

# UNTERSUCHUNG DER IMPULSANTWORT EINER ULTRABREITBANDIGEN ANTENNE MIT DIELEKTRIKUM IM FERN- BZW. NAHFELD

Sebastian Sczyslo

sebastian.sczyslo@stud.uni-duisburg-essen.de

29. Juni 2006



**BOSCH**



# Inhalt



# Inhalt

## 1 Einleitung



# Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen



## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation





## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne



## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne
- 5 Messergebnisse





## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne
- 5 Messergebnisse
- 6 Zusammenfassung



## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne
- 5 Messergebnisse
- 6 Zusammenfassung

- bestehendes Universalortungsgerät: Wallscanner Dtect-100



BILD: Dtect-100

- bestehendes Universalortungsgerät: Wallscanner Dtect-100



BILD: Dtect-100

- Verbesserung des Gerätes  $\Rightarrow$  Bestimmung der Wandfeuchte

- bestehendes Universalortungsgerät: Wallscanner Dtect-100



BILD: Dtect-100

- Verbesserung des Gerätes  $\Rightarrow$  Bestimmung der Wandfeuchte

**Ziel:** Aufbau eines Messplatzes zur Messung der komplexen Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 **Grundlagen**
- 3 Simulation
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne
- 5 Messergebnisse
- 6 Zusammenfassung



# DER DIELEKTRISCHE HALBRAUM





# DER DIELEKTRISCHE HALBRAUM

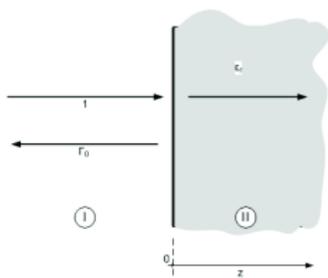
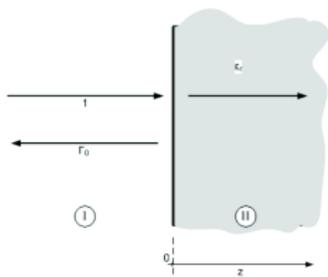


BILD: Reflexion am dielektrischen Halbraum





# DER DIELEKTRISCHE HALBRAUM

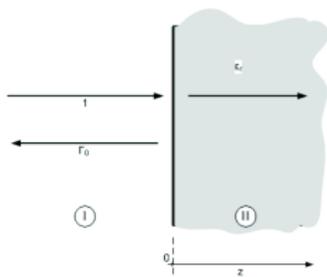


Feldwellenimpedanz

$$\underline{\eta} = \frac{j\omega\mu}{\underline{\gamma}}$$

BILD: Reflexion am dielektrischen Halbraum

# DER DIELEKTRISCHE HALBRAUM

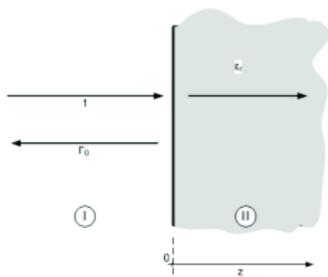


Feldwellenimpedanz

$$\begin{aligned}\underline{\eta} &= \frac{j\omega\mu}{\underline{\gamma}} \\ &= \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}\end{aligned}$$

BILD: Reflexion am dielektrischen Halbraum

# DER DIELEKTRISCHE HALBRAUM



Feldwellenimpedanz

$$\begin{aligned}\underline{\eta} &= \frac{j\omega\mu}{\underline{\gamma}} \\ &= \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}\end{aligned}$$

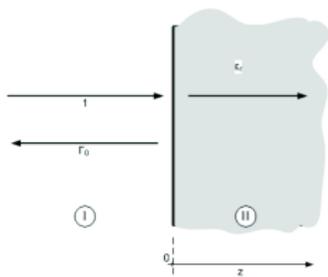
**BILD:** Reflexion am dielektrischen Halbraum

Lösen des Randwertproblems über die Maxwell'schen Gleichungen:

$$\begin{aligned}\underline{\Gamma}_0 &= \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0} \\ &= \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}}\end{aligned}$$



# DER DIELEKTRISCHE HALBRAUM



Feldwellenimpedanz

$$\begin{aligned}\underline{\eta} &= \frac{j\omega\mu}{\underline{\gamma}} \\ &= \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}\end{aligned}$$

**BILD:** Reflexion am dielektrischen Halbraum

Lösen des Randwertproblems über die Maxwell'schen Gleichungen:

$$\begin{aligned}\underline{\Gamma}_0 &= \frac{\underline{\eta} - \eta_0}{\underline{\eta} + \eta_0} \\ &= \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}}\end{aligned}$$

$\underline{\Gamma}_0$  entspricht der Übertragungsfunktion  $H(\omega)$



## dielektrischer Halbraum

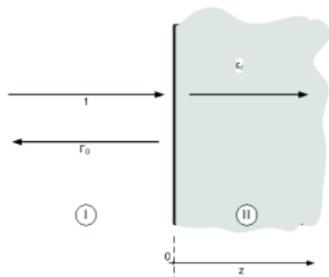
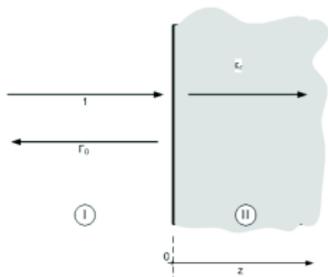


BILD: Reflexion am dielektrischen Halbraum



## dielektrischer Halbraum

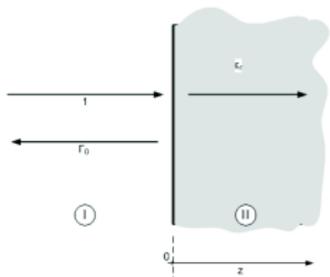


$$\underline{\Gamma}_0 = \frac{\underline{\eta} - \eta_0}{\underline{\eta} + \eta_0}$$

BILD: Reflexion am dielektrischen Halbraum



## dielektrischer Halbraum



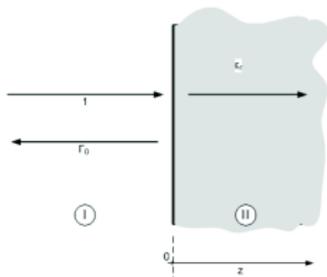
$$\underline{\Gamma}_0 = \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0}$$

BILD: Reflexion am dielektrischen Halbraum

$$\underline{S}_{11} = \frac{\underline{Z} - \underline{Z}_0}{\underline{Z} + \underline{Z}_0}$$

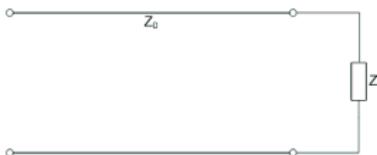


## dielektrischer Halbraum



$$\underline{\Gamma}_0 = \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0}$$

BILD: Reflexion am dielektrischen Halbraum



$$\underline{S}_{11} = \frac{\underline{Z} - \underline{Z}_0}{\underline{Z} + \underline{Z}_0}$$

BILD: Ersatzschaltbild des dielektrischen Halbraums



# DIE DIELEKTRISCHE PLATTE

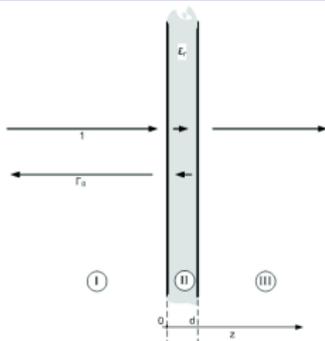
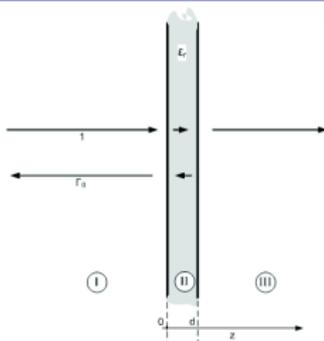


BILD: Reflexion an der dielektrischen Platte

Lösungsmöglichkeiten



# DIE DIELEKTRISCHE PLATTE



**BILD:** Reflexion an der dielektrischen Platte

Lösungsmöglichkeiten

- Maxwell'schen Gleichungen



# DIE DIELEKTRISCHE PLATTE

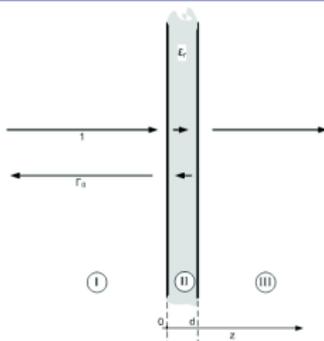


BILD: Reflexion an der dielektrischen Platte

Lösungsmöglichkeiten

- Maxwell'schen Gleichungen  $\Rightarrow$  ESB:  $\lambda/4$  – *Transformator*

# DIE DIELEKTRISCHE PLATTE

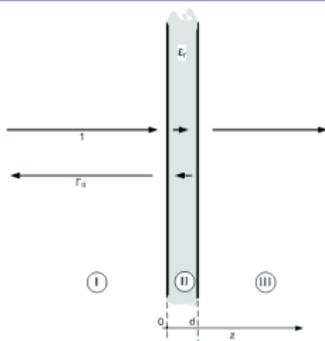


BILD: Reflexion an der dielektrischen Platte

Lösungsmöglichkeiten

- Maxwell'schen Gleichungen  $\Rightarrow$  ESB:  $\lambda/4$  – *Transformer*
- Signalflussdiagramm



# LÖSUNG MIT SIGNALFLUSSDIAGRAMM

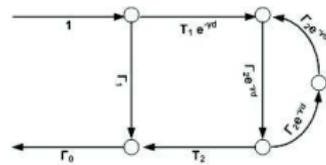
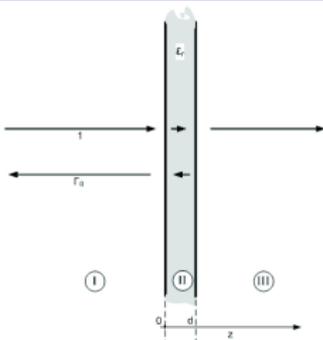


BILD: Reflexion an der dielektrischen Platte

BILD: Signalflussdiagramm



dielektrische Platte

## LÖSUNG MIT SIGNALFLUSSDIAGRAMM

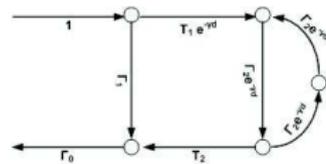
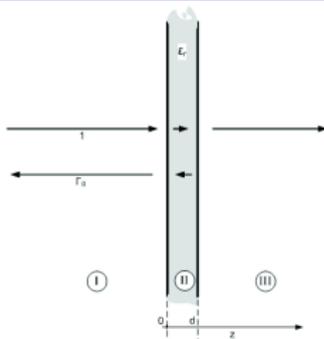


BILD: Reflexion an der dielektrischen Platte    BILD: Signalflussdiagramm

$$\underline{\Gamma}_0 = \underline{\Gamma}_1 + \underline{T}_1 e^{-\gamma_2 d} \frac{\underline{\Gamma}_2 \underline{T}_2 e^{-\gamma_2 d}}{1 - \underline{\Gamma}_2^2 e^{-2\gamma_2 d}}$$



## LÖSUNG MIT SIGNALFLUSSDIAGRAMM

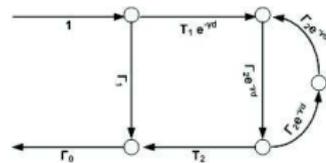
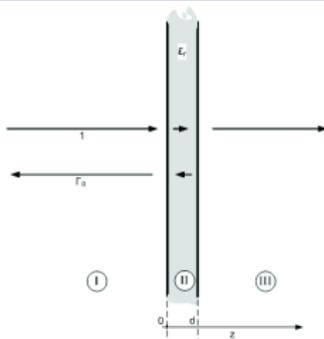


BILD: Reflexion an der dielektrischen Platte    BILD: Signalflussdiagramm

$$\begin{aligned}\underline{\Gamma}_0 &= \underline{\Gamma}_1 + \underline{T}_1 e^{-\gamma_2 d} \frac{\underline{\Gamma}_2 \underline{T}_2 e^{-\gamma_2 d}}{1 - \underline{\Gamma}_2^2 e^{-2\gamma_2 d}} \\ &= \frac{\underline{\Gamma}_1 (1 - e^{-2\gamma_2 d})}{1 - \underline{\Gamma}_1^2 e^{-2\gamma_2 d}}\end{aligned}$$

## SIGNALFLUSSDIAGRAMM MIT N REFLEXIONEN

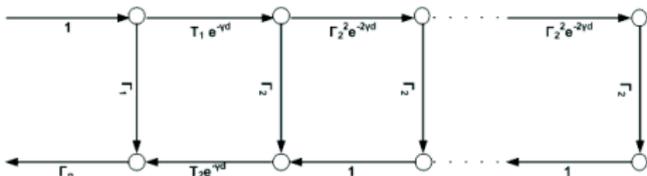


BILD: Signalflussdiagramm mit n Reflexionen

$$\underline{\Gamma}_{n=2} = \underline{\Gamma}_1 + \underline{T}_1 \underline{\Gamma}_2 \underline{T}_2 e^{-2\underline{\gamma}d}$$



# SIGNALFLUSSDIAGRAMM MIT N REFLEXIONEN

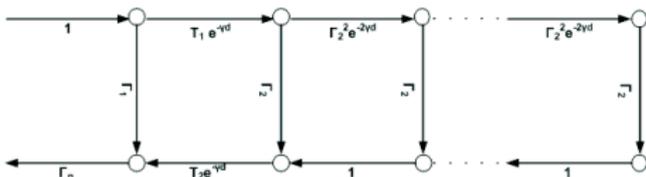


BILD: Signalflussdiagramm mit n Reflexionen

$$\Gamma_{n=2} = \Gamma_1 + T_1 \Gamma_2 T_2 e^{-2\gamma_2 d}$$

$$\Gamma_{n=3} = \Gamma_1 + \Gamma_2 T_1 T_2 e^{-2\gamma_2 d} + \Gamma_2^3 T_1 T_2 e^{-4\gamma_2 d}$$



## SIGNALFLUSSDIAGRAMM MIT N REFLEXIONEN

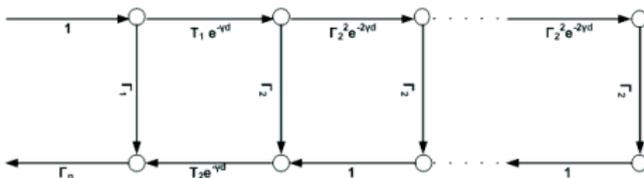


BILD: Signalflussdiagramm mit n Reflexionen

$$\underline{\Gamma}_{n=2} = \underline{\Gamma}_1 + \underline{T}_1 \underline{\Gamma}_2 \underline{T}_2 e^{-2\underline{\gamma}d}$$

$$\underline{\Gamma}_{n=3} = \underline{\Gamma}_1 + \underline{\Gamma}_2 \underline{T}_1 \underline{T}_2 e^{-2\underline{\gamma}d} + \underline{\Gamma}_2^3 \underline{T}_1 \underline{T}_2 e^{-4\underline{\gamma}d}$$

$$\underline{\Gamma}_n = \underline{\Gamma}_1 [1 - (1 - \underline{\Gamma}_1^2) e^{-2\underline{\gamma}d} \sum_{i=0}^{n-2} (\underline{\Gamma}_1^2 e^{-2\underline{\gamma}d})^i]$$

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 **Simulation**
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne
- 5 Messergebnisse
- 6 Zusammenfassung

# ZEITBEREICH VS. FREQUENZBEREICH

**Frequenzbereich**, weil



# ZEITBEREICH VS. FREQUENZBEREICH

**Frequenzbereich**, weil

- Materialien **zeitinvariant**, aber **frequenzvariant**

# ZEITBEREICH VS. FREQUENZBEREICH

**Frequenzbereich**, weil

- Materialien **zeitinvariant**, aber **frequenzvariant**
- Antenne ist eine Art Bandpasssystem

# ZEITBEREICH VS. FREQUENZBEREICH

**Frequenzbereich**, weil

- Materialien **zeitinvariant**, aber **frequenzvariant**
- Antenne ist eine Art Bandpasssystem
- Auflösbarkeit im Zeitbereich eingeschränkt, aufgrund zu niedrigerer Samplingfrequenz des vorhandenen Oszilloskops

# SIMULATION DIELEKTRISCHER HALBRAUM

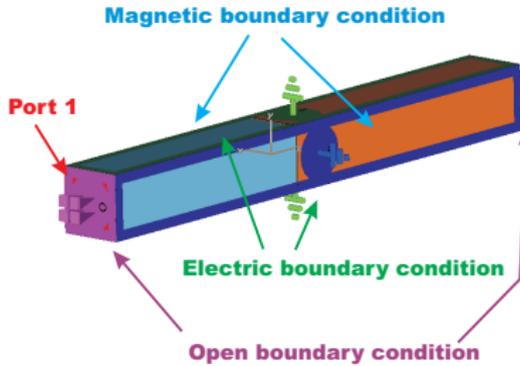
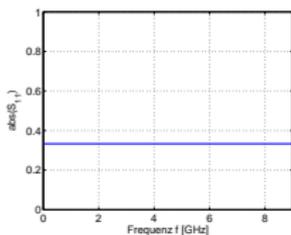
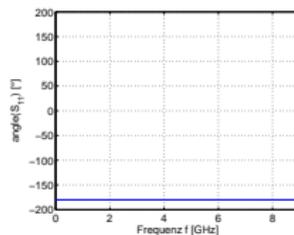
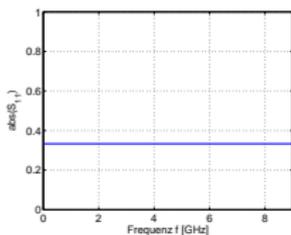
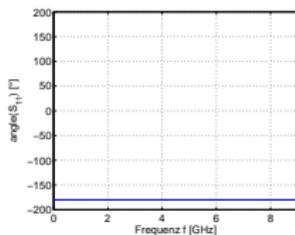


BILD: Modell zur Simulation des dielektrischen Halbraums

## SIMULATION DES DIELEKTRISCHEN HALBRAUMS

BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$ BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$

## SIMULATION DES DIELEKTRISCHEN HALBRAUMS

BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$ BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$ 

$$\underline{S}_{11} = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}}$$

# SIMULATION DES DIELEKTRISCHEN HALBRAUMS

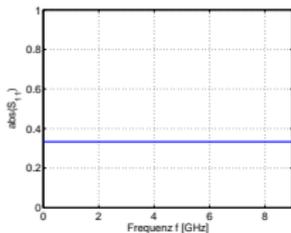


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$

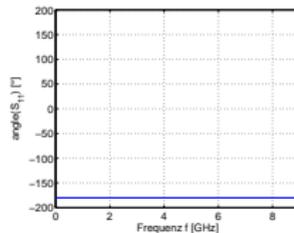
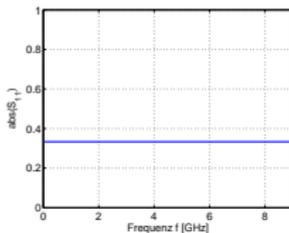
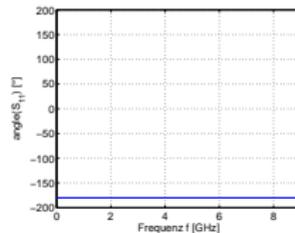


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$

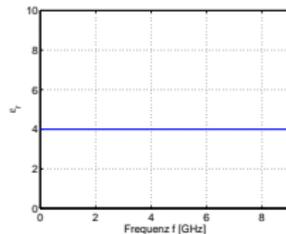
$$\underline{S}_{11} = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\epsilon_r = \left( \frac{\underline{S}_{11} - 1}{\underline{S}_{11} + 1} \right)^2$$

## SIMULATION DES DIELEKTRISCHEN HALBRAUMS

BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$ BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$ 

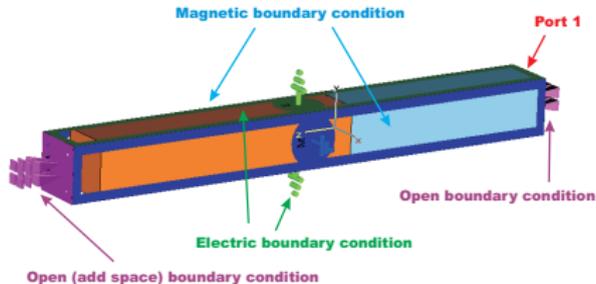
$$\underline{S}_{11} = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_r}}{1 + \sqrt{\epsilon_r}}$$

BILD:  $\epsilon_r$  über  $f$ 

$$\epsilon_r = \left( \frac{S_{11} - 1}{S_{11} + 1} \right)^2$$



# SIMULATION DER DIELEKTRISCHEN PLATTE



**BILD:** Modell zur Simulation der dielektrischen Platte

## dielektrische Platte

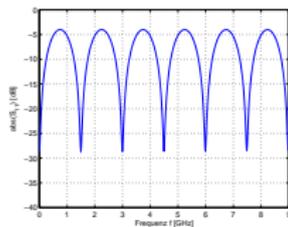


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$

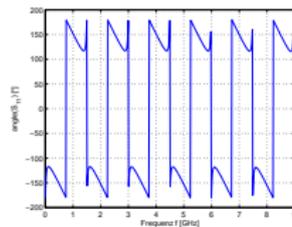
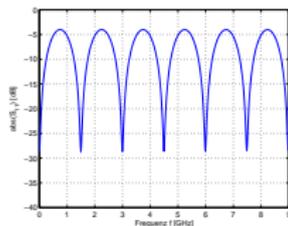
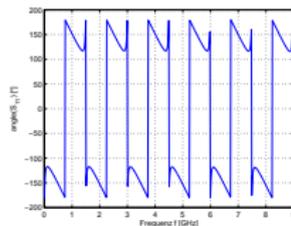
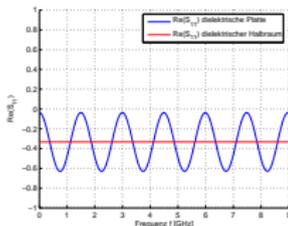
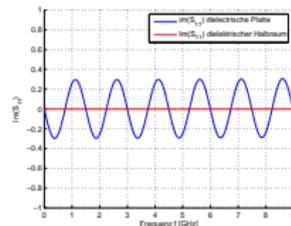


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$



## dielektrische Platte

BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$ BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$  über  $f$ BILD:  $\text{Re}(\epsilon_r)$  über  $f$ BILD:  $\text{Im}(\epsilon_r)$  über  $f$ 

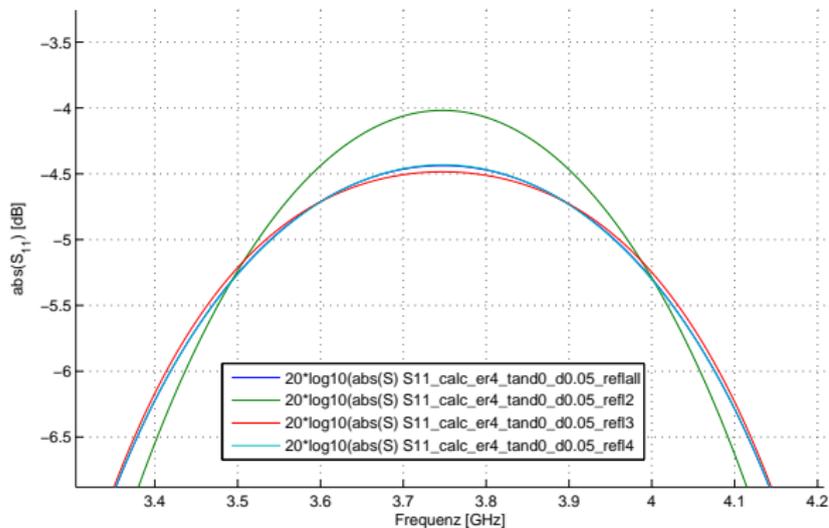


BILD:  $S_{11}$  bei unterschiedlicher Reflexionsanzahl



# RÜCKRECHNUNG

$$\underline{\Gamma}_0 = \frac{\underline{\Gamma}_1(1 - e^{-2\underline{\gamma}_2 d})}{1 - \underline{\Gamma}_1^2 e^{-2\underline{\gamma}_2 d}}$$





# RÜCKRECHNUNG

$$\underline{\Gamma}_0 = \frac{\underline{\Gamma}_1(1 - e^{-2\underline{\gamma}_2 d})}{1 - \underline{\Gamma}_1^2 e^{-2\underline{\gamma}_2 d}}$$

Dicke  $d$  ist zunächst bekannt

⇒ **Problem:**  $\underline{\epsilon}_r$  ist in  $\underline{\Gamma}_1$  und in  $\underline{\gamma}_2$  enthalten



# RÜCKRECHNUNG

$$\underline{\Gamma}_0 = \frac{\underline{\Gamma}_1(1 - e^{-2\underline{\gamma}_2 d})}{1 - \underline{\Gamma}_1^2 e^{-2\underline{\gamma}_2 d}}$$

Dicke  $d$  ist zunächst bekannt

⇒ **Problem:**  $\underline{\epsilon}_r$  ist in  $\underline{\Gamma}_1$  und in  $\underline{\gamma}_2$  enthalten ⇒ analytisch nicht auflösbar



# RÜCKRECHNUNG

$$\underline{\Gamma}_0 = \frac{\underline{\Gamma}_1(1 - e^{-2\underline{\gamma}_2 d})}{1 - \underline{\Gamma}_1^2 e^{-2\underline{\gamma}_2 d}}$$

Dicke  $d$  ist zunächst bekannt

⇒ **Problem:**  $\underline{\epsilon}_r$  ist in  $\underline{\Gamma}_1$  und in  $\underline{\gamma}_2$  enthalten ⇒ analytisch nicht auflösbar

⇒ **Lösung:** numerische Algorithmen



# RÜCKRECHNUNGSALGORITHMEN

- Complete-Bandwidth-Fit: MMSE über das gesamte Frequenzband



# RÜCKRECHNUNGSALGORITHMEN

- **Complete-Bandwidth-Fit:** MMSE über das gesamte Frequenzband
- **Splitted-Bandwidth-Fit:** MMSE über Teile des Frequenzbands



# RÜCKRECHNUNGSALGORITHMEN

- **Complete-Bandwidth-Fit:** MMSE über das gesamte Frequenzband
- **Splitted-Bandwidth-Fit:** MMSE über Teile des Frequenzbands
- **Get-thick:** quasianalytische Berechnung, zusätzlich Berechnung der Dicke

# GET-THICK

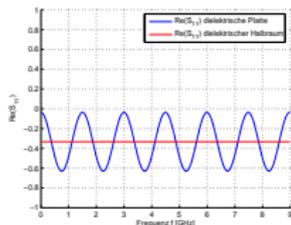


BILD:  $\text{Re}(\epsilon_r)$  über  $f$

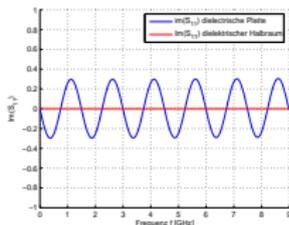


BILD:  $\text{Im}(\epsilon_r)$  über  $f$

Vorraussetzung:  $\epsilon_r$  **stückweise konstant** über der Frequenz

# GET-THICK

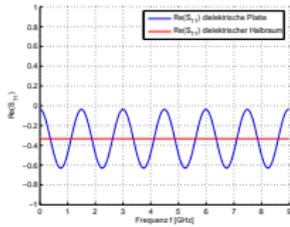


BILD:  $\text{Re}(\epsilon_r)$  über  $f$

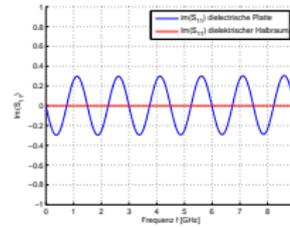


BILD:  $\text{Im}(\epsilon_r)$  über  $f$

Vorraussetzung:  $\epsilon_r$  **stückweise konstant** über der Frequenz

- Mittelwertbildung über eine Sinusschwingung ergibt den imReflektionsfaktor der Grenzschicht

# GET-THICK

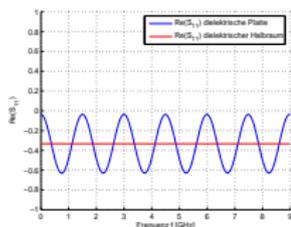


BILD:  $\text{Re}(\epsilon_r)$  über  $f$

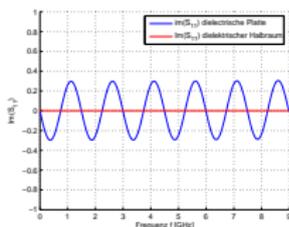


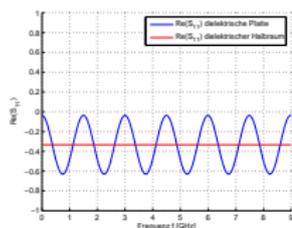
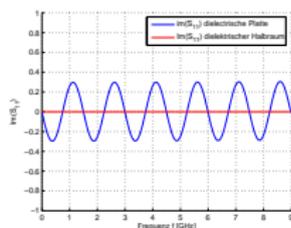
BILD:  $\text{Im}(\epsilon_r)$  über  $f$

Vorraussetzung:  $\epsilon_r$  **stückweise konstant** über der Frequenz

- Mittelwertbildung über eine Sinusschwingung ergibt den imReflektionsfaktor der Grenzschicht
- Rückrechnung wie im Fall des dielektrischen Halbraums



## GET-THICK

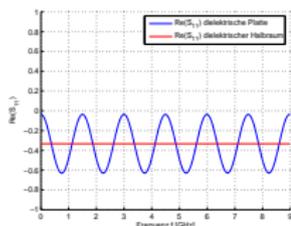
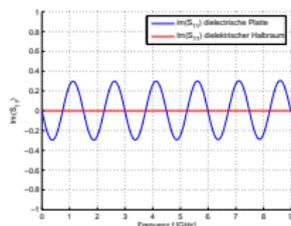
BILD:  $\text{Re}(\epsilon_r)$  über  $f$ BILD:  $\text{Im}(\epsilon_r)$  über  $f$ 

Vorraussetzung:  $\epsilon_r$  **stückweise konstant** über der Frequenz

- Mittelwertbildung über eine Sinusschwingung ergibt den imReflektionsfaktor der Grenzschicht
- Rückrechnung wie im Fall des dielektrischen Halbraums
- Abstand zwischen zwei Minima ermitteln ( $\lambda/2$ -Transformator)



## GET-THICK

BILD:  $\text{Re}(\epsilon_r)$  über  $f$ BILD:  $\text{Im}(\epsilon_r)$  über  $f$ 

Voraussetzung:  $\epsilon_r$  **stückweise konstant** über der Frequenz

- Mittelwertbildung über eine Sinusschwingung ergibt den im Reflektionsfaktor der Grenzschicht
- Rückrechnung wie im Fall des dielektrischen Halbraums
- Abstand zwischen zwei Minima ermitteln ( $\lambda/2$ -Transformator)
- Dicke ermitteln aus  $\lambda/2$  Beziehung

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation
- 4 **Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne**
- 5 Messergebnisse
- 6 Zusammenfassung

# MESSPRINZIP

Messung des Reflexionsparameters  $\underline{S}_{11}$  der dielektrischen Platte an der Grenzschicht



# MESSPRINZIP

Messung des Reflexionsparameters  $S_{11}$  der dielektrischen Platte an der Grenzschicht

⇒ Messung mit dem Netzwerkanalysator





# MESSPRINZIP

Messung des Reflexionsparameters  $S_{11}$  der dielektrischen Platte an der Grenzschicht

⇒ Messung mit dem Netzwerkanalysator

Messfehler





# MESSPRINZIP

Messung des Reflexionsparameters  $\underline{S}_{11}$  der dielektrischen Platte an der Grenzschicht

⇒ Messung mit dem Netzwerkanalysator

Messfehler

⇒ **Kalibrierung**



# 3-TERM ERROR

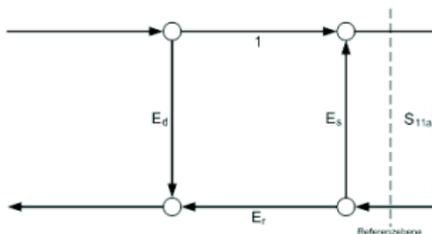


BILD: Signalflussdiagramm der systematischen Fehler



# 3-TERM ERROR

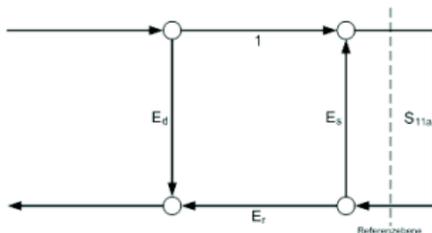


BILD: Signalflussdiagramm der systematischen Fehler

3 Fehler  $\Rightarrow$  3 Standards

- Short: Metallplatte
- Load: Absorbermaterial
- Open: nicht möglich im freien Raum  
 $\Rightarrow$  Shifted Short oder definiertes Material



# MESSAUFBAU

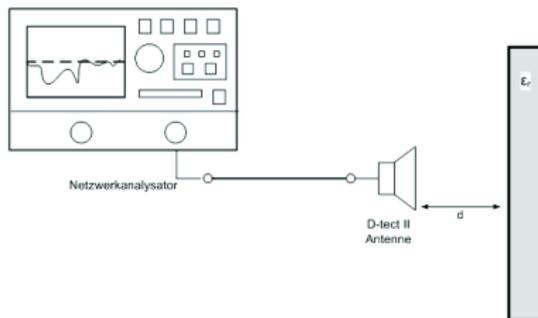


BILD: Messaufbau

## MESSAUFBAU

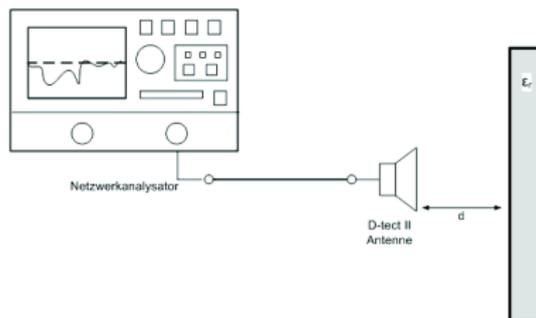


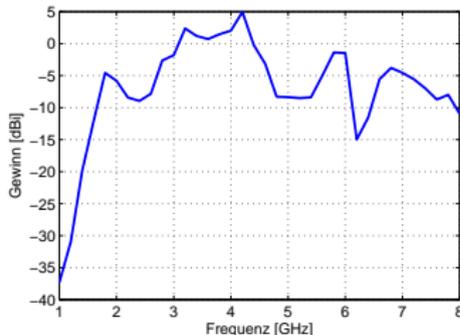
BILD: Messaufbau

Größe der Platte in Abhängigkeit des 3dB-Öffnungswinkels und des Fernfeldabstands der Antenne wählen

# EIGENSCHAFTEN DER ANTENNE

## Art der Antenne: gerichteter Dipol

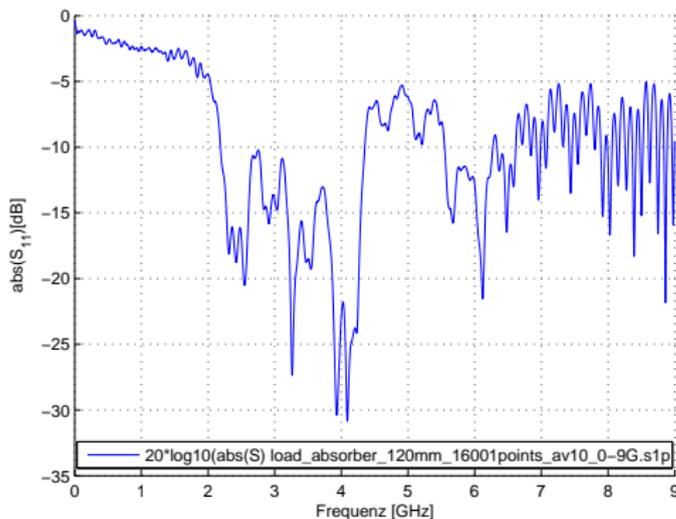
- Fernfeldabstand:  $r_{ff} \approx 100\text{mm}$
- Nahfeldbereich:  $r_{rn} \approx 25\text{mm}$
- größter 3dB-Öffnungswinkel im Frequenzbereich zwischen 2-8 GHz:  
 $\alpha_{3dB} = 105^\circ$
- Gewinn:



## Inhalt

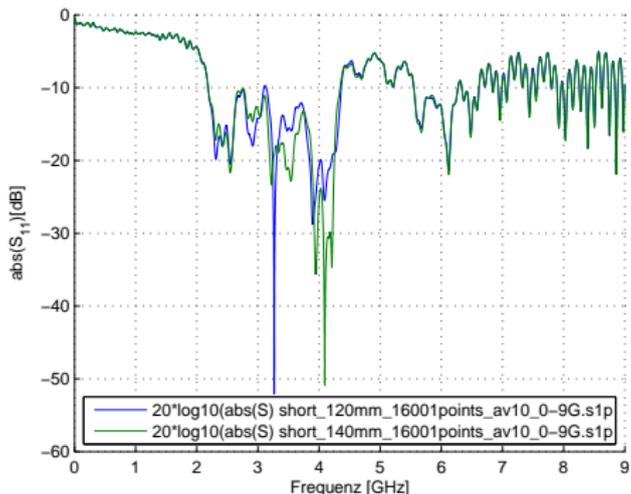
- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne
- 5 **Messergebnisse**
- 6 Zusammenfassung

# ROHDATEN ABSORBER



**BILD:** Empfangssignals einer Absorberplatte im Abstand von 120mm

# ROHDATEN DES SHORTS UND DES SHIFTED SHORTS



**BILD:** Empfangssignals zweier Kurzschlüsse bei 120mm und 140mm

Messergebnis im Fernfeldbereich

# MESSERGEBNIS VON POLYAMID IM ABSTAND VON 120MM NACH KALIBRIERUNG

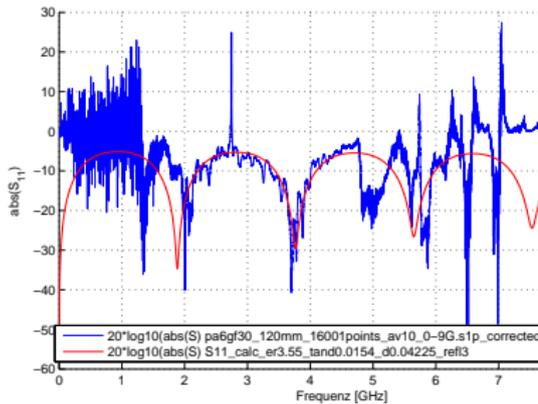


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

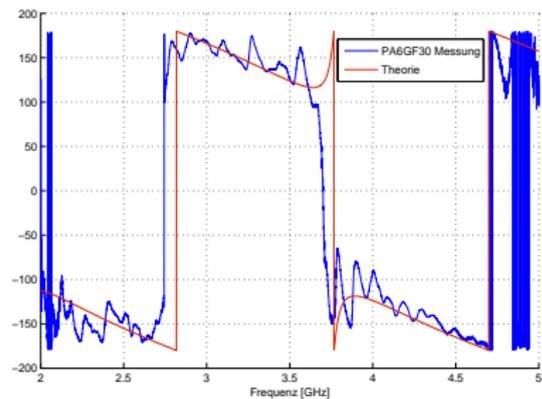


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

Theorie aus Referenzmessung:  $\epsilon'_r = 3,55$  und  $\tan \delta = 0,0154$

Messergebnis im Fernfeldbereich

# MESSERGEBNIS VON TEFLON IM ABSTAND VON 120MM NACH KALIBRIERUNG

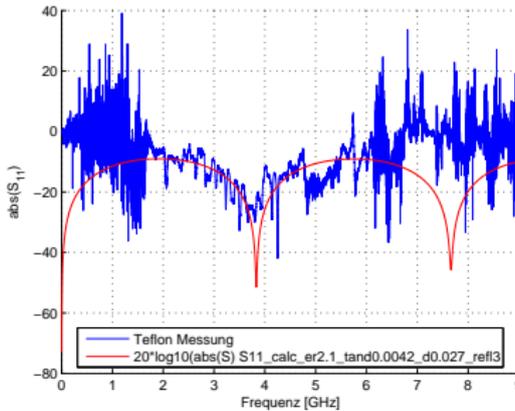


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

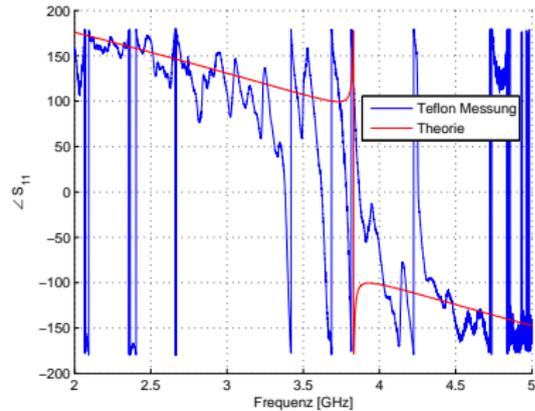


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

Theorie aus Referenzmessung:  $\epsilon_r' = 2,1$  und  $\tan \delta = 0,00042$

Messergebnis im Fernfeldbereich

# MESSERGEBNIS VON TEFLON IM ABSTAND VON 120MM NACH KALIBRIERUNG UND DATENFILTERUNG

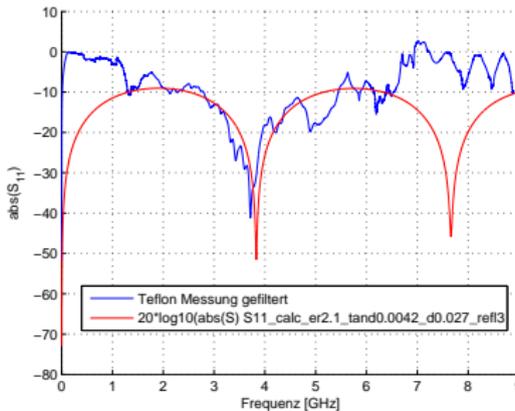


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

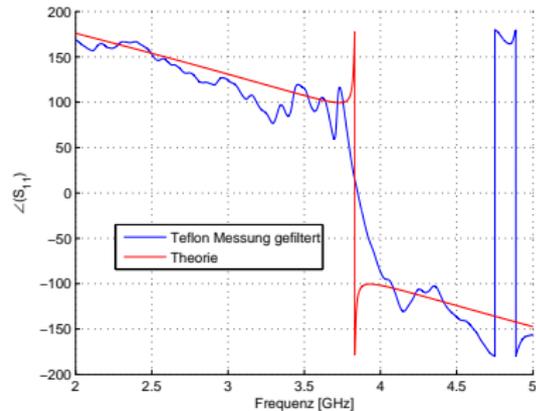


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

Theorie aus Referenzmessung:  $\epsilon_r' = 2,1$  und  $\tan \delta = 0,00042$

strahlender Nahfeldbereich

# MESSERGEBNIS VON POLYAMID IM ABSTAND VON 50MM NACH KALIBRIERUNG UND DATENFILTERUNG

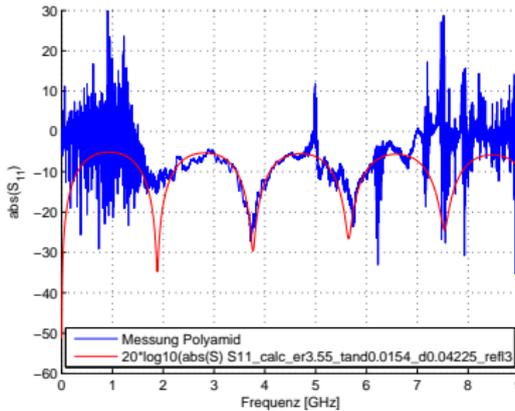


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

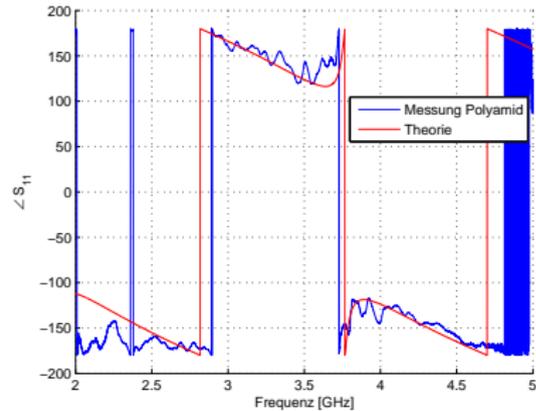


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

Theorie aus Referenzmessung:  $\epsilon_r' = 3,55$  und  $\tan \delta = 0,0154$



strahlender Nahfeldbereich

# MESSERGEBNIS VON TEFLON IM ABSTAND VON 50MM NACH KALIBRIERUNG UND DATENFILTERUNG

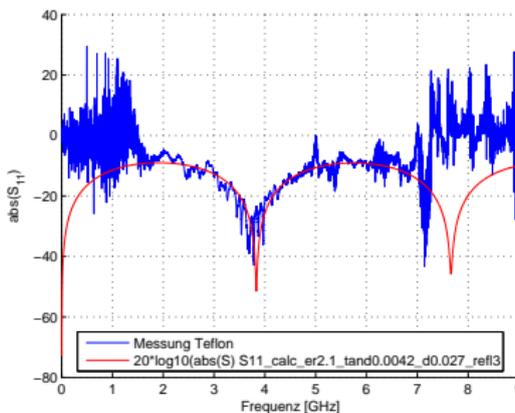


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

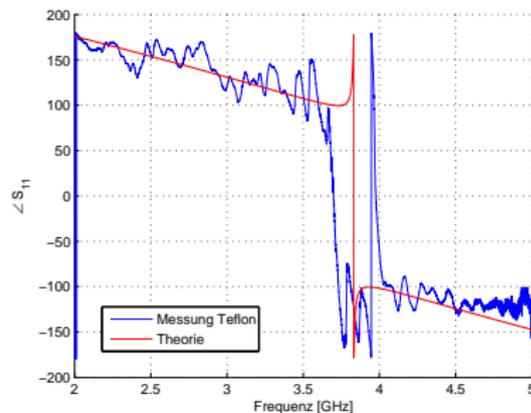


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

Theorie aus Referenzmessung:  $\epsilon_r' = 2,1$  und  $\tan \delta = 0,00042$

# MESSERGEBNIS VON POLYAMID IM REAKTIVEN NAFELDBEREICH

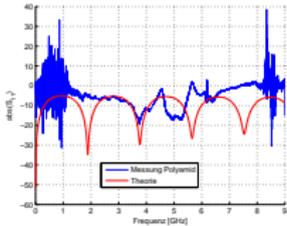


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  mit  $d=10\text{mm}$

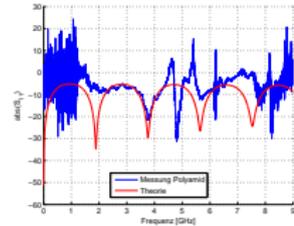


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  mit  $d=20\text{mm}$

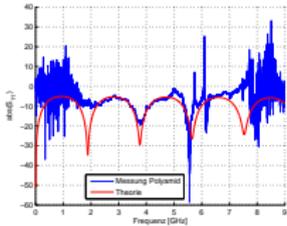


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  mit  $d=30\text{mm}$

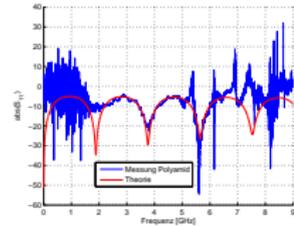


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$  mit  $d=40\text{mm}$

# BEISPIEL: POLYAMID IM ABSTAND VON 40MM MIT RÜCKRECHNUNG SPLITTED-BANDWIDTH

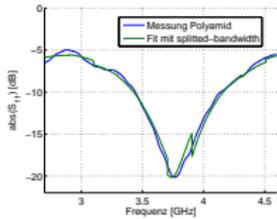


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

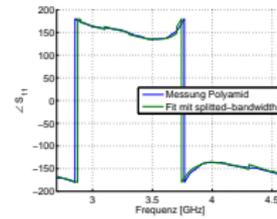


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$



# BEISPIEL: POLYAMID IM ABSTAND VON 40MM MIT RÜCKRECHNUNG SPLITTED-BANDWIDTH

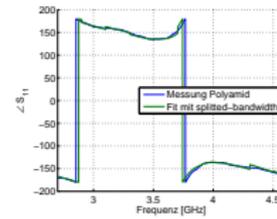
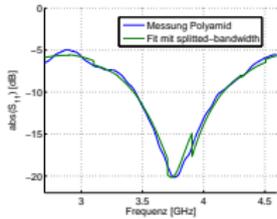


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

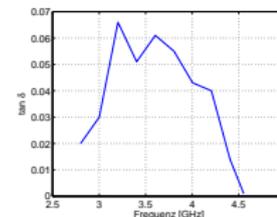
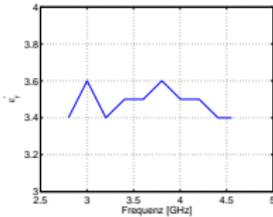


BILD:  $\epsilon'$

BILD:  $\tan \delta$





# BEISPIEL 2: POLYPROPYLEN MIT HILFE DES GET-THICK ALGORITHMUS

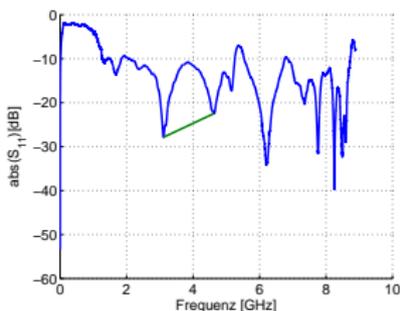


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

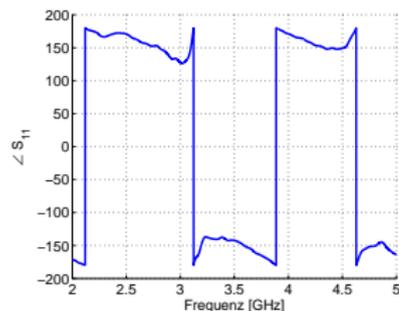


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$





# BEISPIEL 2: POLYPROPYLEN MIT HILFE DES GET-THICK ALGORITHMUS

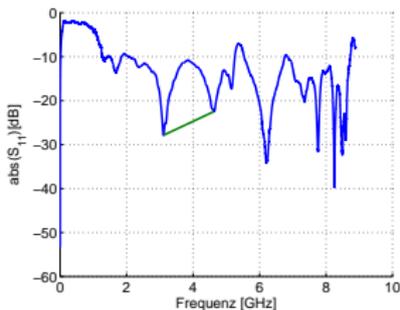


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

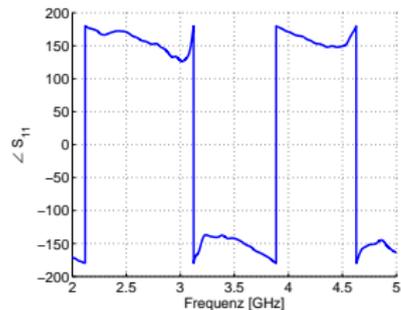


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

	Referenzmessung	Messergebnis
$\epsilon_r$	2,37	2,19
$\tan \delta$	0,0072	-0,0165

# BEISPIEL 2: POLYPROPYLEN MIT HILFE DES GET-THICK ALGORITHMUS

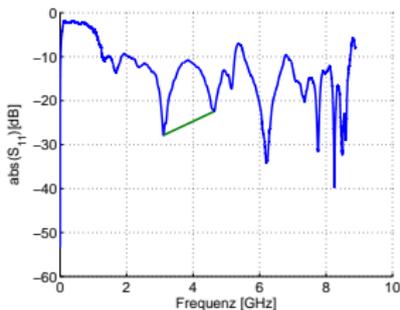


BILD: Betrag von  $\underline{S}_{11}$

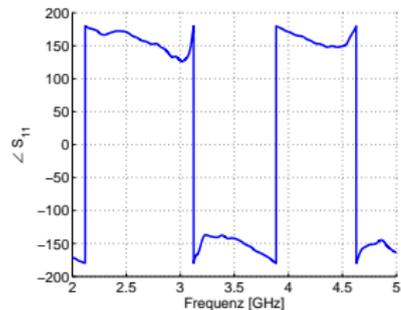


BILD: Phase von  $\underline{S}_{11}$

	Referenzmessung	Messergebnis
$\epsilon_r$	2,37	2,19
$\tan \delta$	0,0072	-0,0165
Dicke[mm]	65	66,2

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Simulation
- 4 Messverfahren und Eigenschaften der verwendeten Antenne
- 5 Messergebnisse
- 6 **Zusammenfassung**

# ZUSAMMENFASSUNG

- Simulation ermöglicht Vorhersage des Reflexionsparameterverlaufs gegenüber der Frequenz abhängig von  $\epsilon_r$

## ZUSAMMENFASSUNG

- Simulation ermöglicht Vorhersage des Reflexionsparameterverlaufs gegenüber der Frequenz abhängig von  $\epsilon_r$
- Rückrechneralgorithmen erlauben die Bestimmung der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$

## ZUSAMMENFASSUNG

- Simulation ermöglicht Vorhersage des Reflexionsparameterverlaufs gegenüber der Frequenz abhängig von  $\epsilon_r$
- Rückrechenalgorithmen erlauben die Bestimmung der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$
- Kalibrierungsmethode erlaubt die Messung des Reflexionsparameters ab dem strahlenden Nahfeld



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**