



# Master-Arbeit

Zum Verfasser

Thema: **Untersuchung der Bode-Fano-Grenze rechteckiger Streifenleitungsantennen für verschiedene Einspeisevarianten und Optimierung der Anpassungsbandbreite Apertur-gekoppelter Strahler**

Verfasser: Christopher Bonenberger

Studiengang: Electrical Engineering

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Klaus Werner Kark  
Prof. Dr.-Ing. Siegfried Osterrieder

Christopher Bonenberger  
geb. am 18.01.1992

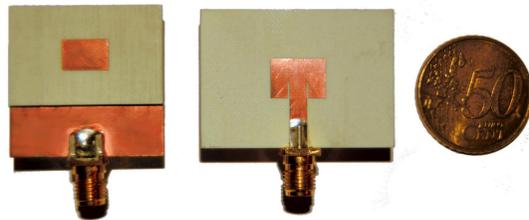


2011-2014: Bachelorstudium  
Elektrotechnik und Informations-  
technik

2014-2016 : Masterstudium (Electrical Engineering)

## Zielsetzung:

Ausgehend von einer vergleichenden Beurteilung verschiedener Einspeisevarianten für rechteckige Streifenleitungsantennen (siehe Abbildung 1) wird in dieser Arbeit das Bandbreite-Potential von Streifenleitungsantennen untersucht.



**Abbildung 1:** Prototypen einer Apertur-gekoppelten (links) und *inset*-gespeisten Streifenleitungsantenne (rechts)

Die Betrachtung stützt sich auf die Bode-Fano-Grenze als zentrales Gütemaß, es ist aber auch eine Analyse der Fernfeldcharakteristik (siehe Abbildung 5) gegeben. Die Bode-Fano-Grenze ermöglicht eine Aussage darüber, wie breitbandig eine Antenne bei gegebenem Reflexionslevel mittels eines idealen Anpassungsnetzwerkes angepasst werden kann.

Weiterhin werden verschiedene Ansätze der Realisierung solcher Anpassungsnetzwerke untersucht.

## Die Bode-Fano-Grenze:

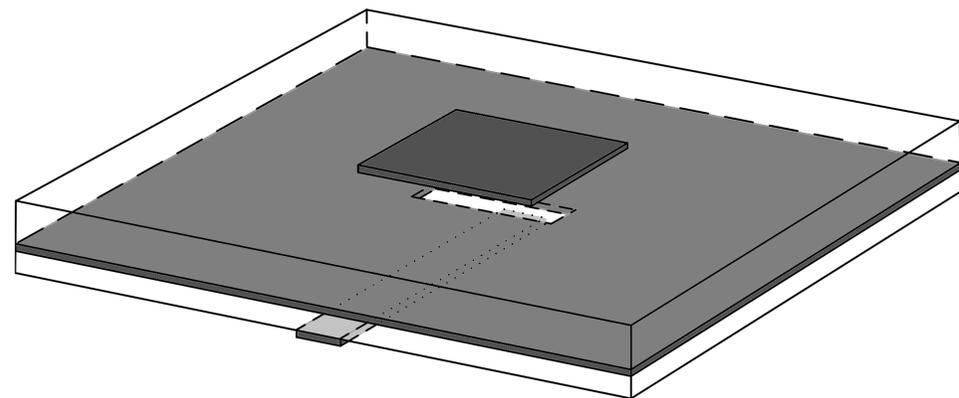
Die Modellierung einer Antenne als kirchhoffsche Last ermöglicht die mathematische Beschreibung der charakteristischen Eigenschaften dieser Antenne. Auf Basis dieser unabänderlichen Charakteristik kann eine Optimierung der verbliebenen veränderlichen Eigenschaften vorgenommen werden. Die mathematischen Grundlagen sind mit dem Bode-Integral-Theorem gegeben [1]:

$$\int_0^{\infty} \ln(|\underline{s}_{11}(j\omega)|^{-1}) d\omega = \frac{\pi}{2} A_1^{\infty} - \pi \sum_{m=1}^M \Re\{\underline{\lambda}_{z,m}\},$$

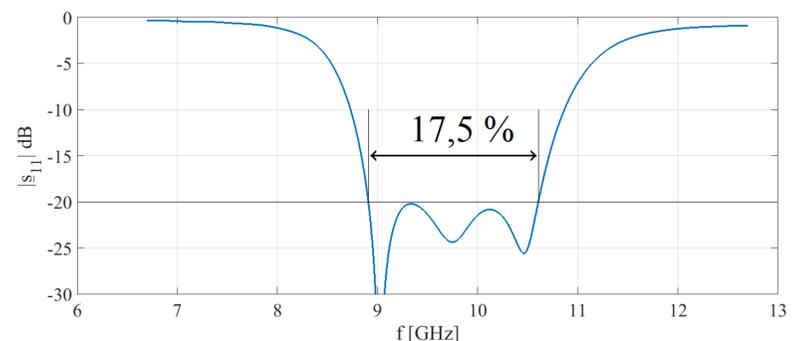
wobei mit  $A_1^{\infty}$  die unabänderliche Charakteristik und mit  $\underline{\lambda}_{z,m}$  der veränderliche Teil der Last gegeben ist. Die Fläche, welche die  $\underline{s}_{11}$ -Parameter als Funktion der Frequenz aufspannen, bleibt also konstant. So lässt sich (in einfachen Fällen) die Bode-Fano-Grenze wie in Abbildung 4 dargestellt berechnen. Abbildung 4 zeigt die Bode-Fano-Grenze einer Apertur-gekoppelten Streifenleitungsantenne (siehe Abbildung 2). Diese Grenze kann jedoch nicht erreicht werden, da ein ideales Anpassungsnetzwerk vorausgesetzt wird. Die mit Anpassungsnetzwerken  $n$ -ter Ordnung erreichbare Anpassungsbandbreite ist ebenfalls in Abbildung 4 gegeben.

## Fazit:

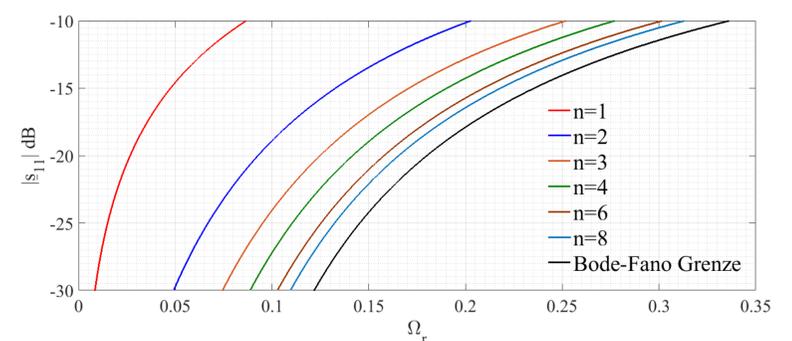
Durch Simulationen (CST MWS<sup>1</sup>) und den Aufbau von Prototypen konnte gezeigt werden, dass Apertur-gekoppelte Streifenleitungsantennen (Abbildung 2) das höchste Bandbreite-Potential aufweisen und außerdem eine flexible Abänderung der Eingangsimpedanz ermöglichen. Weiterhin konnte, basierend auf den Resultaten der Bode-Fano-Theorie und bestehenden Ansätzen zur Impedanzanpassung, eine neue Strategie zur breitbandigen Anpassung entwickelt werden. Mit der entwickelten Methode können bei Apertur-gekoppelte Streifenleitungsantennen mit geringem Aufwand sehr hohe Anpassungsbandbreiten (wie zum Beispiel in Abbildung 3 dargestellt) erreicht werden. Neben dieser neuartigen Anpassungsstrategie wurden auch bekannte Ansätze zur Erhöhung der Bandbreite untersucht. So wird gezeigt, wie allein durch passende Wahl der Einspeisung und des Substrats mit geeigneter Strahlerdimensionierung eine Optimierung des Strahlungsverhaltens und der Anpassungsbandbreite erfolgen kann.



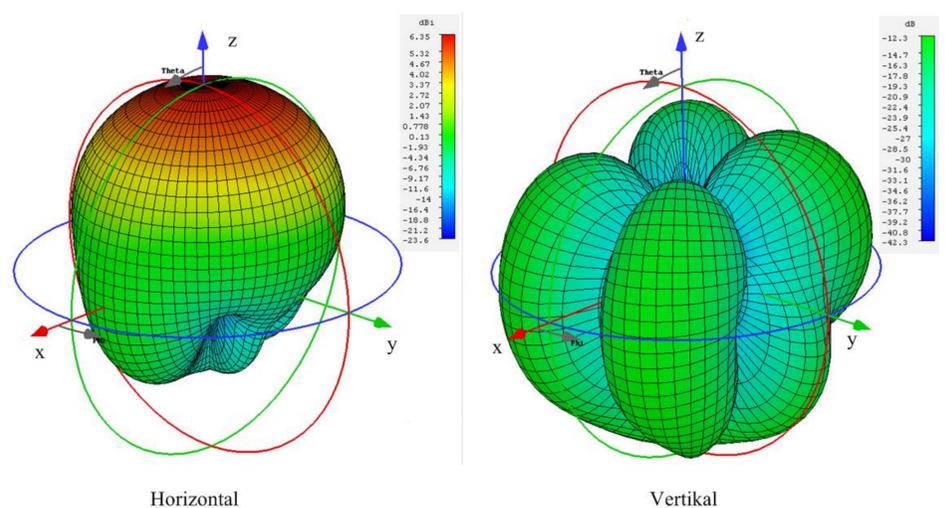
**Abbildung 2:** Schematischer Aufbau einer Apertur-gekoppelten Mikrostreifenleitungsantenne



**Abbildung 3:** Eingangsreflexionsfaktor einer optimierten Apertur-gekoppelten Antenne mit einer relativen Bandbreite von 17,5%



**Abbildung 4:** Theoretisch erreichbare relative Bandbreite für gegebenes Reflexionslevel und eine bestimmte Filterordnung  $n$  gemäß der Bode-Fano Theorie



**Abbildung 5:** Kopolare (links) und kreuzpolare (rechts) Richtcharakteristik einer *Patch*-Antenne

<sup>1</sup>CST MWS Computer Simulation Technology Microwave Studio (Software zur numerischen Berechnung elektromagnetischer Felder)

Quellen: [1] Fano, R. M., 1948. *Theoretical Limitations On The Broadband Matching Of Arbitrary Impedances*. Research Laboratory of Electronics - MIT