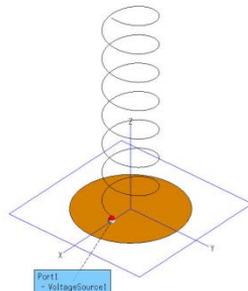
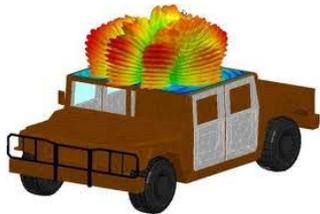




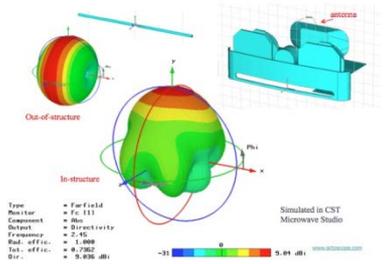
Antennen-Wellenausbreitung



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

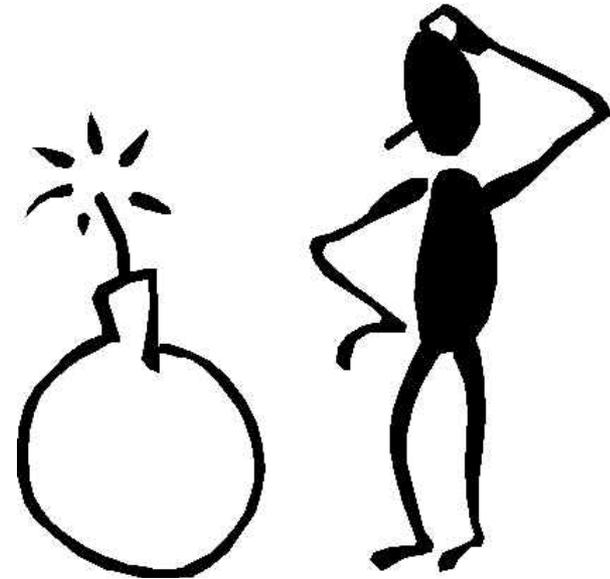
Dipl.-Ing.
Lars-Christian Hauer
DJ3BO

DARC-Ortsverband Bremen
Sebastian Fexer (DLR)



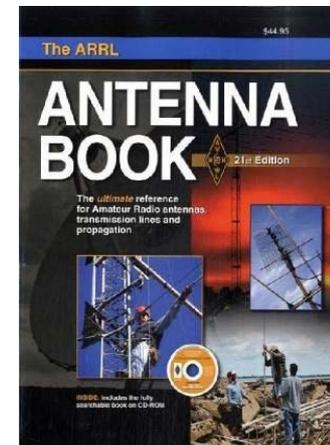
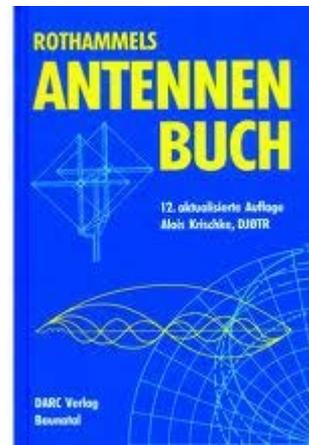
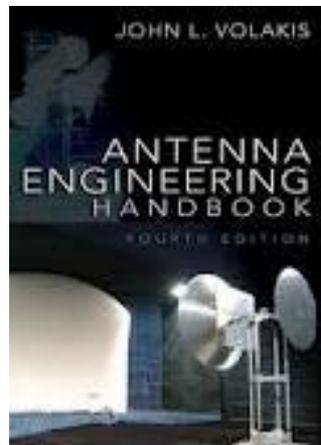
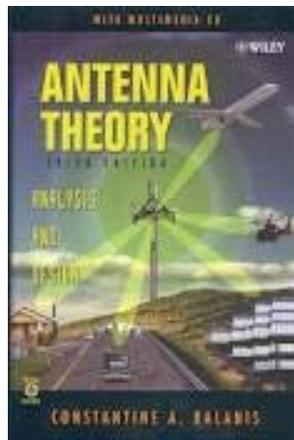
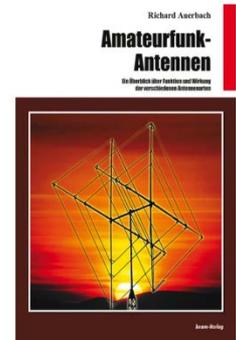
Aufbau-Simulation-Software

- Problemstellung Antennenbau, Auswahl, Lösungsansätze, Hilfsmittel
- Funkausbreitung, Software, DX-Cluster, Vorhersagen
- Software
- Literatur
- Messung
- Vortrag wird laufend aktualisiert...



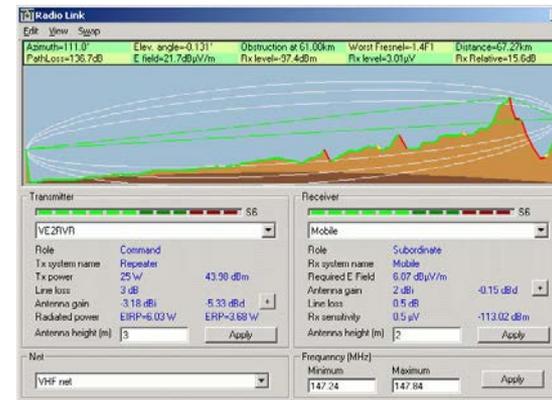
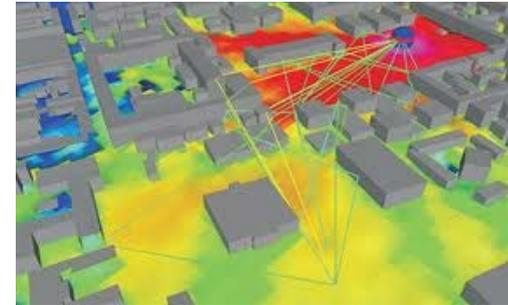
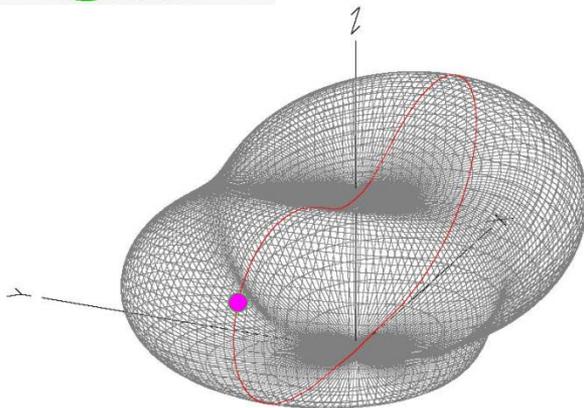
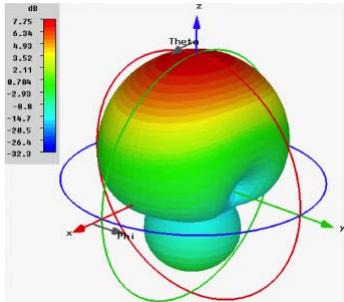
Literatur

- Antennenbuch Rothammel
- Antenna Engineering Handbook (John L. Volakis)
- Antenna Theory (Constantine A. Balanis)
- ARRL Antenna Book
- Diverse Literatur aus dem DARC-Verlag oder Bezug über Funkamateure.de



Software- Antennendesign- Wellenausbreitung -> 2 Bereiche!

- Software zum Antennendesign
- Software zur Wellenausbreitung und Prognose



Software - Antennendesign- Wellenausbreitung

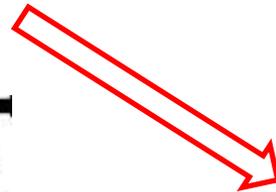
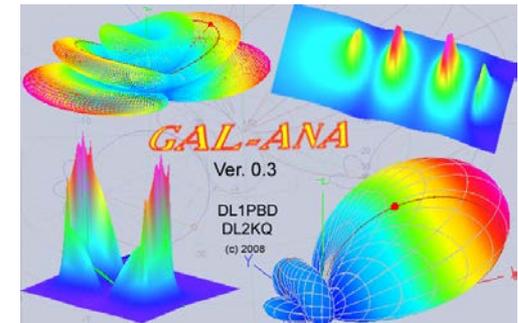
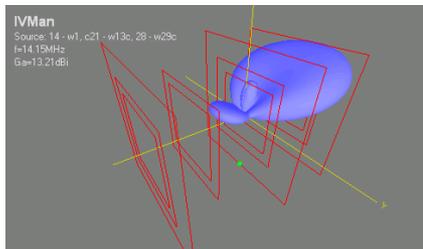
- Kosten, Aufwand
- Rechnerleistung
- Sinn?



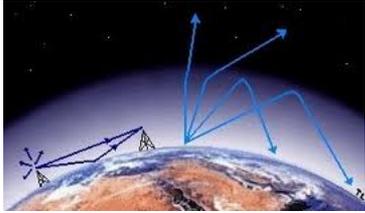
- *Z.B.: Aufwand für Eingabe in den PC + Berechnung ca. 3-5 Stunden*

Software - Antennendesign-

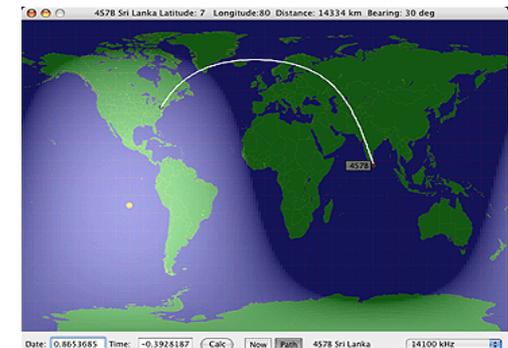
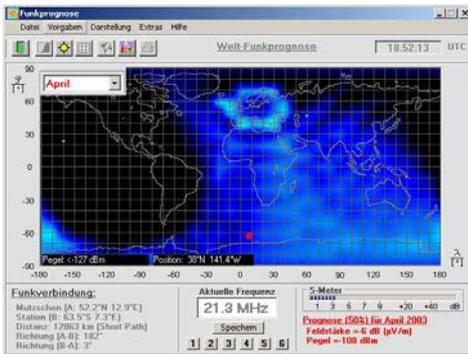
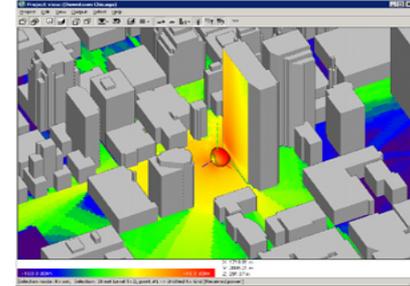
- kommerziell
- Hobbybereich (Freeware)
- CST-Microwave Studio, HFSS-Ansoft, Antenna Magus, FEKO
- EZNEC, MMANA GAL



Software - Wellenausbreitung-

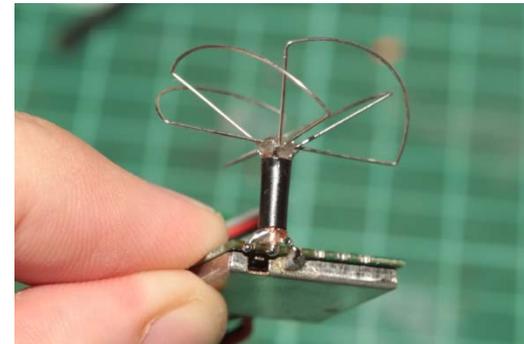
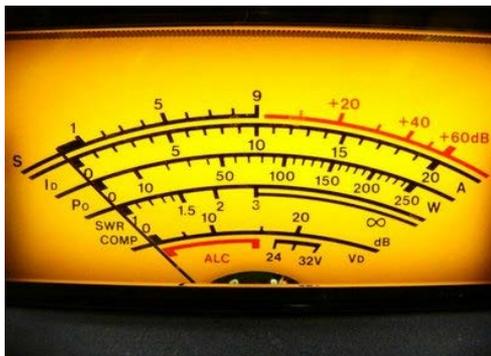
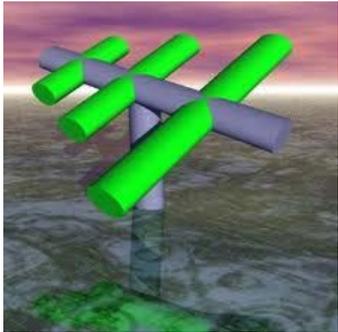


- kommerziell
- Hobbybereich
- AWE-Communication- WinProp
- DX-Cluster, Radio-Mobile, Funkvorhersage Dr. Lutz Höll (DK3WI).....
- Ansatz? Wo Ausbreitung? Raum, Gebäude oder Reflexionen, Frequenzen?



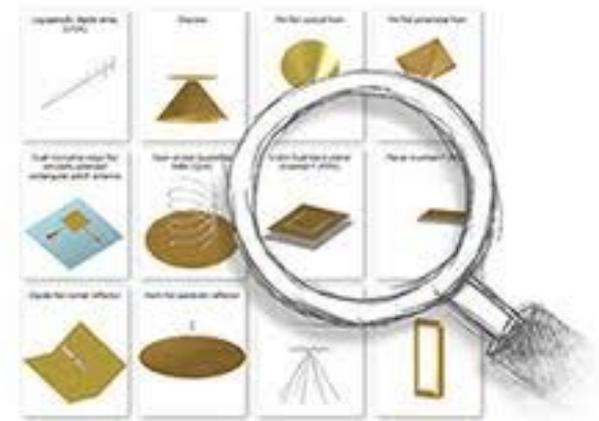
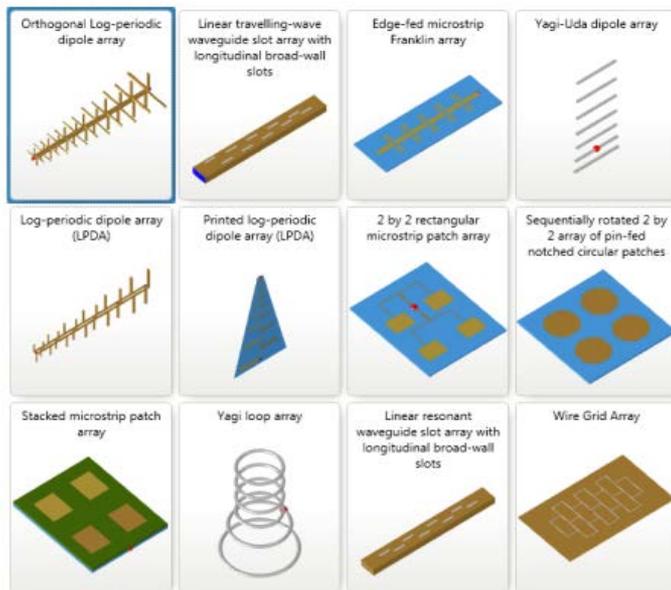
Antennendesign

- Beispiel mit kommerzieller Software (Antenna Magus)
- Problemstellung: Frequenz, Größe/ Platzbedarf, Bauform?
- Nachbau möglich?
- Ziel: $S9+30\text{dB}$, unauffällig?, Anpassung nötig?



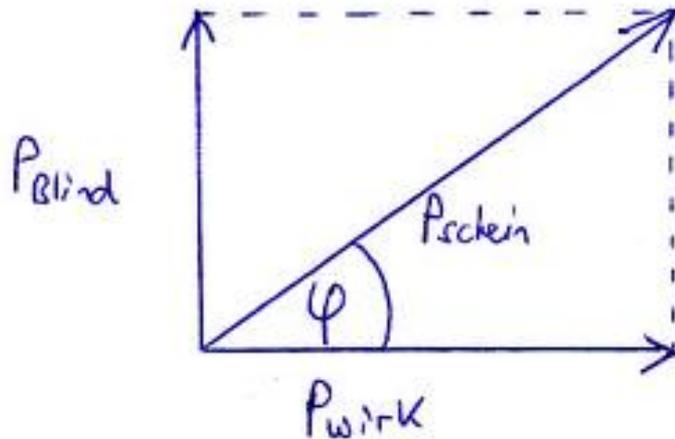
Software - Antennendesign-

- Beispiel: Aufbau einer Antenne und Berechnung der wichtigsten Parameter mit Antenna Magus
- Hilfsmittel: Software+PC
- Beispiel!



Antennendesign- Zusammenfassung Ende Teil 1

- Datenbank
- Aufwand, Zeit?
- Bedienung?
- Weiterverarbeitung der Ergebnisse, Darstellung bzw. portieren in andere Software?
- Fragen?



Endlich eine vernünftige Erklärung zu Wirk-, Blind- und Scheinleistung auch für Nicht-Elektrotechniker



Antennendesign- Die ersten Schritte

- Gewinn? Richtwirkung? Form/ Typ? Frequenz?
- Auswahl des Antennenprogramms

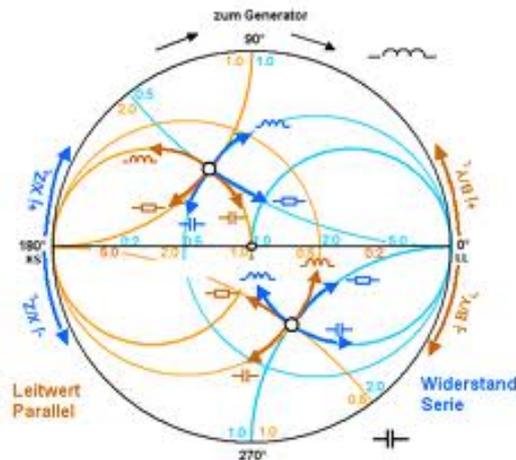


Antennendesign- Zusammenfassung 8/2012

- Software-> Antennen / Wellenausbreitung
- Antennenaufbau mit Hilfe von Antenna Magus
- Problemstellung
- Aufwand

Start - Antennenseminar

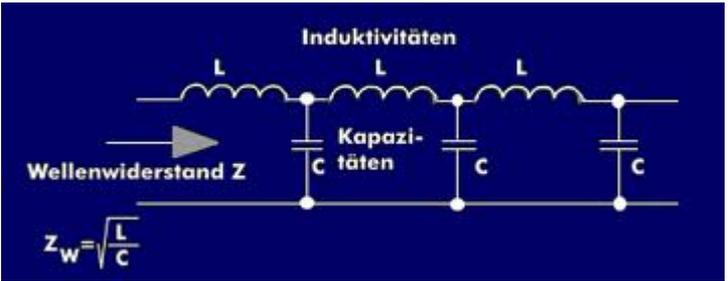
- Anpassung von Antennen an den üblichen Wellenwiderstand von 50 Ohm
- Angabe der Impedanz, Smith Diagramm, komplexe Rechnung
- Messung des SWR`s mit Stehwellenmessgerät, Netzwerkanalysator



Wellenwiderstand

$$U = \hat{U} \exp[j(kz - \omega t)]$$

$$\frac{\partial U}{\partial z} = jkU = -L' \frac{\partial I}{\partial t} = L' j \omega I$$

$$\frac{\hat{U}}{\hat{I}} = L' \frac{\omega}{k} = L' v_{ph} = \sqrt{L'/C'} =: Z$$


- SWR- Impedanz-Smith Diagramm

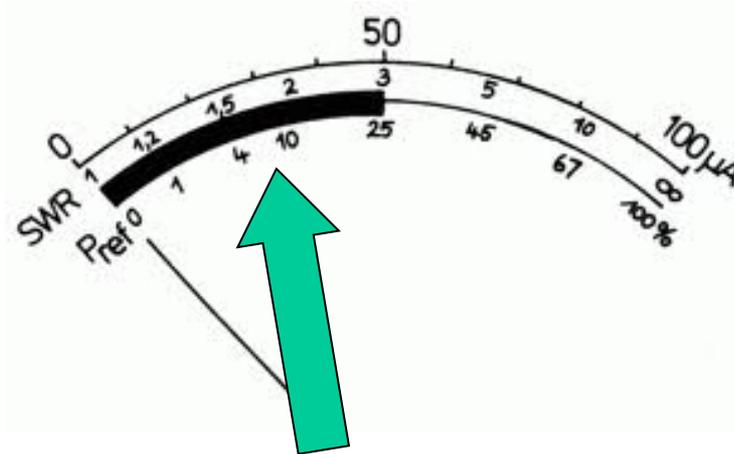
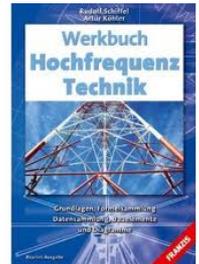
SWR = 1,5 bedeutet, 96 % der Leistung kommt an der Antenne an, 4 % Reflexion

SWR = 2 bedeutet, 89 % der Leistung kommt an der Antenne an, 11 % Reflexion

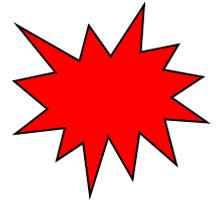
SWR = 3 bedeutet, 75 % der Leistung kommt an der Antenne an, 25 % Reflexion

SWR = 6 bedeutet, 50 % der Leistung kommt an der Antenne an, 50 % Reflexion

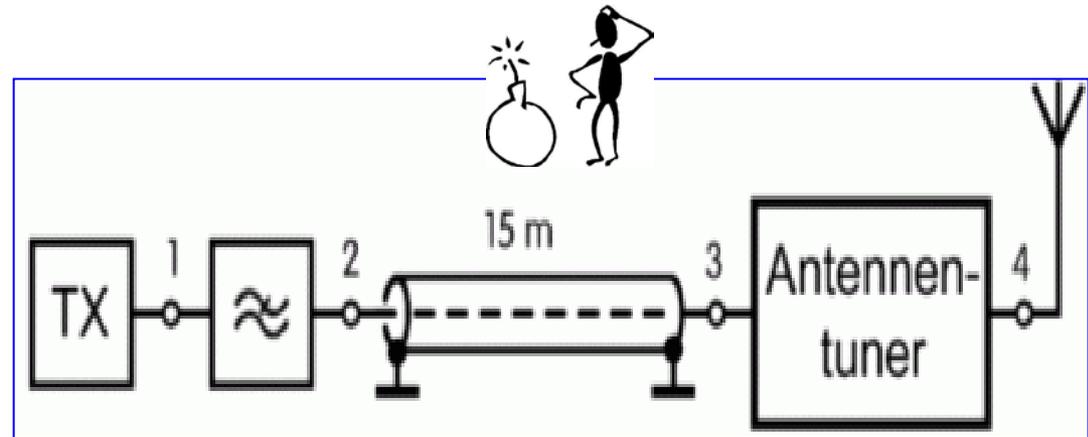
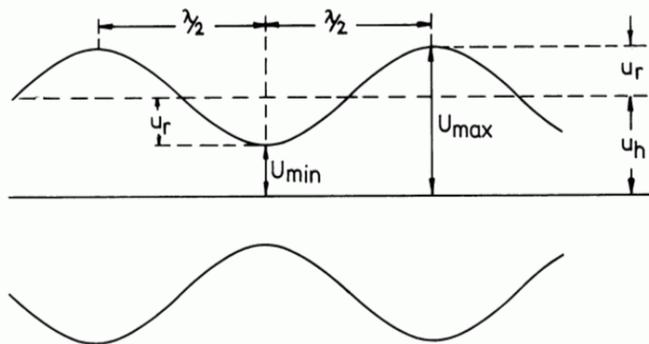
Definition- \rightarrow $SWR = (U_{\text{vor}} + U_{\text{rück}}) / (U_{\text{vor}} - U_{\text{rück}})$
Spannungen !



- SWR- Impedanz-Smith Diagramm

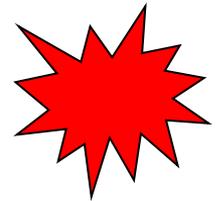


Schickt man hochfrequente „Leistung“ auf ein Kabel und wird wegen einer Fehlanpassung der Antenne an das Kabel nicht alle Energie abgenommen, wird dieser Teil reflektiert und wandert wieder zurück in Richtung Sender. Dabei überlagert sich diese rücklaufende Welle u_r mit der hinlaufenden Welle u_h . Dadurch entstehen in regelmäßigen Abständen Wellenberge (Summe aus hinlaufender und rücklaufender Welle) und Wellentäler (Differenz aus hinlaufender und rücklaufender Welle). Diese an bestimmten Stellen auftretenden Maxima U_{max} und Minima U_{min} bezeichnet man als stehende Wellen und das Verhältnis davon als Stehwellenverhältnis SWR (standing wave ratio).

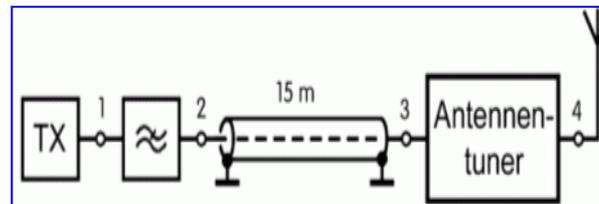
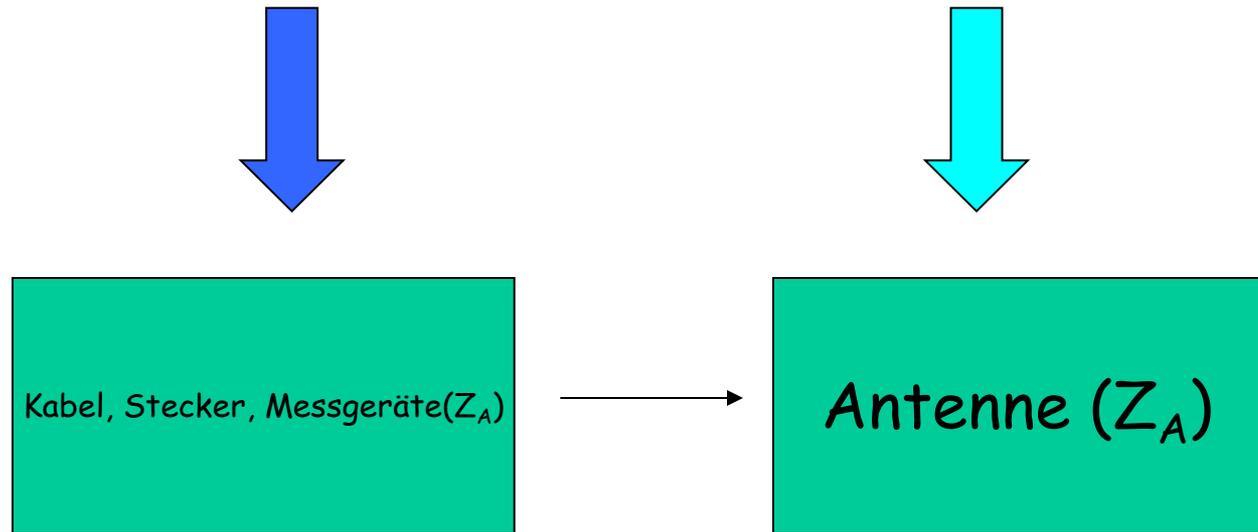


- SWR- Impedanz-Smith Diagramm

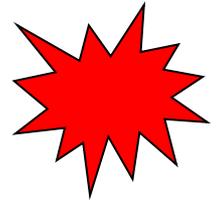
Das Verhältnis aus Spannung zu Strom an der Einspeisestelle der Antenne stellt einen Wechselstromwiderstand Z dar, den man mit *Impedanz* oder *Fußpunkt-widerstand* oder auch mit *Speisewiderstand* bezeichnet.



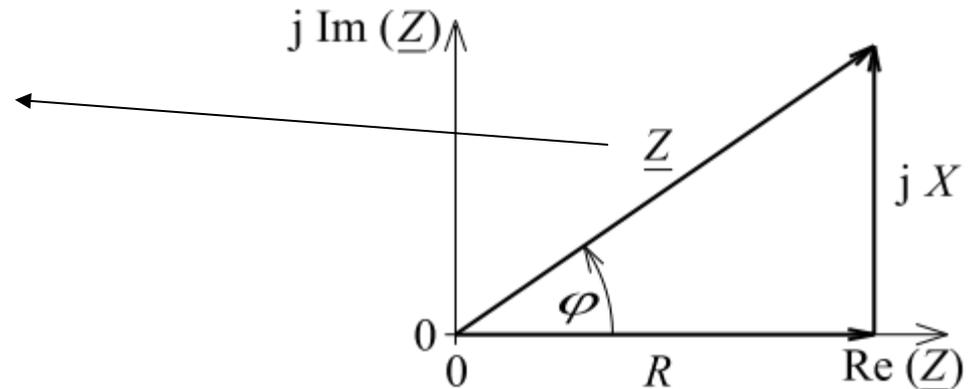
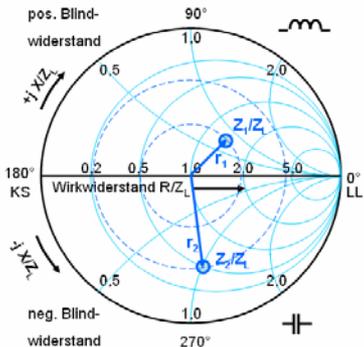
$$Z = \frac{U}{I}$$



- SWR- Impedanz-Smith Diagramm



Die Impedanz (lat. impedire „hemmen“, „hindern“), auch Wechselstromwiderstand, gibt das Verhältnis von elektrischer Spannung an einem Verbraucher (Bauelement, Leitung usw.) zu aufgenommenem Strom an. Diese physikalische Größe wird im Allgemeinen vorteilhaft als **komplexwertige** Funktion der Frequenz angegeben.



- SWR- Impedanz-Smith Diagramm

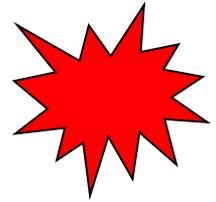
Die Impedanz besteht aus einem reellen Anteil (R) und einem „blinden“ Anteil (X), dieser kann induktiv sein (+j) oder aber auch kapazitiv (-j) !

Allgemein: $Z = R \pm j X \text{ {Ohm}}$
Z ist immer nur der Betrag!

Beispiel: Angabe auf dem Messgerät $Z = 45 + j 13 \Omega$ ergibt nach Berechnung einen Betrag der Impedanz:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{45^2 + 13^2} = 46,84 \Omega$$

- SWR- Impedanz-Smith Diagramm

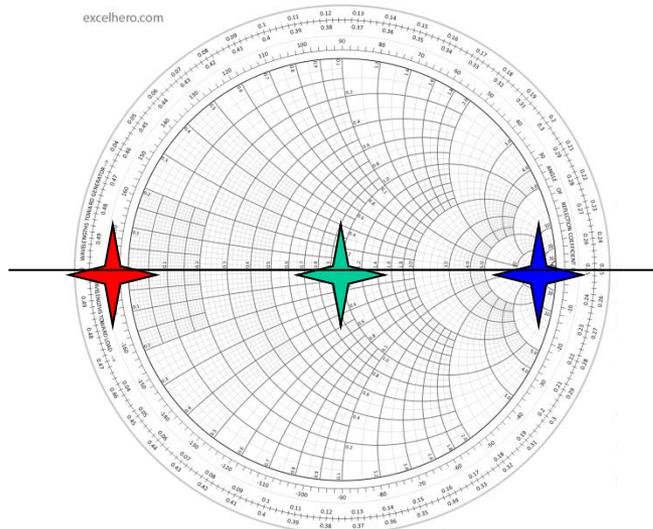


Das Smith Chart ist ein Diagramm, mit dem sich komplexe Impedanzen graphisch darstellen lassen.

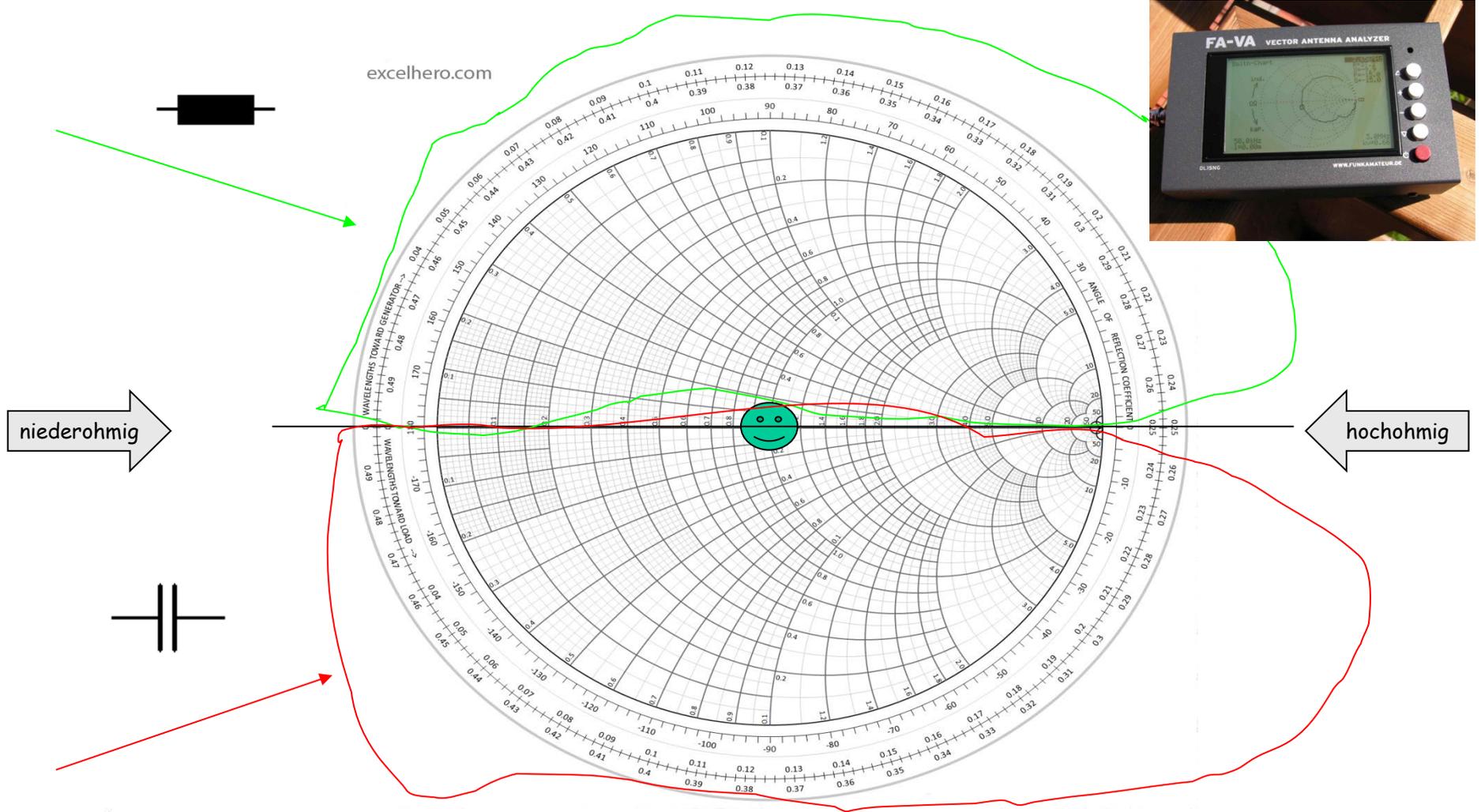
In der Hochfrequenztechnik wird es vorzugsweise zur Anpassung einer Last (z.B. einer Antenne) an eine Quelle (z.B. einen Sender) verwendet.

Anfangs unterscheiden wir 3 Extremfälle:

1. Absolute Anpassung
2. Kurzschluß
3. Leerlauf



- SWR- Impedanz-Smith Diagramm



- SWR- Impedanz-Smith Diagramm

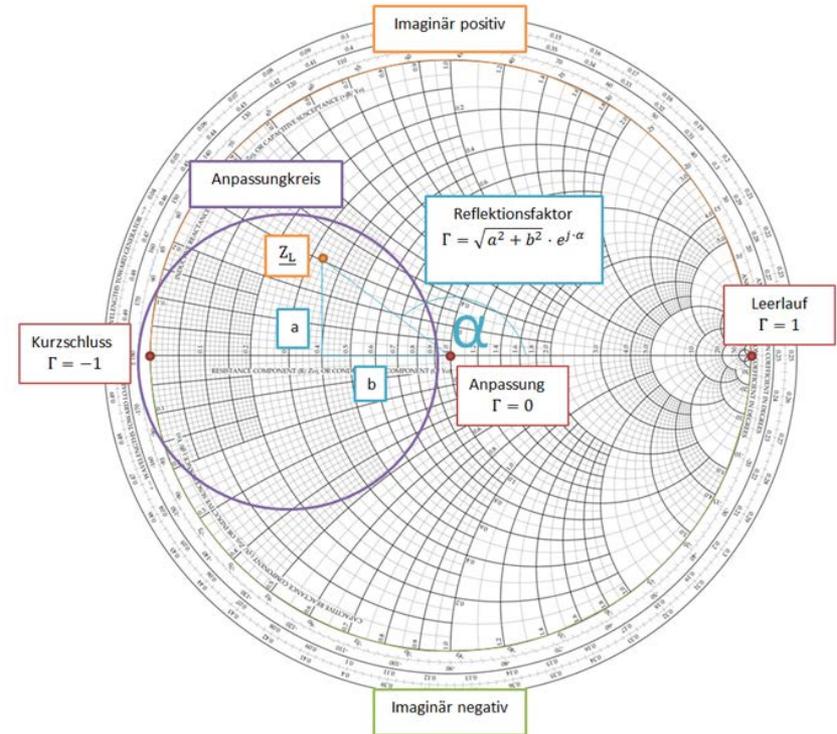
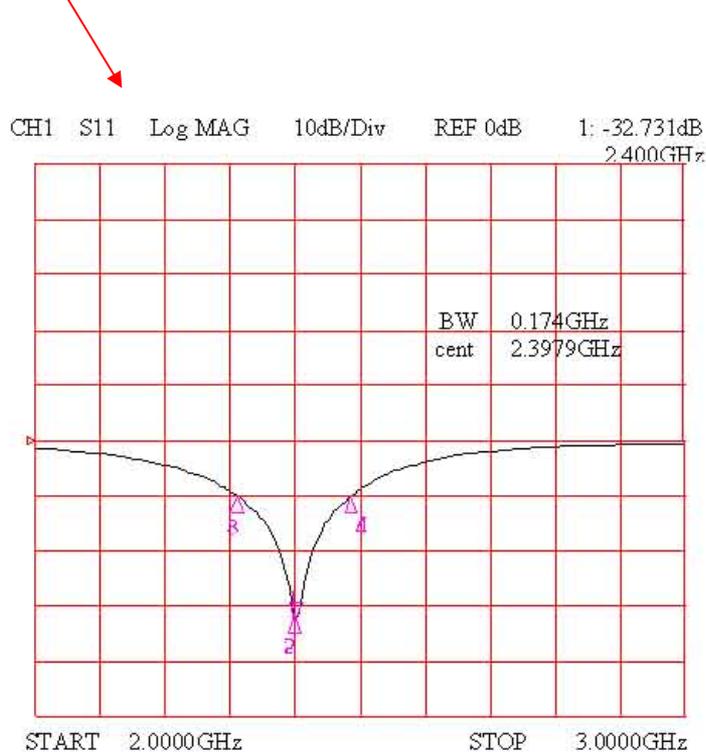
Die Antenne ist in Resonanz, wenn der Blindanteil verschwindet. Es bleibt nur noch der Wirkwiderstand übrig, der Strahlerwiderstand. Die erste Resonanz tritt bei gerundet $\lambda/4$ auf. Jedes weitere $\lambda/4$ tritt die nächste Eigenresonanz auf.

Ist eine Antenne zu kurz, hat sie einen **kapazitiven Blindanteil**, den man mit einer sogenannten Verlängerungsspule kompensieren kann. Ist die Antenne elektrisch zu lang, hat sie einen **induktiven Blindanteil**, den man mit einem passenden Kondensator in Serie kompensieren kann. Die Kompensation ist vom Prinzip her ganz einfach, die Antenne wird mit einer Spule bzw. einem Kondensator zur Resonanz gebracht. Dabei entsteht ein Serienschwingkreis. Der Widerstand des Serienschwingkreises beträgt bei Resonanz 0 Ohm. Somit bleibt bei der Antenne nur noch der reale Widerstand übrig, der Strahlerwiderstand.



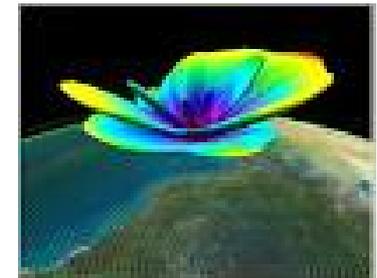
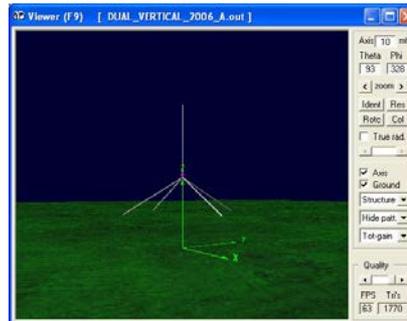
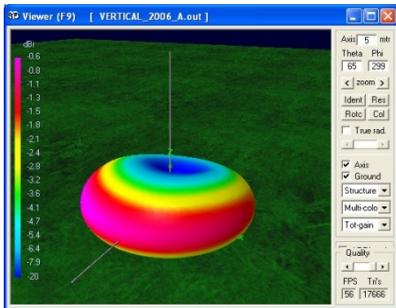
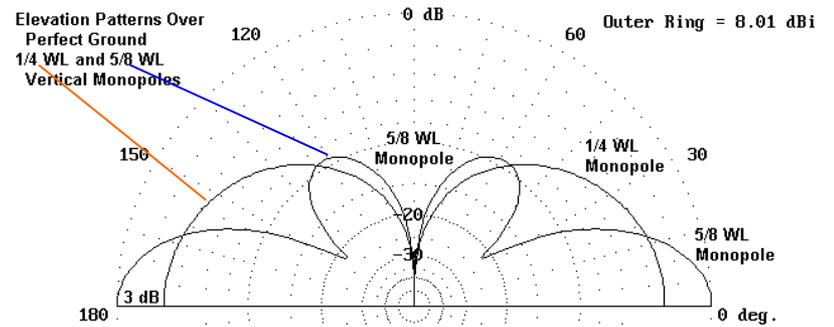
Bodediagramm- Smithdiagramm

- Bodediagramm vs. SWR-Meter, Reflexionsdämpfung-SWR, Reflexionsfaktor



Strahlungsdiagramm

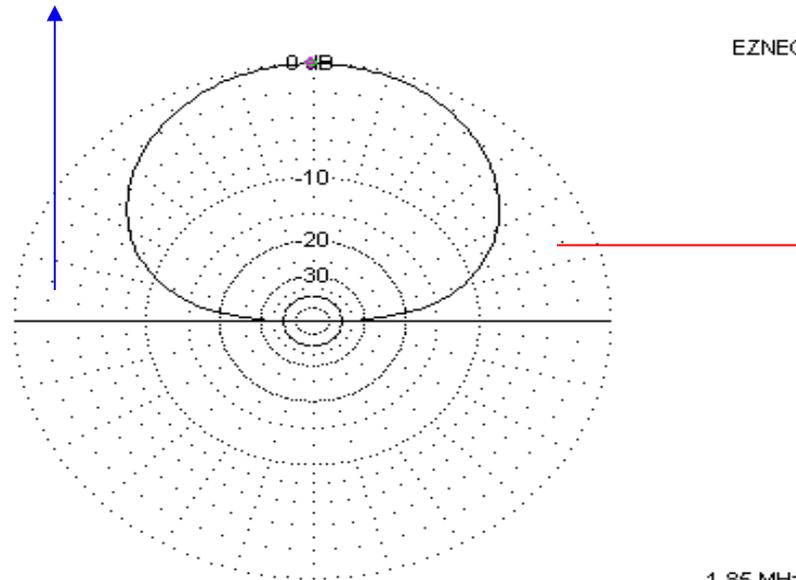
- Strahlungsdiagramm diverser Antennen



Strahlungsdiagramm und Interpretation

➤ Ansatz: Was gibt die Physik vor?

DL



DX

Elevation Plot
Azimuth Angle 270,0 deg.
Outer Ring 5,56dBi

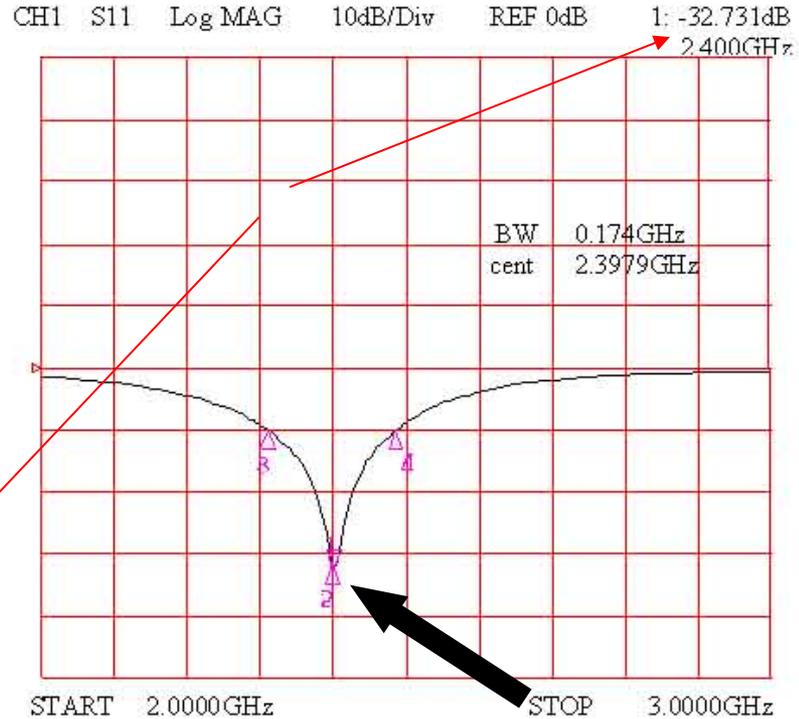
Cursor Elev 90,0 deg.
Gain 5,56 dBi
0,0 dBmax

Slice Max Gain 5,56 dBi @ Elev Angle = 90,0 deg.
Beamwidth 91,0 deg.; -3dB @ 44,2, 135,2 deg.
Sidelobe Gain < -100 dBi
Front/Sidelobe > 100 dB

Quad Loop, Band 160m, Höhe 15m, horizontal

- Bodediagramm, dB(SWR)

SWR	S11(dB)
3	-6,02
2,5	-7,36
2,0	-9,54
1,5	-13,98
1,4	-15,56
1,3	-17,69
1,2	-20,83
1,1	-26,44
1,05	-32,26
1,02	-40,09
1,01	-46,06
2,0	-10dB



- Bodediagramm, dB(SWR), Berechnung

$$a(\text{dB}) = -20 \cdot \log(r) = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{r}\right); r = \frac{U_R}{U_V} = \frac{R_A - Z_0}{R_A + Z_0}$$

Reflexionsfaktor: $r = \frac{U_R}{U_V} = \frac{R_A - Z_0}{R_A + Z_0} \quad |r| = \frac{1-m}{1+m} = \frac{s-1}{s+1} \quad |r| = 0 \dots 1$

Reflexionsdämpfung: $a_R = -20 \times \log r = 20 \times \log\left(\frac{1}{r}\right) \quad (\text{in dB})$

Leistungsverlust

durch Reflexion: $a_F = 10 \times \log\left(\frac{P_V - P_R}{P_V}\right) = 10 \times \log\left(1 - \frac{(s-1)^2}{(s+1)^2}\right) \quad (\text{in dB})$

Anpassungsfaktor: $m = \frac{1}{s} = \frac{1-|r|}{1+|r|} \quad m = 0 \dots 1$

Welligkeit/Stehwellenverh.: $s = \text{swr} = \frac{1}{m} = \frac{1+|r|}{1-|r|} = \frac{U_V + U_R}{U_V - U_R} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$

$$s = \frac{1 + \frac{U_R}{U_V}}{1 - \frac{U_R}{U_V}} = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_R}{P_V}}}{1 - \sqrt{\frac{P_R}{P_V}}}$$



SWR	S11(dB)
3	-6,02
2,5	-7,36
2,0	-9,54
1,5	-13,98
1,4	-15,56
1,3	-17,69
1,2	-20,83
1,1	-26,44
1,05	-32,26
1,02	-40,09
1,01	-46,06
2,0	-10dB



Formelsammlung AfU-Prüfung



Strahlungsdiagramm von Antennen

- Anpassung, Messung, Darstellung im Smithdiagramm/Bodediagramm



Strahlungsdiagramm von Antennen ?

Ein Antennendiagramm ist die grafische Darstellung der Strahlungscharakteristik einer Antenne (Intensität, Feldstärke, Polarisation, Phase, Laufzeitunterschiede) in einem räumlichen Koordinatensystem. Antennendiagramme werden messtechnisch aufgenommen oder durch Simulationsprogramme am Computer generiert, um die Richtwirkung einer Antenne grafisch darzustellen und so deren Leistungsfähigkeit einzuschätzen. Rechnerisch ist dies natürlich auch möglich, vorausgesetzt erweiterte mathematische Kenntnisse sind vorhanden.

Mathematik

Vertikalcharakteristik des vertikalen Halbwellendipols über Erde:

$$F\left(\vartheta, \frac{l}{\lambda} = \frac{1}{2}\right) = \frac{2 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos \vartheta\right)}{\sin \vartheta}$$

differentiell

$$\text{rot } \mathbf{H} = \dot{\mathbf{D}} + \mathbf{j},$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{B}},$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \varrho,$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0,$$

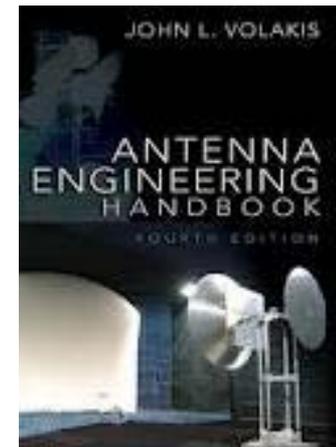
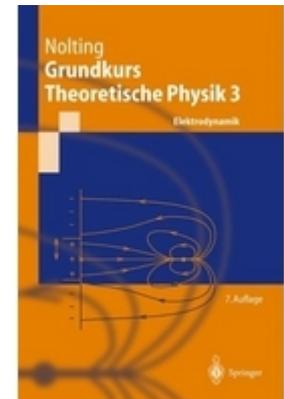
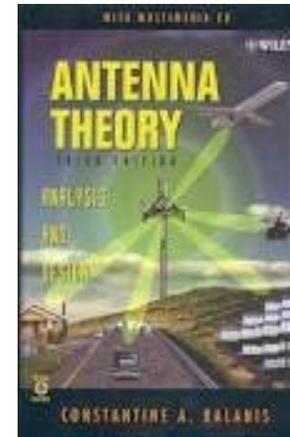
integral

$$\oint_K \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = \frac{d}{dt} \int_A \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} + I$$

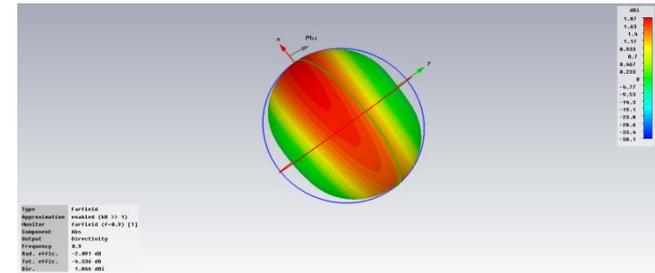
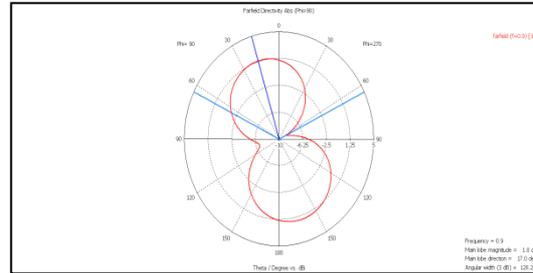
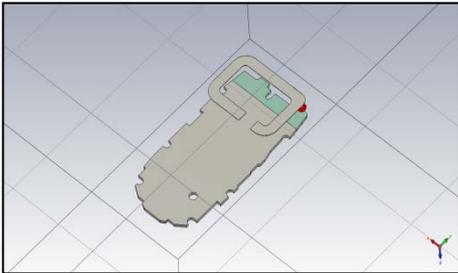
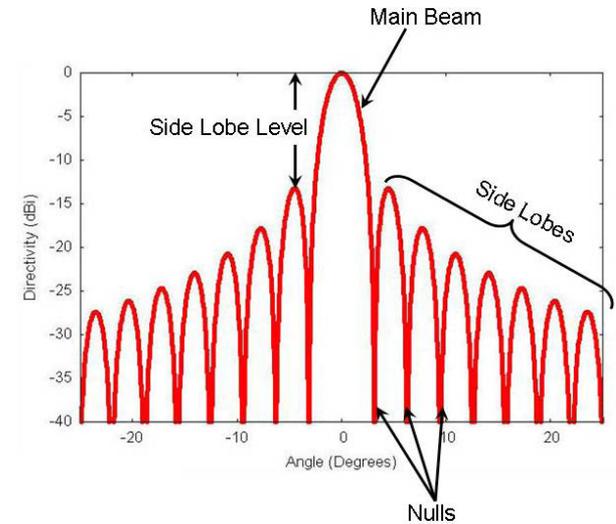
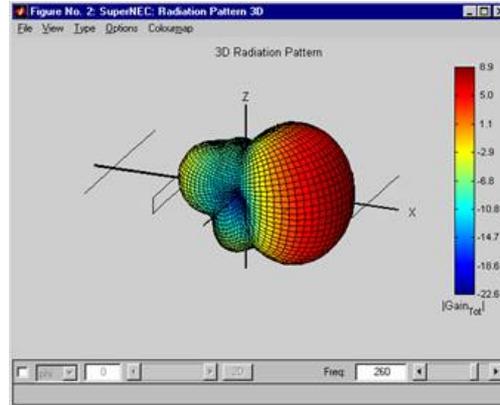
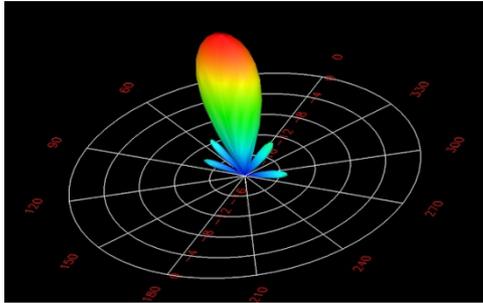
$$\oint_K \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d}{dt} \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\oint_A \mathbf{D} \cdot d\mathbf{A} = Q$$

$$\oint_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0.$$



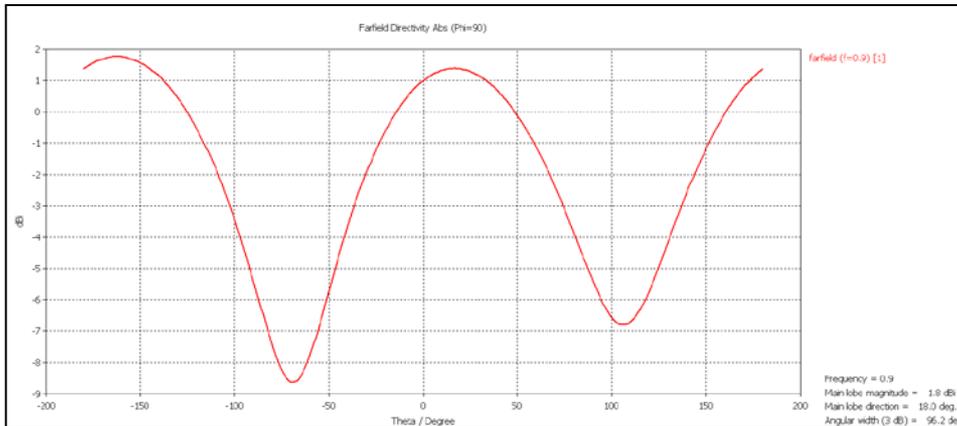
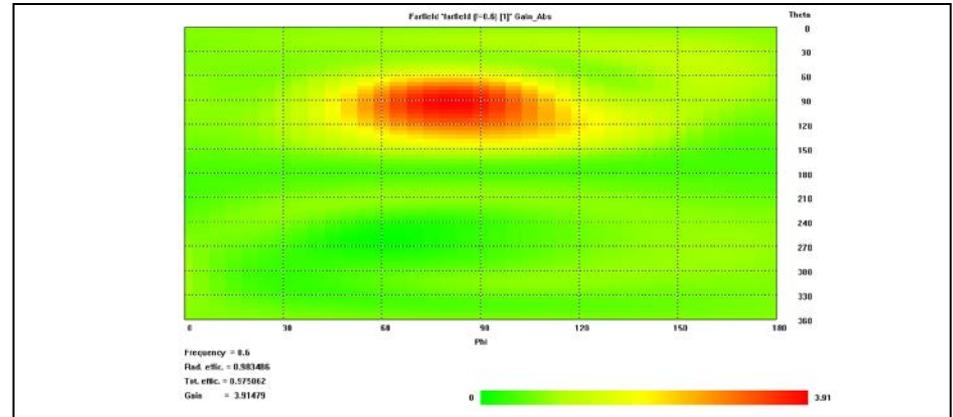
Strahlungsdiagramm - Formen der Darstellung



Strahlungsdiagramm - Formen der Darstellung

- 3D/2D
- Polar, Kartesisch etc.

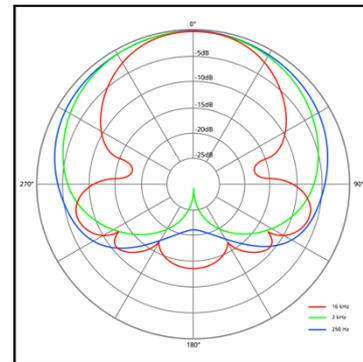
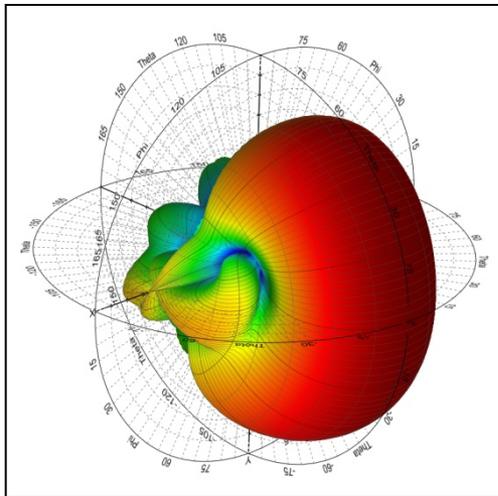
Helix-Antenne



Mobiltelefon

Strahlungsdiagramm Interpretation/ Einflüsse

- Boden
- Bebauung
- Fahrzeug
- Haus/ Dach
- Bäume
- Wände



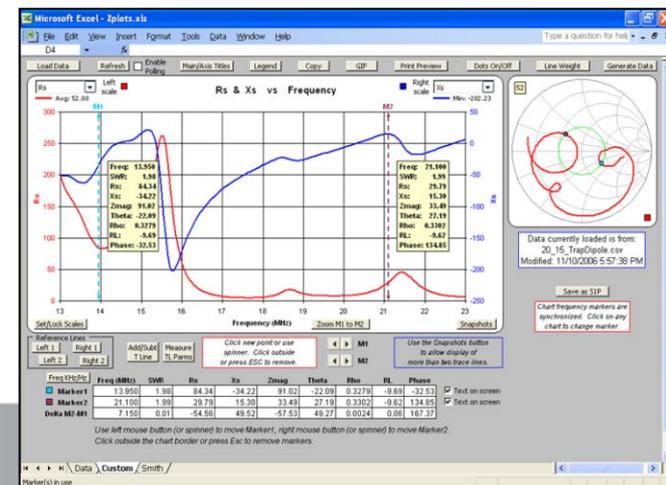
Messung von SWR- S-Parametern mini-VNA Pro mit Bluetooth

- Weitere Funktionen und Daten des mini-VNA Pro BT
- **Frequenzbereich 0.1 bis 200MHz**
- Kalibration durch offene und Kurzschlussmessung für genaue Resultate
- Messbereich für Impedanz 'Z' von 1 bis 1000 Ω
- Zweiport Vektoranalyser mit Anzeige für S11 und S12
- I/Q DDS Generator mit **0 dBm Ausgangsleistung / 1mW**
- Zwei separate I/Q HF-Ausgänge für Experimente mit SDR und für IMD Messungen, Dämpfung unabhängig von 0 bis 55dB einstellbar, Phaseneinstellung mit 1° Auflösung
- Eingebauter Bluetooth® Adapter (Class 1) für kabellose Messungen
- Eingebauter LiIon Akku mit 1000mAh Kapazität, ermöglicht **ca. 4 Stunden unabhängigen Betrieb**
- Eingebautes Ladegerät (bis zu 400mA)
- Zubehöranschluß für zukünftige Erweiterungen
- Niedriger Stromverbrauch: nur 220mA @3.6V (bei Betrieb im Analyzermode über USB)



mini-VNA Pro mit Bluetooth

- Neuer Stromsparmmodus
- SMA Buchsen für bessere Isolation
- Erweiterter Dynamikbereich: bis zu 90dB bei Transmissions-, bis zu 50dB Bei Reflektionsmessung
- Nachladbare Software für zukünftige Erweiterungen
- Benutzerfreundliche Software für Windows, Linux und MAC
- Smith Charts über die Software darstellbar
- Messungen von Quarzparametern, Kabellängen uvm.
- Datenexport in verschiedenen Formaten: JPG, Excel, ZPLOT, S2P, PDF



mini-VNA Pro mit Bluetooth

- Computer mit USB / Bluetooth
- Software (www.wimo.de)
- Kabeladapter
- Theoretische Grundlagen aus IO4 Antennenvorträgen...

Ausbaustufe
200 – 1500
MHz



Strahlungsdiagramm Interpretation/ Einflüsse

- Gleicher Antennentyp, unterschiedliche Aufbauhöhe
- Bodenleitfähigkeit
- weitere Einflüsse
- Wiederholung

Ein Antennendiagramm ist die grafische Darstellung der Strahlungscharakteristik einer Antenne (Intensität, Feldstärke, Polarisation, Phase, Laufzeitunterschiede) in einem räumlichen Koordinatensystem. Antennendiagramme werden messtechnisch aufgenommen oder durch Simulationsprogramme am Computer generiert, um die Richtwirkung einer Antenne grafisch darzustellen und so deren Leistungsfähigkeit einzuschätzen.



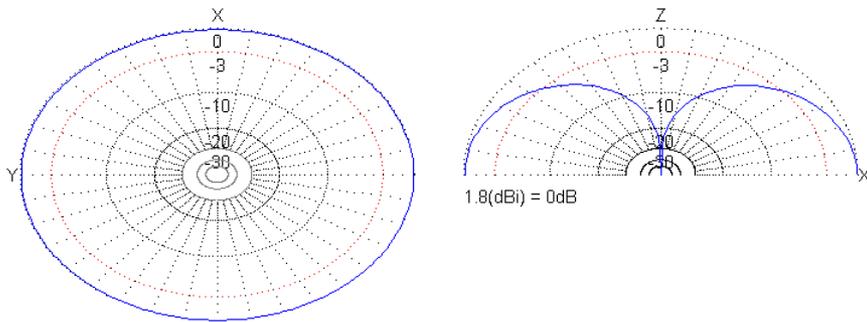
Antenne: Groundplane mit unterschiedlicher Aufbauhöhe



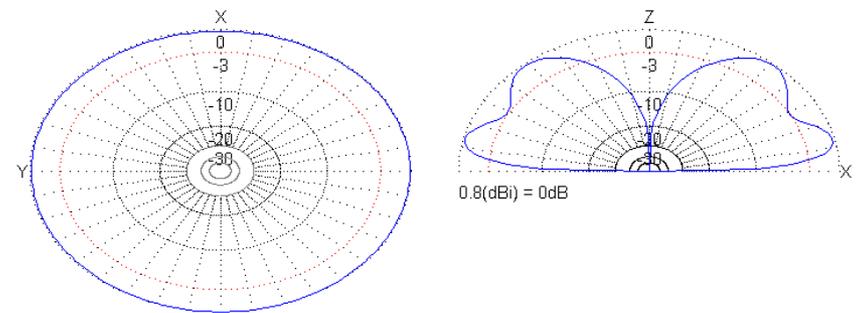
- Gleicher Antennentyp, unterschiedliche Aufbauhöhe, Bodenleitfähigkeit



Antenne: Groundplane mit unterschiedlichen Bodenleitfähigkeiten



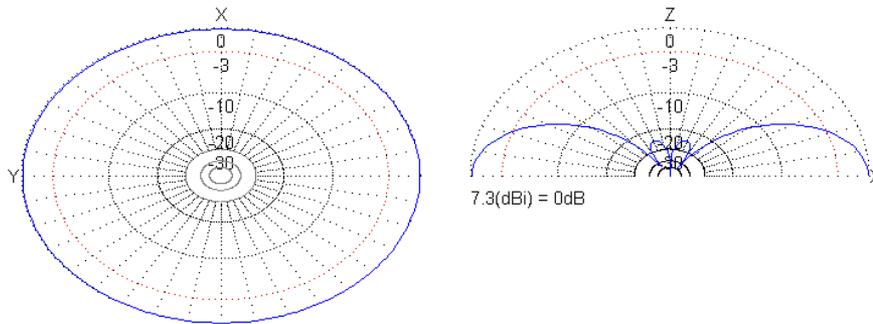
Aufstellung **im idealen freien Raum**
(nicht praktisch realisierbar)



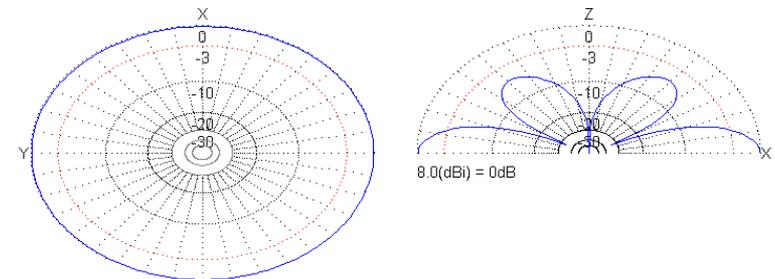
Aufstellung **über leitfähigem Boden**
inkl. Kupferverluste



Antenne: Groundplane mit unterschiedlicher Aufbauhöhe



Aufstellung **5 m** über ideal leitfähigem Boden
(Kupferverluste vernachlässigt)



Aufstellung **10 m** über ideal leitfähigem Boden
(Kupferverluste vernachlässigt)

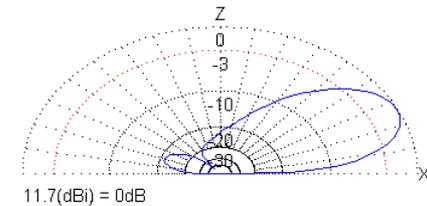
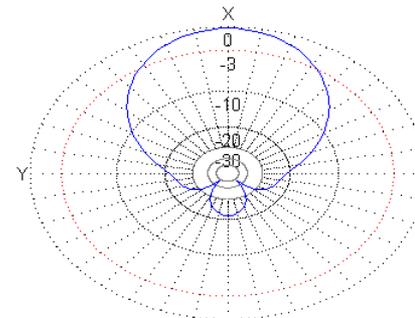
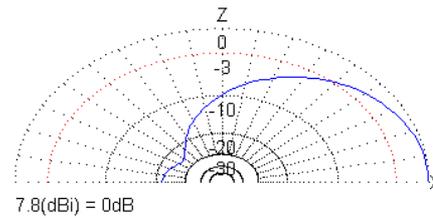
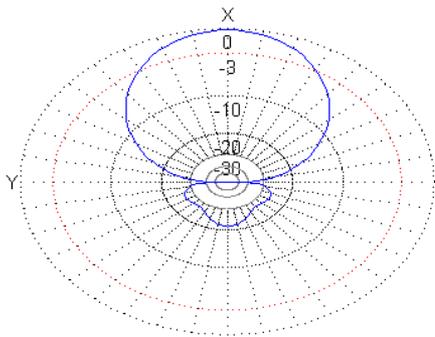
Antenne: Beam mit unterschiedlicher Aufbauhöhe



- Gleicher Antennentyp, unterschiedliche Aufbauhöhe, Bodenleitfähigkeit



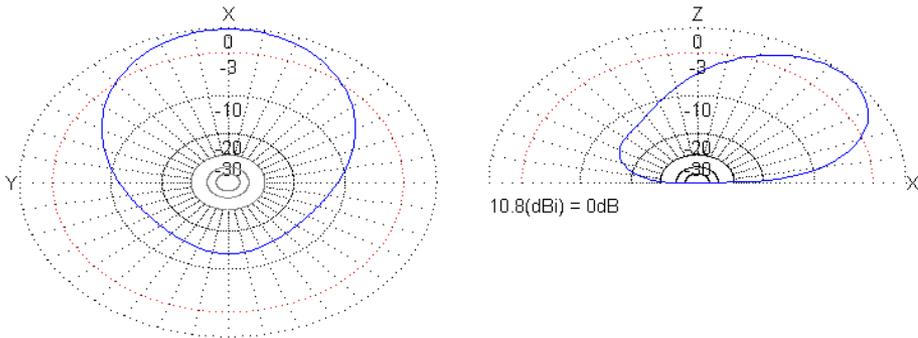
Antenne: Beam mit unterschiedlichen Bodenleitfähigkeiten



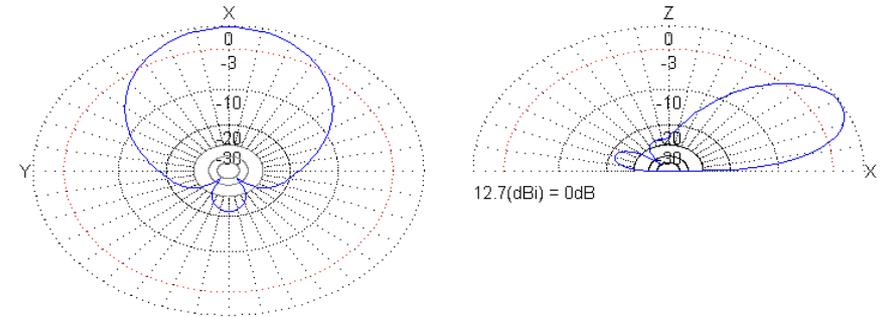
Aufstellung im **idealen freien Raum**
(nicht praktisch realisierbar)

Aufstellung **über leitfähigem Boden**
inkl. Kupferverluste

Antenne: Beam mit unterschiedlicher Aufbauhöhe



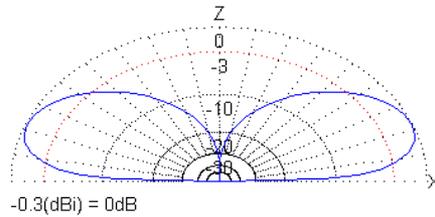
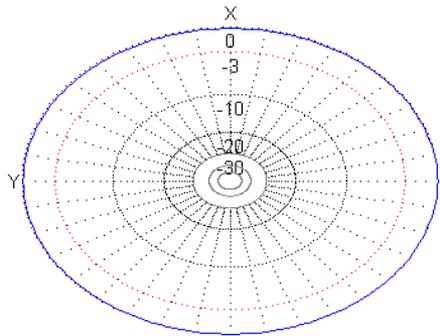
Aufstellung **5 m** über ideal leitfähigem Boden
(Kupferverluste vernachlässigt)



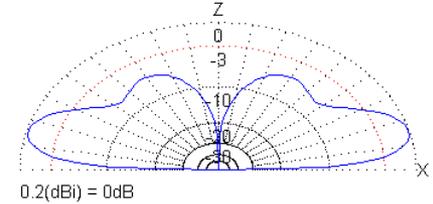
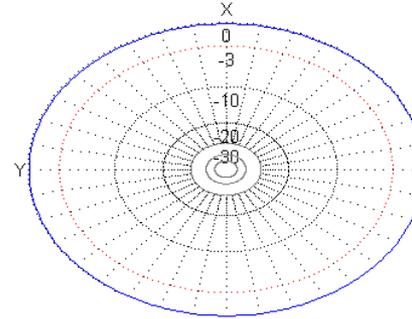
Aufstellung **10 m** über ideal leitfähigem Boden
(Kupferverluste vernachlässigt)



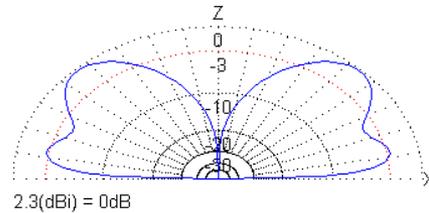
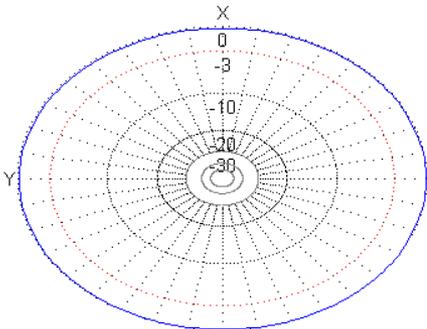
Antenne: Groundplane 40m/ 7MHz mit unterschiedlicher Montagehöhe



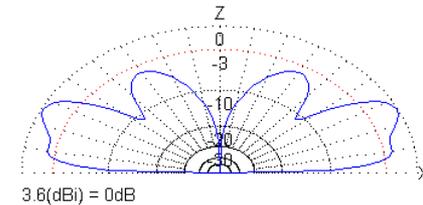
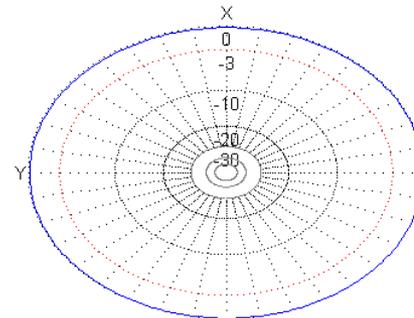
$$d = 3 \text{ m} \triangleq \frac{3}{40} \lambda$$



$$d = 10 \text{ m} \triangleq \frac{\lambda}{4}$$



$$d = 20 \text{ m} \triangleq \frac{\lambda}{2}$$



$$d = 40 \text{ m} \triangleq \lambda$$





Fortsetzung folgt ...

