



Thema: Analyse und numerische Optimierung dielektrischer Resonatorantennen  
 Verfasser: Michael Braunwarth  
 Studiengang: Elektrotechnik und Informationstechnik  
 Fachrichtung: Kommunikationstechnik  
 Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Klaus Werner Kark  
 Prof. Dr.-Ing. Siegfried Osterrieder

Michael Braunwarth  
 geb. am 11.06.1993

2001-2010  
 Fachhochschulreife an der  
 Robert-Bosch-Schule Ulm

2011-2014  
 Bachelor of Engineering  
 (Elektrotechnik und Informationstechnik)  
 an der Hochschule Ravensburg-Weingarten



## Aufgabenstellung

Das Ziel der Arbeit waren umfangreiche analytische Untersuchungen sowie Dimensionierungen quaderförmiger dielektrischer Resonatorantennen (RDRA), welche anschließend numerisch analysiert und optimiert wurden. Der Hauptbestandteil analytischer und numerischer Betrachtungen widmete sich dabei zweier unterschiedlicher Methoden zur Bestimmung der Resonanzfrequenz des dielektrischen Resonators, wobei die erste Methode ideale Randbedingungen der Resonatorbegrenzungen voraussetzt, wohingegen die zweite Methode Feldstärken außerhalb des Resonators berücksichtigt.

## Die dielektrische Resonatorantenne

Unter Verwendung eines dielektrischen Volumenkörpers als Resonator wird die dielektrische Resonatorantenne in die Kategorie der nichtleitenden Antennen eingeordnet und unterscheidet sich von häufig verwendeten leitenden Antennen. Aufgrund unterschiedlicher Resonatorbauformen ist innerhalb dieser Arbeit der Fokus einzig auf quaderförmige dielektrische Resonatorantennen mit Aperturkopplung gerichtet worden, um Vergleiche beider analytischer Dimensionierungsmethoden zu ermöglichen.

## Methoden zur Bestimmung der Resonanzfrequenz

Wie in Abbildung 1 gezeigt, besitzt der Resonator der hier betrachteten RDRA fünf magnetische Wände und eine elektrische Wand, welche für die Anpassung an die Randbedingungen berücksichtigt werden müssen. Bedingt durch die spiegelnde Wirkung der elektrisch leitenden Wand ist die Höhe ( $h$ ) des Resonators ohne Beeinflussung der Felder im Resonator zu halbieren. Um Vergleiche beider Dimensionierungsmethoden zu ermöglichen, wurde ausschließlich der Grundmode ( $TE_{101}^y$ -Mode des Hohlleitermodells (Abb. 2) und der  $TE_{111}^y$ -Mode des Marcatili-Modells (Abb. 3-4)) beider Modelle betrachtet und die dabei resultierenden Abmessungen für alle Untersuchungen beibehalten.

### Methode 1 (Hohlleitermodell):

Das Hohlleitermodell ist der Hohlleiterrechnung nachempfunden und setzt für alle Begrenzungen (Wände/Ränder) des Resonators ideale Randbedingungen voraus. Nach Umstellen, der durch den Separationsansatz gefundenen Separationsgleichung, ergibt sich

$$f_R = \frac{c_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \quad \text{mit} \quad k_x = \frac{m\pi}{a}, k_y = \frac{n\pi}{b}, k_z = \frac{(2p-1)\pi}{2h}$$

als Resonanzfrequenz mit der Resonatorlänge, -breite, -höhe  $a, b, h$ , einer relativen Resonatorpermittivität  $\epsilon_r$  und der Anzahl an Halb- bzw. Viertelwellen ( $m, n, p$ ) entlang entsprechender Kanten.

### Methode 2 (Marcatili-Modell):

Nach [van Bladel, 1975] treten in nicht rotationssymmetrischen Volumenkörpern sogenannte *nonconfined modes* auf. Diese *nonconfined modes* beschreiben ein Heraustreten der Feldstärken über die Begrenzungen des Resonators und eine dadurch bedingte Verlängerung der Wellenlänge  $\lambda$  bzw. Verringerung der entsprechenden Wellenzahl  $k$ . Mithilfe der von [Marcatili, 1969] beschriebenen transzendenten Gleichung

$$k_y \tan\left(\frac{k_y b}{2}\right) = \sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_x^2}$$

ist es möglich, die Wellenzahl in Richtung der einzig existenten Feldstärkenkomponente (Longitudinalkomponente) für den  $H^y$ - ( $TE^y$ )-Mode zu bestimmen. Da nach van Bladel nur longitudinale Feldstärken heraustreten können, werden  $k_x = \frac{m\pi}{a}$  und  $k_z = \frac{(2p-1)\pi}{2h}$  wie zuvor anhand der Resonatorabmessung bestimmt und nach numerischer Lösung der transzendenten Gleichung zusammen mit  $k_y$  in die Separationsgleichung eingesetzt werden.

## Fazit

Trotz der Vernachlässigung der Feldstärken im Außenbereich und unter Betrachtung idealer Randbedingungen können mittels Hohlleitermodell akzeptable Ergebnisse erzielt werden, wie der anhand CST MWS<sup>1</sup> erstellte Vergleich zwischen Abbildung 2 und 3 zeigt. Es empfiehlt sich jedoch, das Hohlleitermodell bevorzugt bei höheren Permittivitäten zu verwenden. Aufgrund der dann schwächeren Außenfelder hat es hier eine bessere Genauigkeit. Sollen Resonatorabmessungen niederer Permittivität ermittelt werden, ist es ratsam, auf die transzendenten Gleichung von Marcatili zurückzugreifen. Resonatoren niedriger relativer Permittivität ermöglichen höhere Bandbreiten (vgl. Abb. 2 und 3), wohingegen bei Resonatoren höherer Permittivität kürzere Kantenlängen möglich werden. Im direkten Vergleich zwischen einer RDRA und einer klassischen Patch-Antenne mit identischer Permittivität erweist sich die RDRA als breitbandigere Antenne (jeweils im Grundmode beider Antennen).

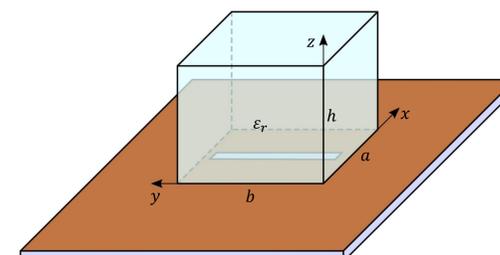


Abbildung 1: Aperturgekoppelte dielektrische Resonatorantenne mit fünf magnetischen und einer elektrischen Wand

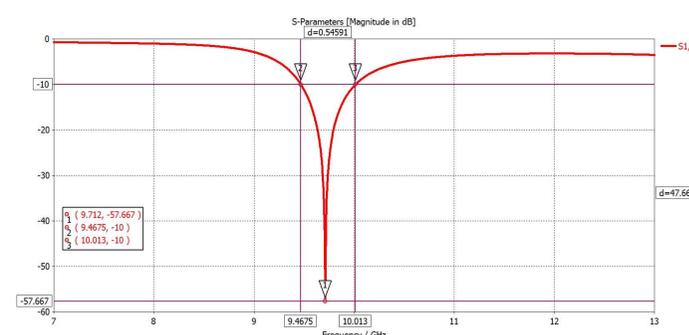


Abbildung 2: Reflexionsparameter nach einer Resonatordimensionierung mittels Hohlleitermodell für geforderte 9,7 GHz mit  $\epsilon_r = 10,7$  und  $a = b = 2h = 6,681 \text{ mm}$

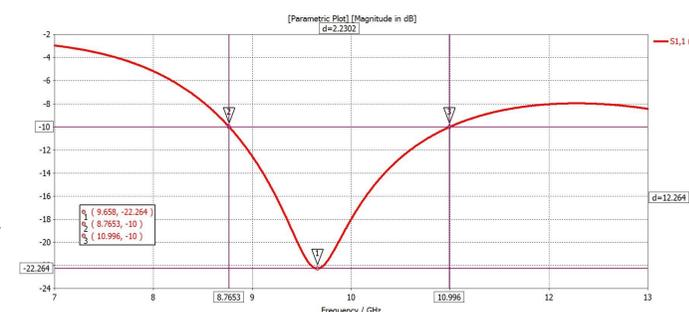


Abbildung 3: Reflexionsparameter nach einer Resonatordimensionierung mittels Marcatili-Modell für geforderte 9,7 GHz mit  $\epsilon_r = 3,48$  und  $a = b = 2h = 12,939 \text{ mm}$

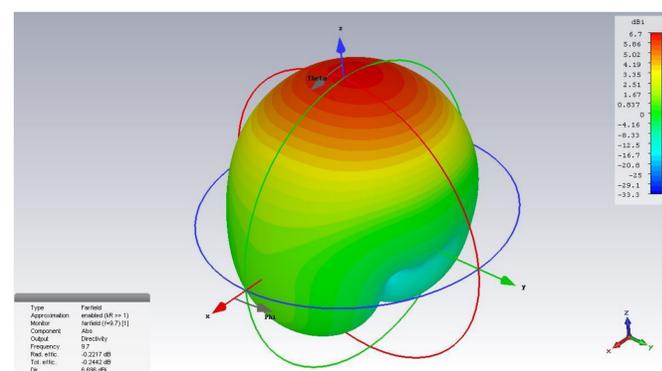


Abbildung 4: Fernfelddarstellung des Marcatili-Modells für 9,7 GHz mit einer relativen Permittivität von  $\epsilon_r = 3,48$ , einer maximalen Direktivität von 6,7 dBi sowie Halbwertsbreiten von  $\theta = 80^\circ$  bei  $\phi = 0^\circ$  und  $\theta = 82^\circ$  bei  $\phi = 90^\circ$

## Hinweise:

<sup>1</sup>CST MWS Computer Simulation Technology Microwave Studio (Software zur numerischen Lösung elektromagnetischer Feldprobleme, Teil der CST Studio Suite, entwickelt von der CST AG)

## Quellen:

[van Bladel, 1975] J. van Bladel. On the resonances of a dielectric resonator of very high permittivity. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 23(2):199–208, 1975.  
 [Marcatili, 1969] E. A. J. Marcatili. Dielectric rectangular waveguide and directional coupler for integrated optics. Bell System Technical Journal, 48(7):2071–2102, 1969.