

Breitbandige Anpassung einer Patchantenne

Angefertigt von cand.-ing. Dinh Trung Tran
Bei Prof. Dr.-Ing.K.Solbach

Fachgebiet
Hochfrequenztechnik
An der
Universität Duisburg-Essen

11.01.2005



Einführung

- Unsere moderne Dienstleitungsgesellschaft braucht
 - ◆ Leistungsfähige Kommunikationssysteme.
Im Bereich der Hochfrequenztechnik für die Mobilkommunikation, Satellitennavigation oder Radarsensorik haben sich die planare Leitungsstrukturen durchgesetzt.

Einführung

- Unsere moderne Dienstleistungsgesellschaft braucht
 - ◆ Leistungsfähige Kommunikationssysteme.

Im Bereich der Hochfrequenztechnik für die Mobilkommunikation, Satellitennavigation oder Radarsensorik haben sich die planare Leitungsstrukturen durchgesetzt.

Der wichtigste Vertreter planarer Hochfrequenzleitungen ist die Mikrostreifentechnik.

Einführung

- Unsere moderne Dienstleistungsgesellschaft braucht
 - ◆ Leistungsfähige Kommunikationssysteme.

Im Bereich der Hochfrequenztechnik für die Mobilkommunikation, Satellitennavigation oder Radarsensorik haben sich die planare Leitungstrukturen durchgesetzt.

Der wichtigste Vertreter planarer Hochfrequenzleitungen ist die Mikrostreifentechnik.

In dieser Technik können auch planare Antennenstrukturen, so genannte **Patchantenne**, hergestellt werden

Einführung

- Die Patchantenne als Leitungsresonator
 - ◆ Hat eine relative Bandbreite von typisch 5%

Einführung

- Die Patchantenne als Leitungsresonator
 - ◆ Hat eine relative Bandbreite von typisch 5%
- Mit der Kompensationsschaltung des dualen Resonators soll die Patchantenne breitbandig gemacht werden.

Einführung

Aufgabenstellung

Entwurf der Antenne von
Frequenz $f = 1 \text{ GHz}$
Länge $L = \lambda / 2$
Breite $w = \lambda / 4$

Ein Modell wird erstellt durch:
Messen und Simulieren

Anwendung der Kompensation,
um die Bandbreite der Patchantenne zu erweitern
Messungen von dem Reflexionsfaktor und
Strahlungsdiagramm

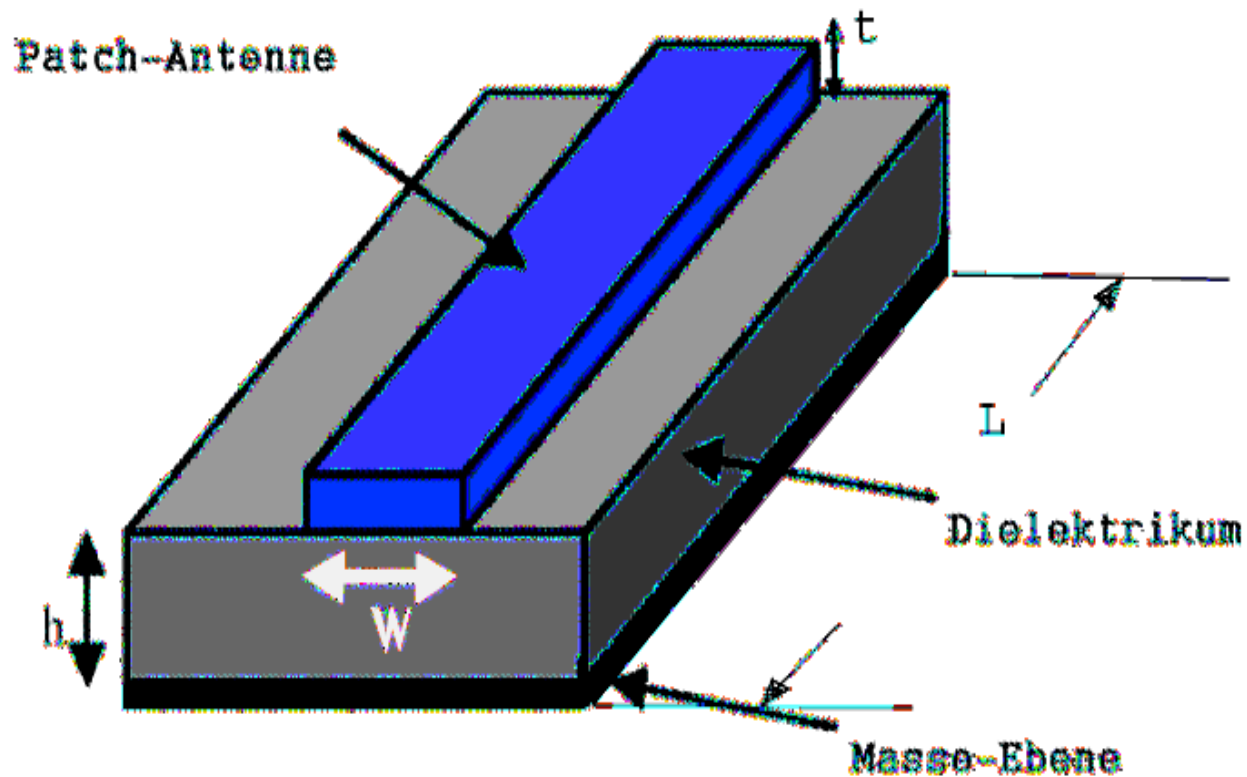
Hauptthemen

- Theorie
- Praktische Durchführung
- Zusammenfassung

Hauptthemen

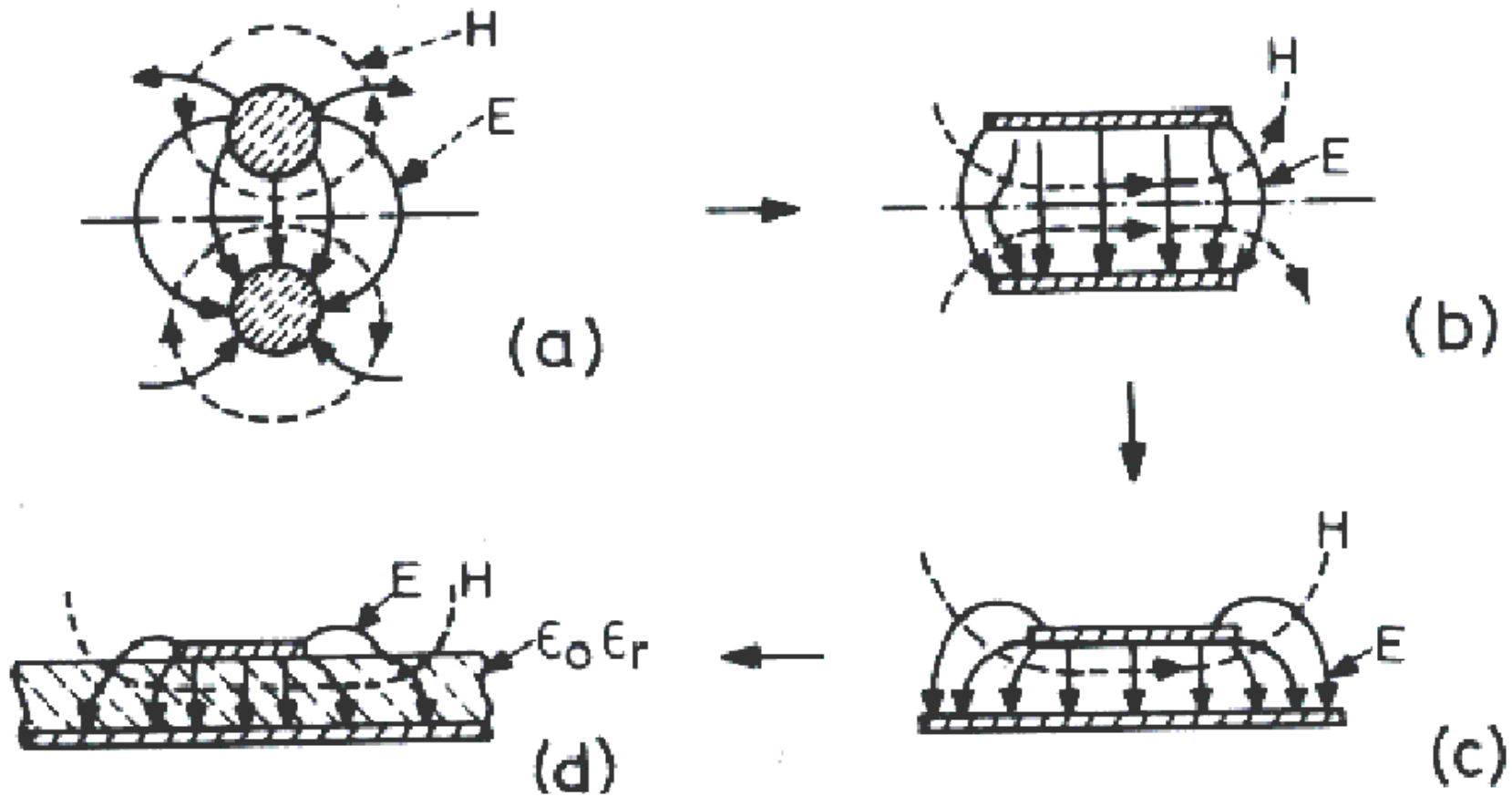
- Theorie
 - ◆ Mikrostripantenne
 - ◆ Bandleitungsmodell
 - ◆ Leitungsersatzschaltbild
 - ◆ Kompensationstheorie
 - ◆ Abstrahlung
 - ◆ Stehwellenverhältnis und Bandbreite
- Praktische Durchführung
- Zusammenfassung

Theorie Mikrostripantenne

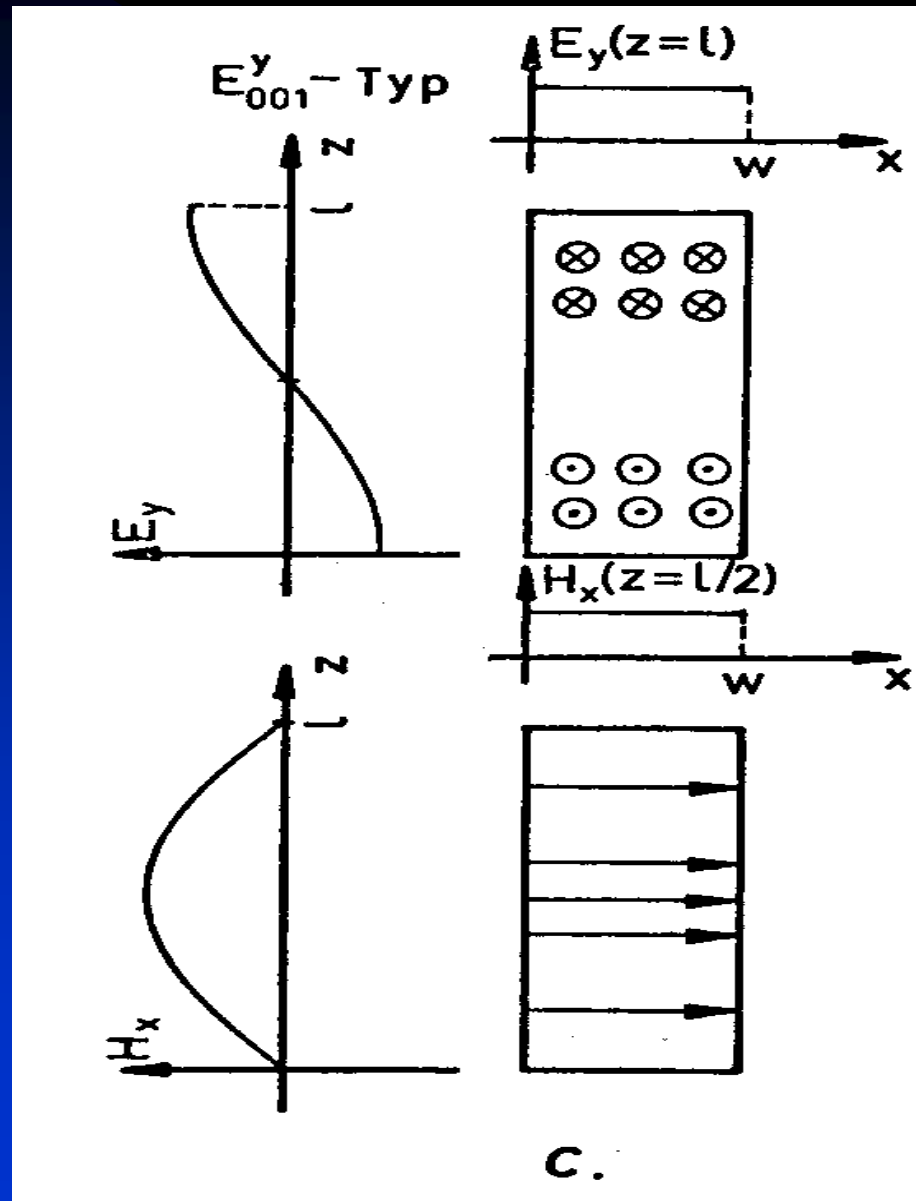


- Aufbau einer offenen Mikrostreifenleitung:
 - ◆ Leiterbreite w
 - ◆ Leiterdicke t
 - ◆ Dielektrikum sdicke h

Theorie Bandleitungsmodell



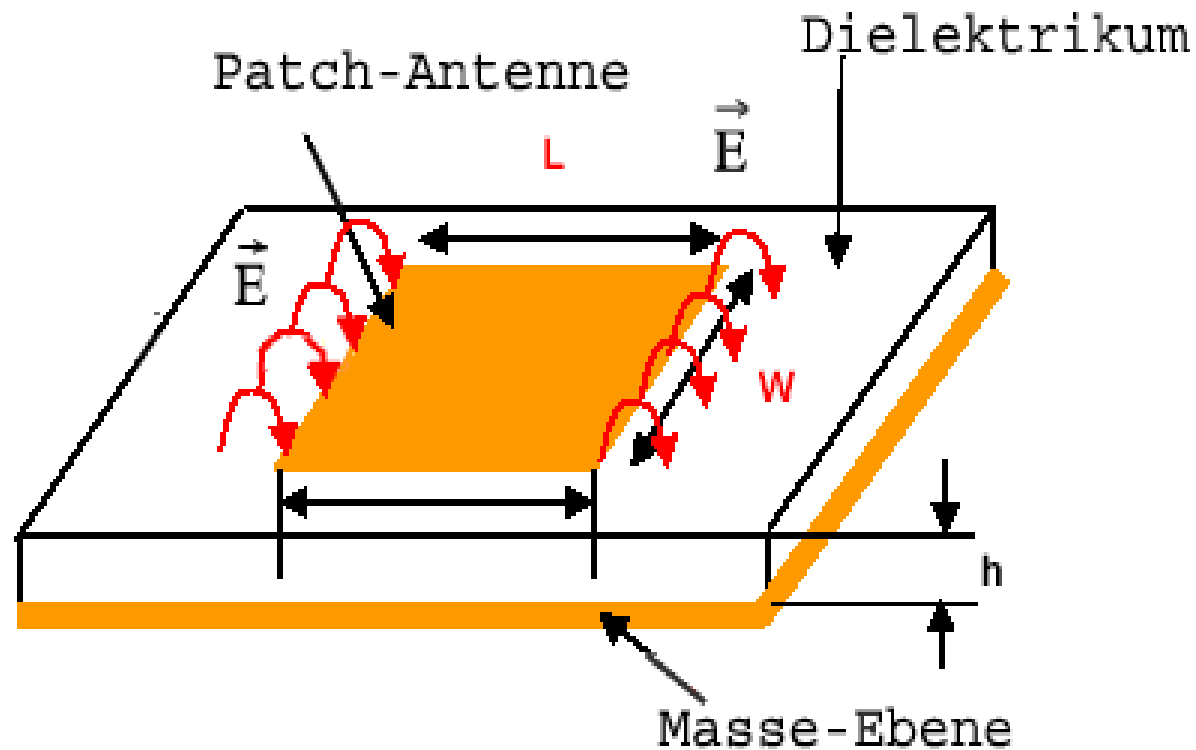
Theorie Bandleitungsmodell



- Feldstärkeverteilung des Grundmodes:
 - ◆ H-Feld
 - ◆ E-Feld

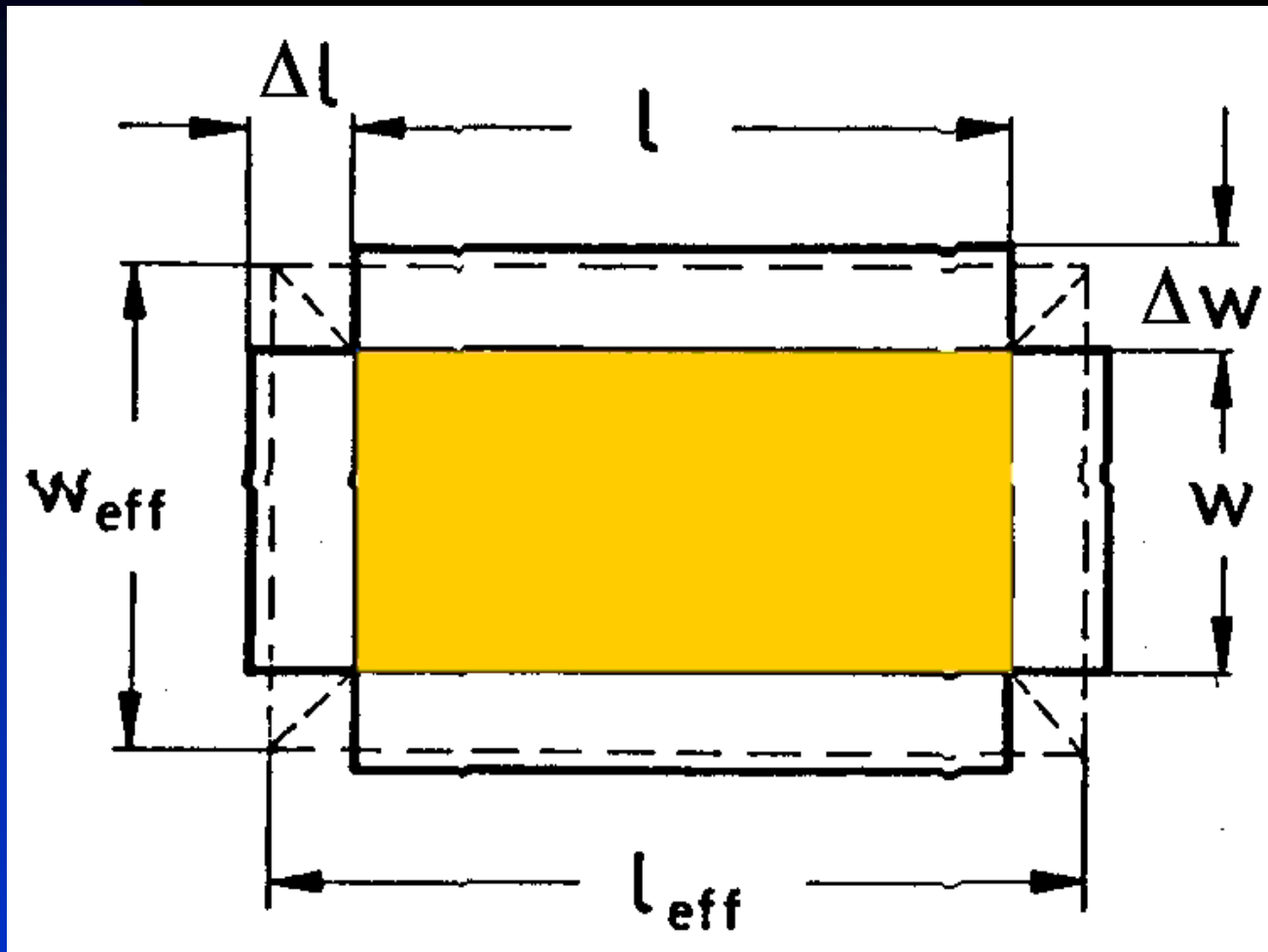
$$f_R = \frac{C_0}{2 * \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \sqrt{\frac{m^2}{w_{\text{eff}}} + \frac{n^2}{L_{\text{eff}}}}$$

Theorie Bandleitungsmodell



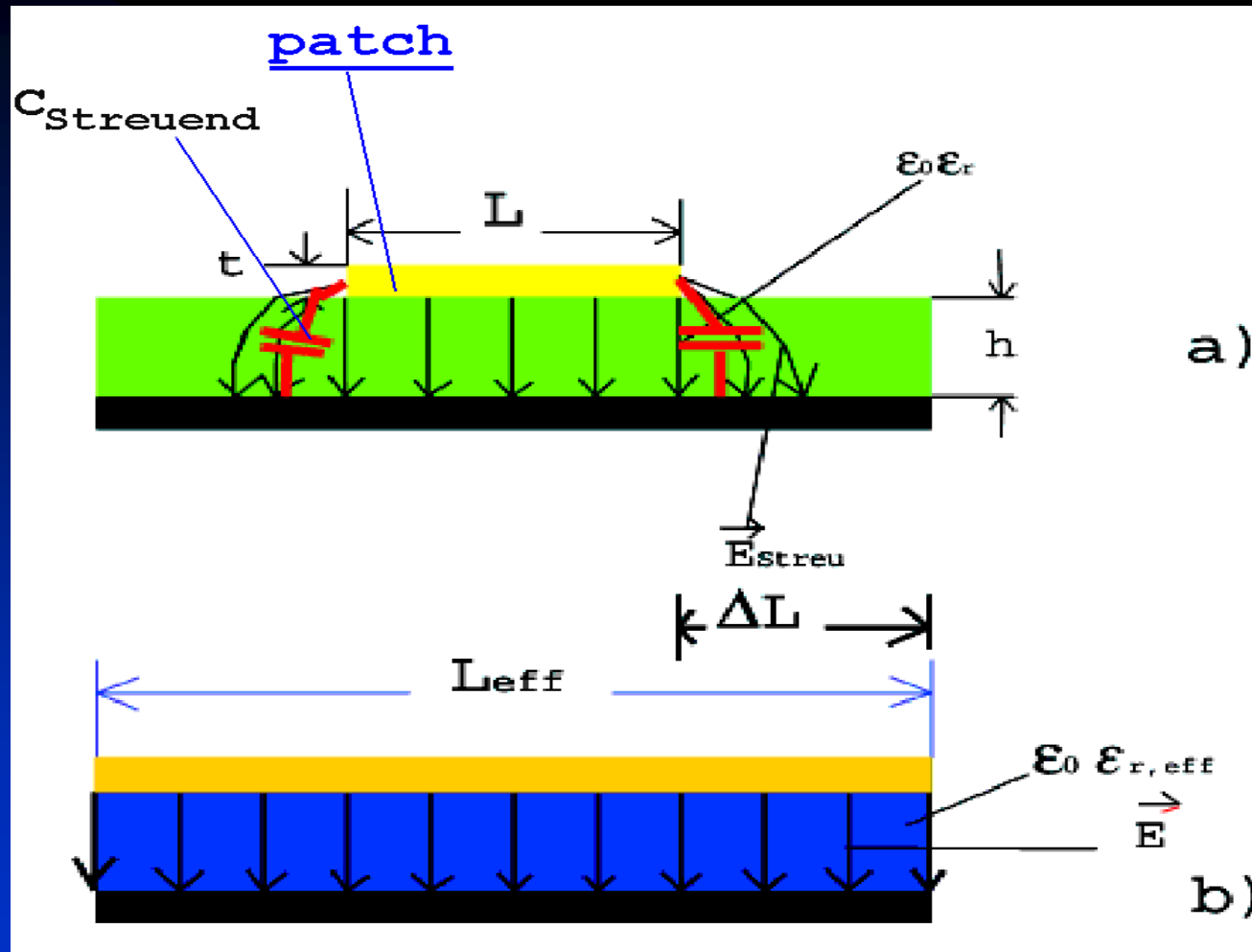
- Strahlen-
element an
den Enden
der
Länge L der
Patchantenne

Theorie Bandleitungsmodell



- Auftreten der Streufelder an den Rändern
- Vergleichbar mit einer streufeldlose Modellresonator mit den effektiven Kenngrößen: l_{eff} , w_{eff}

Theorie Bandleitungsmodell

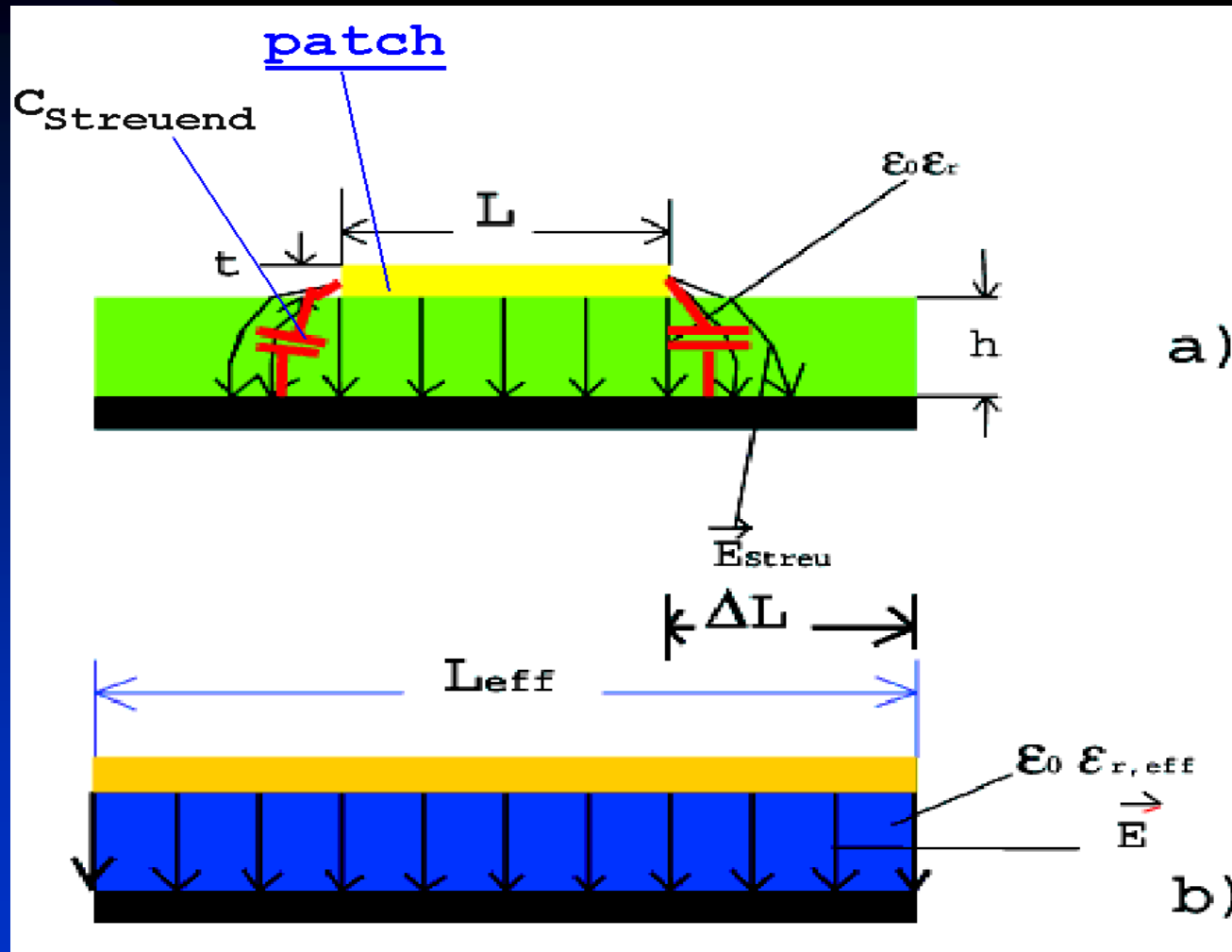


Auftreten der
Strefelder an den
Rändern

Vergleichbar mit
einer streufeldlosen
Modellresonator mit
den effektiven
Kenngrößen:

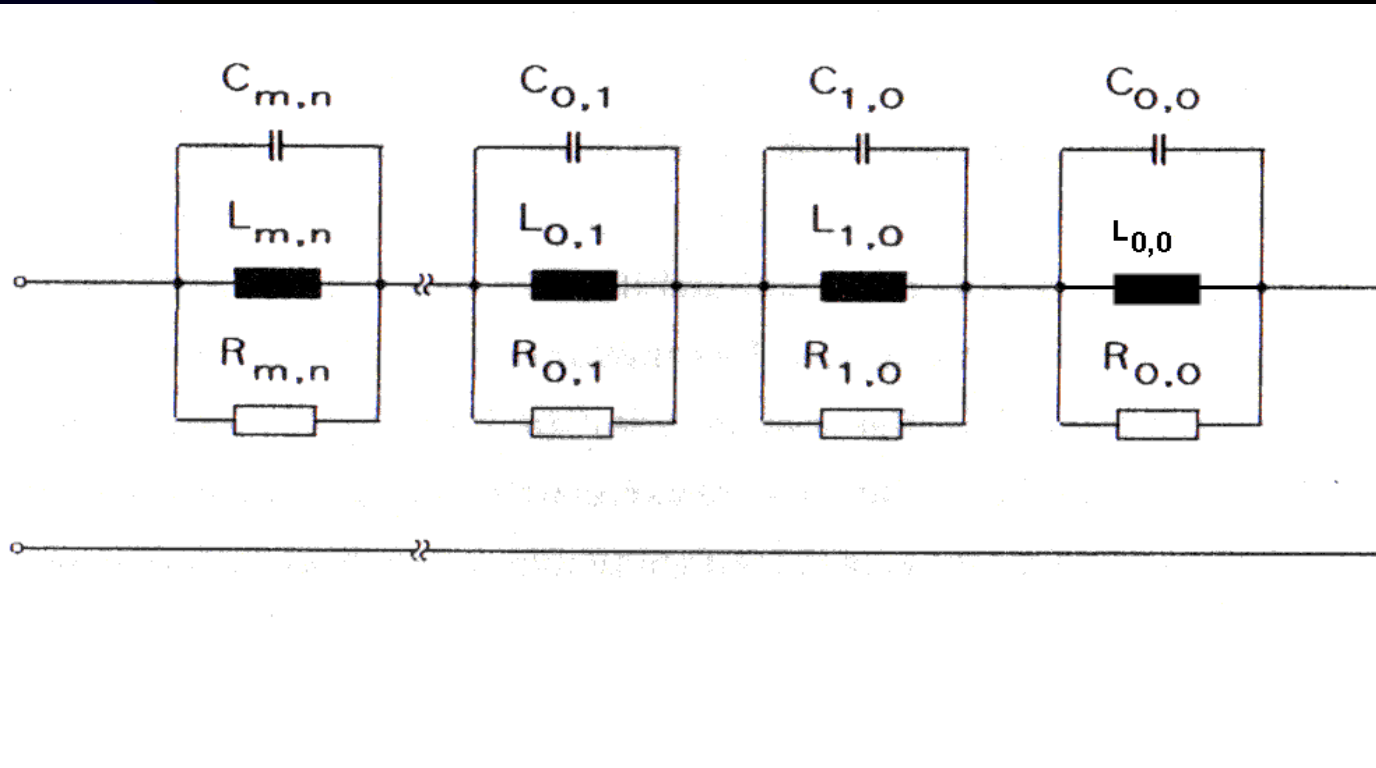
L_{eff} , w_{eff}

Theorie Bandleitungsmodell



- Es gibt die Näherungsformeln für Resonatorlänge L , Breite w , Dielektrikumhöhe h
- ϵ_{eff}
- ΔL
- R_{Strahl}
- C_{Streuend}

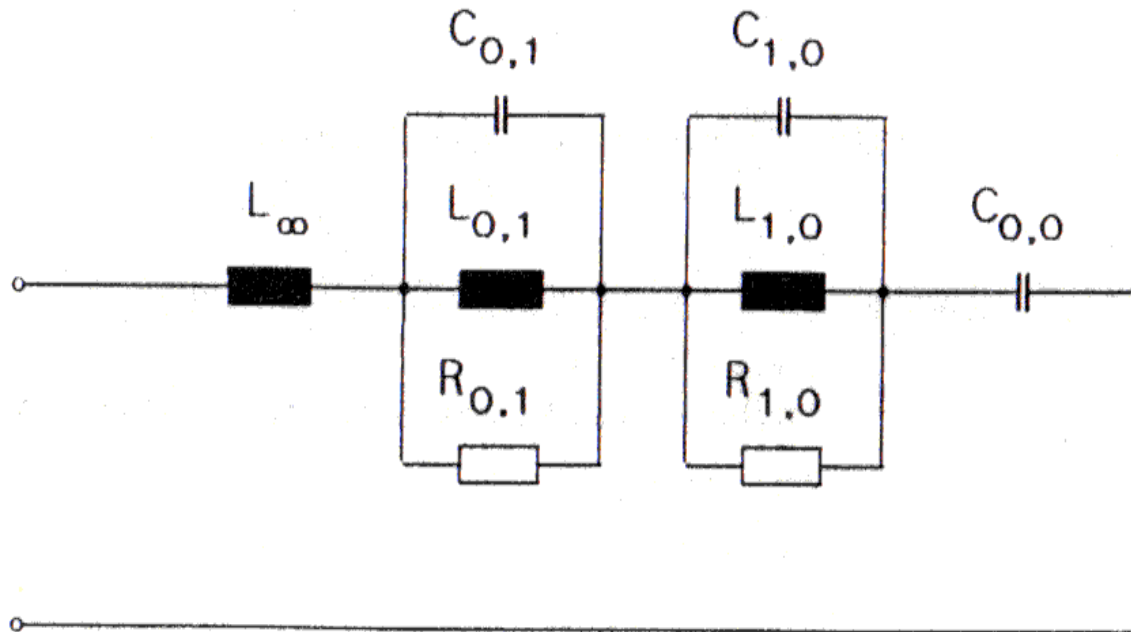
Theorie Leitungsersatzschaltbild



- Leitungsersatzschaltbild durch verschiedene parallele Schwingkreise
- Resonanzfrequenz $f_{res(m,n)}$

$$f_R = \frac{C_0}{2 * \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \sqrt{\frac{m^2}{w_{\text{eff}}} + \frac{n^2}{L_{\text{eff}}}}$$

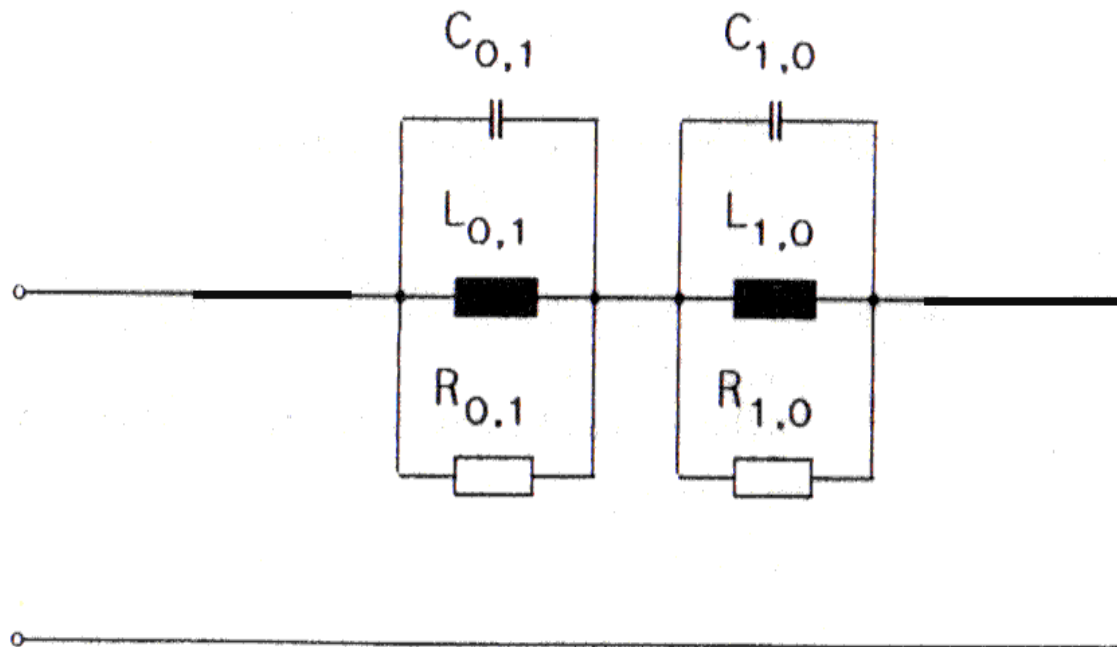
Theorie Leitungsersatzschaltbild



- Parallele Grundschwingungen (C_{01}, L_{01}, R_{01}) (C_{10}, L_{10}, R_{10})
- Höhere Resonanzfrequenzen liefern nur induktive Reaktanz
L unendlich
- Unterhalb des ersten Schwingungstypes zeigt die Anordnung rein kapazitives Verhalten C_{00}

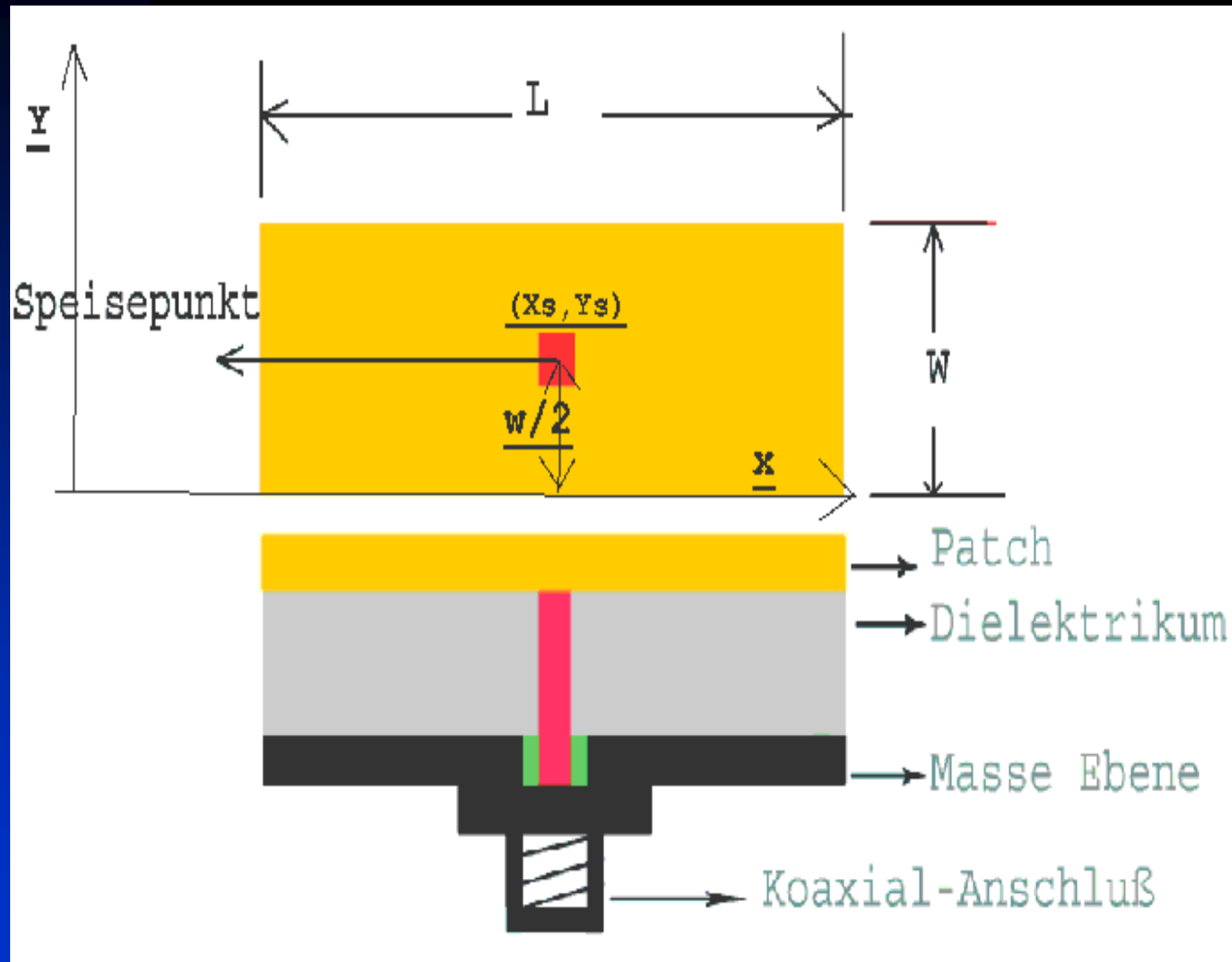
Theorie

Leitungsersatzschaltbild



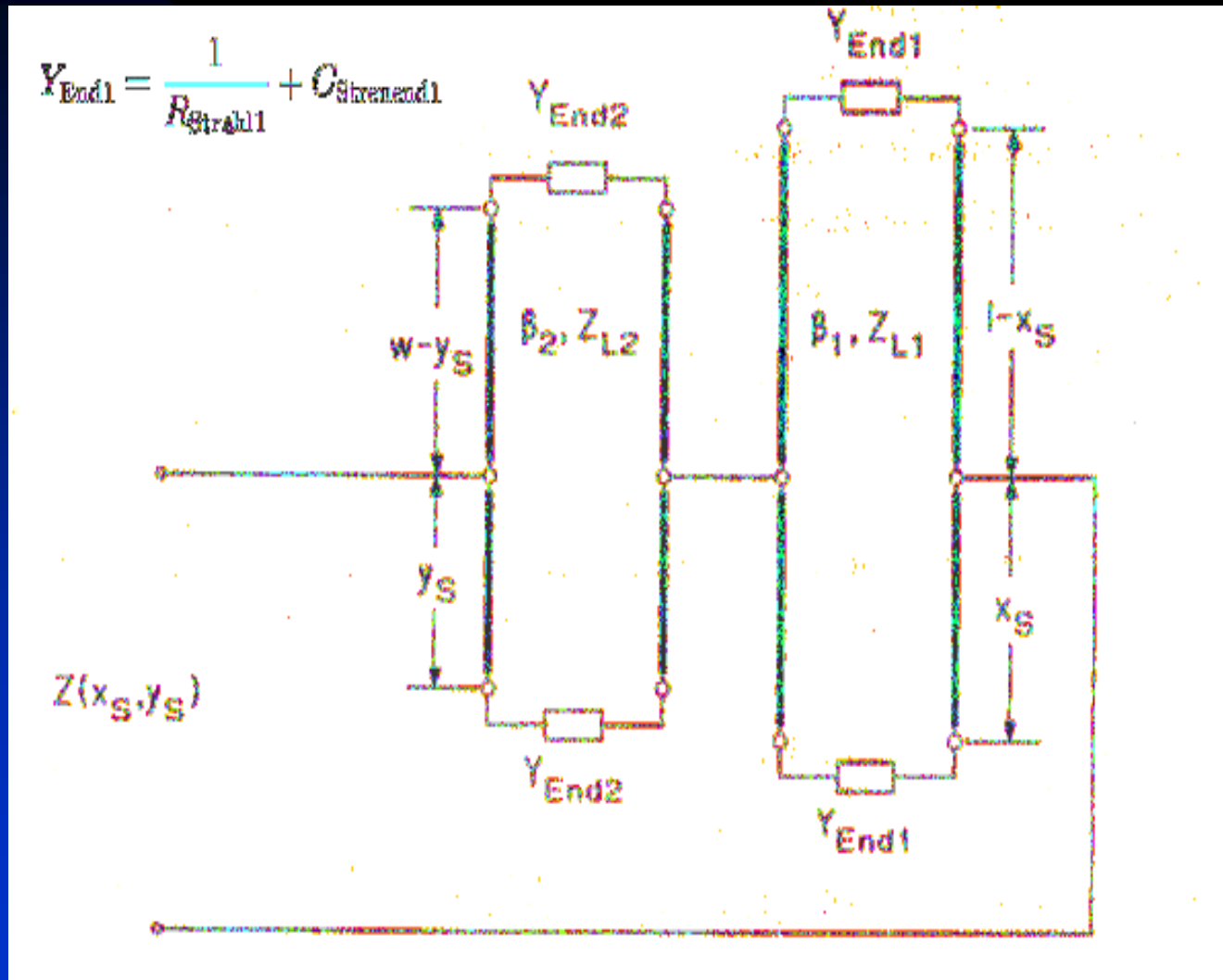
- Parallele Grundschiwingungen (C_{01}, L_{01}, R_{01}) (C_{10}, L_{10}, R_{10})
- Höhere Resonanzfrequenzen liefern nur induktive Reaktanz
Lunendlich
- Unterhalb des ersten Schwingungstypes zeigt die Anordnung rein kapazitives Verhalten C_{00}

Theorie Leitungsersatzschaltbild



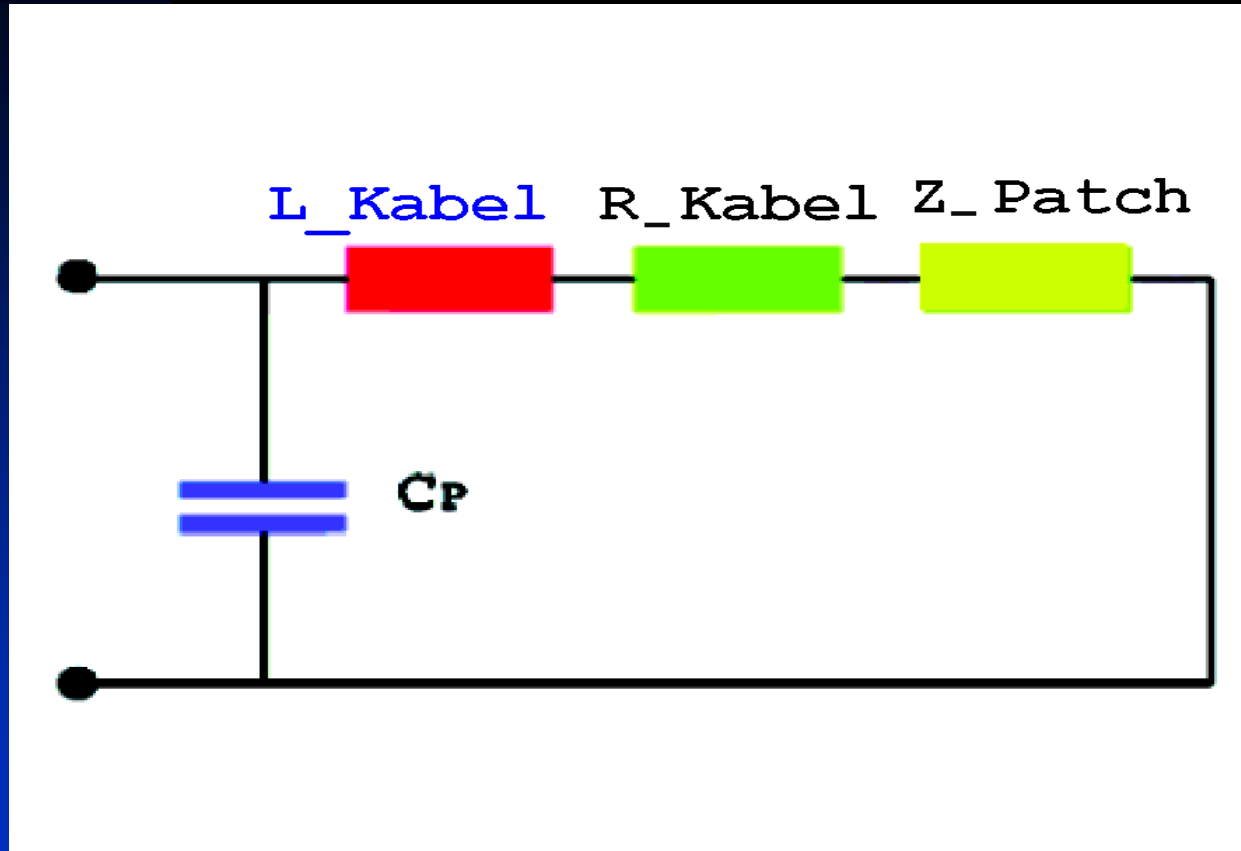
- Der Speisepunkt wird gewählt, sodass die Grundschiwingung $f_{res(1,0)}$ ($C10, L10, R10$) stärker als $f_{res(0,1)}$ angeregt wird.

Theorie Leitungsersatzschaltbild



- Darstellung als Leitungsresonator mit Berücksichtigung des Speisepunktes in Umgebung der Grundschiwingung (C_{01}, L_{01}, R_{01}) (C_{10}, L_{10}, R_{10})

Theorie Leitungsersatzschaltbild

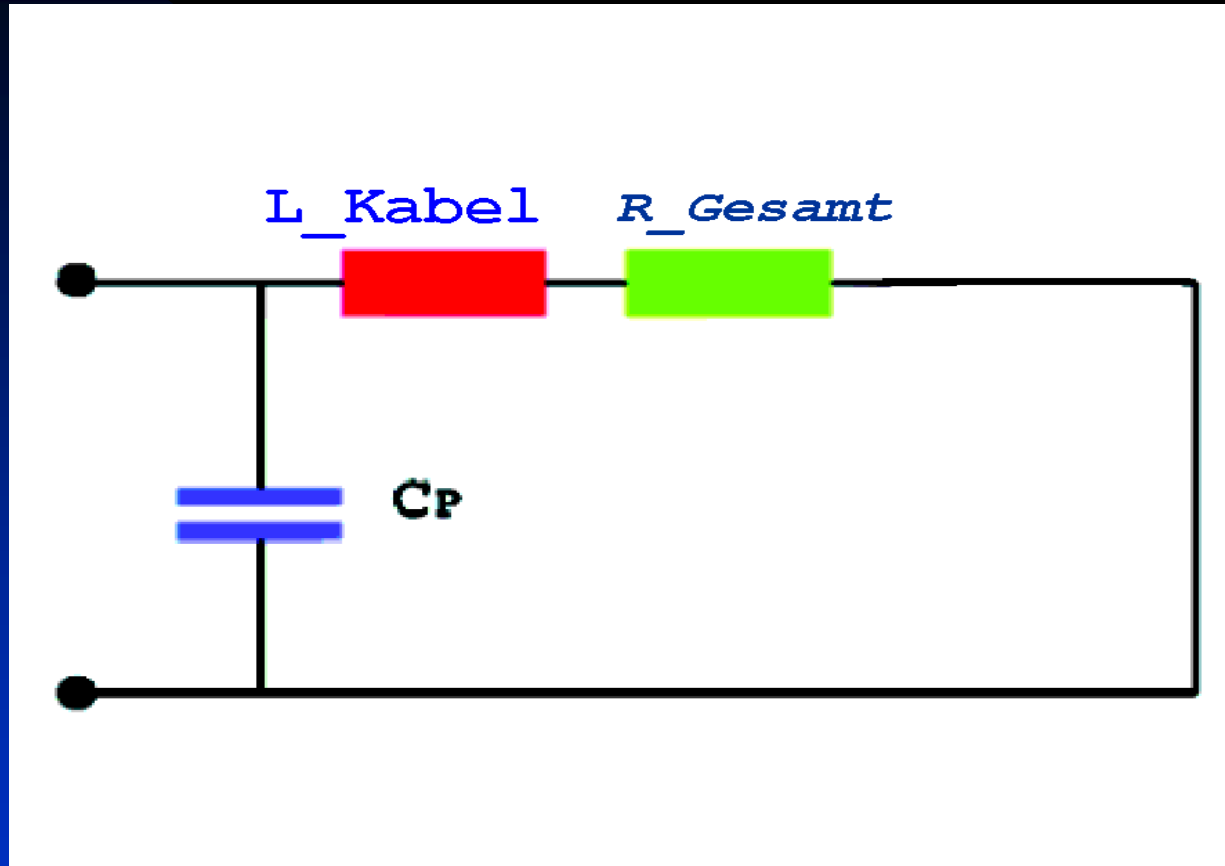


■ Vollständiges Ersatzschaltbild mit der Zuleitung

- ◆ Transformierte Eingangsimpedanz Z_{patch}
- ◆ Verlust R_{Kabel} von Zuleitung und Patchantenne
- ◆ Induktivität L_{kabel}
- ◆ Kapazität der Anschlußstecker C_p

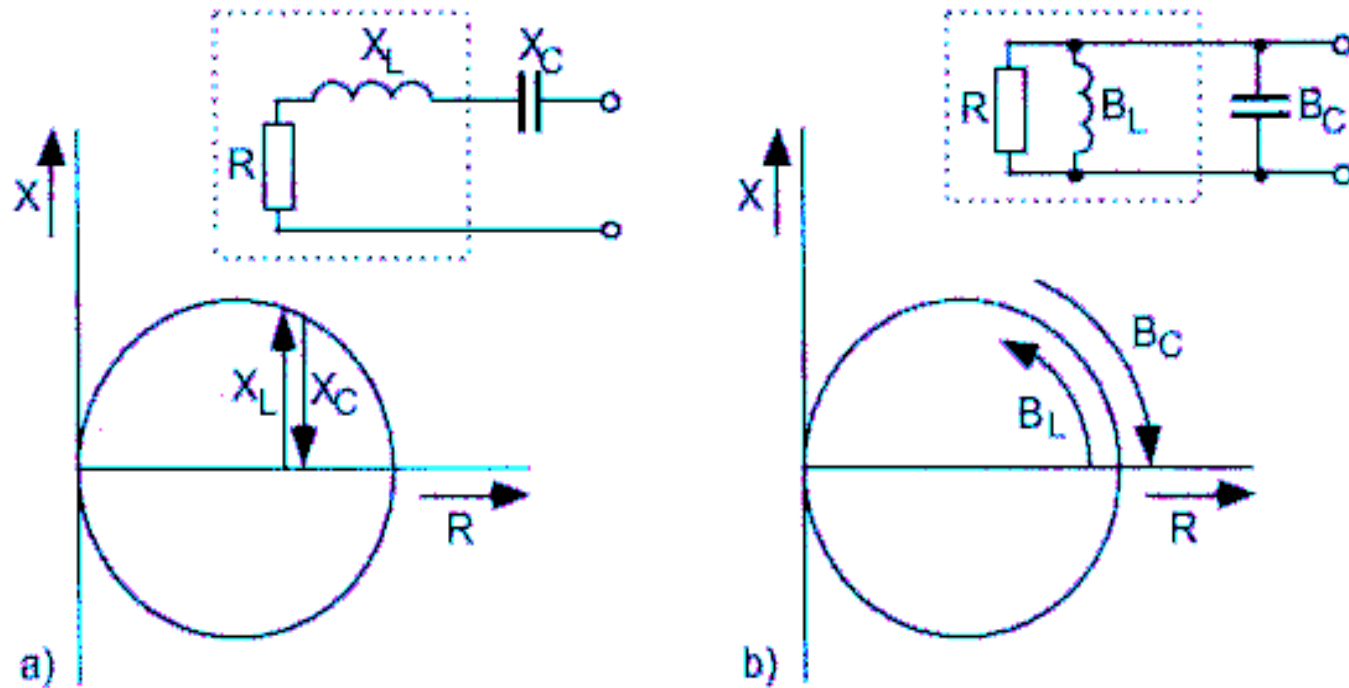
Theorie

Leitungsersatzschaltbild



- Vollständiges Ersatzschaltbild mit der Zuleitung bei der Resonanz f_{res}
- Die Resonanz wird durch die Induktivität L_Kabel und die Streukapazität C_P in f^*_{res} verschoben

Theorie Kompensationsschaltung Prinzip

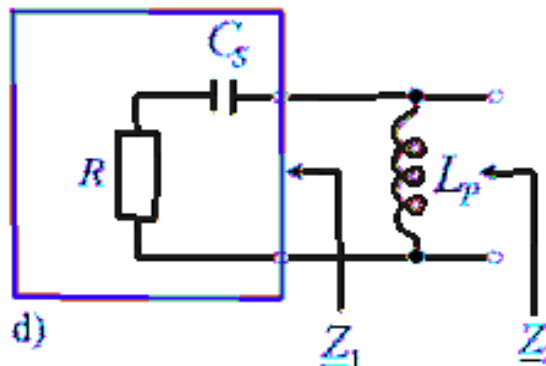
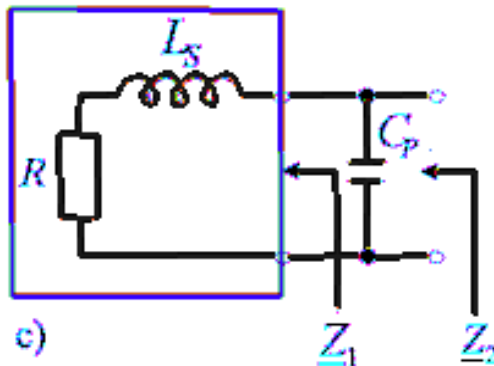
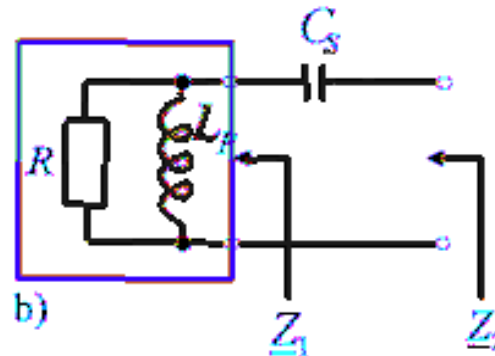
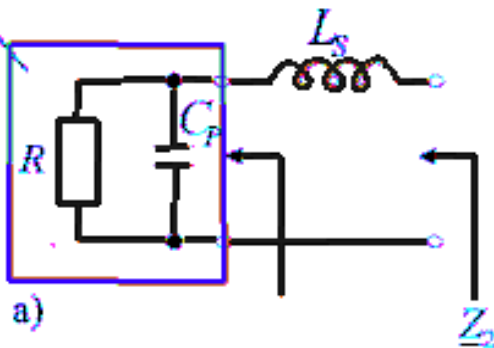


1. Prinzip:
Resonanz-
Kompensation

Durch
Ergänzung der
Schaltung mit
einem
negativen,
gleichgroßen
Blindwiderstand

Theorie Kompensationsschaltung Prinzip

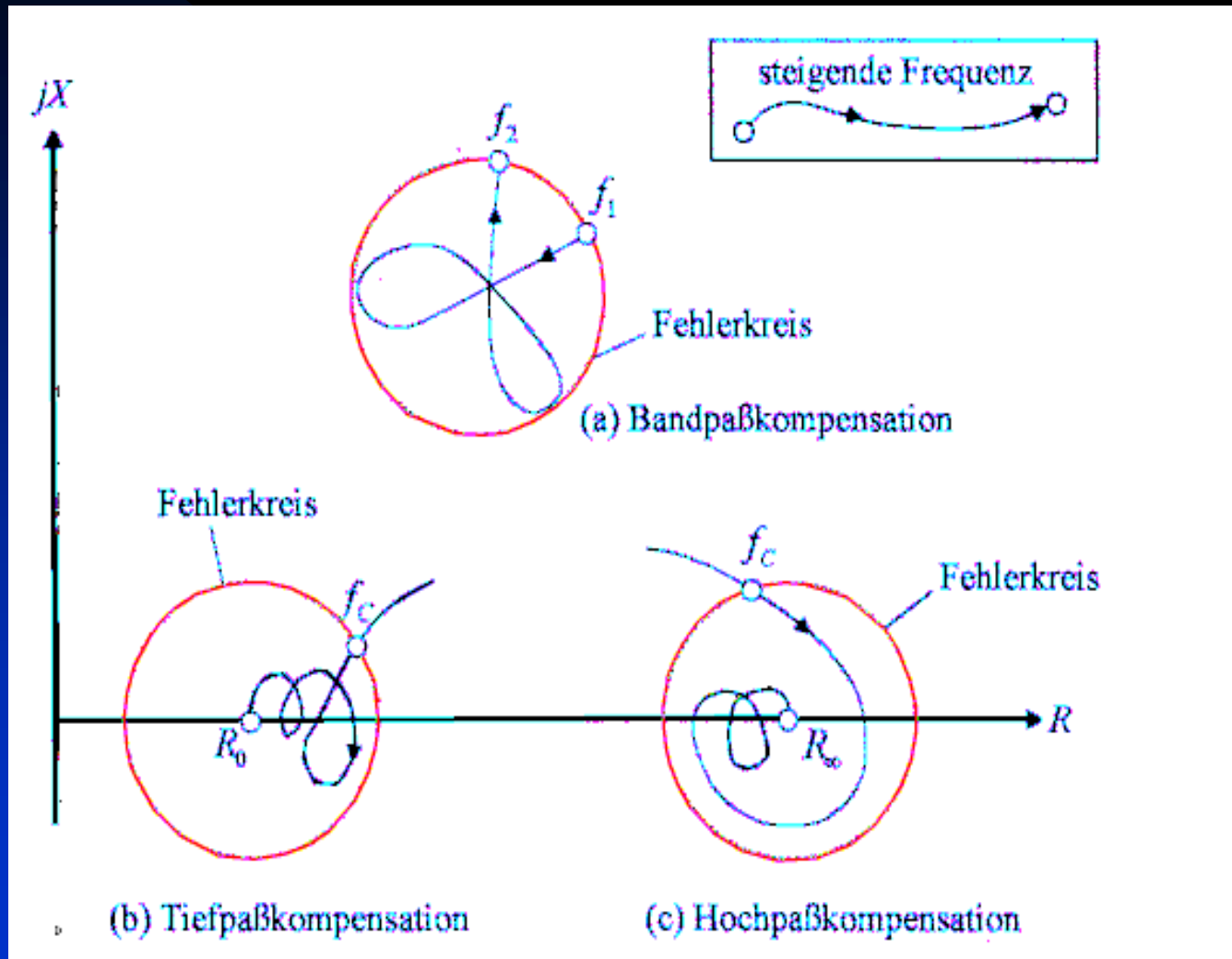
Verbraucher



- 2. Prinzip:
Breitband-
kompensation

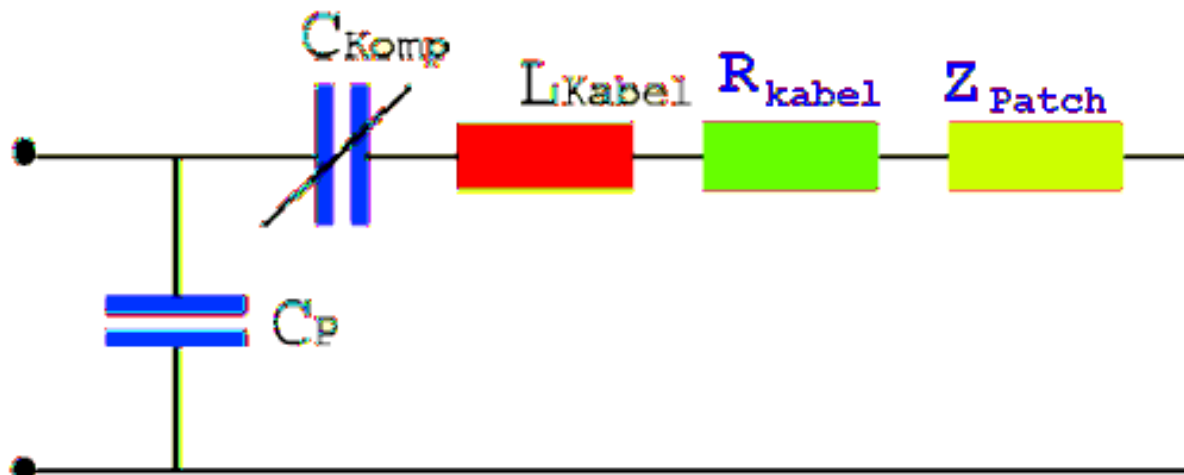
Serienblind-
widerstände
können nur
durch einen
Parallelblindleit-
wert
kompensiert
werden und
umgekehrt .

Theorie Kompensationsschaltung Prinzip



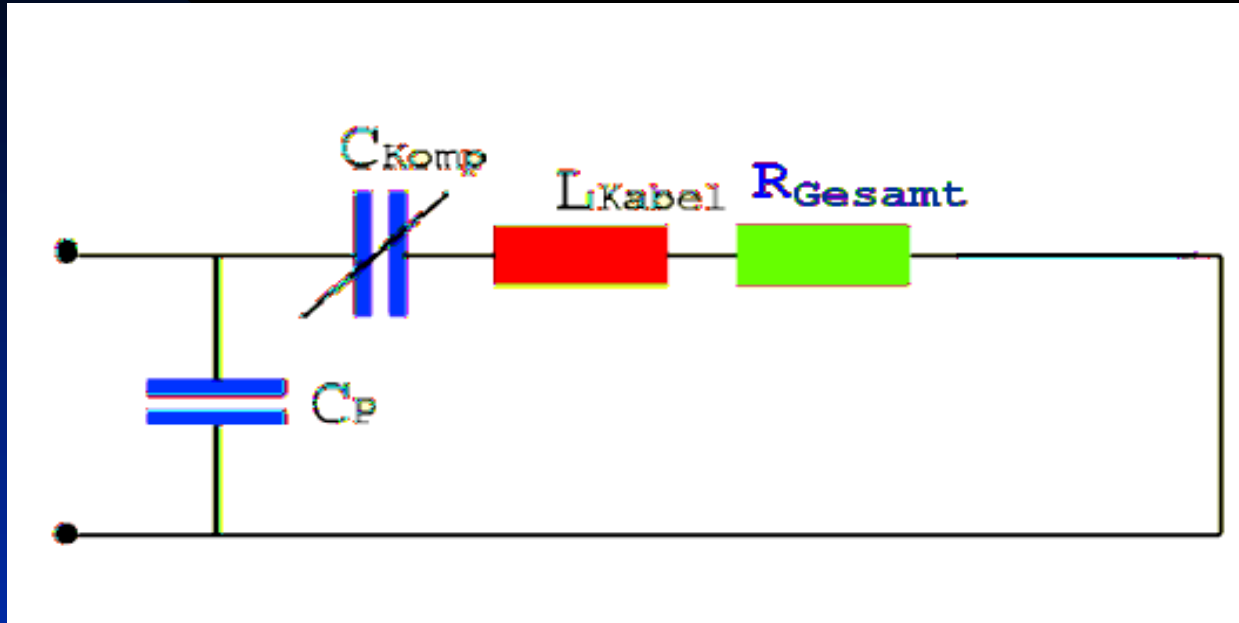
- 2. Prinzip:
Breitband-
kompensation
- 1. Für einen
beschränkten
Frequenzbereich
- 2. Impedanz
innerhalb eines
vorgegeben
Bereich
(Fehlerkreis)

Theorie Kompensationsschaltung der Patchantenne



- Unter Anwendung der zwei genannten Prinzipien
- Eine Kapazität wird in Reihe geschaltet.

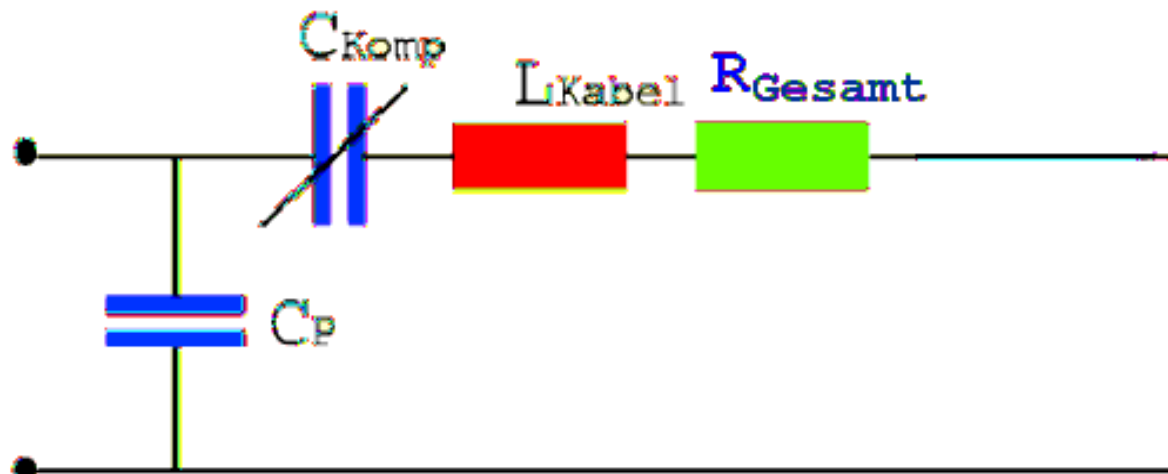
Theorie Kompensationsschaltung der Patchantenne



- Unter Anwendung der zwei genannten Prinzipien
- Eine Kapazität wird in Reihe geschaltet.
- Bei der Resonanz

$$R_{gesamt} = R_{kabel} + \text{real}(Z_{patch})$$

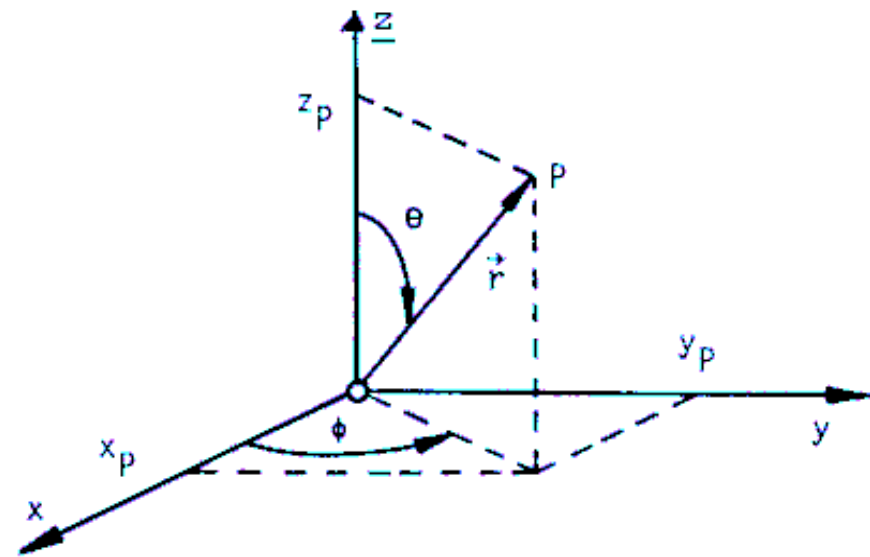
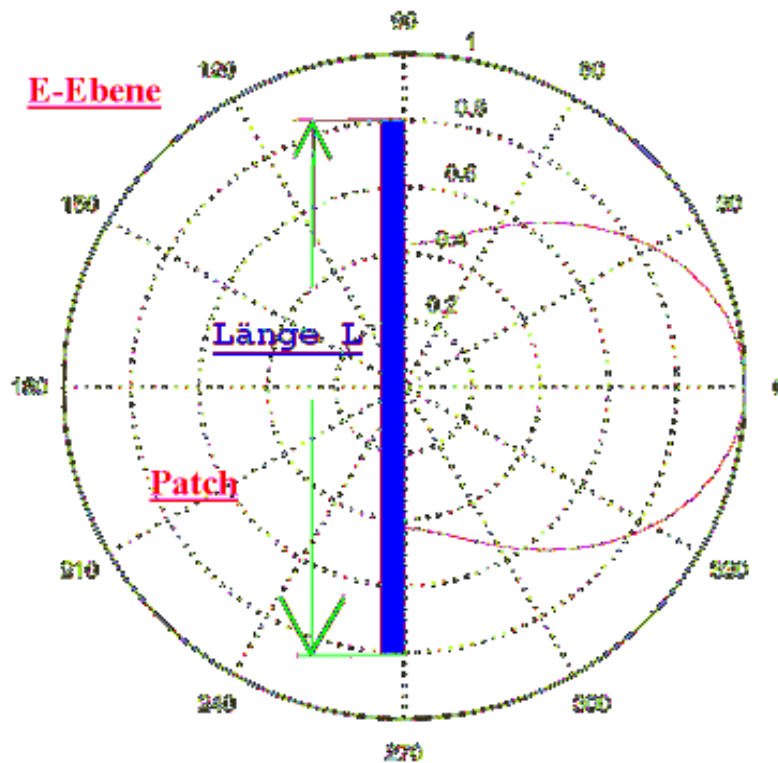
Theorie Kompensationsschaltung der Patchantenne



$$\underbrace{L_{s_{Kompensation}} = R_{gesamt}^2 \cdot C_p}_{\text{Breitbandkompensation}}$$

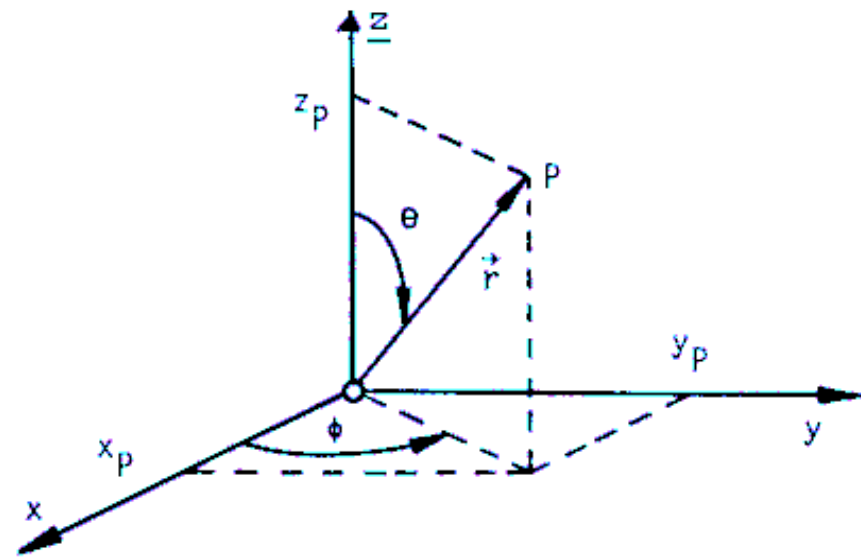
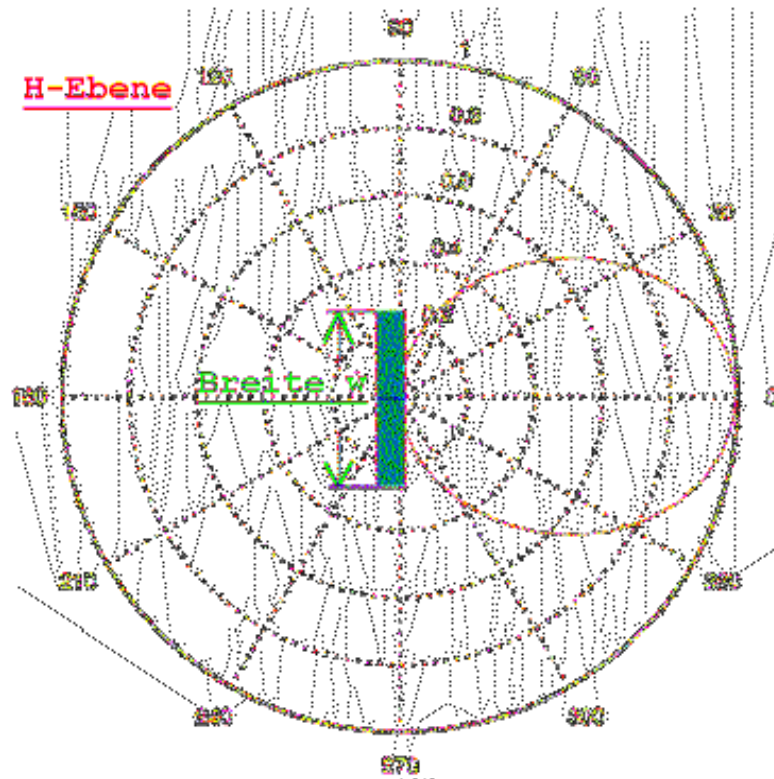
$$C_{Komp} = \frac{1}{\omega^2 \cdot (L_{Kabel} - L_{s-Kompensation} + \frac{\text{imag}(Z_{patch})}{\omega})}$$

Theorie Abstrahlung der Patchantenne



- Qualitativ mit Näherungs-formel
 - E-Ebene $\phi^\circ = 0$
- $90^\circ < \theta < 90^\circ$

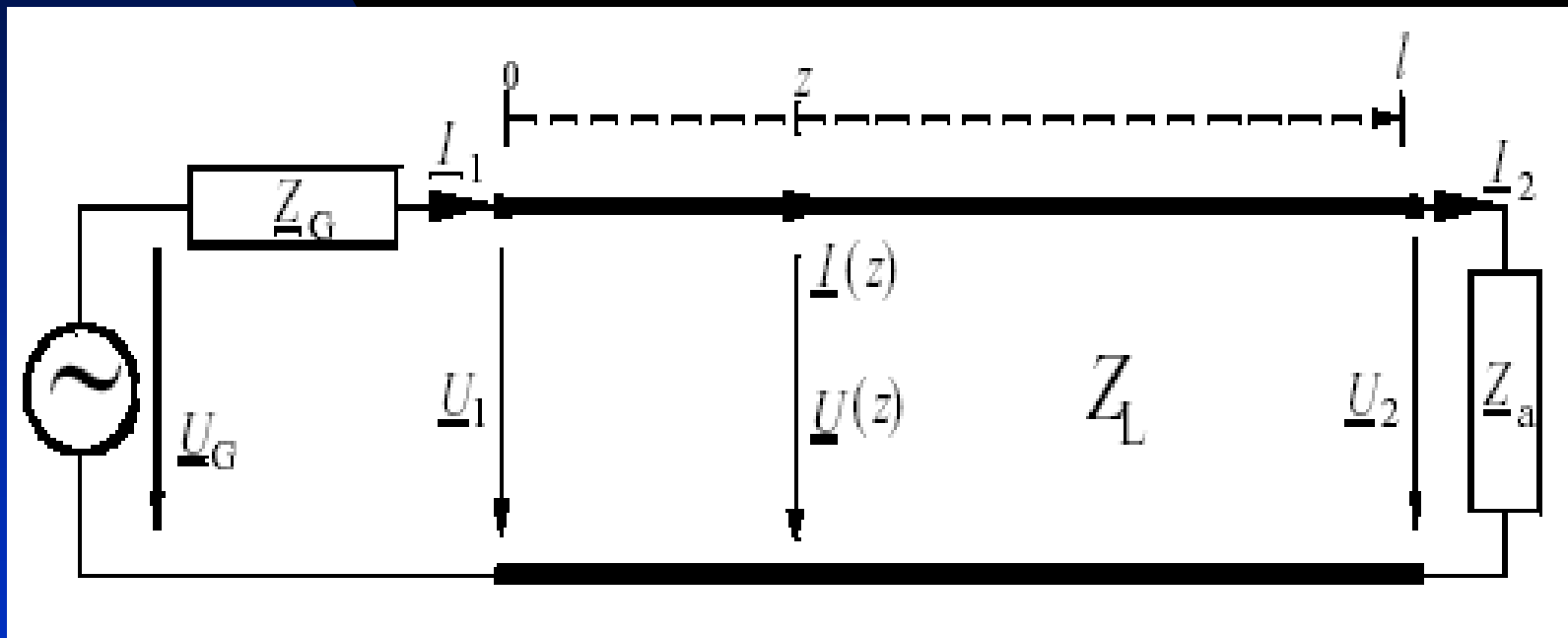
Theorie Abstrahlung der Patchantenne



- Qualitativ mit Näherungsformel
- H-Ebene $\phi = 90^\circ$
 $90^\circ < \theta < 90^\circ$

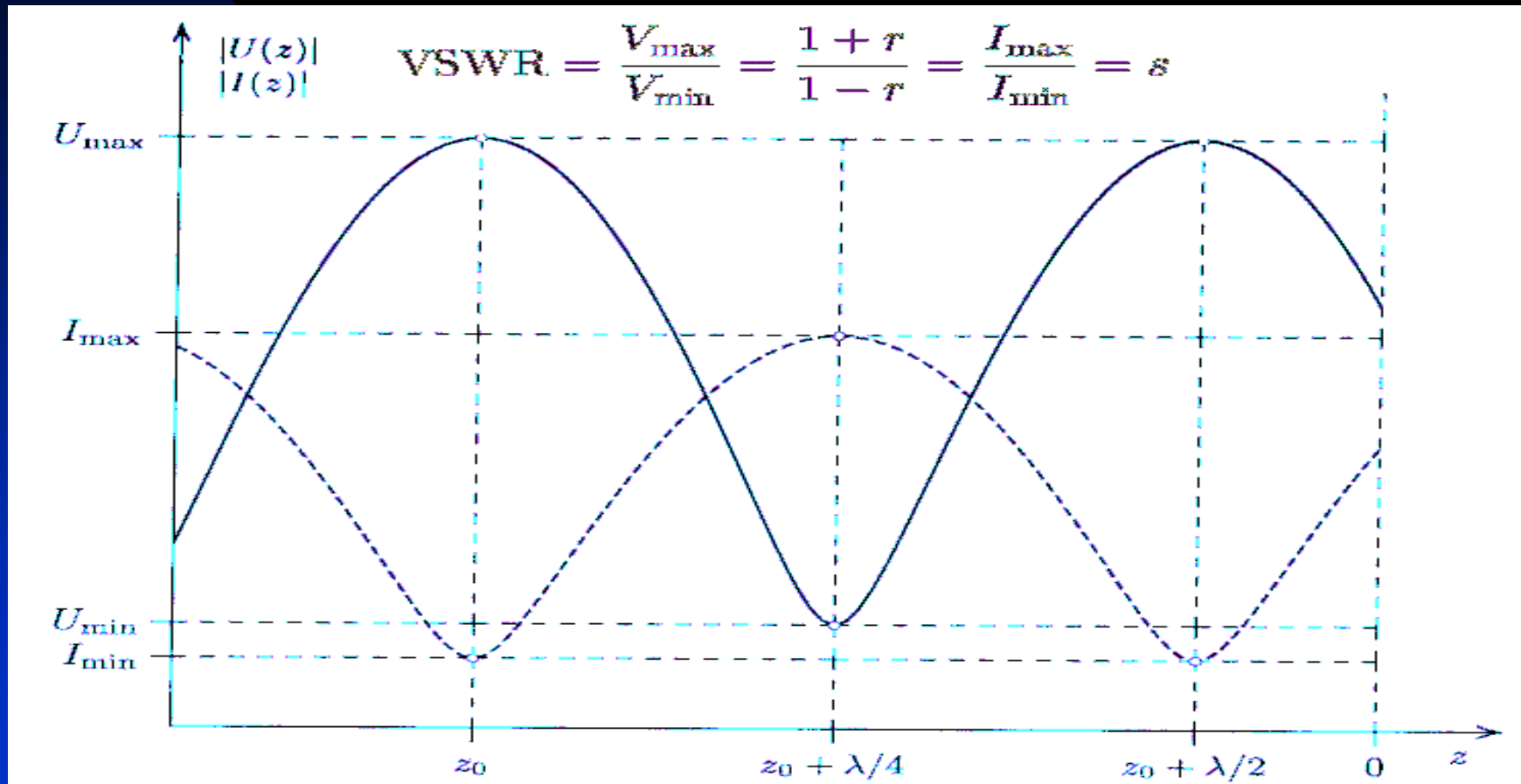
Theorie Stehwellenverhältnis s VSWR (Voltage standing wave ratio)

- Definition

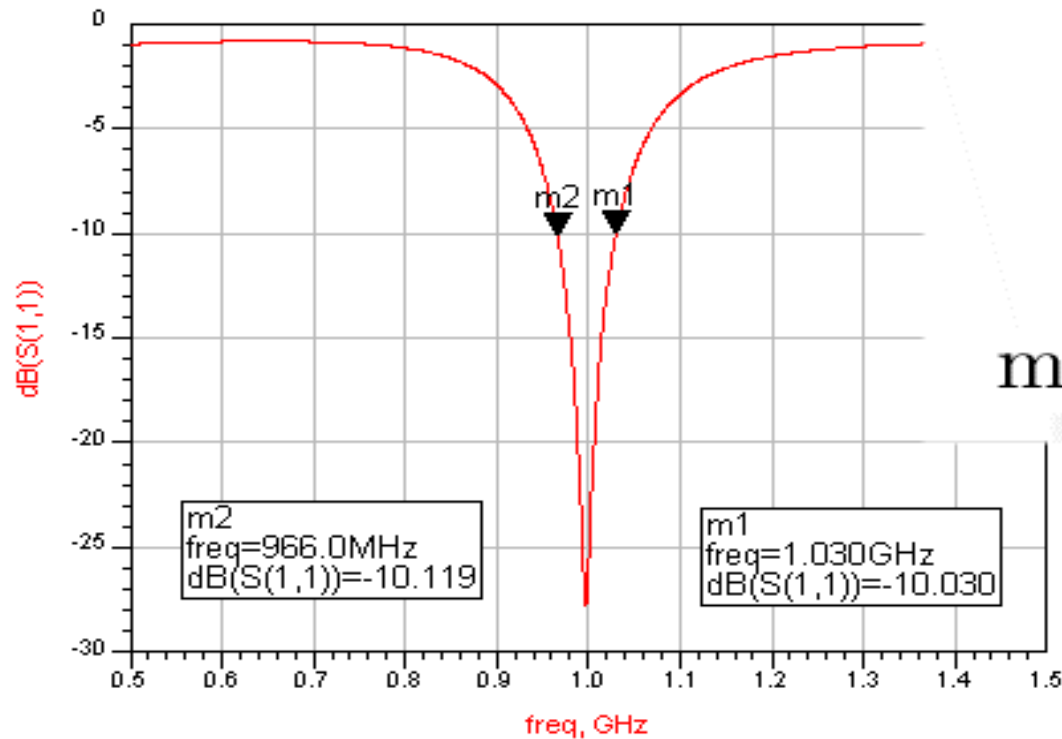


Theorie Stehwellenverhältnis s VSWR (Voltage standing wave ratio)

★ Definition



Theorie Bandbreite BW



$$BW = \frac{s - 1}{Q_T \cdot \sqrt{s}}$$

mit Güte : $QT = \frac{f_{res}}{\Delta f}$

Definition

Für ein häufiges Stehwellenverhältnis $s=2$ ($|S_{11}|=-10$ dB)

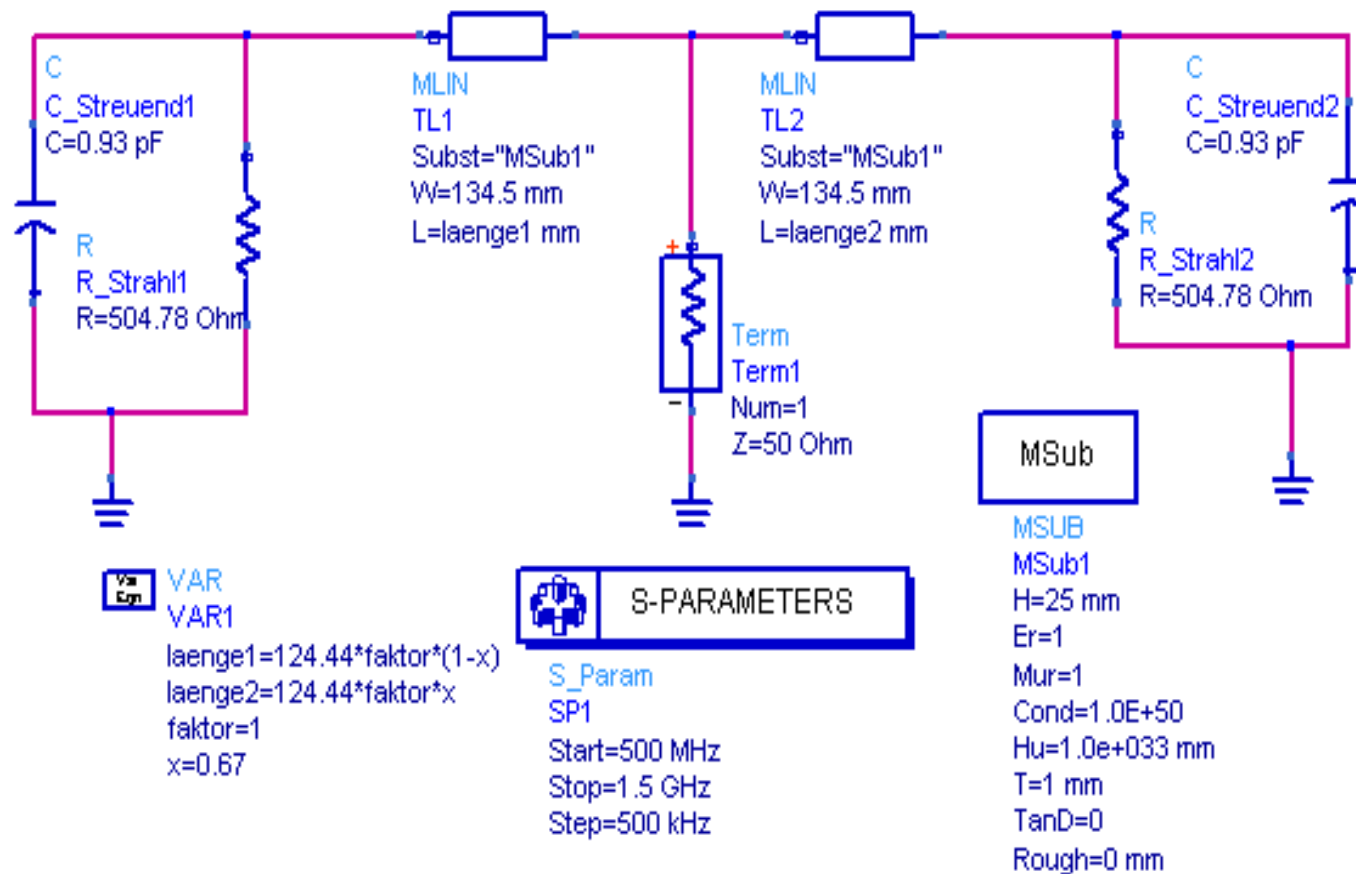
Hauptthemen

- Theorie
- Praktische Durchführung
 - ◆ Modellerstellung
 - ◆ Aufbau der Kompensationsschaltung
 - ◆ Vergleich der praktischen Messergebnissen
- Zusammenfassung

Hauptthemen

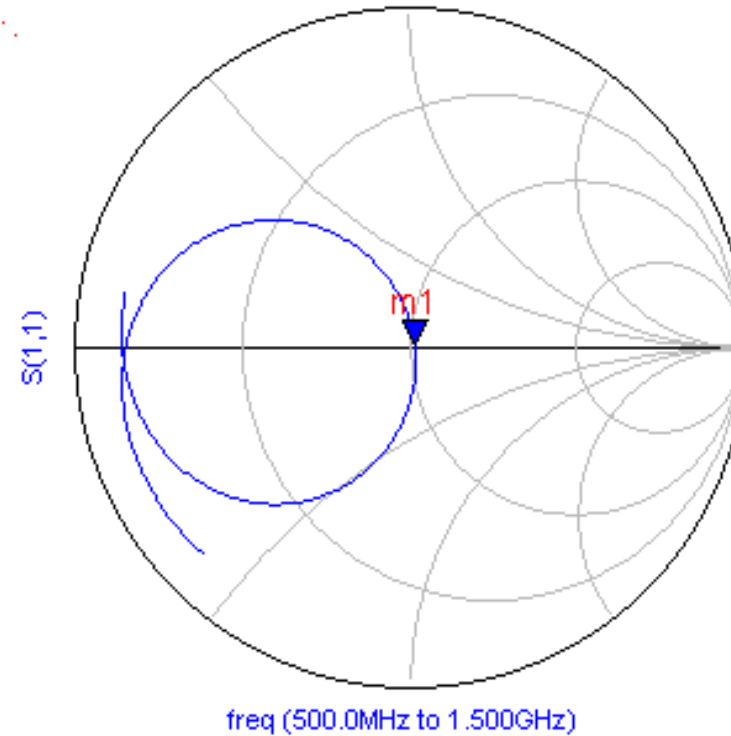
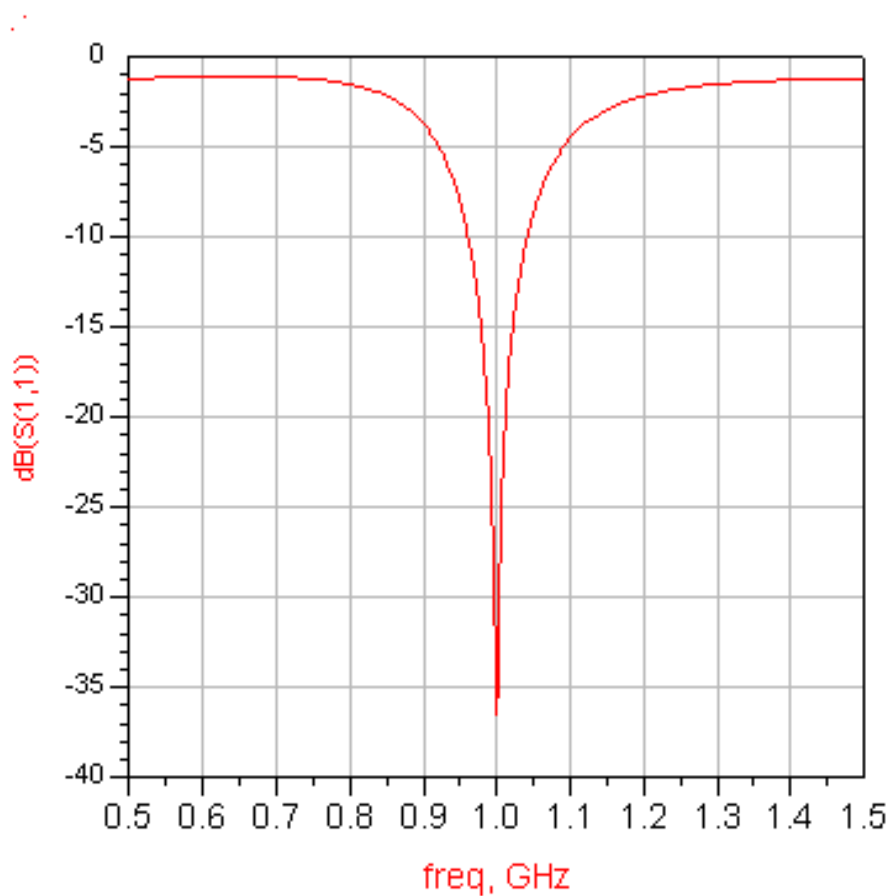
- Theorie
- Praktische Durchführung
 - ◆ Modellerstellung
 - 4 Schritten:
 - 1.Simulation
 - Optimierung
 - 2.Simulation mit den Korrekturenwerten
 - Aufbau der Patchantenne
 - Kontrollmessung
 - ◆ Aufbau der Kompensationsschaltung
 - ◆ Vergleich der praktischen Messergebnissen
- Zusammenfassung

Praktische Durchführung Modellerstellung, 1.Simulation



- Vorgegeben:
Frequenz 1GHz
Breite = 73.85 mm
- Modellerstellung durch die berechneten Werte
C_streuend,
R_Strahl, mit Näherungsformeln
- Simulation der Patchantenne mit ADS
- Die Länge L und die Speisepunkt x werden ermittelt.
- L= 124.44 mm
- X= 0.67L

Praktische Durchführung Modellerstellung, 1.Simulation

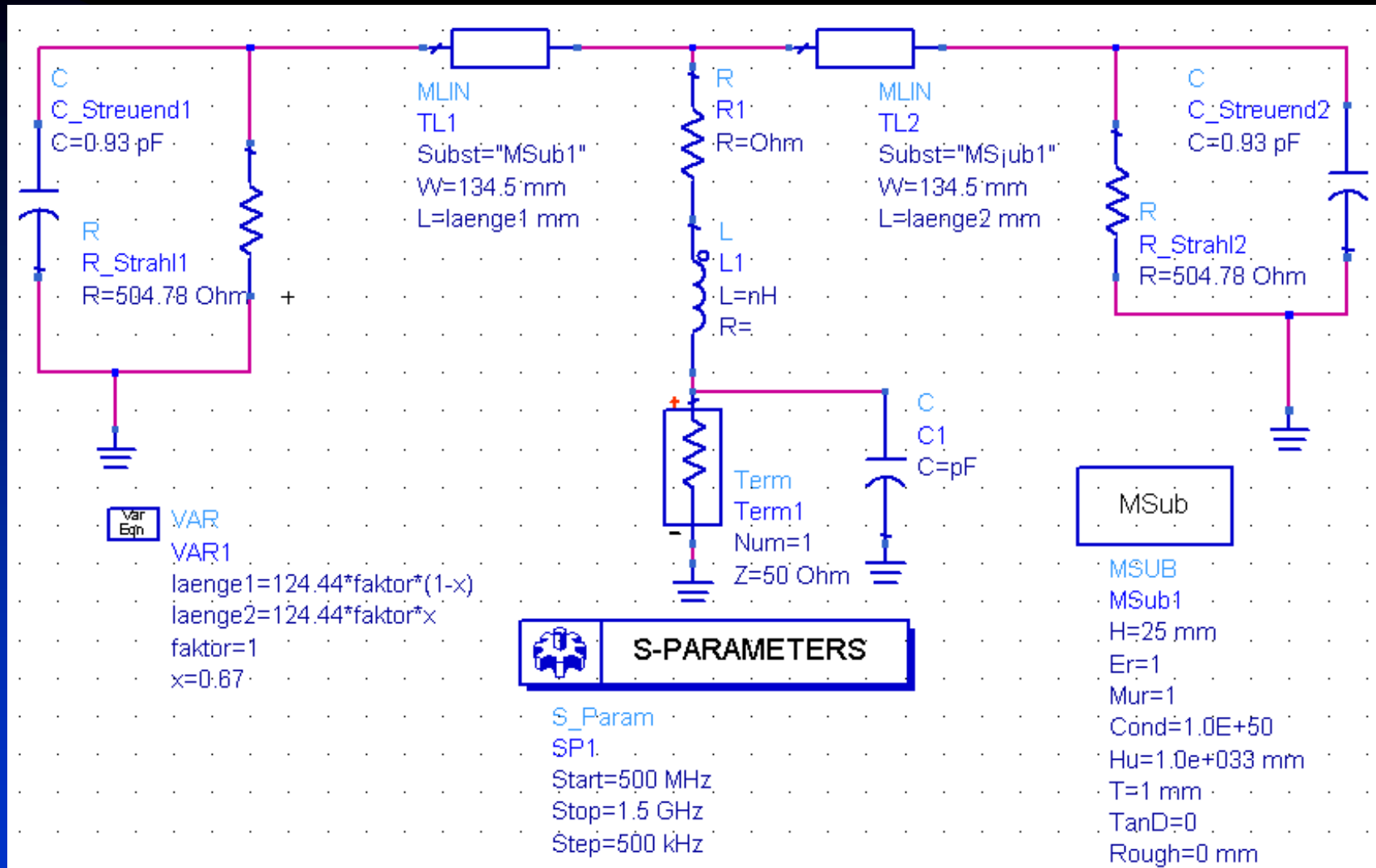


freq (500.0MHz to 1.500GHz)

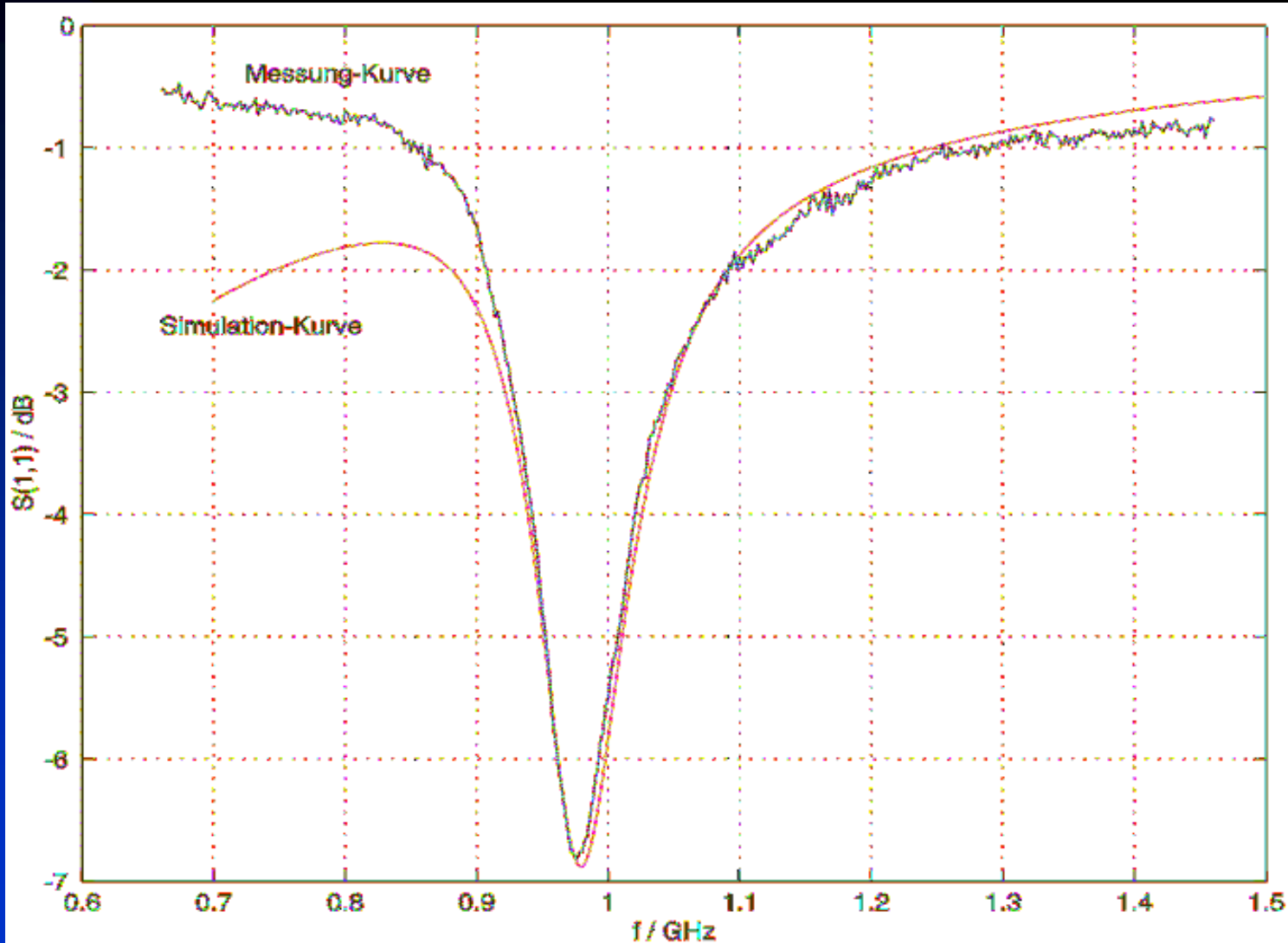
m1
freq=1.000GHz
S(1,1)=0.015 / 3.122
impedance = Z0 * (1.030 + j0.002)

- Ergebnis ohne Zuleitung .
- Streuparameter S11

Praktische Durchführung Modellerstellung, Optimierung



Praktische Durchführung Modellerstellung, Optimierung

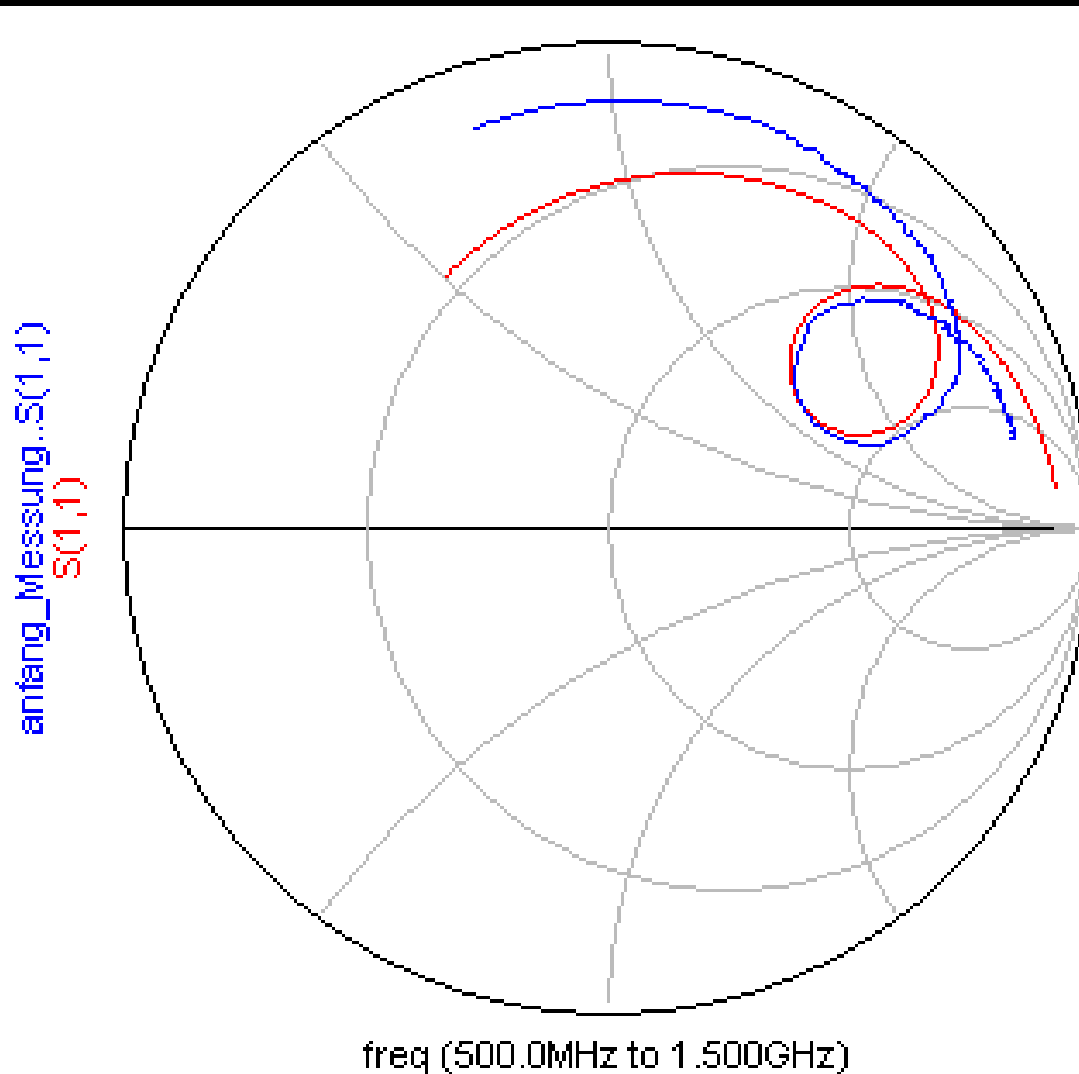


Die Patchantenne wurde mit dem Ergebnis von Simulation aufgebaut

Die Messung des Parameter S_{11}

Um die Patchantenne zu verbessern wird die Simulationskurve an die gemessenen Kurve angepaßt.

Praktische Durchführung Modellerstellung, Optimierung



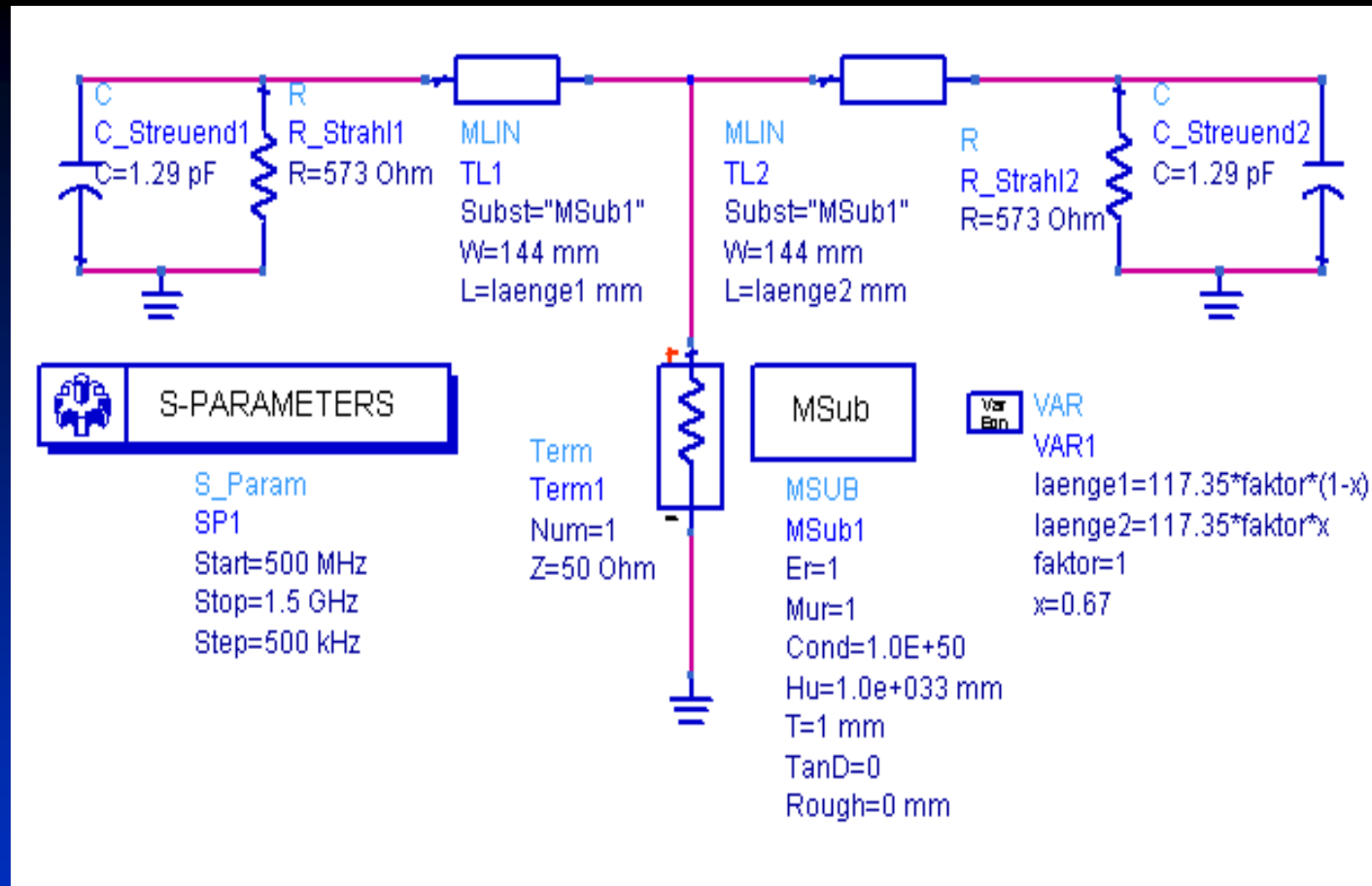
- Resonanzfrequenz f wurde verschoben
- Induktivität des Kabels
L_Kabel=16 nH
- Streukapazität am Koaxialanschluß
C_Stecker=0.68 pF
- Physikalische Länge L=117.35 mm
- Phys.Breite w=73.85 mm

Praktische Durchführung Modellerstellung, Optimierung

Parameter	Nach Näherungsformel	Nach Messung und Simulation	Messwertsbezogene Abweichung in %
Streukapazität C_{Streuend} am Ende der Leitung	0.93 pF	1.29 pF	-27.9%
Strahlwiderstand R_{Strahl} am Ende der Leitung	504.78 Ω	573 Ω	-11.9%
Effektive Breite w_{eff} Patch-Antenne	134.5 mm	144 mm	-0.65%
Verlängerung der Länge ΔL	19.69 mm	16.27 mm	21%

Der Vergleichstabelle der Parameter Die Abweichung von den Näherungsformeln durch den unberücksichtigten effektiven Dielektrizitätskonstanten ϵ_{reff} und die effektive Breite w

Praktische Durchführung Modellerstellung, 2.Simulation

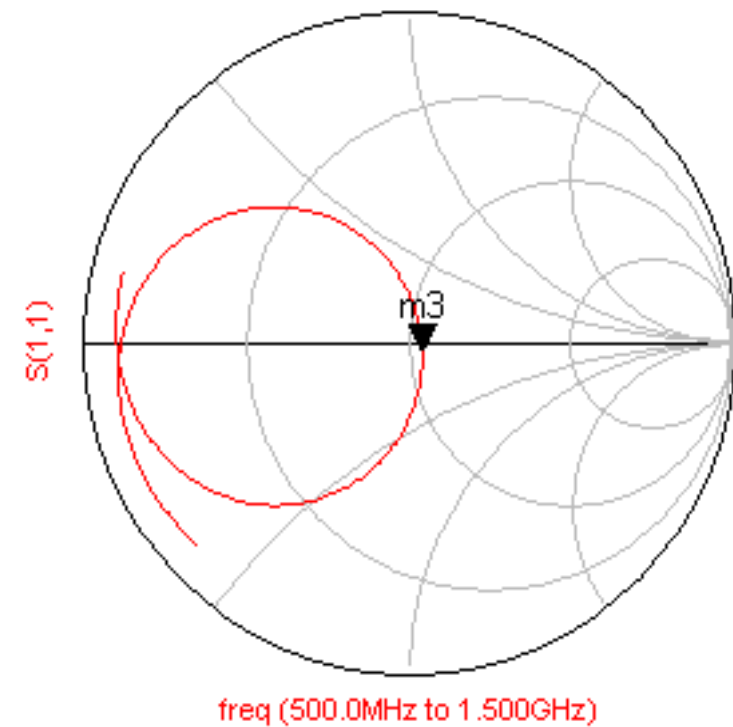
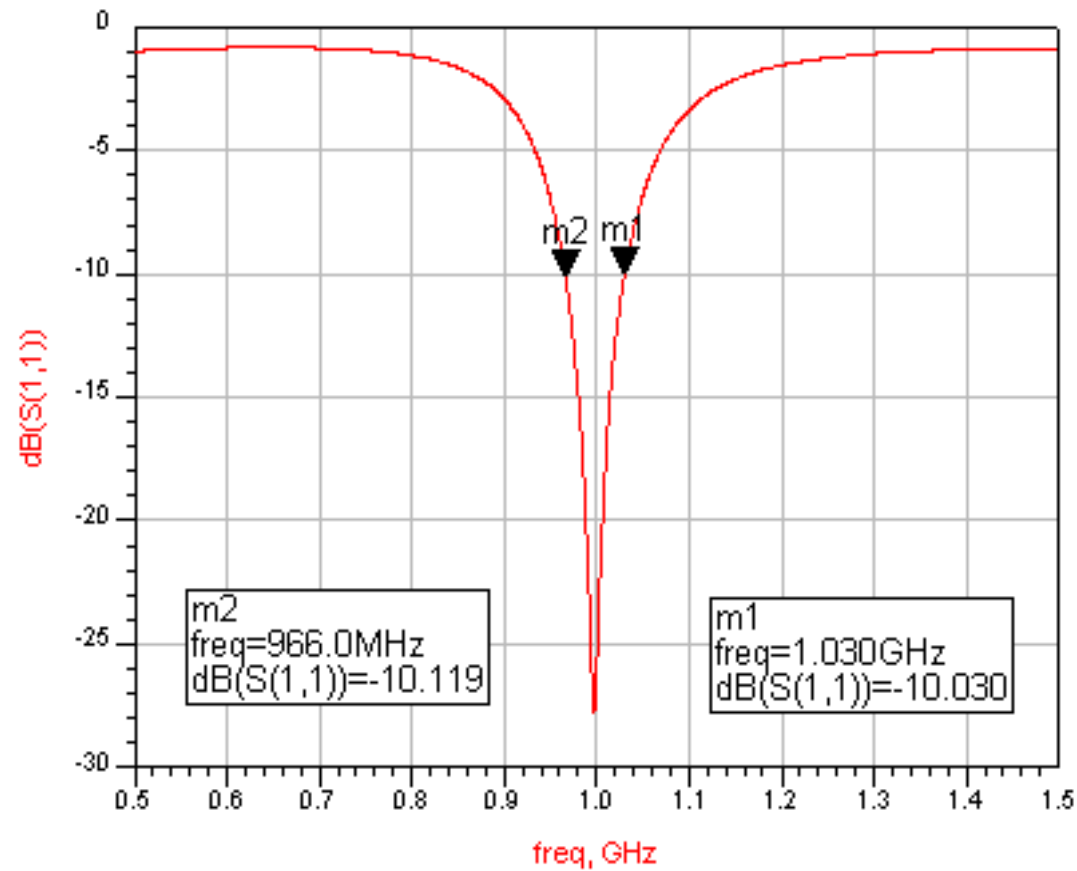


Schaltung des Modell der Patchantenne ohne Zuleitung
Dabei wird die Impedanz Z_{patch} ermittelt und Bandbreite BW

Real(Z_{patch})= 54.36 Ohm
Imag (Z_{patch})= -3.115 Ohm

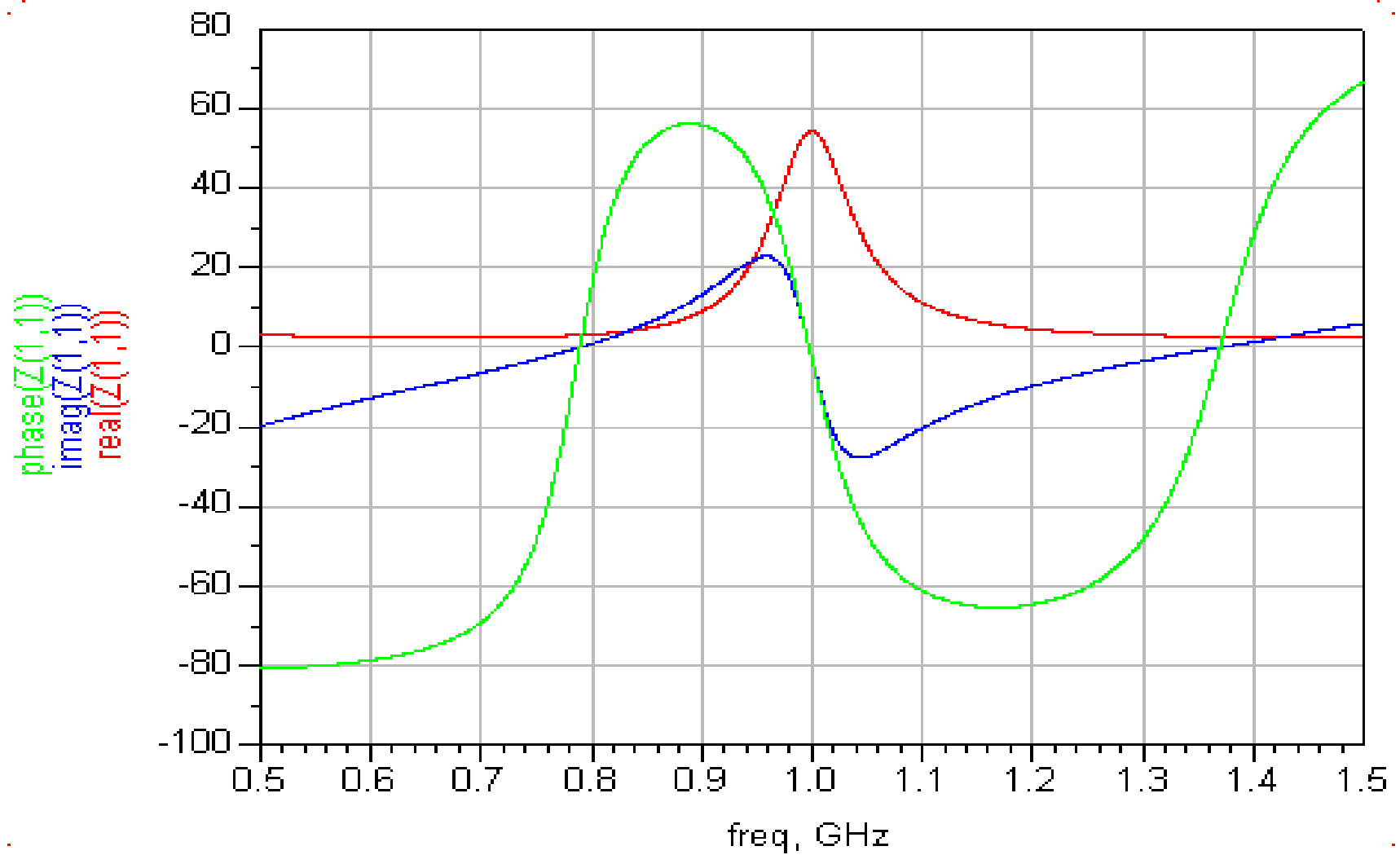
BW = 4.7 %
(Stehwellenverhältnis s=2)

Praktische Durchführung Modellerstellung, 2.Simulation

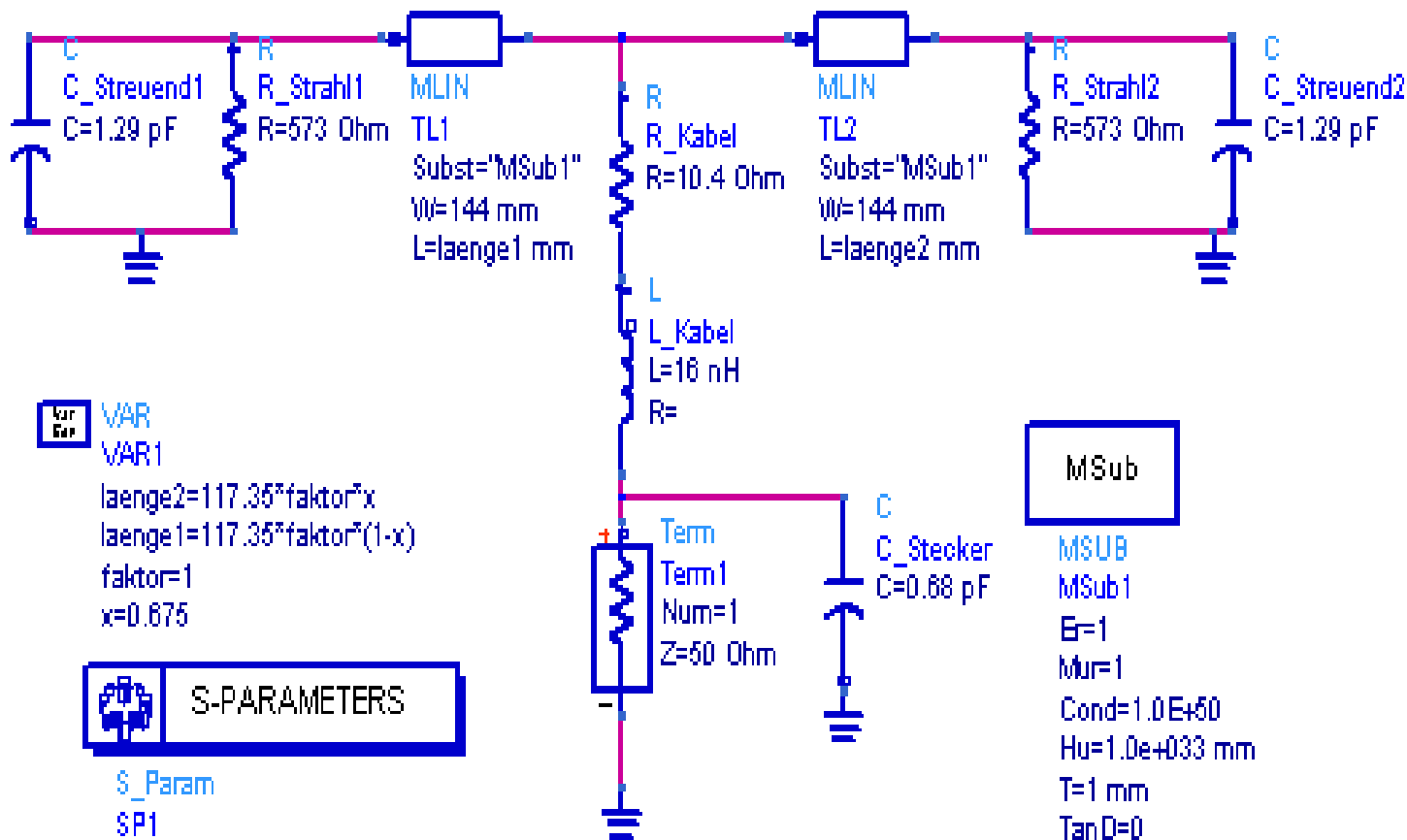


m3
freq=1.000GHz
S(1,1)=0.051 / -33.754
impedance = Z0 * (1.087 - j0.062)

Praktische Durchführung Modellerstellung, 2.Simulation



Praktische Durchführung Modellerstellung, Aufbau



VAR
VAR1
laenge2=117.35*faktor*x
laenge1=117.35*faktor*(1-x)
faktor=1
x=0.675



S-PARAMETERS

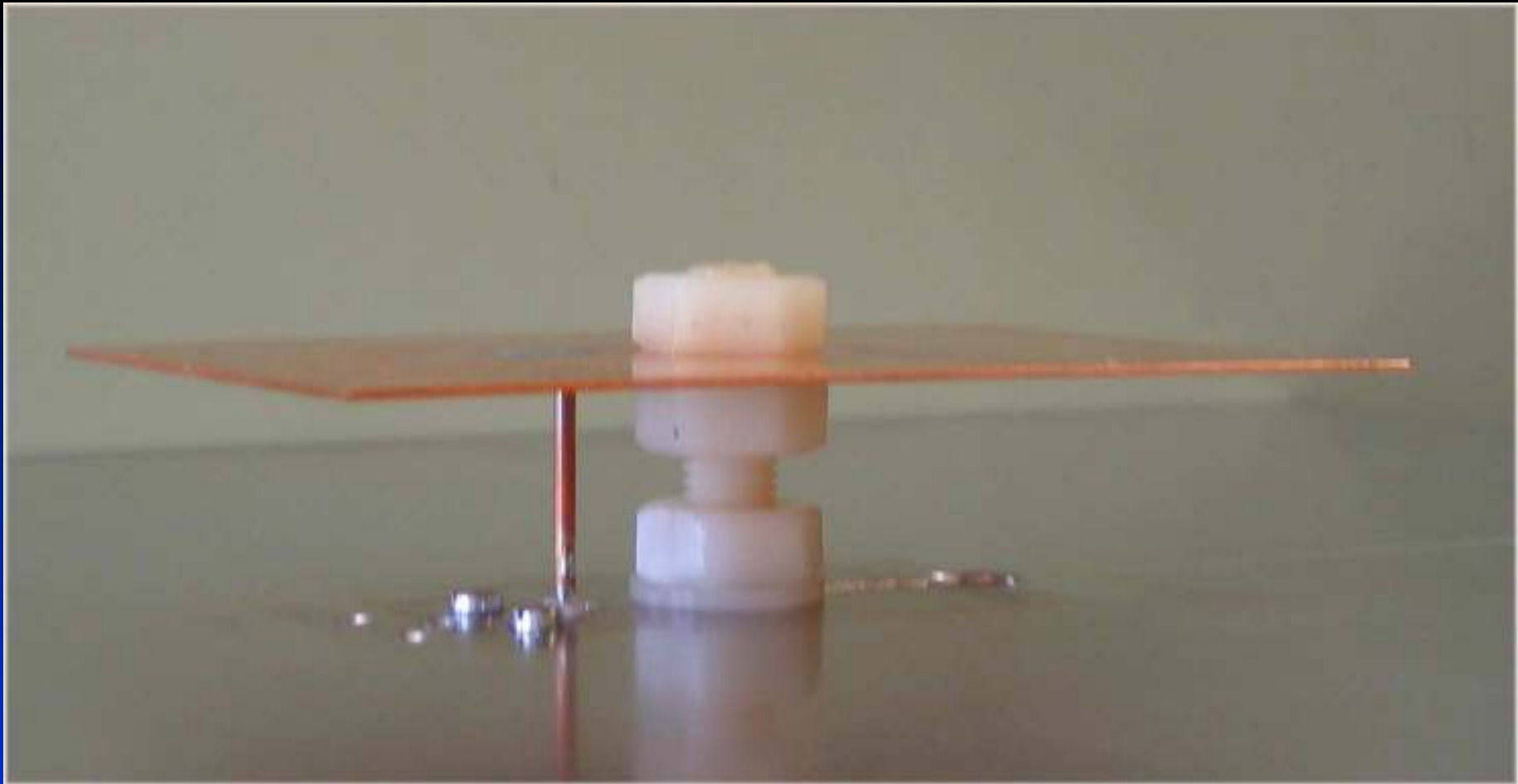
S_Param
SP1
Start=500 MHz
Stop=1.5 GHz
Step=500 kHz

Schaltung
des Modell
der Patch-
antenne mit
Zuleitung

Mit
korrigierten
Werten für
C_Streu,
R_Strahl

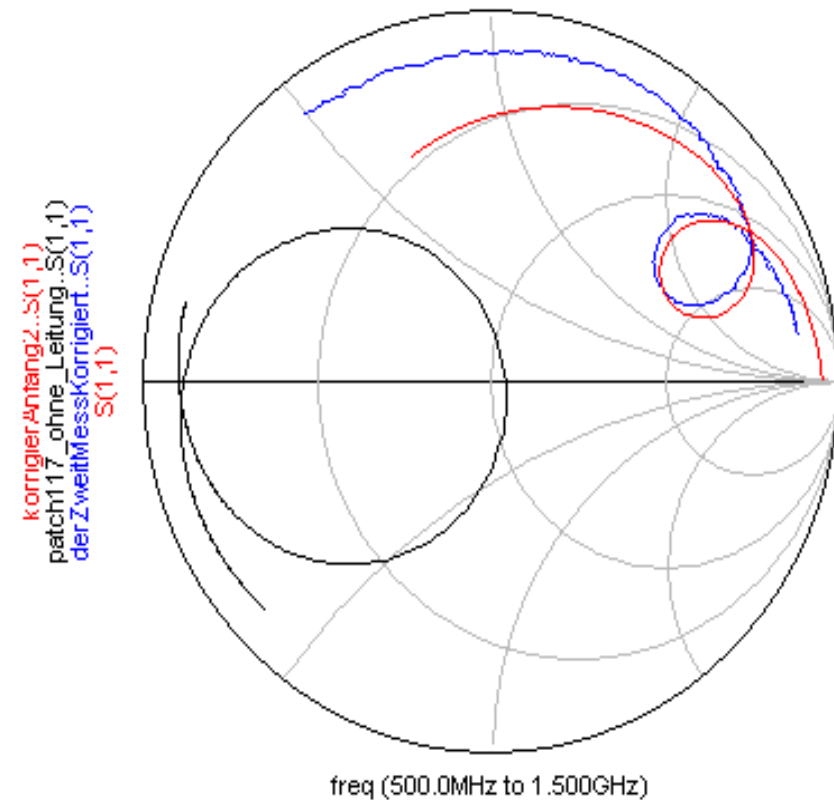
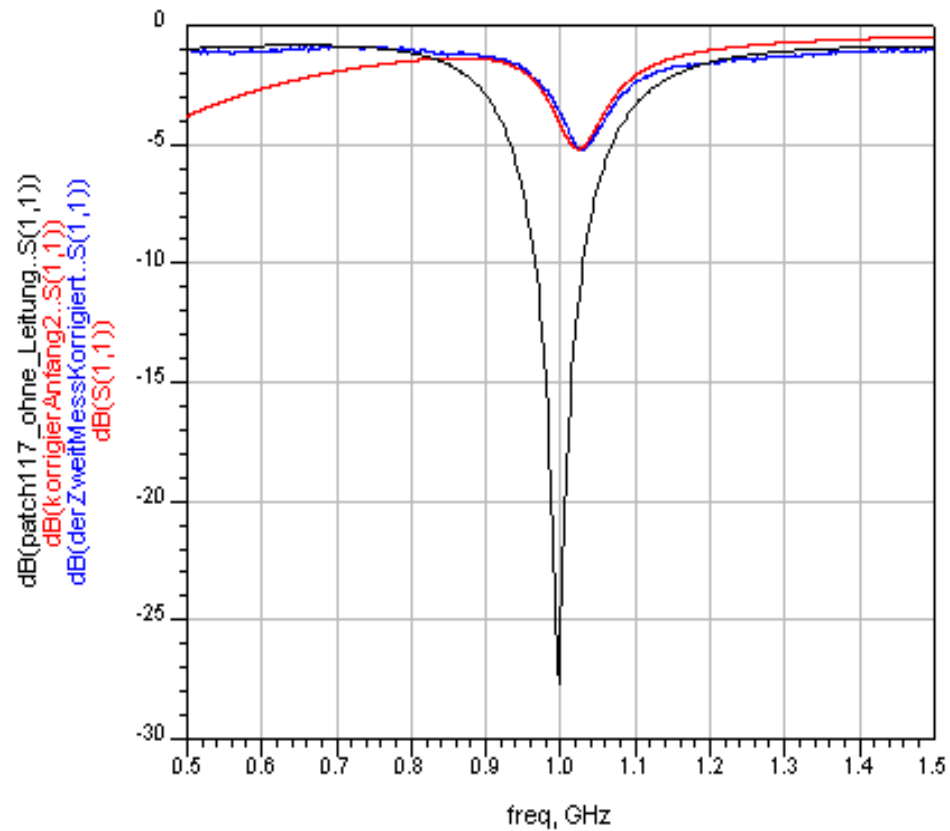
Die
ermittelten
Werte des
Zuleitungs-
kabels
L_Kabel,
C_Stecker,
und Verlust
R_Kabel

Praktische Durchführung Modellerstellung, Aufbau der Patchantenne



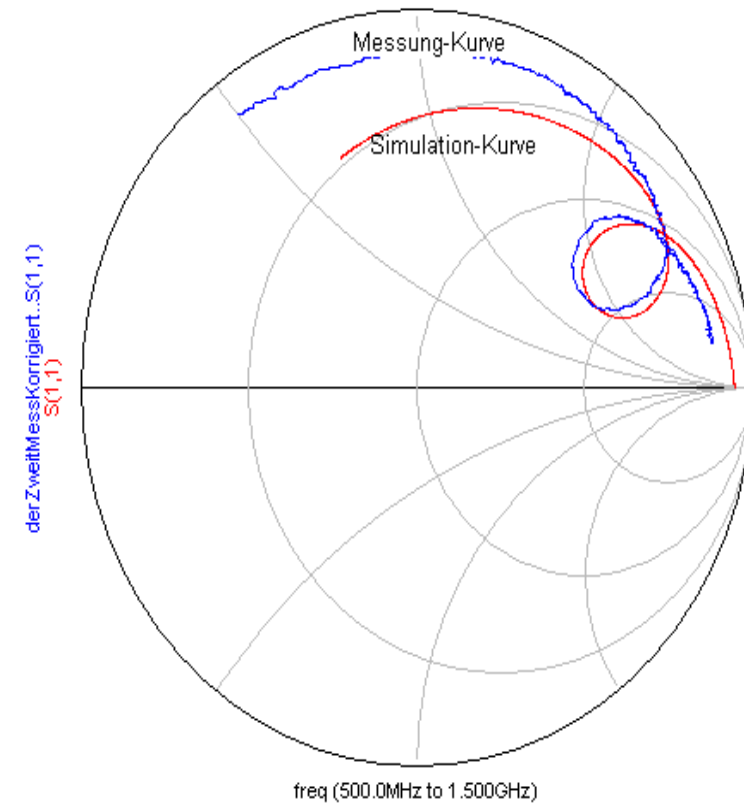
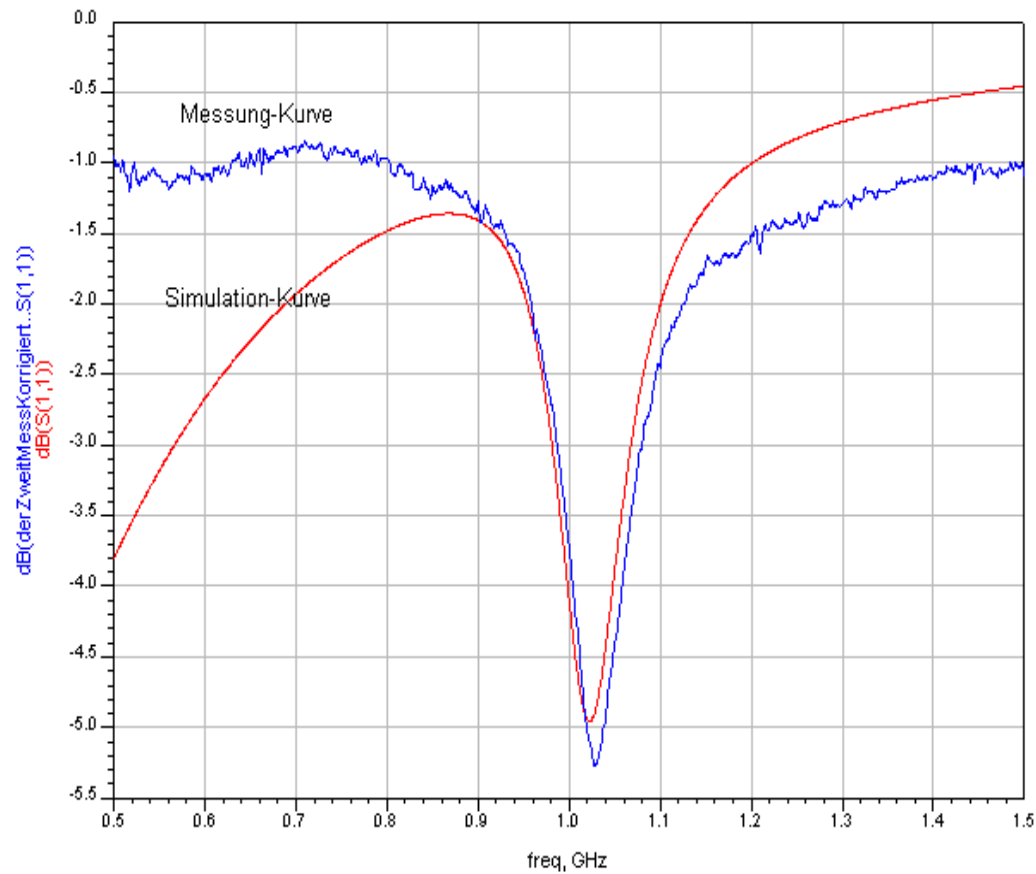
- Ansicht der Patchantenne
- Abmessung:
 $L=117.35$ mm, $w=73,85$ mm, Höhe $h=25$ mm

Praktische Durchführung Modellerstellung, Kontrollmessung

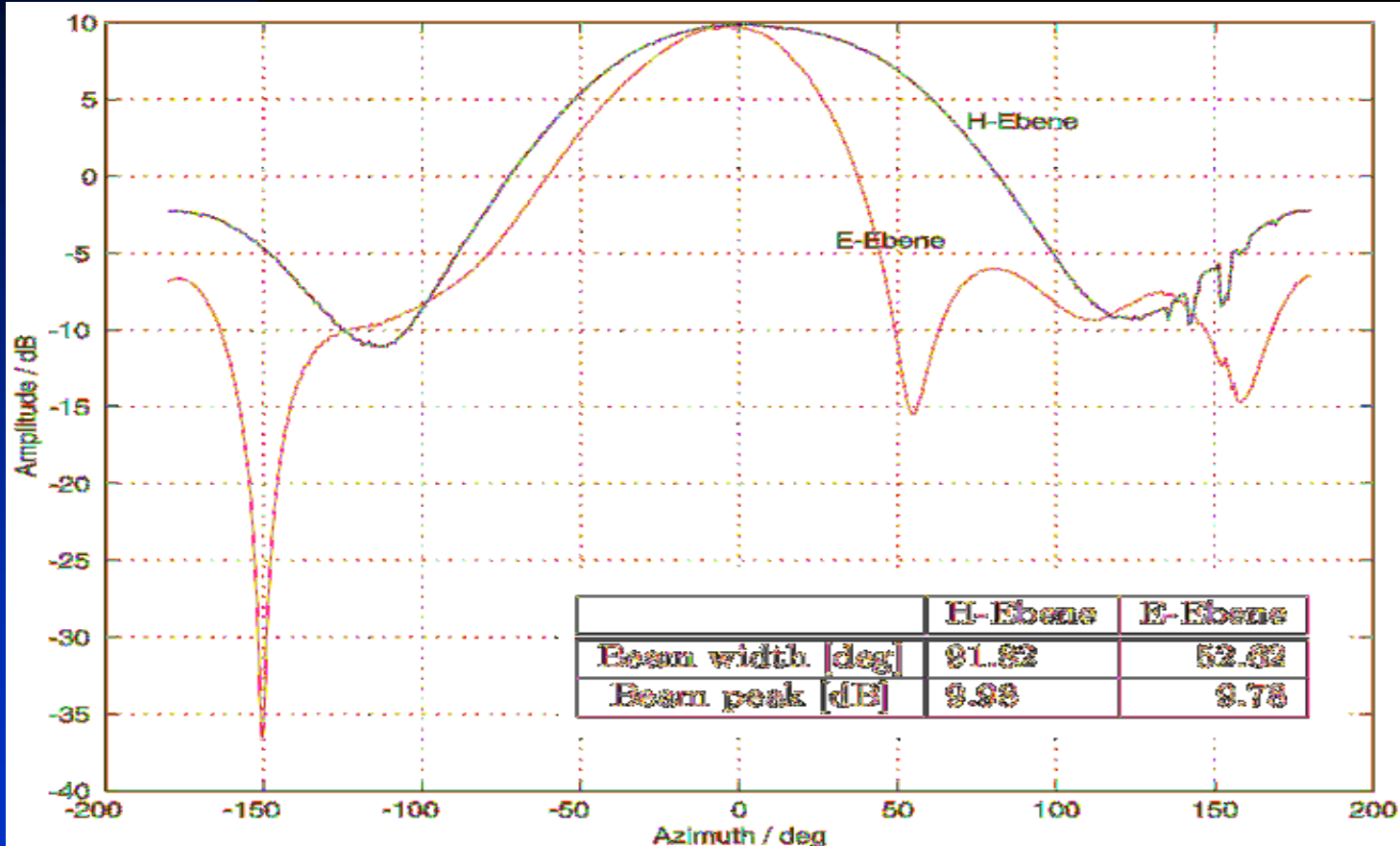


Vergleich zwischen Simulationsergebnis und Messung der Patchantenne ohne Kompensation

Praktische Durchführung Modellerstellung, Kontrollmessung



Praktische Durchführung Modellerstellung, Richtcharakteristik

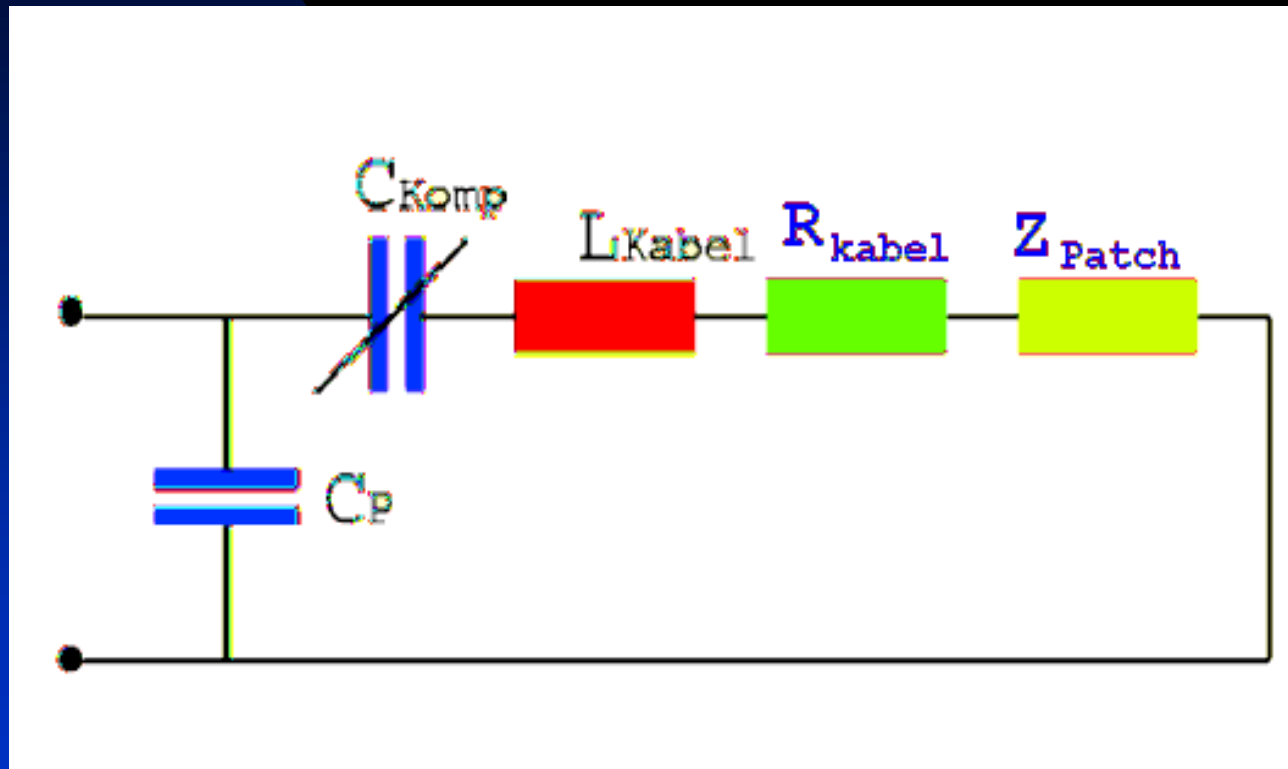


Richtcharakteristik
der Patchantenne
ohne
Kompensation
In E-Ebene und
H-Ebene

Hauptthemen

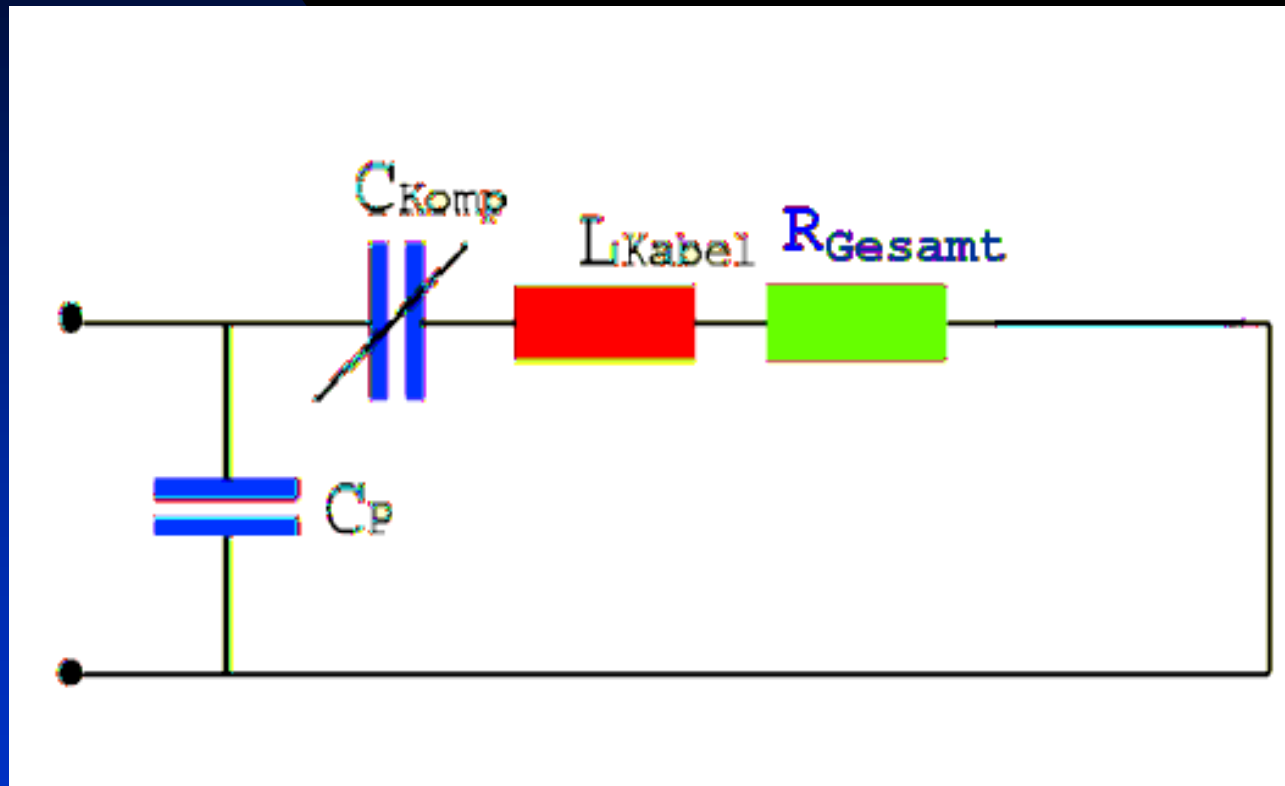
- Theorie
- Praktische Durchführung
 - ◆ Modellerstellung
 - ◆ Aufbau der Kompensationsschaltung
 - ◆ Vergleich der praktischen Messergebnissen
- Zusammenfassung

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



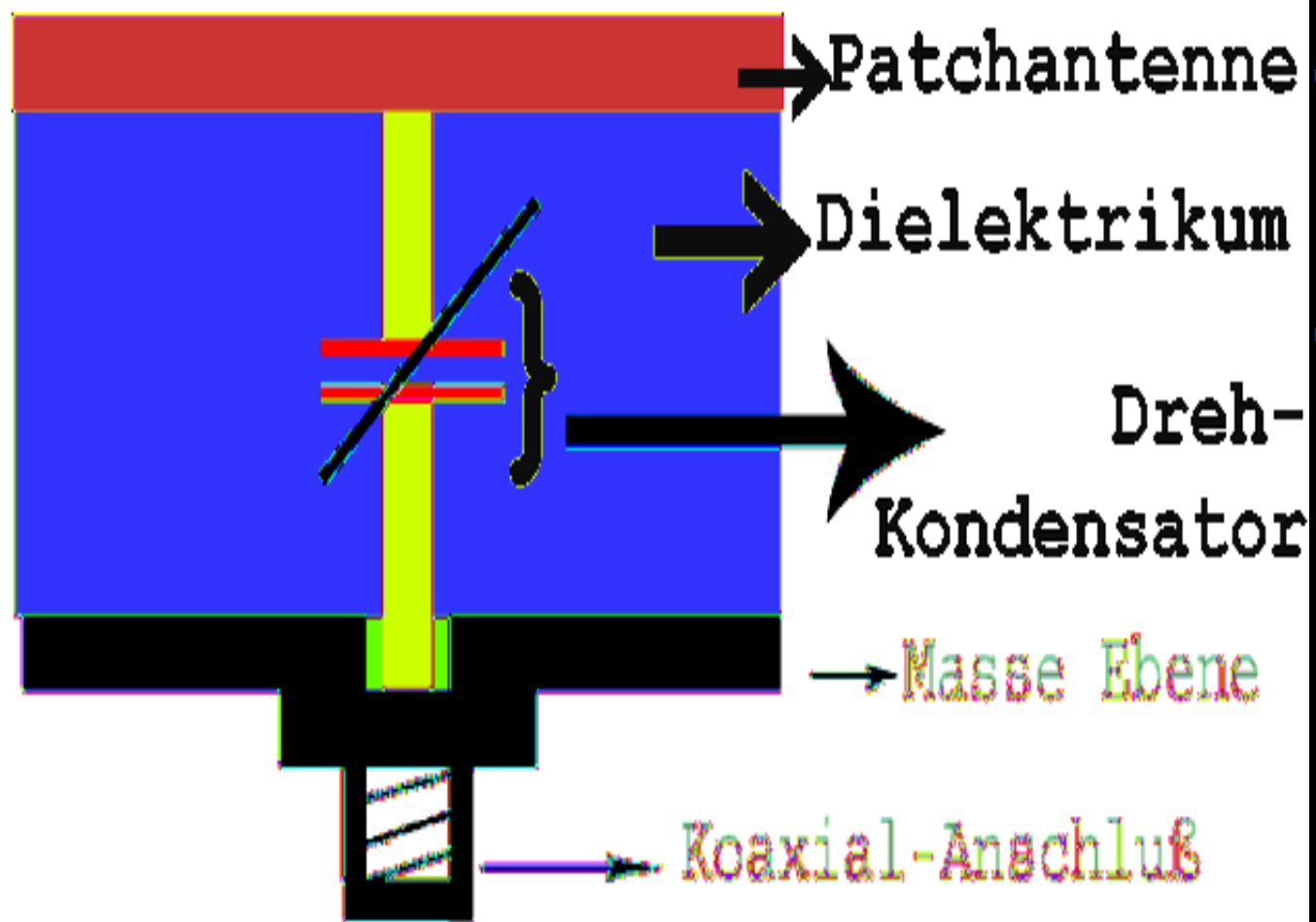
- Die vorherigen Abschnitte erläutern das links abgebildete Kompensationsschaltungsbild
- Die Kompensation wird mit einem Kondensator C_{Komp} geschaltet.

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



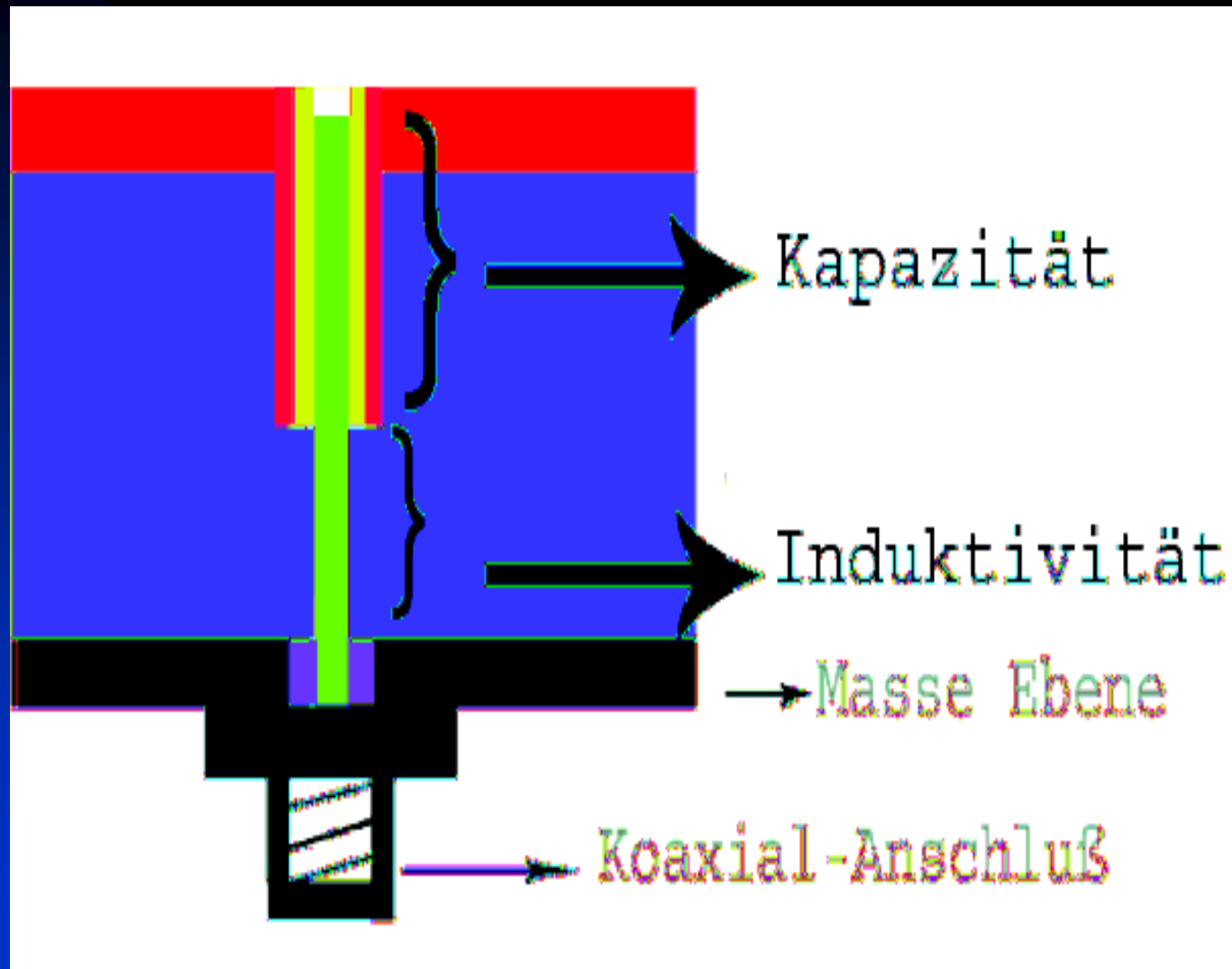
- Die vorherigen Abschnitte erläutern das links abgebildete Kompensationsschaltungsbild
- Die Kompensation wird mit einem Kondensator C_{Komp} geschaltet.
- Bei der Resonanz

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



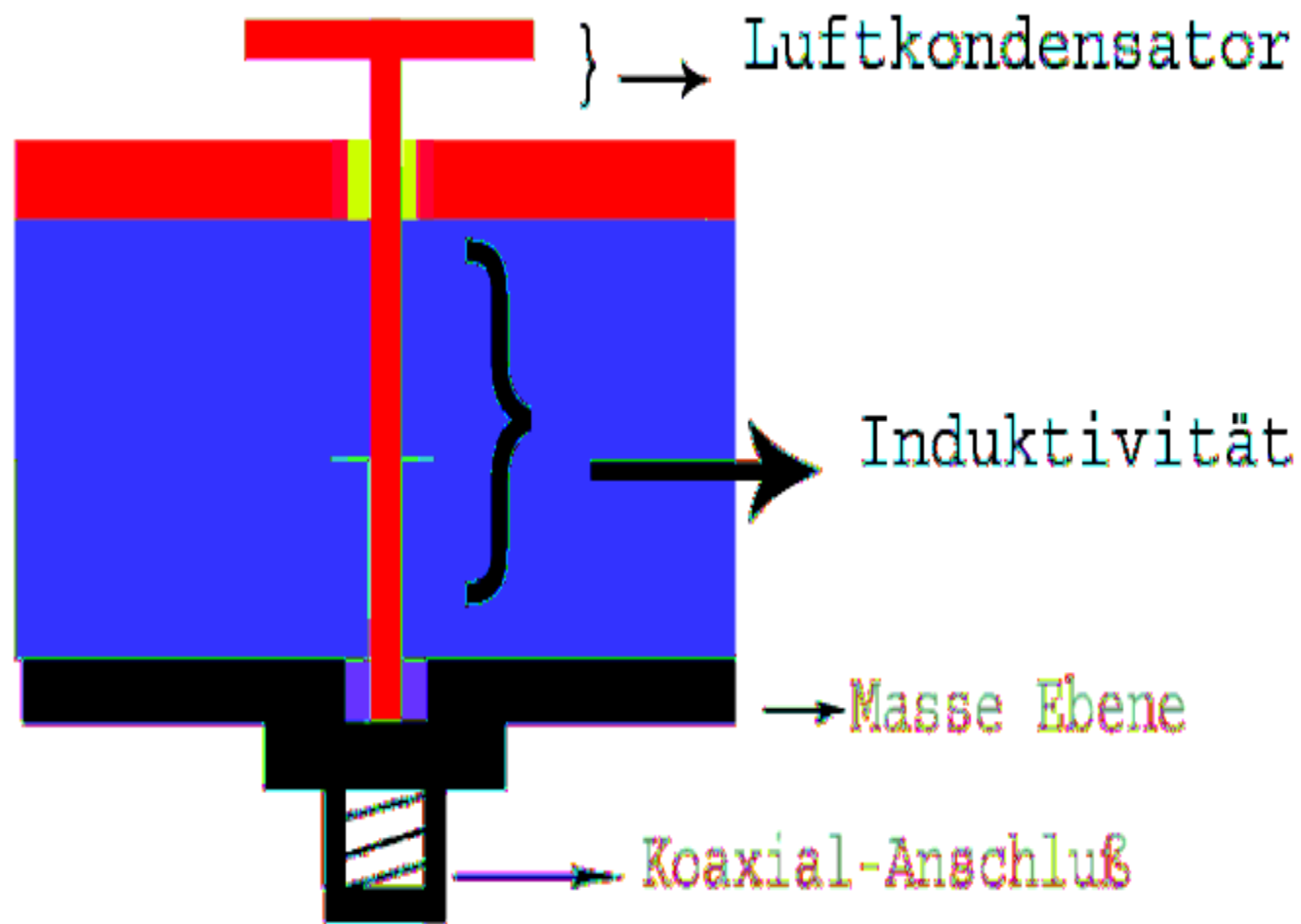
- Aufbau der Kompensationsschaltung mit verschiedenen Möglichkeiten
- Mit einem Drehkondensator, der Kapazität des Koaxialkabels, oder einem Flächenkondensator

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



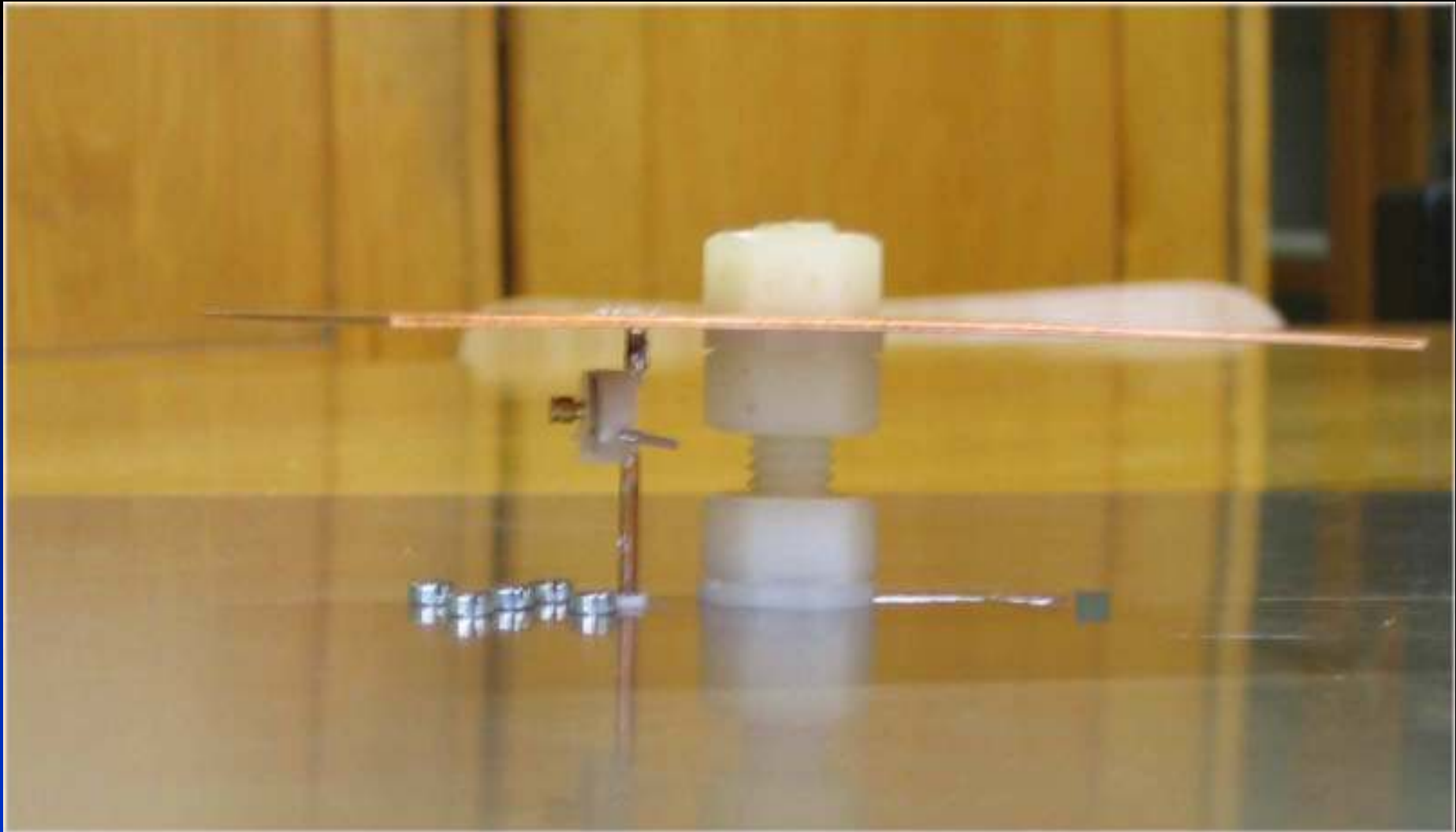
- Aufbau der Kompensationsschaltung mit verschiedenen Möglichkeiten
- Mit einem Drehkondensator, der Kapazität des Koaxialkabels, oder einem Flächenkondensator

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



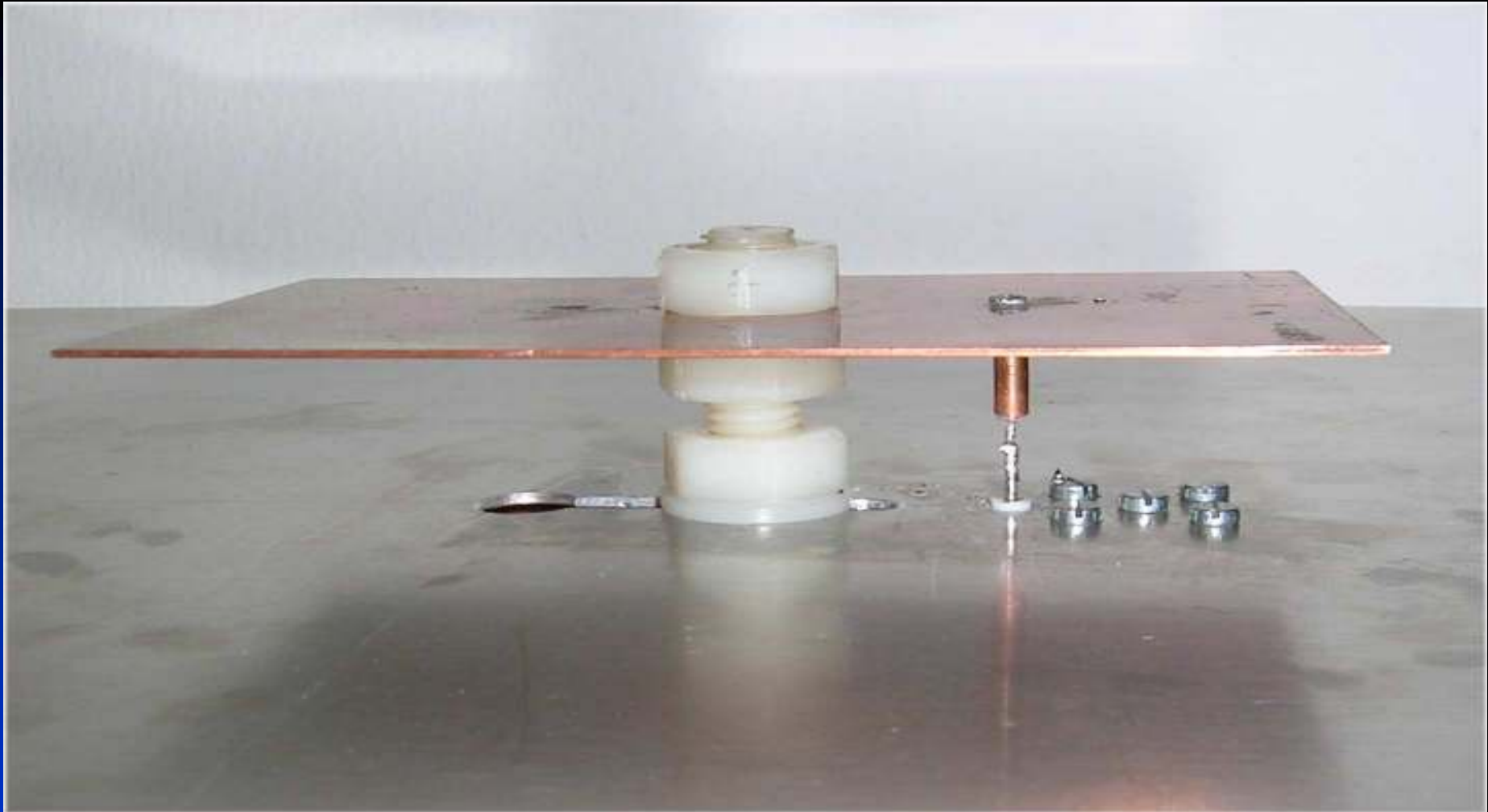
- Aufbau der Kompensationsschaltung mit verschiedenen Möglichkeiten
- Mit einem Drehkondensator, der Kapazität des Koaxialkabels, oder einem Flächenkondensator

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



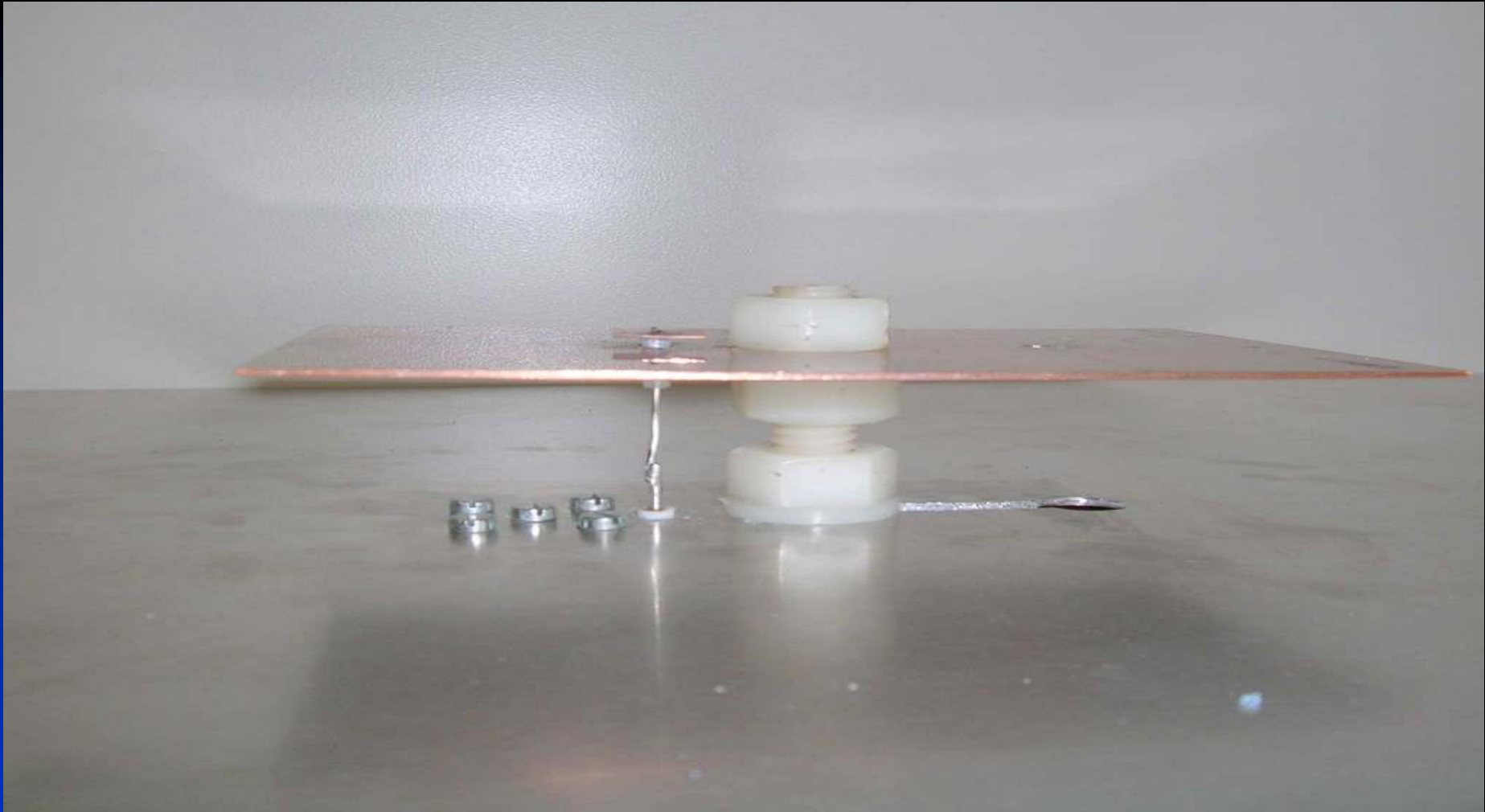
Ansicht der Patchantenne mit dem Kompensation durch den Drehkondensator

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



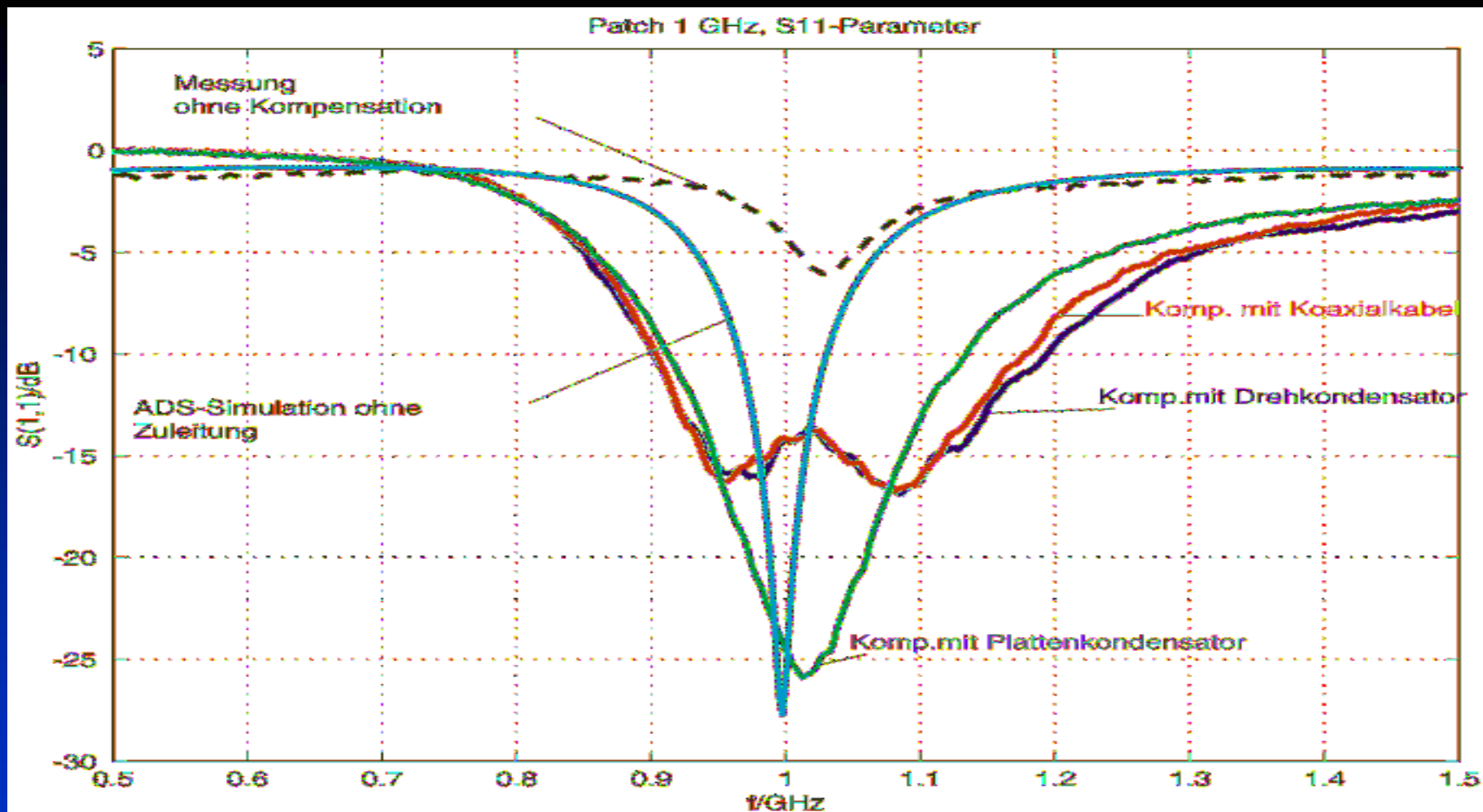
- Ansicht der Patchantenne mit dem Kompensation durch die Kapazität des Koaxialkabels

Praktische Durchführung Aufbau der Kompensationsschaltung



- Ansicht der Patchantenne mit dem Kompensation durch die Kapazität des Platten-kondensators

Praktische Durchführung Vergleich der S11-Parameter



Bandbreite BW

Ohne Kompensation:: kann nicht angegeben werden

Die Bandbreiten mit den verschiedenen Kompensationen werden in der nächsten Tabelle gezeigt.

Praktische Durchführung

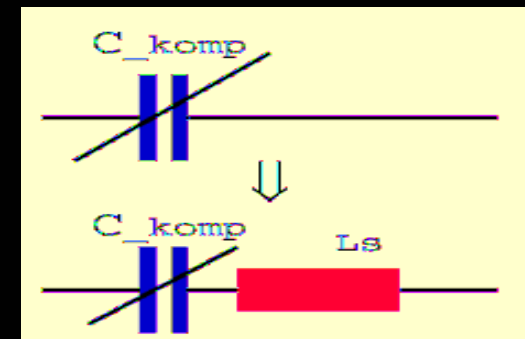
Die Bandbreite BW

	Ohne Komp.	Breitbandkompensation mit :		
	Simulation- ergebnis	Platten- kondensator	Koaxial- leitung	Dreh- kondensator
Bandbreite BW in % Für ein Stehverhältnis $s=2$ ($ s = -10\text{dB}$)	4.9	14.2	17.9	17.1

Praktische Durchführung Kompensationskondensator, Verlustwiderstand

	Ohne Komp.	Breitbandkompensation mit :		
	Simulation- ergebnis	Dreh- kondensator	Koaxial- leitung	Platten- kondensator
$\frac{C^*_{Komp}}{C_{Komp}}$ (relativ %)	-	1.41 ($\geq 10\%$)	1.08 ($\leq 8\%$)	2.35 ($\geq 10\%$)
Serien-Verlustwiderstand	10.04 Ω	22 Ω	19 Ω	7.9 Ω

- Ersatzschaltbild des Kompensationskondensators



Praktische Durchführung Kompensationskondensator, Verlustwiderstand

	Ohne Komp.	Breitbandkompensation mit :		
	Simulation- ergebnis	Dreh- kondensator	Koaxial- leitung	Platten- kondensator
$\frac{C^*_{\text{Komp}}}{C_{\text{Komp}}}$ (relativ %)	-	1.41 ($\geq 10\%$)	1.08 ($\leq 8\%$)	2.35 ($\geq 10\%$)
Serien-Verlustwiderstand	10.04 Ω	22 Ω	19 Ω	7.9 Ω

- Vergrößerung des kompensierten Kondensators

$$C^* = \frac{C}{1 - \omega^2 \cdot L_s \cdot C}$$

Praktische Durchführung Kompensationskondensator, Verlustwiderstand

	Ohne Komp.	Breitbandkompensation mit :		
	Simulation- ergebnis	Dreh- kondensator	Koaxial- leitung	Platten- kondensator
$\frac{C^*_{Komp}}{C_{Komp}}$ (relativ %)	-	1.41 ($\geq 10\%$)	1.08 ($\leq 8\%$)	2.35 ($\geq 10\%$)
Serien-Verlustwiderstand	10.04 Ω	22 Ω	19 Ω	7.9 Ω

Verlustwiderstand besteht
aus dem Zuleitungs-
widerstand

$$R_{\text{Kabel}} = \frac{1}{\sigma_s \cdot \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \sigma \cdot \mu}}}$$

Praktische Durchführung Kompensationskondensator, Verlustwiderstand

	Ohne Komp.	Breitbandkompensation mit :		
	Simulation- ergebnis	Dreh- kondensator	Koaxial- leitung	Platten- kondensator
$\frac{C^*_{Komp}}{C_{Komp}}$ (relativ %)	-	1.41 ($\geq 10\%$)	1.08 ($\leq 8\%$)	2.35 ($\geq 10\%$)
Serien-Verlustwiderstand	10.04 Ω	22 Ω	19 Ω	7.9 Ω

und

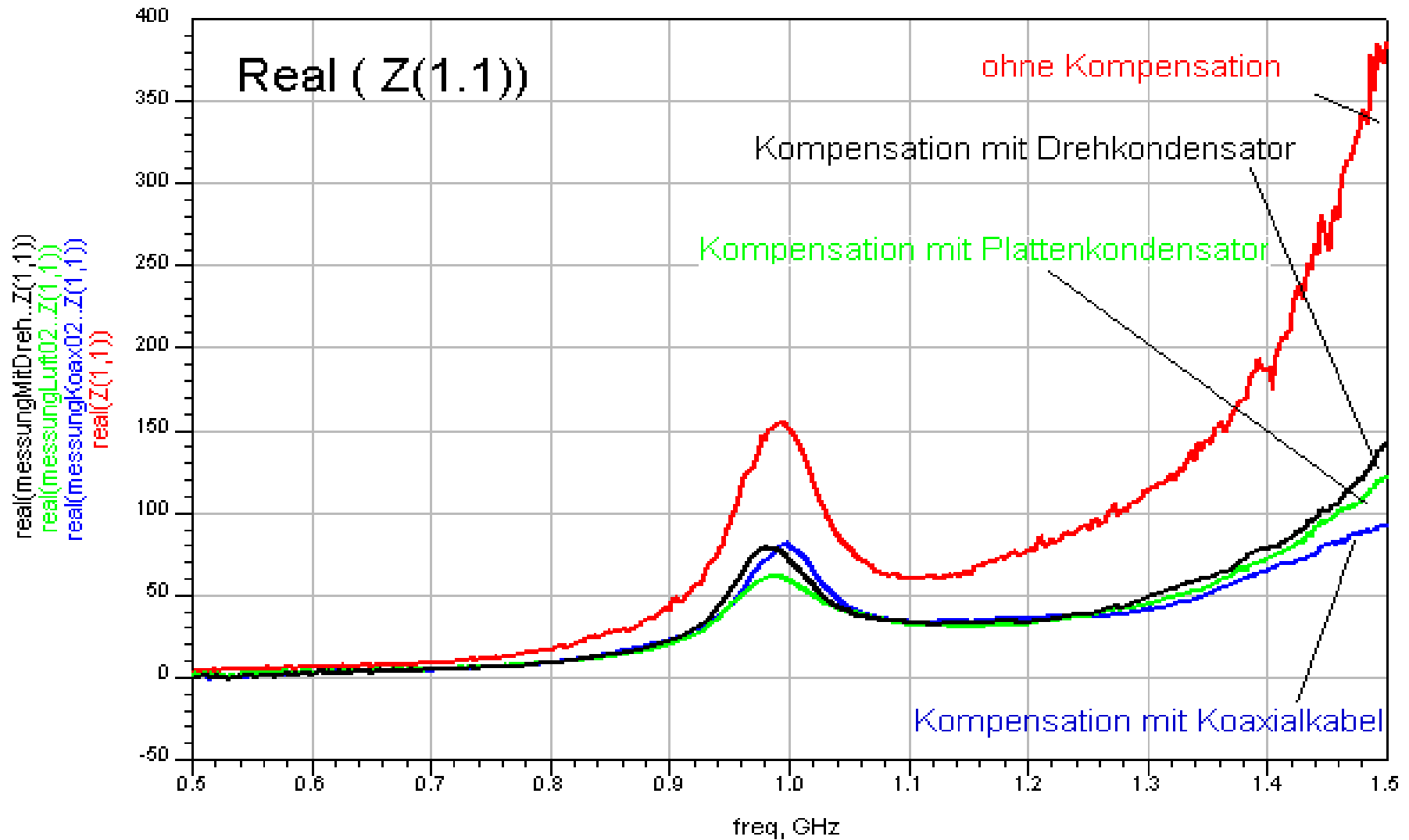
Leitungsverlust G_L nach [2]:

$$G_L = \frac{\omega \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{\kappa}}{4 \cdot h^2 \cdot L \cdot \sqrt{\pi} \cdot f^3}$$

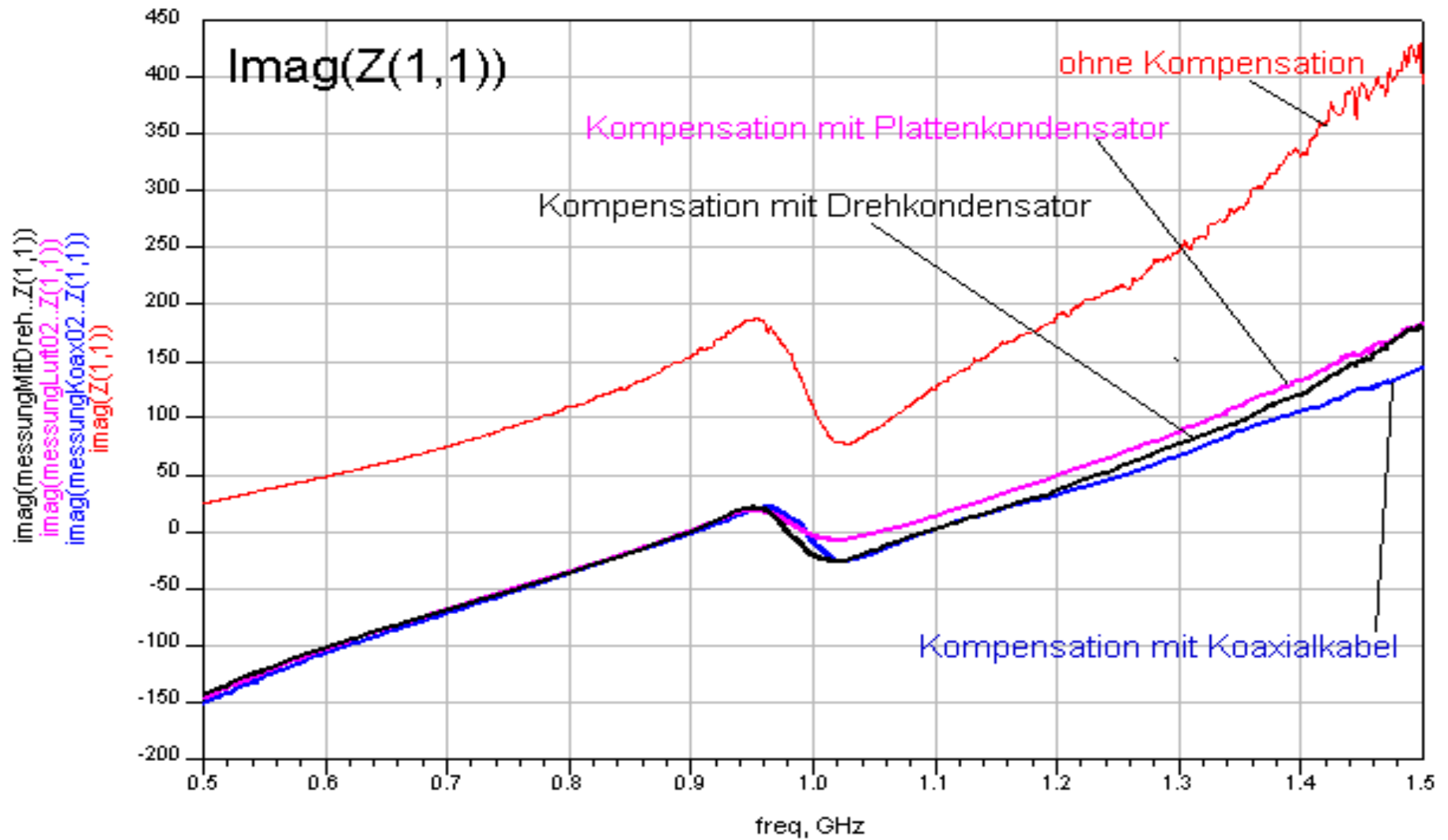
Dielektrische Verlust G_D :

$$G_D = \frac{\omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_{\text{reff}} \cdot \omega \cdot L \cdot \tan(\delta)}{2 \cdot h}$$

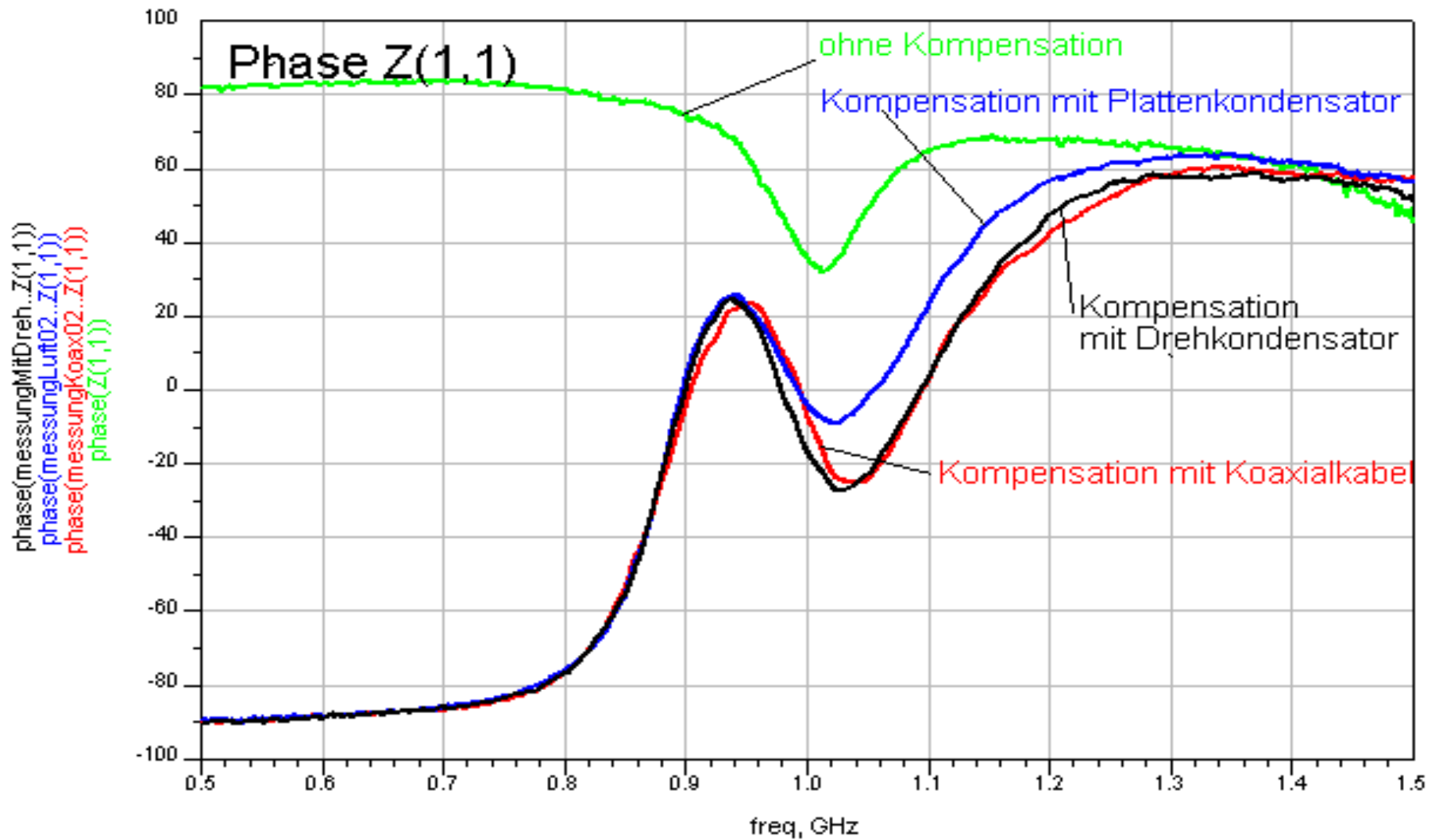
Praktische Durchführung Impedanz der Patchantenne



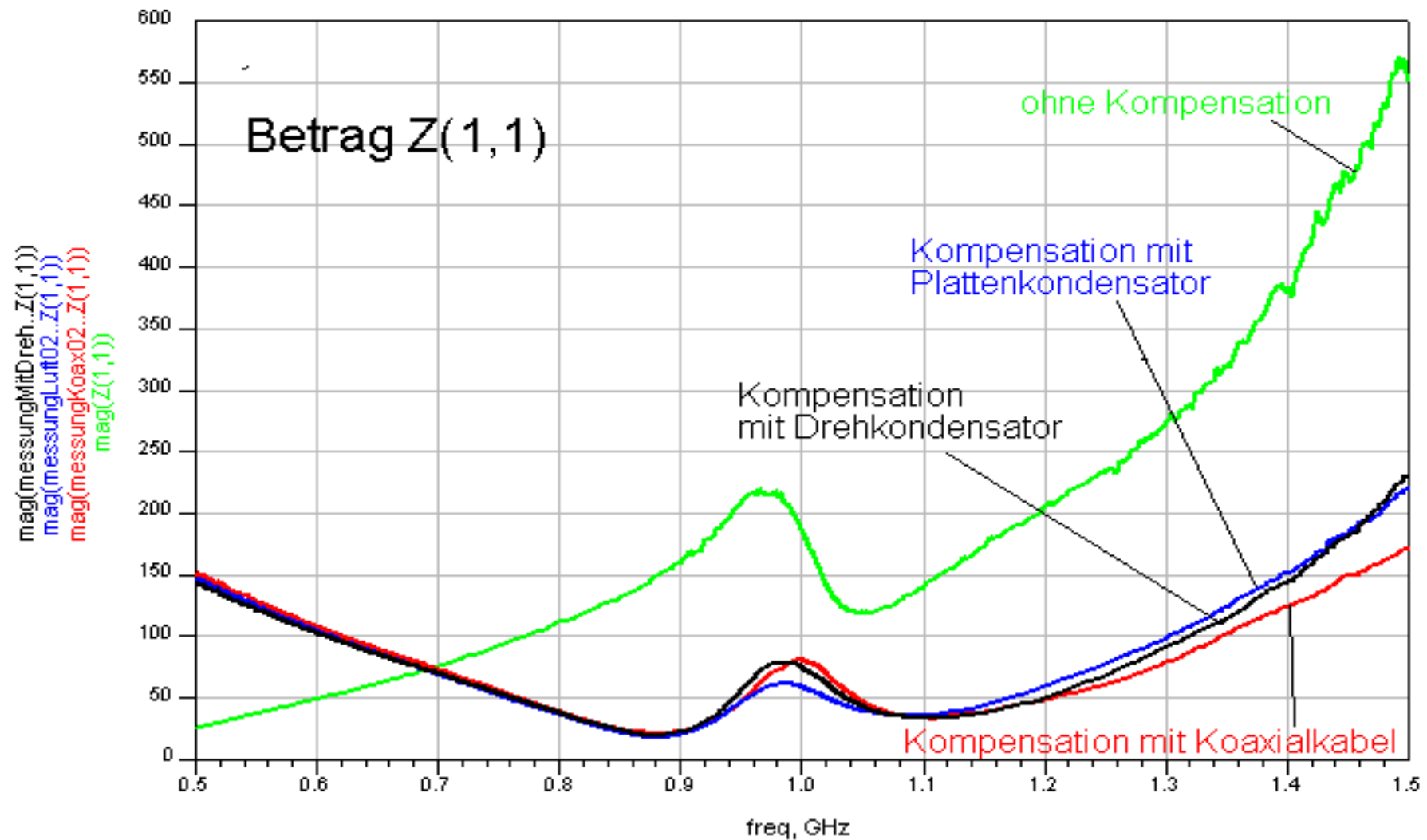
Praktische Durchführung Impedanz der Patchantenne



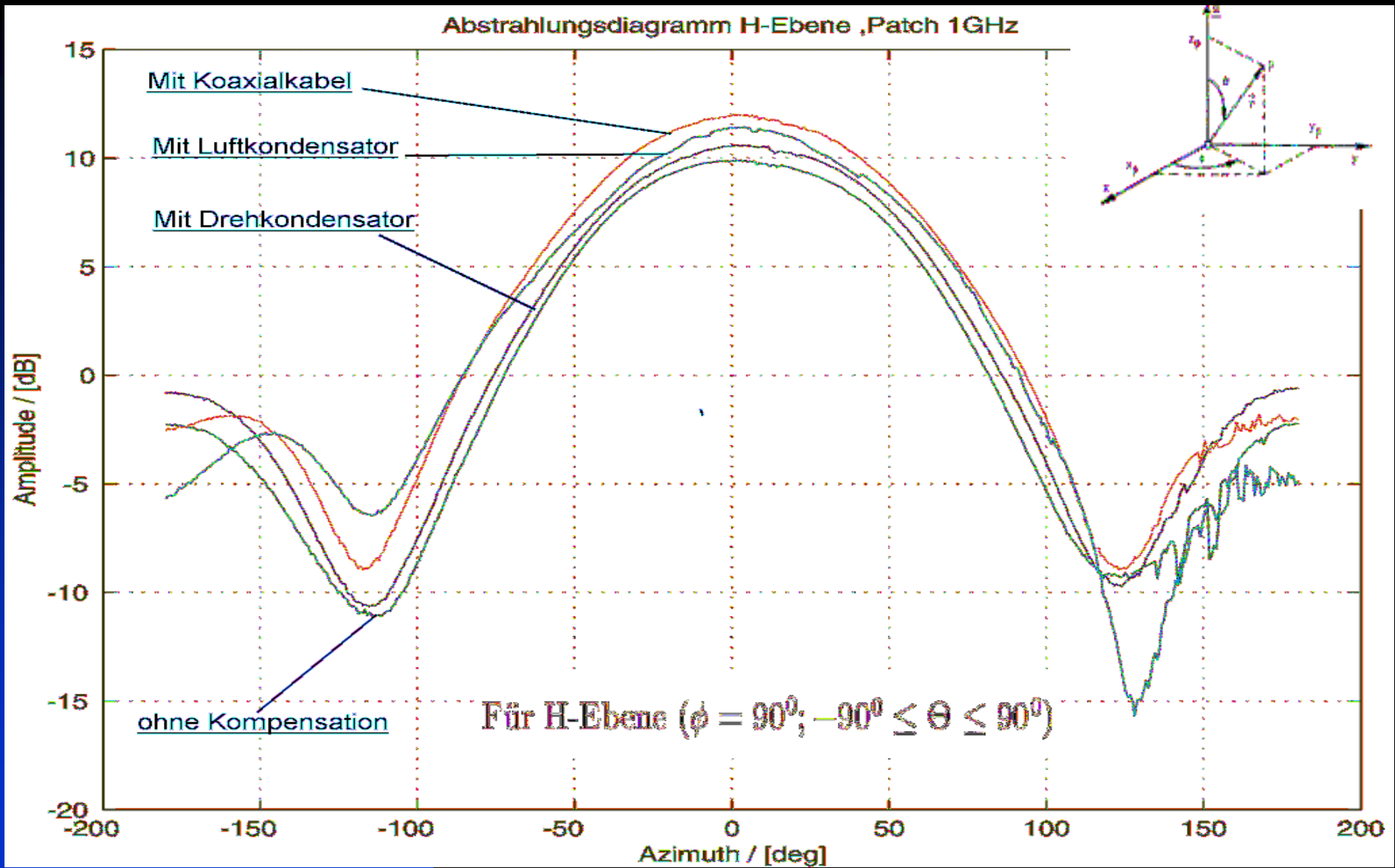
Praktische Durchführung Impedanz der Patchantenne



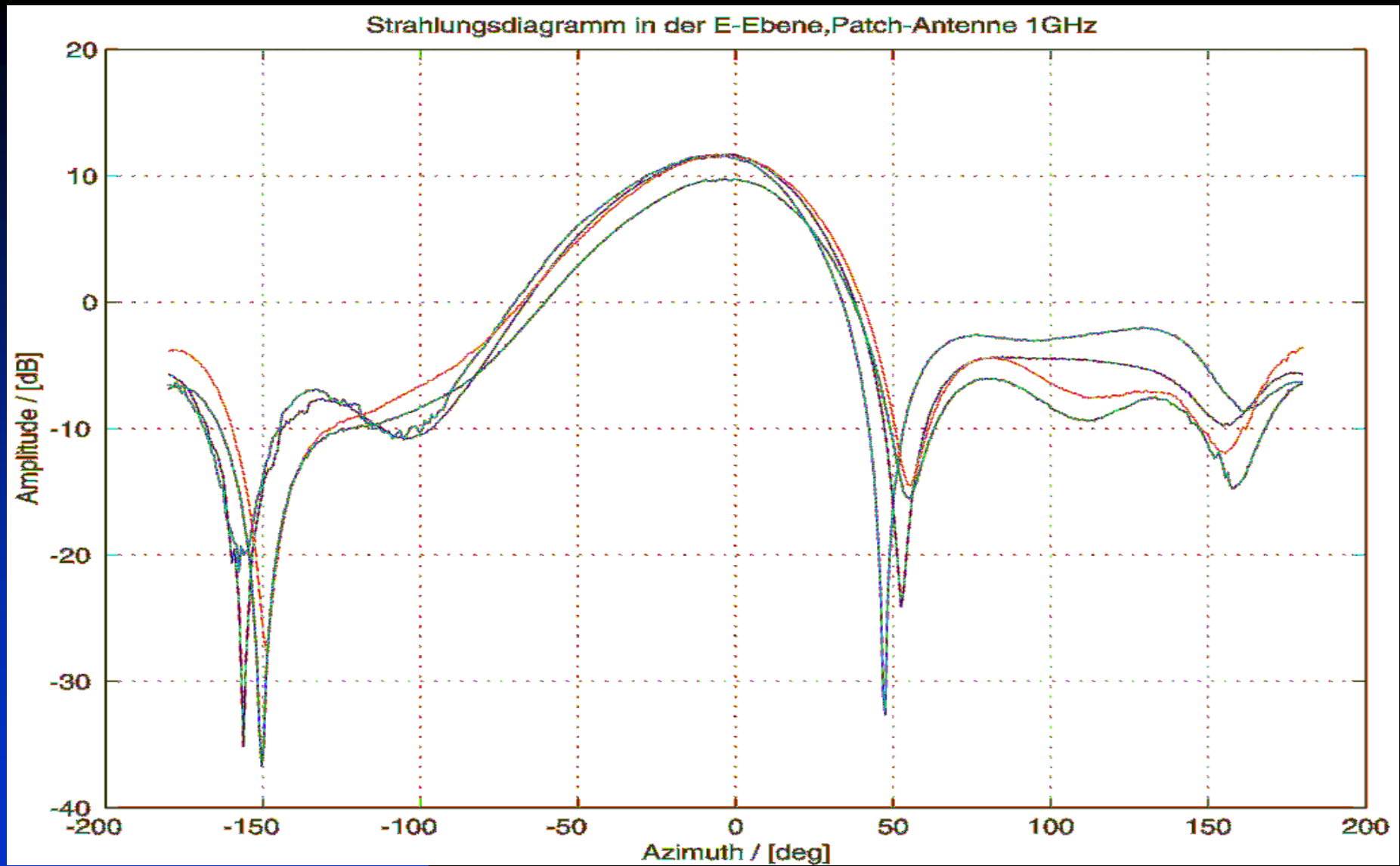
Praktische Durchführung Impedanz der Patchantenne



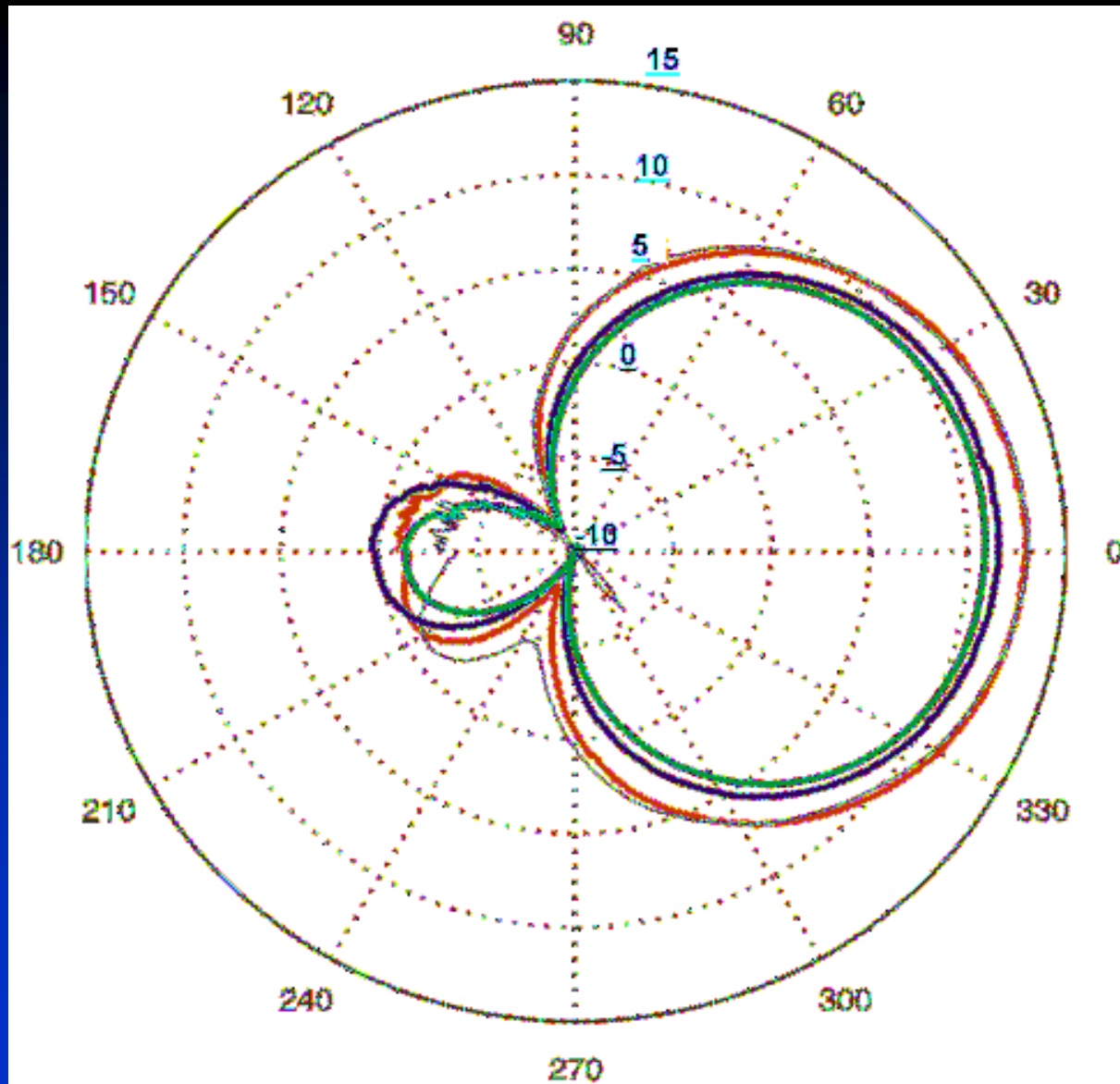
Praktische Durchführung Richtcharakteristik, H-Ebene



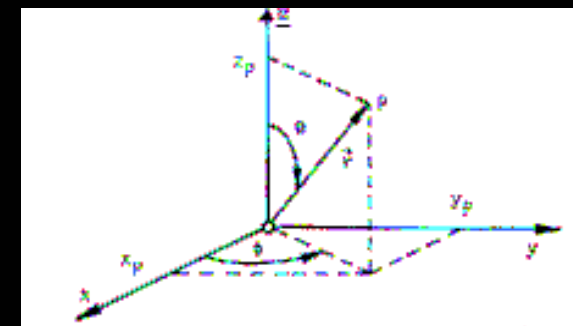
Praktische Durchführung Richtcharakteristik, E-Ebene



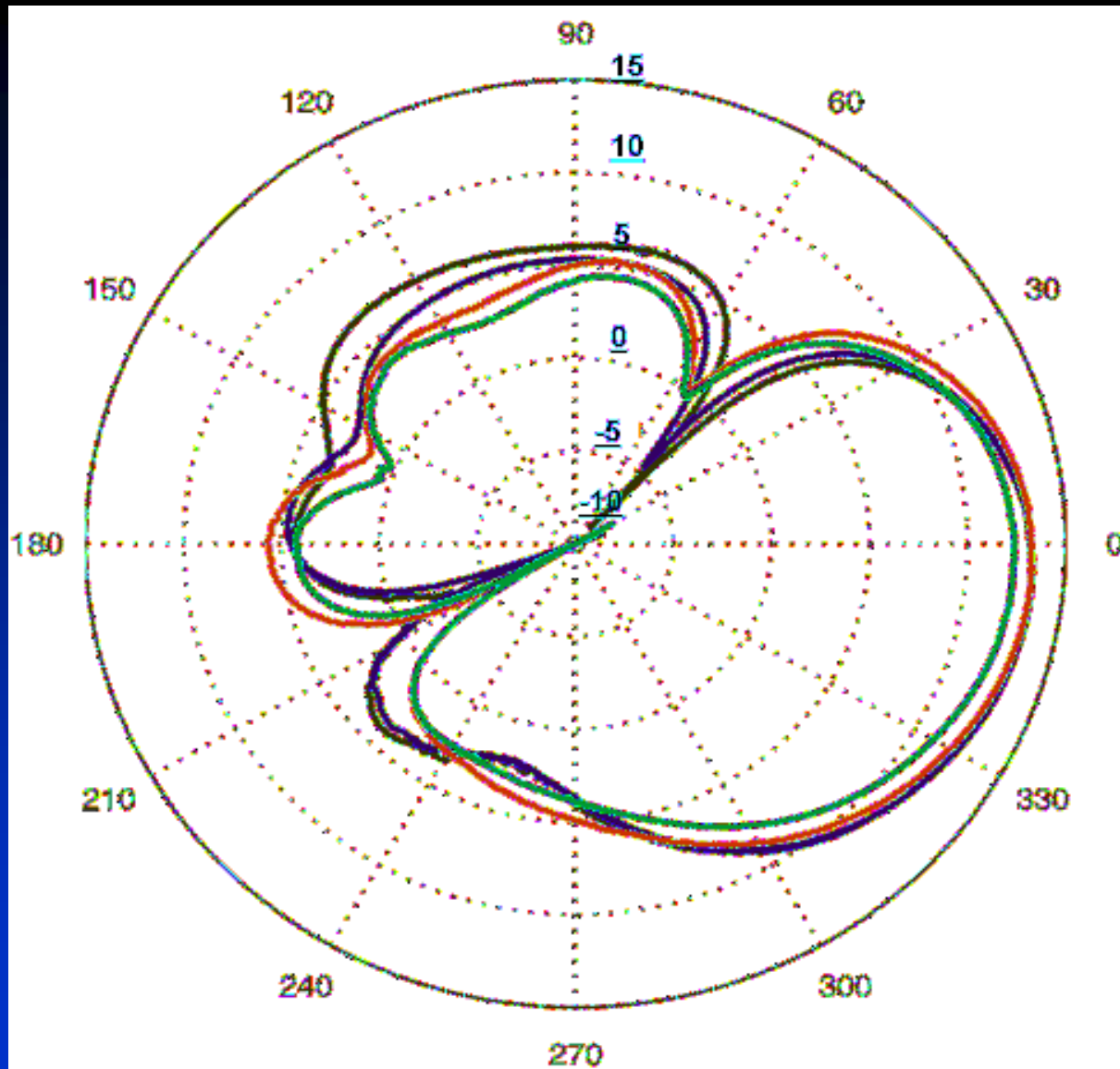
Praktische Durchführung Richtcharakteristik



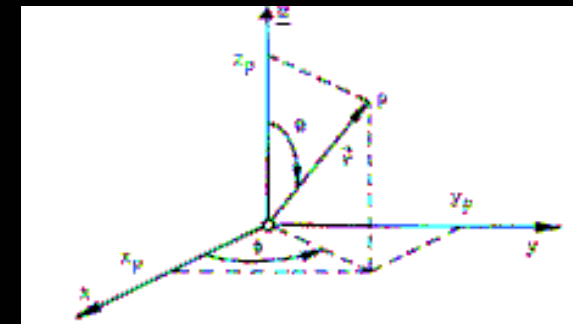
- Qualitative Kurven in
H-Ebene
In Polardarstellung mit
- Koaxialkabel
 - Plattenkondensator
 - Drehkondensator
 - Ohne Kompensation



Praktische Durchführung Richtcharakteristik



- Qualitative Kurven in
E-Ebene
In Polardarstellung mit
- Koaxialkabel
 - Plattenkondensator
 - Drehkondensator
 - Ohne Kompensation



Hauptthemen

- Theorie
- Praktische Durchführung
 - ◆ Modellerstellung
 - ◆ Aufbau der Kompensationsschaltung
 - ◆ Vergleich der praktischen Messergebnissen
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Die normale Bandbreite einer Patchantenne beträgt nur ca 5%

Zusammenfassung

- Die normale Bandbreite einer Patchantenne beträgt nur ca 5%
- Mit Kompensation des passiven dualen Resonators wurde die Bandbreite auf 17% erhöht.

Ausblick

- Mit zwei symmetrischen Speisepunkten könnte die Bandbreite noch weiter erhöht werden.
- Diese Patchantenne eignen sich besonders gut für die Radar-Anwendung.

Literatur

- [1] Wolff, Ingo: Einführung in die Mikrostrip-Leitungstechnik, 2.Auflage
Aachen : Henning Wolff,1974, Teil1 und Teil2
- [2] Gronau Gregor: Einführung in die Theorie und Technik planarer Mikrowellenantennen in Mikrostreifenleitungstechnik, Fortschritte der Hochfrequenztechnik, Band 3.
Aachen,Nellissen-Wolff,1990
- [3] Solbach Klaus: Vorlesungsskrip Mikrowellen-Antennentechnik (Einführung in die Theorie der Antennen), Sommersemester 1999, Uni-Duisburg
- [4] Meinke / Gundlach Taschenbuch der Hochfrequenz-Technik Dritte Auflage Springer verlag
 - (1) C.Balanis,Wiley 2nd Edition 1997,chapter 14, ISBN 0-471-59268-4
 - (2) Miguel A. González de Aza, Juan Zapata, Member IEEE, and José A. Encinar, Member, IEEE: Broad-band Cavity-Backed and Capacitively Probe-Fed Microstrip Patch Arrays, IEEE Transactions on antennas and propagation \approx .vol.48.No.5.May 2000
 - (3) P.S.Hall : Electronics letters 21.st May 1987 vol.23 No.11
 - (4)K.S.Fong, H.F.Pues,M.J.Wethers: Electronics letters 23rd May 1985, vol.21 No.11