

# Simulation einer UWB Patchantenne mit dem Simulationstool CST Microwavestudio

Frank Westphal, Friederike Schmidt

**Abstract**—In diesem Paper wird die Simulation und CAD einer kompakten Mikrostreifen-Patchantenne mit 3,6 GHz Bandfilter für 3G/Bluetooth/WIMAX und UWB Anwendungen vorgestellt. Ein großer rechteckiger Schlitz in der Groundplane sorgt für die omnidirektionale Abstrahlung und Anpassung der tiefen Frequenzen. Ein Single Stub sorgt für die Anpassung der Impedanzen im hohen Frequenzbereich. Um mögliche Interferenzen mit dem IEEE 802.16e Standard (WIMAX 3,3-3,9 GHz) zu vermeiden, wurde ein U-förmiger Schlitz in der Mikrostreifenleitung eingefügt. Dieser wirkt wie ein Filter mit einem Maximum bei 3,6 GHz. Für die Elektromagnetische Feldsimulation wurde die Software CST Microwave Studio 2014 genutzt. Die Simulation basiert auf der Methode der finiten Integration im Zeitbereich. Die Simulationsergebnisse zeigen einen guten Stehwellenverhältnis und gute radiale Abstrahlcharakteristik neben dem Bandstop über die gesamte Bandbreite von 7,75 GHz (1,9-9,65 GHz). Des weiteren wurde die Simulationsumgebung untersucht.

## I. EINLEITUNG

Für die kommerzielle Nutzung des Ultra-Wideband UWB im Frequenzbereich von 3,1 GHz - 10,6 GHz werden das Design und die Integration von UWB-Systemen für Wissenschaft und Industrien in den Kommunikationsbereichen immer wichtiger. Eines der wesentlichen Bauteile für das Front-End des UWB Kommunikationssystem ist unter anderem die UWB-Antenne. Eine brauchbare UWB-Antenne muss sehr viele Anforderungen erfüllen. Diese sind eine kleine Größe, omnidirektionale Abstrahlcharakteristik, und eine hohe stabile Verstärkung über das gesamte Frequenzband. Ausserdem interferiert im UWB eine WiMAX-Technologie (3,2 GHz - 3,9 GHz). Aus diesem Grund wird mit Hilfe des Simulationsprogramms der Firma CST und den Grundlagen aus [1] eine UWB-Patchantenne (Mikrostreifentechnologie) moduliert und die wichtigsten Eigenschaften dieser simuliert. Die Patchantenne weist eine Notch-Filter-Charakteristik bei 3,6 GHz auf. Die Eigenschaften dieser, die Abstrahlcharakteristik, das Stehwellenverhältnis (VSWR) und der Antennengewinn, sind die wesentlichen Betrachtungen der Simulation. Zusätzlich werden spezielle Untersuchungen der Simulationsumgebung und deren Einfluss auf die Eigenschaften der Antenne gemacht. Speziell in CST-Microwave Studio sind es Untersuchungen zu den unterschiedlichen Lösungsverfahren für die Feldberechnung, Gitterkonvergenzstudien und die mögliche Einspeisung der Welle bzw. der Signale. Das Antennendesign, die Simulation und die Präsentation der Ergebnisse sind Gegenstand der folgenden Abschnitte.

Prof. Dr.-Ing. Rolf Schuhmann.  
Stefan Kirsch, Christoph Claßen.

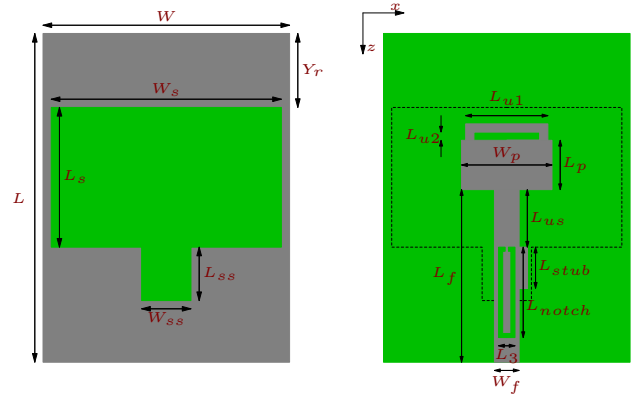


Fig. 1. Geometrie der Patchantenne. links Rückseite und rechts Vorderseite

## II. CAD

### A. Antennendesign

Die Geometrie der Antenne wird in Fig.1 gezeigt. Die Antenne besteht aus einem FR4 Substrat, welches die Abmessungen  $L \times W = 40 \times 30 \text{ mm}^2$  hat mit einer relativen Permeabilität von  $\epsilon_r = 4,7$  und einem Verlustfaktor von  $\tan\delta = 0,025$ . Die Höhe des Substrats ist  $h = 1,5 \text{ mm}$ . Auf der Rückseite des Substrats befindet sich die Massefläche. Die Antenne besteht aus einem rechteckigem Schlitz in der Massefläche der Größe  $L_s \times W_s = 17 \times 28 \text{ mm}^2$ , der für die Abstrahlung im tiefen Frequenzbereich verantwortlich ist. Auf der Vorderseite der Antenne befindet sich außerdem ein Patch der Dimension  $L_p \times W_p = 6 \times 11 \text{ mm}^2$  an dem sich zusätzlich ein U-förmiger Streifen befindet. Dieser wird durch die Größen  $L_{u1} = 10 \text{ mm}$  und  $L_{u2} = 1 \text{ mm}$  beschrieben, wie sie in Fig. 1 rechts zu sehen sind, und hat überall die Breite  $W_{up} = 1 \text{ mm}$ . Der Patch wird über eine  $50 \Omega$  Mikrostreifenleitung mit der Breite  $W_f = 3 \text{ mm}^2$  und der Länge  $L_f = 3 \text{ mm}^2$  angeregt. In der Massefläche befindet sich zusätzlich ein rechteckiger Schlitz der Größe  $L_{ss} \times W_{ss} = 6,5 \times 6 \text{ mm}^2$ , der die Impedanzanpassung im hohen Frequenzbereich verbessert. Zur weiteren Leistungsanpassung befindet sich auf der rechten Seite der Mikrostreifenleitung ein Single-Stub mit der Länge  $L_{stub} = 5 \text{ mm}$  und der Breite  $W_{stub} = 5 \text{ mm}$ . Dieser hat den Abstand von  $L_{us} = 7 \text{ mm}$  zum unteren Ende des Patches. Die Filterfunktion der Antenne bei 3,6 GHz wird durch einen U-förmigen Schlitz erzielt, der sich in der Mikrostreifenleitung befindet. Dieser hat eine Gesamtlänge von  $L_t = 25,6 \text{ mm}$  und ist  $0,5 \text{ mm}$  breit. Die Länge des Schlitzes entspricht dabei in etwa der halben Wellenlänge der Sperrfrequenz.

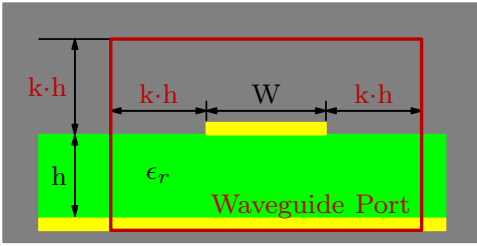


Fig. 2. Portgröße in Abhängigkeit des Erweiterungsparameters  $k$  und der Höhe  $h$  des Substrats

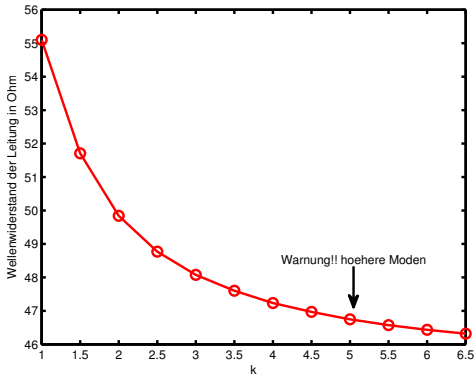


Fig. 3. Konvergenzverhalten der Eigangsimpedanz in Abhängigkeit von der Portgröße

**B. Simulationsumgebung**

Die Simulation der Antenne wird mit dem CST-Microwavestudio durchgeführt. Als Löser wird der Zeitbereichslöser verwendet, da dieser sehr gut für breitbandige Untersuchungen geeignet ist. Als Berechnungsmethode wird hier die Finite-Integration verwendet, mit quaderförmigen Gitterzellen. Die minimale Anzahl der Gitterzellen pro Wellenlänge wird zunächst auf 30 gesetzt. Des Weiteren werden die Löserparameter festgelegt. Bei den Messungen wird der Frequenzbereich von 1 GHz-10 GHz untersucht. Des weiteren wird um die Antenne ein Rechengbiet festgelegt, welches hier aus Vakuum besteht. Die Randbedingungen des Rechengbiets werden auf Open-Add-Space eingestellt, d.h. Wellen können den Rand mit möglichst wenig Reflektion passieren. Die Option Add-Space bedeutet dabei, dass zwischen der Antenne und dem Rand zusätzlicher leerer Raum definiert wird, um die Abstrahlung der Antenne beurteilen zu können. Für die Speisung der Antenne wird ein Wellenleiter-Port festgelegt.

**III. SIMULATIONSERGEBNISSE**

Die Einspeisung der Welle bzw. des Messsignals erfolgt über einen sogenannten Wellenleiter Port wie er in Fig. 2 zu sehen ist. Zusätzlich erfolgt an dem Port die Auswertung der Messsignale und somit der S-Parameter bzw. des VSWR. Vor allem die Größe des Ports hat einen entscheidenden Einfluss auf die Simulationsergebnisse. Für die Berechnung einer Messreihe wird ein Parameter  $k$  (in Abhängigkeit von der Substrathöhe) eingeführt, über den sich die Portgröße variieren lässt. Als Konvergenzkriterium wird die Eingangsimpedanz

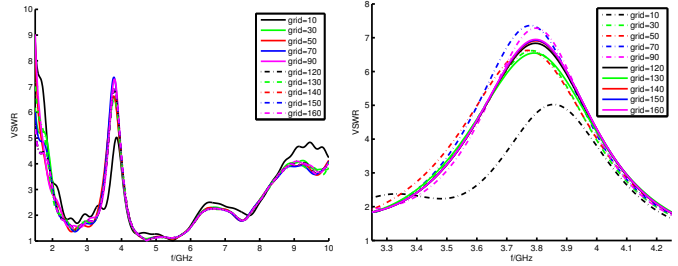


Fig. 4. Konvergenzverhalten des VSWR in Abhängigkeit der Gitterzellen pro Wellenlänge

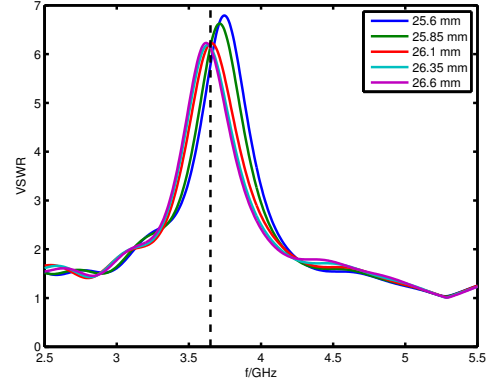


Fig. 5. Verschiebung der Filterfrequenz durch Variation der Länge des U-förmigen Filters

(Fig. 3) der Mikrostreifenleitung und der VSWR gewählt. Ist der Port zu klein definiert, konvergiert die Impedanz nicht und die Grundmode wird durch die Abmessungen sichtbar eingeschränkt. Ein zu kleiner Port kann ausserdem zur Instabilität des Löser führen. Ist der Port zu groß, können bei der Anregung auch höhere Moden entstehen. Gewünscht ist aber nur die Quasitransversalelektromagnetische Welle. Aus diesen Gründen wurde für alle weiteren Messungen der Parameter  $k$  auf 4,5 gesetzt.

Als weiteres Kriterium wird die Anzahl der Gitterzellen pro Wellenlänge untersucht. Der Zeitbereichslöser von CST arbeitet mit der Methode der Finiten Integration. Dabei ist für die Feldberechnung die Größe der Gitterzellen und damit die Auflösung der gegebenen Strukturen entscheidend. Hier ist ausschlaggebend, dass vor allem Kanten oder Unregelmäßigkeiten in der Struktur ausreichend fein aufgelöst werden. In Fig. 4 wird das Konvergenzverhalten des VSWR bei variierender Anzahl der Gitterzellen pro Wellenlänge beobachtet. Es zeigt sich zunächst, dass sich für eine grobe Auflösung der Antenne durch die Gitterzellen der VSWR sprunghaft ändert. Erst ab 140 Zellen pro Wellenlänge stabilisiert sich der VSWR, sodass sich die Verläufe nur noch geringfügig unterscheiden. Ab 170 Zellen pro Wellenlänge reicht der Arbeitsspeicher nicht mehr aus und der Solver wird abgebrochen. Die Dauer einer Berechnung liegt hier auch schon bei über 3,5 h.

Das erste Messergebnis des VSWR stimmte nicht mit den gewünschten Forderungen überein. Vor allem das Maximum der Sperrfrequenz ist verschoben und die Verstärkung bei hohen Frequenzen zu niedrig. Um die Sperrfrequenz zu

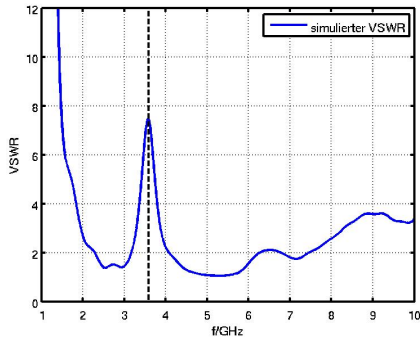


Fig. 6. VSWR der Patchantenne mit der in [1] vorgegebenen Geometrie

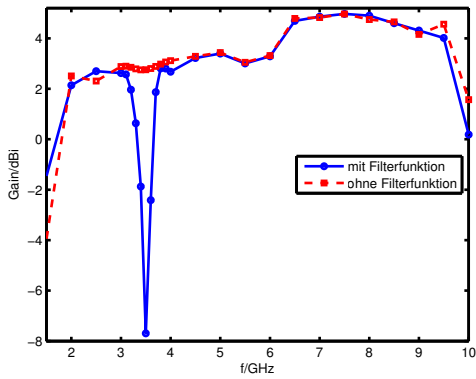


Fig. 7. maximaler Antennengewinn der Patchantenne mit und ohne Filterfunktion

Verschieben wird die Länge des U-förmigen-Filters in der Mikrostreifenleitung variiert. Das Maximum der Sperrfrequenz lässt sich über die Länge des U-Schlitzes einstellen und es hat keinen nennenswerten Einfluss auf die weitere Parameter. Bei einer Gesamtlänge des U-Schlitzes von 26 mm liegt das Maximum genau bei den geforderten 3,6 GHz.

In Fig. 6 ist der simulierte VSWR der Antenne mit den im Paper [1] vorgegebenen geometrischen Abmessungen über der Frequenz in GHz dargestellt. Es zeigt sich ein VSWR < 2 im Arbeitsbereich der Antenne bis etwa 7,5 GHz. Darüber hinaus wird immer noch mindestens ein VSWR < 4 erreicht. Bei der geforderten Sperrfrequenz von 3,6 GHz zeigt sich ein Maximum des VSWR mit einem Wert von etwa 7,5.

Der Antennengewinn gibt den Gewinn der abgestrahlten Leistung einer Antenne im Vergleich zu der eines isotropen Kugelstrahlers an. In Fig. 7 wird der ermittelte Antennengewinn der betrachteten Antenne in dBi (dBisotrop) über der Frequenz in GHz gezeigt. Dabei wird zum einen die Antenne mit Filterfunktion, also U-Schlitz und ohne dieser Filterfunktion betrachtet. Hier werden diskrete Frequenzen über Frequenzmonitore beobachtet und jeweils der in allen Raumrichtungen maximale Gewinn aufgetragen. Es zeigt sich ein stabiler Gewinn, der über dem gesamten Arbeitsbereich der Antenne im Mittel 3,5 dBi beträgt. Bei der Umgebung Sperrfrequenz von 3,6 GHz ist ein signifikanter Einbruch des Gewinns bis etwa -8 dBi zu erkennen.

Fig. 8 zeigt die normalisierten Fernfelddiagramme von  $E_{\theta}$

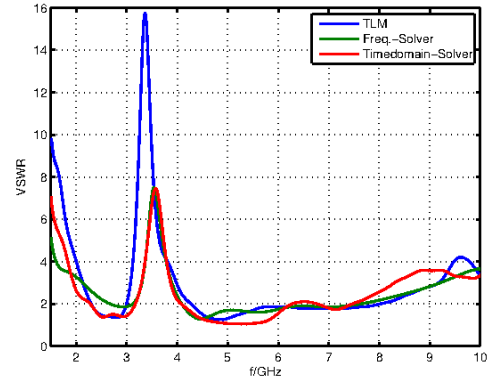


Fig. 9. Vergleich des Zeitbereichslösers, des Frequenzbereichslösers und des TLM-Lösers anhand des VSWR

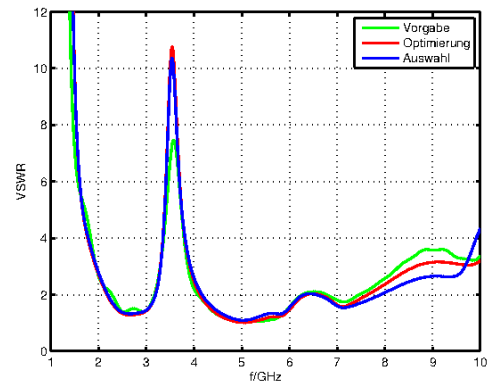


Fig. 10. VSWR vor und nach der Optimierung

und  $E_{\varphi}$  jeweils in der xy- und yz-Ebene (Lage der Koordinaten in Fig. 1) bei den Frequenzen von 2,5 GHz und 7,5 GHz. Es zeigt sich in der xy-Ebene eine weitgehend omnidirektionale Abstrahlcharakteristik. Die Abstrahlung in der yz-Ebene lässt sich hingegen mit der Abstrahlcharakteristik eines vertikalen Dipols vergleichen.

Des weiteren wird in Fig. 9 ein Vergleich zwischen verschiedenen Lösungsverfahren gezeigt. Hier wird der VSWR mit dem bisher verwendeten Zeitbereichslöser, dem Frequenzbereichslöser und einem weiteren Lösungsverfahren im Zeitbereich, dem so genannten TLM-Solver, bestimmt. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung der simulierten Ergebnisse mit dem verwendeten Zeitbereichslöser und dem Frequenzbereichslöser. Der TLM-Solver liefert stark abweichende Ergebnisse. Da bei dem TLM-Solver durch einen Algorithmus die Gesamtanzahl der Gitterzellen verringert wird, ist zu vermuten, dass die Antenne nicht mehr ausreichend aufgelöst wird und dadurch die Abweichung der Ergebnisse entsteht.

Um die Eigenschaften der Antenne zu verbessern, wird eine Optimierung durchgeführt. Das Augenmerk der Optimierung liegt dabei zum einem auf der Eingangsimpedanz der Mikrostreifenleitung, die mit  $47 \Omega$  nicht die erwarteten  $50 \Omega$  erreicht, und zum anderen auf dem VSWR der Antenne. Für den VSWR werden dabei zwei Optimierungsziele angesetzt. Dieser sollte im hohen Frequenzbereich kleiner als 2 sein und bei der Sperrfrequenz ein möglichst ho-

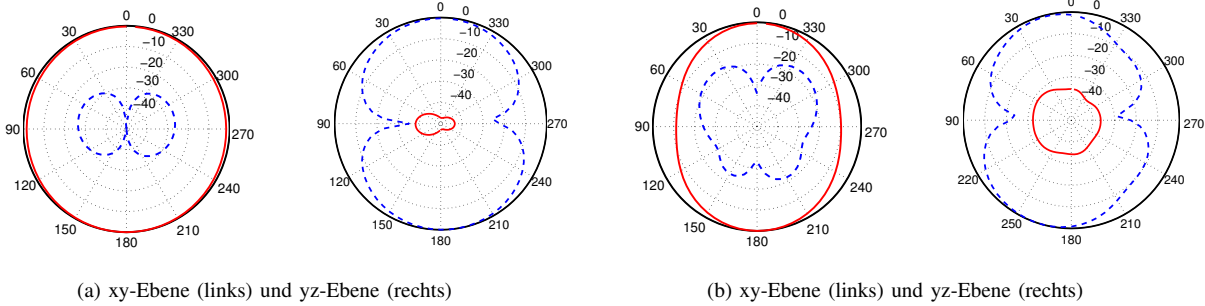


Fig. 8. Simulierte Fernfelddiagramme von  $E_\theta$  (blau) und  $E_\varphi$  (rot) bei der Frequenz von (a) 2,5 GHz und (b) 7,5 GHz

TABLE I  
OPTIMIERUNG DER PARAMETER

Parameter	$L_{u1}/\text{mm}$	$L_{u2}/\text{mm}$	$L_{us}/\text{mm}$	$W_{st\text{ub}}/\text{mm}$
Vorgabe	10	0,5	7	1
Opt	9,858	0,5117	7,417	1
Auswahl	10,3166	0,522	8,01	1

hes Maximum erreichen. Für die Optimierung wird der CMA-Evolutionsalgorithmus genutzt. Für das Ziel die Eingangsimpedanz auf  $50\ \Omega$  einzustellen, wird das  $\frac{w}{h}$ -Verhältnis der Mikrostreifenleitung als Optimierungsparameter gewählt. Die Breite der Mikrostreifenleitung  $w_{opt} = 2.7\ \text{mm}$  und die Höhe des Substrates  $h_{opt} = 1.496\ \text{mm}$  stellen die gewünschten  $50\ \Omega$  genau ein. Um den VSWR zu verbessern wird der Abstand und die Breite des Single-Stub und die Länge und Breite des abstrahlenden Schlitzes (siehe Tab. I) verändert. Die Zielvorgabe des  $\text{VSWR} < 2$  bei 5-10 GHz kann nicht ganz erreicht werden, aber es ist eine deutliche Verbesserung zu erkennen wie in Fig. 10 zu sehen ist. Das Maximum bei 3,6 GHz konnte auch leicht verbessert werden. Aus der Optimierung wird eine eigene Auswahl getroffen da der VSWR bis 9.65 GHz näher an 2 ist.

#### IV. ZUSAMMENFASSUNG

Es wird eine UWB-Antenne wie Sie in [1] vorgestellt ist, mit dem Simulationstool CST-Microwavestudio modelliert und anschließend simuliert. Dabei werden zunächst Untersuchungen zur der Simulationsumgebung durchgeführt. Der Einfluss der Portgröße auf die Simulation wird untersucht und ein Port, der den Anforderungen gerecht wird, definiert. Ausserdem wird eine Konvergenzstudie bezüglich der Anzahl der Gitterzellen pro Wellenlänge gemacht, bei der die Konvergenz anhand des Verhaltens des VSWRs nachgewiesen wird. Des weiteren werden die elementaren Grundfunktionen der Antenne nachgewiesen. Es zeigt sich ein VSWR, der bei der geforderten Sperrfrequenz sein Maximum erreicht und im Arbeitsbereich der Antenne weitgehend kleiner als 2, im hohen Frequenzbereich mindestens kleiner als 4 ist. Es zeigt sich, dass die Antenne einen stabilen Gewinn über dem gesamten Bereich aufweist, der im Mittel 3,5 dBi beträgt. In den Richtdiagrammen zeigt sich eine weitgehend omnidirektionale Abstrahlcharakteristik, bzw. eine die in etwa dem Vertikaldiagramm eines Dipols entspricht. Damit können die Simulationsergebnisse aus [1] nachgewiesen werden. Zusätzlich können

die Simulationsergebnisse mit dem Frequenzbereichslöser validiert werden. In einer Optimierung wird die Geometrie der Antenne so verändert, dass die Antenneneigenschaften noch besser sind.

#### REFERENCES

- [1] M. M. M. Ali, A. A. R. Saad, and E. E. M. Khaled, *A Microstrip-fed Printed Slot Antenna for 3G/Bluetooth/WiMAX and UWB Applications with 3.6 GHz Band Rejection*. PIERS Proceedings, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013.
- [2] Prof. Dr.-Ing. Rolf Schuhmann, *Skript zur Vorlesung Theoretische Elektrotechnik I und II*. Stand 17. Dezember 2013
- [3] M. M. M. Ali, A. A. R. Saad, and E. E. M. Khaled, *A design of miniaturized ultra-wideband printed slot antenna with 3.5/5.5 GHz dual band-notched characteristics: analysis and implementation*. Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 52, 37–56, 2013.