

Aufbau und Optimierung einer Linsenantenne mit gefaltetem Strahlengang

Sybille Holzwarth, IMST GmbH, Kamp-Lintfort
Wolfgang Menzel, Universität Ulm, Abteilung Mikrowellentechnik

0 Einleitung

Linsenantennen zeichnen sich durch einen hohen Gewinn, großen Nebenzipfelabstand und geringe Verluste im Vergleich zu entsprechenden planaren Antennen aus. Diese Eigenschaften machen sie für viele Anwendungen, beispielsweise Abstandswarnradar bei Kraftfahrzeugen, interessant. Da aber die Speiseantenne in den Brennpunkt der Linse gelegt werden muß, und dadurch die Tiefe der Antenne bestimmt ist, sind Linsenantennen in der Regel für diese Anwendungen nicht kompakt genug.

Dieses Problem läßt sich durch eine Linsenantenne mit gefaltetem Strahlengang entschärfen [1],[2],[7]. Bei dem hier vorgestellten Antennentyp durchläuft ein gedachter Strahl dreimal den Weg zwischen Speisepunkt und Linsenvorderseite. Dadurch wird die Antennentiefe auf weniger als ein Drittel der Brennweite reduziert.

In diesem Bericht wird zunächst der Aufbau und die Funktionsweise der Antenne und ihrer einzelnen Komponenten erklärt. Anschließend werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie eine solche Antenne hinsichtlich ihres Strahlungsverhaltens, insbesondere der Nebenzipfelunterdrückung, optimiert werden kann.

Zur Speisung der Antenne wird meist ein Hohlleiterhörnchen verwendet. Alternativ dazu wird in diesem Bericht die Speisung mittels einer planaren Antenne vorgestellt, die, außer dem zusätzlichen Platzgewinn

gegenüber einer Hornantenne, den Vorteil hat, daß sie im Prinzip zusammen mit einer weiteren Komponente der Antenne, dem planaren "Twist-Reflektor", auf demselben Substrat realisiert werden kann.

1 Aufbau

Der Aufbau einer gefalteten Linsenantenne unterscheidet sich von dem einer üblichen Linsenantenne im wesentlichen durch zwei Komponenten: ein vor der Linse angebrachtes Polarisationsgitter und einen in der Ebene der Speiseantenne liegenden "Twist-Reflektor", der eine Polarisationsdrehung um 90° bewirkt. In Bild 1 ist der Aufbau skizziert und ein typischer Strahlengang eingezeichnet. Das Polarisationsgitter ist so justiert, daß die von der Speiseantenne linear polarisiert abgestrahlte Welle zunächst reflektiert wird (A). Am "Twist-Reflektor" (B) wird die Polarisation gedreht, so daß die Welle beim nächsten Durchgang das Polarisationsgitter passieren kann (C).

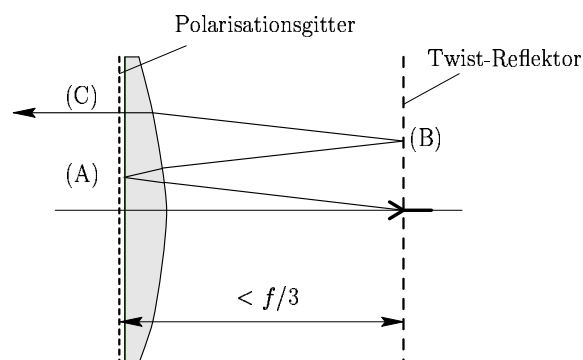


Bild 1: Prinzipieller Aufbau einer gefalteten Linsenantenne.

Durch das dreimalige Ausnutzen des Abstandes zwischen Linse und Speiseantenne und die dreifache Brechung des Strahles an der Linse wird die Antennentiefe auf weniger als ein Drittel der Brennweite reduziert.

Der gewählte Aufbau ist günstiger als ein alternativer Aufbau mit Polarisationsgitter auf der Linseninnenseite, mit dem die Antennentiefe auf genau ein Drittel reduziert wird [2].

2 Spezifikationen

Das Strahlungsverhalten der gefalteten Linsenantenne wurde für einen Frequenzbereich von 18-22GHz optimiert. Der Twist-Reflektor und das Polarisationsgitter sind planare Komponenten, die sich beide kostengünstig auf Substrat fertigen lassen. Das Polarisationsgitter besteht aus 1mm dünnen, auf 0,254mm dickem Duroid gefertigten Metallgitterlinien, deren Abstand 0,5mm beträgt. Der Twist-Reflektor wird als Array aus Dipolen realisiert, die auf rückseitig metallisierten, 1,52mm dickem Ultralam2000 gefertigt sind. Als Material für die Linse ((Ø132mm) wird PVC mit einer Dielektrizitätskonstante von $\epsilon_r = 3$ verwendet.

3 Optimierter Twist-Reflektor

Üblicherweise werden Reflektoren, die eine Polarisationsdrehung von 90° bewirken sollen, hergestellt, indem Gitterstäbe im Abstand von $\lambda/4$ vor einer Metallfläche angebracht werden.

Der hier verwendete "Twist-Reflektor" besteht jedoch aus einer periodischen Anordnung von Dipolen, die auf einem rückseitig metallisierten Substrat geätzt sind. Der Vorteil dieses Reflektors ist, daß die Drehung der Polarisation durch

geeignete Wahl der Abmessungen und Abstände der Dipole erreicht wird; die Polarisationsdrehung kann somit unabhängig von der Substratdicke eingestellt werden[6,8].

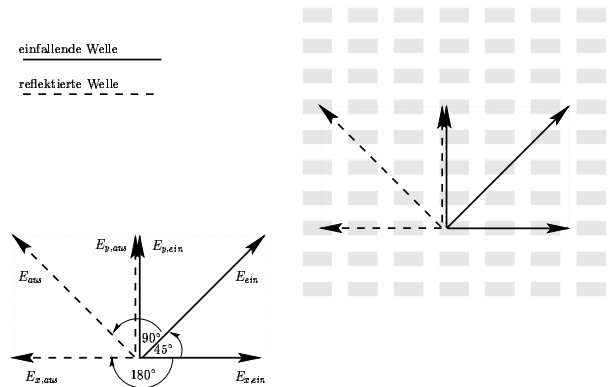


Bild 2: Funktionsweise des Twist-Reflektors.

Anhand der in Bild 2 dargestellten Skizze läßt sich die Funktionsweise des Twist-Reflektors recht anschaulich erklären. Der Vektor $\vec{E}_{ein}$ einer senkrecht einfallenden, ebenen Welle kann in zwei Komponenten, $\vec{E}_{x,ein}$ und $\vec{E}_{y,ein}$ zerlegt werden. Die Reflexion erfolgt nun für beide Komponenten jeweils mit einem unterschiedlichen Phasensprung [3,4]. Die Längen der Dipole sind so gewählt, daß die Phasendifferenz zwischen reflektierter $\vec{E}_{x,aus}$ - und $\vec{E}_{y,aus}$ -Komponente gerade 180° beträgt. Im Bild ist die reflektierte $\vec{E}_{y,aus}$ -Komponente ohne Phasensprung dargestellt, die reflektierte $\vec{E}_{x,aus}$ -Komponente mit einem Phasensprung von 180° . Die additive Überlagerung beider Komponenten ergibt den resultierenden Vektor $\vec{E}_{aus}$, der gerade 90° gegenüber dem einfallenden Vektor $\vec{E}_{ein}$ gedreht ist.

Der Twist-Reflektor kann mit Hilfe des auf dem Spektralbereichsverfahren basierenden Programmes FSS [3,4] so dimensioniert werden, daß sein Verhalten für senkrechten Einfall der Welle ($\vartheta = 0^\circ$) optimal ist. Aufgrund der unvermeidbaren

Blockade durch die Speiseantenne kommt aber gerade dieser Fall nicht vor, die Welle wird vielmehr, schräg einfallen. Der Sonderfall des schrägen Einfalls entlang einer Hauptachse des Twist-Reflektors ist in Bild 3 skizziert. Durch Variation der Dipolabmessungen läßt sich für beliebige Einfallswinkel optimales Verhalten einstellen.

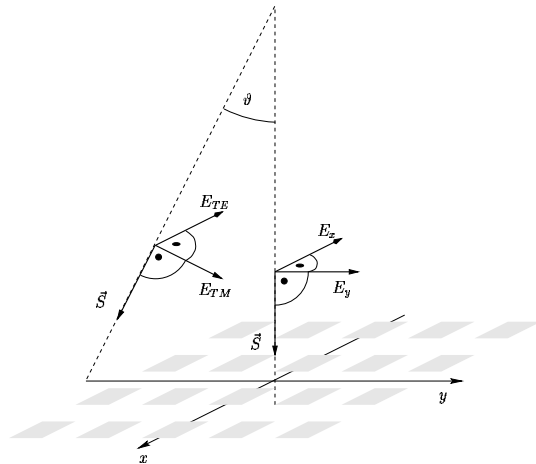


Bild 3: Senkrechter und schräger Einfall der Welle.

Für jede Einfallswinkel ergeben sich andere optimale Abmessungen der Dipole.

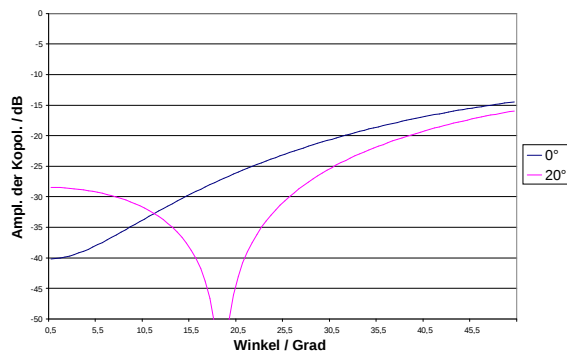


Bild 4: Verhalten des auf einen Winkel optimierten Twist-Reflektors.

Bild 4 zeigt beispielsweise das Verhalten eines auf den Einfall entlang der Hauptachse unter $\vartheta = 0^\circ$ bzw. $\vartheta = 20^\circ$ optimierten Twist-Reflektors. Für $\vartheta = 0^\circ$ liegen die Dipolabmessungen bei 3,50mm Länge und 0,90mm Breite, für $\vartheta = 20^\circ$ bei 3,51mm Länge und 1,02mm Breite. Das

Verhalten des auf $\vartheta = 20^\circ$ optimierten Reflektor verhält sich bezüglich des Winkels breitbandiger als der für $\vartheta = 0^\circ$ optimierte Reflektor.

Durch Verwendung eines Twist-Reflektors, der auf diesen Einfallswinkel optimiert ist, lassen jedoch sich nur geringe Verbesserungen von etwa 1dB bei der Unterdrückung von Nebenzipfeln höherer Ordnung erzielen.

Um das Verhalten des Twist-Reflektors weiter zu verbessern, müssen die Abmessungen der Dipole entsprechend ihrer Lage für jede Einfallswinkel getrennt optimiert werden; Diese Methode wird auch bei planaren Reflektor-Antennen angewandt [7].

4 Reflexionsfreie anpaßte Linse

Bei einer unvergüteten Linse erfolgt an beiden Seiten der Linse eine teilweise Reflexion der elektromagnetischen Welle, da diese dort einen Sprung im Wellenwiderstand erfährt.

Die Reflexionen verschlechtern das Strahlungsverhalten der Linsenantenne und müssen deshalb vermieden werden. Dafür kann, ähnlich wie bei der Entspiegelung von optischen Gläsern, die Linsenoberseite vergütet werden. In der Optik ist es üblich, zu diesem Zweck die Oberfläche $\lambda/4$ dick mit einem Material der Dielektrizitätszahl $\sqrt{\epsilon_r}$ zu beschichten ($\lambda/4$ -Transformation). Im Bereich der Mikrowellentechnik können auch Furchen, deren Abmessungen klein gegenüber der Wellenlänge sind, in die Oberfläche gefräst werden. Dadurch entsteht auf der Oberfläche eine effektive Dielektrizitätskonstante, die vom Verhältnis der Breite der Furchen zur Breite des übrigen Stegs abhängig ist. Durch geeignete Wahl der Tiefe der Furchen kann die entsprechende

Transformation des Wellenwiderstandes erreicht werden.

Die konvexe Seite im Antenneninneren kann durch eine solche Vorgehensweise sehr einfach angepaßt werden. Fertigungstechnisch erweist es sich dabei als günstig, die Furchen kreisförmig zentriert auf der Oberfläche einzufräßen. Da dadurch jedoch die lineare Polarisierung der Welle beeinträchtigt wird, sind lineare Furchen geeigneter.

Auf der planen Außenseite der Linse liegt das Polarisationsgitter. Auf dieser Seite wird der Übergang durch das Einfräßen von linearen Furchen angepaßt. Hier wird das Gesamtsystem aus Linse und Gitter mit Hilfe einer Orthogonalreihenentwicklung berechnet. In Bild 5 ist der Schnitt durch die Außenseite der Linse und das Gitter dargestellt.

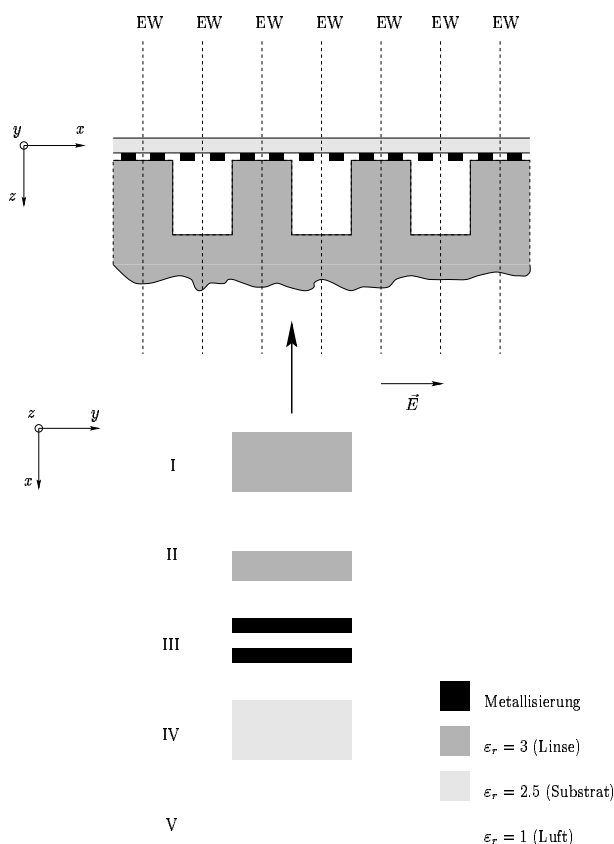


Bild 5: Berechnung der Anpassung der planen Linsenoberfläche.

Die Anordnung wird in x-Richtung als periodisch und in y-Richtung als unendlich ausgedehnt angenommen. An den mit EW gekennzeichneten Stellen werden elektrische Wände eingezogen. Der Vektor des einfallenden elektrischen Feldes steht senkrecht zu den Gitterstäben. Die skizzierte Anordnung aus Wellenleitern, die sich bei Betrachtung der Struktur in Pfeilrichtung ergibt, wird mit dem Programm "WAVE"[5] berechnet.

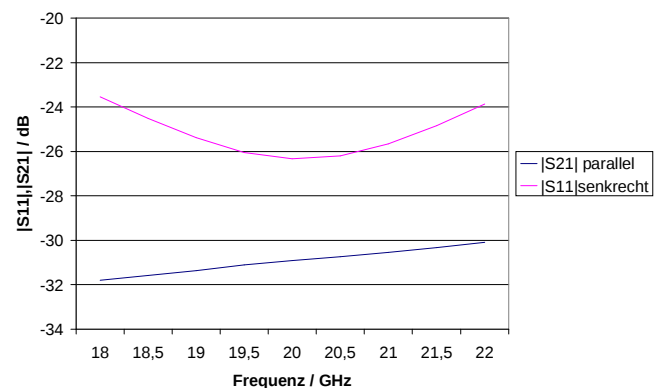


Bild 6: Betrag des Reflexions- und Transmissionsfaktors für die angepasste Linse.

Abstand und Breite der Furchen wurden unter Berücksichtigung der Periodizität so gewählt, daß die optimale Anpassung durch Variation des letzten Freiheitsgrades, der Furchentiefe, erreicht werden kann. In Bild 6 sind die Ergebnisse der Simulation für optimal gewählte Furchentiefe dargestellt.

Der Reflexionsfaktorbetrag einer einfallenden ebenen Welle mit elektrischem Feldvektor senkrecht zu den Gitterlinien beträgt für $f=20\text{GHz}$ weniger als -26dB . Dieses gute Ergebnis verschlechtert sich auch dann nicht wesentlich, wenn angenommen wird, daß sich zwischen Linse und Gitter ein unvermeidbarer Luftspalt von etwa $200\mu\text{m}$ befindet. Liegt der elektrische Feldvektor parallel zu den Gitterstäben, wird die Welle wie erwartet stark reflektiert, der Transmissionsfaktorbetrag liegt in diesem Fall unter -30dB .

Durch die reflexionsfreie Anpassung der Linse wird das Verhalten der gefalteten Linsenantenne bezüglich ihres Nebenzipfelabstandes erheblich verbessert [6]. Für eine Frequenz von 20,5GHz liegen die gemessenen Verbesserungen zwischen einer Linse mit beidseitiger Anpassung und einer Linse, die nur auf der Innenseite angepaßt ist, in der E-Ebene bei etwa 1,6dB, in der H-Ebene sogar bei 4,9dB.

5 Planare Speiseantenne

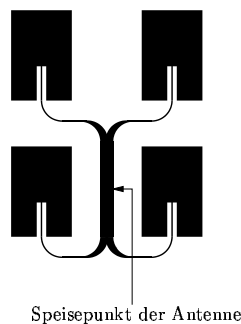


Bild 7: Layout einer planaren Speiseantenne.

Die planare Speiseantenne soll dieselben Anforderungen erfüllen wie das zu ersetzende Hohlleiterhörnchen. Dieses besitzt bei 20GHz eine 10dB-Keulenbreite von $\pm 50^\circ$, um die Linse gut auszuleuchten, und ist an ein 50Ω System angepaßt. Die planare Antenne wird durch vier im Rechteck angeordneten Patch-Antennen realisiert. Bild 7 zeigt das Antennenlayout, bei dem die Antennen-Patches und die zugehörige Speiseleitung auf der gleichen Substratseite gefertigt sind. Die Speisung der Antennengruppe erfolgt durch eine rückseitige koaxiale Ankopplung an die in Bild 7 markierten Stelle. Durch diese Anordnung wird sowohl in der E-Ebene als auch in der H-Ebene eine Bündelung der Antennenkeule erzielt. Alle vier Patches werden parallelgeschaltet, die Eingangsimpedanz eines einzelnen Patches ist daher auf 200Ω dimensioniert. Bild 8 und Bild 9 zeigen den Vergleich der Strahlungsdiagramme

der gefalteten Linsenantenne mit neuem Twist-Reflektor und angepaßter Gitter-Linsenordnung einerseits für die Speisung mit dem Hohlleiterhörnchen, andererseits für die Speisung mit der planaren Antennengruppe. Für beide Speiseantennen ergibt sich ein qualitativ vergleichbares Strahlungsdiagramm. Die planare Antenne kann daher statt des Hohlleiterhörnchens eingesetzt werden.

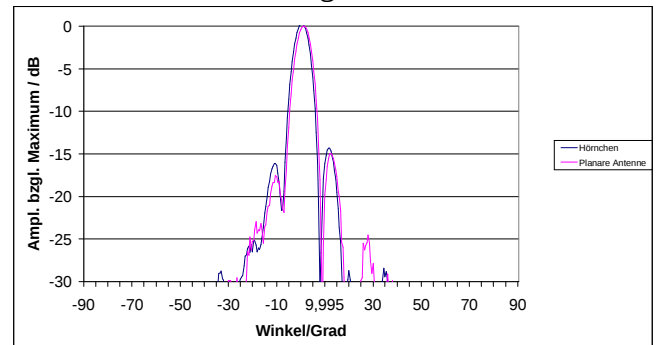


Bild 8: Strahlungsdiagramm in der E-Ebene.

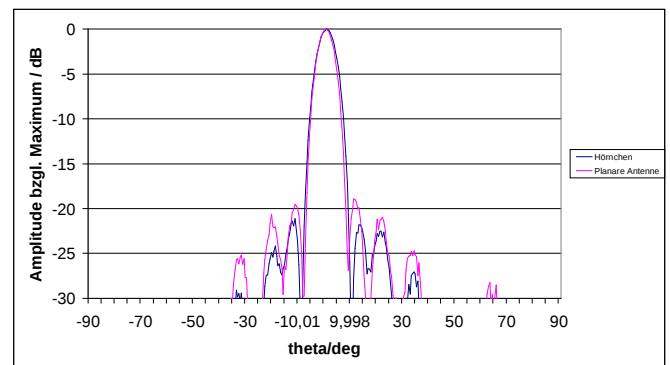


Bild 9: Strahlungsdiagramm in der H-Ebene.

6 Zusammenfassung

Es wurde eine Linsenantenne mit gefaltetem Strahlengang für 20 GHz aufgebaut und Möglichkeiten untersucht, ihre Strahlungseigenschaften zu optimieren. Besonders gute Verbesserungen wurden durch die Vergütung der Linsenoberfläche erzielt. Außerdem konnte gezeigt werden, daß zur Speisung der Antenne - alternativ zur Speisung mittels Hohlleiterhörnchen -

auch eine planare Antenne eingesetzt werden kann.

7 Literatur

- [1] Millitech Corporation: Crash avoidance FLR sensors. Microwave Journal, July 1994, S.122-126.
- [2] G. Huguenin, E. Moore: Compact Microwave and Millimeter Wave Radar, PCT 1995.
- [3] D. Pilz: Spektralbereichsanalyse planarer, frequenzselektiver Flächen, Diplomarbeit, Universität Ulm, 1994.
- [4] D. Pilz: FSS (Frequency Selective Surfaces) Feldtheoretisches Programm,

Spektralbereichsverfahren, Universität Ulm, 1994.

- [5] F. Bögelsack: WAVE,PLAN. Feldtheoretische Programme, Orthogonalreihenentwicklung, Universität Ulm.
- [6] S. Holzwarth: Gefaltete Linsenantenne, Diplomarbeit, Universität Ulm, 1997.
- [7] W. Menzel, D. Pilz: A planar reflector antenna. MIOP'95, Sindelfingen.
- [8] W. Menzel, D. Pilz: A folded lens antenna with triple use of the lens. EuMC'96, Prag.