

MASTERARBEIT

Investigation of the Influence of the RF Shield on the Impedance of Meander Dipole Coils in 7 Tesla MR Imaging System

angefertigt von

Youssef Saidi

bei

Prof. Dr.-Ing. K. Solbach

Fachgebiet Hochfrequenztechnik

Universität Duisburg-Essen

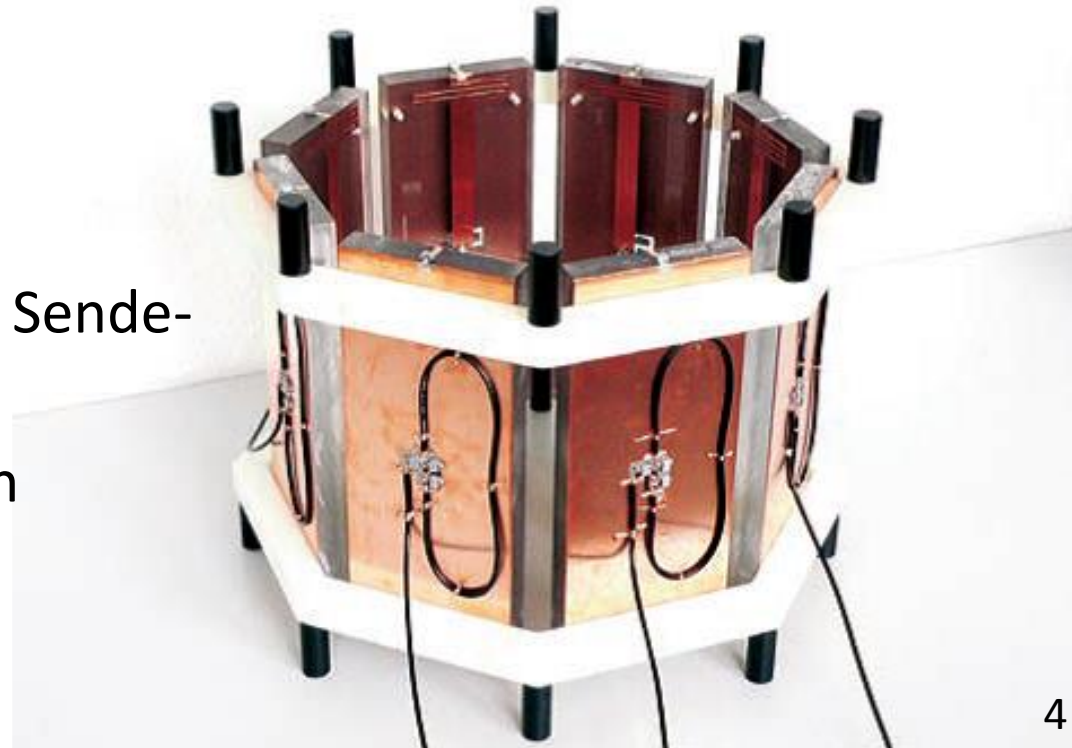
- Einführung
- Grundlagen
- Validierung des Simulationsmodells
- Ergebnisse
- Resümee und Ausblick

- Sendeverhalten eines HF-Dipols als Funktion vom
 - Abstand zu einer zylinderförmigen RF-Abschirmung
 - Abstand zu einem Phantom
- **Figures of merit**
 - Antennenstrahlungswiderstand **R**
 - Gütemaß **Q-Faktor**
- Kopplung zwischen zwei benachbarten Elementen ebenfalls als Funktion vom
 - Abstand zu einer zylinderförmigen RF-Abschirmung
 - Abstand zu einem Phantom

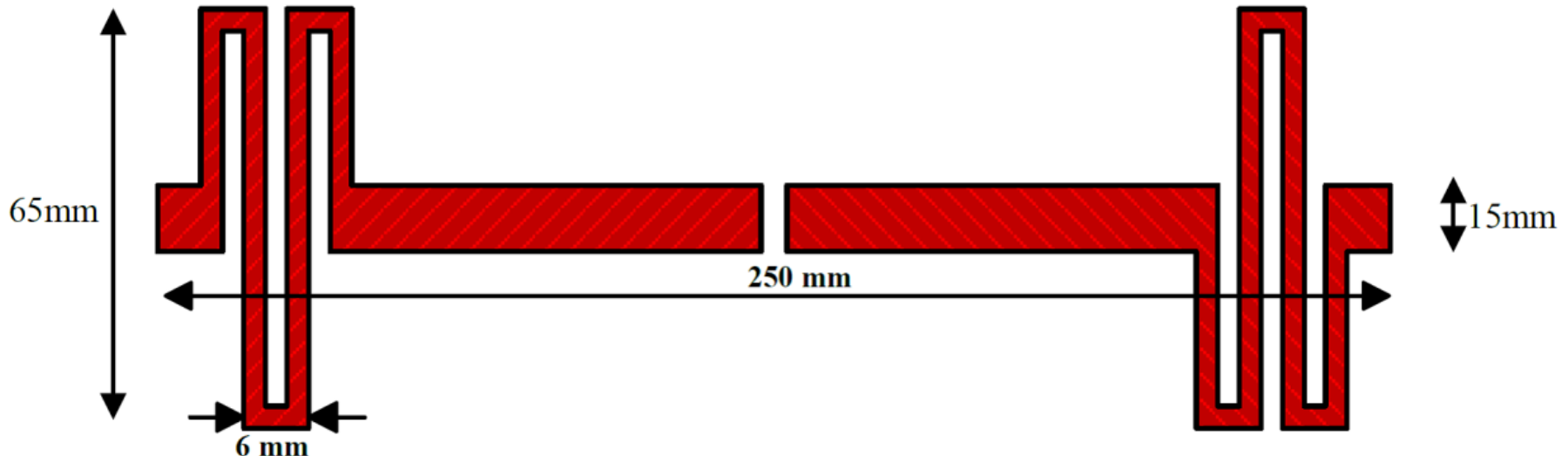
- Herausforderungen der 7-Tesla MRT
 - Wellenlänge in der Größenordnung einiger Organe
 - Inhomogenes Sendefeld
 - Eindringtiefe ändert sich (andere Flipwinkel α)

➔ **Bildartefakte**

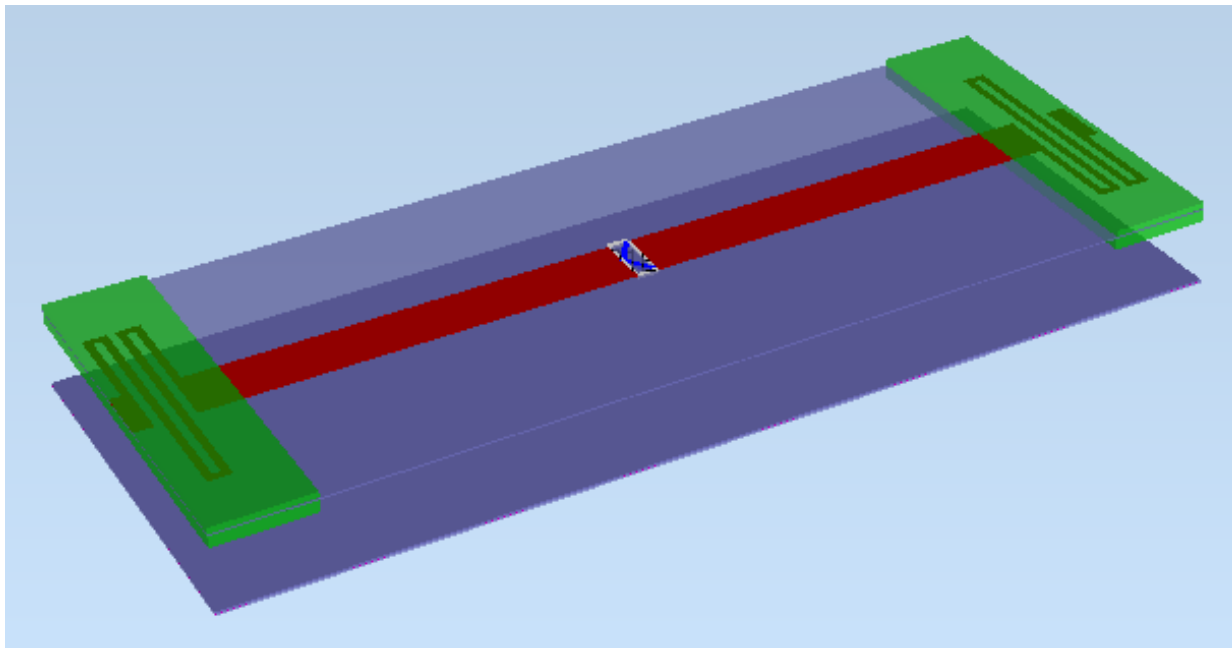
- Lösung
 - **HF-Shimming**
 - Verwendung mehrerer Sende- und Empfangsspulen
 - Individuelles Ansteuern



- HF-Einheit eines 7-Tesla MRT-Systems besteht aus mehreren RF-Spulen
- Mäanderelement
 - hohe magnetische Feldstärken
 - hohes *FOV*
 - geringe Bandbreite
 - hohe Güte



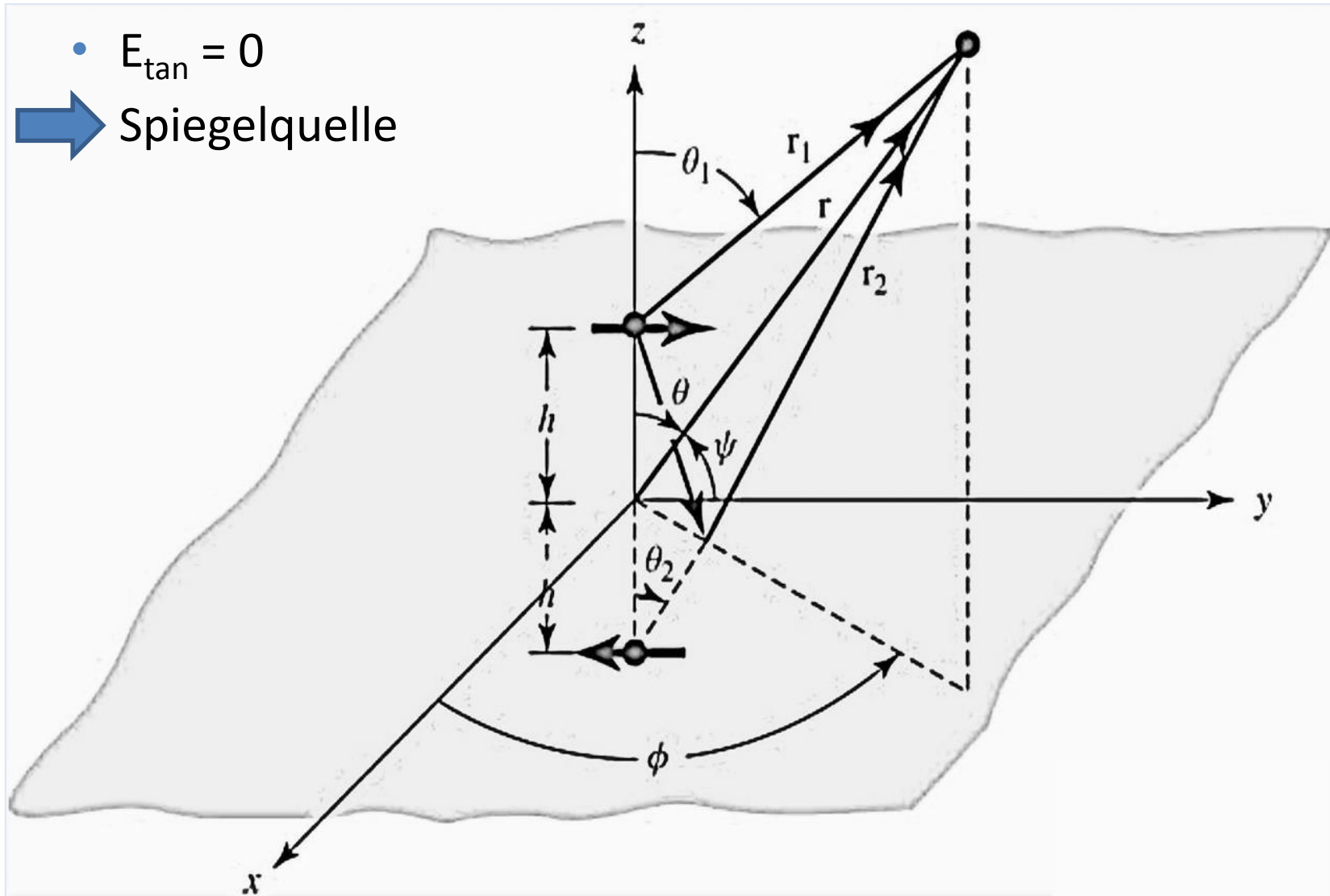
- 60 % der Länge verkürzt und in einem Mäander gewunden
- Dielektrisches Substrat auf die Mäander-Arme montiert
- ➔ Höhere B_1 -Werte bei gleichzeitiger Reduktion der E-Feldstärken und der Kopplung zwischen den Antennen
- Groundplane: Länge von 25 cm und Breite von 10 cm



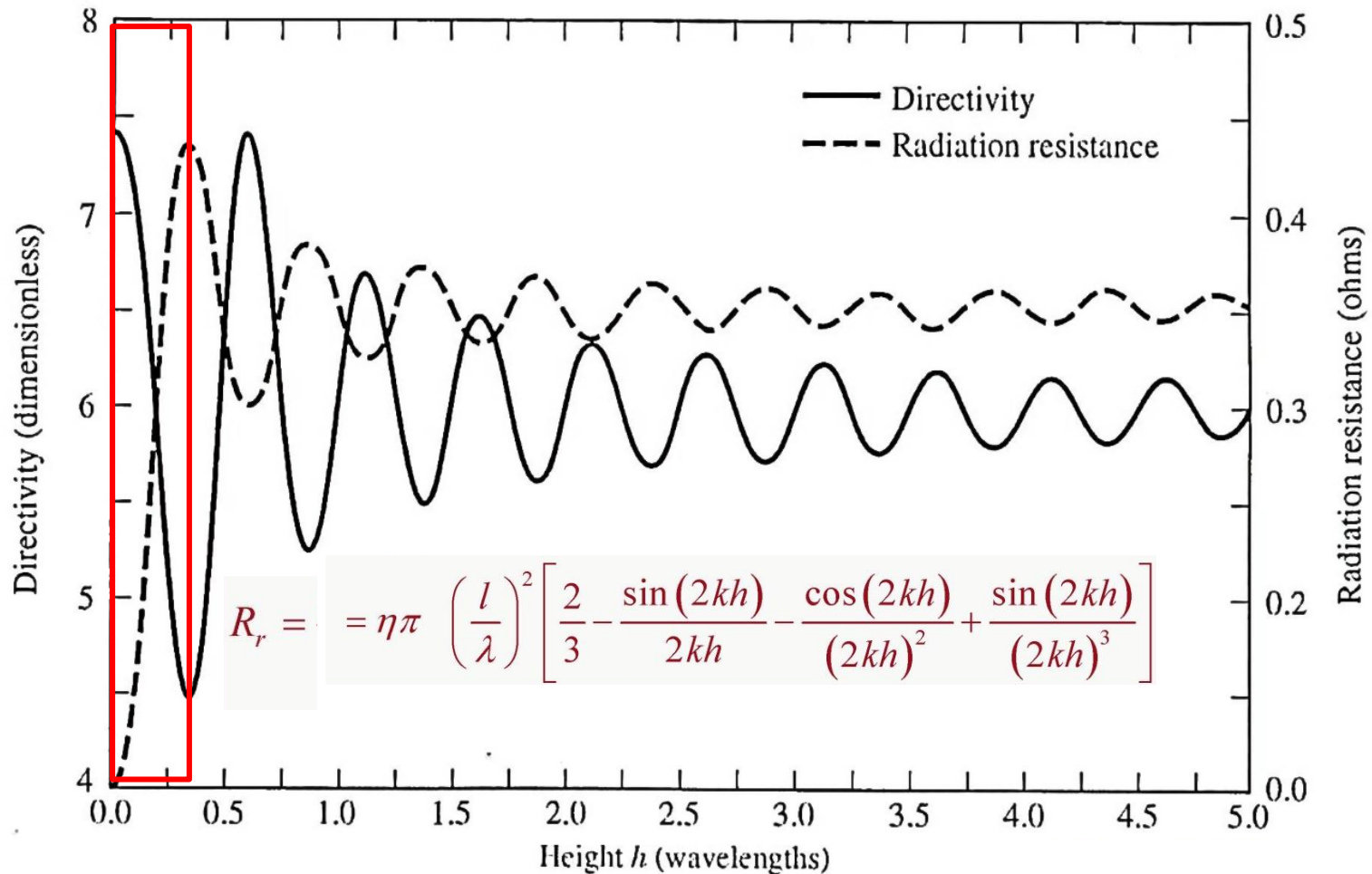
reflektierende Fläche

- $E_{\text{tan}} = 0$

➔ Spiegelquelle



- Strahlungswiderstand eines vertikal ausgerichteten Dipols über einer leitenden Fläche



- Permittivität und Leitfähigkeit im menschlichen Körper

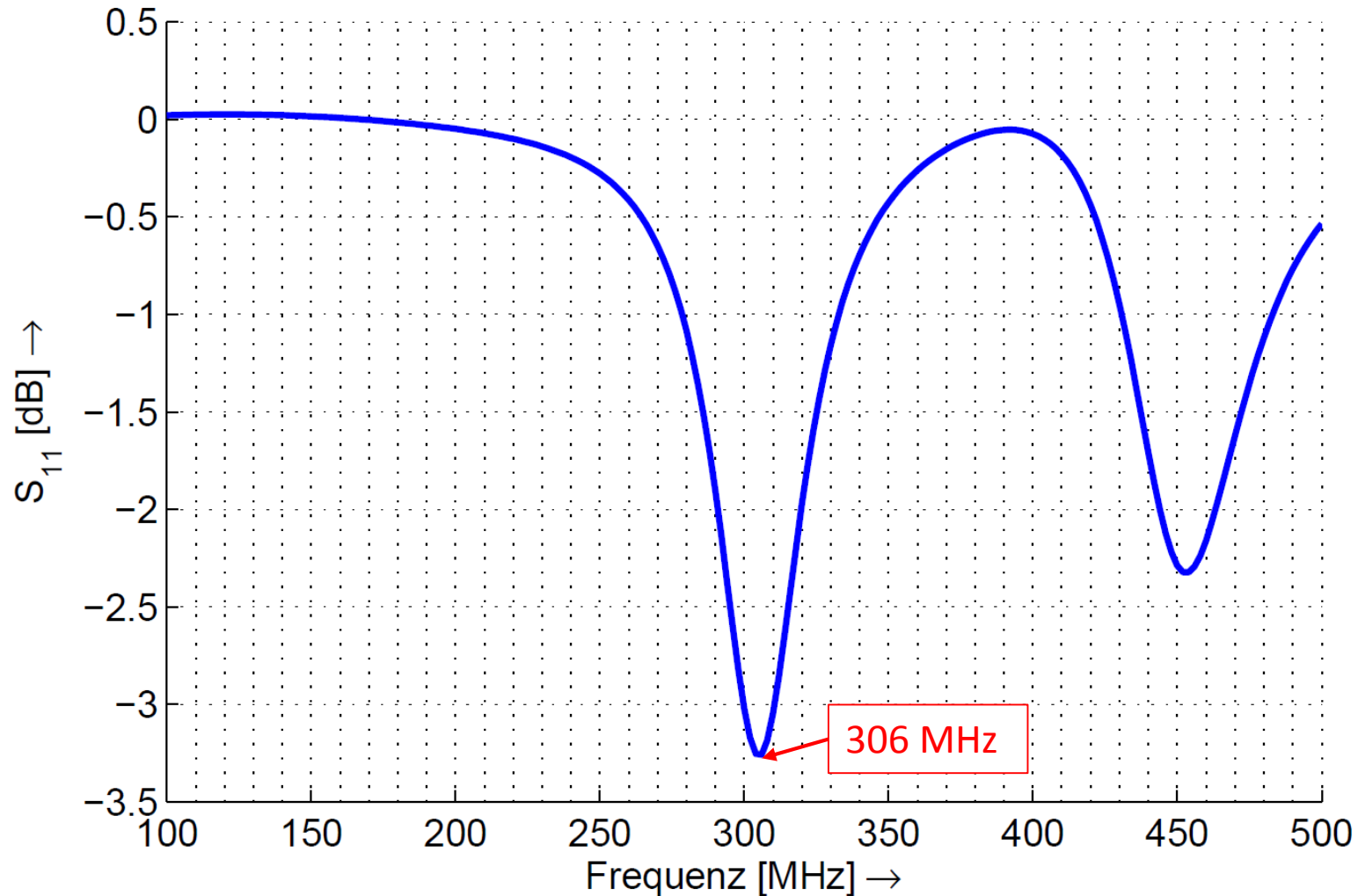
| | ϵ_r | σ (S/m) |
|-------------|--------------|----------------|
| <i>Head</i> | 43.5 | 0.87 |
| <i>Body</i> | 56.7 | 0.94 |

- zusätzliche resistive Belastung
- kapazitive Belastung

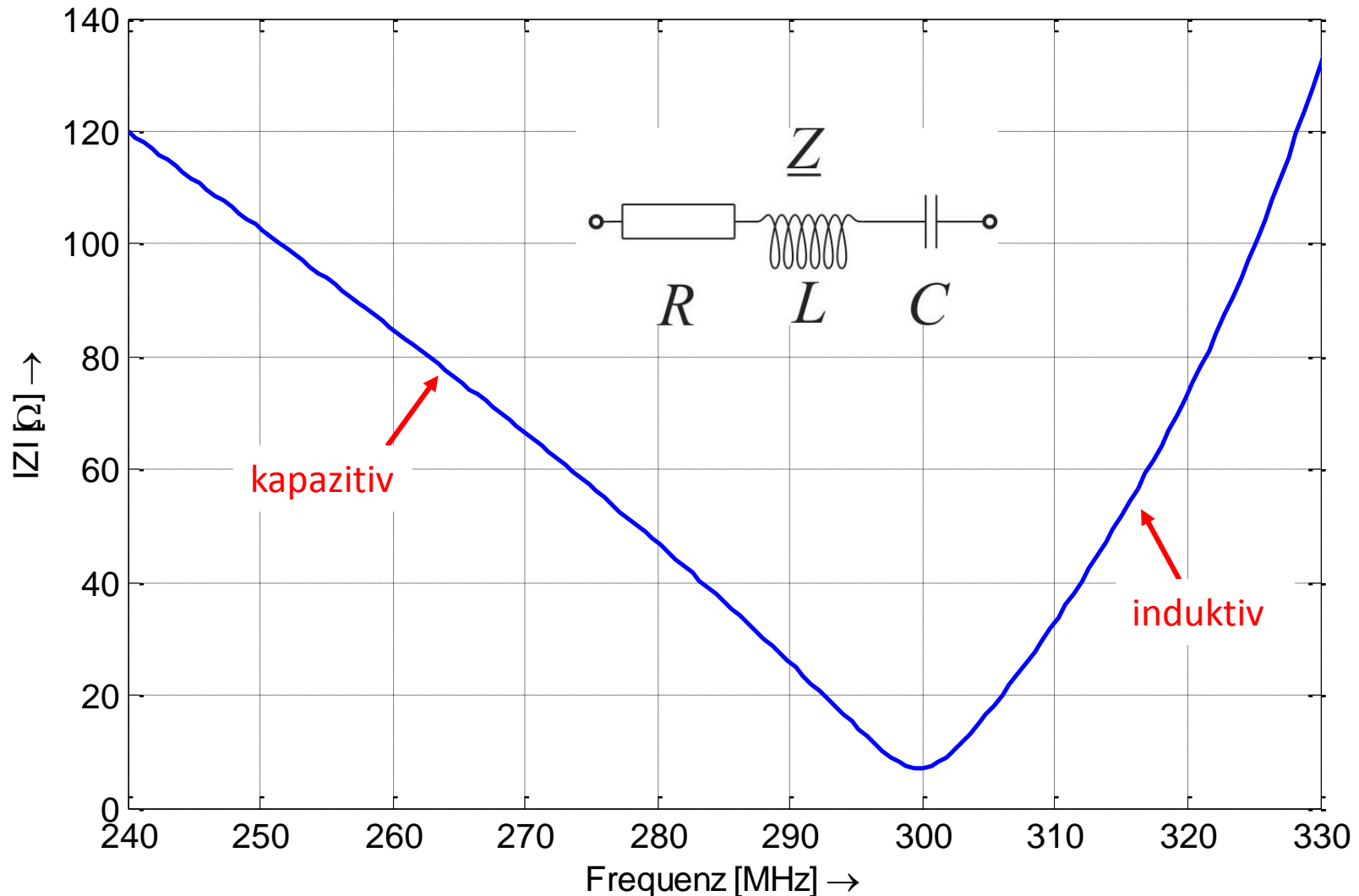
➡ Verstimmung: Verschiebung der Resonanzfrequenz der HF-Spulen

- $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
- $v(f) = \frac{f_0}{f_r} - \frac{f_r}{f_0}$

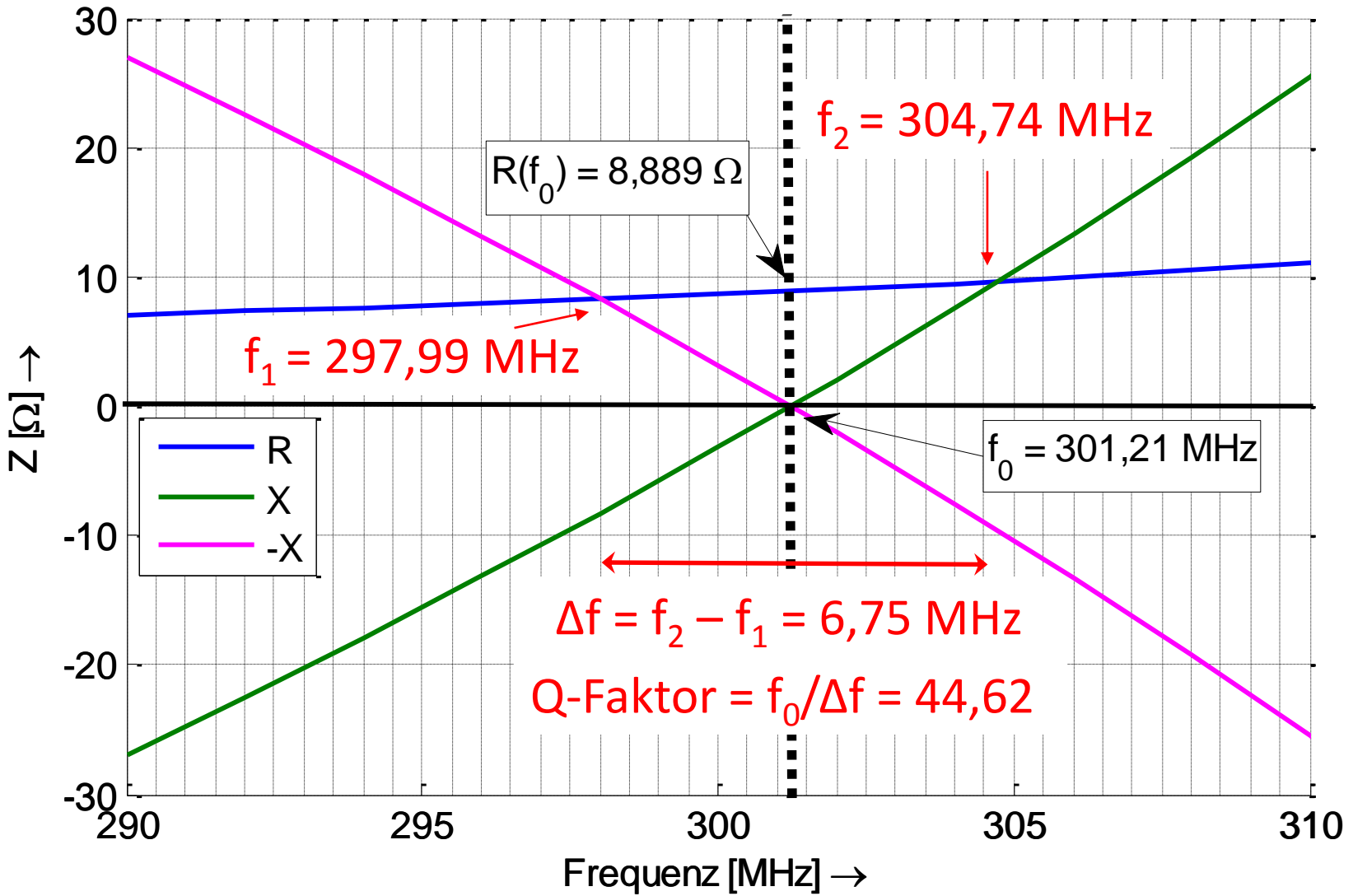
- Eingangsreflexionsfaktor S_{11}



- Frequenzverlauf der Antennenimpedanz $|Z|$

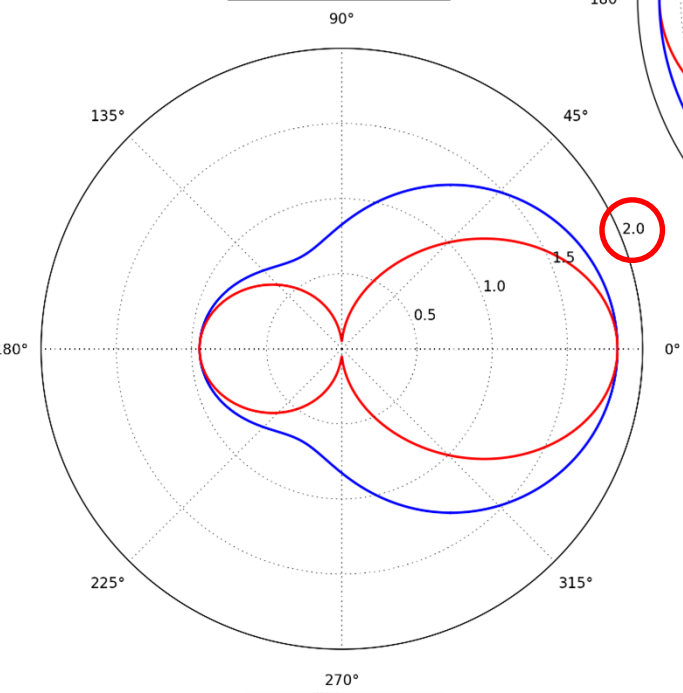


■ Frequenzverlauf der Antennenimpedanz Z

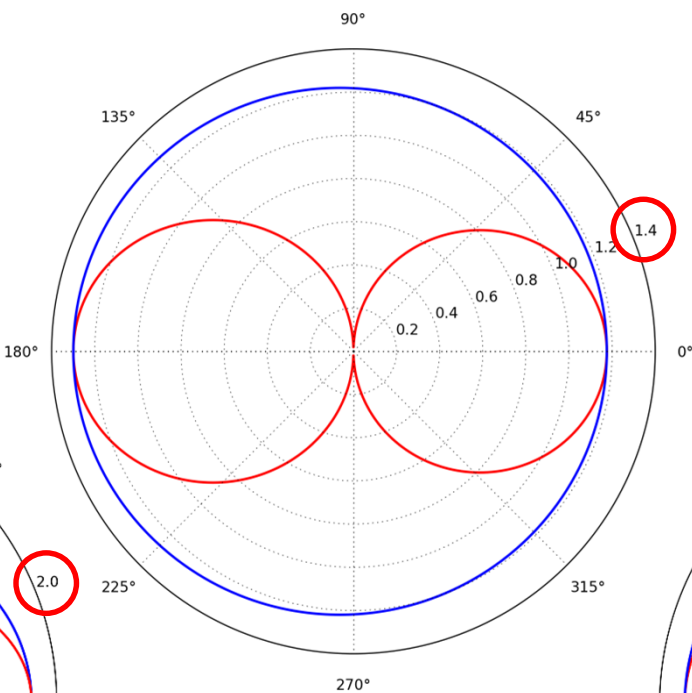


- Strahlungscharakteristik: $|E|$ als Funktion von Θ

RF-Shield

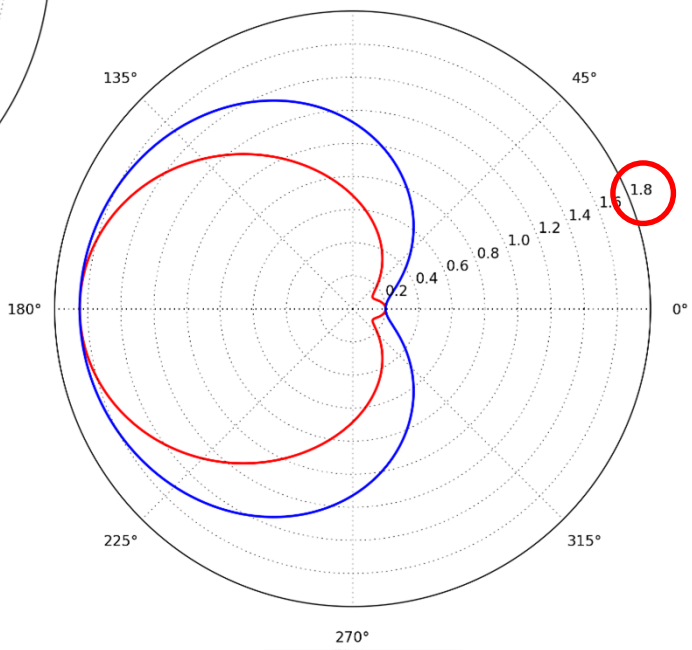


Θ [grad]



Θ [grad]

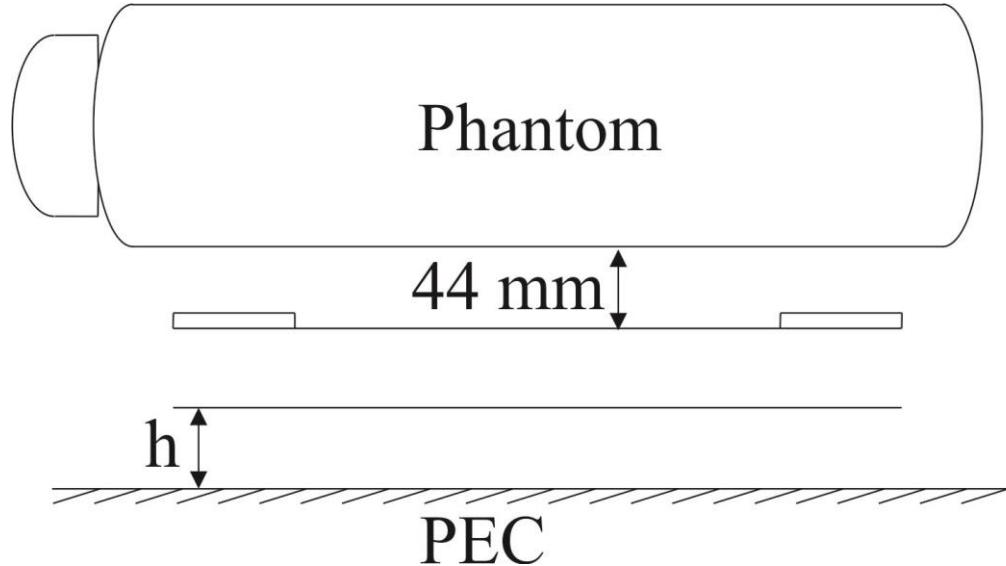
Phantom



Θ [grad]

- $\varphi = 0^\circ$
- $\varphi = 90^\circ$

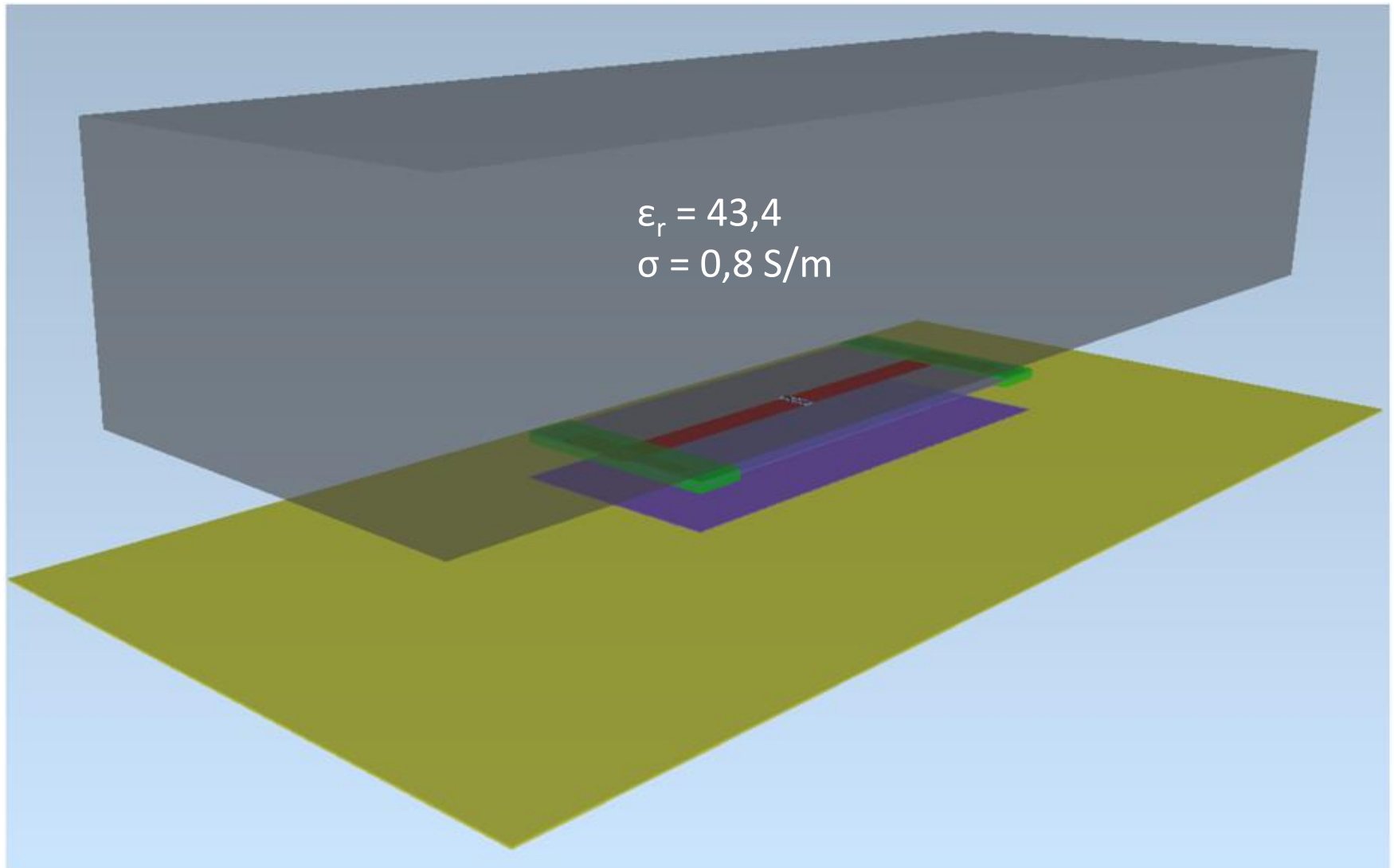
- Messergebnisse entsprechen den theoretischen Vorgaben



| h [mm] | f_0 [MHz] | R_1 [Ω] |
|------------------|-------------|--------------------|
| 4 | 314,5 | 6,1 |
| 24 | 315,5 | 7 |
| 45 | 316 | 7,7 |
| 90 | 315,5 | 10,3 |
| ohne Abschirmung | 315 | 15 |

> 298 MHz

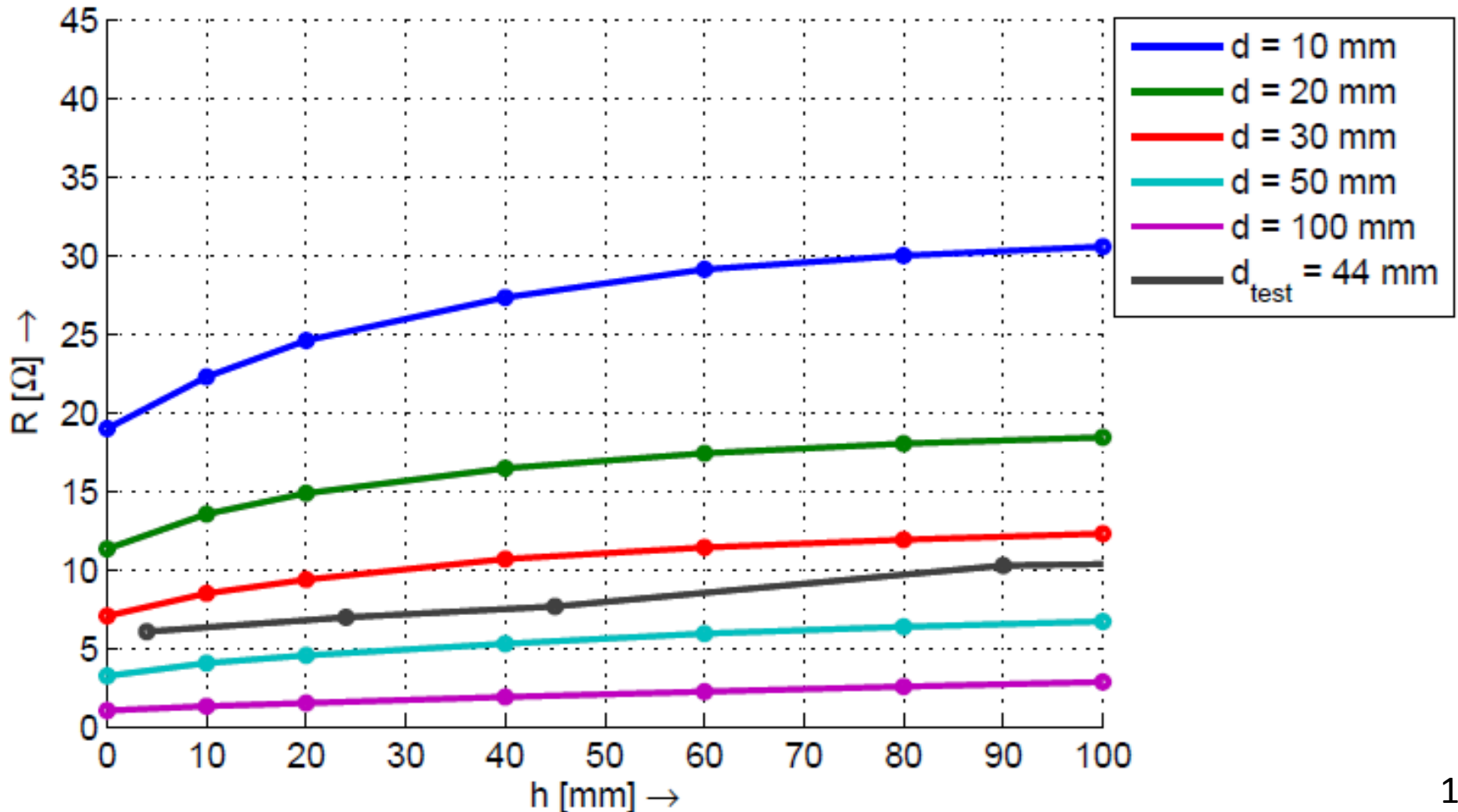
- Simulationsaufbau



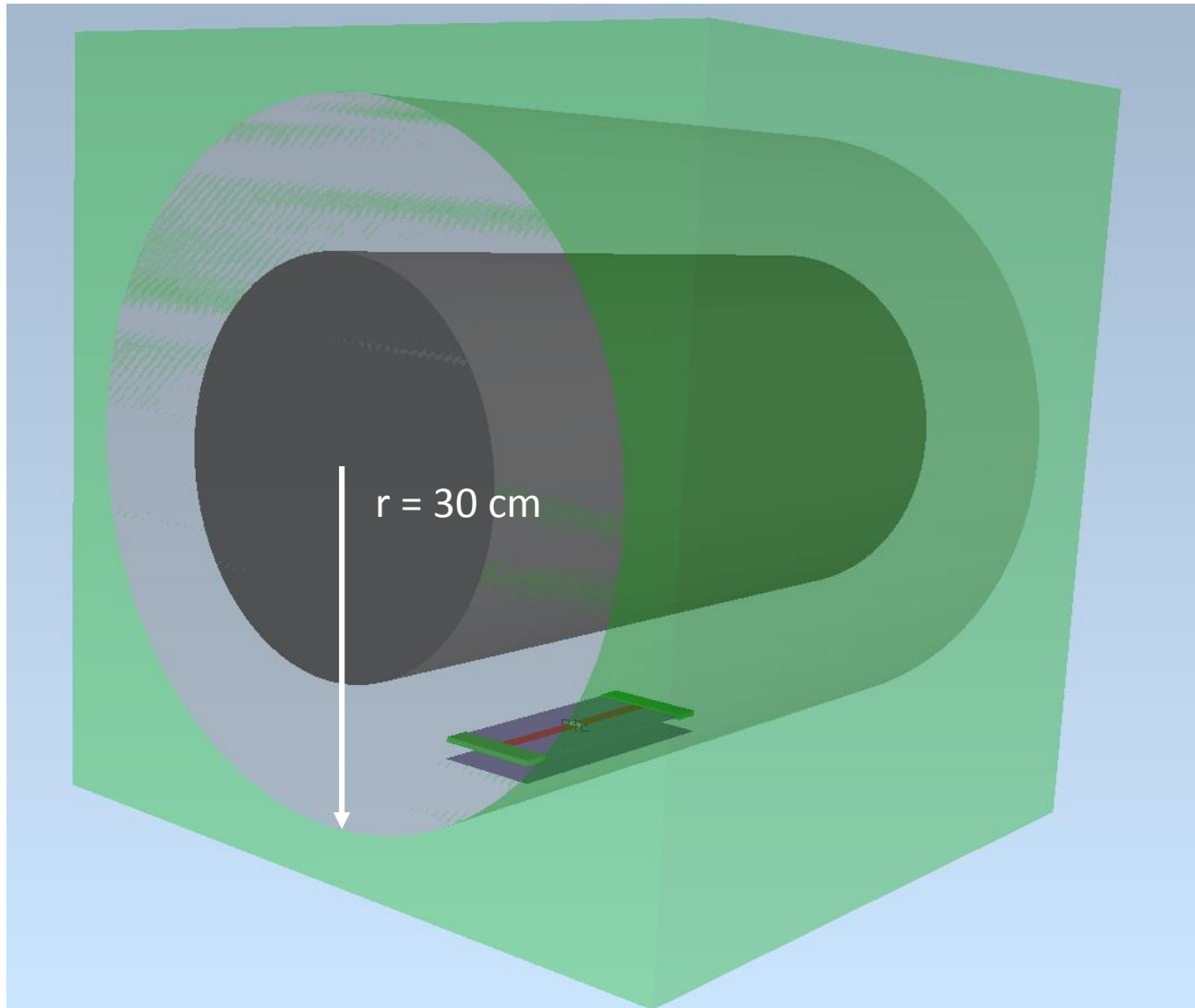
- Simulationsergebnisse für einen Abstand $d = 50$ mm zum Phantom

| h [mm] | f_0 [MHz] | R_1 [Ω] |
|------------------|-------------|--------------------|
| 0 | 296,434 | 3,31 |
| 10 | 297,877 | 4,09 |
| 20 | 298,257 | 4,62 |
| 40 | 298,475 | 5,38 |
| 60 | 298,520 | 5,92 |
| 80 | 298,529 | 6,34 |
| 100 | 298,524 | 6,68 |
| ohne Abschirmung | 298,922 | 8,27 |

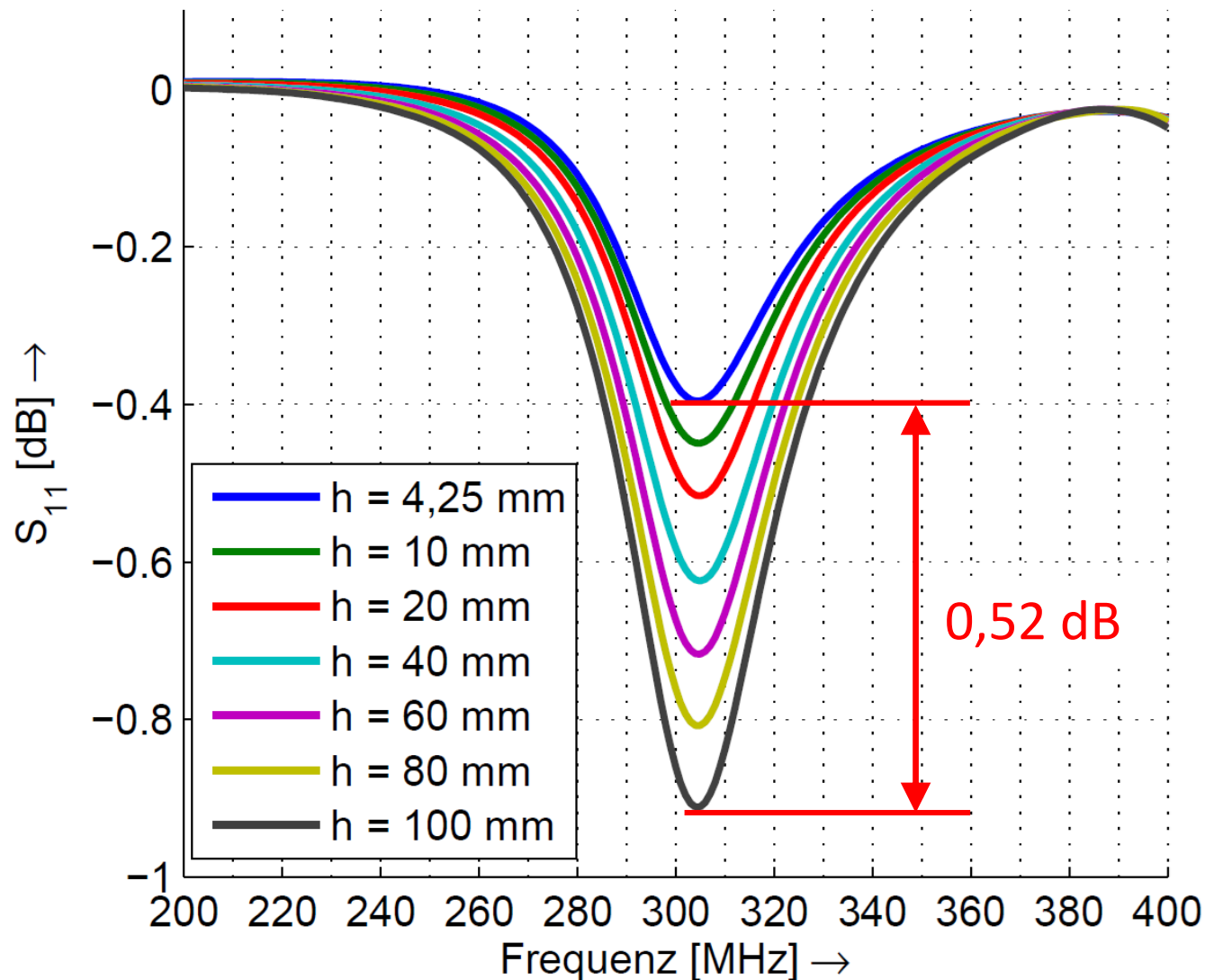
- Prinzipiell gleicher Verlauf von simulationsbasierten und messtechnisch erfassten Werten



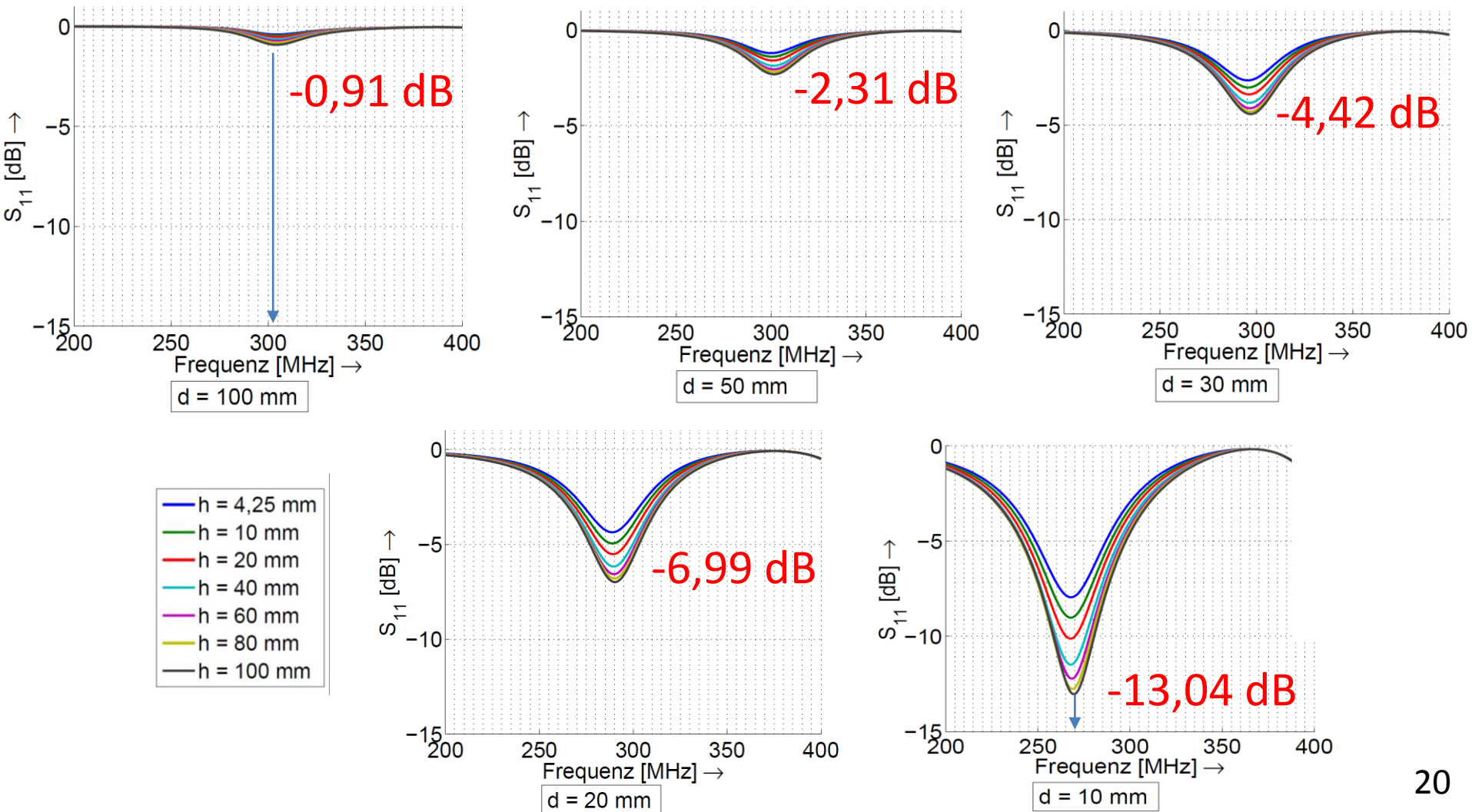
- Simulationsaufbau mit nichtplanaren Elementen



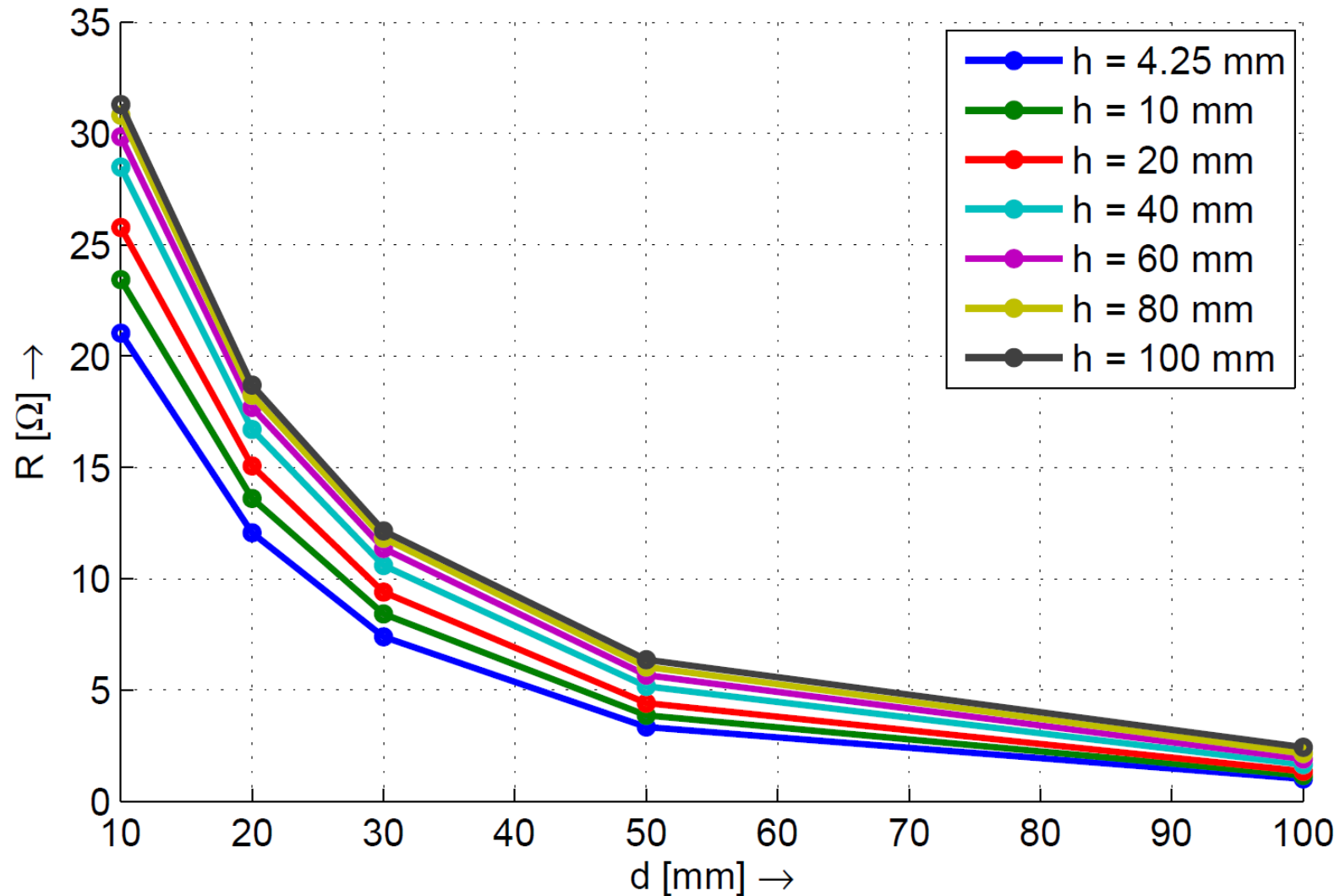
- S_{11} für $d = 100$ mm zum Phantom



■ S_{11} bei Variation der Distanz d zum Phantom



■ Antennenstrahlungswiderstand R

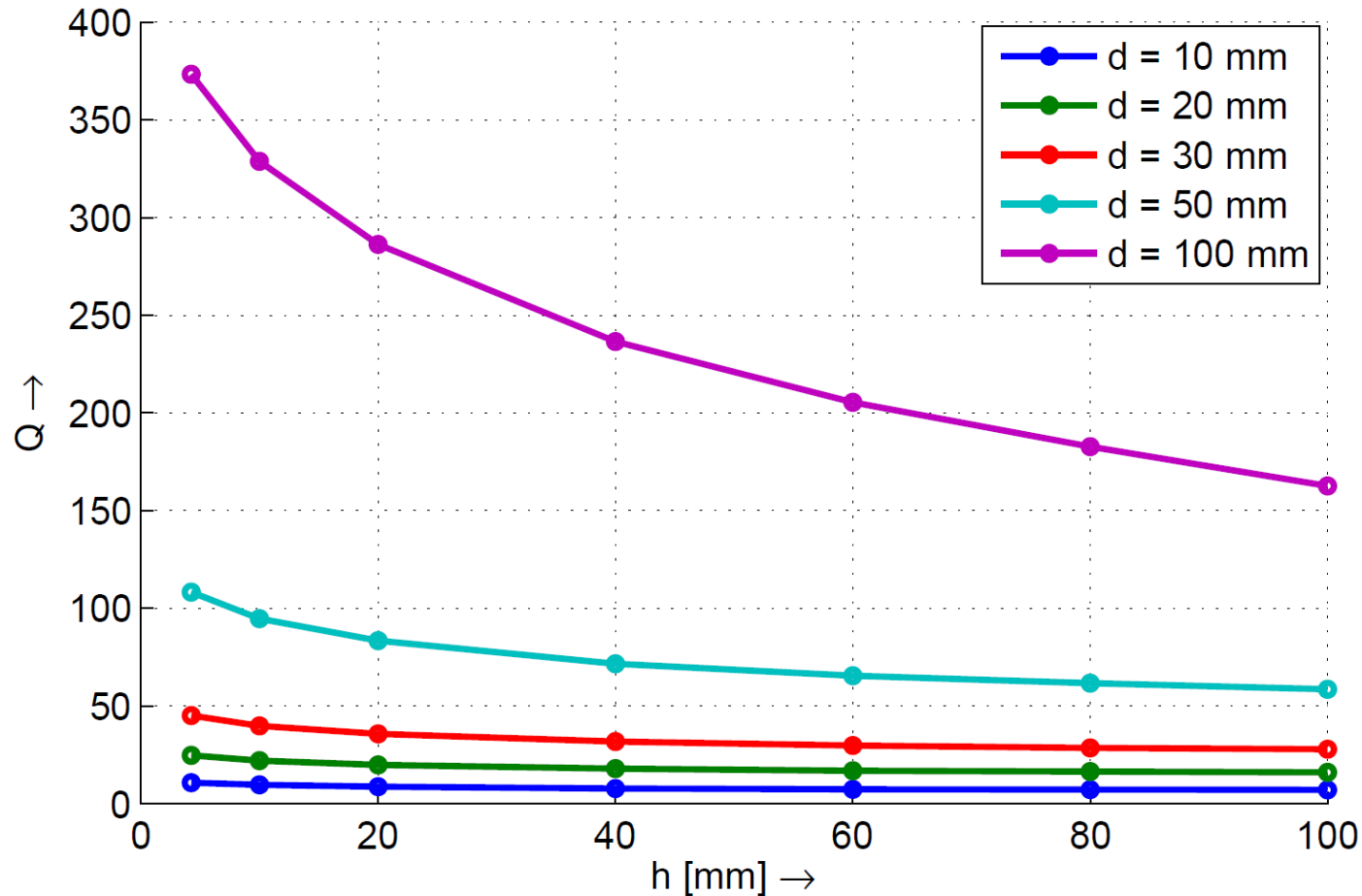


- Antennenstrahlungswiderstand R [Ω]

| d [mm] \ h [mm] | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 |
|---------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 4,25 | 21,027 | 12,072 | 7,396 | 3,345 | 1,011 |
| 10 | 23,432 | 13,610 | 8,418 | 3,861 | 1,164 |
| 20 | 25,773 | 15,063 | 9,405 | 4,413 | 1,351 |
| 40 | 28,488 | 16,700 | 10,593 | 5,169 | 1,652 |
| 60 | 29,857 | 17,692 | 11,358 | 5,673 | 1,912 |
| 80 | 30,824 | 18,252 | 11,831 | 6,038 | 2,157 |
| 100 | 31,306 | 18,706 | 12,154 | 6,371 | 2,428 |

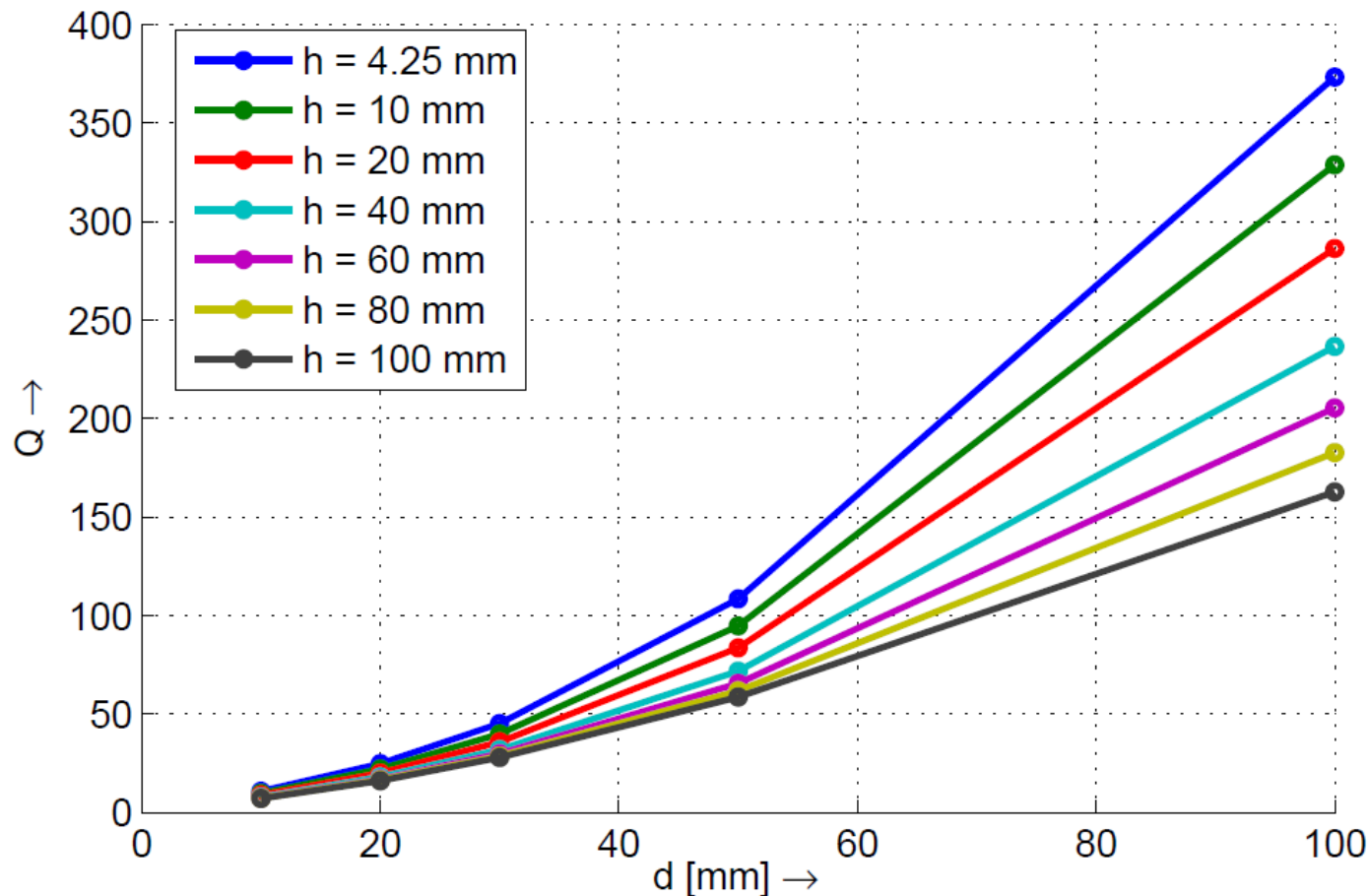
■ Güte $Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$

- steigt mit Nähe zur Abschirmung, da R sinkt

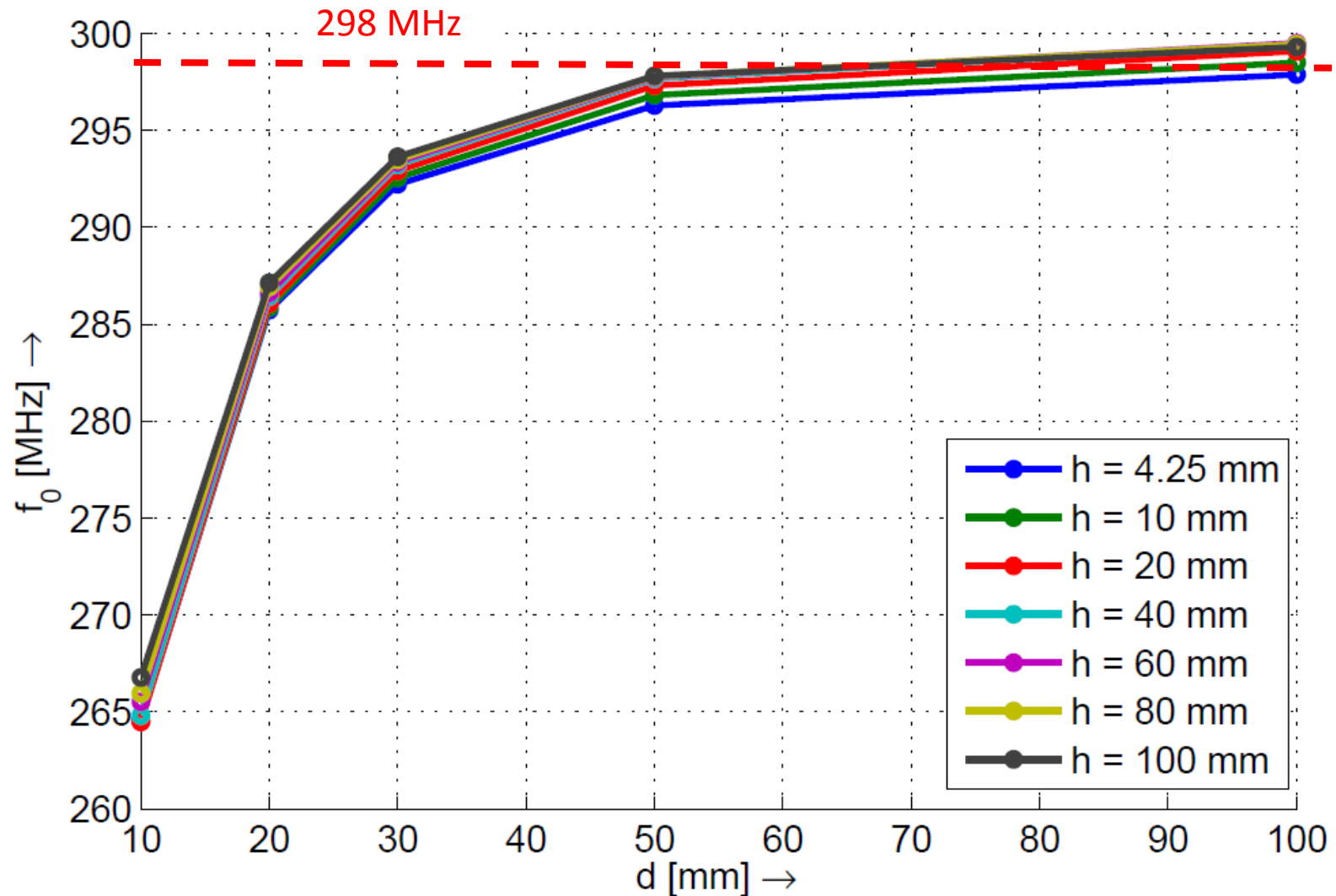


■ Güte $Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$

- *sinkt mit Nähe zum Phantom, da R und C steigen*

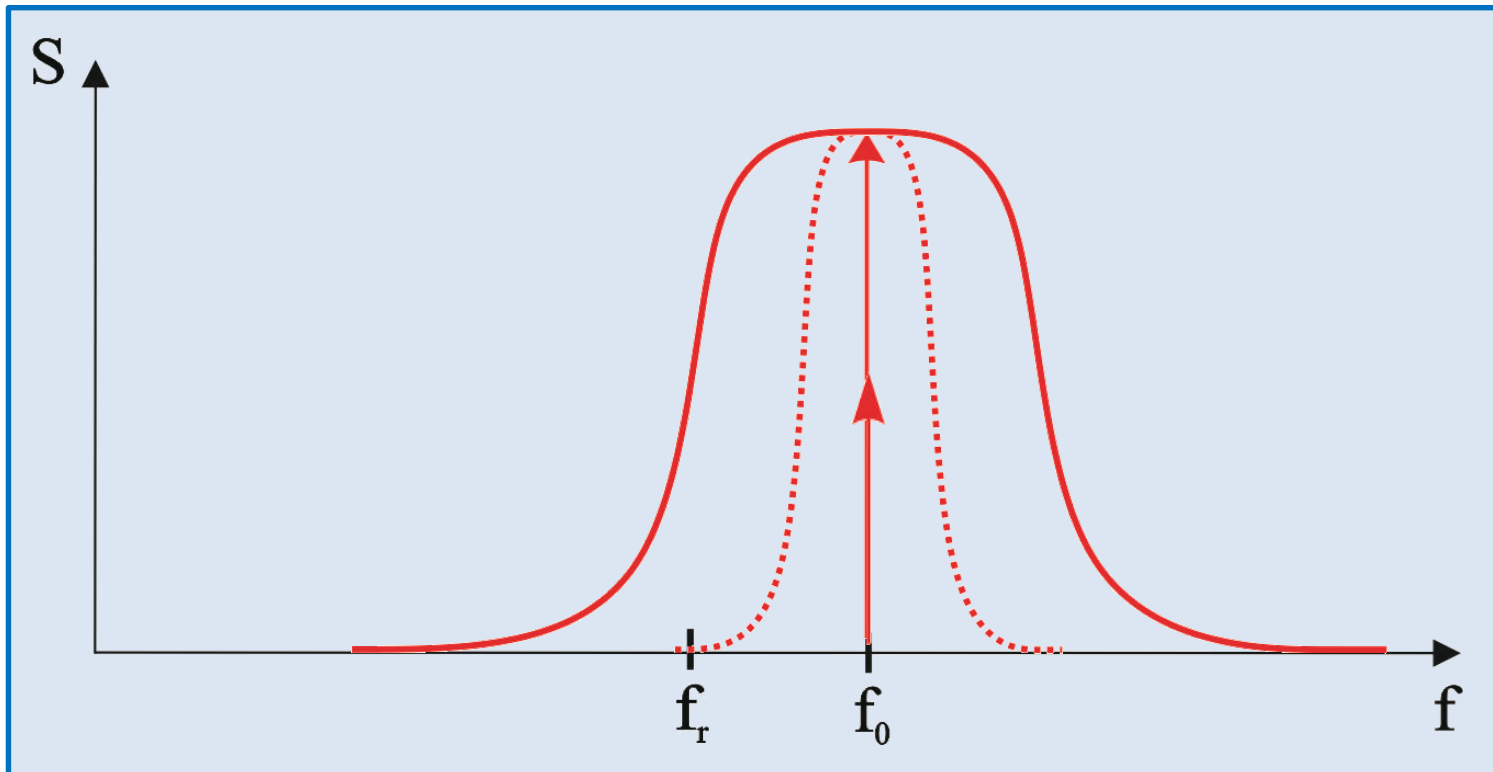


■ Resonanzfrequenz f_0

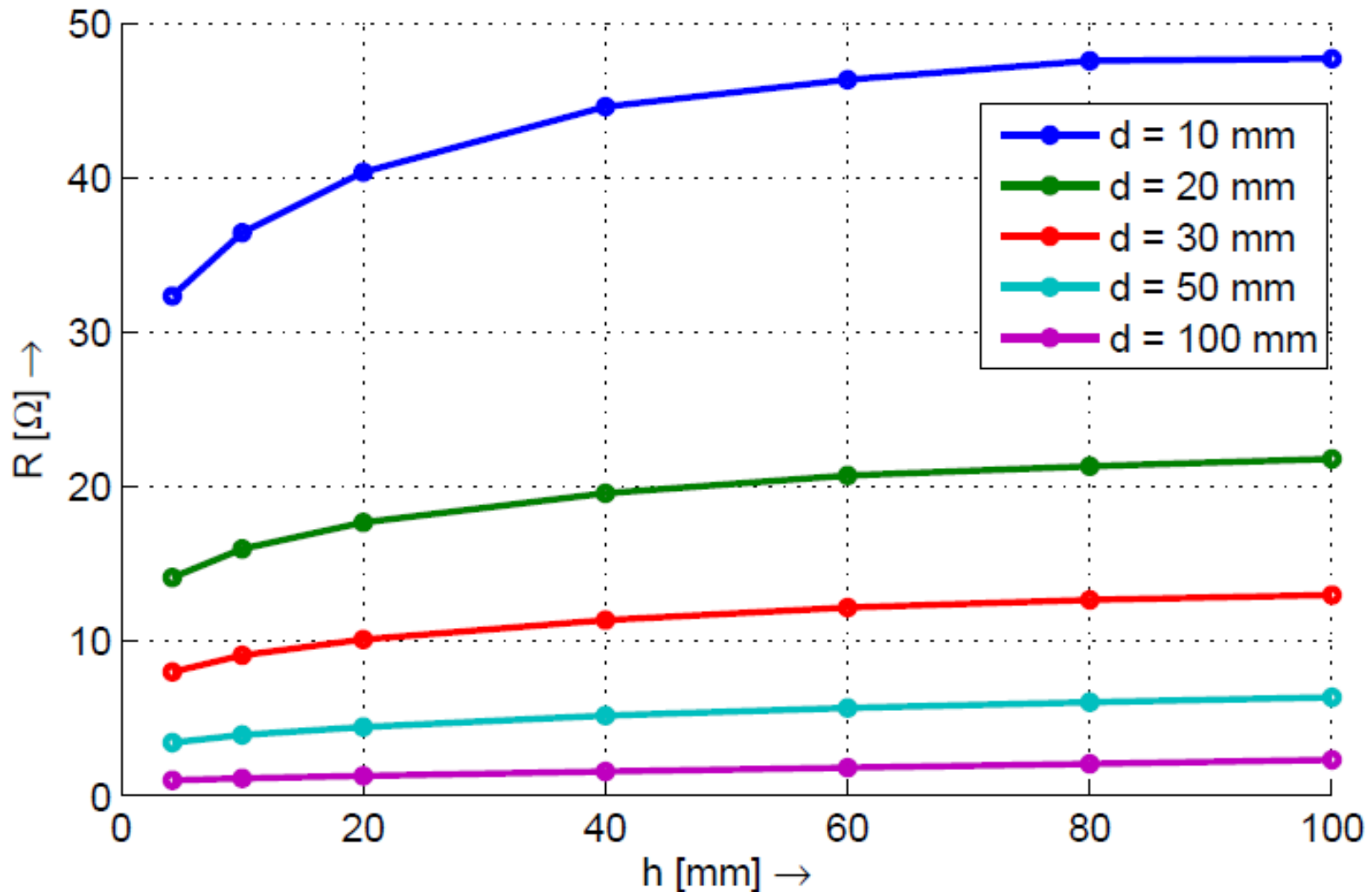


■ Resonanzverschiebung

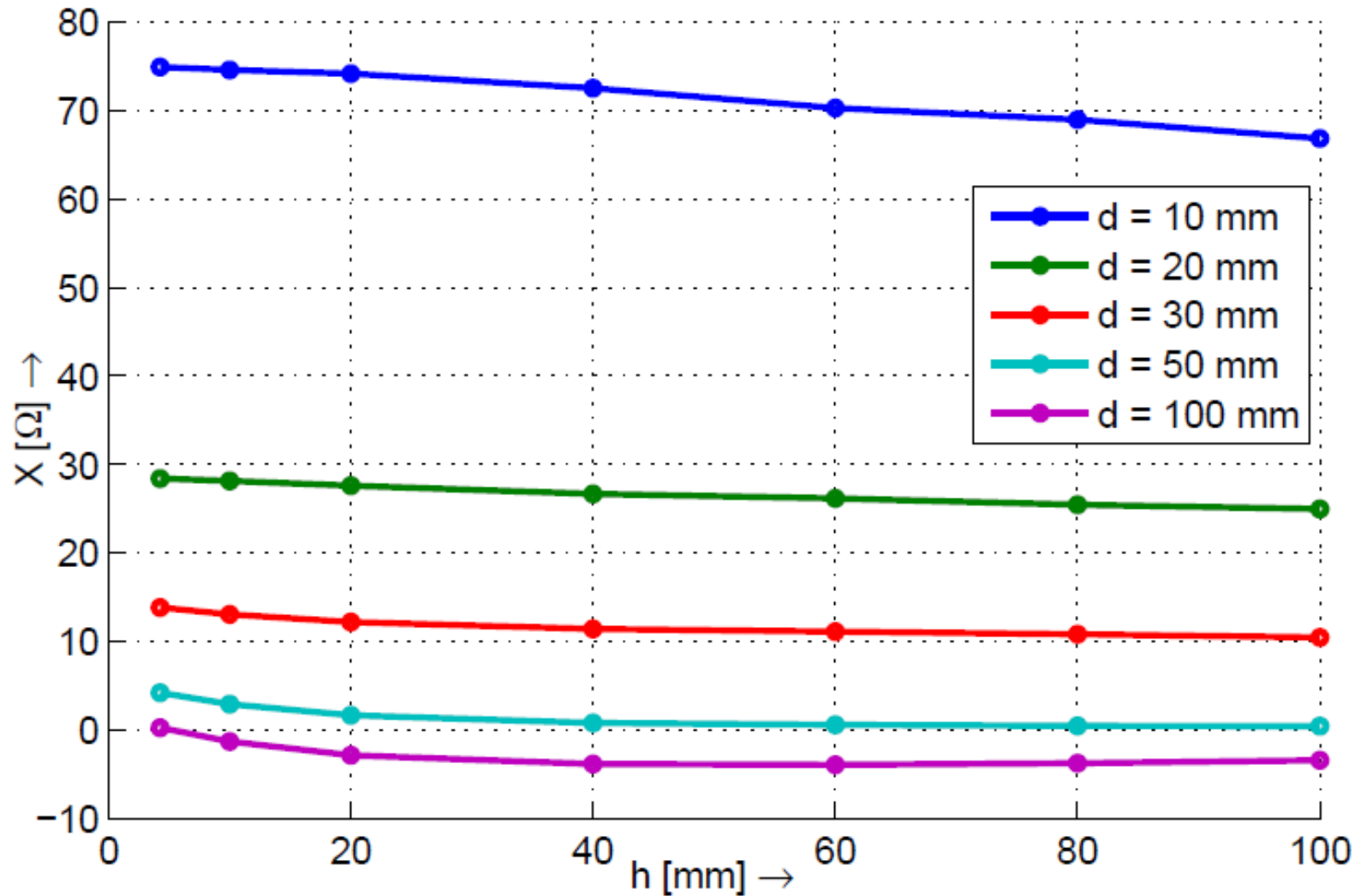
- geringe Leistung bei der Arbeitsfrequenz (Larmorfrequenz)
- wird durch hohe Güte verstärkt



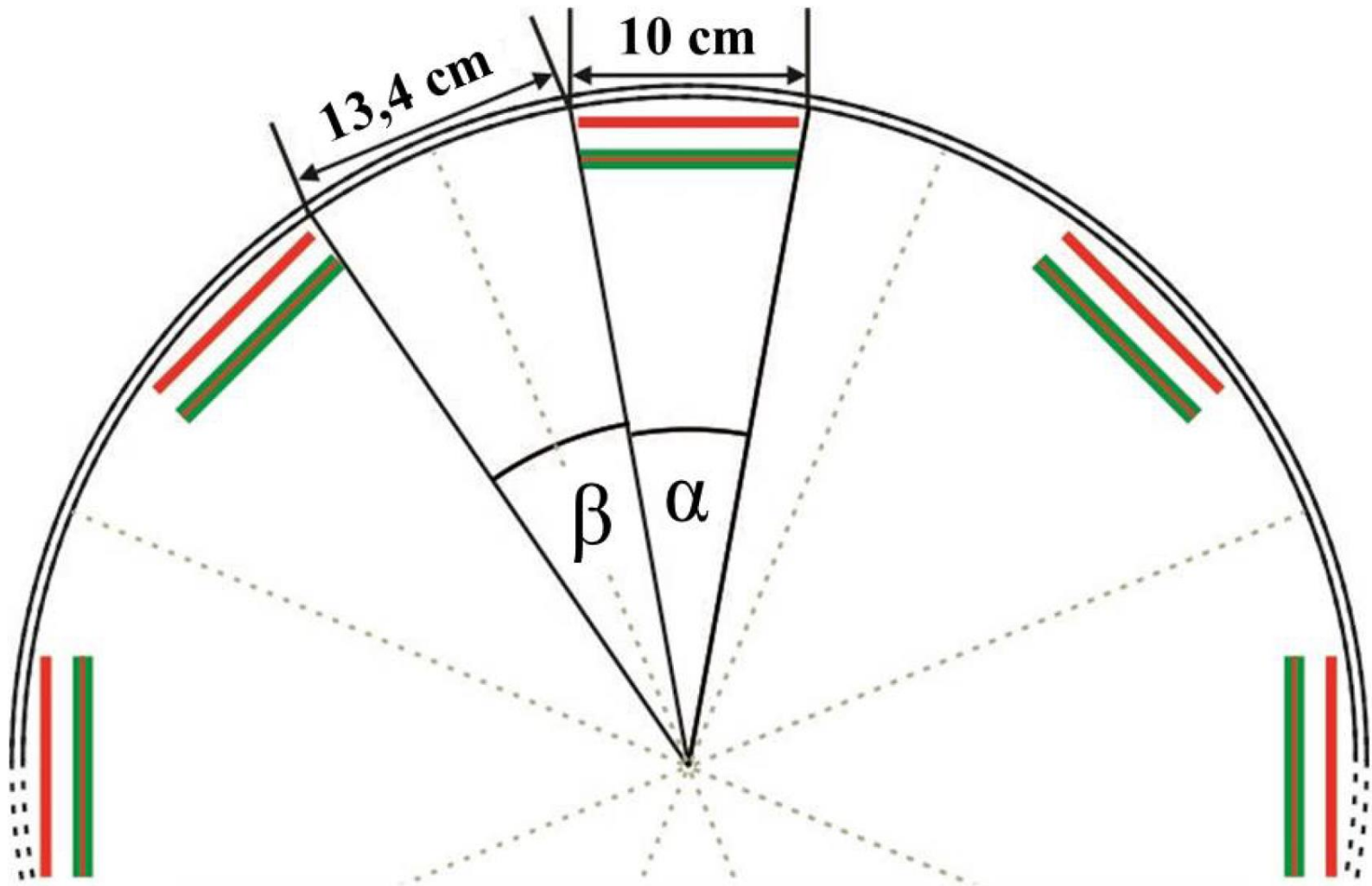
- Widerstand bei der Larmorfrequenz 298 MHz



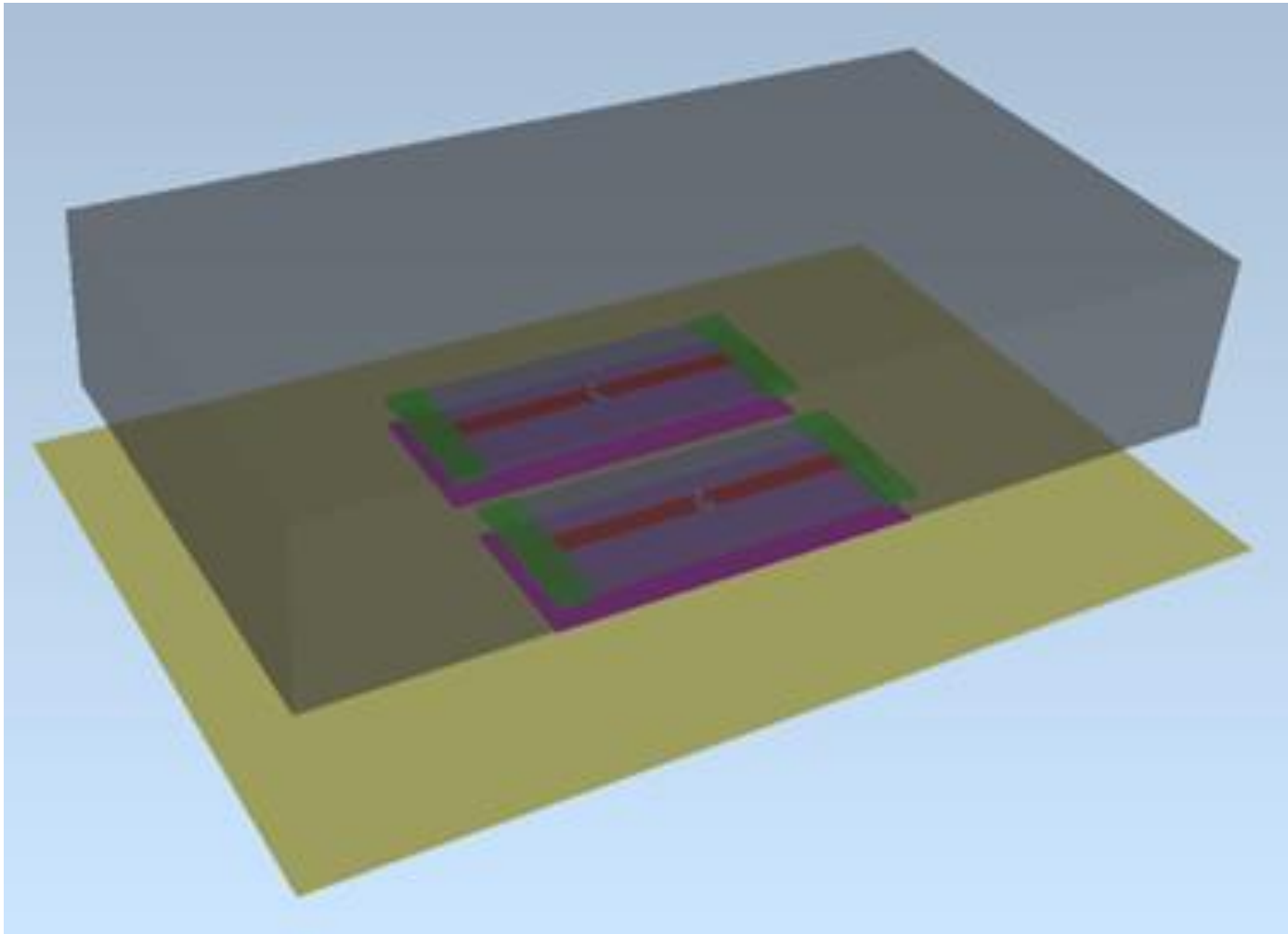
- Reaktanz bei der Larmorfrequenz 298 MHz



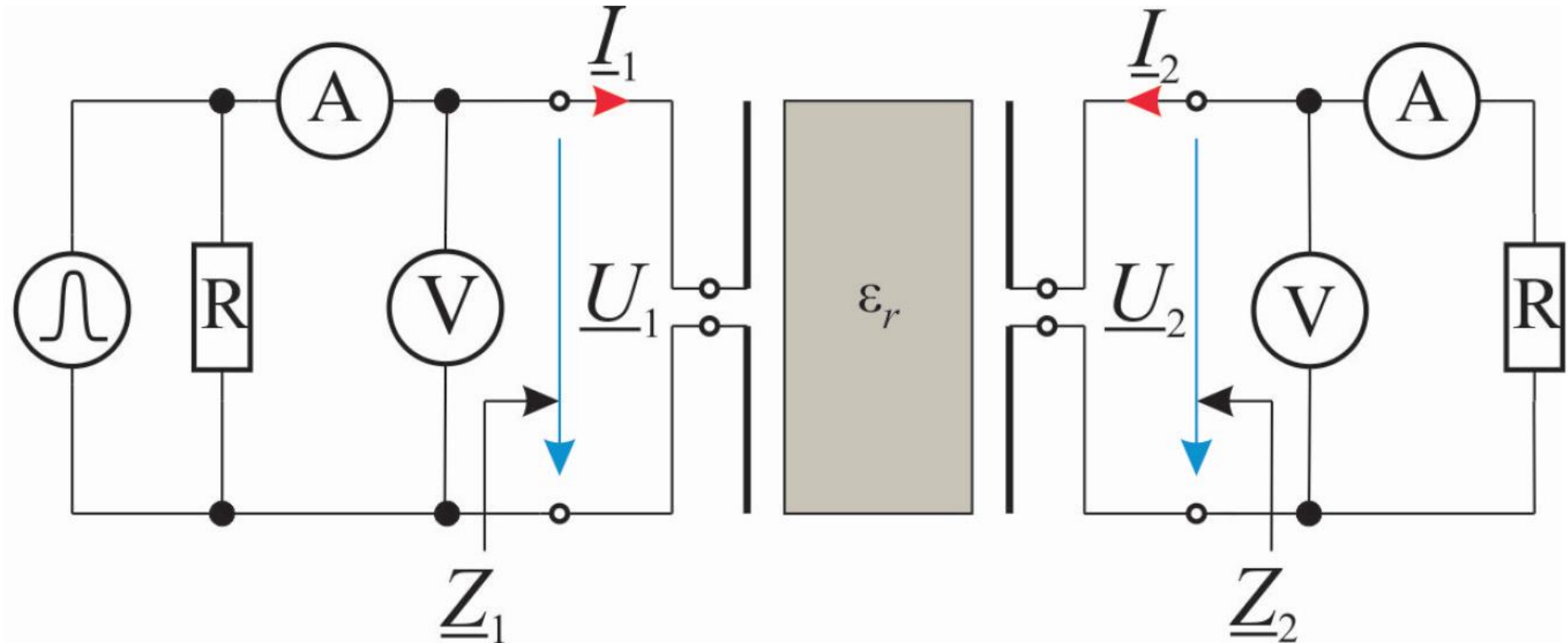
- Anordnung der HF-Spulen



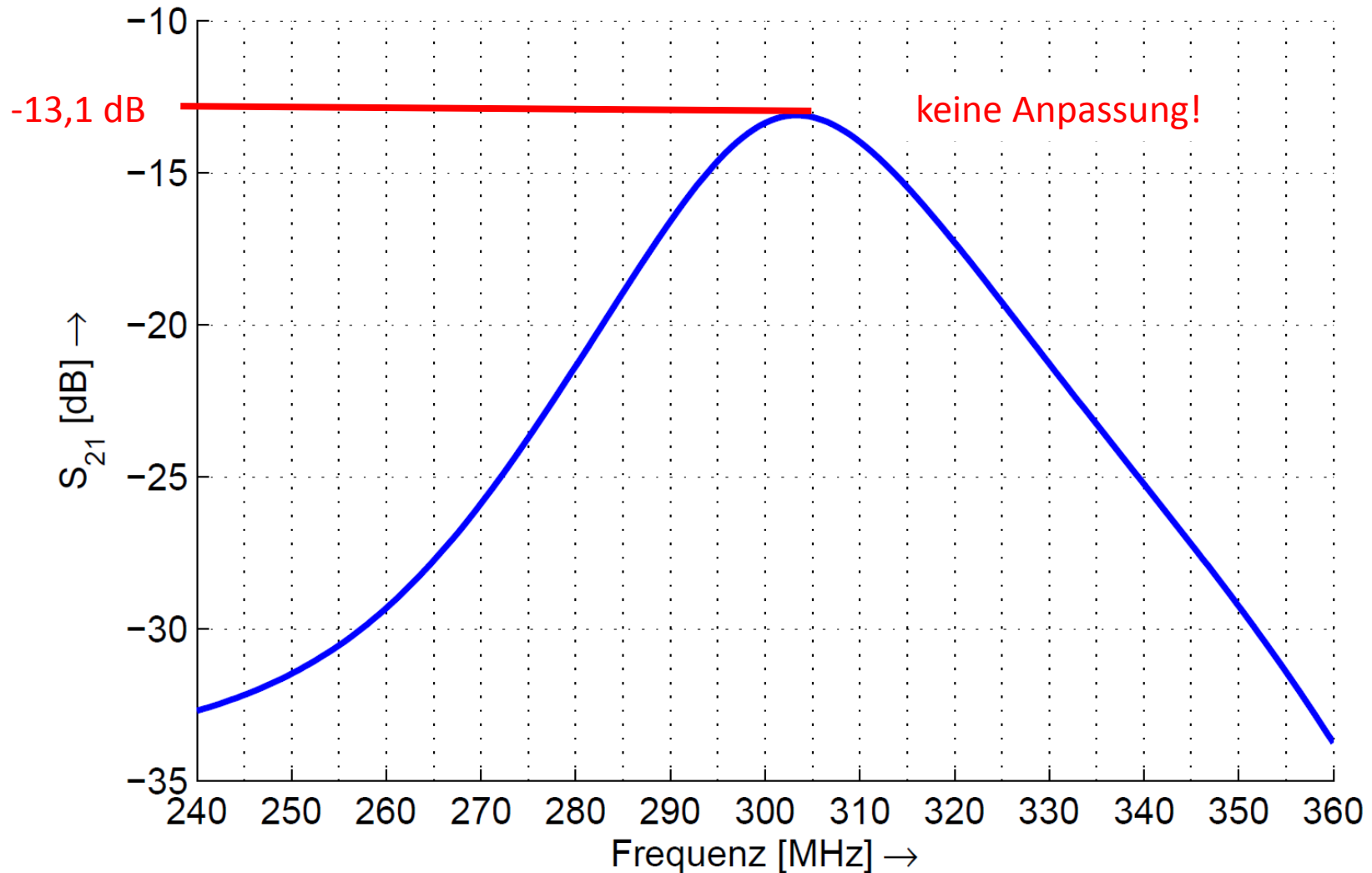
- Simulationsaufbau mit zwei HF-Spulen und planaren Strukturen



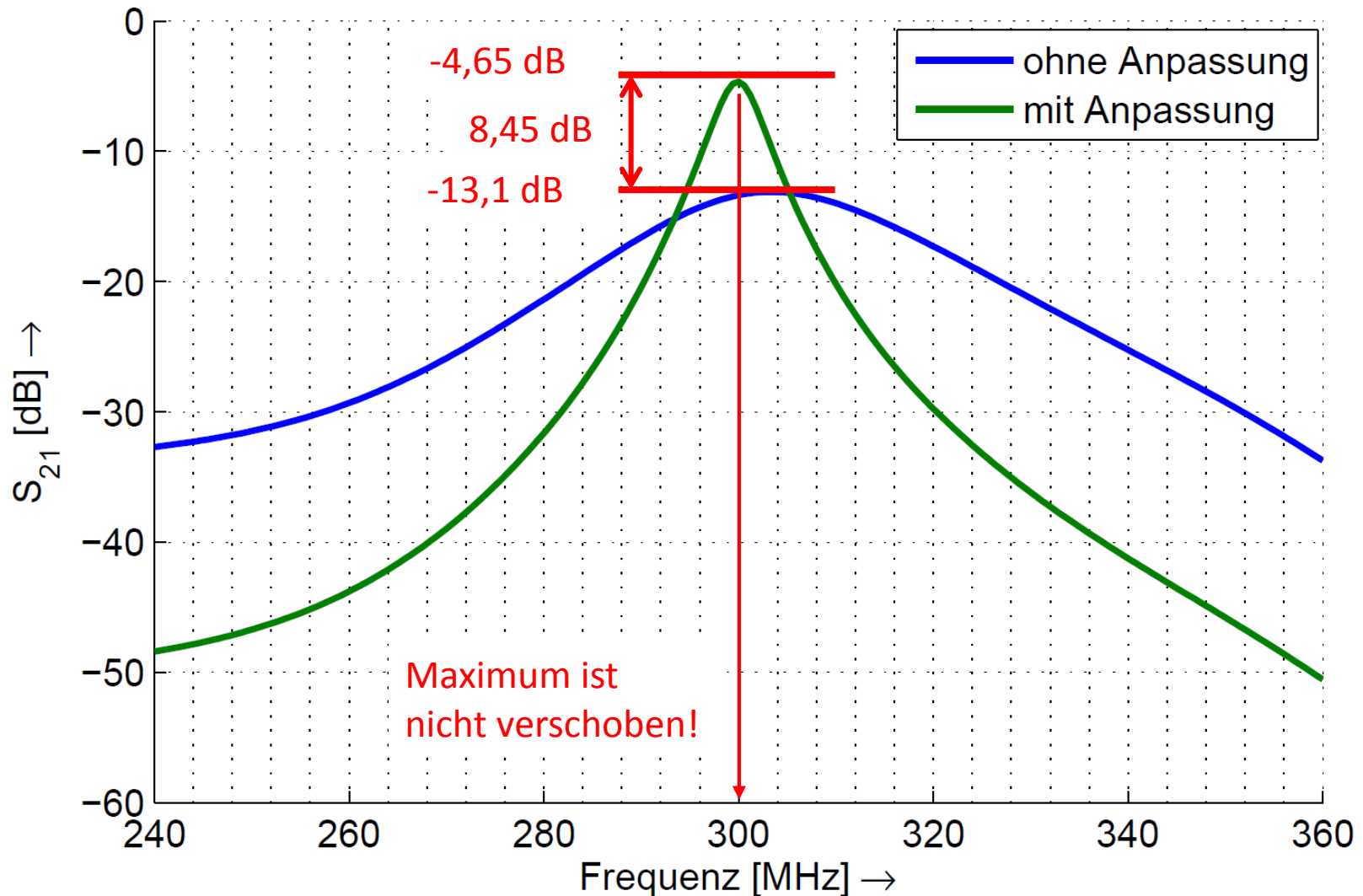
- Ersatzschaltbild



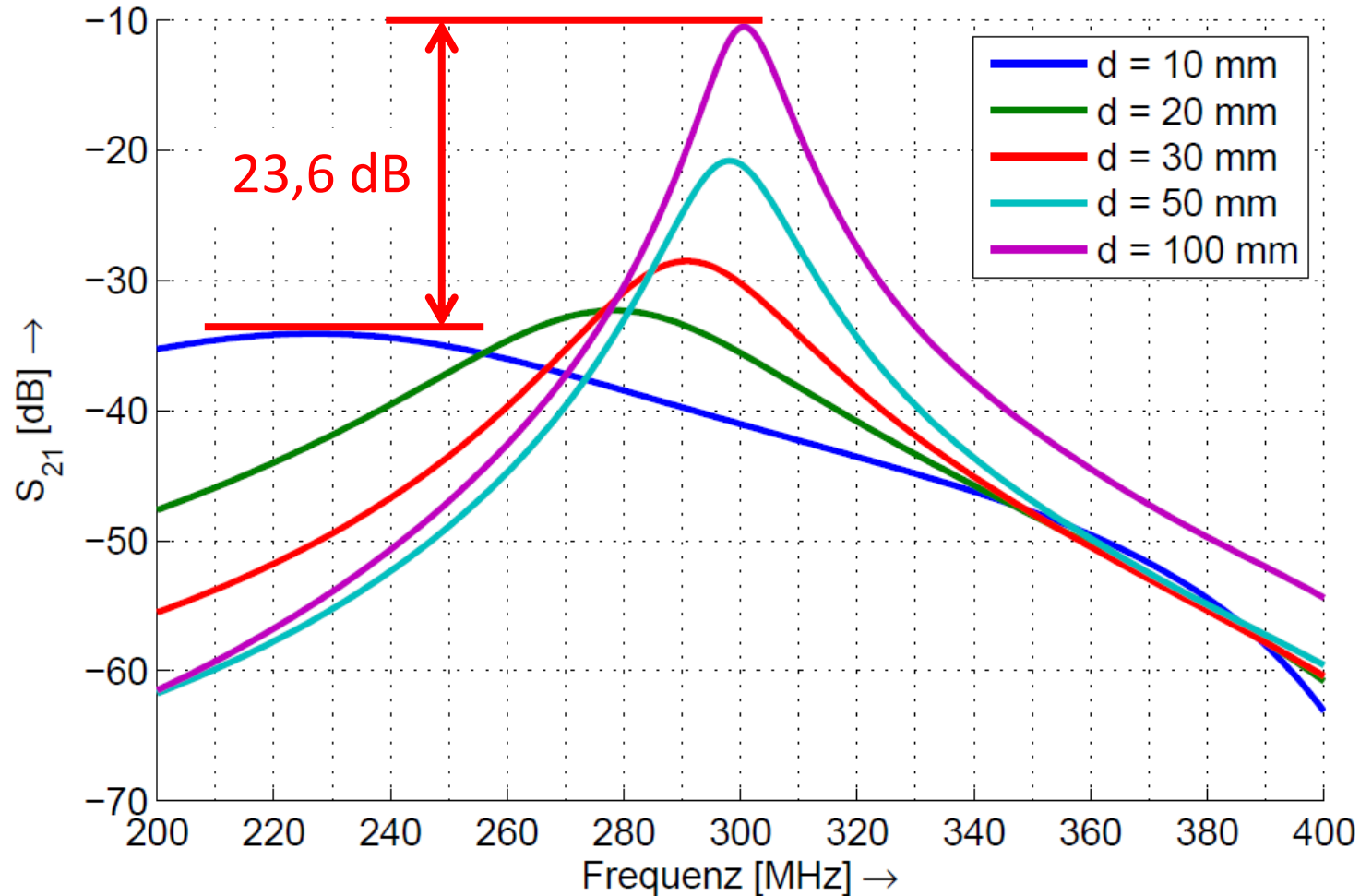
- S_{21} im Freiraum fällt sehr niedrig aus



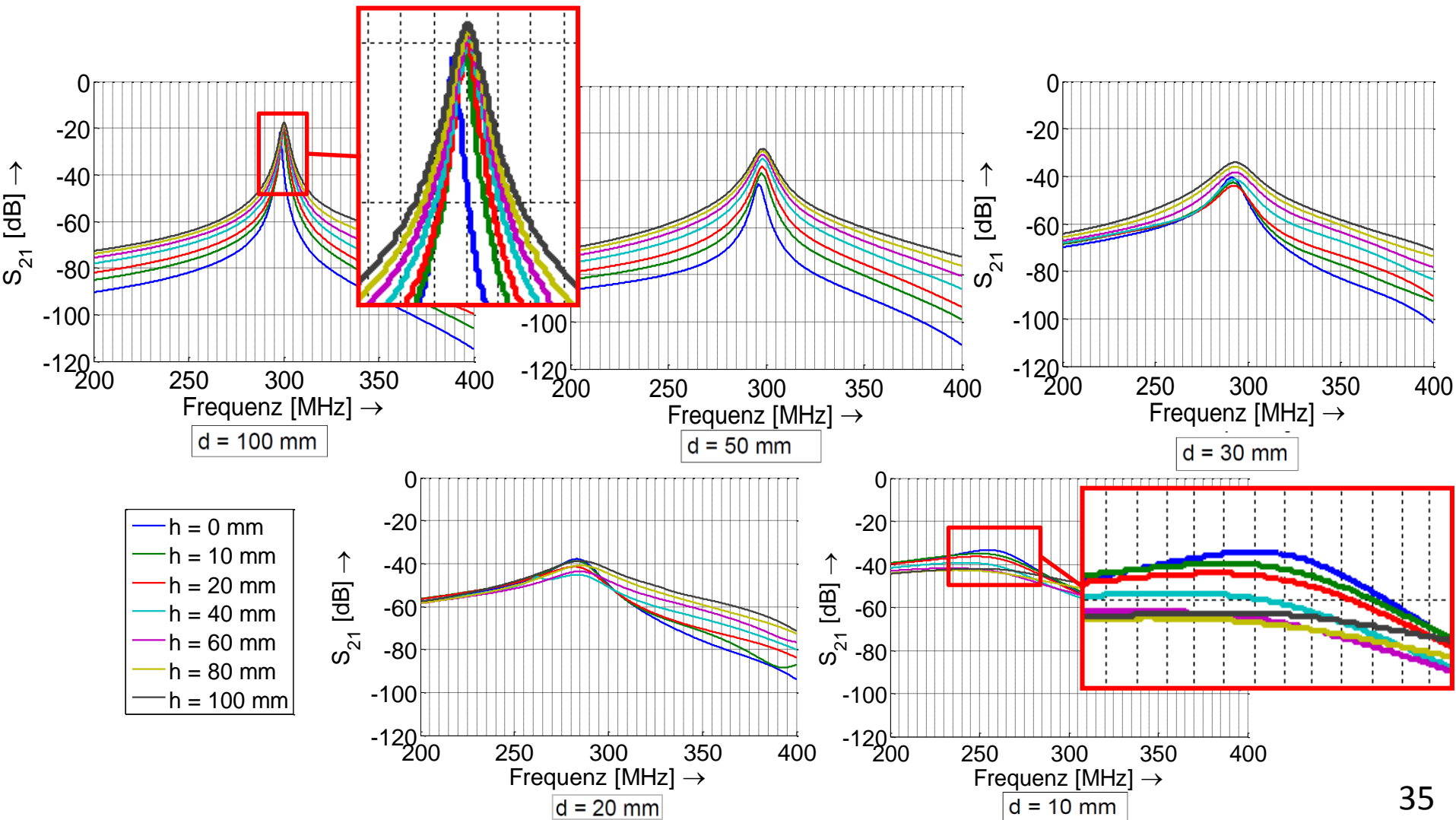
- S_{21} ist bei Anpassung deutlich höher



- S_{21} bei Variation der Distanz zum Phantom (ohne Abschirmung)



■ S_{21} mit Phantom und Abschirmung

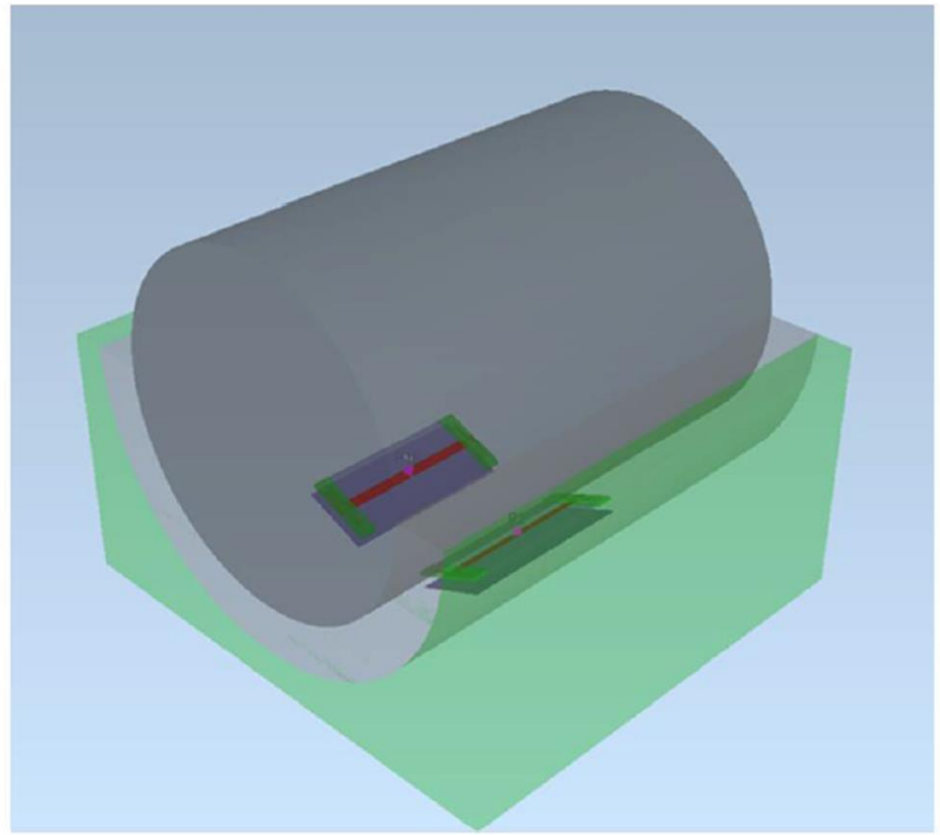
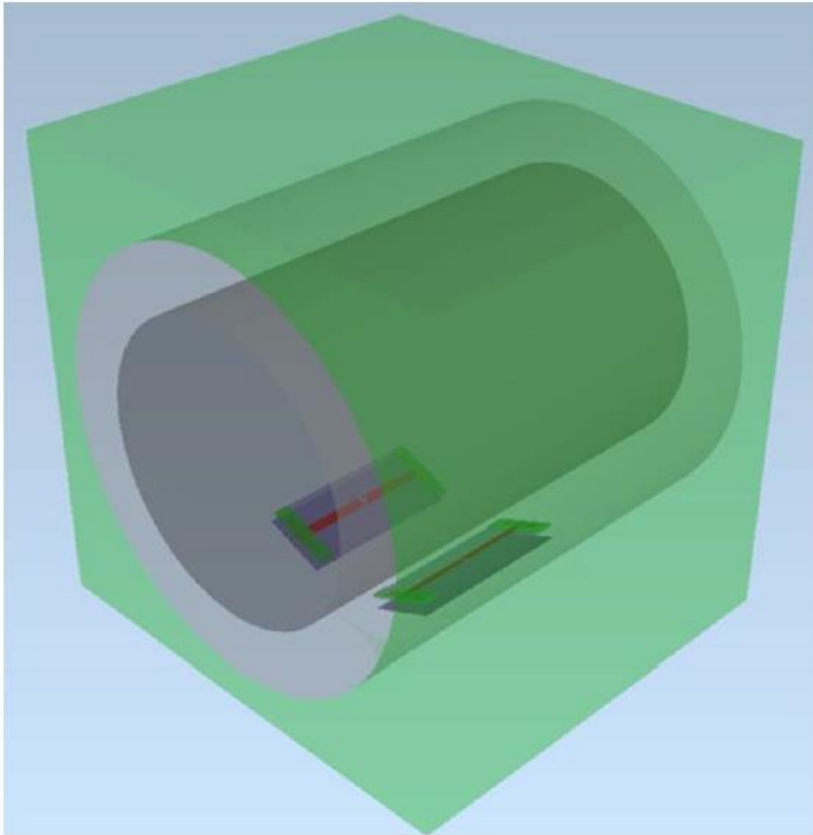


- S_{21} [dB] mit Phantom und Abschirmung

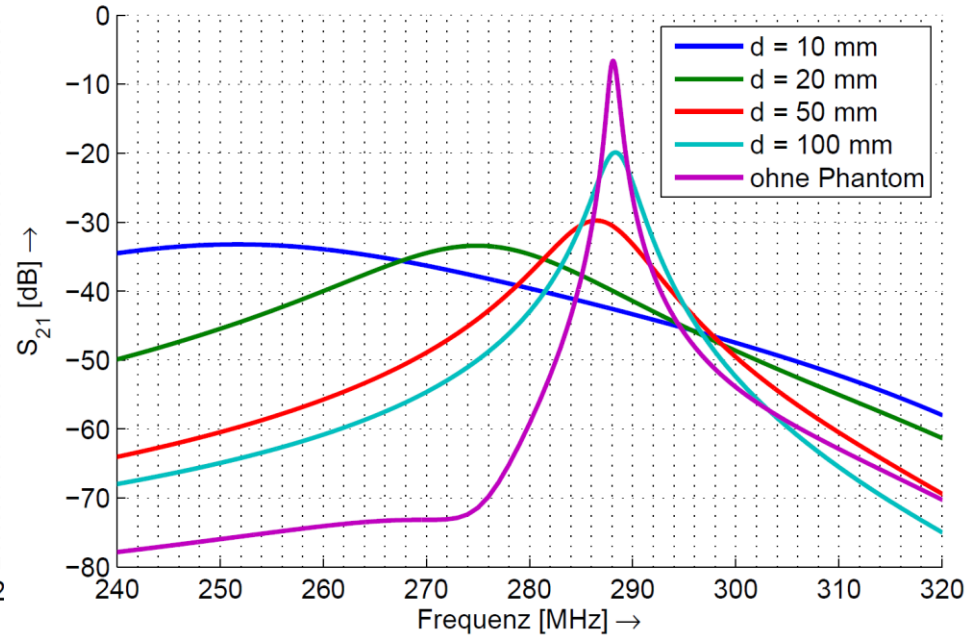
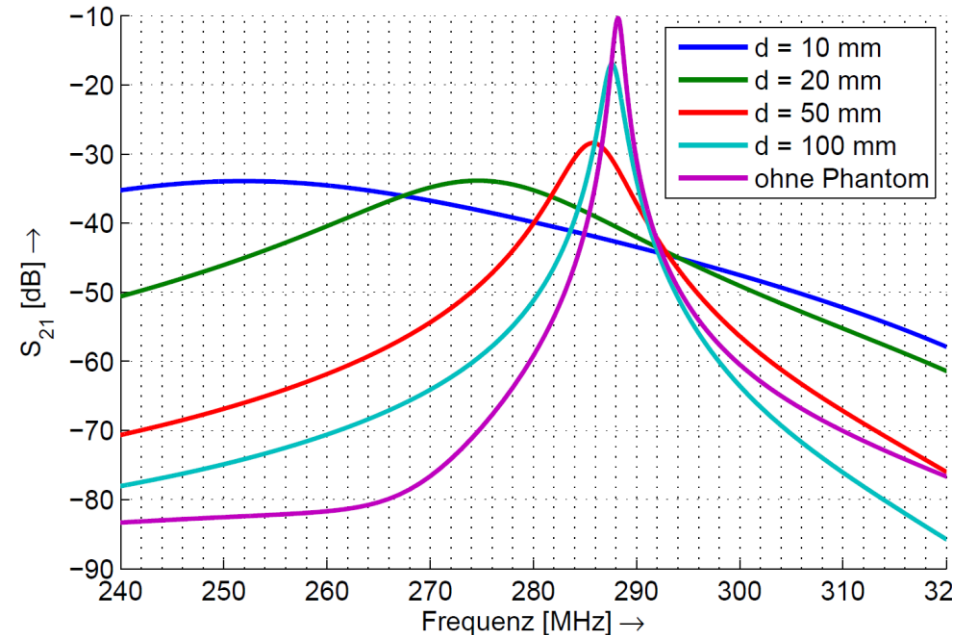
| h [mm] \ d [mm] | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | ohne Phantom |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| 0 | -33.405 | -37.841 | -40.542 | -41.638 | -22.115 | -12.330 |
| 10 | -35.011 | -38.778 | -42.653 | -37.002 | -20.080 | -11.220 |
| 20 | -36.394 | -41.441 | -43.936 | -34.202 | -19.184 | -9.146 |
| 40 | -39.274 | -45.170 | -41.372 | -30.959 | -18.738 | -7.883 |
| 60 | -41.791 | -43.641 | -38.322 | -29.087 | -18.687 | -7.096 |
| 80 | -42.769 | -40.887 | -35.985 | -27.689 | -18.353 | -6.707 |
| 100 | -42.002 | -38.762 | -34.150 | -26.576 | -17.576 | -6.526 |
| ohne Abschirmung | -34.089 | -32.307 | -28.525 | -20.812 | -10.526 | -4.646 |

sehr gering

- Simulationsaufbau mit zwei HF-Spulen und zylinderförmiger Abschirmung
 - Referenzwert: $h = 20 \text{ mm}$



- Vergleich S_{21} für geschlossenen (l.) und offenen (r.) Zylinder

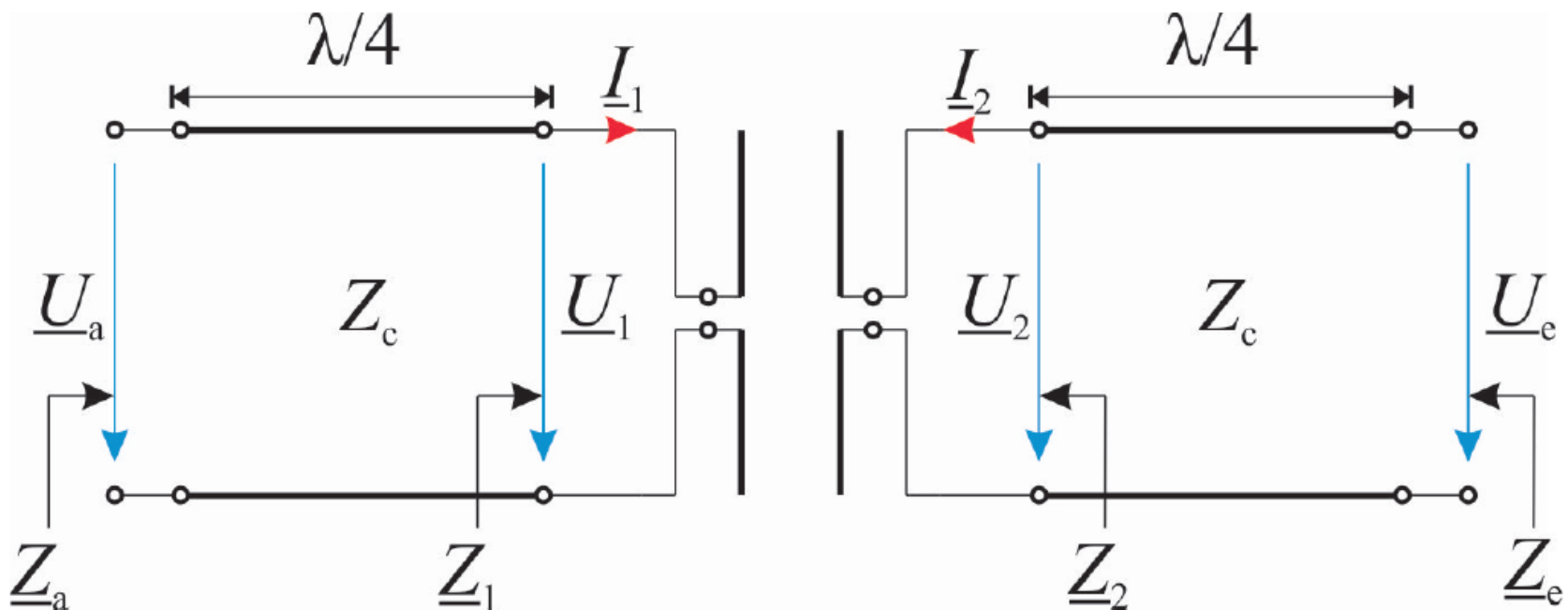


| d [mm] | 10 | 20 | 50 | 100 | ohne Phantom |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| planare Abschirmung | -36.3936 | -41.4407 | -34.2019 | -19.1837 | -9.1459 |
| offener Zylinder | -33.9066 | -33.8470 | -28.3999 | -16.9570 | -10.3156 |
| geschlossener Zylinder | -33.2175 | -33.4109 | -29.7676 | -19.8876 | -6.6096 |

weiterhin sehr gering

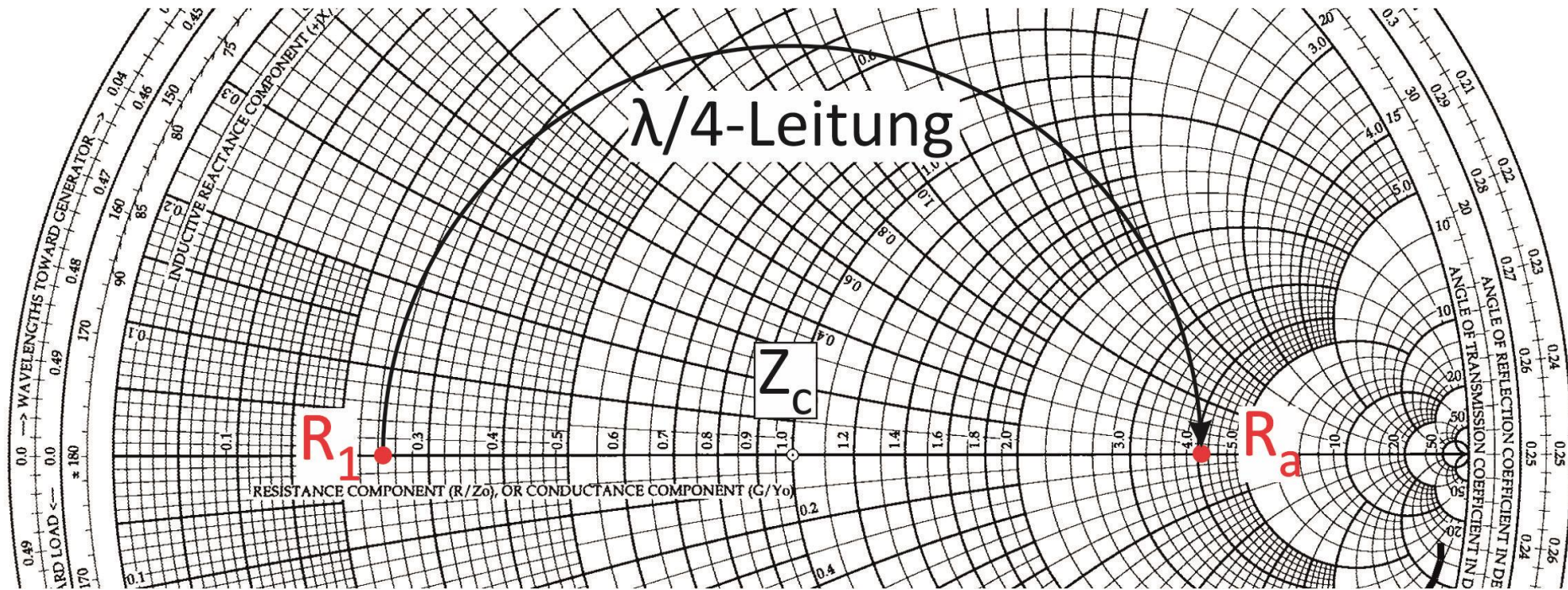
- Ersatzschaltbild mit zwei HF-Spulen und Leitungsanpassung

$$Z_a = Z_c \frac{Z_1 + jZ_c \cdot \tan(2\pi \frac{l}{\lambda})}{Z_c + jZ_1 \cdot \tan(2\pi \frac{l}{\lambda})}$$



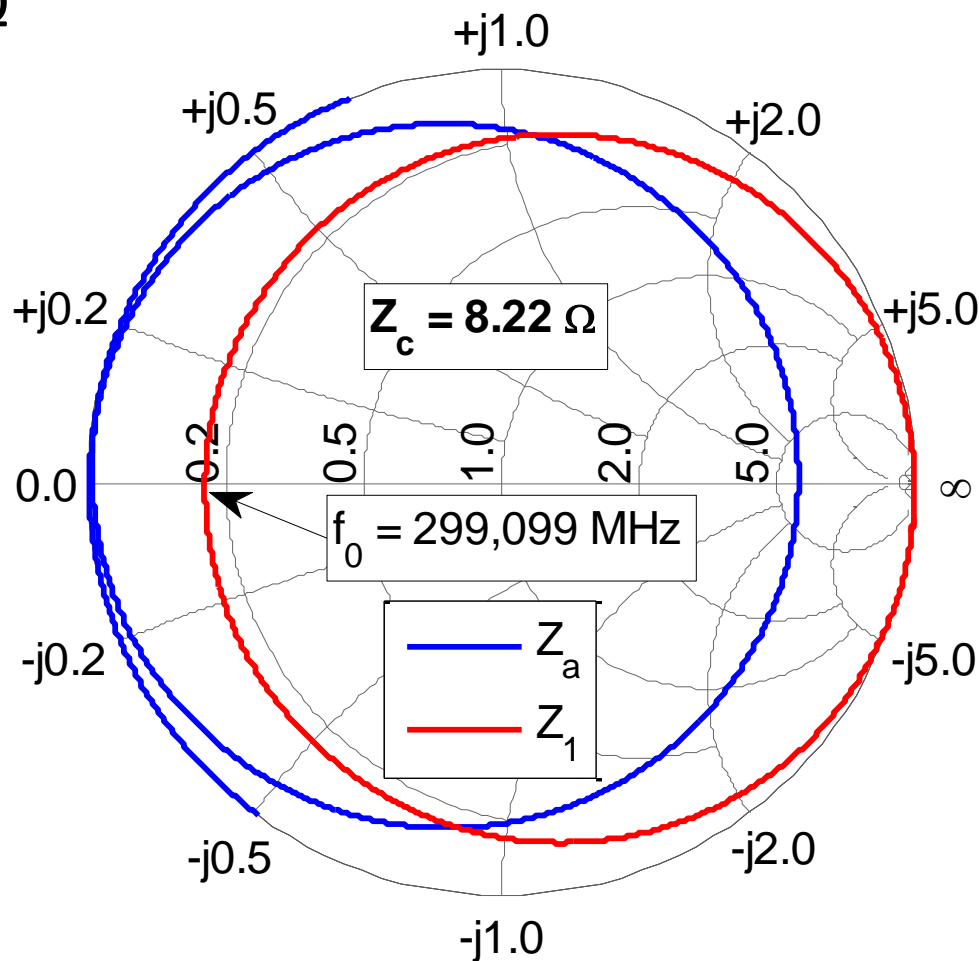
- $\lambda/4$ - Leitungstransformation im Smithchart

$$Z_c = \sqrt{R_1 \cdot 50\Omega}$$



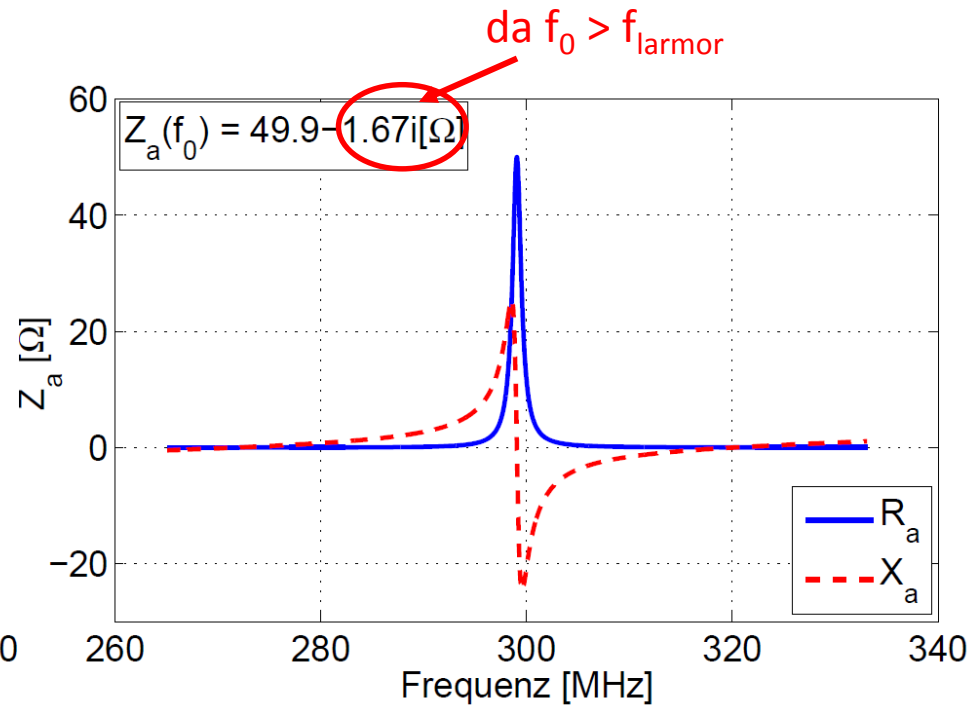
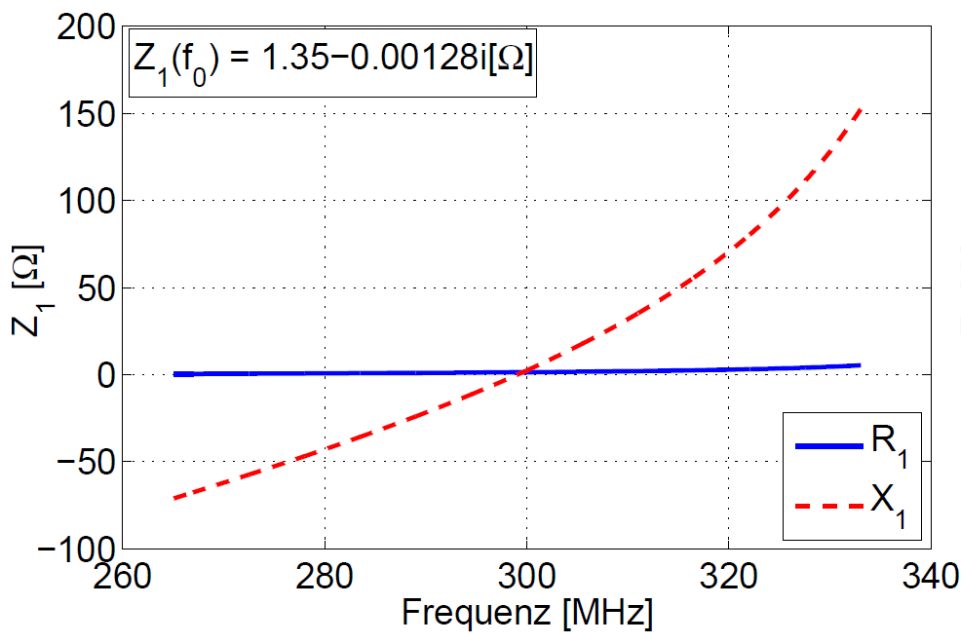
- Transformation bei f_0
- Antennenwiderstand $R = 1,351 \Omega$ bei $d = 100 \text{ mm}$ & $h = 20 \text{ mm}$

➔ $Z_c = 8,22 \Omega$

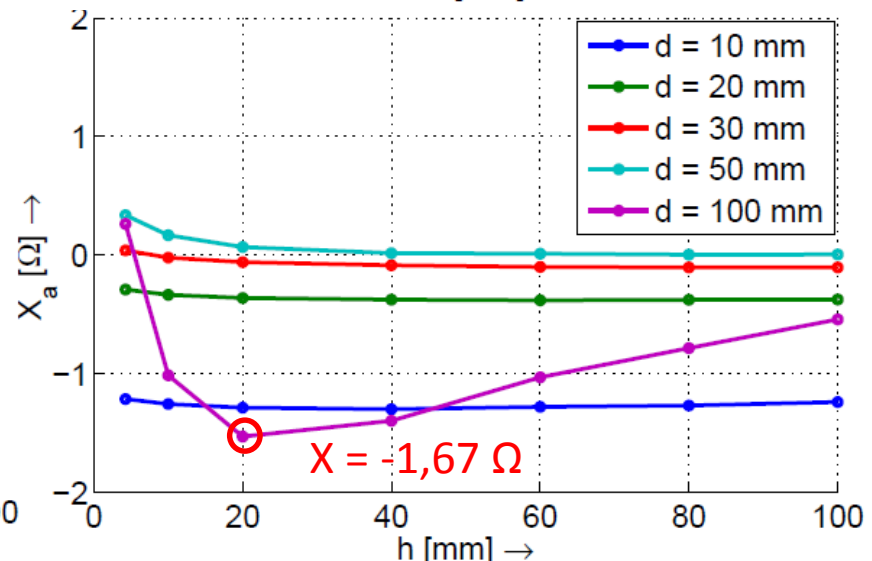
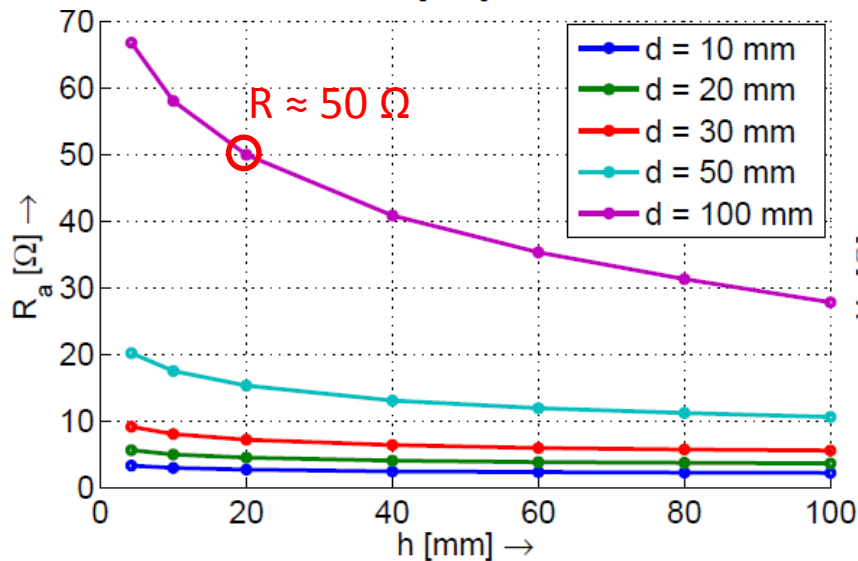
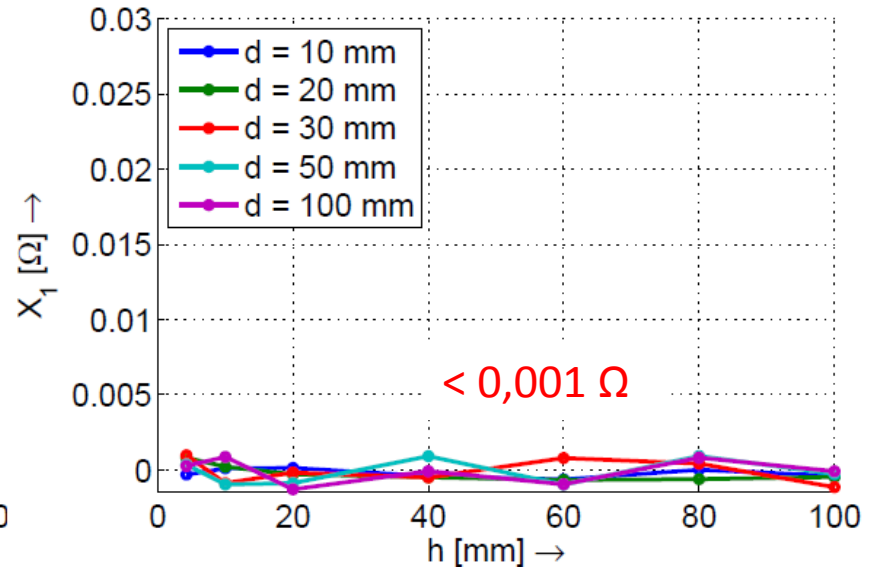
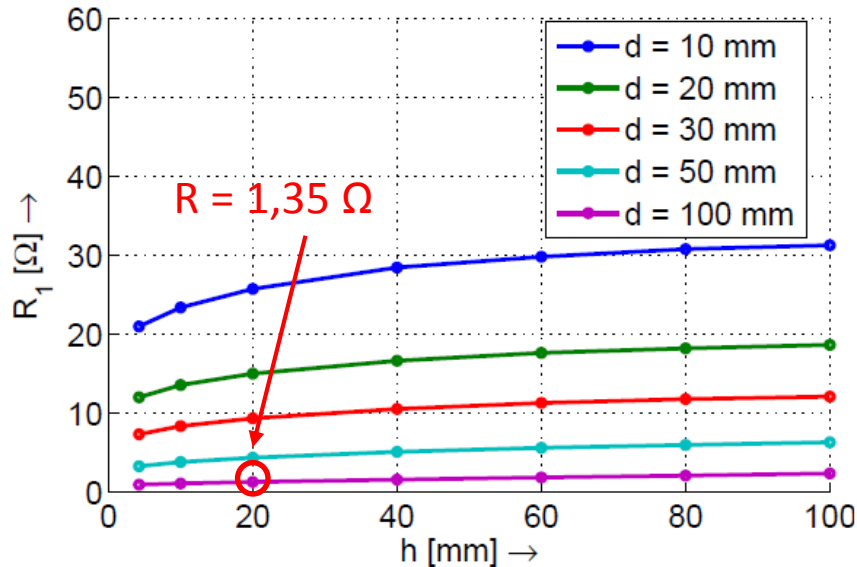


- Transformation bei f_0
- Antennenwiderstand $R = 1,351 \Omega$ bei $d = 100 \text{ mm}$ & $h = 20 \text{ mm}$

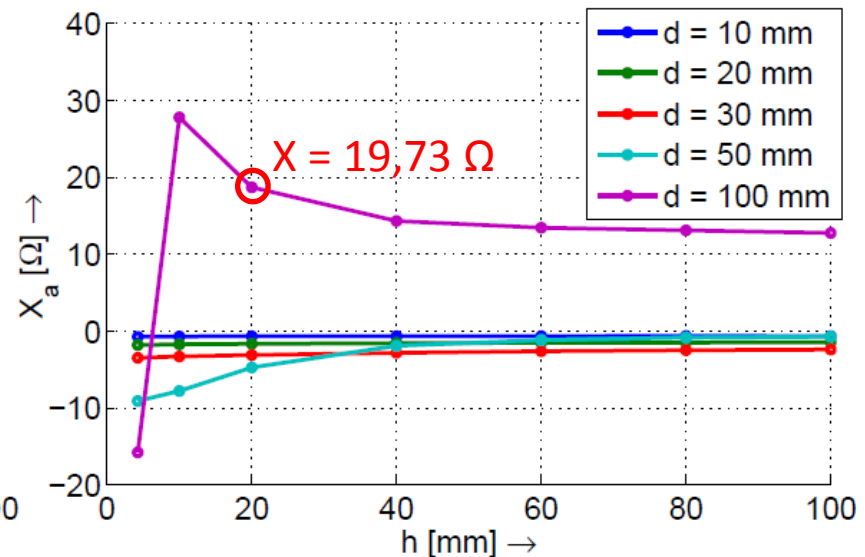
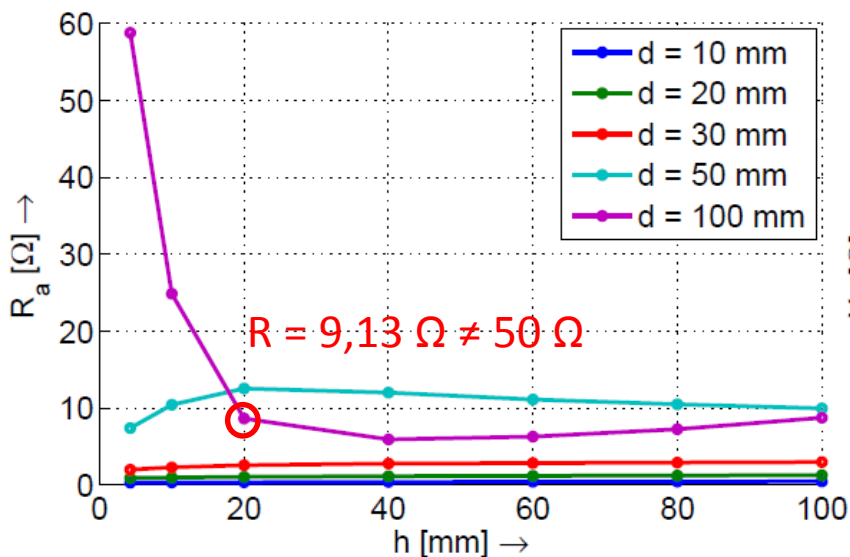
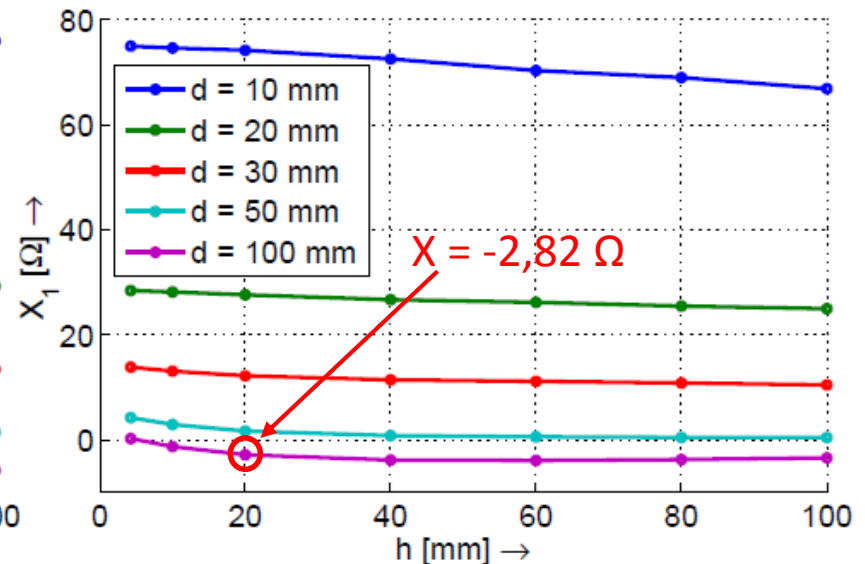
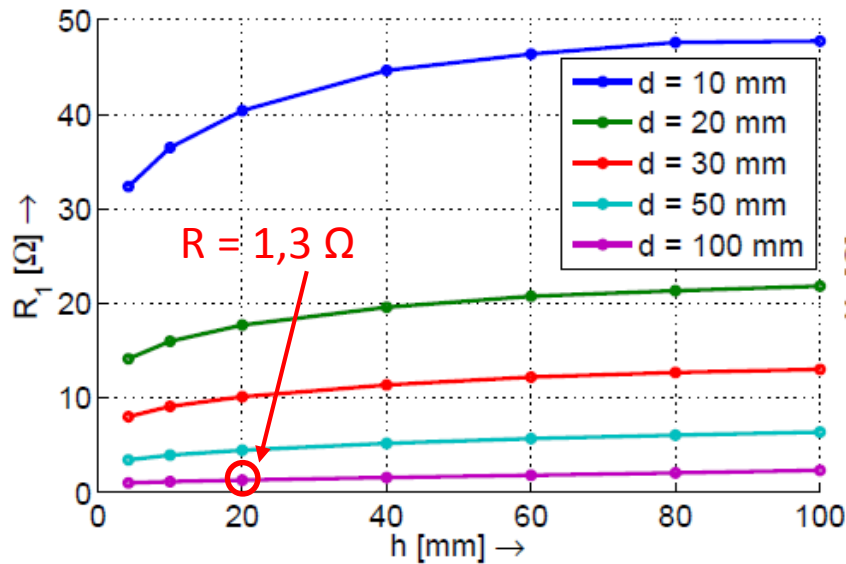
➔ $Z_c = 8,22 \Omega$



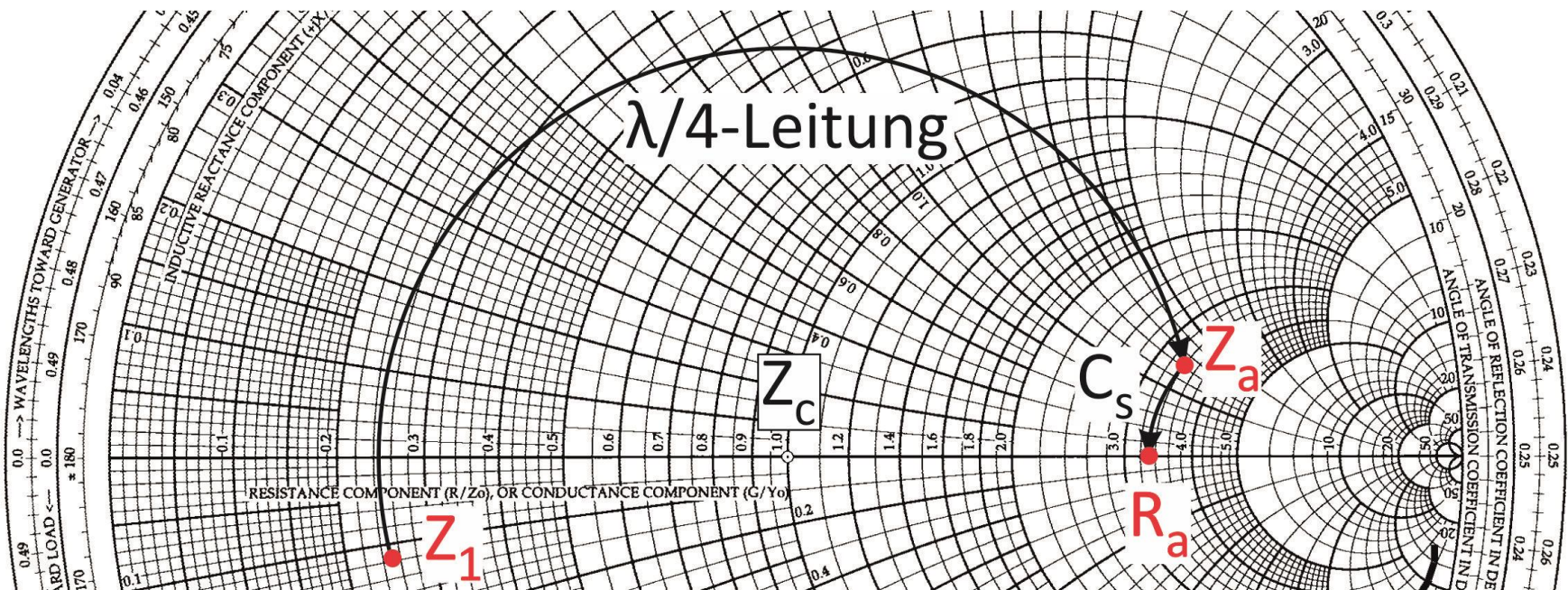
- Transformation des Antennenwiderstands bei f_0 mit $Z_c = 8,22 \Omega$



- Transformation des Antennenwiderstands bei $f = 298 \text{ MHz}$ mit $Z_c = 8,22 \Omega$



- Kompensation des Blindwiderstands mit einer Kapazität C_s in Reihe
 - Für $h = 20 \text{ mm}$ & $d = 100 \text{ mm}$ → $Z_c = 19,2 \Omega$
 - $R_a = 49,80 \Omega$ & $X_a = 107,71 \Omega$



- HF-Spulen besitzen hohe Güte, geringe Bandbreite und geringen Antennenwiderstand
 - hohe Sensitivität
 - Reproduzierbarkeit gewünschter Betriebseigenschaften in der Praxis kaum realisierbar
- Verstimmung der Antenne durch menschlichen Körper
 - Leistungsverlust & Verlust der Anpassung der Antenne
- Reduzierung des Antennenwiderstands durch Abschirmung ➡ hoher Q-Faktor
- Kopplung in der gewählten Anordnung unproblematisch

- Bestimmung geeigneter Referenzwerte für die jeweiligen Distanzen
- Änderung der Länge des Dipols
- Kompensation des Blindanteils
- Untersuchung: E- und H-Feld Verteilung bei Variation der Distanz im Phantom
 - SAR-Werte
- Verluste durch Anpassung quantifizieren

Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit!