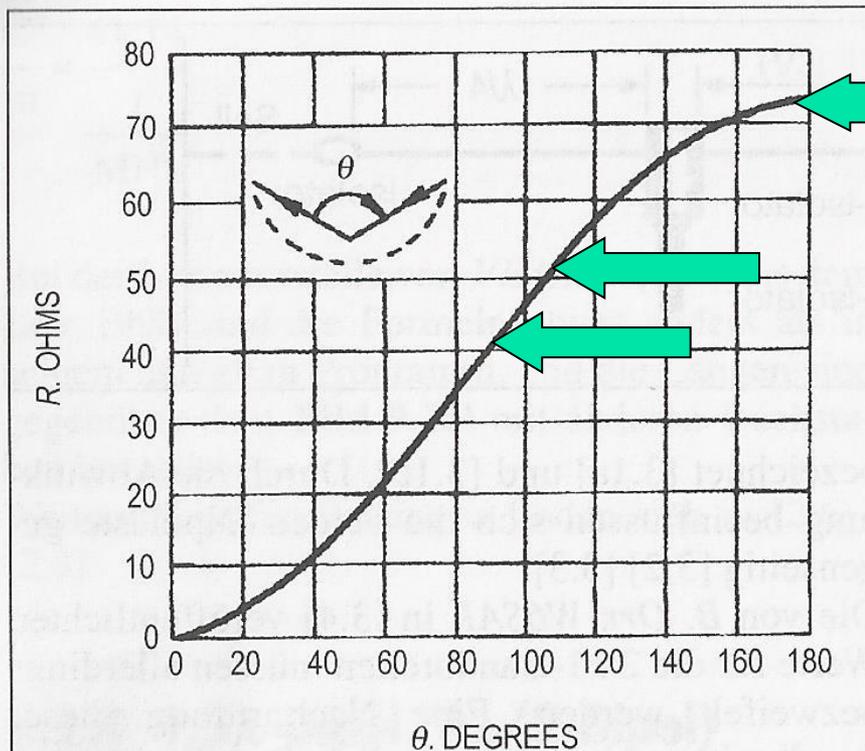


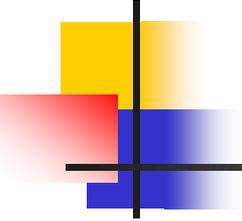
Bild 9.3.2  
Inverted-V-Dipol - Strahlungswiderstand

Quelle:  
Rothammel

# Inverted V - Resonanzfrequenz

- Im Gegensatz zur „landläufigen Meinung“ (und einigen Literaturstellen) verändert sich durch das Abknicken der Dipolhälften die Resonanzfrequenz nicht zu tieferen Frequenzen (Einfluss der Erdkapazität) sondern zu höheren Frequenzen, Antenne muss verlängert werden!
- Grund liegt in der steigenden elektrischen Verkoppelung der Dipolhälften.

# Inverted V - Resonanzfrequenz



---

- Beispiel 2 x 5 m Dipol in 10 m Höhe
  - Gestreckt 180 °,  $F_{\text{res.}}$  14,218
  - Winkel 120 °,  $F_{\text{res.}}$  14,327
  - Winkel 90 °,  $F_{\text{res.}}$  14,468
- Resonanzverschiebung 250 Khz,  
Drahtlänge ca. + 22cm

Quelle: FA 01/2016. S. 58ff

# Gestreckter Dipol versus Inverted V am Beispiel G5RV - Abstrahldiagramm

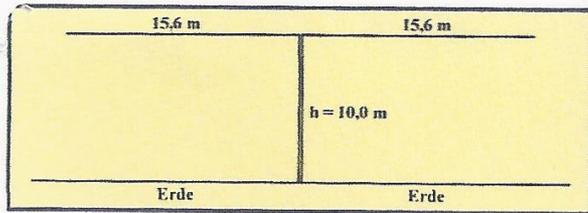


Bild 1: Horizontale G5RV.

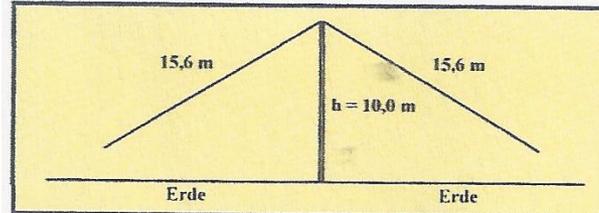
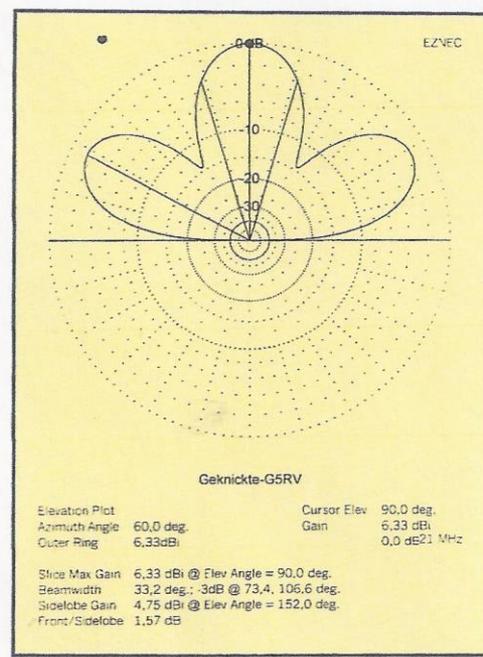
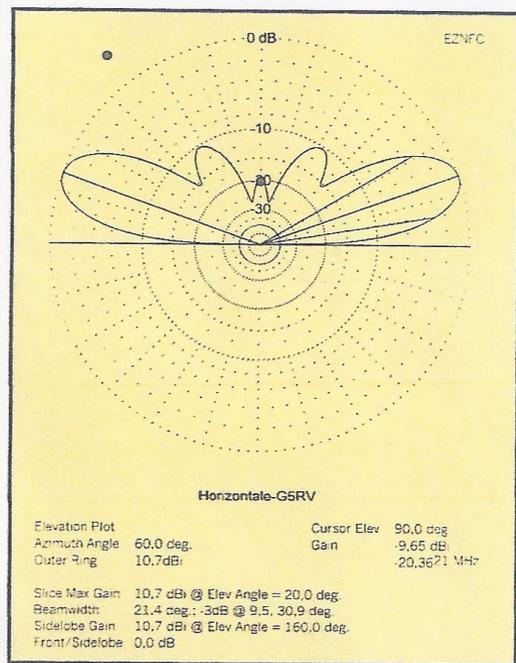


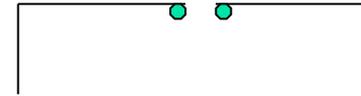
Bild 2: Geknickte G5RV.



Quelle:  
Zeitschrift Funk

# Inverted V – Abwinkelung ausserhalb des Einspeisepunktes

## ■ Beispiel von KØNM



- Lambda/2 Dipol, 50 % Horizontal, 50% beidseitig abgewinkelt, Gewinnrückgang nur 0,6 dB (13%)
- Verringerung der Eingangsimpedanz von 70 auf 40 Ohm
- Verformung der Abstrahlkeule, kann übrigens auch positiv wirken.....
- Also.....kein größeres Problem!



# Inverted V

---

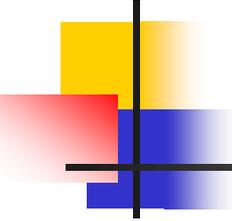
- Durch das Abknicken eines gestreckten Dipols verändern sich
  - Abstrahldiagramm
  - Strahlungswiderstand
  - Resonanzfrequenz
- Im Prinzip kein wirkliches Problem
- Hilft aber bei schwierigen örtlichen Gegebenheiten.....



# Fazit Aufbauform der Drahtantenne

---

- Der Strombauch ist wichtig für die Abstrahlung
- Die Enden der Drahtantenne sind weniger wichtig
- Deshalb ist Inverted V oder Abknicken der Antennenenden weniger relevant
- Der Fußpunktwiderstand ist allerdings betroffen
- Die Resonanzfrequenz ändert sich
- Die Abstrahlcharakteristik wird – wie bei der Antennenhöhe – beeinflusst
- Aber....gegenüber dem „klassischen gestreckten“ Dipol akzeptable Geometrieänderungen



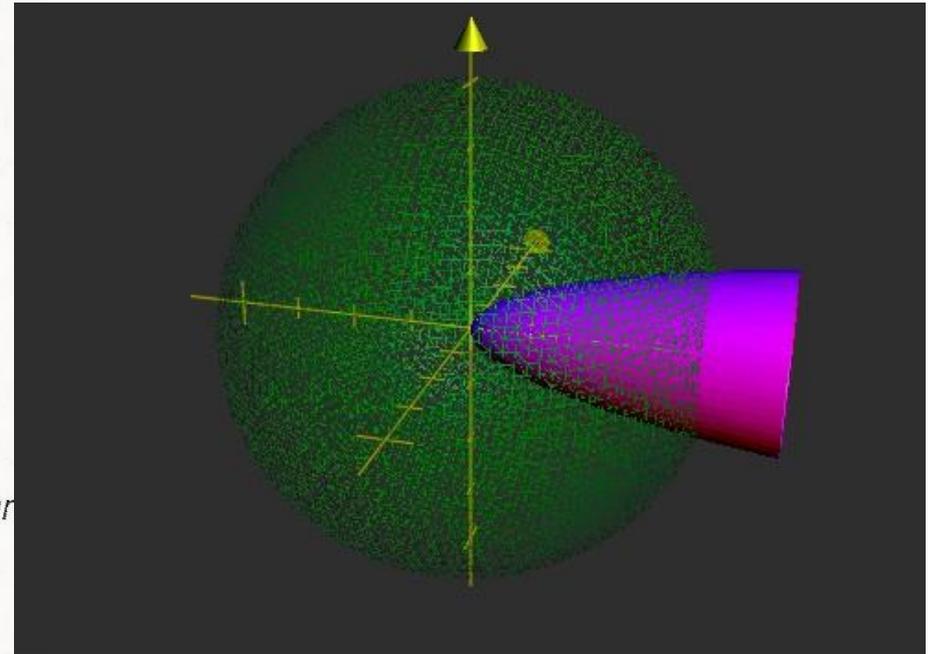
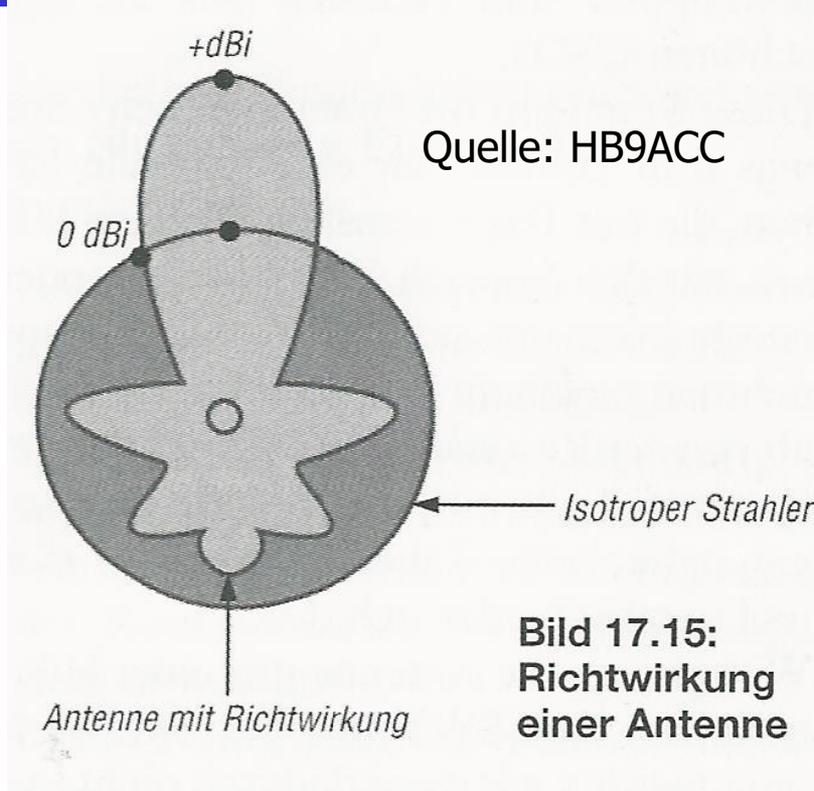
# Antennen Gewinn

---

.....aufpassen beim Kauf von  
Antennen.....Antennenvergleichen

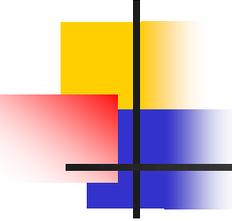
Die Angabe in dBi ist 2,15 dB höher als  
die Angabe in dBd  
(ein Dipol hat 0 dBd aber 2,15 dBi)

# Antennengewinn dBi „Isotropstrahler“



Gewinn dBi =  $10 \log \text{Kugelfläche 1} / \text{Kugelfläche 2}$

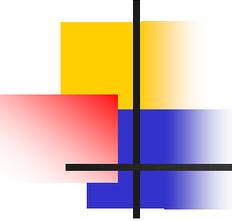
Beispiel vereinfacht:  $360^\circ / 20^\circ \rightarrow 12,5 \text{ dBi}$



# Fazit Antennengewinn

---

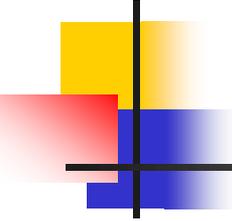
- Aufpassen bei Angaben zum Gewinn in dBd oder dBi
- Ansonsten wie beim Gebrauchtwagenkauf eines Autos.....Es wird geschummelt wo es geht.
- Daten nicht unbedingt penibel ernst nehmen!



# Polarisation von Antennen

---

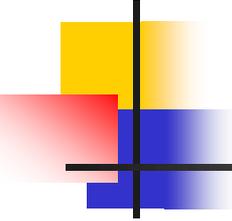
- Die Polarisation spielt bei KW Antennen keine große Rolle
- Wir arbeiten – von Orts - QSOs abgesehen – immer mit der Raumwelle
- Bei der Reflexion der Wellen in der Ionosphäre wird die Polarisation ein - oder mehrfach gedreht.
- Man benutzt Vertikal Antennen eher wegen der Flach - und Rundum Strahlung
- Vertikal Antennen nehmen i.A. mehr „man-made noise“ auf als Horizontal polarisierte Antennen



# Fazit Polarisation von KW Antennen

---

- Die Polarisation von KW Drahtantennen spielt kaum eine Rolle wegen der Polarisationsdrehungen in der Ionosphäre
- Es gibt einen anderen Grund, eine bestimmte Polarisation zu wählen.....Vertikal Antennen über leitfähigem Grund (Seewasser) sorgen für extrem flache Abstrahlung....
- Das würde man mit Horizontal Antennen nur in grosser Lambda Höhe erreichen.

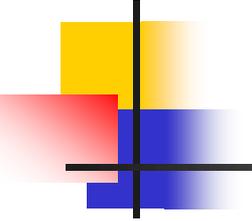


# Stehwellen SWR

---

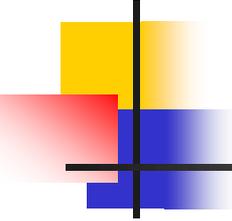
Eine Antenne hat kein SWR !!

# Bandbreite von Antennen



---

- Wie bei einem Schwingkreis mit  $R, L, C$  bestimmt auch bei einer Antenne die Güte die nutzbare Bandbreite
- Einflussgrößen sind z. B. Drahtstärke, Verkürzung des Strahlers, Verlustwiderstand
- Aus praktischen Gründen hat es sich im Amateurfunk eingebürgert, die Bandbreite einer Antenne mit 50 Ohm Coaxkabel Speisung über das leicht zu messende SWR zu definieren
- Dies ist die „SWR – Bandbreite“ einer Antenne
- Noch einmal: Eine Antenne hat kein SWR!!

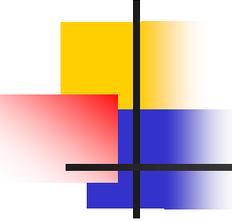


# SWR und Bandbreite eines Dipols

---

- Moderne Funkgeräte arbeiten i.A. in einem Bereich des SWR von kleiner gleich 2, bei höheren Werten wird die Leistung heruntergeregelt zum Schutz der Senderendstufe (auch schon bei QRP Geräten....)
- Bei einem SWR = 3 wird z.B. die Hälfte der abgegebenen Leistung reflektiert und würde sonst zu einer Überhitzung der PA Transistoren (oder zu „roten Backen“ bei der Röhrenendstufe) führen.
- Deshalb rechnet man mit der „2:1 – Bandbreite“ eines Antennensystems, der Abstand zwischen denjenigen Frequenzen, bei denen das SWR in einem 50 Ohm System den Wert 2 erreicht

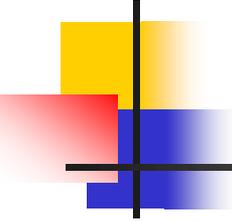




# SWR – Bandbreite von Antennen

---

- Gewinn innerhalb des Bandes fast konstant und unabhängig vom SWR (im Beispiel: SWR zwischen 1 und 4)
  - 3500 kHz 5.65 dBi
  - 3650 kHz 5.81 dBi
  - 3800 kHz 5.95 dBi
- Verluste durch Dämpfung des Coaxkabels (z.B. 35m)
  - RG58 1.05 dB RG213 0.45 dB sowie weitere Ursachen für Dämpfung wie Stecker, ATU, SWR Messgeräte etc.– unvermeidbar und unabhängig vom SWR
- Zusatzverluste im Koaxkabel durch SWR = 4 an den Bandgrenzen
  - RG58 0.85 dB RG 213 0.45 dB - vernachlässigbare Verluste an den Bandgrenzen (SWR4) ggü. der Resonanzfrequenz (SWR 1)



# SWR Bandbreite von Antennen

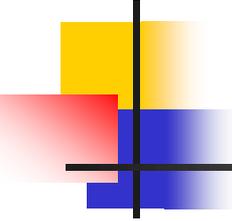
---

- Fazit Beispiel 1:
  - Antenne spielt gleich gut über das ganze Band
  - Vom Gesichtspunkt der Wirkung der Dipolantenne spielt das höhere SWR an den Bandgrenzen (fast) keine Rolle.
  - Lediglich der TRX mag das hohe SWR nicht. Man muss ihn deshalb mit einem Antennentuner betrügen (verwöhnen).

# Beispiel 2: CW / SSB Betrieb



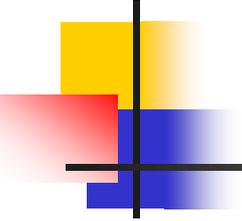
Quelle: HB9ACC



# Kann ich mit dieser Antenne auch im SSB Band ??

---

- Gewinn ändert sich nur um 0.3 db – vernachlässigbar
- Kabel und sonstige Dämpfungsverluste sind gleich
- Zusatzverluste durch hohes SWR = 8 im Koaxkabel
  - RG58 2dB, RG 213 1,1 dB
- Für RG 58 kommen wir nun allerdings auf insgesamt 1.05 + 2, also >3 dB entsprechend 50 % Verlust.....
- Aber....von der Wirksamkeit und Abstrahlung der Antenne auch hier kein Problem!



# SWR 2 – Bandbreite

## Abhängigkeit von der Antennenlänge

---

- Je kürzer der Strahler, desto geringer die SWR 2 Bandbreite des Ant. Systems
- Beispiel 80m Band
  - Full Size Freiraum 180 kHz 60 %
  - Full Size Realer Dipol 150 kHz 50 %
  - Kelemen Trap Dipol 80 kHz 26 %
  - KFZ Mobilantenne 25 kHz 8 %

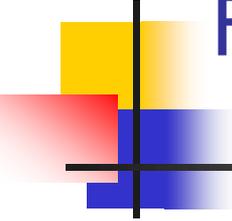
# SWR 2 - Bandbreite

## Abhängigkeit vom Drahtdurchmesser

Frequenz	1 mm Ø kHz	2,1 mm Ø kHz
3,5	180	195
7,0	375	403
10,1	555	597
14,0	795	855
18,1	1064	1144
21,0	1263	1358
24,9	1543	1660
28,0	1777	1911

Tabelle 4.4  
2 : 1-Bandbreiten für Dipole

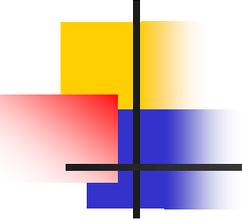
Quelle: Rothammel



# Fazit SWR und Bandbreite von Antennen

---

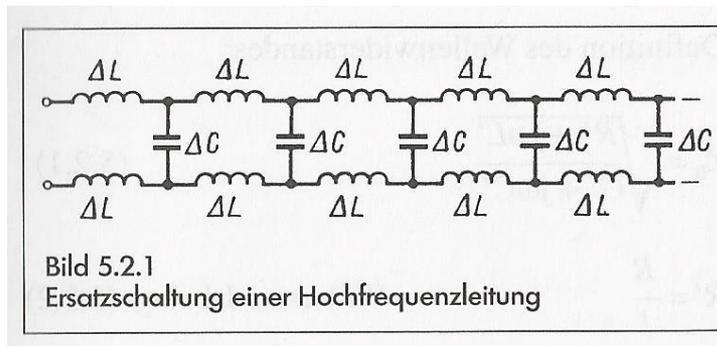
- Eine Antenne hat kein SWR !!
- Die sogenannte „SWR 2“ Bandbreite spielt nur eine sehr geringe Rolle für die Abstrahlleistung einer Antenne
- $\text{SWR} < 2$  ist lediglich wichtig für die Ausgangsstufe des TX (automat. Leistungsregelung bei Fehlanpassung)
- Hohes SWR ( $\text{SWR} > 5$ ) führt allerdings zu nennenswerten Leistungsverlusten durch Zusatzdämpfung in der Speiseleitung



# Speiseleitungen

---

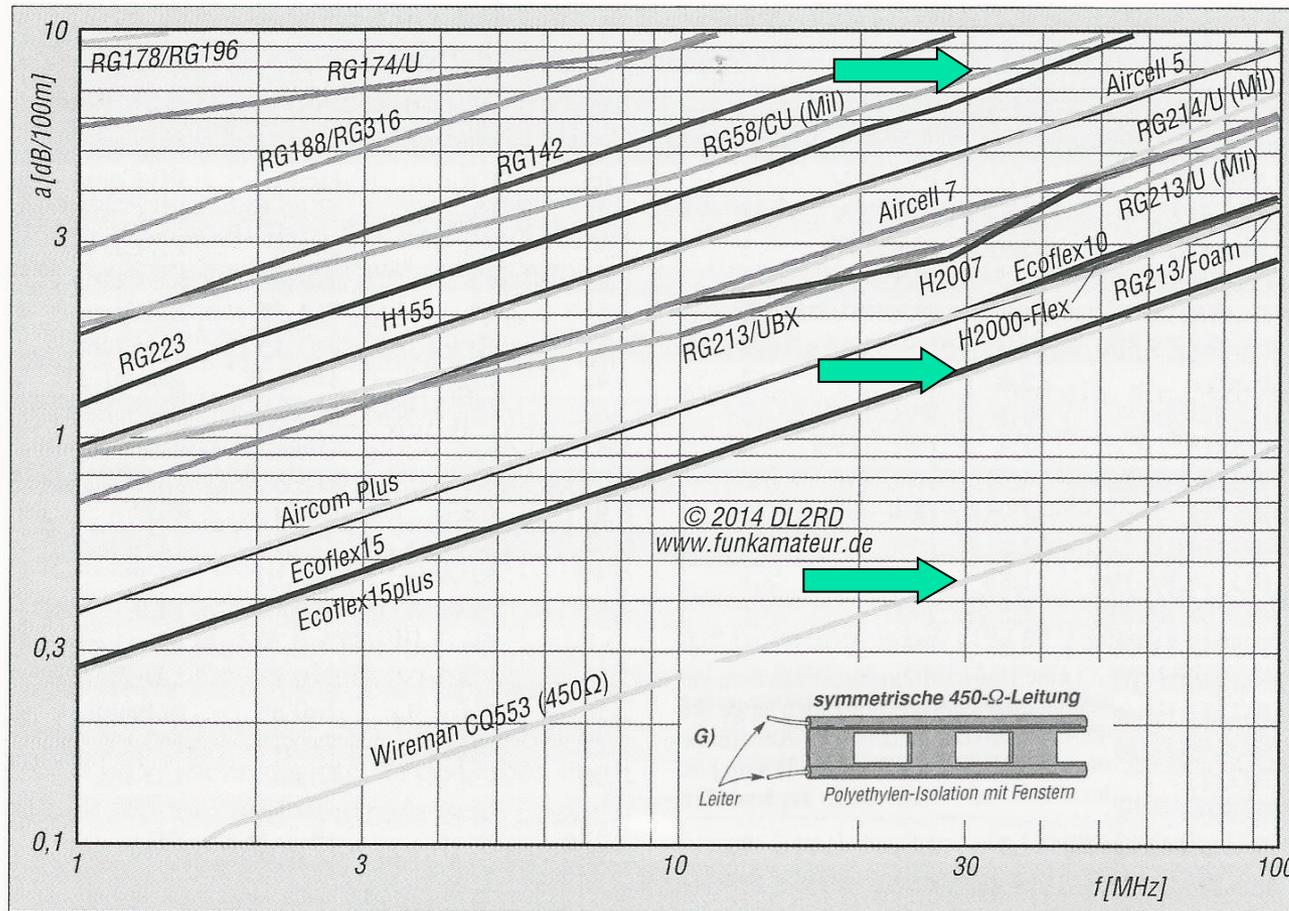
# Dämpfung bei Speiseleitungen – was ist das?



Quelle: Rothammel

- Dämpfung steigt mit wachsender Frequenz
- HF Leitungswiderstand (R,L)
- Verluste im Dielektrikum (C)
- Verluste werden in Wärme umgesetzt

# Dämpfung von Speiseleitungen



Anpassung  
SWR = 1

Quelle:  
HB9ACC

Bild 8.8: Diagramm mit den Dämpfungswerten handelsüblicher Speisekabel

# Zusatzverluste durch hohes SWR

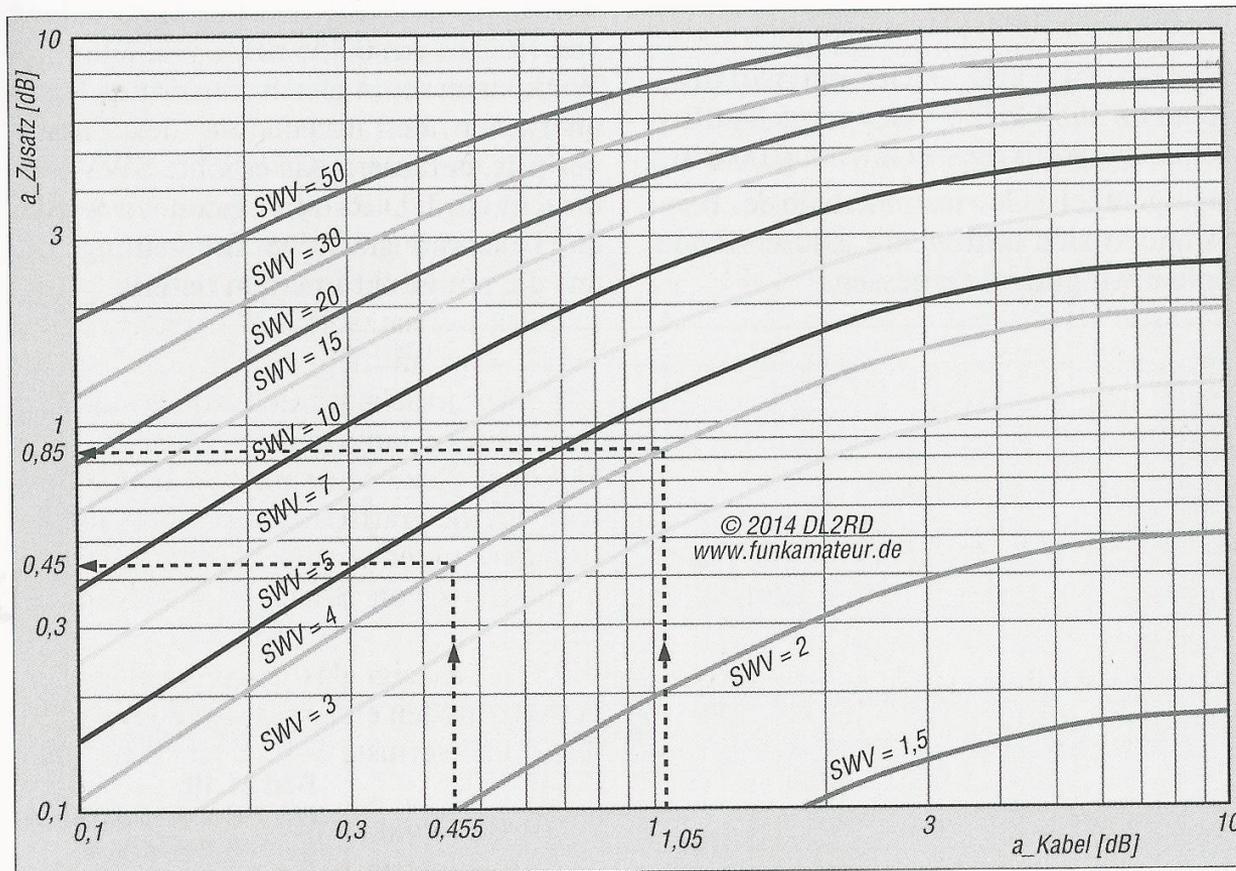


Bild 21.18: Zusatzverluste, die durch das SWV 4,0 verursacht werden

Quelle:  
Rothammel  
HB9ACC

# Belastbarkeit von Speiseleitungen

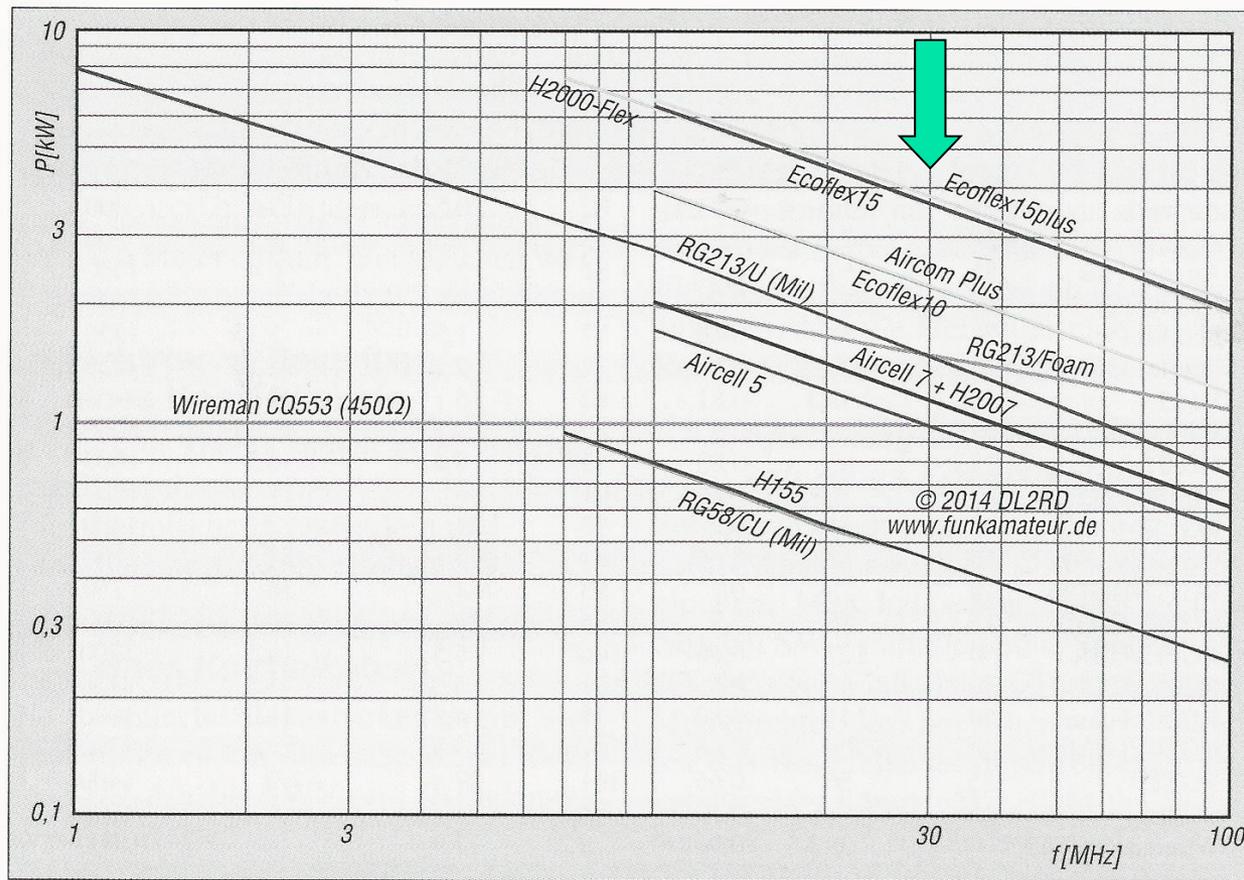


Bild 8.9: Belastbarkeiten (Dauerstrich) handelsüblicher Speisekabel (bei SWV  $\approx 1,0$ )

# Verkürzungsfaktor $V$ von Speiseleitungen

- Wellenausbreitung im Medium langsamer als im Freiraum/Vakuum ( $C_0 = 299\,792\,458$  m/s)
- $V$  - Draht ca. 0.96 - 0.97
- $V$  - Hühnerleiter
  - 450 Ohm Wireman ca. 0.905,
  - 600 Ohm Selbstbau ca. 0.97
- $V$  - Coaxkabel 0,66 – 0,86 (s. Tabelle)

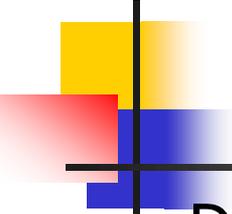
# Verkürzungsfaktor von Speiseleitungen



	minimaler Biege- radius [mm]	relative Masse [g/m]	Verkür- zungs- faktor <i>VF</i>	Kapa- zität [pF/m]	Gleichstrom- widerstand [Ω/km] Innenleiter	Gleichstrom- widerstand [Ω/km] Außenleiter	max. Betriebs- spannung [V]
Aircell 5	25	36	0,82	82	20,5	13,6	400
Aircell 7	25	72	0,83	75	8,6	8,5	700
Aircom Plus	55	150	0,83	81	3,1	6,4	1000
Ecoflex 10	40	131	0,85	78	3,3	8,4	1000
Ecoflex 15	70	258	0,86	77	1,56	5,15	1550
Ecoflex 15plus	70	200	0,86	77	2,2	5,15	1550
H155	35	38,3	0,81	82	15	17	
H2000Flex	50	140	0,83	80	3,15	11,05	5000
H2007	25	83	0,83	75	8,6	8,5	1000
RG58/CU (Mil)	25	36	0,66	101	36	17	1400
RG142	25	64	0,7	93	24	12	1400
RG174/U	15	12	0,66	101	306	54	1100
RG178/RG196	10	8	0,7	93	784	76	750
RG188/RG316	15	15	0,7	95	270	40	900
RG213/UBX	50	127	0,66	106	5,5	4,5	3700
RG213/U (Mil)	50	152	0,66	101	5,5	4,5	3700
RG213/Foam	50	141	0,80	77	4,87	11,08	5000
RG214/U (Mil)	50	206	0,66	101	5,5	4,4	3700
RG223	25	56	0,66	101	27	9	1400
RG400	25		0,70	95			1900
Wireman CQ553*		39,3	0,905	8,2	17,9	–	10 000

\* 450-Ω-Doppelleitung

Quelle:  
HB9ACC



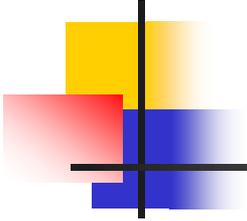
# Fazit Speiseleitungen

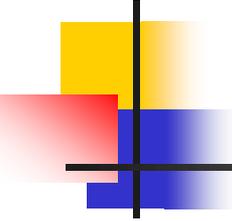
---

- Die Dämpfung von Speiseleitungen hat zwei sehr relevante Aspekte
  - die herstellungsbedingte, frequenzabhängige Dämpfung
  - Zusatzdämpfung durch hohes SWR
- Es lohnt sich die Speiseleitung und das SWR zu optimieren (100W Sendeleistung und 3 dB Dämpfung: 50 Watt werden in Wärme verbraten.....)
- Der Verkürzungsfaktor (ist frequenzunabhängig) spielt dort eine Rolle, wo Speiseleitungen als frequenz - bestimmende Elemente eingesetzt werden
  - (z. B. Lambda/4 Transformationsleitung, Lambda/2 Umwegschleife zur Symmetrierung)

# SWR Messungen an der Funkanlage

---

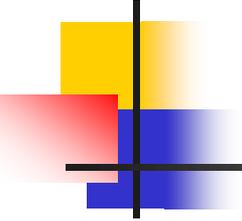




# SWR – „Thema Nr. 1“

---

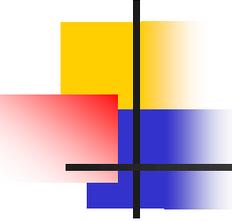
- Eine Antenne hat kein SWR !!



# SWR – „Thema Nr. 1“

---

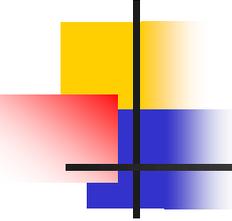
- Eine Antenne hat lediglich einen Speisepunkt – Impedanz (Antennenfußpunktimpedanz)
- Das SWR entsteht durch Fehlanpassung der Speiseleitung an den Antennenfußpunktwiderstand
- Die (gute) Abstrahlung einer Antenne hängt von ihrer Konstruktion (Flach/Steilstrahler, Strahlerlänge, Aufbauhöhe, Material usw.) und den Umgebungsbedingungen (Blitzableiterdrähte, Elektrizitätsleitungen, Armierungsnetze im Beton usw.) ab, **NICHT vom SWR**
- Eine 50 Ohm Dummy Load hat ein SWR von 1.0 aber eine Abstrahlung von Null



# SWR – „Thema Nr. 1“

---

- Das SWR ist ausschließlich ein Thema der Speiseleitung, der Dämpfung und der Anpassung
- Verluste sind bedingt durch die herstellungsbedingte Dämpfung der Speiseleitung
- ....und durch die Zusatzdämpfung bedingt durch hohes SWR auf Grund von Fehlanpassung der Speiseleitung an den Fußpunktwideerstand der Antenne

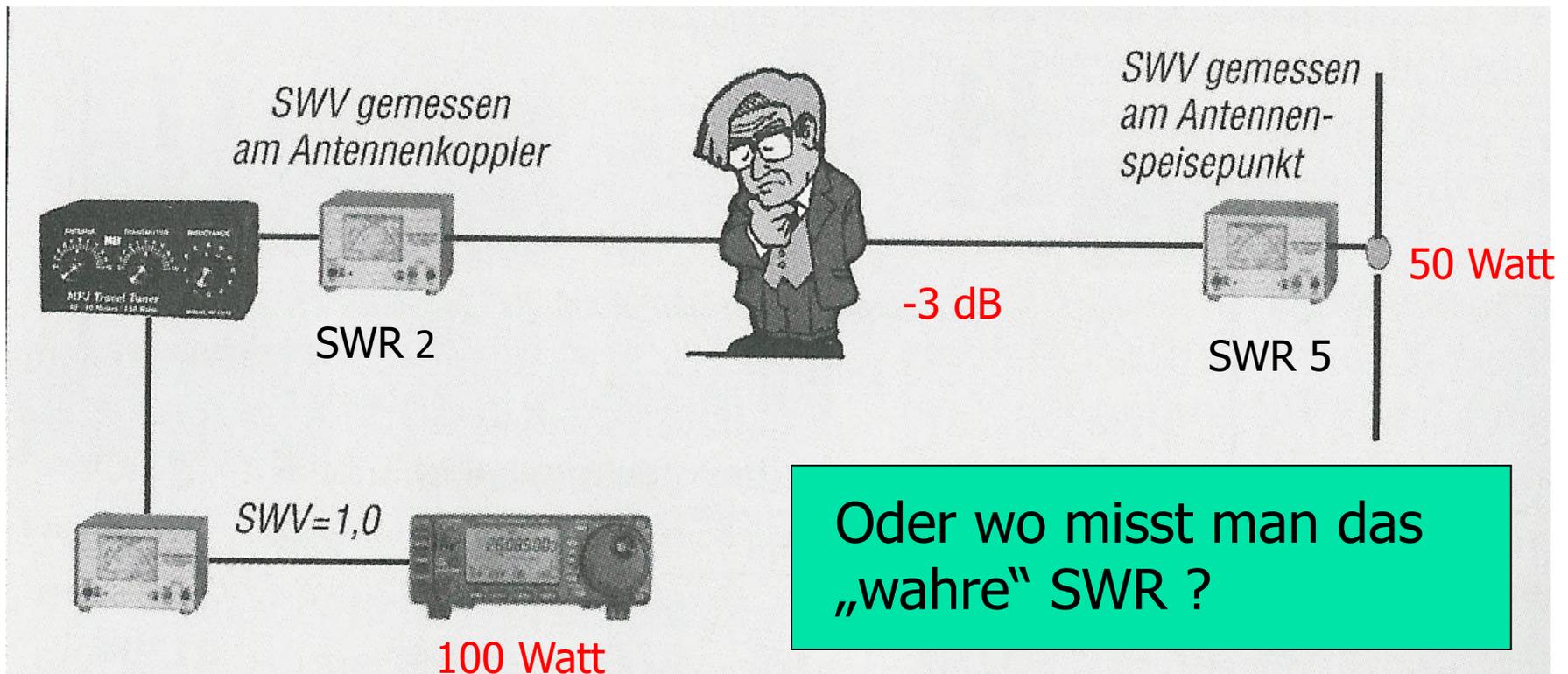


# SWR – „Thema Nr. 1“

---

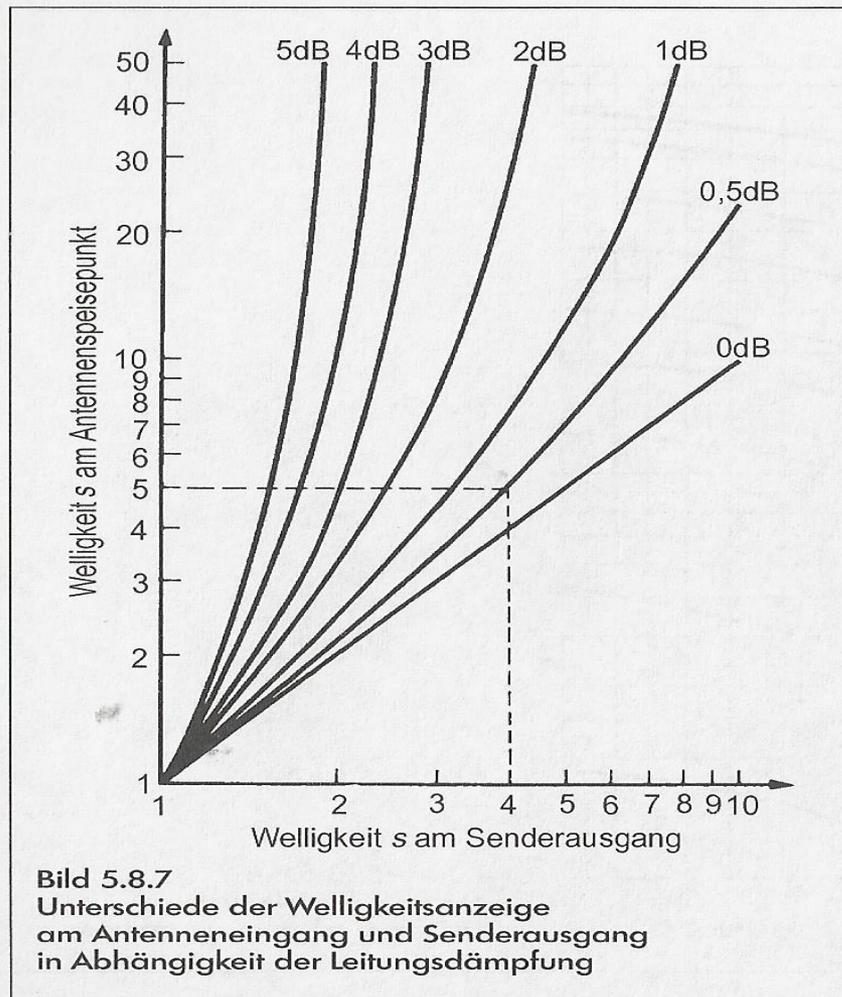
- Durch ein Anpassgerät kann man die Abstrahleigenschaften der Antenne nicht verändern
- Man kann nur die Zusatzverluste durch hohes SWR auf der Speiseleitung zu Null machen (Tuner am Antenneneinspeisepunkt!)
- Leider hat auch das beste Anpassgerät eine Dämpfung in der Größenordnung von bis zu  $0.5\text{dB} = 10.8\%$  Verlust
- Und man kann damit dafür sorgen, dass der TRX die Leistung nicht zurückregelt sondern die volle Sendeleistung an das Antennensystem abgibt

# Die wundersame SWR Verbesserung durch lange/dämpfungsreiche Speiseleitungen

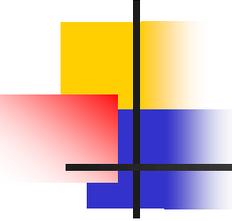


Quelle: HB9ACC, DJ8EI

# SWR (Fehl-) Messung am Senderausgang



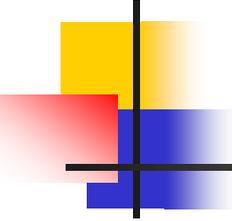
Quelle:  
Rothammel  
HB9ACC



# SWR auf symmetrischen Speiseleitungen

---

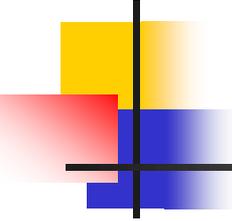
- In Folge der vernachlässigbaren Dämpfungsverluste spielt bei symmetrischen Speiseleitungen – z.B. Hühnerleitern - die Zusatzdämpfung durch hohes SWR keine Rolle.
- Optimale Antennenanlage wäre deshalb:
  - Dipol
  - Hühnerleiterspeisung
  - Fernabgestimmter symmetrischer Tuner
  - Coaxzuleitung geringer Dämpfung (ohne Zusatzdämpfung durch SWR und – da hohe Symmetrie – absolut keine Störungen durch Mantelwellen).



# Fazit „Thema 1“ SWR

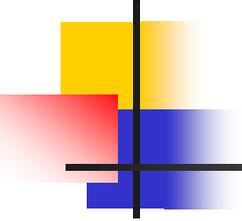
---

- Die Abstrahlung einer Antenne hängt nicht vom SWR ab
  - SWR > 1 entsteht durch unvermeidliche Fehlanpassung
    - (falls überhaupt hat eine Antenne den Fußpunktwidestand  $X_r = 50 \text{ Ohm}$  nur auf **einer** Frequenz)
- Bei der SWR Messung vorher nachdenken an welcher Stelle man was misst.....Gefahr der Fehlmessung!
- Das System Antenne – Speiseleitung – Tuner – SWR Messung gesamtheitlich betrachten und optimieren!
- Symmetrische Speiseleitungen besser als Coaxspeiseleitungen



# Teil B: Praxis KW Antennen

---

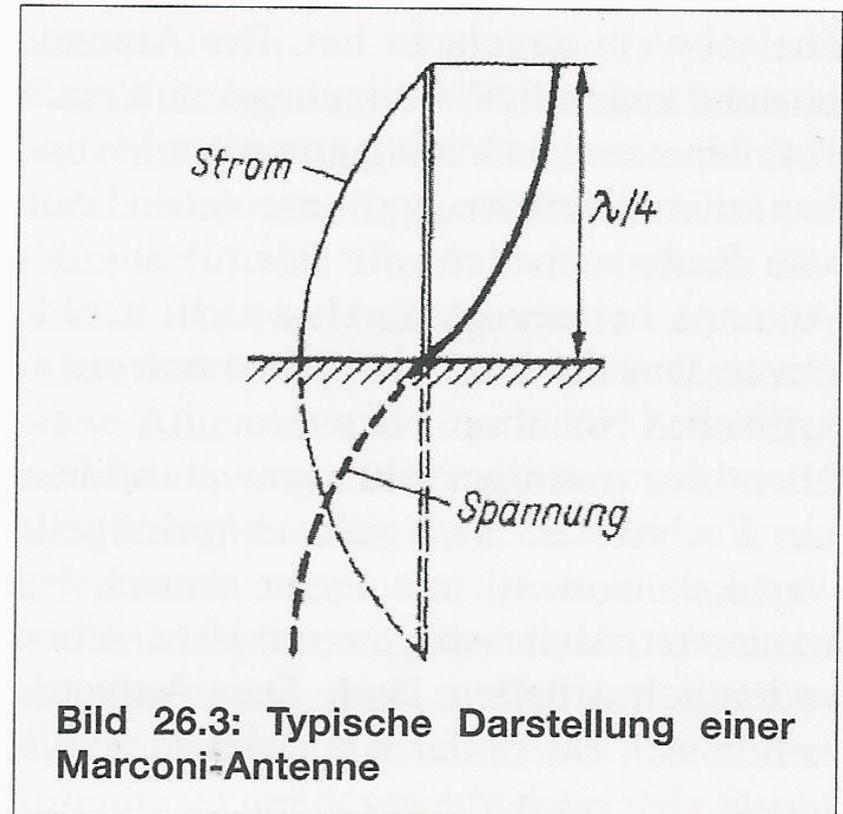


# Vertikal Antennen

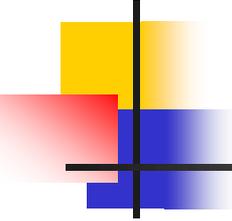
---

# Vertikal Antennen – die Marconi Antenne

- Ergibt theoretisch mit der Spiegelung einer ideal leitenden Erde (Totalreflektion) einen vertikalen Halbwellen-Dipol mit flacher Abstrahlung
- Funktion bei realem Erdboden schlecht, Energie wird im Erdübergangswiderstand "verbraten"
- In der Praxis deshalb Ersatz der Erde durch Gegengewichte oder Aufbau am Wasser



Quelle: HB9ACC

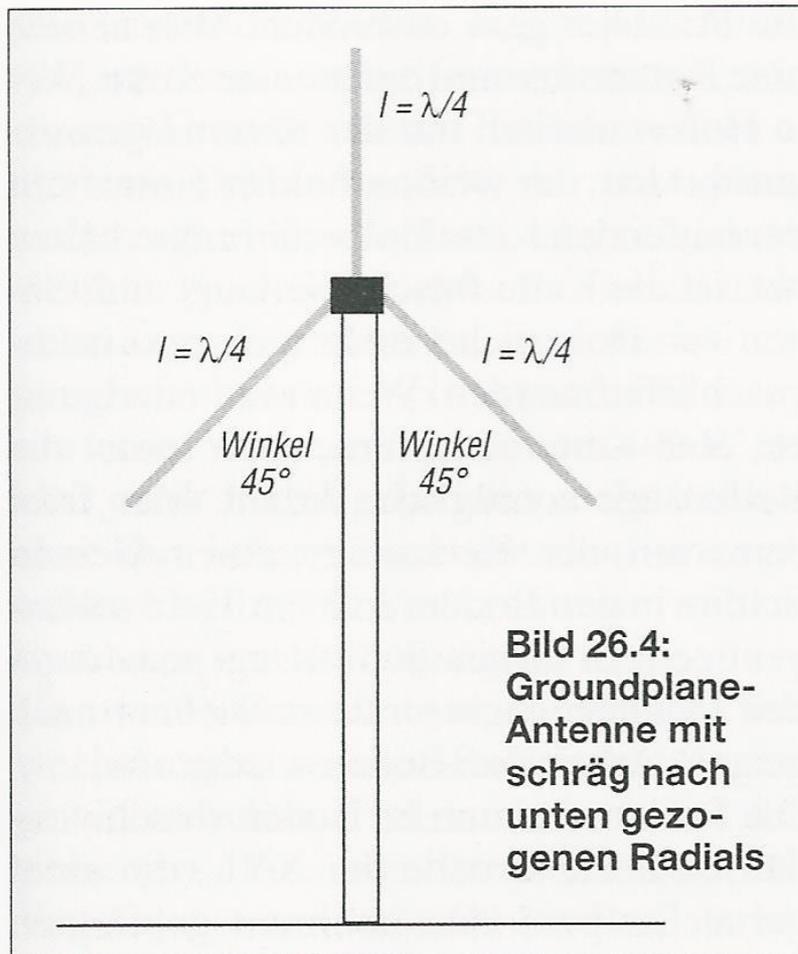


# Radials und Gegengewichte

---

- „Gegengewichte“ dienen zum Ersatz der schlecht leitenden Erde bei „Marconi – Type“ Antennen
- Drähte werden auf dem Erdboden ausgelegt oder ca. 5 – 10 cm darin vergraben
- Je mehr desto besser, min. 2 Drähte mit  $\lambda/4$  Länge, (bis zu 128 bei kommerziellen Sendern)
- Simulierte Gegengewichte einige Meter über dem Erdboden (min. 2 m) nennt man „Radials“ oder besser „Elevated Radials“

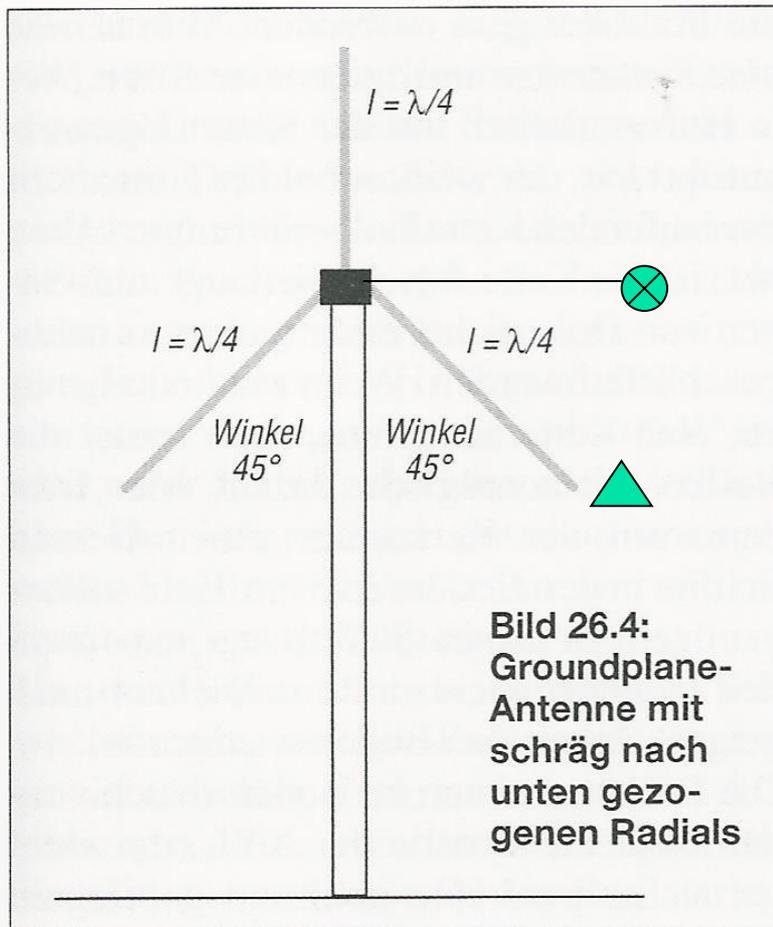
# Vertikalantenne – Groundplane 1



- Setzt man die Lambda/4 Vertikal auf einen Mast, nennt man die Gegengewichte „Radials“ und die Antenne „Groundplane“
- Legt man den Lambda/4 Strahler mittels Traps auf 3 Bänder aus und hat pro Band ein Lambda/4 Radial, kommt man zur Fritzel „GPA3“
- Als Monoband GP mit drei Radials ist es eine „Triple Leg“

Quelle: HB9ACC

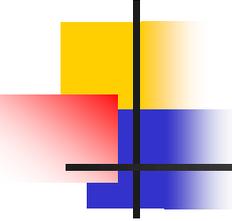
# Vertikalantenne – Groundplane 2



- Der Speisewiderstand einer GP mit 3 horizontalen Radials  beträgt ca. 36 Ohm
- Bei Abwinkelung der Radials um 45 Grad  ca. 50 Ohm
- Bei Abwinkelung um 90 Grad ca. 70 Ohm
- Dann ist es ein vertikaler Dipol.....

Quelle: HB9ACC

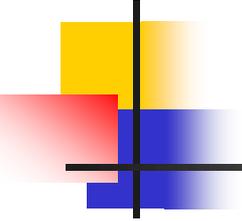
Rothammel



# Vertikalantenne Groundplane 3

---

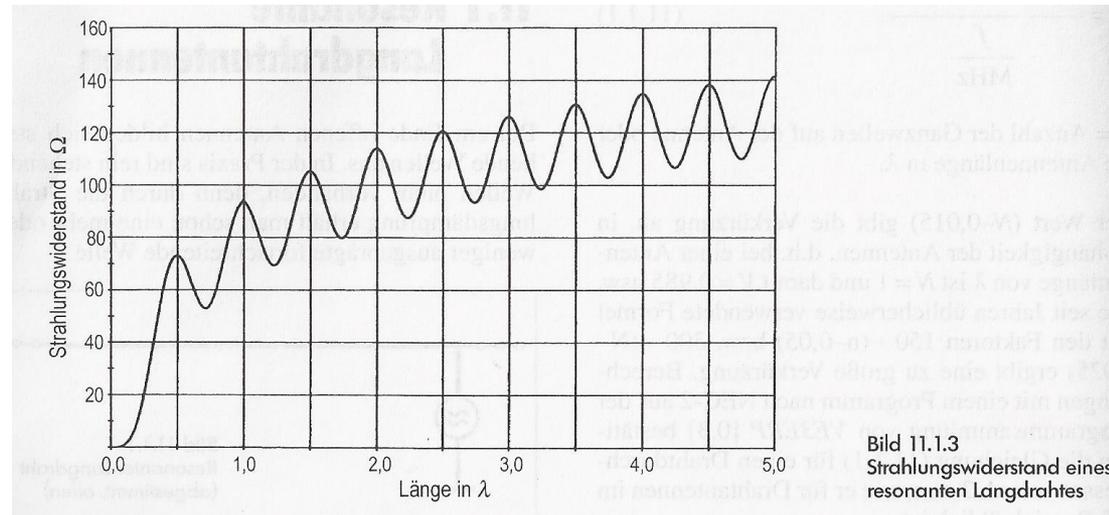
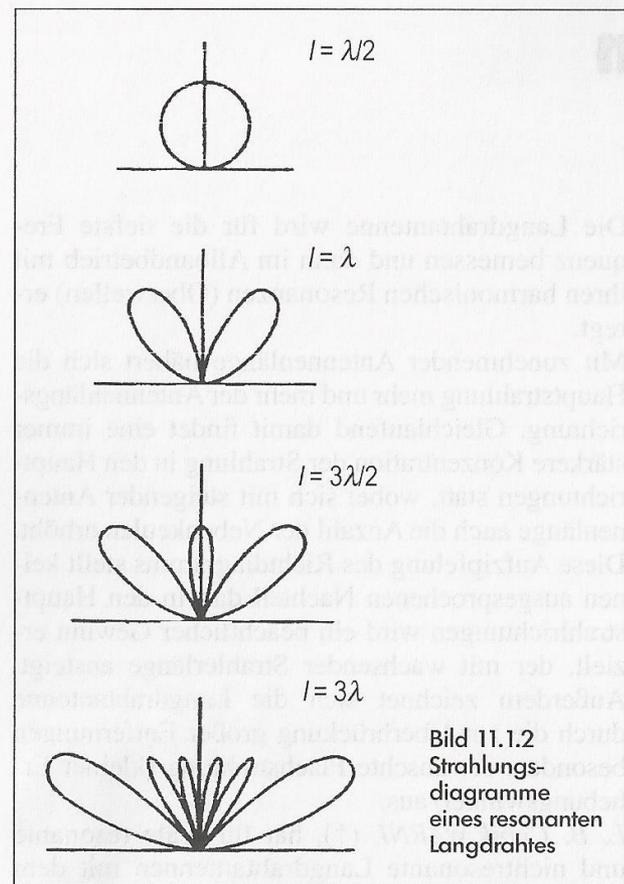
- Die GP ist gut für DX, da Rundstrahler und Flachstrahler!
- Ideal in Verbindung mit einem Beam!
- Vertikals reagieren sehr sensitiv auf
  - Bodenleitfähigkeit, nur bei „feucht, feuchter, noch feuchter“ zeigen sie volle Leistung (PA0....)
  - Umgebungseinflüsse, Umfeld sollte 5 – 10 Lambda frei von störenden Objekten sein (200 – 400 m), oder hohes Hausdach



# Langdrahtantennen

---

# Langdrahtantenne, resonant



Quelle: Rothammel

# Langdrahtantenne

„Jede Antenne ist ein Dipol“

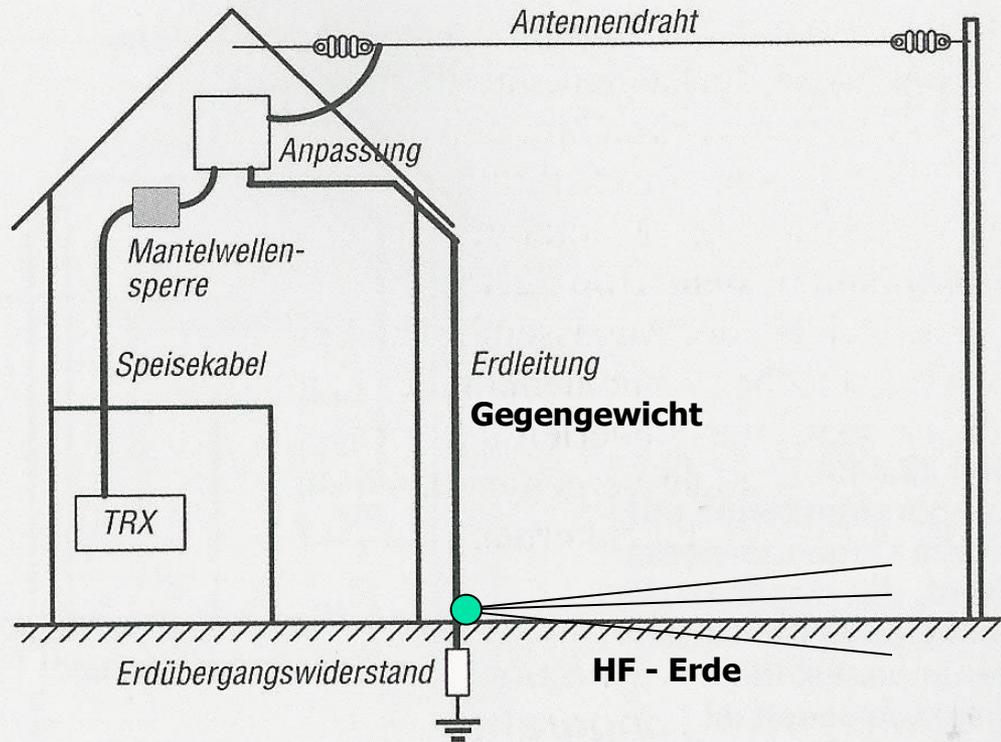
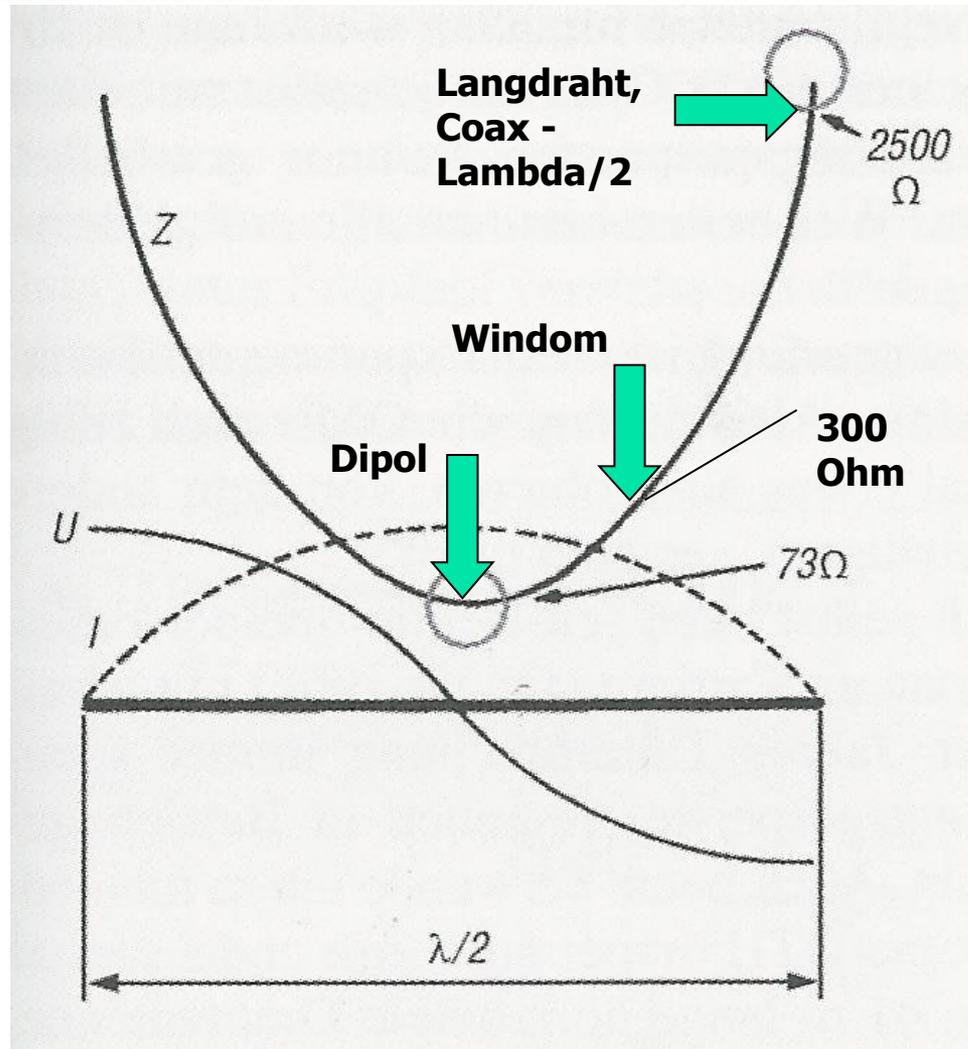


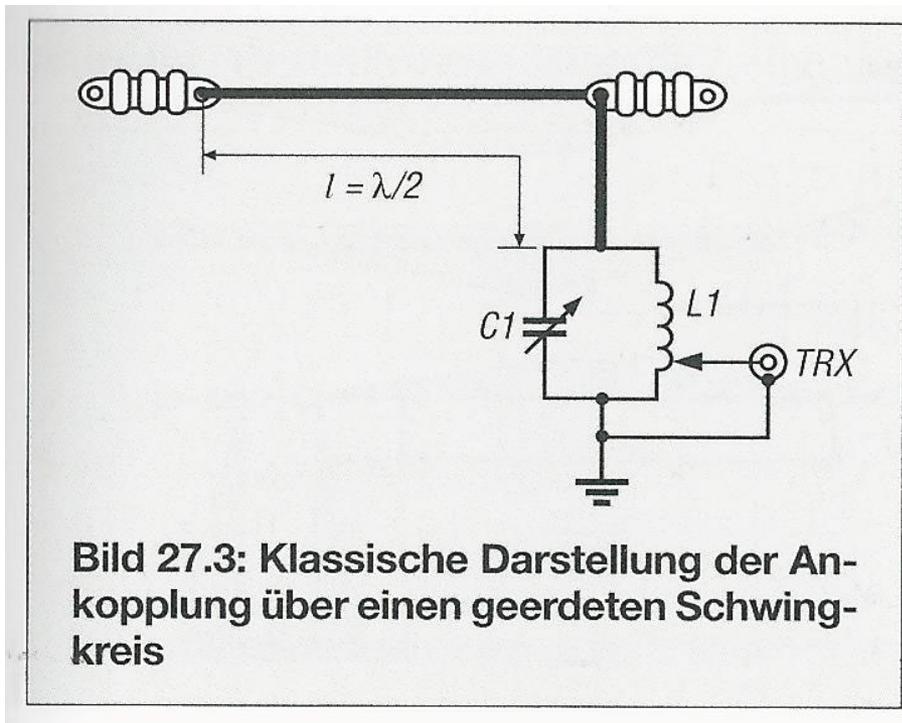
Bild 22.15:  
Langdrahtantenne  
mit Mantelwellensperre  
in der Speiseleitung

# Impedanzverteilung Lambda/2 Antenne



Quelle:  
HB9ACC  
DJ8EI

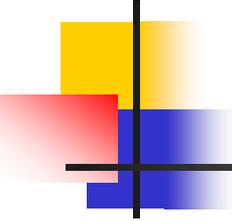
# Langdrahtantenne, Ankopplung



- Gegengewicht, HF Erde notwendig!

(Jede Antenne ist ein Dipol....)

Quelle: HB9ACC



# Anpassung von Langdrahtantennen

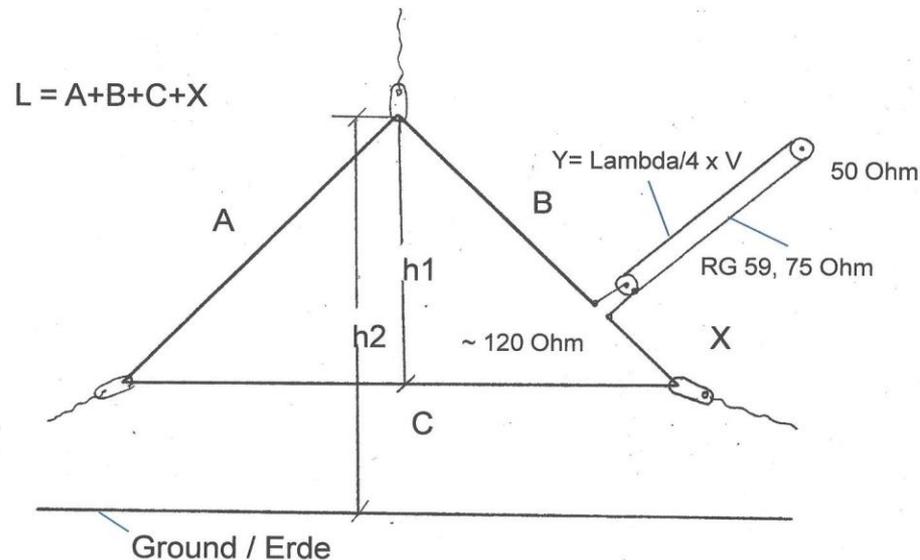
---

- Jedes Stück Draht / Metall / Dachrinne / Balkongeländer kann strahlen...
- Ein guter Antennentuner passt jedes Stück Draht auf jeder Frequenz an
- Es ist aber eine Frage des Wirkungsgrades, der Abstrahlungsumgebung und des Erdnetz – Gegengewichtes wieviel HF „verbraten“ wird, als vagabundierende HF den TRX ärgert oder wirklich in den Freiraum gelangt. Die Physik erlaubt keine Wunder!
- Deshalb Grundweisheit 1: “Viel Draht!”

# Delta Loop Antenne

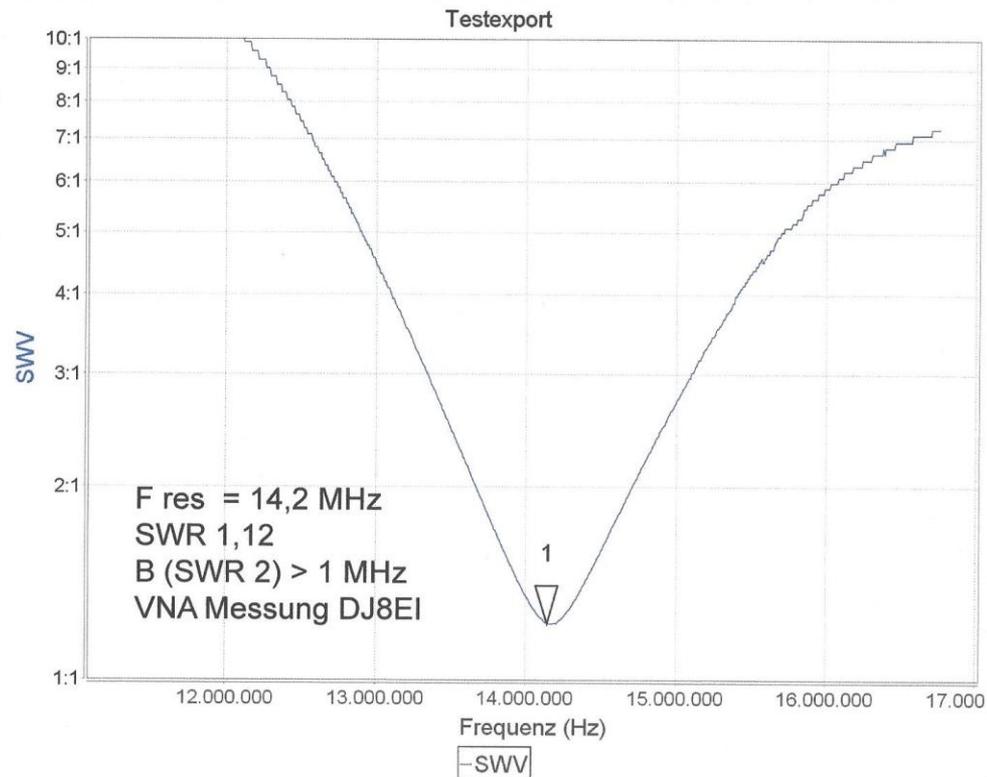
(Selbstbauprojekt G09 2015/2016 und G11)

## Prinzipschaltbild der G09 - Delta Loop



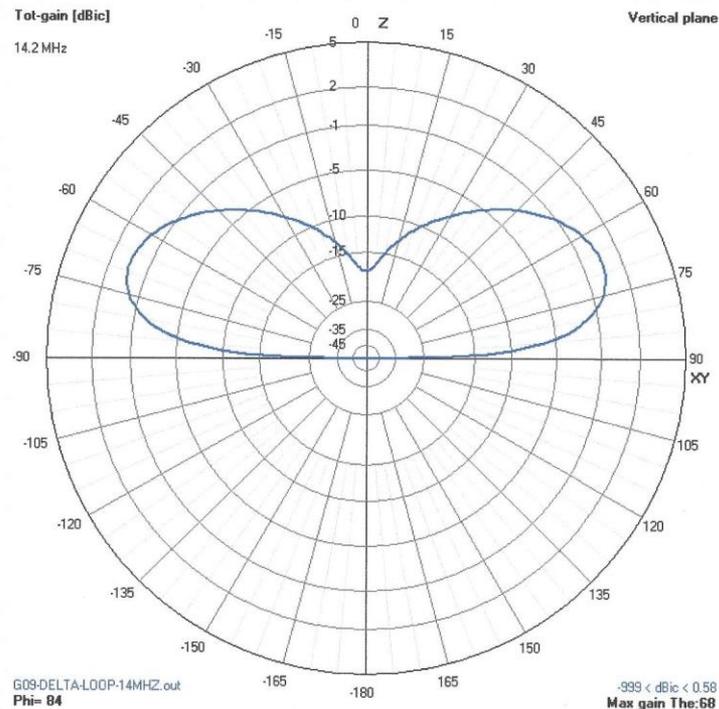
# Delta Loop, Anpassung bei 50 Ohm

## SWR 20 m - Version



# Delta Loop Vertikaldiagramm

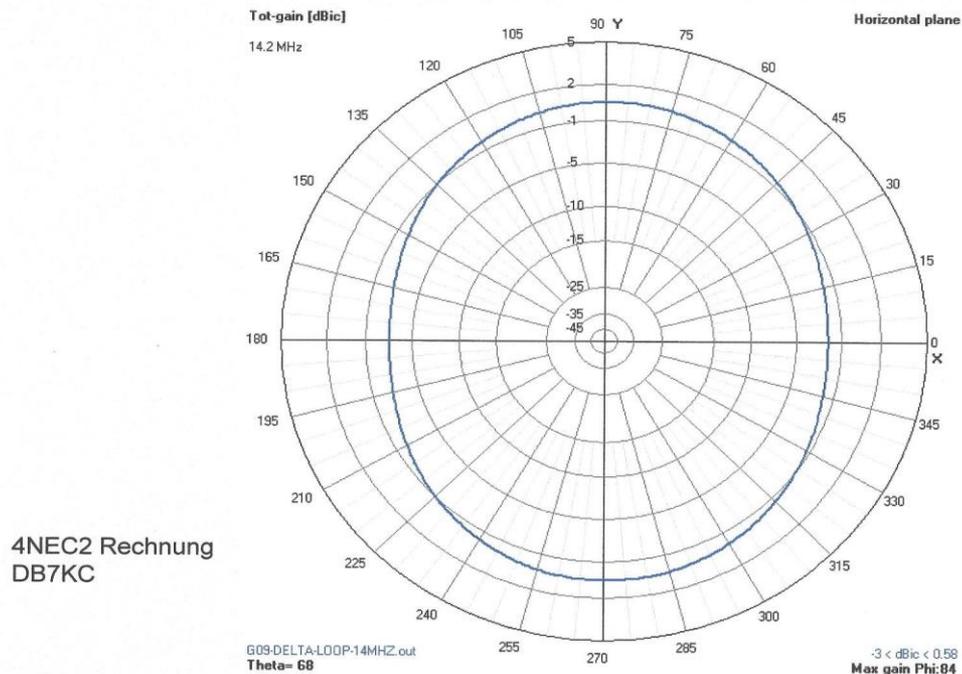
## G09 Delta Loop Vertikaldiagramm



Fazit: DX Antenne mit Flachstrahlung.....

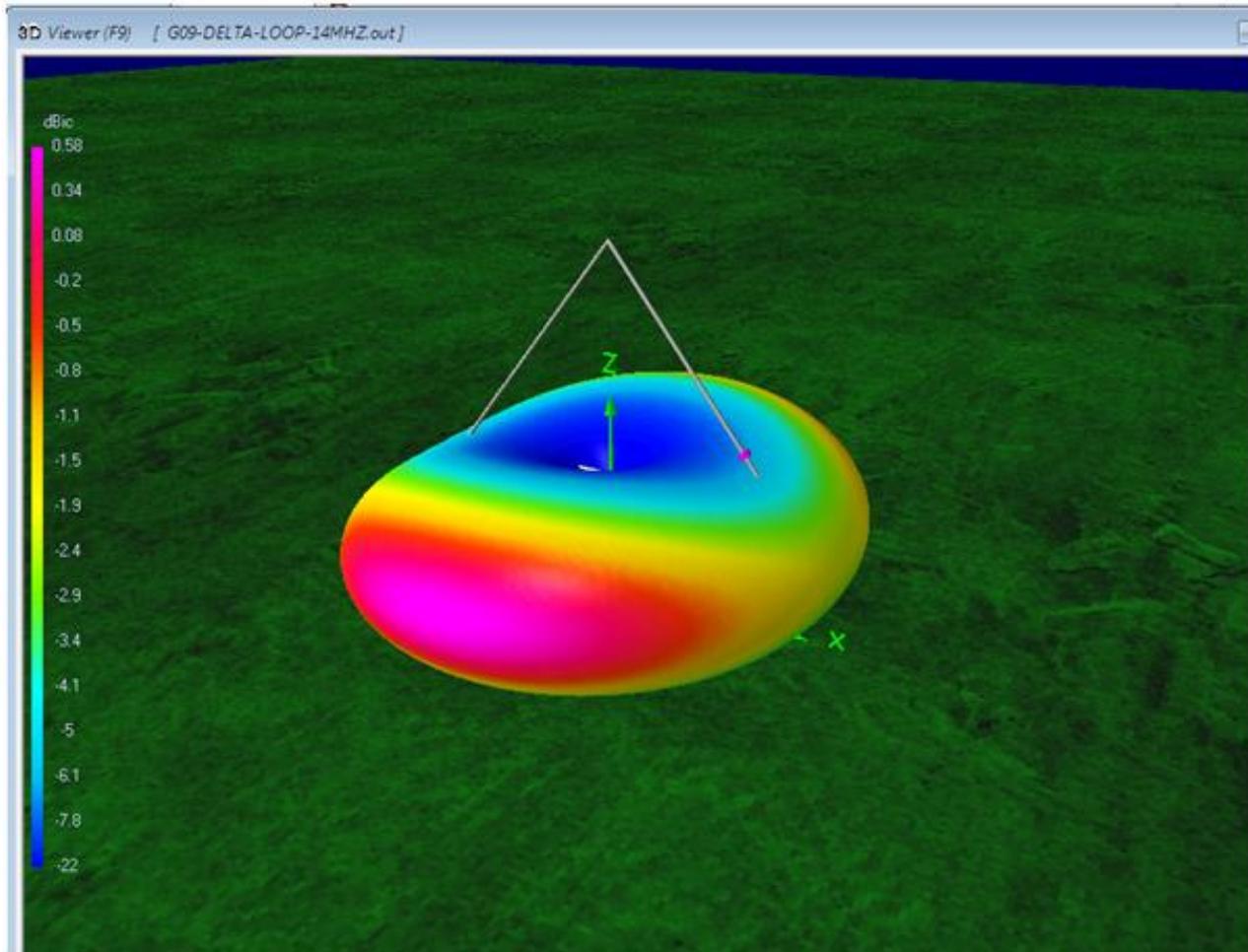
# Delta Loop Horizontaldiagramm

## G09 Delta Loop Horizontaldiagramm

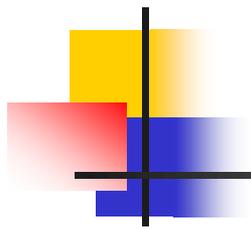


.....und fast Rundumcharakteristik

# Delta Loop 3 D Abstrahldiagramm

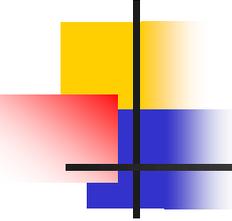


Quelle:  
DB7KC



# Multiband Antennen

---



# Multiband Dipole (G5RV, ZS6BKW, Doppelzepp )

---

## ■ G5RV

- Horizontal 2 x 15.5 m

Speiseleitung Hühnerleiter 10.34 m (25,84 m)

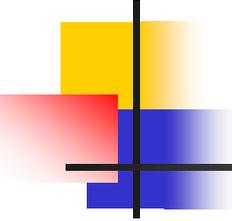
Quelle: G5RV, Radio Communication 07/1984

## ■ ZS6BKW

- Horizontal 2 x 13.75 m

Speiseleitung Hühnerleiter 12.20 m (25,95 m)

Quelle: Internet



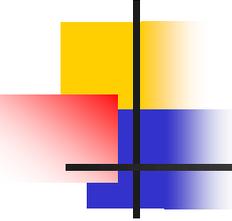
# Multiband Dipole (G5RV, ZS6BKW)

## Resonanzen ZS6BKW - G5RV

Band	Best VSWR	Worst VSWR
160m	>100	>100
80m	8.3	18.8
40m	1.1	1.4
30m	87	89
20m	1.2	3.2
17m	1.4	1.6
15m	80	90
12m	1.2	1.4
10m	1.5	9.7

Band	Best VSWR	Worst VSWR
160m	>100	>100
80m	3.2	12.6
40m	4.9	5.9
30m	48	49.5
20m	2.5	3.7
17m	32.1	33.6
15m	6.1	12.9
12m	3.6	4.6
10m	51	59.6

Quelle: Internet



## Multiband Dipole G5RV – ZS6BKW

---

- G5RV als Multiband Antenne kommt ohne Antennentuner (ATU) nicht aus
- ZS6BKW hat einen optimaleren Speisepunkt gefunden, würde auf 20/17/12/10 ohne Tuner auskommen, nicht jedoch auf 80/30/15m
- Fazit: gute Multiband Dipole, aber ohne Tuner bei beiden kein sauberer „All Band – Multiband“ Betrieb

# G5RV und ZS6BKW mit oder ohne 1:1 Balun?

- Übergang 50 Ohm Coax auf 400 - 600 Ohm Hühnerleiter mit 1:1 Balun löst nicht das Anpassungsproblem, da Speisepunkt - Impedanz  $Z$  am Ende der Hühnerleiter über der Frequenz (fast) niemals 50 Ohm ist. Ist aber gut für gegen Mantelwellen....!
- Beispiele gemessen:

3.65 MHz	$Z = 26+j80$ Ohm
3.50 MHz	$Z = 23+j64$ Ohm
7.05 MHz	$Z = 57-j153$ Ohm
14.15 MHz	$Z = 105-j30$ Ohm
14.20 MHz	$Z = 110-j20$ Ohm
21.20 MHz	$Z = 250+j209$ Ohm
- Besser: ATU am Ende der Hühnerleiter !

Quelle: DL2KUM Newsletter, Internet

# Windom Antennen – FD4

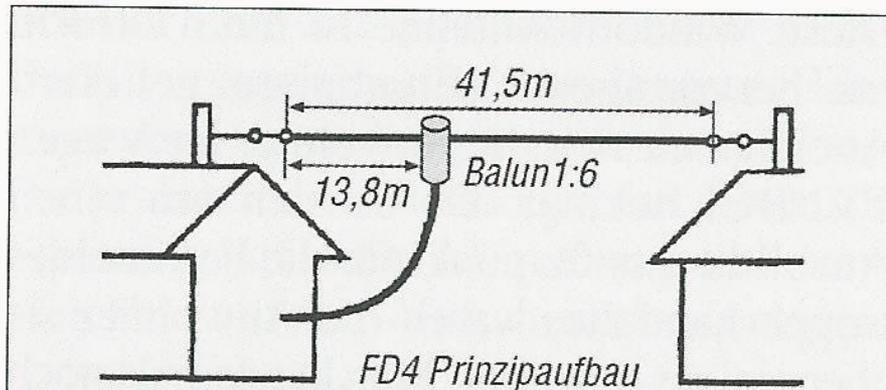


Bild 21.45: Grunddaten der bekannten Windom-Antenne FD4 der Fa. Fritzell

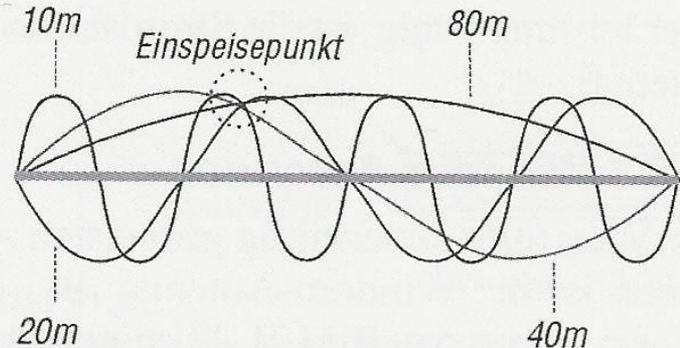
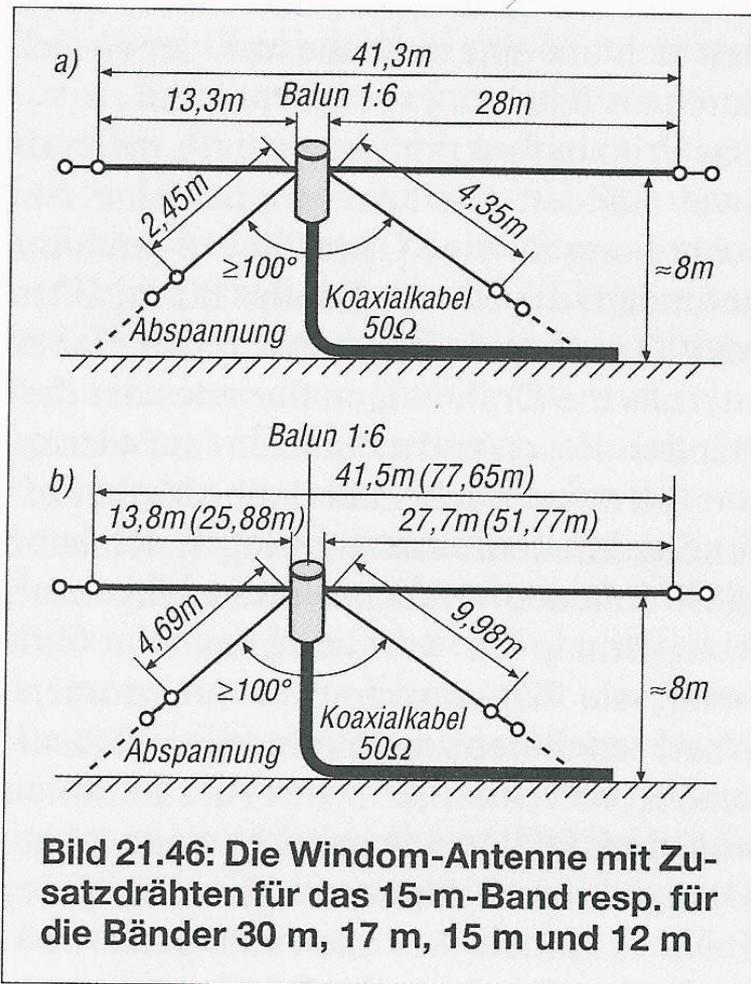


Bild 21.44: Stromverteilung auf einem ca. 41,5 m langen Antennendraht auf den klassischen Bändern 80 m, 40 m, 20 m, 10 m

Quelle: HB9ACC

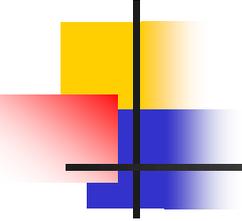
# Windom Antenne FD4



+ Dipol fur 15m

+ WARC Bander

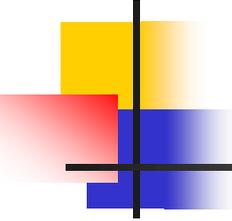
Quelle: HB9ACC



# Mantelwellen

---

- Alle unsymmetrischen Antennen (unsymmetrisch eingespeist oder unsymmetrisch aufgebaut) haben per se Mantelwellen.
- Mantelwellen sorgen für eine (unerwünschte) Abstrahlung von Sendeleistung über das (eigentlich zum Transport bestimmte) Coaxkabel und verseuchen Shack und Nachbarn mit störender HF
- Sie verfälschen auch das SWR Messergebnis!
- Schlimmer noch, das Coax Kabel wirkt auch empfangsmäßig als Antenne und nimmt dann auch Störungen aus der Umgebung auf (man made noise, PLC!)

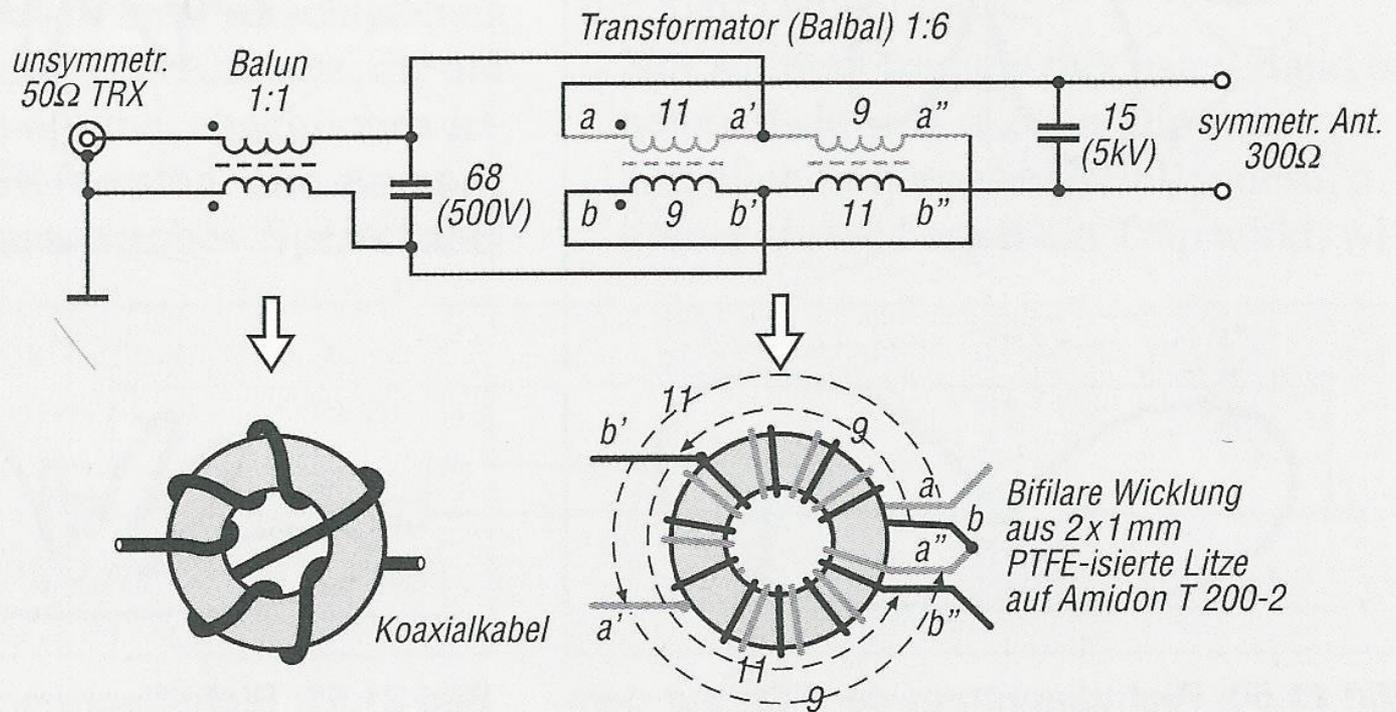


# Mantelwellen....und was (t)nun?

---

- Symmetrische Antennentypen verwenden
- Antennen symmetrisch aufbauen
- Mantelwellensperren verwenden
- Mantelwellensperren an der richtigen Stelle einbauen!
- .....oder damit leben.....

# Windom Antenne Anpassung und Mantelwellen – Fritzel FD4



**Bild 21.47:**  
Schema  
der Anpass-  
schaltung  
am Speise-  
punkt einer  
FD4-Windom-  
Antenne

# Windom Antenne FD4- Abstrahlung

- 80 m Steilstrahler mit Rundumcharakteristik
- 40m gut für Europaverkehr, Dipol - Richtcharakteristik
- 20m Flachstrahler, gut für DX, ausgeprägte Richtwirkung mit Nebenzipfeln
- 10m ausgefrantes Richtdiagramm mit flacher Abstrahlung und Nebenzipfeln für Steilstrahlung
- Ursache: unterschiedliche Stromverteilung pro Band

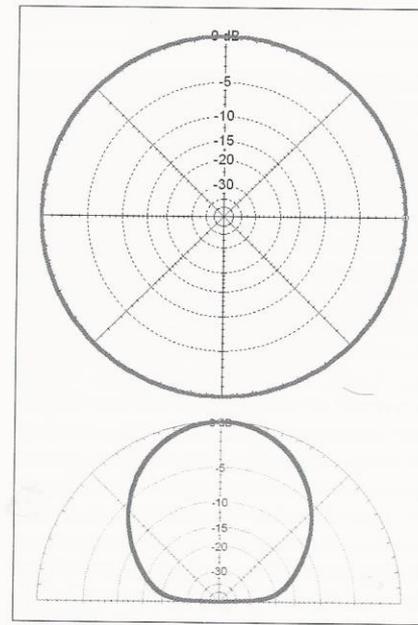


Bild 21.48: Richtdiagramm der FD4 auf dem 80-m-Band

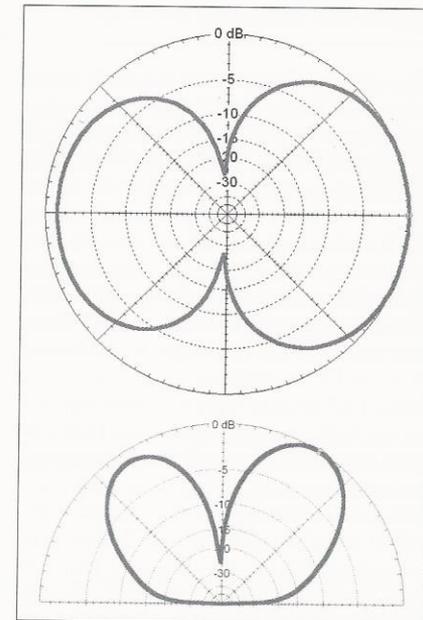


Bild 21.49: Richtdiagramm der FD4 auf dem 40-m-Band

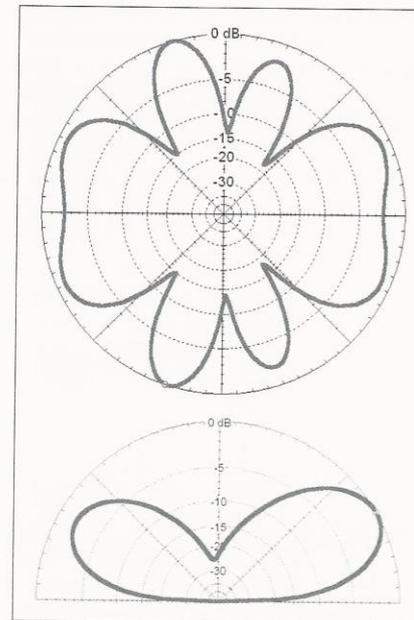


Bild 21.50: Richtdiagramm der FD4 auf dem 20-m-Band

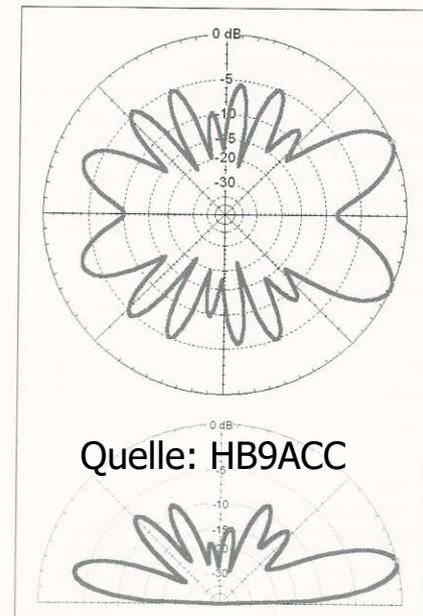
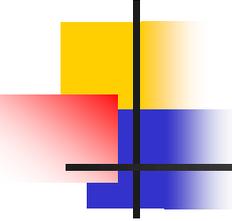


Bild 21.51: Richtdiagramm der FD4 auf dem 10-m-Band



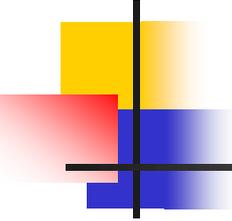
# „Hy Endfed“ Antenne vs. Coax Lambda Halbe G09

---

- Gleiches Prinzip
- man speist einen Lambda/2 Dipol nicht wie üblich in der Mitte ein (Impedanz 50 – 70 Ohm) sondern am Ende (Impedanz 1500 – 2500 Ohm)
- Dann muss man das Problem der Impedanzanpassung Coax Kabel 50 Ohm auf diesen hohen Wert lösen
- Hierzu mehrere Wege
  - mittels UNUN (Unbalanced/Unbalanced) Transformator 1 : 30 – 1:50. Das wird unter „Hy Endfed Antenna (teuer vermarktet, bis 209 €...)
  - mittels an einem Ende kurzgeschlossener Lambda/4 Coax Anpassleitung mit einem Anzapfpunkt bei 50 Ohm. Siehe G09 Selbstbauprojekt,
  - Material ca. 10 €
  - Die Wirkungsweise ist die gleiche!

# End Fed Dipole Antennas





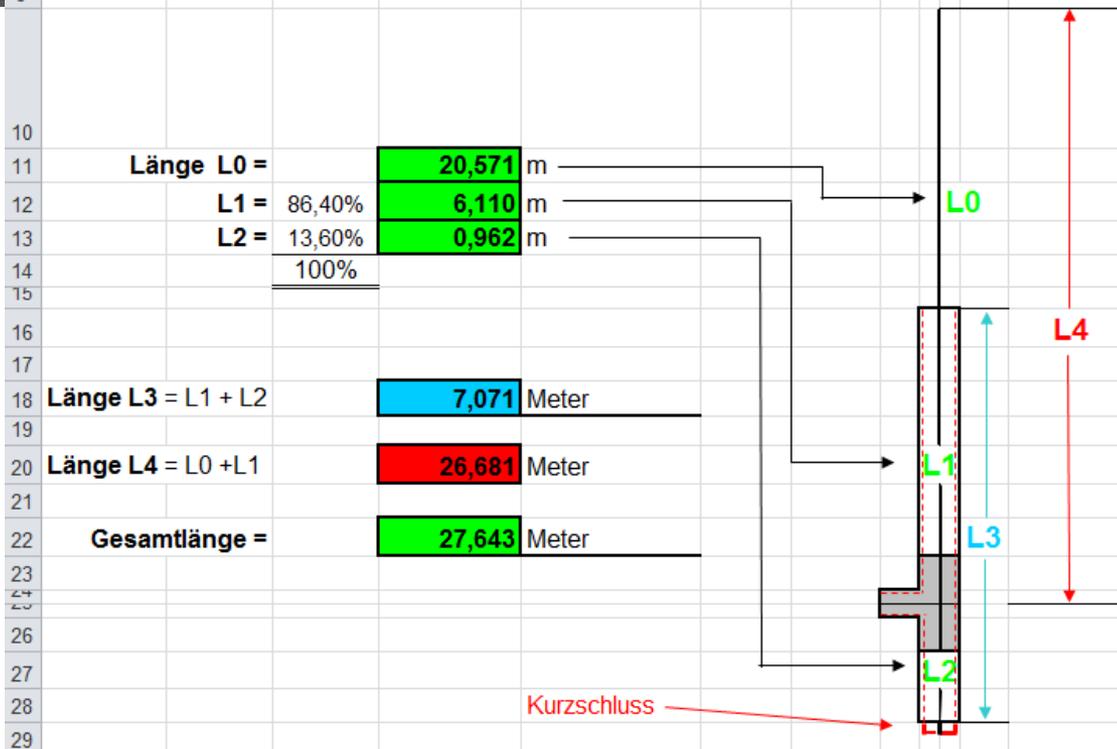
# Hy Endfed – Lambda/2 Coax Antenne

---

- Vorteile dieser Antennenform
  - Aufhängung Vertical oder schräg als „Sloper“.
  - Man benötigt nur einen Aufhängungspunkt, das freut vor allem Skipper und Portabel /QRP – Hams!
  - Horizontale Montage natürlich auch möglich
  - Die Antennen sind am Ende „kalt“, keine Mantelwellenprobleme

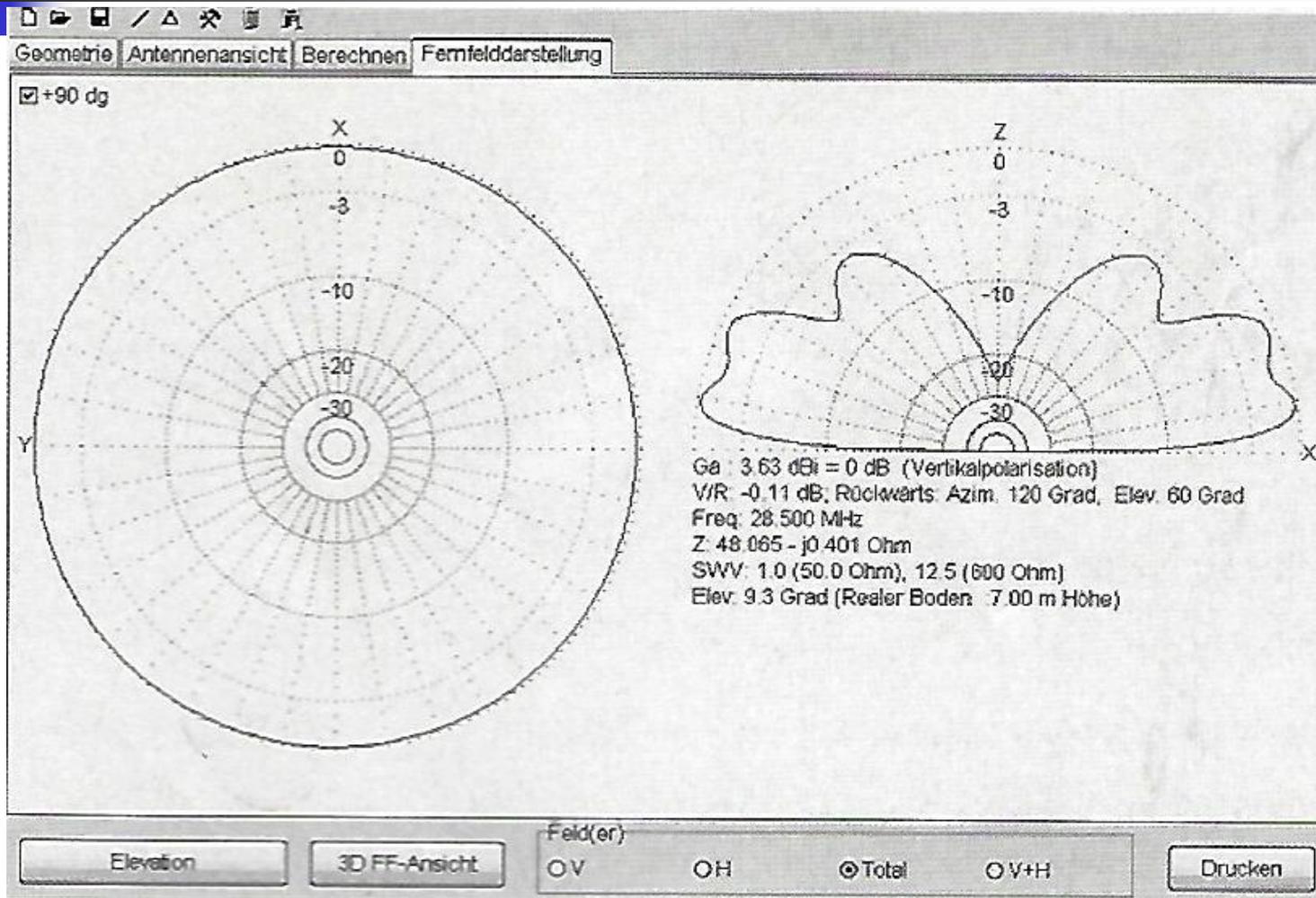
# Lambda Halbe Coax Antenne nach DL5PC / DL8EI

2				
3			Verkürzungsfaktor <b>L0</b>	RG 58 <b>0,96</b>
4				
5	Frequenz	<b>7,000</b> MHz	Verkürzungsfaktor <b>L1/L2</b>	RG 58 <b>0,66</b>
6		<b>7</b>		
7	Lambda	<b>42,857</b> m	Lambda 1/2	<b>21,429</b> m
8				
9				



30	<b>Material Liste</b>					
31	PL T-Stecker	1 Stück	oder	BNC T-Stecker	1 Stück	
32	PL Stecker	2 Stück		BNC Stecker	2 Stück	
33	Seilklemme	1 Stück		RINGZUNGE M 8	1 Stück	2,5 <sup>2</sup> Blau
34						
35	Koaxialkabel RG 58	<b>30,407</b> m	<b>Maße +10 %</b>	Stub	<b>1,058</b> m	RG 58
36	ca. Gesamt		<b>Maße +10 %</b>	Strahler	<b>29,349</b> m	RG 58
37				Schrumpfschlauch		

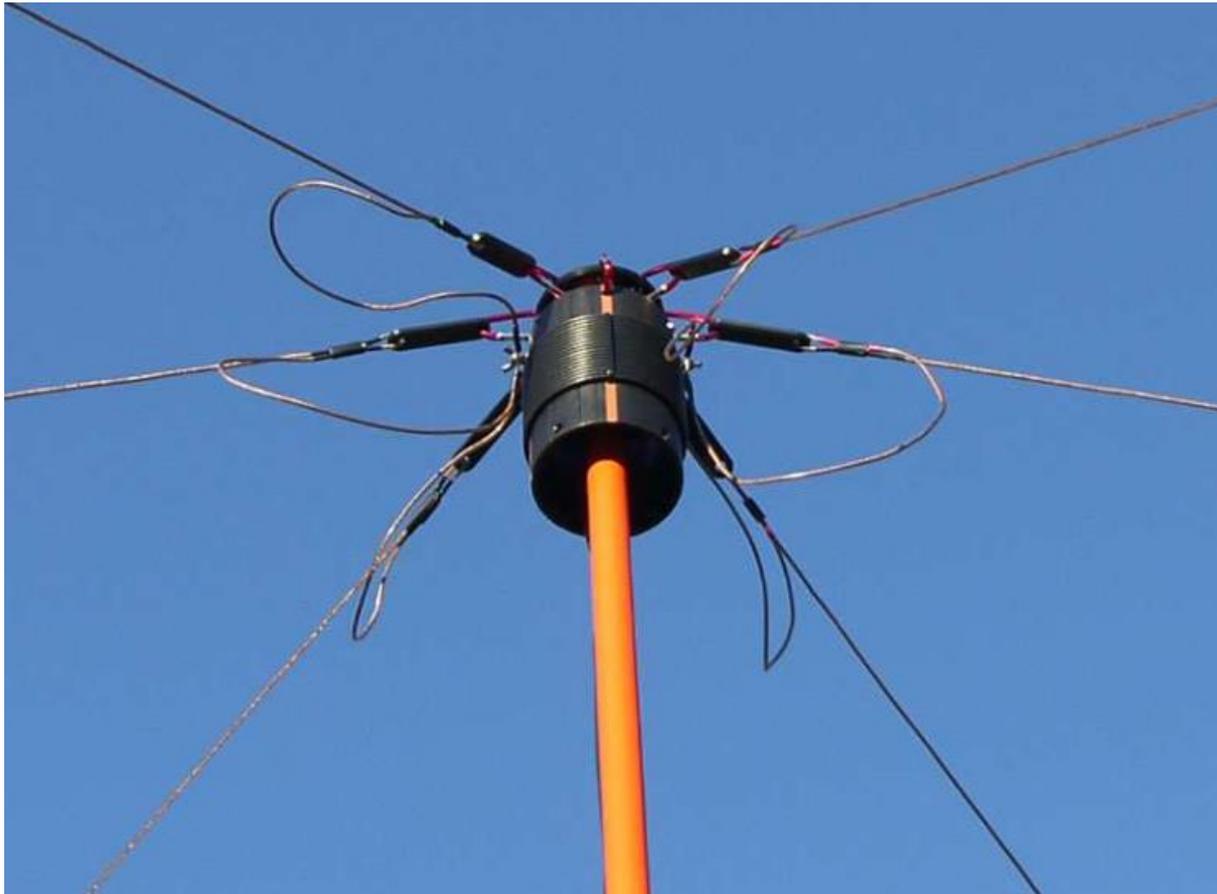
# Abstrahldiagramm Coax L/2 Antenne



Quelle:  
IN3TRX

# NVIS Multiband Antenne

Near Vertical Incidence Scattering

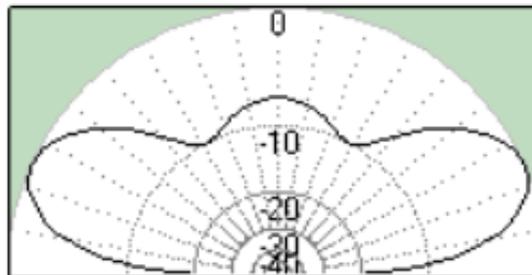


# NVIS Antenne – Steilstrahler bei niedriger Aufbauhöhe

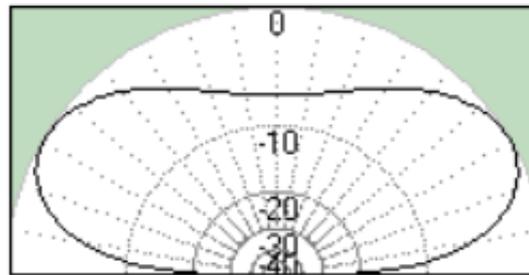
## Auswirkung der Antennenhöhe auf Strahlungseigenschaften

Grundsätzlich strahlt ein Dipol

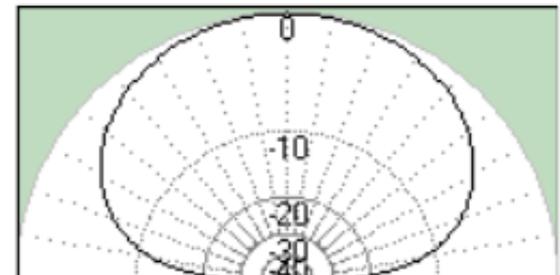
- **erdfern** montiert ► **flach** (günstig für Fernverkehr, jedoch „Toter Zone“),
- **erdnah** montiert ► **steil** (günstig für Nahverkehr; NVIS - Betrieb möglich).



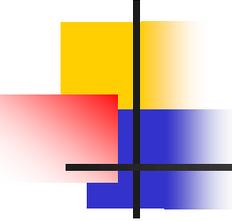
Abstrahleigenschaft bei  
 $\lambda \times 0,5$  über Grund



Abstrahleigenschaft bei  
 $\lambda \times 0,25$  über Grund



Abstrahleigenschaft bei  
 $\lambda \times 0,12$  über Grund



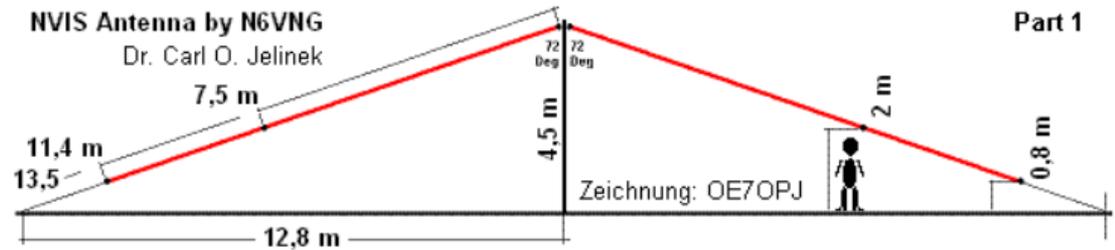
# NVIS Antenne - Aufbauhöhe

---

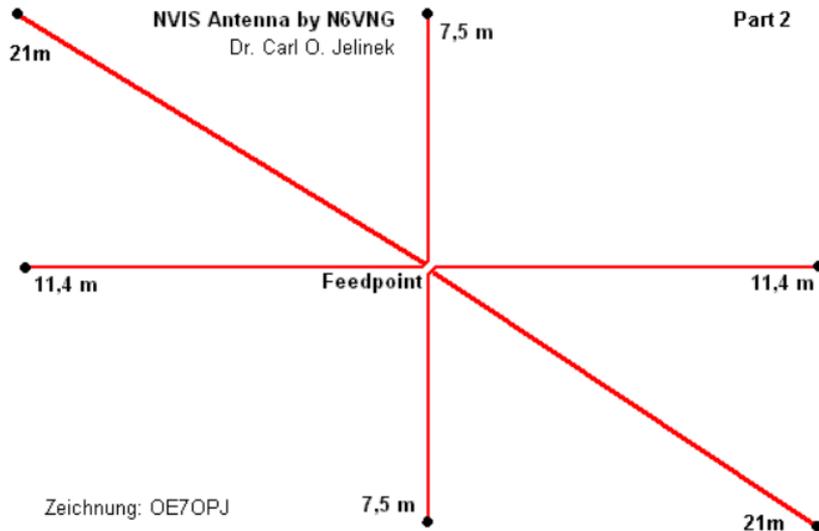
MHz	Lamda	Antennenhöhe		
		x 0,5	x 0,25	x 0,12
<b>3,6</b>	<b>83,3</b>	41,7	20,8	<b>10,0</b>
<b>7</b>	<b>42,9</b>	21,4	10,7	<b>5,1</b>
<b>10,1</b>	<b>29,7</b>	14,9	7,4	<b>3,6</b>
<b>14</b>	<b>21,4</b>	10,7	5,4	<b>2,6</b>
18	16,7	8,3	4,2	2,0
21	14,3	7,1	3,6	1,7
24	12,5	6,3	3,1	1,5
28	10,7	5,4	2,7	1,3

Empfohlene Aufbauhöhe ca. 5 m

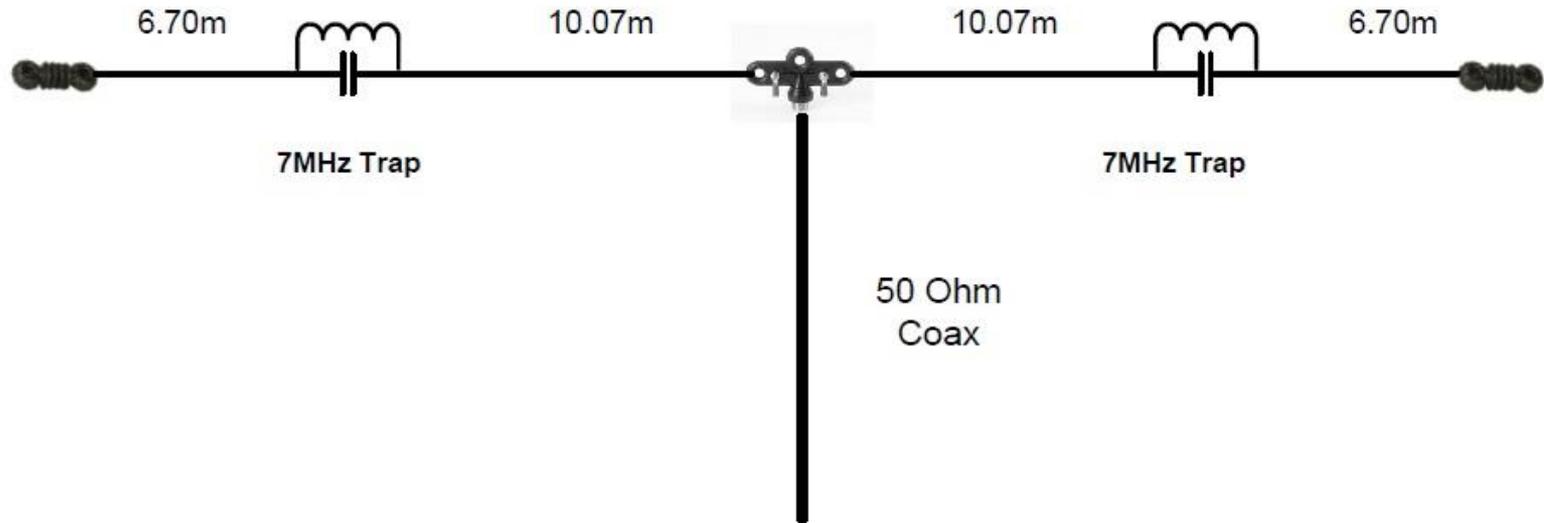
# NVIS Antenne Abmessungen



## NVIS – Antennen – Set für Not- und KAT-Funk-Betrieb



# W3DZZ Multiband Sperrkreis Dipol

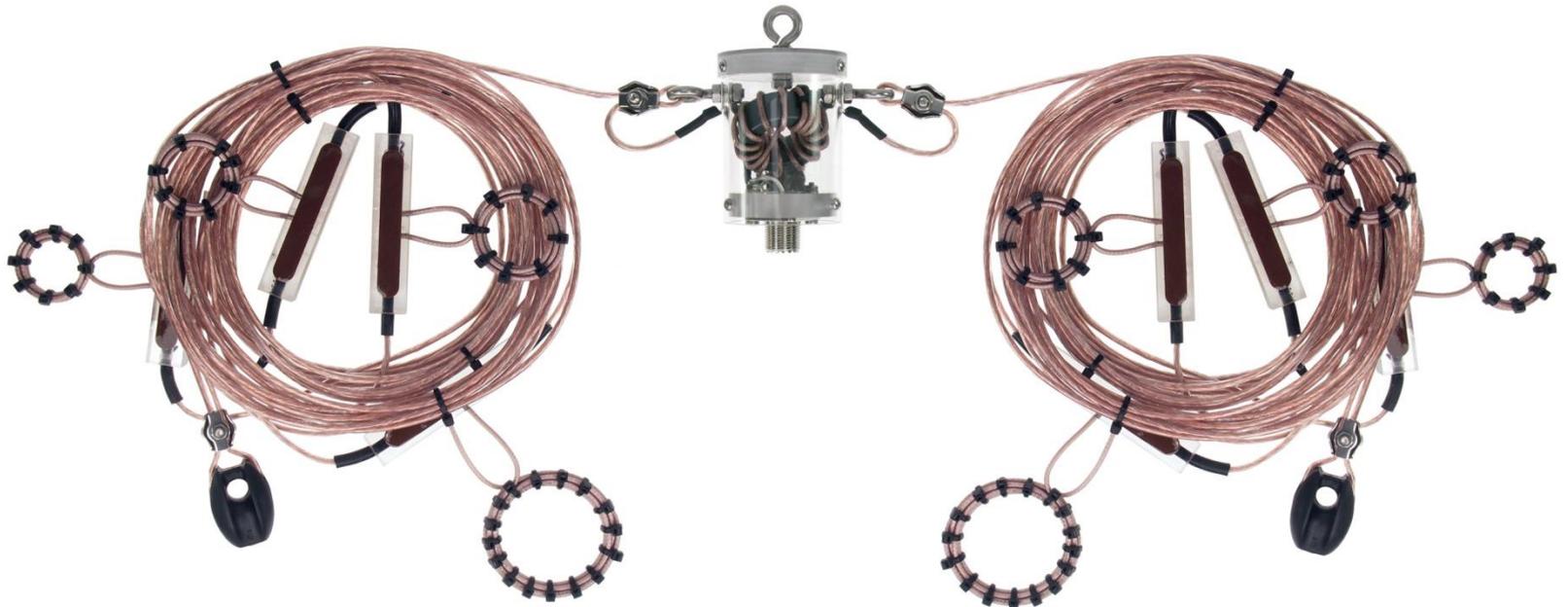


40m: full - size Dipol 2 x 10m

80m: verkürzter Dipol mit Verlängerungsspulen

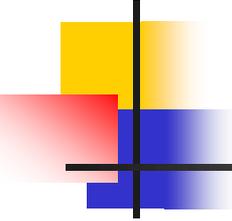
(verringerte Bandbreite ggü. full - size Dipol)

# Kelemen Multiband Dipol



Sperrkreis Dipol für 80/40/20/15/10m

# Pros und Cons Trap Antennen



---

- + deutlich weniger Platzbedarf als full – size Dipole oder Multiband Antennen, guter Kompromiss bei schwierigen Platzverhältnissen
- + Sperrkreise (Traps) aus Coax/Teflon Kabel witterungsbeständig
- Bandbreite sinkt deutlich, z.B. 80 m Band SWR 2 - Bandbreite ca. nur 80 kHz statt 150 – 180 - kHz.
- Antennentuner deshalb unerlässlich
- Gewicht der Traps, Antenne hängt durch, dadurch höherer Abstrahlwinkel und niedrigerer Wirkungsgrad, Fußpunktimpedanz sinkt
- muss bei Erstmontage je nach Aufbauumgebung abgestimmt/verkürzt werden (Herstellerangabe)

# Quellen für Material für den Antennenselbstbau

[www.DX-WIRE.de](http://www.DX-WIRE.de)

Peter Bogner (DK1RP)  
Technischer Handel - Antennentechnik  
Tulpenstr. 10  
95195 Röslau  
Tel. 09238 990 845 - Fax 09238 990 849  
e-mail: [p.bogner@gmx.de](mailto:p.bogner@gmx.de)

Ihr zuverlässiger Lieferant für:

**Antennendrähte und -Litzen (DX-WIRE)**

**Hühnerleiter + 300 Ohm Kabel**

**Antennenisolatoren**

**Abspannleinen und Edelstahl-Seilzubehör**

**Mantelwellensperren**

**Fiberglasteleskopmaste**

**Ringkerne**

**Teflonlitze (versilbert)**

**Entstörmaterial**

# Quellen für Material für Antennenselbstbau



# Kabel Kusch



HF-Kabel & HF-Verbinder  
seit 2002 Inh. K. Kusch

Tel. 0231 25 72 41 Fax 0231 25 23 99  
E-Mail: [info@kabel-kusch.de](mailto:info@kabel-kusch.de)  
[www.Kabel-kusch.de](http://www.Kabel-kusch.de)



**Kontakt**

<a href="#">Home</a>	<a href="#">Koaxkabel</a>	<a href="#">Stecker</a>	<a href="#">Montagen</a>	<a href="#">Zubehör</a>	<a href="#">Anfahrt</a>	<a href="#">Impressum</a>	<a href="#">AGB</a>	<a href="#">Kontakt</a>
----------------------	---------------------------	-------------------------	--------------------------	-------------------------	-------------------------	---------------------------	---------------------	-------------------------

Dorfstraße 63 - 65  
44143 Dortmund

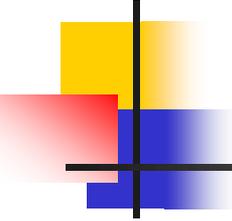
Tel. 0231 25 72 41 Fax: 0231 25 23 99  
Geschäftszeiten: Mo - Do 8.30 - 12.00 Uhr, 13.00 - 16.00 Uhr Fr. 8.30 - 15.00 Uhr

[E-Mail: info@kabel-kusch.de](mailto:info@kabel-kusch.de)

[www.kabel-kusch.de](http://www.kabel-kusch.de)

Umsatzsteuer ID DE 813 508 177

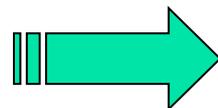
Inh. Katja Kusch



# Literatur Quellen

---

- Praxisbuch Antennenbau, Max Ruegger, HB9ACC
- Rothammels Antennenbuch, Alois Krischke, DJ0TR, 13. Auflage
- Zeitschrift Funk 04/2004
- Old Man 7/8, 1998, HB9Q
- Radio Communication 07/1984
- Zeitschrift Funkamateure 01/2016
- CQ DL Spezial „Antennen“, Juni 2002, S 62
- Internet Recherchen Wimo & Co.....
- NVIS , OE7OPJ, [www.oevsv.at](http://www.oevsv.at),
- Coax Lambda/2, CQ DL 6/2014, DL5PC, DJ8EI
- End Fed Halve Wave, AA5tb, [www.aa5tb.com/efha.html](http://www.aa5tb.com/efha.html)
- Delta Loop Antenne, 2016, G09 Homepage , DJ8EI
- 4NEC2 - Diagramme von Wolfgang, DB7KC



Tnx es cuagn!

---

Hans, DJ8EI/PA8EI/KX4BR

OV G09