



(11)

EP 4 369 518 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
15.05.2024 Patentblatt 2024/20

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**H01Q 3/26 (2006.01)** **H01Q 21/20 (2006.01)**  
**H01Q 1/28 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: 23189299.3

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**H01Q 21/20; H01Q 3/267; H01Q 1/281**

(22) Anmeldetag: 02.08.2023

(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 ME MK MT NL  
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

**BA**

Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(30) Priorität: 14.11.2022 DE 102022004209

(71) Anmelder: **MBDA Deutschland GmbH**  
**86529 Schrobenhausen (DE)**

(72) Erfinder:

- SEDLAK, Gerhard**  
83209 Prien am Chiemsee (DE)
- WENDEROTH, Jennifer**  
85049 Ingolstadt (DE)

(74) Vertreter: **Isarpatent**

**Patent- und Rechtsanwälte**  
**Barth Hassa Peckmann & Partner mbB**  
**Friedrichstraße 31**  
**80801 München (DE)**

### (54) SYMMETRISCHE ANTENNENANORDNUNGEN UND ZUGEHÖRIGE VERFAHREN ZUM BESTIMMEN VON STRAHLUNGSDIAGRAMMEN

(57) Offenbart ist eine Antennenanordnung, die einen rotationssymmetrischen Antennenkörper sowie eine Vielzahl von identischen Antennenelementen umfasst, die symmetrisch um eine Rotationssymmetrieachse des

Antennenkörpers angeordnet ist. Offenbart ist ferner ein Verfahren zum Bestimmen eines Strahlungsdiagrammes für die Antennenanordnung unter Ausnutzung von deren Symmetrie.

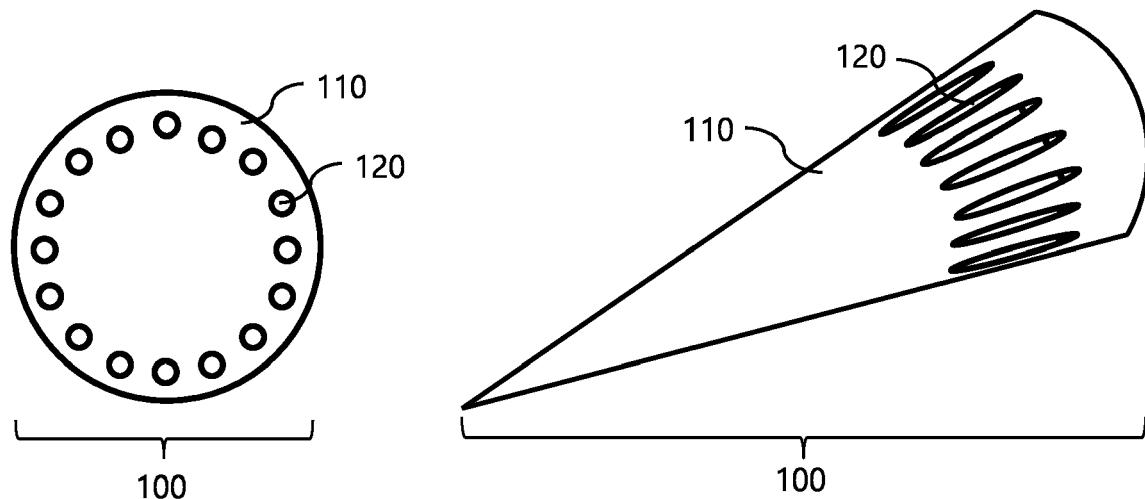


Fig. 1

**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG**

5 [0001] Die Erfindung betrifft symmetrische Antennenanordnungen und zugehörige Verfahren zum Bestimmen von Strahlungsdiagrammen, und insbesondere symmetrische Antennenanordnungen und Verfahren für Anwendungen in der Radartechnologie.

**TECHNISCHER HINTERGRUND**

10 [0002] Für eine präzise Strahlformung und/oder eine genaue Peilung ist eine präzise Bestimmung der Strahlungscharakteristik der verwendeten Antennenanordnung erforderlich. Im Falle der Radartechnik kann die Struktur der Trägerplattform des Radars, wie beispielsweise ein Flugzeug oder eine andere Plattform, berücksichtigt werden. Das Bestimmen eines Strahlungsdiagrammes einer Antennenanordnung im Raum ist jedoch sehr aufwändig und zeitintensiv, 15 insbesondere wenn die Antennenanordnung eine Vielzahl von einzelnen Antennenelementen umfasst, die zur Strahlformung überdies einzeln gesteuert oder zu steuern sind.

[0003] Eine der Aufgaben der Erfindung besteht somit darin mit geringerem Messaufwand eine präzise Strahlformung und/oder eine genauere Peilung zu ermöglichen, insbesondere für Anwendungen in der Radartechnologie.

20 [0004] Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin ein einfacheres Bestimmen einer Strahlungscharakteristika einer Antennenanordnung zu ermöglichen, ohne Abstriche bei der Präzision des geformten Strahls und/oder der Genauigkeit einer Peilung.

[0005] Eine noch weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin eine rasche Kalibrierung und/oder eine rasche Rekalibrierung einer Antennenanordnung zu ermöglichen und/oder ein Risiko von Messfehlern zu verringern, sowohl bei beispielsweise einer Peilung als auch bei einer Kalibrierung und/oder einer Rekalibrierung.

25 [0006] Die Lösung der oben genannten Aufgaben wird durch einen rotationssymmetrischen Aufbau bzw. ein entsprechendes Design der Antennenanordnung ermöglicht.

**ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG**

30 [0007] Die Erfindung löst die oben genannten Aufgaben. Insbesondere kann mit den erfindungsgemäßen Lösungen auf die Vermessung von allen Antennenelementen verzichtet werden, wenn eine Vielzahl von einzelnen Antennenelementen vorliegt. Anstelle aller Antennenelemente muss nur ein einzelnes Antennenelement oder eine bestimmte Teilmenge der Antennenelemente charakterisiert werden, um eine oder mehrere der gewünschten technischen Wirkungen zu erzielen.

35 [0008] Gemäß einem Aspekt der Erfindung umfasst eine Antennenanordnung einen symmetrischen Antennenkörper sowie eine Vielzahl M von identischen Antennenelementen, die symmetrisch um eine Rotationssymmetrieachse des Antennenkörpers angeordnet ist.

40 [0009] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst ein Verfahren zum Bestimmen eines Strahlungsdiagrammes für die Antennenanordnung (bzw. der Strahlungsdiagramme für sämtliche Antennenelemente) Schritte zum Berechnen von Azimut und Elevation eines Richtungsvektors in einem Referenzkoordinatensystem für den Antennenkörper; Transformieren des Richtungsvektors in Koordinatensysteme für die Antennenelemente zum Bestimmen von Azimut und Elevation des transformierten Richtungsvektors in jedem der M Koordinatensysteme für die Antennenelemente; Lesen und/oder Interpolieren von Antennendaten aus einer Nachschlagetabelle basierend auf den bestimmten Werten von Azimut und Elevation, wobei die Antennendaten kopolare und kreuzpolare Komponenten eines Polarisationsvektors für Azimut und Elevation bezüglich eines Koordinatensystems eines Referenzantennenelements der Antennenelemente umfassen; und Transformieren der kopolaren und kreuzpolaren Komponenten des Polarisationsvektors in das Referenzkoordinatensystem für den Antennenkörper.

[0010] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

50 [0011] Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, sofern sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmale der Erfindung. Insbesondere wird dabei der Fachmann auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu der jeweiligen Grundform der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

55 KURZE INHALTSANGABE DER FIGUREN

[0012] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren angegebenen Ausführungen beschrieben.

rungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen dabei:

- Fig. 1 eine Frontansicht (links) und eine perspektivische Ansicht (rechts) einer beispielhaften Antennenanordnung mit symmetrisch auf einem rotationssymmetrischen Antennenkörper angeordneten Antennenelementen;
- Fig. 2 eine Veranschaulichung von Azimut  $\psi_K$ , Elevation  $\theta_K$  und yz-Polarisation  $\overrightarrow{E_{yz}}(\overrightarrow{x_K})$  in einem Punkt  $\overrightarrow{x_K}$  eines entlang einer Rotationssymmetriechse  $x$  gewählten kartesischen Referenzkoordinatensystems für den Antennenkörper der Antennenanordnung nach Fig. 1;
- Fig. 3 eine Veranschaulichung des Winkels  $\langle p(m)$  für ein auf der negativwertigen z-Achse (nach oben) gewähltes Antennenelement  $m = 1$  ( $\langle p = 0$ ) und für das demgegenüber rotierte Antennenelement  $m = 2$  ( $\langle p(2)$ );
- Fig. 4 einen schematischen Ablauf eines Verfahrens zum Bestimmen von Strahlungsdiagrammen unter Ausnutzung der Symmetrien einer Antennenanordnung.

**[0013]** Die beiliegenden Figuren sollen ein weiteres Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung vermitteln. Sie veranschaulichen Ausführungsformen und dienen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erklärung von Prinzipien und Konzepten der Erfindung. Andere Ausführungsformen und viele der genannten Vorteile ergeben sich im Hinblick auf die Zeichnungen. Die Elemente der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander gezeigt. Richtungsanggebende Terminologie wie etwa "oben", "unten", "links", "rechts", "über", "unter", "horizontal", "vertikal", "vorne", "hinten" und ähnliche Angaben werden lediglich zu erläuternden Zwecken verwendet und dienen nicht der Beschränkung der Allgemeinheit auf spezifische Ausgestaltungen wie in den Figuren gezeigt.

**[0014]** In den Figuren der Zeichnung sind gleiche, funktionsgleiche und gleich wirkende Elemente, Merkmale und Komponenten - sofern nichts Anderes ausgeführt ist - jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

## BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

**[0015]** Fig. 1 zeigt eine Frontansicht (links) und eine perspektivische Ansicht (rechts) einer beispielhaften Antennenanordnung 100. Die Antennenanordnung 100 umfasst einen Antennenkörper 110 und eine Vielzahl von Antennenelementen 120.

**[0016]** Der in Fig. 1 gezeigte Antennenkörper 110 weist ohne Beschränkung der Allgemeinheit (oBdA) Rotationssymmetrie auf. Die Antennenelemente 120 sind auf oder in dem rotationssymmetrischen Antennenkörper 110 angeordnet. Die Antennenelemente 120 können symmetrisch oder rotationssymmetrisch angeordnet sein. In einer symmetrischen Anordnung kann ein Antennenelement durch ein Ausführen einer Symmetrieroberung auf ein anderes Antennenelement abgebildet werden, beispielsweise durch eine Rotationsoperation (rotationssymmetrische Anordnung). Die Antennenelemente können auf den Eckpunkten eines regelmäßigen Vielecks auf und/oder in dem Antennenkörper 110 angeordnet sein. Andere rotationssymmetrische Anordnungen sind ebenfalls möglich. Beispielsweise kann jedes Antennenelement durch Drehung eines Referenzantennenelements dargestellt werden. Die jeweiligen Drehwinkel können unterschiedlich und insbesondere unregelmäßig oder regelmäßig sein. Die Antennenanordnung 100 kann somit so ausgelegt sein, dass sie eine vorgeschriebene geometrische Form aufweist, beispielsweise eine 2-dimensionale Form wie die Form eines ebenen Kreises oder die Form eines Vielecks, oder eine 3-dimensionale Form wie die Form eines Zylinders, die Form eines spitzen oder stumpfen Kegels, die Form eines Rotationshyperboloids, usw.

Die Antennenelemente 120 sind rotationssymmetrisch zur Rotationsachse der Trägerplattform-Struktur in einer Ebene, die senkrecht zur Rotationsachse der Trägerplattform-Struktur steht, angeordnet. Die Antennenelemente können konform, d.h. strukturintegriert aufgebaut sein, oder auch eine andere Aufbauform aufweisen.

**[0017]** Zum Bestimmen der Strahlungsdiagramme ist es daher nicht notwendig, die Strahlungseigenschaften aller Antennenelemente 120 durch Simulation und/oder Vermessung jedes einzelnen Antennenelements entsprechend seiner Position am Antennenkörper 110 zu ermitteln. Vielmehr ist es ausreichend, die Strahlungseigenschaften am Antennenkörper 110 nur für ein Referenzantennenelement zu simulieren oder zu vermessen. Die Strahlungseigenschaften der übrigen Antennenelemente können dann durch Anwendung von Symmetrieroberungen der Antennenelemente 120 aus den Strahlungseigenschaften des Referenzantennenelements abgeleitet werden.

**[0018]** Zur Vereinfachung der Beschreibung des Verfahrens zum Bestimmen der Strahlungsdiagramme wird im Folgenden oBdA von einem rotationssymmetrischen Antennenkörper 110 in der Form eines Kegels ausgegangen, auf dem eine Vielzahl  $M$  von identischen Antennenelementen 120 rotations-symmetrisch auf einem Kreis, in einer Ebene senkrecht zu Rotationsachse des Antennenkörpers 110 angeordnet sind. Die Position der Antennen-Elemente kann somit durch die Rotationswinkel  $\langle p(m)$  mit  $1 \leq m \leq M$  dargestellt werden.

**[0019]** Fig. 2 veranschaulicht die Beschreibung des Verfahrens zum Bestimmen der Strahlungsdiagramme und zeigt

Azimut  $\psi_K$ , Elevation  $\theta_K$ , sowie und eine yz-Polarisation  $\overrightarrow{E_{yz}}(\vec{x}_K)$  und eine xy-Polarisation  $\overrightarrow{E_{xy}}(\vec{x}_K)$  in einem Punkt  $\vec{x}_K$  eines entlang einer Rotationssymmetriearchse x gewählten kartesischen Referenzkoordinatensystems 200 für den Antennenkörper 110 der Antennenanordnung 100 nach Fig. 1. Die elektromagnetische Strahlung der yz-Polarisation  $\overrightarrow{E_{yz}}(\vec{x}_K)$  oszilliert in einer Ebene senkrecht zur Rotationsymmetriearchse des Antennenkörpers 110; die elektromagnetische Strahlung der xy-Polarisation  $\overrightarrow{E_{xy}}(\vec{x}_K)$  oszilliert senkrecht dazu. Die Polarisationen  $\overrightarrow{E_{yz}}(\vec{x}_K)$  und  $\overrightarrow{E_{xy}}(\vec{x}_K)$  in dem Punkt  $\vec{x}_K$  können als Funktion von kartesischen Koordinaten  $(x_K, y_K, z_K)^t$  oder auch mittels der Winkel Azimut  $\psi_K$  und Elevation  $\theta_K$  im Referenzkoordinatensystem 200 des Antennenkörpers 110 dargestellt werden. Azimut  $\psi_K$  bezeichnet dabei den Winkel zwischen der positivwertigen x-Achse (nach vorne, Frontrichtung in der Frontansicht von Fig. 1) und der orthogonalen Projektion des Vektors  $\vec{x}_K$  in die xy-Ebene, während die Elevation  $\theta_K$  den Winkel zwischen dieser orthogonalen Projektion und dem Vektor  $\vec{x}_K$  bezeichnet. Zur Vereinfachung der Beschreibung wird nunmehr oBdA angenommen, dass die Länge des Vektors  $\vec{x}_K$  auf 1 normiert sei,  $|\vec{x}_K| = 1$ . Somit ergibt sich die Beziehung:

$$\begin{pmatrix} x_K \\ y_K \\ z_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi_K & \cos \theta_K \\ \sin \psi_K \cos \theta_K \\ -\sin \theta_K \end{pmatrix} \quad (1)$$

**[0020]** Das so definierte Koordinatensystem gilt auch für die verfügbaren Simulations- und/oder Messdaten. Die verfügbaren Simulations- und/oder Messdaten können in Form einer Nachschlagetabelle (Look-up Table, LUT) unter den entsprechenden Koordinaten abgespeichert sein.

**[0021]** Zur weiteren Vereinfachung der Beschreibung des Verfahrens zum Bestimmen der Strahlungsdiagramme wird im Folgenden ferner oBdA angenommen, dass ein Referenzantennenelement 120 in der xy-Ebene auf der negativwertigen z-Achse (nach oben) angeordnet sei, wobei das Referenzantennenelement das Antennenelement mit dem Index  $m = 1$  sei.

**[0022]** Fig. 3 veranschaulicht die oben genannte Anordnung. Das Antennenelement  $m = 2$  liegt gegenüber dem Referenzantennenelement bei dem Winkel  $\angle p(m = 2)$ . Das Referenzantennenelement  $m = 1$  liegt oBdA auf der negativwertigen z-Achse (nach oben) beim Winkel  $\angle p(m = 1) = 0$ .

**[0023]** Mit Bezug zur Fig. 4 wird nachfolgend das Verfahren 400 zum Bestimmen der Strahlungsdiagramme für alle der M Antennenelemente unter Verwendung der Simulations- und/oder Messdaten eines einzigen Referenzantennenelementes beschrieben. Die Beschreibung basiert oBdA auf den oben genannten Annahmen. Diese Annahmen haben jedoch keinen einschränkenden Charakter. Sie dienen lediglich der Vereinfachung der Beschreibung.

**[0024]** Nach dem Start (405) kann das Verfahren 400 ein Initialisieren (410) von Parametern, die für ein Strahlungsdiagramm von Bedeutung sind, umfassen. Zu initialisierende Parameter sind beispielsweise die Winkelbereich von Azimut  $\psi_K$  und/oder Elevation  $\theta_K$  im Koordinatensystem des Antennenkörpers 110. Das Azimut  $\psi_K$  kann beispielsweise in einem Bereich zwischen  $\psi_{\min}$  und  $\psi_{\max}$  liegen. Mögliche Werte von  $(\psi_{\min}, \psi_{\max})$  sind  $(0, 2\pi)$ ,  $(0, \pi)$ , oder  $(0, \pi/2)$ . Die Elevation  $\theta_K$  kann beispielsweise in einem Bereich zwischen  $\theta_{\min}$  und  $\theta_{\max}$  liegen.

**[0025]** Mögliche Werte von  $(\theta_{\min}, \theta_{\max})$  sind  $(-\pi/2, \pi/2)$ ,  $(-\pi/2, 0)$ , oder  $(0, \pi/2)$ . Weitere zu initialisierende Parameter können ein Inkrement  $\Delta \psi_K$  für das Azimut  $\psi_K$  und/oder ein Inkrement  $\Delta \theta_K$  für die Elevation  $\theta_K$  sein. Noch weitere zu initialisierende Parameter können die Winkel  $\angle p(m)$  und die Anzahl M von Antennenelementen 120 sein. Im allgemeinen

Fall kann ein Parameter ein Radius  $r = |\vec{x}_K|$  sein. OBdA kann ein Wert  $\psi_K^{i=1}$  für das Azimut  $\psi_K$  auf einen Startwert

$\psi_K^{i=1} = \psi_{\min}$  gesetzt werden und ein Wert für die Elevation  $\theta_K$  kann auf einen Startwert  $\theta_K^{j=1} = \theta_{\min}$  gesetzt werden.

**[0026]** Nach dem Initialisieren (410) von Parametern können in Schleifen (vgl. Fig. 4) für alle durch die Parameter definierten Winkelkombinationen  $(\psi_K^i, \theta_K^j)$  mit Indexmenge  $I \times J \subset \mathbb{N} \times \mathbb{N} \quad \exists (i, j)$  ko- und kreuzpolare Komponenten der Polarisationsvektoren für alle Antennenelemente 120 berechnet werden. Mögliche Verfahrensschritte (415) bis (425) innerhalb der Schleifen werden nachfolgend oBdA mit Bezug zu Fig. 3 und Fig. 4 im Detail beschrieben.

Berechnen (415) eines Richtungsvektors

[0027] Das Verfahren 400 kann ein Berechnen (415) eines Richtungsvektors in Azimut und Elevation im Koordinatensystem des Antennenkörpers umfassen. Mit der Beziehung (1) ergibt sich beispielsweise der Richtungsvektor für

5 die Startwerte  $\psi_K^{i=1} = \psi_{\min}$  und  $\theta_K^{j=1} = \theta_{\min}$ .

Transformieren (420) des Richtungsvektors in Antennenelementsysteme

10 [0028] Das Verfahren 400 kann ferner ein Transformieren (420) des Richtungsvektors in Koordinatensysteme für die Antennenelemente (Antennenelementsysteme) umfassen. Zur Vereinfachung der Notation gelte im Folgenden die Beziehung (1) für die obigen Startwerte von Azimut und Elevation. Das Transformieren in die Antennenelementsysteme kann beispielsweise ein Rotieren des Richtungsvektors  $\vec{x}_K$  mit der Rotationsmatrix  $R(<\!p(m))$  mit  $1 \leq m \leq M$  umfassen.

15 Somit gilt unter den getroffenen Annahmen die Beziehung:

$$20 \begin{pmatrix} x_A(m) \\ y_A(m) \\ z_A(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi(m) & \sin \varphi(m) \\ 0 & -\sin \varphi(m) & \cos \varphi(m) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_K \\ y_K \\ z_K \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$= \begin{pmatrix} x_K \\ \cos \varphi(m) y_K + \sin \varphi(m) z_K \\ -\sin \varphi(m) y_K + \cos \varphi(m) z_K \end{pmatrix}$$

25 [0029] Aus dem so berechneten Richtungsvektor im Antennensystem m, mit den Komponenten  $x_A(m), y_A(m), z_A(m)$  kann für das Antennenelement m der M Antennenelemente 120 Azimut  $\psi_A(m)$  und Elevation  $\theta_A(m)$  im entsprechenden Koordinatensystem gemäß der Beziehung (1) für das Antennenelement m ermittelt werden:

30  $= \psi_A(m) = -\text{atan2}(y_A(m), x_A(m)) \quad (3)$

$$35 \theta_A(m) = \sin^{-1}(-z_A(m)) \quad (4)$$

[0030] Die Funktion atan2 ist in Programmiersprachen verfügbar. Sie stellt den Arkustangens im gesamten Wertebereich zwischen  $-180^\circ$  und  $+180^\circ$  bereit.

Lesen und/oder ein Interpolieren (425) von Antennendaten

40 [0031] Das Verfahren 400 kann ein Lesen und/oder ein Interpolieren (425) von Antennendaten umfassen.

[0032] Die Antennendaten können Simulations- und/oder Messdaten umfassen. Die verfügbaren Simulations- und/oder Messdaten können in Form einer Nachschlagetabelle (Look-up Table, LUT) beispielsweise unter den Koordinaten für das Referenzantennenelement gespeichert sein. Die Nachschlagetabelle kann insbesondere eine Kopolarisierung und eine Kreuzpolarisation der von dem Referenzantennenelement abgestrahlten elektromagnetischen Welle umfassen. Kopolarisierung bezeichnet dabei die stärker ausgeprägte Polarisationskomponente dieser Welle. Kreuzpolarisation bezeichnet die Polarisierung, welche orthogonal zur Kopolarisierung orientiert ist und mithin schwächer ausgeprägt ist.

[0033] Das Lesen und/oder das Interpolieren (425) von Antennendaten kann ein Lesen der kopolaren und kreuzpolaren Komponenten aus der für das Referenzantennenelement vorliegenden Nachschlagetabelle für die ermittelten Werte von Azimut  $\psi_A(m)$  und Elevation  $\theta_A(m)$  der Richtungsvektoren für alle der M Antennenelemente (120) umfassen. Wenn die ermittelten Werte Azimut  $\psi_A(m)$  und Elevation  $\theta_A(m)$  von den in der Nachschlagetabelle gespeicherten Antennendaten Werten von Azimut und/oder Elevation abweichen, erfolgt eine Interpolation. Wenn ein Inkrement der Werte von Azimut und/oder ein Inkrement einer Elevation in der Nachschlagetabelle klein genug ist, beispielsweise kleiner als  $0.1^\circ$ , kann auf ein Interpolieren verzichtet werden.

[0034] Im Falle einer Interpolation können Antennendaten für die an das Azimut  $\psi_A(m)$  angrenzenden oberen und angrenzenden unteren Werte des Azimut aus der Nachschlagetabelle ermittelt werden. Alternativ oder ergänzend können im Falle einer Interpolation Antennendaten für die an die Elevation  $\theta_A(m)$  angrenzenden oberen und angrenzenden

unteren Werte der Elevation aus der Nachschlagetabelle ermittelt werden. Insbesondere können so die kopolare und eine kreuzpolare Komponente des Polarisationsvektors für das Azimut  $\psi_A(m)$  und die Elevation  $\theta_A(m)$  bestimmt werden.  
**[0035]** Als Ergebnis des Lesens und/oder des Interpolieren (425) von Antennendaten liegen für alle Antennenelemente 120 die kopolaren und kreuzpolaren Komponenten des Polarisationsvektors bei Azimut  $\psi_A(m)$  und Elevation  $\theta_A(m)$  des transformierten Richtungsvektors vor. Unter den getroffenen Annahmen gilt somit formal die Beziehung:

$$\vec{E}(\vec{x}_A) = \begin{pmatrix} E_{\text{co}} \\ E_{\text{cr}} \end{pmatrix} (m, \psi_A(m), \theta_A(m)) \equiv \begin{pmatrix} E_{\text{co}} \\ E_{\text{cr}} \end{pmatrix}_A \quad (5)$$

$\vec{E}(\vec{x}_A)$  bezeichnet dabei den Polarisationsvektor für den Richtungsvektor  $\vec{x}_A$  im jeweiligen Antennensystem.

$E_{\text{co}} \in \mathbb{C}$  und  $E_{\text{cr}} \in \mathbb{C}$  bezeichnen somit die kopolaren und kreuzpolaren Komponenten des Polarisationsvektors bei Azimut  $\psi_A(m)$  und Elevation  $\theta_A(m)$  des transformierten Richtungsvektors im Koordinatensystem des Antennenelementes  $m$ .

**[0036]** Die oben berechneten ko- und kreuzpolaren Komponenten gelten für das jeweilige Koordinatensystem des Antennenelements  $m$  und müssen in das Körpersystem zurücktransformiert werden.

#### Transformieren (430) ins Antennenkörpersystem

**[0037]** Das Verfahren 400 umfasst ein Transformieren (430) der kopolaren und kreuzpolaren Komponenten des Polarisationsvektors ins Koordinatensystem des Antennenkörpers 110 (Antennenkörpersystem).

**[0038]** Mit der formalen Beziehung (5) gilt unter den getroffenen Annahmen und mit Bezug zu der Fig. 3 die Beziehung:

$$\vec{E}(\vec{x}_K) = \begin{pmatrix} E_{\text{co}} \\ E_{\text{cr}} \end{pmatrix}_K = \begin{pmatrix} \cos \varphi(m) & -\sin \varphi(m) \\ \sin \varphi(m) & \cos \varphi(m) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{\text{co}} \\ E_{\text{cr}} \end{pmatrix}_A \quad (6)$$

wobei  $\varphi(m)$  wiederum den Winkel bezeichnet, um welchen das Antennenelement  $m$  gegenüber dem Antennenelement  $m = 1$  rotiert ist (vgl. Fig. 3).

**[0039]** Die komplexwertigen ko- und kreuzpolaren Komponenten des Polarisationsvektors im Antennenkörpersystem werden gespeichert und über die Schleifen für alle verbleibenden Indices in der Indexmenge

$I \times J \subset \mathbb{N} \times \mathbb{N} \ni (i, j)$  bestimmt.

**[0040]** Das Bestimmen der ko- und kreuzpolaren Komponenten des Polarisationsvektors im Antennenkörpersystem

für die verbleibenden Indices kann ein Inkrementieren (435) des Azimuts  $\psi_K^i \rightarrow \psi_K^{i+1}$  umfassen, und ein Bestimmen (440) ob das inkrementierte Azimut  $\psi_K^{i+1}$  größer ist als das maximale Azimut  $\psi_{\text{max}}$  (vgl. Schritt (410) im Verfahren (400)).

**[0041]** Wenn bestimmt wird, dass  $\psi_K^{i+1}$  nicht größer ist als  $\psi_{\text{max}}$ , kann das Verfahren (400) in einer ersten Schleife zum Verfahrensschritt (415) springen.

**[0042]** Wenn bestimmt wird, dass  $\psi_K^{i+1}$  größer ist als  $\psi_{\text{max}}$ , kann das Verfahren (400) ein Inkrementieren (445)

der Elevation  $\theta_K^j \rightarrow \theta_K^{j+1}$  und ein Zurücksetzen (450) des Azimuts  $\psi_{i+1} \rightarrow \psi_{\text{min}}$  umfassen, sowie ein Bestimmen

(440) ob die inkrementierte Elevation  $\theta_K^{j+1}$  größer ist als die maximale Elevation  $\theta_{\text{max}}$  (vgl. Schritt (410) im Verfahren (400)).

**[0043]** Wenn bestimmt wird, dass  $\theta_K^{j+1}$  nicht größer ist als  $\theta_{\text{max}}$ , kann das Verfahren (400) in einer zweiten Schleife zum Verfahrensschritt (415) springen.

**[0044]** Wenn bestimmt wird, dass  $\theta_K^{j+1}$  größer ist als  $\theta_{\text{max}}$ , kann das Verfahren (400) gestoppt (460) und

beispielsweise ein Strahlungsdiagramm für die Antennenanordnung (100) erstellt werden.

[0045] Für einige Anwendungen ist es erforderlich, Antennenelemente zu steuern. So erfordert beispielsweise eine aktive Radarantennenanordnung mit Strahlformung (elektronische Steuerung von einem oder von mehreren Antennenelementen der Antennenanordnung), dass Phasenunterschiede (z.B. aufgrund der unterschiedlichen Polarisationseigenschaften der Antennenelemente) der abgestrahlten Signale kompensiert werden.

[0046] Das Verfahren (400) kann daher weitere Verfahrensschritte umfassen (nicht gezeigt in Fig. 4), um beispielsweise eine präzise Strahlformung zu ermöglichen und/oder um Strahlungsdiagramme mit Strahlformung für die Antennenanordnung (100) zu erstellen.

[0047] Das Verfahren (400) kann beispielsweise ein Berechnen von Kalibrierungsdaten umfassen. Kalibrierungsdaten können eine Phase von einem oder von mehreren der Vielzahl von Antennenelementen 120 umfassen. Das leitungsgebundene Signal  $s(m)$  (am Antenneneingang) berechnet sich je Antennenelement und Abstrahlrichtung aus den kopolaren und kreuzpolaren Signalanteilen  $s(m) = E_{co} + E_{cr}$ . Die zugehörige Phase kann ermittelt werden aus der Beziehung

$$- \text{atan2} \left( \text{Im}(s(m)), (\text{Im}(s(m))) \right) = \alpha(m) \quad (7)$$

wobei atan2 eine in Programmiersprachen verfügbare Funktion ist, die den Arkustangens im gesamten Wertebereich zwischen  $-180^\circ$  und  $+180^\circ$  bereitstellt.  $\text{Im}(s(m))$  bezeichnet den Imaginärteil des komplexwertigen Signals  $s(m)$ , während  $\text{Re}(s(m))$  den entsprechenden Realteil bezeichnet.

[0048] Die Werte  $\alpha(m)$  können gespeichert werden. Wenn die äußeren Schleifen des Verfahrens (400) für die ausgewählten Winkelbereiche (vgl. Schritt 410) abgeschlossen sind, können somit, in Abhängigkeit von der geometrischen Anordnung der Antennenelemente 120 auf dem Antennenkörper 110, Phasenkorrekturterme für alle Antennenelemente 120 ermittelt werden, um beispielsweise Strahlformung zu ermöglichen.

[0049] Die oben beschriebenen Verfahren können bei beliebigen Antennenanordnung 100 angewendet werden, soweit der Antennenkörper 110 rotationssymmetrisch ist und die Antennenelementen 120 rotationssymmetrisch angeordnet sind.

[0050] Insbesondere können die Verfahren für verschiedene Radaranwendungen verwendet werden, beispielsweise für passive Radare, aktive Radare oder MIMO-Radare mit einer Vielzahl von getrennten Sende- und Empfangsantennen.

[0051] In der vorangegangenen detaillierten Beschreibung sind verschiedene Merkmale zur Verbesserung der Stringenz der Darstellung in einem oder mehreren Beispielen vereinfacht beschrieben und/oder zusammengefasst worden. Es sollte dabei jedoch klar sein, dass die obige Beschreibung lediglich illustrativer, keinesfalls jedoch beschränkender Natur ist. Sie dient der Abdeckung aller Alternativen, Modifikationen und Äquivalente der verschiedenen Merkmale und Ausführungsbeispiele. Viele andere Beispiele werden dem Fachmann aufgrund seiner fachlichen Kenntnisse in Anbe tracht der obigen Beschreibung sofort und unmittelbar klar sein.

[0052] Die Ausführungsbeispiele wurden ausgewählt und beschrieben, um die der Erfindung zugrundeliegenden Prinzipien und ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis bestmöglich darstellen zu können. Dadurch können Fachleute die Erfindung und ihre verschiedenen Ausführungsbeispiele in Bezug auf den beabsichtigten Einsatzzweck optimal modifizieren und nutzen.

[0053] In den Ansprüchen sowie der Beschreibung werden die Begriffe "beinhaltend" und "aufweisend" als neutral-sprachliche Begrifflichkeiten für den entsprechenden Begriff "umfassend" verwendet. Weiterhin soll eine Verwendung der Begriffe "ein", "einer" und "eine" eine Vielzahl derartig beschriebener Merkmale und Komponenten nicht grundsätzlich ausschließen.

## Patentansprüche

1. Antennenanordnung (100), umfassend:

50 einen rotationssymmetrischen Antennenkörper (110); und eine Vielzahl  $M$  von identischen Antennenelementen (120), die symmetrisch um eine Rotationssymmetrieachse (x) des Antennenkörpers (110) angeordnet ist.

2. Antennenanordnung (100) nach Anspruch 1, wobei:

55 der symmetrische Antennenkörper (110) eine rotationssymmetrische 3-dimensionale Form wie die Form eines Zylinders, die Form eines spitzen oder stumpfen Kegels, oder die Form eines Rotationshyperboloids aufweist; und/oder

jedes Antennenelement ( $m$ ) der Vielzahl  $M$  von identischen Antennenelementen (120) durch eine jeweilige Rotation eines Referenzantennenelementes ( $m = 1$ ) um die Rotationssymmetriearchse ( $x$ ) dargestellt wird; und/oder

5 jedes Antennenelement ( $m$ ) der Vielzahl  $M$  von identischen Antennenelementen (120) auf jeweils einem Eckpunkt eines regelmäßigen oder unregelmäßigen  $M$ -Ecks um die Rotationssymmetriearchse ( $x$ ) des Antennenkörpers (110) angeordnet ist.

- 10 3. Verfahren (400) zum Bestimmen eines Strahlungsdiagrammes für die Antennenanordnung (100) nach Anspruch 1 oder 2, das Verfahren (400) umfassend:

Berechnen (415) von Azimut ( $\psi_K$ ) und Elevation ( $\theta_K$ ) eines Richtungsvektors ( $\vec{x}_K$ ) in einem Referenzkoordinatensystem (200) für den Antennenkörper (110);

15 Transformieren (420) des Richtungsvektors ( $\vec{x}_K$ ) in Koordinatensysteme für die Antennenelemente (120) zum Bestimmen von Azimut ( $\psi_A(m)$ ) und Elevation ( $\theta_A(m)$ ) des transformierten Richtungsvektors in jedem der  $M$  Koordinatensysteme für die Antennenelemente (120);

20 Lesen und/oder Interpolieren (425) von Antennendaten aus einer Nachschlagetabelle basierend auf den bestimmten Werten von Azimut ( $\psi_A(m)$ ) und Elevation ( $\theta_A(m)$ ), wobei die Antennendaten kopolare und kreuzpolare Komponenten eines Polarisationsvektors für Azimut und Elevation bezüglich eines Koordinatensystems eines Referenzantennenelements der Antennenelemente (120) umfassen; und

25 Transformieren (430) der kopolaren und kreuzpolaren Komponenten des Polarisationsvektors in das Referenzkoordinatensystem (200) für den Antennenkörper (110).

4. Verfahren (400) nach Anspruch 3, ferner umfassend:

25 Initialisieren (410) von Parametern, die für das Strahlungsdiagramm von Bedeutung sind, wobei die Parameter eine Winkelbereich von Azimut  $\psi_K$  und/oder Elevation  $\theta_K$  im Koordinatensystem des Antennenkörpers (110) umfassen.

5. Verfahren (400) nach Anspruch 4, wobei:

30 die Parameter ferner ein minimales Azimut  $\psi_{\min}$  und/oder ein maximales Azimut  $\psi_{\max}$  umfassen; und/oder die Parameter ferner eine minimale Elevation  $\theta_{\min}$  und/oder eine maximale Elevation  $\theta_{\max}$  umfassen.

6. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, ferner umfassend:

35 Inkrementieren (435) des Azimuts ( $\psi_K^i \rightarrow \psi_K^{i+1}$ ); und

Bestimmen (440) ob das inkrementierte Azimut ( $\psi_K^{i+1}$ ) größer ist als ein maximales Azimut ( $\psi_{\max}$ ).

7. Verfahren (400) nach Anspruch 6, wobei,

40 wenn bestimmt wird, dass das inkrementierte Azimut ( $\psi_K^{i+1}$ ) nicht grösser ist als das maximale Azimut ( $\psi_K^{i+1}$ ):

Berechnen (415) von Azimut ( $\psi_K$ ) und Elevation ( $\theta_K$ ) eines um den inkrementierten Azimut ( $\psi_K^{i+1}$ ) aktualisierten Richtungsvektors ( $\vec{x}_K$ ) in dem Referenzkoordinatensystem (200) für den Antennenkörper (110); oder wenn bestimmt

45 wird, dass das inkrementierte Azimut ( $\psi_K^{i+1}$ ) grösser ist als das maximale Azimut ( $\psi_K^{i+1}$ ):

Inkrementieren (445) der Elevation  $\theta_K^j \rightarrow \theta_K^{j+1}$

Zurücksetzen (450) des Azimuts ( $\psi_{i+1} \rightarrow \psi_{\min}$ ); und

50 Bestimmen (440) ob die inkrementierte Elevation ( $\theta_K^{j+1}$ ) grösser ist als eine maximale Elevation ( $\theta_{\max}$ ).

8. Verfahren (400) nach Anspruch 7, wobei,

55 wenn bestimmt wird, dass die inkrementierte Elevation ( $\theta_K^{j+1}$ ) nicht grösser ist als die maximale Elevation ( $\theta_{\max}$ ):

Berechnen (415) von Azimut ( $\psi_K$ ) und Elevation ( $\theta_K$ ) eines um die inkrementierte Elevation ( $\theta_K^{j+1}$ ) aktualisierten

Richtungsvektors ( $\vec{x}_K$ ) in dem Referenzkoordinatensystem (200) für den Antennenkörper (110); oder wenn bestimmt wird, dass die inkrementierte Elevation ( $\theta_K^{j+1}$ ) nicht grösser ist als die maximale Elevation ( $\theta_{\max}$ ):  
5 Stoppen (460) des Verfahrens (400).

9. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 3 bis 8, wobei das Verfahren (400) ferner umfasst:  
Bestimmen oder Erstellen des Strahlungsdiagramms für die Antennenanordnung (100) zum Steuern oder Simulieren  
der Strahlungscharakteristik der Antennenanordnung (100).  
10 10. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 3 bis 9, wobei das Verfahren (400) ferner umfasst:

15 Berechnen von Kalibrierungsdaten, wobei die Kalibrierungsdaten eine Phase ( $\alpha(m)$ ) eines von einem Antennenelement der Antennenelemente (120) in dem Antennenkörpersystem abgestrahlten komplexwertigen Signals ( $s(m)$ ) umfassen; und  
Bestimmen oder Erstellen des Strahlungsdiagramms für die Antennenanordnung (100), basierend auf den berechneten Kalibrierungsdaten, zum Steuern oder Simulieren der Strahlungscharakteristik der Antennenanordnung (100).

20

25

30

35

40

45

50

55

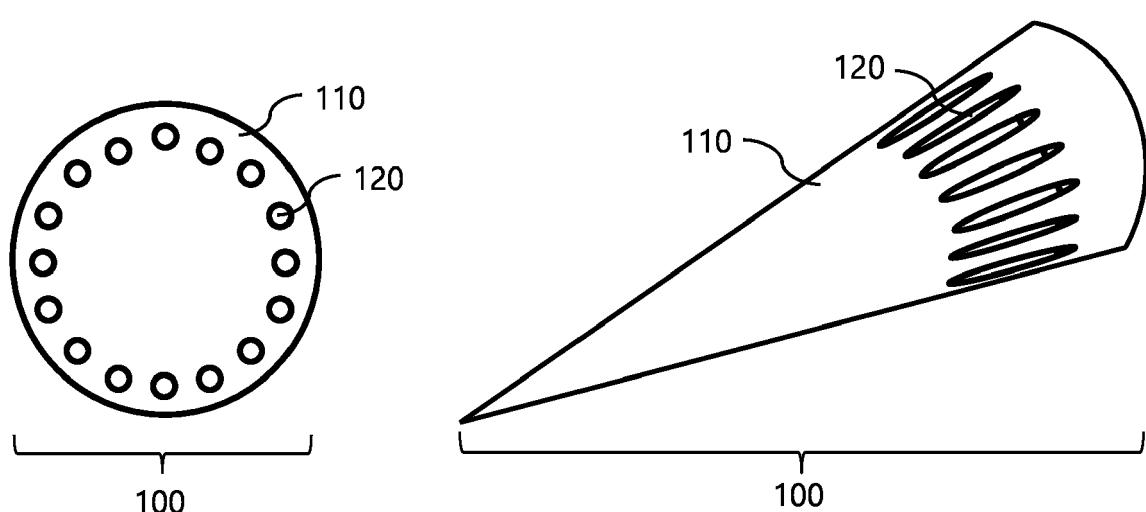


Fig. 1

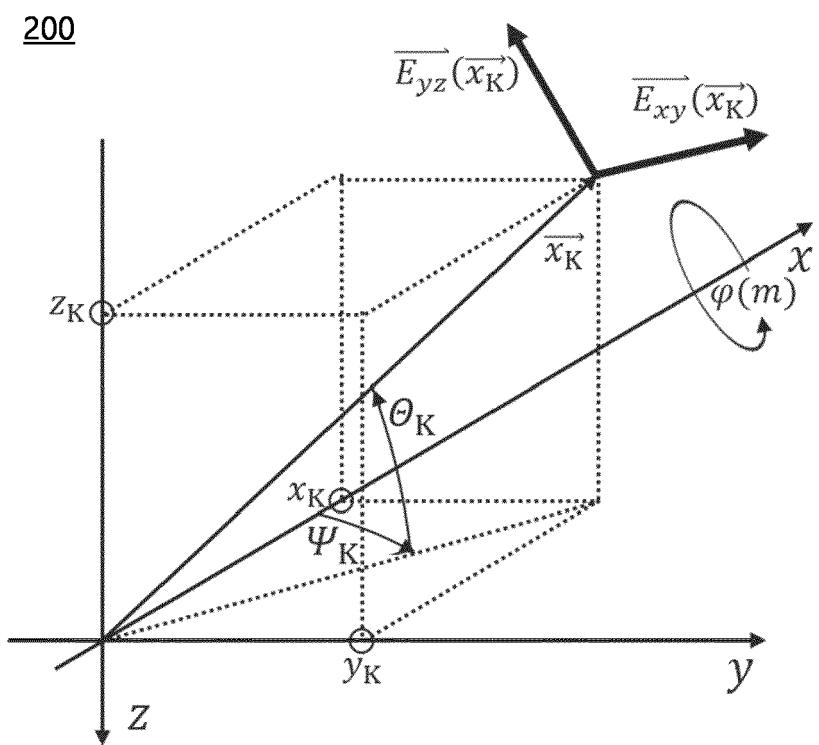


Fig. 2

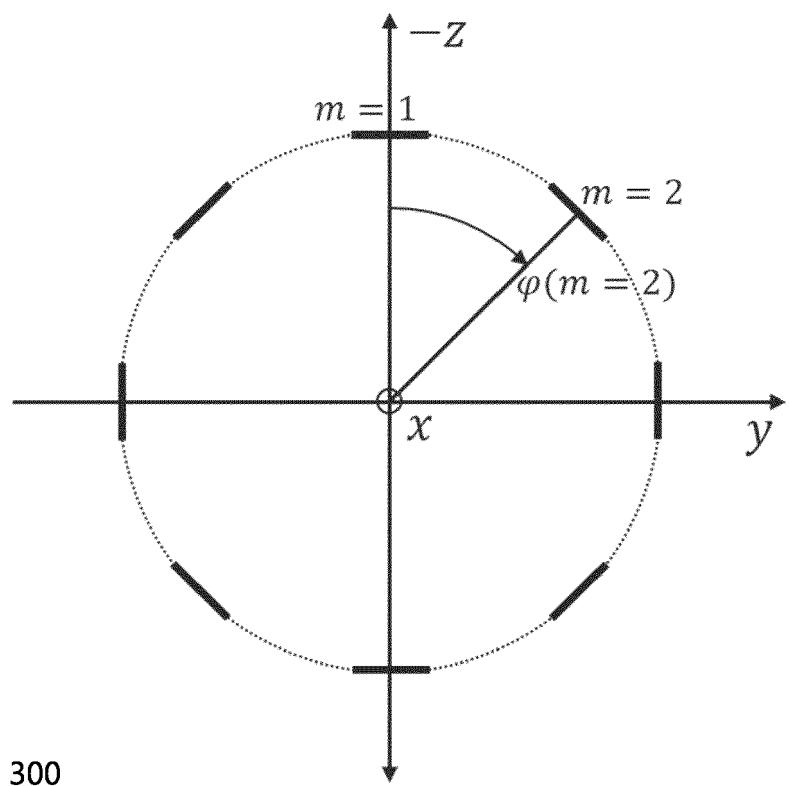


Fig. 3

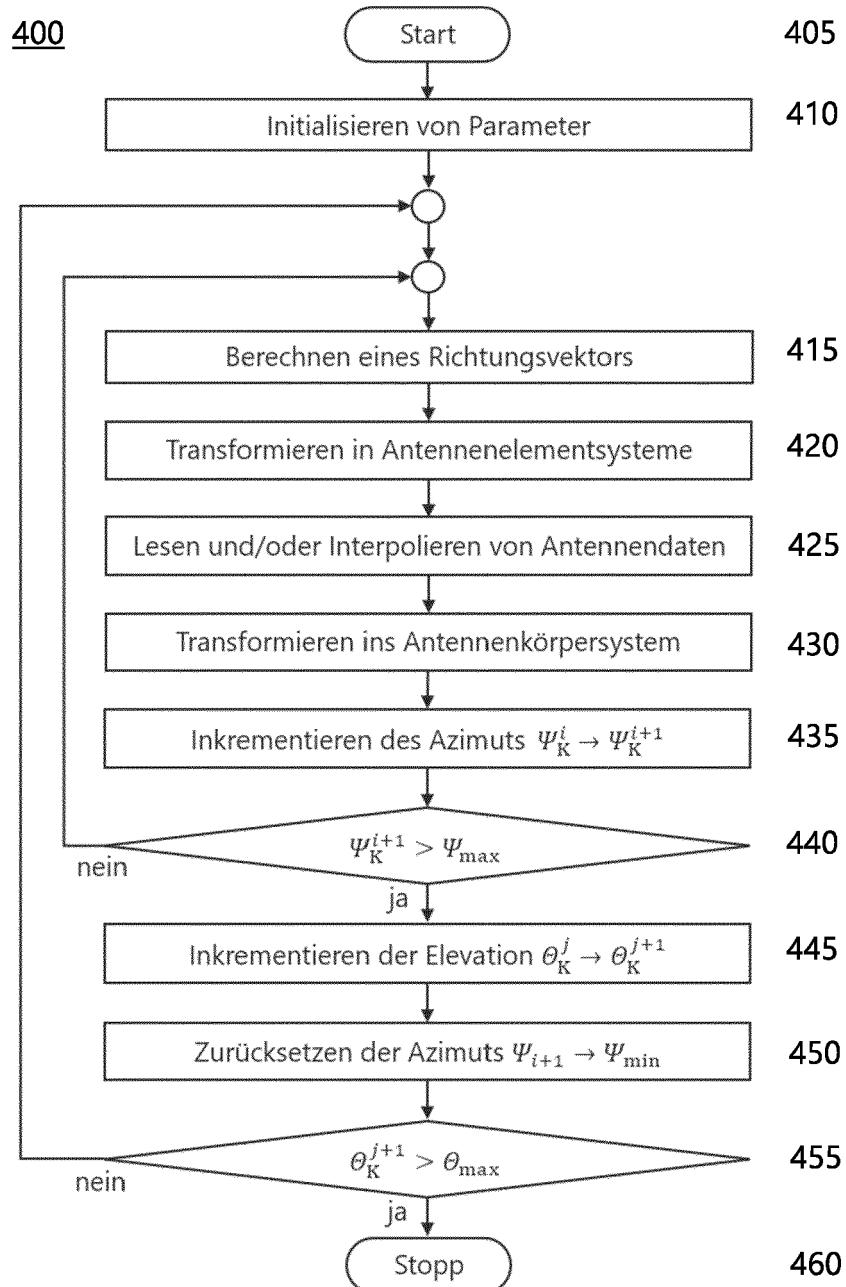


Fig. 4



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 18 9299

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE										
	Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)						
10	X	<p><b>MEHRPOUR BERNETY HOSSEIN ET AL:</b>  <b>"Analytical Phasing of Arbitrarily Oriented Arrays Using a Fast, Analytical Far-Field Calculation Method",</b>  <b>IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION,</b>  <b>Bd. 66, Nr. 6, 1. Juni 2018 (2018-06-01),</b>  <b>Seiten 2911-2922, XP093112466,</b>  <b>USA</b>  <b>ISSN: 0018-926X, DOI:</b>  <b>10.1109/TAP.2018.2823731</b>  <b>Gefunden im Internet:</b>  <b>URL:<a href="https://ieeexplore.ieee.org/ielam/8/8370015/8332957-aam.pdf?tag=1">https://ieeexplore.ieee.org/ielam/8/8370015/8332957-aam.pdf?tag=1</a></b>  <b>* Abschnitte II. und III.;</b>  <b>Seite 2 – Seite 6; Abbildungen 1, 3(b), 7, 9 *</b>  <b>-----</b> </p>	1-10	<b>INV.</b> <b>H01Q3/26</b> <b>H01Q21/20</b>  <b>ADD.</b> <b>H01Q1/28</b>						
15										
20										
25										
30				<b>RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)</b> <b>H01Q</b>						
35										
40										
45										
50	1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt								
55		<table border="1"> <tr> <td>Recherchenort</td> <td>Abschlußdatum der Recherche</td> <td>Prüfer</td> </tr> <tr> <td><b>Den Haag</b></td> <td><b>17. Januar 2024</b></td> <td><b>Blech, Marcel</b></td> </tr> </table>	Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	<b>Den Haag</b>	<b>17. Januar 2024</b>	<b>Blech, Marcel</b>		
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer								
<b>Den Haag</b>	<b>17. Januar 2024</b>	<b>Blech, Marcel</b>								
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b> 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 Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument  & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument										