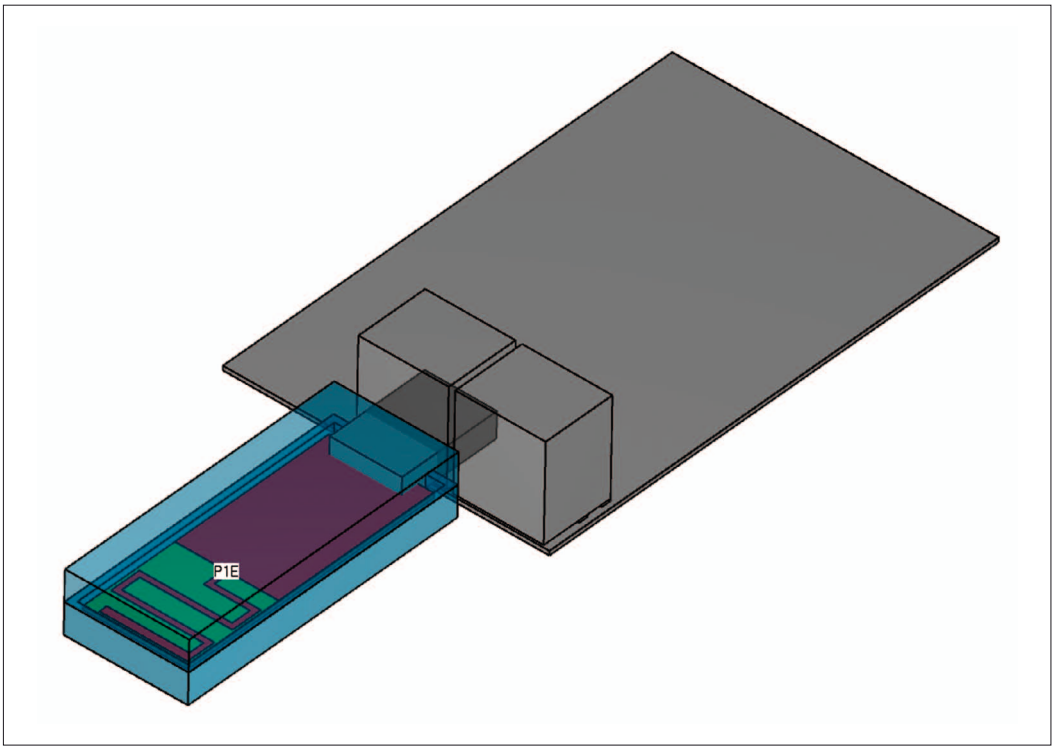
Optimierung von PCB-Antennen für reale Umgebungen



Werden fremde Antennen-Designs für das eigene Projekt übernommen, bei veränderten PCB-Abmessungen, so führt dies oft zu Enttäuschungen. Denn die Performance von Antennen auf Leiterplatten – und damit die Reichweite der Systeme – hängt stark von der Einbausituation der Antenne ab.

Dr.-Ing. Volker Mühlhaus
Dr. Mühlhaus Consulting & Software GmbH

Dies betrifft insbesondere kompakte Antennen, bei denen die Massefläche des PCBs immer ein integraler Bestandteil ist.

Aber auch nahegelegene Metallstrukturen verändern das Verhalten der Antenne deutlich, ebenso wie das umgebende Gehäuse.

Das „Drumherum“ beachten

Zur Optimierung der Reichweite muss man bereits beim Antennenentwurf die Umgebungseinflüsse und tatsächlichen PCB-Dimensionen berücksichtigen. Der Aufwand lohnt sich: Mit einem derartig optimierten Entwurf wurde bei einer kompakten 868/915-MHz-Modulantenne eine Reichweite von 1 km im Freifeld erreicht.

Betrachten wir mithilfe der EM-Simulation einige externe Einflüsse für eine 868-MHz-Antenne, die auf der Texas Instruments Design Note DN024 basiert. Die Antenne wird einem Anpassnetzwerk auf 868 MHz abgestimmt und erreicht ein SWR <1,1 @ 868 MHz.

Diese HF-Leiterplatte wird nun mit Steckverbindern über ein Motherboard montiert. Je nach Position der HF-Platine ergibt dies eine Verschiebung der Resonanzfrequenz entsprechend einem SWR = 5 @ 868 MHz für Motherboard 2 und SWR = 10 @ 868 MHz für Motherboard 3. Ein SWR >100 ist gar zu beobachten, wenn die Antenne in 5 mm Abstand bündig über dem PCB montiert wird. In dieser Einbausituation behindert die Masse von Motherboard 1 die Abstrahlung und verstimmt massiv die Antenne.

Bild 1 zeigt das Antennenmodul solo und an unterschiedlichen Positionen, während Bild 2 das

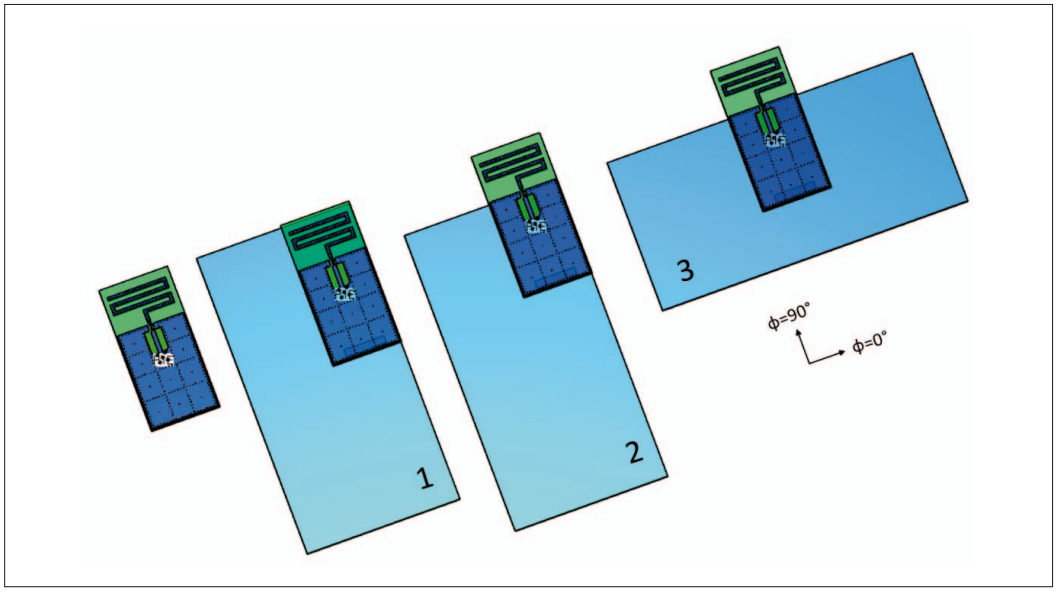


Bild 1: Antennenmodul solo und an unterschiedlichen Positionen

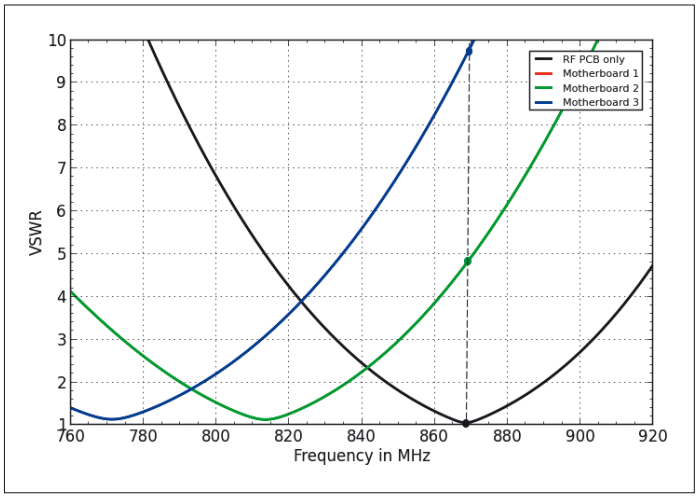


Bild 2: SWR bei unterschiedlichen Positionen des HF-Moduls

SWR bei diesen dokumentiert. Der große Einfluss der Anordnung auf die Antennen-Performance wird auch im Antennendiagramm deutlich, wenn wir den realisierten Gewinn vergleichen, also die Verluste durch Fehlanpassung einbeziehen.

Die HF-Leiterplatte hat allein eine achtförmige Abstrahlcharakteristik, ähnlich einem Dipol. Bei Anordnung mittig auf der Kante des Motherboards mit „freiem" Strahler (Motherboard 3) bleibt diese Abstrahlcharakteristik weitgehend erhalten, mit um 6 dB reduziertem Gewinn durch Fehlanpassung. Bei Position in der Ecke (Motherboard 2) ergibt sich eine deutlich andere, eher rundstrahlende Charakteristik mit einem stärkeren Einbruch in der Richtung, wo beim separat gemessenem Antennen-PCB ein Maximum war. Bei Anordnung der Antenne bündig über dem PCB gibt es kaum Richtwirkung in der Ebene, bei einem wegen starker Fehlanpassung sehr kleinen realisierten Gewinn von bestenfalls -16 dBi.

Bild 3 zeigt das Antennendiagramm bei unterschiedlichen Positionen desselben HF-Moduls. Man erkennt, dass für ein optimales Antennen-Design die Umgebung der Antenne frühzeitig berücksichtigt werden sollte. Dies ist durch 3D-EM-Simulationen problemlos möglich, wobei neben den Montageabhängigkeiten auch Empfindlichkeit auf Materialtoleranzen untersucht werden können. Gerade bei direkt auf FR4 realisierten Designs ist dies unbedingt sinnvoll, denn so kann vorab geprüft werden, ob ein teureres Basismaterial mit besseren Spezifikationen sinnvoll ist.

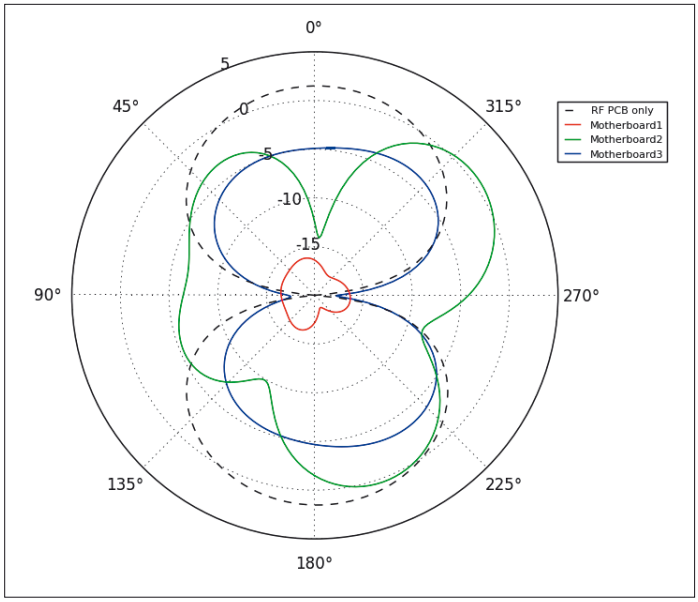


Bild 3: Antennendiagramm bei unterschiedlichen Positionen desselben HF-Moduls

Design für eine Zielumgebung

Mit diesen Erkenntnissen wird nun eine kompakte 868-MHz-Antenne in USB-Stick-Bauform realisiert. Wegen der geringen Baugröße wirkt hier nicht nur die Masse im USB-Stick auf die Abstimmung der Antenne, sondern auch das angeschlossene Gerät. Stimmt man die Antennenresonanz allein auf den Stick ab, so ergibt sich im realen Betrieb eine deutliche Fehlanpassung und entsprechend reduzierte Reichweite. Durch den Entwurf der Antenne für die tatsächliche Umgebung – hier ein Raspberry Pi – ergibt sich eine gute Performance, die auch in ähnlichen Umgebungen erhalten bleibt. Das Aufmacherbild zeigt den Stick am µC.

Dargestellt in den Bildern 4 bis 6 ist das SWR für den Stick einzeln (Resonanz bei 1 GHz) sowie angeschlossen an einen Raspberry Pi sowie einen typische Laptop-Situation und typische Anordnung am Desktop PC.

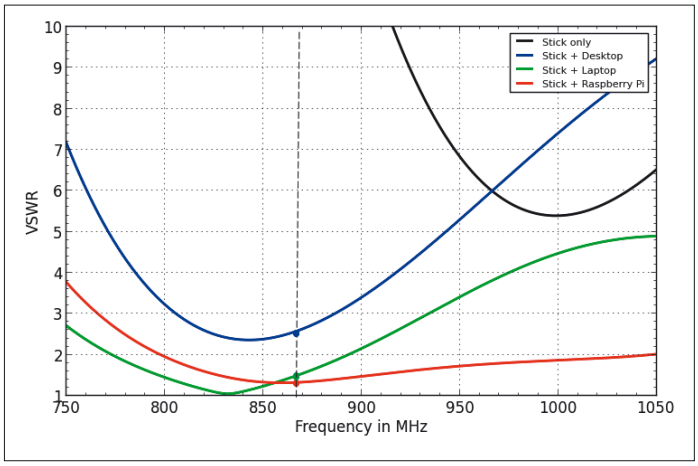


Bild 4: SWR des Funkstick je nach Montageort

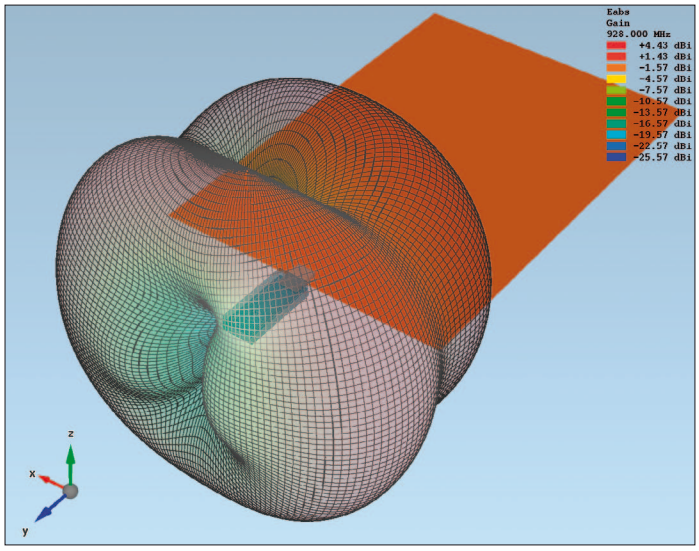


Bild 5: Antennendiagramm Funkstick mit flachem GND (Notebook)

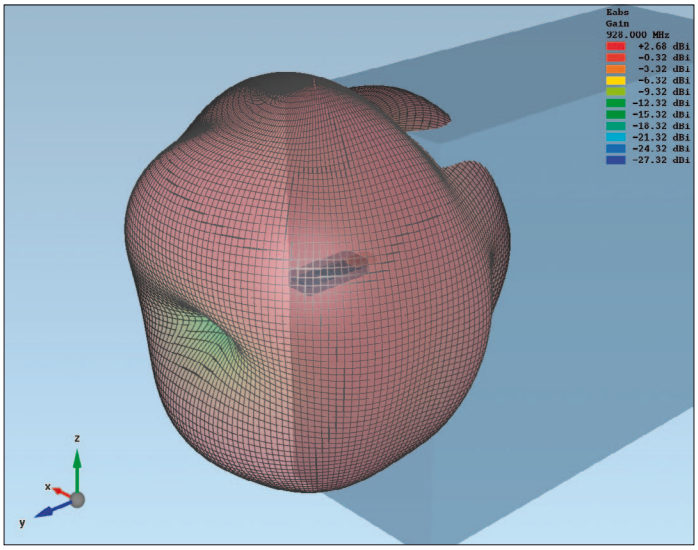


Bild 6: Antennendiagramm Funkstick mit Desktop-Gehäuse

Positionierung einer F-Antenne für 2,4 GHz

Nun untersuchen wir eine mäandrierte 2,4-GHz-F-Antenne, deren Position entlang der Leiterplattenkante um 4 bzw. 8 mm nach links verschoben wird. Durch den geringen Abstand zwischen Strahler und Massefläche ist diese Antenne recht schmalbandig und ihre Abstimmung wird bereits bei kleinen Positionsänderungen beeinflusst, ebenso wie einige Einbrüche im Richtdiagramm. Es informieren genauer die Bilder 7 bis 9.

Simulation oder Messung?

Was ist also sinnvoll beim Entwurf von PCB-Antennen? Sollte man auf EM-Simulation setzen oder genügt ein Nachtrimmen der Resonanzfrequenz im Labor am Hardware-Prototypen?

Für elektrisch kleine Antennen, bei denen jede zusätzliche Masse das Antennenverhalten ändert, ist eine rein messtechnische Optimierung schwierig: Schon ein angeschlossenes Koaxkabel ändert die Massesituation und hat deutlichem Einfluss auf alle Parameter. Eine Optimierung des HF-Moduls am Netzwerkanalysator führt also nicht zur optimalen Reichweite im Realbetrieb, wie das Beispiel des USB-Sticks zeigt. In solchen Fällen ist eine simulationsbasierte Antennenoptimierung zweckmässig, die zugleich Toleranzen von Materialien und Variationen der Einbausituationen abprüfen kann.

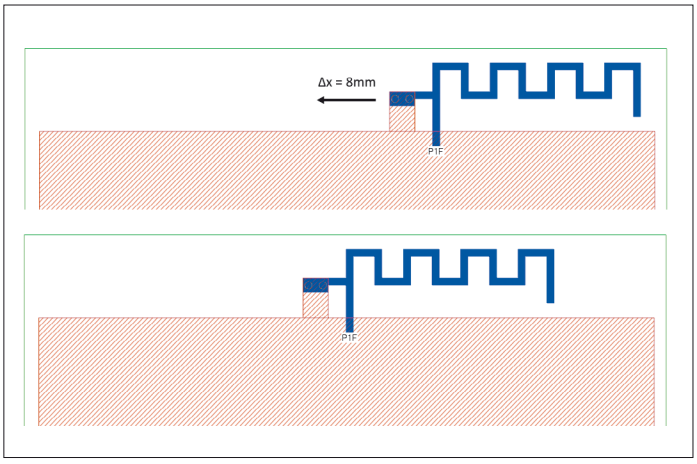


Bild 7: Verschiebung der 2,4-GHz-Antenne entlang der Kante

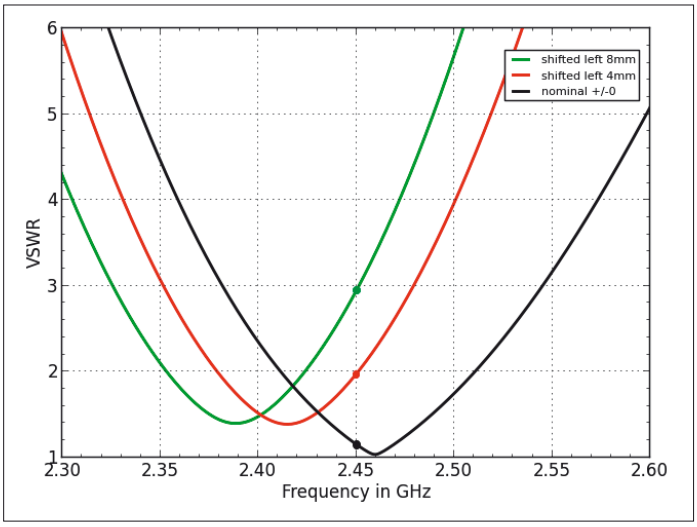


Bild 8: SWR bei Verschiebung

Bei einem 868/915-MHz-USB-Funkstick wurde so eine deutliche Reichweitensteigerung gegenüber früheren Designs möglich, und das bei reduzierten Fertigungskosten. Sinnvoll ist der Einsatz der EM-Simulation auch bei IoT- und Smarthome-Antennen, deren spätere Einbausituation nicht exakt definiert ist, weil sie etwa in einer Betonwandöffnung oder auch in einer Hohlwanddose im Trockenbau/Holzbau Verwendung finden können: Hier hilft die Simulation, ein gegenüber diesen Einflüssen robustes Antennen-Design zu entwerfen und eine Vielzahl von Szenarien bereits beim Entwurf zu berücksichtigen.

Bei Antennen mit ausreichend großer Massefläche und gut definierten Einbaubedingungen, die nur eine Resonanzverschiebung erfahren, ist eine rein experimentelle Optimierung möglich. Eine Simulation kann jedoch auch hier hilfreich sein, um eine effiziente Abstimmstrategie festzulegen und das Antennendiagramm in der realen Umgebung zu überprüfen.

Quellen

[1] www.ti.com/lit/an/swra227e/swra227e.pdf

[2] http://muehlhaus.com/support/antenna/pcb-em

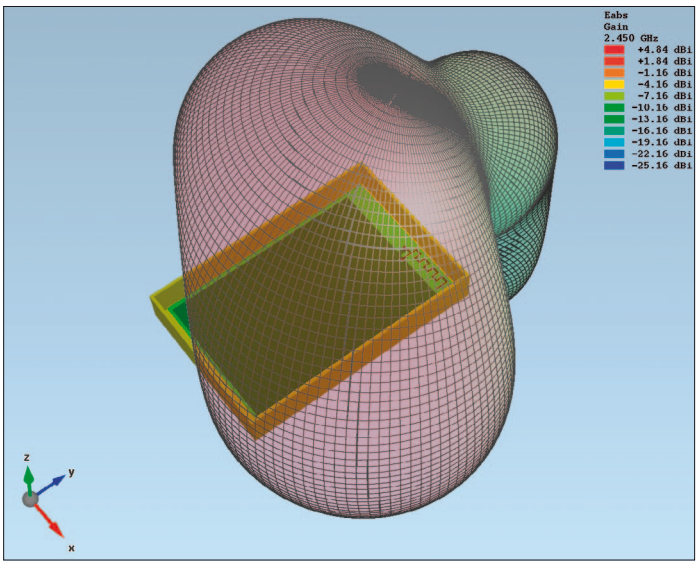


Bild 9: Antennendiagramm mit PCB und Gehäuse