

(19)



(11)

**EP 2 375 491 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**12.10.2011 Patentblatt 2011/41**

(51) Int Cl.:  
**H01Q 1/27 (2006.01) H01Q 1/38 (2006.01)**  
**H01Q 13/20 (2006.01) H01Q 13/28 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **11159856.1**

(22) Anmeldetag: **25.03.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(72) Erfinder:  
• **Wansch, Rainer**  
**91083 Baiersdorf (DE)**  
• **Schühler, Mario**  
**98693 Ilmenau (DE)**  
• **Hein, Matthias**  
**98693 Martinrode (DE)**

(30) Priorität: **30.03.2010 DE 102010003457**

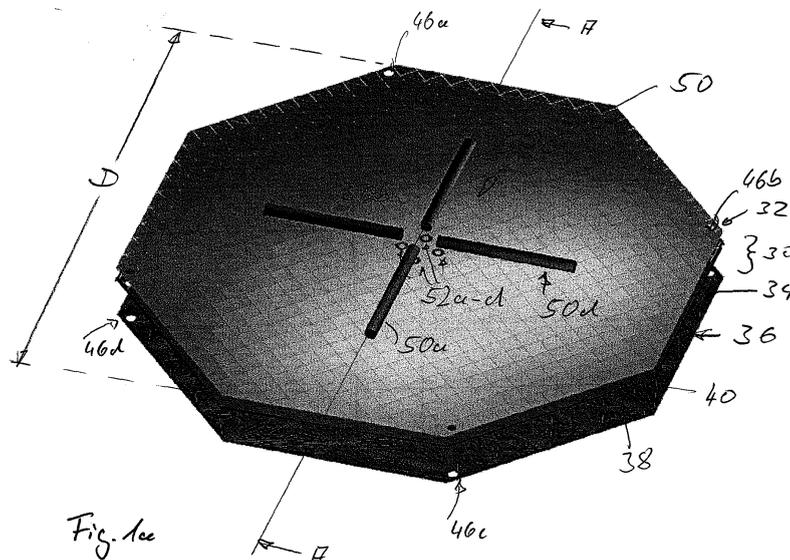
(71) Anmelder:  
• **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**  
**80686 München (DE)**  
• **Technische Universität Ilmenau**  
**98693 Ilmenau (DE)**

(74) Vertreter: **Hersina, Günter et al**  
**Schoppe, Zimmermann, Stoeckeler & Zinkler**  
**Postfach 246**  
**82043 Pullach (DE)**

(54) **Leckwellenantenne**

(57) Eine Leckwellenantenne (10) umfasst eine Lagenanordnung (30) mit einer ersten, zweiten und dritten metallisierten Lage (32, 34, 36), die übereinander und parallel zueinander angeordnet sind und die durch zwei dielektrische Schichten (38, 40) voneinander getrennt sind, wobei die erste metallisierte Lage (32) eine erste, zwei-dimensional periodische Metallisierungsstruktur aufweist, wobei die zweite metallisierte Lage (34) eine zweite, zweidimensional periodische Metallisierungs-

struktur aufweist, und wobei die dritte metallisierte Lage (36) einen durchgehenden Metallisierungsbereich aufweist, und eine Anregungsstruktur (50) oberhalb der ersten metallisierten Lage (32) zum Anregen eines Leckwellenmodus in der Lagenanordnung (30) bei einer Arbeitsfrequenz  $f_0$  der Leckwellenantenne, wobei die Lagenanordnung (30) als Randbegrenzungsverlauf eine Form eines regelmäßigen N-Ecks mit  $N \geq 8$  ( $N \in \mathbb{Z}$ ) oder eine Kreisform aufweist.



**EP 2 375 491 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf Leckwellenantennen im Allgemeinen und insbesondere auf den Aufbau einer planaren Leckwellenantenne für die mobile Satellitenkommunikation, die beispielsweise für den Frequenzbereich von 2170 bis 2200 MHz ausgelegt ist, und die das Senden sowie Empfangen linear-, kreuz- und/oder zirkular-polarisierter elektromagnetischer Wellen unterstützt und bei einer zirkularen Polarisation ein konisches Richtdiagramm aufweist.

**[0002]** Für die mobile Satellitenkommunikation werden Sende-/Empfangsantennen benötigt, die einerseits eine geringe Aufbauhöhe besitzen und andererseits eine Richtcharakteristik aufweisen, die unabhängig von der relativen Position eines mobilen Teilnehmers zum Satelliten einen möglichst guten Empfang der Signale gewährleisten kann. Trifft beispielsweise das Satellitensignal aus einer Richtung fester Elevation ein, so sollte die Antenne unabhängig vom Azimutwinkel eine konstante Empfangsqualität gewährleisten, wobei dies beispielsweise mit einer konischen Richtcharakteristik für die Antenne erreicht wird.

**[0003]** In diesem Zusammenhang wird beispielsweise auf die folgenden wissenschaftlichen Veröffentlichungen verwiesen:

[1] A. Popugaev and R. Wansch, "Low profile automotive antennas for digital broadcasting", in 9th Workshop Digital Broadcasting, Erlangen, Sept. 18-19, 2008

[2] D. Sievenpiper, H.-P. Hsu, J. Schaffner, and G. Tansonan, "Antenna system for communicating simultaneously with a satellite and a terrestrial system", U.S. Patent 6 545 647, Apr. 8, 2003.

[3] D. Sievenpiper, "Forward and backward leaky wave radiation with large effective aperture from an electronically tunable textured surface", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 53, no. 1, pp. 236-247, Jan. 2005.

[4] L. Goldstone and A. Oliner, "Leaky-wave antennas I: Rectangular waveguides", IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 7, no. 4, pp. 307-319, 1959.

[5] A.A. Oliner and D.R. Jackson, "Leaky-wave antennas", in Antenna Engineering Handbook, 4th ed. McGraw-Hill, 2007, ch. 11.

[6] M. Schühler, R. Wansch, and M. A. Hein, "Experimental study of the radiation characteristics of a finite periodic structure excited by a dipole", in Proc. Of Eu-CAP'2009, Berlin, Germany, Mar. 23-27 2009, pp. 3055-3059.

**[0004]** Die Ausbreitung von Leckwellen entlang periodischer Strukturen ist seit längerer Zeit ein bekanntes Phänomen, ebenso wie der Versuch deren Ausnutzung für Antennenanwendungen. Unter Leckwellenanordnungen bzw. Leckwellenleiter werden Wellenleiter für elektromagnetische Wellen angesehen, die nicht nur Energie an den Enden, sondern zu einem bestimmten Anteil auch über die ganze Länge bzw. Fläche der Leckwellenanordnung (des Leckwellenleiters) eintreten und austreten lassen.

**[0005]** Herkömmliche Leckwellenantennen besitzen jedoch Aperturen, d.h. Abstrahlflächen, deren laterale Abmessungen wenigstens in einer Dimension groß im Vergleich zur Wellenlänge  $\lambda_0$  bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  sind. Typische Implementierungen für Leckwellenantennen gemäß dem Stand der Technik umfassen somit laterale Abmessungen in der Größenordnung von beispielsweise 20 Wellenlängen ( $20 \lambda_0$ ), wobei bei einer Arbeitsfrequenz  $f_0$  von 2,2 GHz eine Wellenlänge  $\lambda_0$  von ca. 13,6 cm entspricht, und somit für die Abmessung gilt  $20 \cdot \lambda_0 = 2,73$  m.

**[0006]** Ausgehend von dem vorliegenden Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung somit die Aufgabe zugrunde, eine Leckwellenantenne zu schaffen, die einerseits gute elektronische Charakteristika hinsichtlich der Sende- und Empfangsqualität aufweist und ferner Platz sparend für die mobile Satellitenkommunikation, d.h. mit geringen lateralen Abmessungen und einer geringen Aufbauhöhe, realisiert werden kann.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch eine Leckwellenantenne gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

**[0008]** Gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst eine Leckwellenantenne eine Lagenanordnung mit einer ersten, zweiten und dritten metallisierten Lage, die übereinander und parallel zueinander angeordnet sind und die durch zwei dielektrische Schichten voneinander getrennt sind, wobei die erste metallisierte Lage eine erste, zwei-dimensional periodische Metallisierungsstruktur aufweist, wobei die zweite metallisierte Lage eine zweite, zweidimensional periodische Metallisierungsstruktur aufweist, und wobei die dritte metallisierte Lage einen durchgehenden Metallisierungsbereich aufweist; und eine Anregungsstruktur oberhalb der ersten metallisierten Lage (und auf einer der zweiten metallisierten Lage gegenüberliegenden Seite der ersten metallisierten Lage) zum Anregen eines Leckwellenmodus in der Lagenanordnung bei einer Arbeitsfrequenz der Leckwellenantenne, wobei die Lagenanordnung als Randbegrenzungsverlauf eine Form eines regelmäßigen N-Ecks mit  $N \geq 8$  ( $N \in \mathbb{Z}$ ) oder eine Kreisform aufweist.

**[0009]** Dabei hat die Lagenanordnung beispielsweise einen Gesamtdurchmesser bezüglich eines Abstands zweier gegenüberliegender Seiten des N-Ecks oder des Kreisdurchmessers der Lagenanordnung von weniger als dem 5-fachen Wert der Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  der Leckwellenantenne bei der Arbeitsfrequenz.

**[0010]** Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung basieren auf der Erkenntnis, dass die erfindungsgemäßen Leckwellenantenne im Wesentlichen zwei Freiheitsgrade zur geeigneten Dimensionierung zum Erreichen der gewünschten elektrischen Charakteristika aufweist. So kann durch die gezielte Einstellung der Wellenzahl der in der Lagenanordnung angeregten Leckwelle die Hauptstrahlrichtung der Leckwellenantenne bestimmt bzw. vorgegeben werden. Ferner kann durch die Einstellung der Größe und Form der Gesamtstruktur die Keulenbreite in der Hauptabstrahlrichtung beeinflusst bzw. eingestellt werden.

**[0011]** Gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung weist die Leckwellenantenne eine Lagenanordnung mit zweidimensional periodischen Metallisierungsstrukturen auf, die die Ausbreitung von Leckwellen in der Lagenanordnung unterstützt, wobei in diesem Zusammenhang Anordnungen oder Strukturen als zweidimensional periodisch bezeichnet werden, die in zwei linear unabhängigen (z.B. orthogonalen) Richtungen in einer Ebene jeweils eine bestimmte (z.B. die gleiche) Periodizität aufweisen. Ferner sind Elemente zur Anregung der Leckwelle in Form einer Anregungsstruktur oberhalb der Lagenanordnung vorgesehen.

**[0012]** Insbesondere basiert die Grundidee für die erfindungsgemäßen Leckwellenantenne einerseits auf der Ausnutzung der Abstrahlungseigenschaften von Leckwellen und andererseits auf der gezielten (lateralen) Begrenzung der strukturierten Oberfläche der Leckwellenantenne zur gezielten Einstellung der Strahlungscharakteristik. Dabei kann gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung eine (annähernd) richtungsunabhängige Dispersionscharakteristik der Lagenanordnung durch die im Nachfolgenden noch dargestellte Wahl der Einzelzellen der Lagenanordnung erreicht werden. Ferner kann die Wellenzahl der Leckwelle durch die Ausgestaltung der Lagenanordnung vorgegeben werden, wobei die Wellenzahl der Leckwelle sich aus der Hauptstrahlrichtung der Leckwellenantenne und der Keulenbreite definiert, die wiederum mit der Größe der Gesamtstruktur der Leckwellenantenne zusammenhängt. Die zweidimensionale Periodizität der Metallisierungsstrukturen der Lagenanordnung ermöglicht nun ferner eine radialsymmetrische Ausbreitung der Leckwelle innerhalb der Lagenanordnung, wobei diese radial-symmetrische Ausbreitung eine Voraussetzung für ein konisches Richtdiagramm der Leckwellenantenne darstellt.

**[0013]** Gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung wird für die Grundfläche der Leckwellenantenne bzw. deren Lagenanordnung die Form eines regulären N-Ecks, wie z.B. eines Oktagons (Achteck), Dekagons (reguläres Zehneck) oder eines Dodekagons (reguläres Zwölfeck) verwendet, um eine Azimut-unabhängige Ausbreitung der Leckwelle bei einer Anregung durch die Anregungsstruktur innerhalb der Lagenanordnung und somit eine konische Richtwirkung der Leckwellenantenne zu gewährleisten. Alternativ zu regulären N-Ecken kann eine annähernd kreisförmige Grundfläche der Leckwellenantenne bis hin zu einer exakt kreisförmigen Grundfläche eingesetzt werden.

**[0014]** Die Anregung der Antennenstruktur, d.h. die Anregung des gewünschten Leckwellenmodes innerhalb der Lagenanordnung, erfolgt über eine Anregungsstruktur, die beispielsweise durch zwei kreuzförmig angeordnete Dipole (Kreuzdipol-Anordnung), die mittig über der Lagenanordnung angebracht sind, realisiert ist. Bezüglich der Anregung des jeweiligen Leckwellenmodes in der Lagenanordnung ist zu beachten, dass die Anregung u.U. die Richtcharakteristik der Leckwellenantenne beeinflussen kann. So weist die erfindungsgemäße planare Leckwellenantenne bei einer zirkular-polarisierten Anregung eine konische Richtcharakteristik auf. Je nach Speisung der einzelnen Dipole lassen sich nun linear-, kreuz- oder zirkular-polarisierte Wellen anregen.

**[0015]** In diesem Zusammenhang wird ferner darauf hingewiesen, dass gemäß der vorliegenden Erfindung die lateralen Abmessungen der Leckwellenantenne ein wichtiger Parameter für die resultierenden Charakteristika der Leckwellenantenne sind und beispielsweise neben den Dispersionsverhalten der Lagenanordnung auch die Richtcharakteristik der Leckwellenantenne bestimmen. In der nachfolgenden detaillierten Beschreibung wird im Einzelnen darauf eingegangen, wie die Form und die Keulenbreite der Richtcharakteristik gezielt eingestellt werden kann.

**[0016]** Basierend auf dem erfindungsgemäßen Aufbau der Leckwellenantenne kann die Höhe der gesamten Anordnung deutlich geringer ausgelegt werden als die Wellenlänge  $\lambda_0$  bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  der Leckwellenantenne, so dass die Leckwellenantenne als "planar" angesehen werden kann. Da es sich bei Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne technisch um eine mehrlagige Leiterplatte handelt, kann die Leckwellenantenne beispielsweise mit Hilfe etablierter Herstellungsprozesse aufgebaut werden. Dabei können durch flexible Substratmaterialien und entsprechende Herstellungstechnologien auch konforme, d.h. an gekrümmte Oberflächen angepasste, Implementierungen realisiert werden.

**[0017]** Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a-b eine dreidimensionale Darstellung und eine zugehörige Schnittdarstellung einer Leckwellenantenne gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2a-b eine Prinzipdarstellung einer beispielhaften Einzelzelle einer Leckwellenantenne gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

rungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3a-b Prinzipdarstellungen der periodischen Metallisierungsstrukturen der ersten und zweiten metallisierten Lage gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 die Direktivität der Leckwellenantenne gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 Höhenlinien der Direktivität der Leckwellenantenne gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 ein Vergleichsbeispiel der Direktivität einer Leckwellenantenne mit einer dodekagonalen Grundfläche bei 2,19 GHz gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 eine Prinzipdarstellung einer beispielhaften Einzelzelle mit den Darstellungen der periodischen Metallisierungsstrukturen der ersten und zweiten metallisierten Lage gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8 eine Prinzipdarstellung einer beispielhaften Einzelzelle einer Leckwellenantenne und den zugehörigen Darstellungen der periodischen Metallisierungsstrukturen der ersten und zweiten metallisierten Lage gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9a-b berechnete Fernfeldverteilungen für eine unendliche periodische Struktur und eine endliche periodische Struktur als Funktion des Co-Elevationswinkels  $\theta$ .

**[0018]** Bevor im Folgenden die Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand der Figuren näher erläutert werden, wird darauf hingewiesen, dass in den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen gleiche oder funktionsgleiche Elemente in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind. Eine Beschreibung von Elementen mit den gleichen Bezugszeichen ist daher in den verschiedenen Ausführungsbeispielen gegenseitig austauschbar und/oder aufeinander anwendbar.

**[0019]** Anhand von Fig. 1a-b wird nun ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Leckwellenantenne detailliert beschrieben, wobei Fig. 1a eine dreidimensionale Darstellung der Leckwellenantenne 10 und Fig. 1b eine Schnittansicht entlang der Linie AA durch die Leckwellenantenne 10 darstellt.

**[0020]** Wie in Fig. 1a-b dargestellt ist, weist die Leckwellenantenne 10 eine Lagenanordnung 30 mit einer ersten, zweiten und dritten metallisierten Lage 32, 34, 36 auf, die jeweils ausgerichtet übereinander und parallel zueinander angeordnet sind und durch jeweils eine dielektrische Schicht 38 zwischen der ersten und zweiten metallisierten Lage und einer dielektrischen Schicht 40 zwischen der zweiten und dritten metallisierten Lage voneinander getrennt sind. Die erste metallisierte Lage 32 weist eine erste periodische Metallisierungsstruktur auf, wobei in Fig. 1a mittels Trennungsfugen (bzw. Gräben oder Spalten) 32a eine periodische Struktur der Metallisierung 32 erreicht wird, die in Fig. 1a dargestellt ist, und die zu einer Vielzahl von rechteckigen bzw. quadratischen Metallisierungseinzelelementen 32b führt. Die zweite metallisierte Lage 34 weist ferner eine zweite, zweidimensional periodische Metallisierungsstruktur auf, die wiederum durch Trennungsfugen 34b in der jeweiligen metallisierten Lage 34 mit einer Vielzahl von weiteren Metallisierungseinzelelementen erreicht wird.

**[0021]** Wie im Nachfolgenden noch detailliert erläutert wird, können die Metallisierungseinzelelemente die erste metallisierte Lage 32 zu den Metallisierungseinzelelementen der zweiten metallisierten Lage 34 um einen Winkel von beispielsweise  $45^\circ$  (oder auch Zwischenwinkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$ ) gedreht sein. Alternativ oder zusätzlich können die Flächenmittelpunkte der Metallisierungselemente der ersten und zweiten metallisierten Lage 32, 34 (beispielsweise bzgl. einer Symmetrieachse oder orthogonal) zueinander versetzt sein. Die dritte metallisierte Lage 40 weist einen durchgehenden Metallisierungsbereich auf und ist beispielsweise vollständig durchgehend metallisiert.

**[0022]** Ferner ist eine Anregungsstruktur 50 oberhalb der ersten metallisierten Lage 32 und auf einer der zweiten metallisierten Lage 34 gegenüberliegenden Seite der ersten metallisierten Lage 32 zum Anregen eines Leckwellenmodus der Lagenanordnung 30 bei einer Arbeitsfrequenz  $f_0$  der Leckwellenantenne 10 angeordnet.

**[0023]** Wie in Fig. 1a-b dargestellt ist, weist die erste dielektrische Schicht 38 eine Dicke  $d_1$  und eine relative Permittivität  $\epsilon_{r1}$  auf. Die zweite dielektrische Schicht 40 weist eine Dicke  $d_2$  und eine elektrische Permittivität  $\epsilon_{r2}$  auf. Die erste metallisierte Lage 32 weist eine Dicke  $d_3$ , die zweite metallisierte Lage 34 weist eine Dicke  $d_4$  und die dritte metallisierte Lage 36 weist eine Dicke  $d_5$  auf. Die Leckwellenantenne 10 weist zwischen zwei gegenüberliegenden Seiten einen Gesamtdurchmesser D auf. Die Dipolarne der Anregungsstruktur 50 sind in einer Höhe  $h_0$  oberhalb der ersten metallisierten Lage 32 angeordnet. Die Gesamthöhe der Leckwellenantenne 10 beträgt H zwischen der Anregungsstruktur 50 und der dritten metallisierten Lage 38.

**[0024]** Wie in Fig. 1a-b dargestellt ist, ist die Anregungsstruktur 50 beispielsweise als eine zentriert auf der Lagenanordnung 30 angeordnete Kreuzdipolstruktur dargestellt, wobei deren Einspeisungspunkte 52a-d symmetrisch zueinander und zentriert in der Lagenanordnung angeordnet sind. Es sollte aber deutlich werden, dass je nach Anwendungsfall und Implementierung andere Anregungsstrukturen zum Anregen eines Leckwellenmodus in der Lagenanordnung 30 der Leckwellenantenne 10 eingesetzt werden können, wobei auch andere Positionen als zentriert auf der Lagenanordnung denkbar sind. Darüber hinaus ist es auch denkbar, dass sich die Einspeisungspunkte für die Dipolararme der Kreuzdipolstruktur jeweils auch an der gegenüberliegenden Seite der einzelnen Dipolararme befinden können, d.h. nicht an der jeweils dem Antennenzentrum zugewandten Seite sondern an der dem Antennenrand zugewandten Seite der Dipolararme.

**[0025]** Aufgrund der einfachen Anregung der Leckwellenantenne beispielsweise durch zwei gekreuzte Dipole kann der Aufwand für das erforderliche Speisernetzwerk für die Anregungsstruktur relativ gering gehalten werden.

**[0026]** Wie nun ferner noch in Fig. 1b dargestellt ist, kann die Leckwellenantenne 10 optional eine Hausung 60 (Pakage) zum Schutz der Lagenanordnung und der Anregungsstruktur vor mechanischen oder sonstigen Umgebungseinflüssen aufweisen.

**[0027]** Die in Fig. 1a dargestellte Lagenanordnung 30 der Leckwellenantenne weist nun beispielsweise als Randbegrenzungslauf die Form eines regelmäßigen Achtecks (Oktagon) auf, wodurch eine Azimut-unabhängige Ausbreitung der Leckwelle und somit eine konische Richtwirkung der Leckwellenantenne 10 erreicht wird. Neben dem in Fig. 1a dargestellten regulären Achteck (Oktagon) können auch andere reguläre N-Ecke verwendet werden, wie das Dekagon (reguläres Zehneck) oder das Dodekagon (reguläres Zwölfeck) usw. bis hin zu annähernd kreisförmigen oder exakt kreisförmigen Grundflächen.

**[0028]** Bezüglich der vorliegenden Erfindung sollte beachtet werden, dass als Randbegrenzungslauf für die Lagenanordnung 30 jegliche Form eines regelmäßigen N-Ecks mit  $N \geq 8$  (mit  $N \in \mathbf{Z}$ ) oder auch eine Kreisform gewählt werden kann, um die nachfolgend noch dargestellten elektrischen Charakteristika der Leckwellenantenne 10 zu erreichen. Hat ein Vieleck bzw. N-Eck gleiche Seiten und gleiche Innenwinkel, dann wird es als reguläres oder regelmäßiges N-Eck bezeichnet. Reguläre Vielecke sind isogonal, d.h. seine Ecken liegen gleich abständig, also unter gleichem Zenithwinkel, auf einem Kreis.

**[0029]** So stellen die lateralen Abmessungen, d.h. der Randbegrenzungslauf der Lagenanordnung 30 der Leckwellenantenne 10, einen der Design-Parameter der Leckwellenantenne dar und bestimmen neben den Dispersionsverhalten der Antennenstruktur auch die Richtcharakteristik der Leckwellenantenne 10, wobei durch die gezielte Dimensionierung der Lagenanordnung sich die Form und Keulenbreite der Richtcharakteristik der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne einstellen lassen.

**[0030]** Im Folgenden wird nun auf die Fig. 9a-b näher eingegangen, um den Effekt der lateralen Begrenzung der strukturierten Lagenanordnung 30 zur gezielten Einstellung der Strahlungscharakteristik der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 zu verdeutlichen.

**[0031]** Zur Vereinfachung wird zunächst angenommen, dass eine Struktur eine Periodizität in einer Richtung, z.B. in x-Richtung in der Ebene der Lagenanordnung, aufweist. Die Lösung der Wellengleichung ist dann durch die Summe eines unendlichen Satzes von Raumharmonischen (space harmonics) gegeben, die sich durch deren Wellenzahlen unterscheiden:

$$k_{x,n} = k'_{x,n} - jk''_x = k_{x,0} + \frac{2\pi}{a}n, \quad n \in \mathbf{Z}, \quad (1)$$

wobei  $k_{x,0}$  die Wellenzahl der Grundwelle und a die Periodizität entlang der x-Richtung (im eindimensionalen Fall) angibt.

**[0032]** Falls zumindest ein Ergebnis  $n = n'$  existiert, wobei  $k'_{x,n'} < k_0$  ist ( $k_0$  ist die Wellenzahl der Freiraumausbreitung), ist die entsprechende Raumgrundwelle eine so genannte schnelle Welle (fast wave) und kann sich daher in eine Leckwelle einkoppeln, die in folgender Richtung abstrahlt:

$$\theta_m = \arcsin\left(\frac{k'_{x,n'}}{k_0}\right), \quad (2)$$

wobei  $\theta_m$  der von der normalen zu der Oberfläche gemessene Winkel ist. Die Bedingung für eine Leckwellenabstrahlung folgt direkt aus der obigen Beziehung 2, da  $\theta_m$  lediglich auftritt, falls  $k'_{x,n'} \leq k_0$  ist.

**[0033]** In Fig. 9a ist nun eine berechnete Fernfeldverteilung für eine unendliche periodische Struktur als Funktion von

$\theta$  dargestellt. Die Werte sind auf die maximale Amplitude normiert, wobei die Dämpfungskonstante im Betrag  $K''_x$  als ein Parameter dient. Fig. 9a stellt dann den Einfluss der Dämpfungskonstante auf das Abstrahlungsmuster dar, das als Funktion des Co-Elevationswinkels  $\theta = \arcsin(k)$  einer periodischen Struktur, die bei  $x = 0$  angeregt wird (eindimensionaler Fall) aufgetragen ist. Als Beispiel wurde  $K'_x = 1/\sqrt{2}$  gewählt, so dass gemäß obiger Beziehung (2) beide Maxima bei  $\theta = 45^\circ$  und bei  $\theta = -45^\circ$  auftreten.

**[0034]** Für eine niedrige Dämpfung  $|K''_x| \ll 1$  trifft die Annahme zu. Für  $|K''_x| \approx 1$  schwächen sich die beiden Maxima ab und werden in Richtung  $\theta = 0^\circ$ , d. h. in der Richtung senkrecht zu der Struktur, verschoben.

**[0035]** Für den Fall einer endlichen (begrenzten) periodischen Struktur, muss die Feldverteilung (einer nicht-begrenzten Struktur) durch eine gleichmäßige Fensterfunktion gewichtet werden. Unter der Annahme, dass keine Reflektionen durch das Begrenzen der Struktur auftreten, ist aus Fig. 9b ersichtlich, dass das Begrenzen der periodischen Struktur eine Verschiebung der zwei Strahlen in Richtung  $\theta = 0$  bewirkt. Fig. 9b stellt die berechnete Femfeldverteilung für eine endliche periodische Struktur als Funktion von  $\theta$  dar. Die Werte sind auf die maximale Amplitude normiert, wobei die Größe der Struktur (bestimmt durch  $\xi$ ) als Parameter dient.

**[0036]** Aus den obigen Ausführungen sollte deutlich werden, dass bei der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne aufgrund der gewählten Grundfläche der Lagenanordnung 30 in Form eines regelmäßigen N-Ecks eine Azimut-unabhängige Ausbreitung der Leckwelle in der Lagenanordnung 30 und aufgrund des Vorsehens einer Vielzahl von Metallisierungseinzelementen 32b, 34b bzw. Einheitszellen eine (annähernd) richtungsunabhängige Dispersionscharakteristik der Lagenanordnung bei der Arbeitsfrequenz der Leckwellenantenne 10 erreichen lässt.

**[0037]** Basierend auf der durch die Lagenanordnung vorgegebenen Wellenzahl für einen in der Lagenanordnung angeregten Leckwellenmode bei der Arbeitsfrequenz der Leckwellenantenne 30 kann die Hauptabstrahlrichtung bzw. Richtcharakteristik der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 eingestellt werden. Dabei kann, wie bereits oben angegeben, die Keulenbreite der Abstrahlcharakteristik der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne über die Größe der Gesamtstruktur, d. h. über die lateralen Abmessungen der Lagenanordnung 30, eingestellt bzw. vorgegeben werden.

**[0038]** Gemäß der vorliegenden Erfindung kann die Strahlungscharakteristik der in Fig. 1a dargestellte Leckwellenantenne 10 also einerseits basierend auf der Ausnutzung der Abstrahleigenschaften von Leckwellen und andererseits auf der gezielten Begrenzung hinsichtlich Form und lateraler Ausdehnung der strukturierten Oberfläche, d. h. der Lagenanordnung 30, gezielt eingestellt werden.

**[0039]** Gemäß Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 weist die Lagenanordnung 30 beispielsweise einen Gesamtdurchmesser  $D$  bezüglich eines Abstands zweier gegenüberliegender Seiten des N-Ecks (oder des Kreisdurchmessers der Lagenanordnung 30) von weniger als dem 10- bzw. 5-fachen Wert (oder beispielsweise dem 3-fachen Wert) der Freiraumlängewelle  $\lambda_0$  der Leckwellenantenne bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  oder im Arbeitsfrequenzbereich  $\Delta f_0$  auf.

**[0040]** Wie in Fig. 1a ferner dargestellt ist, weist die erste Metallisierungsstruktur 32 eine Vielzahl von Metallisierungseinzelementen 32b auf, wobei die Metallisierungseinzelemente 32b eine laterale Abmessung "a" aufweisen, die kleiner oder gleich einem Zehntel ( $1/10$ ) der Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  der Leckwellenantenne 10 bei deren Arbeitsfrequenz  $f_0$  ist. Ferner weist auch die zweite Metallisierungsstruktur 34 eine Vielzahl von weiteren Metallisierungseinzelementen 34b auf, wobei auch die weiteren Metallisierungseinzelemente 34b eine laterale (oder diagonale) Abmessung aufweisen, die kleiner oder gleich einem Zehntel der Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  der Leckwellenantenne 10 bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  ist.

**[0041]** In diesem Zusammenhang wird bei der Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  beispielsweise von der kleinsten auftretenden Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  der vorliegenden Leckwellenantenne 10 bei der jeweiligen Arbeitsfrequenz  $f_0$  ausgegangen. Damit wird in der Ebene der Lagenanordnung 30 eine (annähernd) richtungsunabhängige (d.h. Azimut-unabhängige) Dispersionscharakteristik in der Lagenanordnung 30 der Leckwellenantenne 10 erreicht.

**[0042]** Dazu weist die Lagenanordnung 30 beispielsweise eine laterale Ausdehnung auf, die entlang eines Abstands zwei gegenüberliegenden Seiten des N-Ecks oder des Kreisdurchmessers der Lagenanordnung 30 beispielsweise weniger als 100, 50 oder 30 Metallisierungseinzelemente 32b der ersten metallisierten Lage 30 aufweist.

**[0043]** In diesem Zusammenhang wird Bezug nehmend auf Fig. 1a darauf hingewiesen, dass die Metallisierungseinzelemente 32b bzw. 34b der ersten und der zweiten metallisierten Lage 32, 34 an dem Randbereich beispielsweise aufgrund der Form des Randbegrenzungsverlaufs der Lagenanordnung teilweise abgeschnitten sein können, wobei dies beispielsweise nur auf die jeweils letzten Metallisierungseinzelemente der unterschiedlichen metallisierten Lagen zutrifft. Ferner wird Bezug nehmend auf Fig. 1a darauf hingewiesen, dass die dort dargestellten vier Bohrungen bzw. Löcher 46a-d an den Rändern zu Montagezwecken vorgesehen sein können.

**[0044]** Die in Fig. 1a-b dargestellte Leckwellenantenne ist somit erfindungsgemäß aus einer Vielzahl benachbart zueinander angeordneter Einheitszellen aufgebaut, wobei eine Einheitszelle als ein Bereich anzusehen ist, der bezüglich der Grundfläche eines einzelnen Metallisierungseinzelementes der ersten metallisierten Lage 32 einer (senkrechten) Projektion durch die Lagenanordnung 30 hindurch entspricht. Auf den Aufbau von Einheitszellen wird im Nachfolgenden noch detailliert eingegangen.

**[0045]** Wie im Vorhergehenden bereits kurz angesprochen wurde, erfolgt die Anregung in der Lagenanordnung 30

der Leckwellenantenne 10 eines Leckwellenmodes unter Verwendung der oberhalb der ersten metallisierten Lage 30 angeordneten Anregungsstruktur. Wie in Fig. 1a dargestellt ist, kann diese Anregungsstruktur 50 beispielsweise durch zwei kreuzförmig angeordnete Dipole 50a, 50b implementiert werden, die zentriert über der Oberfläche der Lagenanordnung 30 angeordnet sind.

**[0046]** Je nach Speisung der einzelnen Dipole lassen sich linear-, kreuz oder zirkular-polarisierte Wellen in der Lagenanordnung 30 der Leckwellenantenne 10 anregen. In diesem Zusammenhang wird nochmals darauf hingewiesen, dass jegliche Anregungsstrukturen bzw. Antennenanordnungen eingesetzt werden können, mittels derer derart polarisierte Wellen in der Lagenanordnung angeregt werden können.

**[0047]** Wie in den Figuren 1a-b dargestellt ist, kann die Höhe H der gesamten Anordnung der Leckwellenantenne 10 deutlich geringer als die Wellenlänge  $\lambda_0$  im Arbeitsfrequenzbereich  $\Delta f_0$  ausgebildet werden, so dass die Antenne als planar angesehen werden kann. So kann beispielsweise in einem Frequenzbereich bei 2,2 GHz die Höhe H der Anordnung beispielsweise in einem Bereich von 4-10 mm liegen, wobei diese Höhe H deutlich geringer als die Wellenlänge  $\lambda_0$  von 13,6 cm bei 2,2 GHz ist. Ferner ergibt sich somit für eine laterale Abmessung von weniger als  $3 \lambda_0$  ein Durchmesser D der Leckwellenantenne von weniger als 40,8 cm.

**[0048]** Besonders vorteilhaft ist, dass die Lagenanordnung 30 der Leckwellenantenne technisch als eine mehrlagige Leiterplatte angesehen werden kann, so dass diese mit Hilfe etablierter Herstellungsprozesse gefertigt werden kann. Durch geeignete Substratmaterialien bzw. Technologien sind auf konforme, d. h. an gekrümmte Oberflächen angepasste, Implementierung der Leckwellenantenne 10 möglich.

**[0049]** Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass die Antenne eine geringe Bauhöhe H von beispielsweise von weniger als 10 bzw. 6 mm aufweist. Sie lässt sich daher auf ebenen Oberflächen anbringen oder in diese integrieren. Obwohl die erfindungsgemäße Leckwellenantenne 10 auf der Ausbreitung von Leckwellen basiert, besitzt sie geringe Querabmessungen ( $D < 3 \lambda_0$ ). Insbesondere kann die Struktur der Leckwellenantenne 10 hinsichtlich zweier Freiheitsgrade entworfen werden. Entsprechend der in der Lagenanordnung 30 angeregten Leckwellenmodus bzw. der Wellenzahl der angeregten Leckwelle ist die Hauptabstrahlrichtung der Leckwellenantenne 10 (entsprechend obiger Beziehung 2) vorgebar. Darüber hinaus kann mit der Größe der Gesamtstruktur, d. h. mit den lateralen Abmessungen und dem Randbegrenzungsverlauf, wie diese erfindungsgemäß vorgesehen sind, die Keulenbreite der Abstrahlcharakteristik eingestellt werden.

**[0050]** Im Folgenden werden anhand der weiteren Figuren unterschiedliche Entwurfsmöglichkeiten bzw. unterschiedliche Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 (unter Berücksichtigung der vorangegangenen allgemeinen Ausführungen) beispielhaft erörtert. Die im Nachfolgenden dargestellten Arbeitsfrequenzen  $f_0$  bzw. Arbeitsfrequenzbereiche  $\Delta f_0$  sowie die gewählten Materialien und deren Eigenschaften als auch die gewählten Abmessungen und Dimensionen der einzelnen Strukturen und Anordnungen stellen daher nur jeweils beispielhafte Ausführungsbeispiele und Möglichkeiten der Realisierung der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne dar. Grundsätzlich ist der erfindungsgemäße Ansatz für die Implementierung der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 basierend einerseits auf der Ausnutzung der Abstrahlungseigenschaften von Leckwellen und andererseits auf der Begrenzung (bezüglich lateraler Abmessungen und des Randbegrenzungsverlaufs) der strukturierten Oberfläche (der Lagenanordnung 30) zur gezielten Einstellung der Strahlungscharakteristik allerdings unabhängig von der jeweiligen Arbeitsfrequenz bzw. dem adressierten Dienst anwendbar und kann zu unterschiedlichen Ausführungen der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne führen.

**[0051]** Anhand von Fig. 2a-b, die eine Prinzipdarstellung einer beispielhaften Einzelzelle 70 der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 darstellen, und von Fig. 3a-b, die jeweils einen Ausschnitt aus dem Layout der ersten metallisierten Lage 32 mit den Metallisierungseinzelelementen 32b und der zweiten metallisierten Lage 34 mit den weiteren Metallisierungseinzelelementen 34b, die beide periodisch strukturiert sind, darstellen, wird der Aufbau einer erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 erläutert.

**[0052]** Wie in Fig. 2a dargestellt ist, ist eine Einheitszelle als ein Bereich der periodischen Struktur anzusehen, der bezüglich der Grundfläche eines einzelnen Metallisierungseinzelelements 32b der ersten Metallisierungslage 32 einer Projektion durch die Lagenanordnung 30 entspricht.

**[0053]** Wie in den Figuren 2a-b und 3a-b dargestellt ist, weist eine Einheitszelle eine Grundfläche mit den Seitenlängen a und b (z. B.  $a = b$ ), wobei unter der Annahme " $a=b$ " für die zweidimensionale Periodizität der Metallisierungsstrukturen 32 und 34 diese Abmessung "a" angesehen werden kann. Wie nun in den Figuren 3a-b dargestellt ist, sind die Metallisierungseinzelelemente 32b, 34b rechteckig oder quadratisch ausgebildet, wobei die Periodizität der Metallisierungseinzelelemente der ersten metallisierten Lage 32 um einen Winkel von  $45^\circ$  bezüglich der Periodizität der weiteren Metallisierungseinzelelemente der zweiten metallisierten Lage 34 gedreht ist. Somit fallen die Flächenmittelpunkte der Metallisierungseinzelelemente der ersten metallisierten Lage 32 mit den Kreuzungspunkten der Trennungsspaltlinien der weiteren Metallisierungseinzelelemente 34b der zweiten metallisierten Lage 34 zusammen.

**[0054]** In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass dieser Verdrehungswinkel von  $45^\circ$  bezüglich der Periodizität beispielhaft anzusehen ist und andere Verdrehungswinkel beispielsweise von  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ , ebenso verwendet werden können. Ferner wird im Nachfolgenden noch erläutert, dass auch eine Verschiebung der ersten und zweiten metallisierten Lage 32, 34, bzw. eine Verschiebung deren Periodizität, oder deren Flächenmittelpunkte bezüglich

einer Symmetrieachse, z. B. orthogonal, zueinander vorgesehen sein kann.

**[0055]** In Fig. 2b ist nun ferner dargestellt, dass zwischen der ersten und zweiten metallisierten Lage die erste dielektrische Schicht 38 mit der Dicke  $d_1$  und einer relativen Permeabilität  $\epsilon_{r1}$  angeordnet ist, während zwischen der zweiten metallisierten Lage 34 und der dritten metallisierten Lage 38 die zweite dielektrische Schicht 40 mit der Dicke  $d_2$  und einer relativen Permeabilität  $\epsilon_{r2}$  angeordnet ist.

**[0056]** Im Folgenden wird nun beispielhaft von einem Arbeitsfrequenzbereich  $\Delta f_0$  der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne von 2170-2200 MHz ausgegangen. Die verschiedenen Abmessungen und elektrischen Parameter der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 sind nun so implementiert, um ein Strahlungsmaximum unabhängig vom Azimut bei einer Elevation von  $45^\circ$  mit einer 3-dB Keulenbreite von  $30^\circ$  zu implementieren. Als Gewinn wird beispielsweise im Fall zirkularer der Polarisierung ein Wert von etwa 4 dBi vorgegeben.

**[0057]** Um diese Antennencharakteristika für die erfindungsgemäße Leckwellenantenne 10 zu implementieren, können die in Fig. 2a-b und 3a-b dargestellten Einheitszellen folgendermaßen dimensioniert werden. Die erste dielektrische Schicht (Trägersubstrat) weist beispielsweise eine Dicke  $d_1$  von 0,102 mm und eine relative Permittivität  $\epsilon_{r1}$  von 3,54 auf. Die zweite dielektrische Schicht 40 (Trägersubstrat 40), die zwischen der zweiten und dritten metallisierten Lage 34, 36 angeordnet ist, weist beispielsweise eine Dicke  $d_2$  von 3,150 mm und eine relative Permittivität  $\epsilon_{r2}$  von 3,55 auf. Die oberste Lage, d. h. die erste metallisierte Lage 32, sowie die Innenlage, d. h. die zweite metallisierte Lage 34, sind periodisch strukturiert, wobei Ausschnitte der entsprechenden Layouts der zweidimensionalen periodischen Metallisierungsstrukturen in Figuren 3a-b dargestellt sind. Zwischen benachbarten metallisierten Elementen befindet sich beispielsweise eine Trennungslinie oder Trennungsfuge mit einer Breite  $\Delta a$  von 0,2 mm. Die untere Lage, d. h. die dritte metallisierte Lage 36, ist (zumindest bereichsweise) durchgehend metallisiert und dient als Massefläche, die beispielsweise das Bezugspotential führt. Die Dicke  $d_3$ ,  $d_4$ ,  $d_5$  der Metallisierungen aller drei Lagen liegt beispielsweise bei 0,035 mm. Die Gesamthöhe  $H_0$  der Einheitszelle 70 beläuft sich somit auf 3,357 mm.

**[0058]** Die Periodizität (Periode) der Struktur, d.h. die Kantenlänge  $a$  der Einheitszelle, beträgt 6,35 mm ist und ist somit um den Faktor 21 kleiner als die kleinste auftretende Freiraumwellenlänge im betrachteten Arbeitsfrequenzbereich  $\Delta f_0$  ( $f_{0-max}=2,2\text{GHz} \rightarrow \lambda_{0-min}=13,6\text{cm}$ ). Aufgrund dieser Abmessungen in Bezug auf die Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  ist somit eine nahezu unabhängige Dispersionscharakteristik vom Azimutwinkel in der Lagenanordnung 30 implementiert. Insgesamt wurde die Einheitszelle 70 so dimensioniert, dass die Wellenzahl  $k$  (mit  $K=k/k_0$ ) der Leckwelle einen Realteil (Phasenmaß  $\beta$ ) von  $2\pi \cdot 0,98/\lambda$  bei 2,19 GHz aufweist.

**[0059]** Der Durchmesser  $D$  der Gesamtstruktur, d. h. der Abstand zweier gegenüberliegender Seiten der oktogonalen Berandung, beträgt 204,6 mm. Zwischen den gegenüberliegenden, zueinander parallelen Segmenten (Seitenlinien) des Oktagons befinden sich somit 30 Einheitszellen.

**[0060]** Die Arme 50a-d der Kreuzdipolanordnung 50 sind in einem Abstand  $h_0$  von 2,0 mm über der Oberfläche der ersten metallisierten Lage 32 zentriert angeordnet und werden durch vier Speisepunkte 50a-d angeregt, die in die Struktur, d. h. die Lagenanordnung 30, eingebracht sind. Die Höhe  $H$  der gesamten Antennenanordnung beträgt somit 5,4 mm (5,357 mm).

**[0061]** Wie im Vorhergehenden bereits angegeben wurde, kann die Leckwellenantenne, d. h. die Lagenanordnung 30 und die Anregungsstruktur 50, noch mit einer Häusung 60 umgeben sein.

**[0062]** In Fig. 4 ist nun die Direktivität der Leckwellenantenne 10 bei einer Arbeitsfrequenz  $f_0$  von 2,19 GHz über dem Zenithwinkel  $\theta$  in Grad für verschiedene Azimutwinkel aufgetragen. Fig. 5 stellt nun die Höhenlinien der Direktivität der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne bei 2,19 GHz aufgetragen über Azimut- und Zenithwinkel dar.

**[0063]** In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass die Richtcharakteristik der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 mit Hilfe einer Simulation ermittelt wurde, wobei die resultierenden Fernfeldcharakteristika bei zirkularpolarisierter Abstrahlung in Figuren 4 und 5 dargestellt sind. In Fig. 4 sind verschiedene Fernfeldabschnitte bei 2,19 GHz als Funktion des Zenithwinkels für konstante Azimutwinkel aufgetragen. Die einzelnen Verläufe (Kurven) sind nahezu gleichwertig, was die konische Richtwirkung der erfindungsgemäßen Leckwellenantenne 10 kennzeichnet. Die maximale Direktivität von +4,7 dBi wird beim gewünschten Zenithwinkel von  $\pm 45^\circ$  erreicht.

**[0064]** In Fig. 5 sind die eingerahmten Werte an den Höhenlinien auf das Maximum der Direktivität bezogen (in dB). Die dick hervorgehobenen Höhenlinien kennzeichnen den Abfall von 3 dB bezogen auf das Maximum. Die Richtcharakteristik bei 2,19 GHz in Abhängigkeit von Azimut- und Zenithwinkel zeigt Fig. 5 in Form eines Konturdiagramms. Die gewünschte 3-dB-Keulenbreite von  $30^\circ$  wird über den gesamten Azimutbereich erreicht. Innerhalb des betrachteten Arbeitsfrequenzbereichs sind die Richtcharakteristika sowohl qualitativ als quantitativ gleichwertig. (Aussagen über die Anpassung der Antenne und den Gewinn anhand der Simulation wurden nicht getroffen).

**[0065]** In Fig. 6 ist nun zum Vergleich mit der Leckwellenantenne 10 mit oktogonaler Grundfläche, wie sie in Fig. 1a dargestellt ist, zusätzlich eine Leckwellenantenne 10 mit dodekagonaler Grundfläche (Zwölfeck) simuliert.

**[0066]** Fig. 6 zeigt die ermittelten Fernfeldschnitte (Direktivität der Leckwellenantenne mit dodekagonaler Grundfläche) bei 2,19 Gigahertz als Funktion über den Zenitwinkel für verschiedene Azimutwinkel. Wie Fig. 6 zu entnehmen ist, ist auch bei einer erfindungsgemäßen Leckwellenantenne mit einer dodekagonalen Grundfläche die Azimutabhängigkeit gering ausgeprägt, wobei dies insbesondere im Bereich der Hauptkeulen gilt.

**[0067]** An dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass die im Vorhergehenden anhand der Figuren 2a-b, 3a-b, 4, 5 und 6 erörterten Implementierungen unterschiedlicher Ausführungsbeispiele für die erfindungsgemäße Leckwellenantenne 10 beispielsweise auf bestimmte Anwendungen zugeschnitten sind, wobei durch eine Skalierung der gesamten Anordnung, d.h. durch eine Anpassung der Abmessungen der Einheitszellen 70, der Struktur (Lagenanordnung 30) und der Anregungselemente 50, insbesondere auch Anwendungen bei anderen Frequenzen oder Frequenzbereichen und beispielsweise auch mit anderen Anforderungen an die Richtcharakteristik (beispielsweise mit anderer Hauptstrahlrichtung und/oder Keulenbreite) adressiert werden können.

**[0068]** Als Bezugsgröße dient hier die Wellenlänge bei der Arbeitsfrequenz, da die Keulenbreite "nicht" von der absoluten Größe der Gesamtstruktur abhängt, sondern von der relativen Größe, d.h. der wirksamen Fläche, der gesamten Struktur abhängt.

**[0069]** Um nun beispielsweise die Dispersionscharakteristik der Struktur, d.h. der Leckwellenantenne bzw. der Lagenanordnung 30, anzupassen, ist mit zunehmender bzw. abnehmender Arbeitsfrequenz eine Verkleinerung bzw. Vergrößerung der Lateralabmessungen der Einheitszelle erforderlich. Eine Anpassung an eine Arbeitsfrequenz  $f_0$  von beispielsweise 2,9 GHz würde beispielsweise eine Verringerung der Periode "a" auf 4,7 mm nach sich ziehen (gegenüber 6,35 mm bei 2,19 GHz), vorausgesetzt, dass die übrigen Abmessungen der Einheitszelle 70 unverändert bleiben.

**[0070]** Im Folgenden wird nun Bezug nehmend auf die Fig. 7 eine weitere Realisierung einer Einheitszelle für die erfindungsgemäße Leckwellenantenne 10, die auch eine azimutunabhängige Quellenausbreitung in der Lagenanordnung 30 gewährleisten, dargestellt. Fig. 7 zeigt eine Einheitszelle 70', die ebenfalls als Basis für eine Leckwellenstruktur verwendet werden kann. Fig. 7 zeigt nun einen Ausschnitt der zweidimensional periodischen Metallisierungsstruktur 32b' der ersten metallisierten Lage 32, und ferner einen Ausschnitt der zweiten, zweidimensionalen periodischen Metallisierungsstruktur 34b' der zweiten metallisierten Lage.

**[0071]** Wie Fig. 7 zeigt, sind die Flächenmittelpunkte der weiteren Metallisierungselemente 34b' der zweiten metallisierten Lage zu den Flächenmittelpunkten der Metallisierungselemente 32b' der ersten Metallisierungslage zueinander versetzt, wobei im vorliegenden Fall diese Versetzung orthogonal um eine halbe Periodenlänge ( $a/2$ ) vorgesehen ist.

**[0072]** Fig. 8 zeigt nun eine Prinzipdarstellung einer Einheitszelle 70'', die ebenfalls als Basis für eine Leckwellenstruktur für die erfindungsgemäße Leckwellenantenne 10 verwendet werden kann. Auch hier sind lediglich die metallisierten Elemente dargestellt.

**[0073]** Wie in Fig. 8 dargestellt ist, ist die erste, zweidimensional periodische Metallisierungsstruktur 32b'' der ersten metallisierten Lage spiralförmig ausgebildet, wobei sich vier Spiralarms ausgehend von dem Flächenmittelpunkt erstrecken. Die zweite Metallisierungslage der Einheitszelle 70'' von Fig. 8 entspricht der zweiten Metallisierungslage der Einheitszelle 70' von Fig. 7.

**[0074]** Bezüglich der im Vorhergehenden dargestellten Metallisierungsstrukturen bzw. Lagenanordnungen für eine erfindungsgemäß Leckwellenantenne 10 ist darauf zu achten, dass die von der Antriebsstruktur 50 bereitgestellte Leistung auch in die gewünschten Leckwellenmode innerhalb der Lagenanordnung 30 übergeht. Des Weiteren ist bezüglich der in den Figuren 2a-b, 7 und 8 dargestellten Einheitszellen zu beachten, dass eine Anregung durch die Antriebsstruktur 15 in eine Azimut-unabhängige Ausbreitung der Leckwelle innerhalb der Lagenanordnung übergeht, d.h. dass die Lagenanordnung die Ausbreitung des gewünschten Leckwellenmodes unterstützt.

**[0075]** Zusammenfassend kann nun bezüglich der dargestellten Ausführungsbeispiele festgestellt werden, dass die erfindungsgemäße Leckwellenantenne eine geringe Höhe aufweist, beispielsweise eine Höhe von weniger als 6 mm bei einer Arbeitsfrequenz von ca. 2,2 GHz. Die erfindungsgemäße Leckwellenantenne lässt sich daher auf ebenen Oberflächen anbringen oder in diese integrieren. Obwohl die Leckwellenantenne auf der Ausbreitung von Leckwellen basiert, besitzt sie gegenüber herkömmlichen Leckwellenantennen geringe Querabmessungen und somit eine geringe Gesamtfläche auf.

**[0076]** Bei der Dimensionierung der Leckwellenantenne kann insbesondere auf zwei Freiheitsgrade zurückgegriffen werden. So kann die Wellenzahl der Leckwelle durch die Auslegung der periodischen Metallisierungsstrukturen der Lagenanordnung eingestellt werden, wodurch die Hauptabstrahlrichtung der Leckwellenantenne vorgegeben werden kann. Ferner kann durch die Größe und Form der Gesamtstruktur die Keulenbreite in der Hauptabstrahlrichtung der Leckwellenantenne beeinflusst werden.

**[0077]** Gemäß Ausführungsbeispielen unterstützt die erfindungsgemäße Leckwellenantenne eine lineare und zirkulare Polarisierung sowie eine Kreuzpolarisierung der angeregten Leckwelle in der Lagenanordnung. Bei zirkular-polarisierten Wellen besitzt die Antenne eine konische Richtcharakteristik.

**[0078]** Ferner ist zu beachten, dass aufgrund der einfachen Anregung der Leckwellenantenne durch zwei gekreuzte Dipole der Aufwand für das erforderliche Speisernetzwerk für die Antriebsstruktur gering ausfällt. Darüber hinaus lässt sich die Leckwellenantenne als mehrlagige Leiterplatte realisieren und ist demzufolge einfach herzustellen.

## Patentansprüche

## 1. Leckwellenantenne (10) mit:

5 einer Lagenanordnung (30) mit einer ersten, zweiten und dritten metallisierten Lage (32, 34, 36), die übereinander und parallel zueinander angeordnet sind und die durch zwei dielektrische Schichten (38, 40) voneinander getrennt sind,  
 wobei die erste metallisierte Lage (32) eine erste, zwei-dimensional periodische Metallisierungsstruktur aufweist,  
 10 wobei die zweite metallisierte Lage (34) eine zweite, zwei-dimensional periodische Metallisierungsstruktur aufweist, und  
 wobei die dritte metallisierte Lage (36) einen durchgehenden Metallisierungsbereich aufweist; und  
 einer Anregungsstruktur (50) oberhalb der ersten metallisierten Lage (32) zum Anregen eines Leckwellenmodus  
 in der Lagenanordnung (30) bei einer Arbeitsfrequenz  $f_0$  der Leckwellenantenne;  
 15 wobei die Lagenanordnung (30) als Randbegrenzungsverlauf eine Form eines regelmäßigen N-Ecks mit  $N \geq 8$  ( $N \in \mathbb{Z}$ ) oder eine Kreisform aufweist.

2. Leckwellenantenne nach Anspruch 1, wobei die Lagenanordnung (30) einen Gesamtdurchmesser D bezüglich eines Abstands zweier gegenüber liegender Seiten des N-Ecks oder des Kreisdurchmessers der Lagenanordnung von  
 20 weniger als dem 5-fachen Wert der Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  der Leckwellenantenne bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  aufweist.

3. Leckwellenantenne nach Anspruch 1 oder 2, wobei die erste Metallisierungsstruktur (32) eine Vielzahl von Metallisierungseinzelementen (32b) aufweist, wobei die Metallisierungseinzelemente (32b) eine laterale Abmessung  
 25 (a) aufweisen, die kleiner oder gleich  $1/10$  der Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  der Leckwellenantenne bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  ist.

4. Leckwellenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweite Metallisierungsstruktur (34) eine Vielzahl von weiteren Metallisierungseinzelementen (34b) aufweist, wobei die weiteren Metallisierungseinzelemente  
 30 (34b) eine laterale Abmessung aufweisen, die kleiner oder gleich  $1/10$  der Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  der Leckwellenantenne bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  ist.

5. Leckwellenantenne nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Lagenanordnung (30) eine laterale Ausdehnung D aufweist, die entlang eines Abstandes zweier gegenüberliegender Seiten des N-Ecks oder des Kreisdurchmessers der Lagenanordnung weniger als 50 Metallisierungseinzelemente (32b) der ersten metallisierten Lage (32) aufweist.  
 35

6. Leckwellenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lagenanordnung (30) als eine mehrlagige, periodisch strukturierte Leiterplatte ausgebildet ist.

7. Leckwellenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lagenanordnung (30) eine Vielzahl benachbarter Einheitszellen ( $70; 70'; 70''$ ) aufweist, wobei eine Einheitszelle einen Bereich darstellt, der bezüglich  
 40 der Grundfläche eines einzelnen Metallisierungseinzelementes (32b) der ersten metallisierten Lage (32) einer Projektion durch die Lagenanordnung (30) hindurch entspricht.

8. Leckwellenantenne nach Anspruch 7, wobei die Mehrzahl von weiteren Metallisierungseinzelementen der zweiten metallisierten Lage um einen Winkel von  $45^\circ$  bezüglich der Metallisierungseinzelemente der ersten metallisierten Lage gedreht ist.  
 45

9. Leckwellenantenne nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Flächenmittelpunkte der Metallisierungseinzelemente (32b) der ersten metallisierten Lage (32) zu den weiteren Metallisierungseinzelementen (34b) der zweiten metallisierten Lage (34) versetzt sind.  
 50

10. Leckwellenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lagenanordnung (30) eine richtungsunabhängige Dispersionscharakteristik bei der Arbeitsfrequenz  $f_0$  aufweist.

11. Leckwellenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Lagenanordnung (30) ausgebildet ist, um bei einer Anregung durch die Anregungsstruktur (50) eine radial-symmetrische Ausbreitung von Leckwellen bei  
 55 der Arbeitsfrequenz der Leckwellenantenne vorzusehen.

## EP 2 375 491 A1

12. Leckwellenantenne nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anregungsstruktur (50) ausgebildet ist, um eine linear-, kreuz- und/oder zirkular-polarisierte Welle in der Lagenanordnung anzuregen.
13. Leckwellenantenne nach Anspruch 12, wobei die Anregungsstruktur (50) als eine Kreuzdipol-Anordnung zentriert auf der Lagenanordnung angeordnet ist.

5

10

15

20

25

30

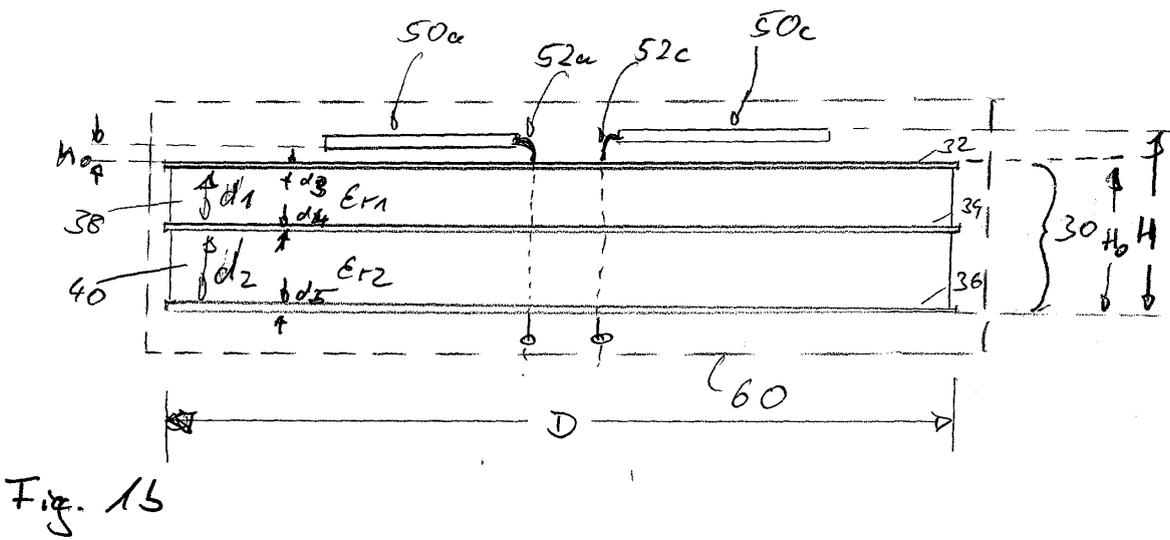
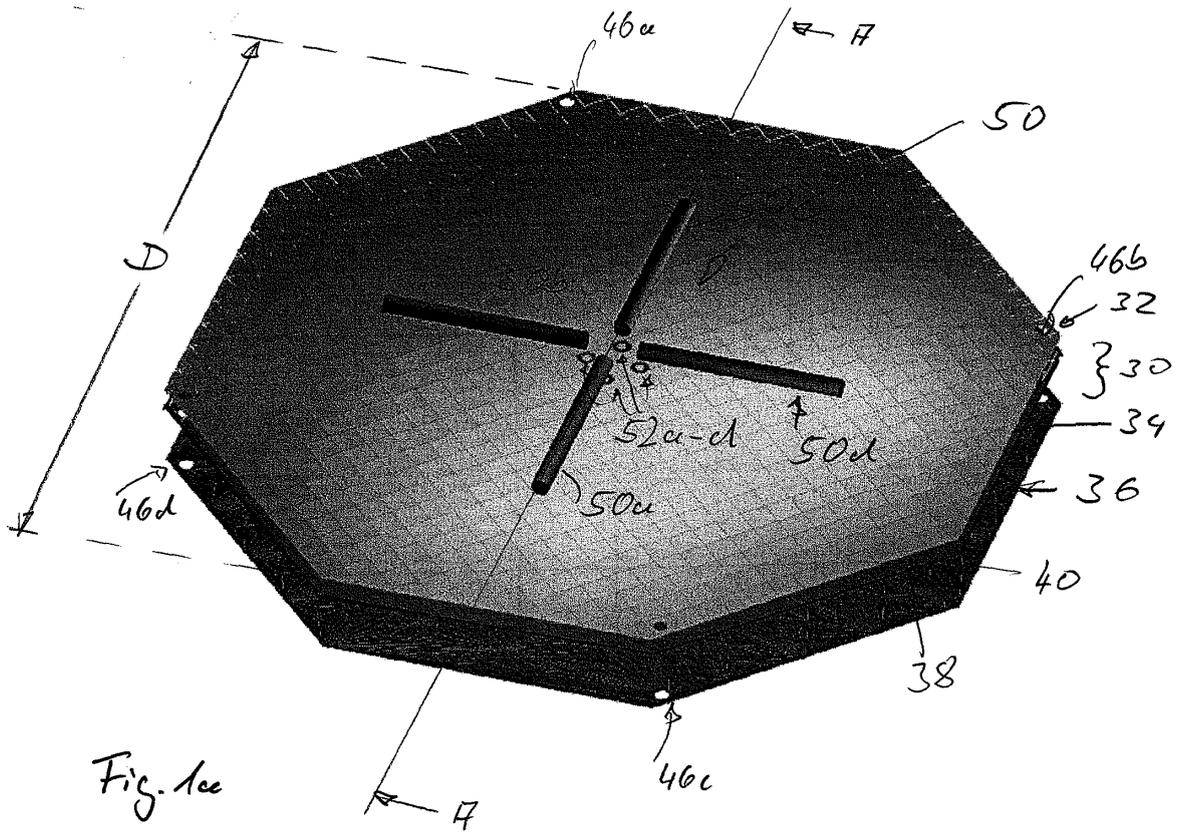
35

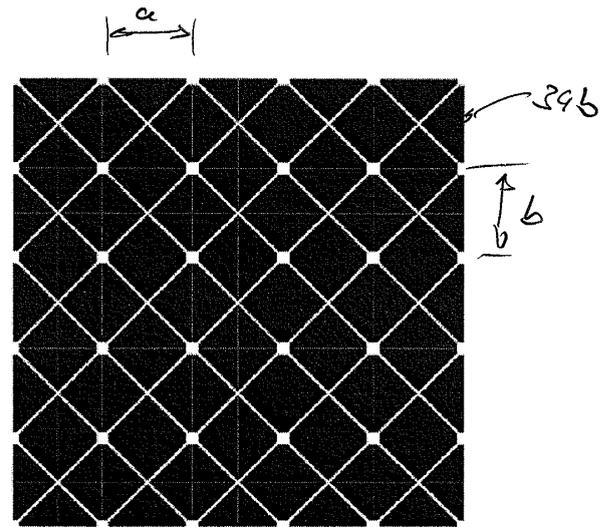
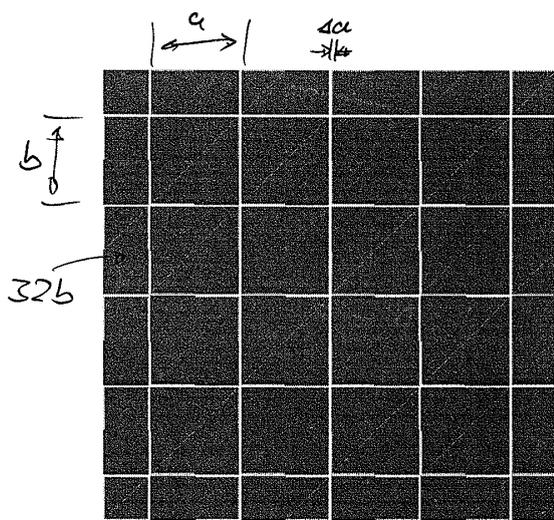
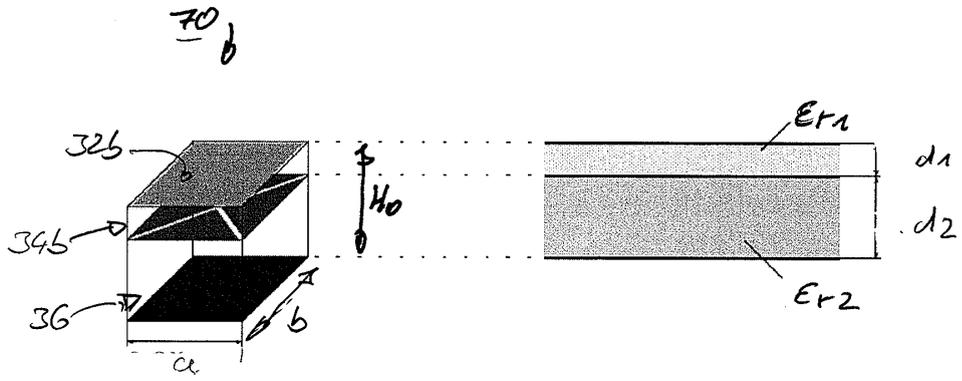
40

45

50

55





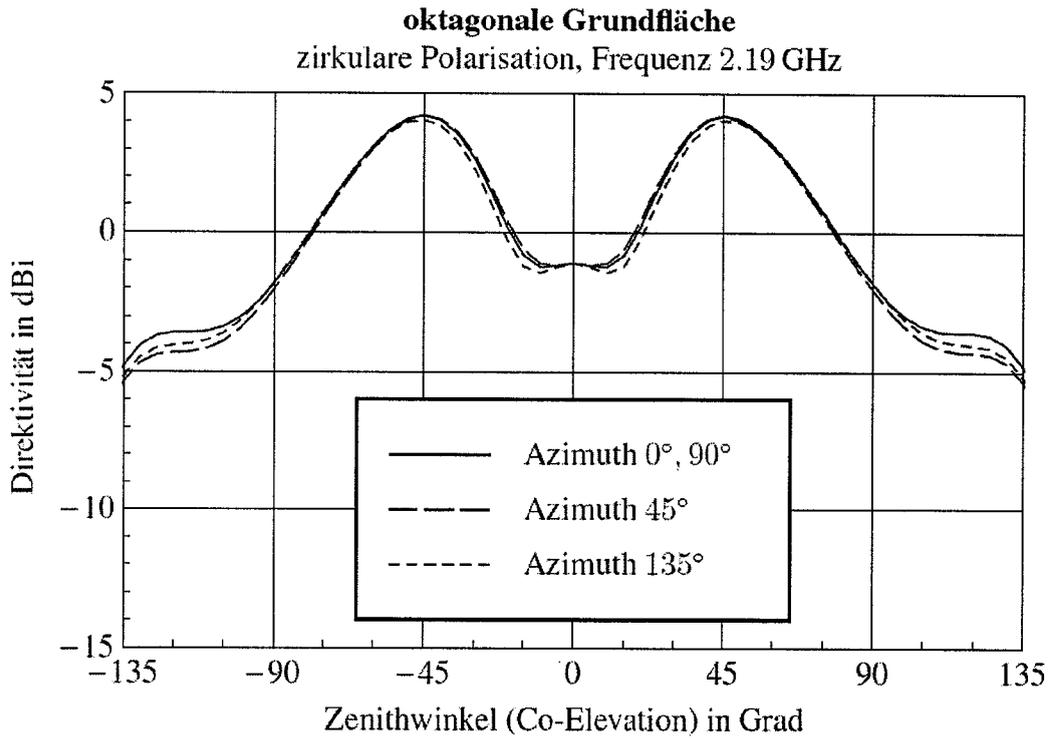


Fig. 4

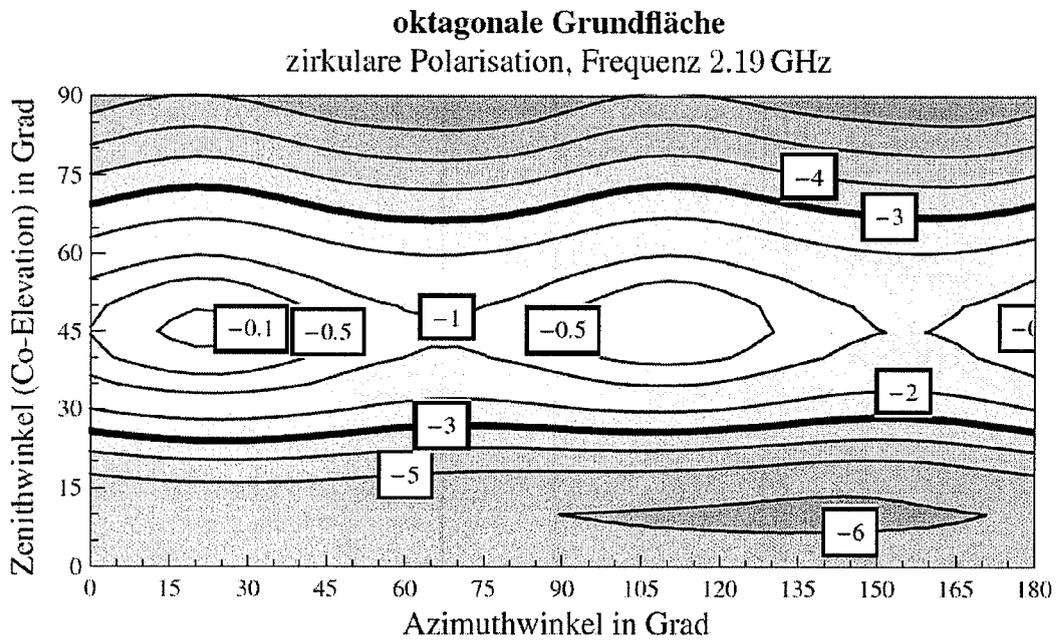


Fig. 5

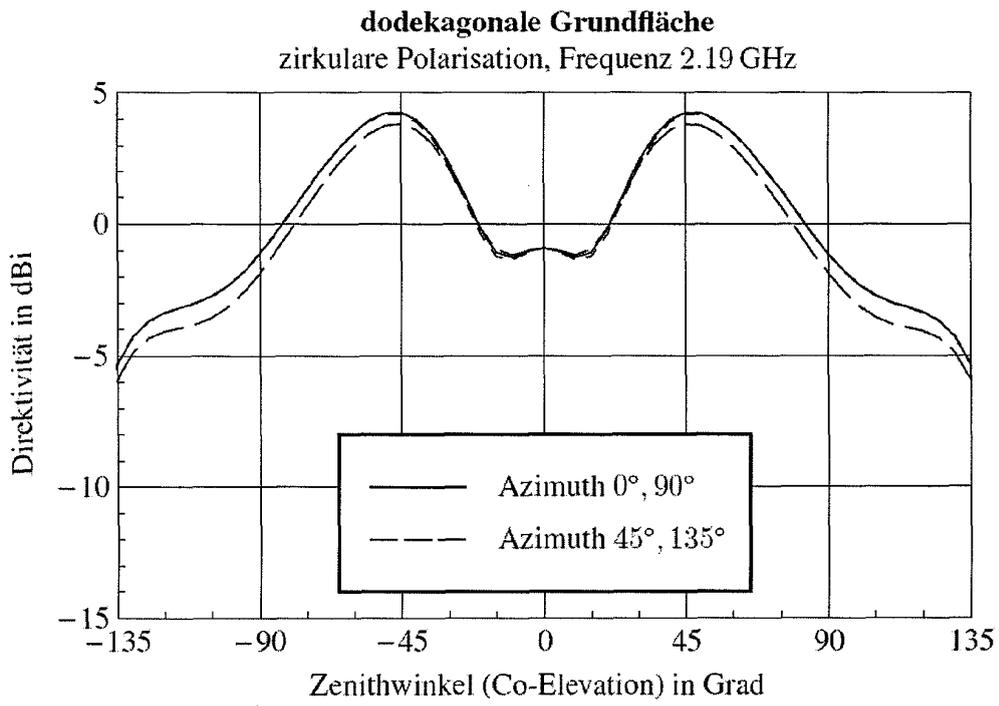


Fig. 6

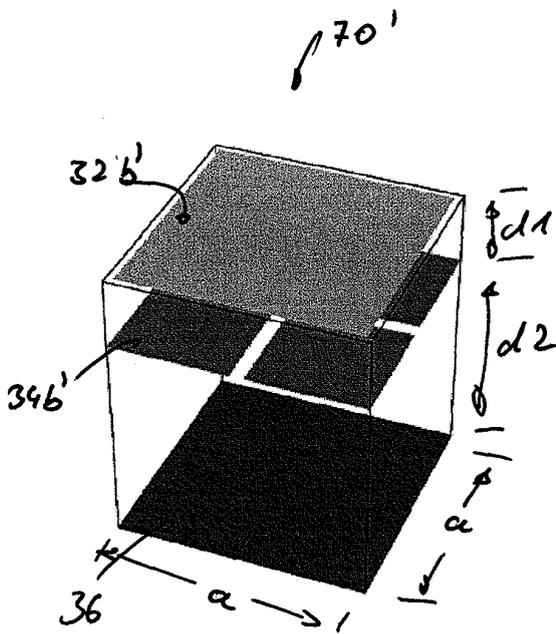


Fig. 7

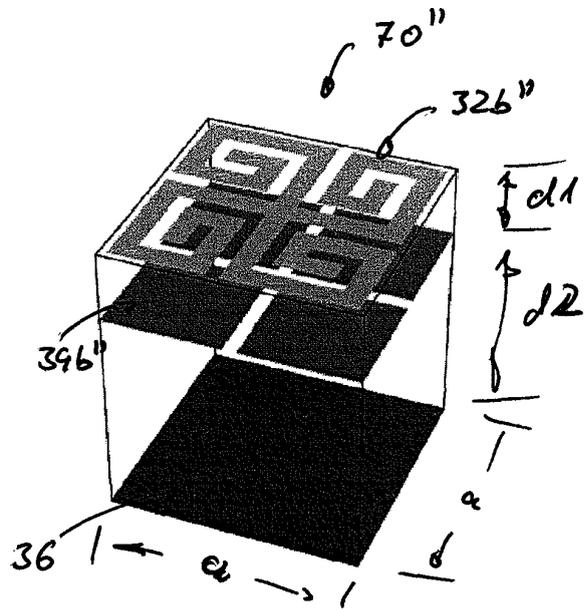


Fig. 8

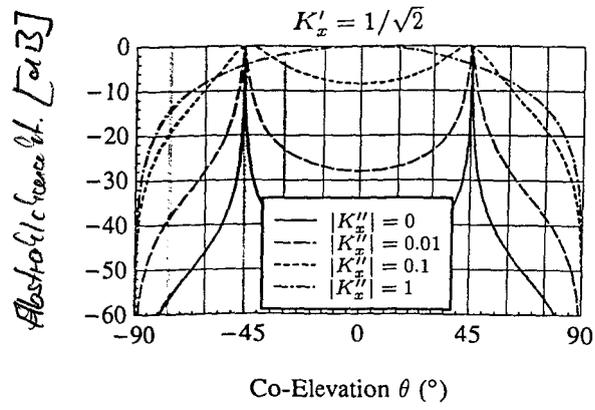


Fig. 9c

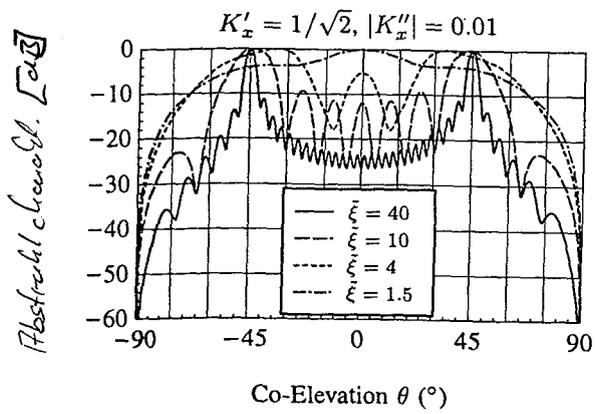


Fig. 9b



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 11 15 9856

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y,D	SCHÜHLER M ET AL: "Experimental study of the radiation characteristics of a finite periodic structure excited by a dipole", ANTENNAS AND PROPAGATION, 2009. EUCAP 2009. 3RD EUROPEAN CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 23. März 2009 (2009-03-23), Seiten 3055-3059, XP031470423, ISBN: 978-1-4244-4753-4 * das ganze Dokument *	1-13	INV. H01Q1/27 H01Q1/38 H01Q13/20 H01Q13/28
Y	IP A ET AL: "AN IMPROVED CALCULATION PROCEDURE FOR THE RADIATION PATTERN OF A CYLINDRICAL LEAKY-WAVE ANTENNA OF FINITE SIZE", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 40, Nr. 1, 1. Januar 1992 (1992-01-01), Seiten 19-24, XP000258244, ISSN: 0018-926X, DOI: DOI:10.1109/8.123349 * das ganze Dokument *	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X,P	SCHÜHLER M ET AL: "Analysis and design of a planar leaky-wave antenna for mobile satellite communications based on a strongly truncated periodic structure", ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM (APSURSI), 2010 IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 11. Juli 2010 (2010-07-11), Seiten 1-4, XP031744957, ISBN: 978-1-4244-4967-5 * das ganze Dokument *	1-13	H01Q
			-/--
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 25. Mai 2011	Prüfer van Norel, Jan
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 11 15 9856

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	MARIO SCHUHLER ET AL: "Impedance Measurement of a Dipole Above a Periodically Structured Reflective Surface", IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 7, 1. Januar 2008 (2008-01-01), Seiten 617-620, XP011235617, ISSN: 1536-1225 * Zusammenfassung * * Absätze [0III], [000V]; Abbildung 2 * -----	1-13	
A	CALOZ C ET AL: "Planar Distributed Structures With Negative Refractive Index", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 52, Nr. 4, 1. April 2004 (2004-04-01), Seiten 1252-1263, XP011110503, ISSN: 0018-9480, DOI: DOI:10.1109/TMTT.2004.823579 * Zusammenfassung * * Abbildungen 1-3 * -----	1-13	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
2	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 25. Mai 2011	Prüfer van Norel, Jan
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03-02 (P04C03)

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 6545647 B [0003]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **A. POPUGAEV ; R. WANSCH.** Low profile automotive antennas for digital broadcasting. *9th Workshop Digital Broadcasting*, 18. September 2008 [0003]
- **D. SIEVENPIPER.** Forward and backward leaky wave radiation with large effective aperture from an electronically tunable textured surface. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Januar 2005, vol. 53 (1), 236-247 [0003]
- **L. GOLDSTONE ; A. OLINER.** Leaky-wave antennas I: Rectangular waveguides. *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, 1959, vol. 7 (4), 307-319 [0003]
- Leaky-wave antennas. **A.A. OLINER ; D.R. JACKSON.** Antenna Engineering Handbook. McGraw-Hill, 2007 [0003]
- **M. SCHÜHLER ; R. WANSCH ; M. A. HEIN.** Experimental study of the radiation characteristics of a finite periodic structure excited by a dipole. *Proc. Of Eu-CAP'2009*, 23. März 2009, 3055-3059 [0003]