



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 008 444.3**

(22) Anmeldetag: **25.10.2018**

(43) Offenlegungstag: **30.04.2020**

(51) Int Cl.: **H01Q 19/06 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:
**Marahrens, Sören, 76227 Karlsruhe, DE; Zwick,
Thomas, 76676 Graben-Neudorf, DE**

(74) Vertreter:
**Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB,
80639 München, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:
US 2006 / 0 202 909 A1
US 2018 / 0 269 576 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

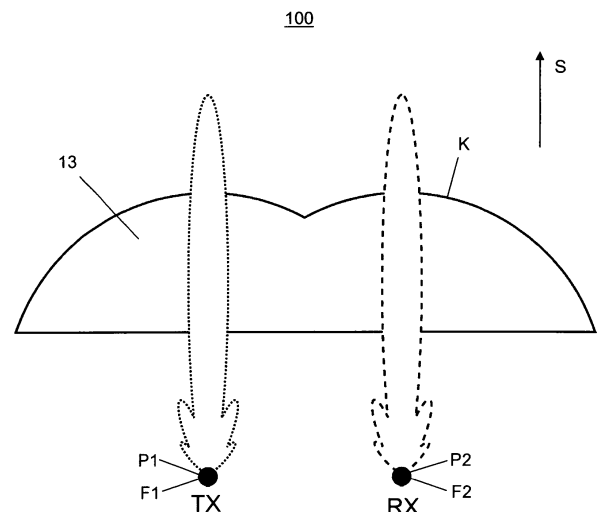
(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bereitstellen eines Linsendesigns für ein Antennensystem, diesbezügliche Linse, Antennensystem und Computerprogrammprodukt**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen eines Linsendesigns (13) für ein Antennensystem (100), wobei das Antennensystem (100) zumindest zwei Subsystem-Antennen (TX, RX) aufweist, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) für jede Subsystem-Antenne (TX, RX) des Antennensystems (100); und

- Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) zu einem kombinierten Linsendesign (13), wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ein Überlappen der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) umfasst.

Ferner betrifft die Erfindung eine mit dem Verfahren entworfene bzw. hergestellte Linse (15), ein diesbezügliches Antennensystem (100) und ein diesbezügliches Computerprogrammprodukt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen eines Linsendesigns für ein Antennensystem, eine diesbezügliche Linse, ein diesbezügliches Antennensystem und ein diesbezügliches Computerprogrammprodukt.

[0002] Insbesondere ist die Erfindung auf dem Gebiet der Hochfrequenztechnik sowohl im Bereich der Radartechnik als auch im Bereich der Kommunikationstechnik angesiedelt. Sowohl bei Radarsystemen als auch bei Kommunikationssystemen handelt es sich bei Sendern und Empfängern stets um zwei oder mehrere separate Subsysteme (z.B. eigenständige Geräte, eigenständige Module, eigenständige Platinen, unterschiedliche Bereiche auf integrierten Schaltungen, usw.) mit separaten Antennenausgängen und Antenneneingängen. Bei nahezu allen Anwendungen sowohl im Bereich der Radartechnik als auch im Bereich der Kommunikationstechnik ist es allerdings wünschenswert, dass das resultierende Gesamtsystem eine gemeinsame Hauptabstrahlrichtung aufweist, also Sendeantennen und Empfangsantennen eine identische Hauptabstrahlrichtung aufweisen.

[0003] Soll der Antennengewinn des Gesamtsystems erhöht werden, z.B. um die mit zunehmender Distanz steigende Freiraumdämpfung auszugleichen oder bei Radarsystemen die laterale Genauigkeit und Auflösung zu verbessern, kommen im Mikrowellen- und Millimeterwellen-Frequenzbereich verbreitet Linsen, insbesondere dielektrische Linsen, Hohlleiterlinsen oder Planarlinsen, zum Einsatz. Die beiden zuvor genannten Randbedingungen, d.h. separate Antennenanschlüsse und eine identische Hauptabstrahlrichtung, führen beim Entwurf von Antennen und Antennensystemen mit Linsen allerdings stets zu widersprüchlichen Design-Vorgaben, die wiederum zu den folgenden, herkömmlich eingesetzten, aber suboptimalen Gesamtsystemen führen:

Variante 1: Um separate Antennenanschlüsse zu erhalten, können separate Sendeantennen (im Folgenden mit **TX** gekennzeichnet) und Empfangsantennen (im Folgenden mit **RX** gekennzeichnet) verwendet werden, die mit möglichst geringem Abstand zum Brennpunkt einer einzigen Linse angeordnet werden. Da die separaten Antennen bei dieser Variante nicht ideal im Brennpunkt der Linse positioniert sind, kommt es zur Verkippung der Abstrahlrichtungen und damit zu einem Leistungsverlust in der gemeinsamen Hauptabstrahlrichtung in axialer Richtung. In der **Fig. 1A** ist diese erste Variante veranschaulicht.

Variante 2: Um identische Hauptabstrahlrichtungen für die Sendeantennen (**TX**) und Empfangsantennen (**RX**) zu erhalten, können weit vonein-

ander separierte Primärstrahler mit jeweils eigenen Linsen verwendet werden, damit jeder Primärstrahler jeweils ideal im Brennpunkt der eigenen Linse positioniert ist. Diese Variante führt jedoch zu einem mechanisch großen Gesamtsystem und die Verluste der langen Zuleitungen zu den weit voneinander separierten Primärstrahlern führen zu einer reduzierten Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Darüber hinaus entstehen bei Anwendungen im Bereich der Radartechnik bei zunehmendem Antennenabstand und abnehmender Messdistanz entfernungsabhängige Messfehler durch die nichtaxiale Betrachtung des Radarziels. In der **Fig. 1B** ist diese zweite Variante veranschaulicht.

Variante 3: Um separate Antennenanschlüsse und identische Hauptabstrahlrichtungen gleichzeitig zu erhalten, können auch Koppler oder Zirkulatoren verwendet werden, um die Send- und Empfangssignale einer gemeinsamen Sende- und Empfangsantenne für die separaten Subsysteme zu trennen. Diese gemeinsame Sende- und Empfangsantenne kann ideal im Brennpunkt einer einzigen Linse positioniert werden. Koppler und Zirkulatoren dämpfen allerdings die Antennensignale und reduzieren damit die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems.

[0004] Zudem sind Koppler und Zirkulatoren groß im Vergleich zu anderen Schaltungselementen und verhindern damit eine effektive Miniaturisierung und erschweren die Integration von Komponenten in integrierten Schaltungen.

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren für den Entwurf von Linsen für Antennensysteme mit separaten Antennenanschlüssen und identischen Hauptabstrahlrichtungen bereitzustellen, welche nicht die oben genannten Nachteile aufweisen. Darüber hinaus ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine diesbezügliche Linse, ein diesbezügliches Antennensystem und ein diesbezügliches Computerprogrammprodukt anzugeben.

[0006] Diese Aufgaben werden durch die Gegenstände der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0007] Die vorliegende Erfindung befasst sich also mit einem Konzept für den Entwurf von Linsen für Antennen und/oder Antennensysteme, bei denen zwei oder mehr Primärstrahler, d.h. kleine Antennen mit niedrigem Antennengewinn und großem Öffnungswinkel, zur Ausleuchtung von Linsen an verschiedenen Positionen hinter einer Linse zur selben Hauptabstrahlrichtung des Gesamtsystems mit Linse führen sollen.

[0008] Ein erster unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft ein Verfahren zum Bereitstellen einer Linse bzw. eines Linsendesigns. Die Linse bzw. das Linsendesign ist für ein Antennensystem, insbesondere zur Verwendung in einem Radar- oder Kommunikationssystem, vorgesehen. Das Antennensystem, für das die zu entwerfende Linse bzw. das zu entwerfende Linsendesign vorgesehen ist, weist zumindest zwei Subsystem-Antennen auf. Dabei umfasst das Verfahren die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines Subsystem-Linsendesigns für jede Subsystem-Antenne des Antennensystems; und
- Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns zu einem kombinierten Linsendesign, wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (**8a**, **8b**) ein Überlappen der Subsystem-Linsendesigns (**8a**, **8b**) umfasst.

[0009] Der Begriff „Linsendesign“ im Sinne der vorliegenden Erfindung umfasst insbesondere sämtliche Daten bzw. Eigenschaften einer Linse, die notwendig sind bzw. die es ermöglichen, die Linse mit konventionellen Methoden herzustellen. Beispielsweise kann das Linsendesign Daten zu den Dimensionen bzw. Abmessungen der Linse, insbesondere zum Durchmesser der Linse, zur Linsenform, zur Linsengeometrie, zur Brennweite der Linse und/oder zum Linsenmaterial umfassen. Insbesondere umfasst das Linsendesign Koordinaten, welche die Linsengeometrie definieren. Vorzugsweise sind die Koordinaten zwei- oder dreidimensionale Koordinaten. Etwaige weitere anwendungsabhängige Daten bzw. Parameter des Linsendesigns sind vorzugsweise implizit in der Linsengeometrie enthalten. Ein Linsendesign kann z.B. mit Hilfe eines Computers bzw. durch eine Computersimulation veranschaulicht und insbesondere graphisch (in 2D- oder 3D-Ansicht) auf einem Anzeigerät wie z.B. einem Monitor dargestellt werden. Insbesondere umfasst das Linsendesign neben den Daten zum Herstellen einer realen Linse auch Daten zum virtuellen Darstellen des Linsendesigns. Daher kann das Linsendesign im Sinne der vorliegenden Erfindung auch als eine virtuelle Linse bezeichnet werden, die man z.B. am Bildschirm eines Computers betrachten kann. Der Begriff „virtuell“ soll hier bedeuten, dass es sich nicht um eine reale bzw. echte Linse, sondern vielmehr um einen Entwurf zu einer solchen realen Linse handelt. Auf Basis des Linsendesigns bzw. der virtuellen Linse ist es jedoch mit herkömmlichen Mitteln möglich, eine entsprechende reale Linse herzustellen. Die Koordinaten des Linsendesigns können innerhalb eines vorbestimmten oder vorgegebenen Koordinatensystems verschoben werden. Insbesondere kann dadurch die Position eines Linsendesigns bzw. einer virtuellen Linse innerhalb des Koordinatensystems geändert werden. Somit ist es möglich, dass verschiedene Linsendesigns bzw. verschiedene virtuelle Linsen relativ zueinander

überlappt bzw. überlagert werden. Insbesondere erfolgt die Überlappung bzw. Überlagerung verschiedener Linsendesigns dadurch, dass die Position zumindest eines der Linsendesigns relativ zu den Positionen der anderen Linsendesigns verschoben wird. Unter einer Verschiebung eines Linsendesigns bzw. der damit verbundenen virtuellen Linse wird insbesondere die kollektive Verschiebung sämtlicher Koordinaten des Linsendesigns bzw. der virtuellen Linse in dem Koordinatensystem verstanden.

[0010] Eine Subsystem-Antenne ist eine Antenne eines eigenständigen Subsystems des Antennensystems bzw. eines Gesamtsystems. Insbesondere ist eine Subsystem-Antenne ein Primärstrahler, welcher vorgesehen und ausgelegt ist, eine dazugehörige Linse auszuleuchten. Das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bereitgestellte Linsendesign bzw. die auf Basis des Linsendesigns hergestellten Linsen lassen sich aber auch auf Systeme anwenden, bei denen während des ursprünglichen System-Designs kein Einsatz mit einer Linse vorgesehen wurde. Eine Subsystem-Antenne kann somit auch ein Primärstrahler eines bestehenden Subsystems sein, der (nachträglich) für die Ausleuchtung einer dazugehörigen Linse eingesetzt werden soll. Eine Subsystem-Antenne im Sinne der vorliegenden Beschreibung ist insbesondere eine kleine Antenne mit niedrigem Antennengewinn und großem Öffnungswinkel, zur Ausleuchtung einer oder mehrerer Linsen an verschiedenen Positionen hinter der einen oder mehreren Linsen. Die Subsystem-Antennen sind vorzugsweise relativ zueinander in einer vorgegebenen bzw. festgelegten Anordnung bzw. Geometrie angeordnet.

[0011] Das Antennensystem kann Teil eines Gesamtsystems wie z.B. eines Radarsystems oder eines Kommunikationssystems sein. Ein Subsystem kann z.B. ein eigenständiges Gerät, ein eigenständiges Modul, eine eigenständige Platine, einen bestimmten Bereich auf integrierten Schaltungen, usw., umfassen. Insbesondere kann ein Subsystem einen Sender und ein weiteres Subsystem einen Empfänger umfassen. Die verschiedenen Subsysteme können jeweils separate Antennenausgänge und/oder Antenneneingänge aufweisen.

[0012] Eine Subsystem-Linse ist entsprechend eine Linse eines eigenständigen Subsystems des Antennensystems bzw. Gesamtsystems. Insbesondere kann zu jeder Subsystem-Antenne eine zugehörige Subsystem-Linse des jeweiligen Subsystems bereitgestellt bzw. entworfen werden. Die Subsystem-Antenne kann insbesondere vorgesehen, ausgelegt und/oder angeordnet sein, um die zugehörige Subsystem-Linse auszuleuchten.

[0013] Ein Subsystem-Linsendesign ist ein Design für eine oben beschriebene Subsystem-Linse. Der Begriff „Design“ soll auch hier wiederum sämtliche

Daten bzw. Eigenschaften der Linse umfassen, die notwendig sind bzw. die es ermöglichen, die Linse mit konventionellen Methoden herzustellen, also z.B. Daten zu den Dimensionen bzw. Abmessungen der Linse, insbesondere zum Durchmesser der Linse, zur Linsenform, zur Linsengeometrie, zur Brennweite der Linse und/oder zum Linsenmaterial.

[0014] Die Subsystem-Linsendesigns werden vorzugsweise unabhängig voneinander bereitgestellt. Mit anderen Worten werden beim Bereitstellen der Subsystem-Linsendesigns die einzelnen Subsysteme als eigenständige Systeme, d.h. unabhängig vom Gesamtsystem, betrachtet.

[0015] Der Begriff „Bereitstellen“ soll insbesondere ein „Entwerfen“ bedeuten. Ein „Bereitstellen“ oder „Entwerfen“ kann z.B. auch ein Messen, ein Bestimmen, ein Simulieren und/oder ein Berechnen umfassen. Der Begriff „Bereitstellen“ kann aber auch ein Auswählen, ein Vorgeben oder ein Festlegen umfassen.

[0016] Die Subsystem-Linsendesigns werden vorzugsweise auf Basis von vorgegebenen Spezifikationen und/oder Anforderungen der einzelnen Subsysteme bereitgestellt, insbesondere entworfen oder vorgegeben. Die Spezifikationen und/oder Anforderungen ergeben sich in Abhängigkeit der gewünschten Anwendungen.

[0017] Das Kombinieren der (zumindest zwei) Subsystem-Linsendesigns zu einem kombinierten Linsendesign umfasst ein Überlappen bzw. Überlagern der Subsystem-Linsendesigns. Insbesondere umfasst das Kombinieren der (zumindest zwei) Subsystem-Linsendesigns ein Verschieben und Vereinigen bzw. Vermengen der einzelnen Subsystem-Linsendesigns. Mit dem Begriff „Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns“ ist im Sinne der vorliegenden Erfindung insbesondere ein Überlappen, Überlagern, Vermengen und/oder Vereinigen der Subsystem-Linsendesigns zu verstehen. Insbesondere werden die einzelnen Subsystem-Linsendesigns zu einem resultierenden zusammenhängenden Linsendesign kombiniert, insbesondere überlappt, überlagert, vermischt und/oder vereinigt. Der Begriff „Kombinieren“ im Sinne der vorliegenden Erfindung bedeutet also nicht, dass wie in der eingangs beschriebenen zweiten Variante des Stands der Technik, die einzelnen Subsystem-Linsen unverändert bleiben und lediglich relativ zueinander angeordnet werden.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren bietet gegenüber den eingangs beschriebenen herkömmlichen Konzepten zum Entwurf einer Antennenlinse den Vorteil, dass sich die Design-Vorgaben für den Entwurf der Linse bzw. Linsengeometrie und den Entwurf der Subsystem-Antennen bzw. Primärstrahler nicht gegenseitig beeinflussen und damit auch nicht

gegenseitig widersprechen können. Design-Vorgaben für den Entwurf der Linsen bzw. Linsengeometrie wie Durchmesser der Linse, Brennweite der Linse, Linsenform und Linsenmaterial lassen sich unabhängig von Design-Vorgaben für den Entwurf der Subsystem-Antennen wie Antennengröße, Antennenanordnung und Zuleitungslänge festlegen und optimieren.

[0019] Insbesondere ist es damit zum einen möglich, beide Komponenten unabhängig voneinander zu entwerfen und zu optimieren. Zum anderen können bestehende Radarsysteme oder Kommunikationssysteme mit vorgegebenen und nicht beeinflussbaren Antennen oder Antennensystemen nachträglich um Linsen oder Linsensysteme erweitert werden. Damit lassen sich beispielsweise Anwendungsgebiete bestehender Produkte im Radar- und Kommunikationsbereich deutlich erweitern und auf neue Anwendungen adaptieren, die während der Produktentwicklung noch unbekannt waren oder nicht berücksichtigt wurden.

[0020] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass für die Fertigung und Anwendung der damit entworfenen Linsen keine zusätzlichen Prozessschritte erforderlich sind. Die Fertigung der entworfenen Linsen kann analog zur Fertigung klassischer Linsen erfolgen. In bestehenden Systemen mit klassischen Linsen ist sogar ein Austausch der Linsen ohne größere Anpassungen möglich. Mit anderen Worten lassen sich bestehende Systeme mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens sehr einfach und kostengünstig um die Vorteile einer Linse erweitern.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst jedes Subsystem-Linsendesign Ortsinformationen zu einem Brennpunkt einer zugehörigen Subsystem-Linse. Zudem umfasst das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Überlappen bzw. Überlagern der Subsystem-Linsendesigns derart, dass die Brennpunkte der Subsystem-Linsendesigns jeweils auf vorgegebenen Brennpunktpositionen der Subsystem-Antennen zu liegen kommen. Die Ortsinformationen können insbesondere zwei- oder dreidimensionale Koordinaten umfassen. Auch die vorgegebenen Brennpunktpositionen der Subsystem-Antennen können entsprechend zwei- oder dreidimensionale Koordinaten umfassen.

[0022] Das Überlappen bzw. Überlagern der Subsystem-Linsendesigns umfasst insbesondere ein gegenseitiges Verschieben der Subsystem-Linsendesigns. Unter einem Verschieben eines Subsystem-Linsendesigns wird insbesondere verstanden, dass eine zu dem Subsystem-Linsendesign zugehörige bzw. auf Basis des Subsystem-Linsendesigns erstellte virtuelle Subsystem-Linse verschoben wird. Die virtuelle Subsystem-Linse kann beispielsweise auf ei-

nem Computer dreidimensional dargestellt werden. Unter einem Verschieben eines Subsystem-Linsendesigns wird also insbesondere das Verschieben einer virtuell erstellten Subsystem-Linse in einem Koordinatensystem oder auch das Verschieben eines Koordinatensystems der virtuellen Subsystem-Linse verstanden. Entsprechend bedeutet ein Überlappen bzw. Überlagern der Subsystem-Linsendesigns insbesondere ein Überlappen bzw. Überlagern von erstellten virtuellen Subsystem-Linsen. Insbesondere können zum Überlappen bzw. Überlagern der Subsystem-Linsendesigns die Koordinaten bzw. Koordinatensysteme der zugehörigen virtuellen Subsystem-Linsen relativ zueinander verschoben werden. Die Subsystem-Linsendesigns können, beispielsweise in Form von Koordinatenlisten, Polygonzügen, 2D- oder 3D-Modellen, in ein gemeinsames Koordinatensystem eingefügt und relativ zueinander verschoben werden. Die Kombination bzw. die Überlagerung der Linsendesigns kann z.B. durch eine Bestimmung einer Einhüllenden aller ins Koordinatensystem eingefügten und relativ zueinander verschobenen Subsystem-Linsendesigns erfolgen.

[0023] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Vereinigen der überlappten bzw. überlagerten Subsystem-Linsendesigns. Beispielsweise wird auf Basis der überlagerten Subsystem-Linsendesigns bzw. ihrer zugehörigen virtuellen Subsystem-Linsen eine Vereinigungsmenge, insbesondere von Koordinaten, der Subsystem-Linsendesigns bzw. ihrer zugehörigen virtuellen Subsystem-Linsen ermittelt. Der Begriff „Ermitteln“ umfasst im Sinne dieser Beschreibung insbesondere ein Bestimmen oder ein Berechnen.

[0024] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Bestimmen einer einhüllenden Geometrie der Subsystem-Linsendesigns. Die einhüllende Geometrie kann insbesondere durch eine Kombination von Koordinaten der überlappten bzw. überlagerten Subsystem-Linsendesigns definiert sein. Dabei repräsentiert diese Kombination von Koordinaten eine Einhüllende, insbesondere eine einhüllende Fläche bzw. ein einhüllendes Volumen, der überlappten Subsystem-Linsendesigns.

[0025] Im Allgemeinen kann sich die durch die Überlagerung resultierende Linsengeometrie entlang jeder beliebigen Koordinatenachse und auf beliebigen Seiten der Linse, d.h. auf einer Oberseite und/oder auf einer Unterseite der Linse, ändern. Im speziellen Fall von Linsen mit einer flachen Unterseite und einer gewölbten Oberseite und für ein Koordinatensystem mit z-Achse in Hauptabstrahlrichtung kann das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Bestimmen einer Linsen-Konturfläche umfassen, wobei sich die Linsen-Konturfläche aus einer Vereini-

gung bzw. Vereinigungsmenge von Konturflächen der überlappten bzw. überlagerten Subsystem-Linsendesigns ergibt. Beispielsweise können auf Basis der überlagerten Subsystem-Linsendesigns bzw. ihrer zugehörigen virtuellen Subsystem-Linsen maximale Höhen (z-Komponenten) in Abhängigkeit von lateralen Koordinaten (x-y-Komponenten) in einem kartesischen dreidimensionalen Koordinatensystem (mit Basisvektoren in x-, y- und z-Richtung) bestimmt werden. Mit anderen Worten können die zu einer bestimmten x-y-Position zugehörigen Höhen der einzelnen überlagerten Subsystem-Linsendesigns bzw. virtuellen Subsystem-Linsen miteinander verglichen und daraus der Maximalwert ausgewählt werden. In diesem Spezialfall ändert sich durch die Überlagerung nur die obere Seite der Linse, also der Maximalwert der z-Koordinate.

[0026] Alternativ oder zusätzlich kann das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Bestimmen eines Linsenvolumens umfassen, wobei sich das Linsenvolumen aus einer Vereinigung bzw. Vereinigungsmenge von Volumina der überlappten Subsystem-Linsendesigns ergibt.

[0027] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner den Schritt eines Herstellens einer Linse auf Basis des bereitgestellten Linsendesigns. Insbesondere ist somit das Verfahren auf das Herstellen der Linse für das Antennensystem gerichtet. Das Herstellen der Linse kann durch klassische Fertigungstechniken für Antennenlinsen wie z.B. durch ein Spritzgussverfahren, eine zerspanende Bearbeitung oder durch ein 3D-Druckverfahren erfolgen.

[0028] Ein weiterer unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft eine Linse bzw. eine Linsenstruktur für ein Antennensystem, wobei die Linse auf Basis eines durch das erfindungsgemäße Verfahren bereitgestellten Linsendesigns hergestellt wurde.

[0029] Ein weiterer unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft ein Antennensystem aufweisend zumindest zwei Subsystem-Antennen und eine Linse, welche auf Basis des erfindungsgemäßen Linsendesigns hergestellt wurde.

[0030] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die zumindest zwei Subsystem-Antennen derart angeordnet, dass sie bzw. das Antennensystem eine gemeinsame Hauptabstrahlrichtung aufweisen. Alternativ oder zusätzlich sind die zumindest zwei Subsystem-Antennen derart angeordnet, dass sie die Linse zumindest bereichsweise ausleuchten. Alternativ oder zusätzlich umfassen die zumindest zwei Subsystem-Antennen zumindest eine Sendeantenne und zumindest eine Empfangsantenne.

[0031] Ein weiterer unabhängiger Aspekt zur Lösung der Aufgabe betrifft ein Computerprogrammprodukt, welches maschinenlesbaren Programmcode umfasst, der, wenn er geladen wird auf einem Computer, zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. Insbesondere ist unter einem Computerprogrammprodukt ein auf einem Datenträger gespeichertes Programm zu verstehen. Insbesondere ist der Programmcode auf einem Datenträger gespeichert. Mit anderen Worten umfasst das Computerprogrammprodukt computerlesbare Anweisungen, welche, wenn geladen in den Speicher eines Computers und ausgeführt von dem Computer, bewirken, dass der Computer das erfindungsgemäße Verfahren durchführt. Mit anderen Worten kann das Computerprogrammprodukt ein durch einen Computer lesbares Speichermedium umfassen, welches einen Code darauf gespeichert aufweist, wobei der Code, wenn er durch einen Prozessor des Computers ausgeführt wird, bewirkt, dass der Prozessor das erfindungsgemäße Verfahren durchführt bzw. implementiert.

[0032] Für die oben genannten weiteren unabhängigen Aspekte und insbesondere für diesbezügliche bevorzugte Ausführungsformen gelten auch die vor- oder nachstehend gemachten Ausführungen zu den Ausführungsformen des ersten Aspekts. Insbesondere gelten für einen unabhängigen Aspekt der vorliegenden Erfindung und für diesbezügliche bevorzugte Ausführungsformen auch die vor- und nachstehend gemachten Ausführungen zu den Ausführungsformen der jeweils anderen unabhängigen Aspekte.

[0033] Im Folgenden werden einzelne Ausführungsformen zur Lösung der Aufgabe anhand der Figuren beispielhaft beschrieben. Dabei weisen die einzelnen beschriebenen Ausführungsformen zum Teil Merkmale auf, die nicht zwingend erforderlich sind, um den beanspruchten Gegenstand auszuführen, die aber in bestimmten Anwendungsfällen gewünschte Eigenschaften bereitstellen. So sollen auch Ausführungsformen als unter die beschriebene technische Lehre fallend offenbart angesehen werden, die nicht alle Merkmale der im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen aufweisen. Ferner werden, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, bestimmte Merkmale nur in Bezug auf einzelne der im Folgenden beschriebenen Ausführungsformen erwähnt. Es wird darauf hingewiesen, dass die einzelnen Ausführungsformen daher nicht nur für sich genommen, sondern auch in einer Zusammenschau betrachtet werden sollen. Anhand dieser Zusammenschau wird der Fachmann erkennen, dass einzelne Ausführungsformen auch durch Einbeziehung von einzelnen oder mehreren Merkmalen anderer Ausführungsformen modifiziert werden können. Es wird darauf hingewiesen, dass eine systematische Kombination der einzelnen Ausführungsformen mit einzelnen oder mehreren Merkmalen, die in Bezug auf andere Ausführungsformen be-

schrieben werden, wünschenswert und sinnvoll sein kann und daher in Erwägung gezogen und auch als von der Beschreibung umfasst angesehen werden soll.

Figurenliste

Fig. 1A zeigt eine schematische Skizze eines Antennensystems gemäß einer ersten Variante des Stands der Technik;

Fig. 1B zeigt eine schematische Skizze eines Antennensystems gemäß einer zweiten Variante des Stands der Technik;

Fig. 2A zeigt eine schematische Skizze einer beispielhaft resultierenden Linsengeometrie gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2B zeigt eine schematische Skizze eines beispielhaften Antennensystems gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 zeigt simulierte Richtdiagramme eines Antennensystems mit einer herkömmlichen Linse und einer erfindungsgemäßen Linse im Vergleich;

Fig. 4A zeigt eine photographische Aufnahme eines im Rahmen der vorliegenden Erfindung hergestellten Antennensystems;

Fig. 4B zeigt eine photographische Aufnahme von weiteren im Rahmen der vorliegenden Erfindung hergestellten Antennensysteme bzw. Linsen.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

[0034] Die **Fig. 1A** zeigt eine schematische Skizze eines Antennensystems gemäß der eingangs beschriebenen ersten Variante zum Erzeugen eines Antennensystems gemäß des Stands der Technik. In dieser ersten Variante werden eine Sendeantenne **TX** und eine separate Empfangsantenne **RX** mit möglichst geringem Abstand zum Brennpunkt **F** einer einzigen Linse **2** angeordnet, um separate Antennenanschlüsse zu erhalten. Da jedoch die separaten Antennen **TX** und **RX** nicht ideal im Brennpunkt **F** der Linse **2** positioniert sind, kommt es zur Verkippung der Abstrahlrichtungen und damit zu einem Leistungsverlust in der gemeinsamen Hauptabstrahlrichtung **S** in axialer Richtung.

[0035] Die **Fig. 1B** zeigt eine schematische Skizze eines Antennensystems gemäß der eingangs beschriebenen zweiten Variante zum Erzeugen eines Antennensystems gemäß des Stands der Technik. Um identische Hauptabstrahlrichtungen **S** für die Sendeantenne **TX** und Empfangsantenne **RX** zu erhalten, werden in dieser zweiten Variante weit voneinander separierte Primärstrahler **3a** und **3b** mit jeweils eigenen Linsen **5a** und **5b** verwendet, damit jeder Primär-

strahler **3a**, **3b** jeweils ideal im Brennpunkt **F** der eigenen Linse positioniert ist. Wie aus der **Fig. 1B** erkennbar, führt diese Variante jedoch zu einem mechanisch großen Gesamtsystem und die Verluste der langen Zuleitungen (hier nicht gezeigt) zu den weit voneinander separierte Primärstrahlern **3a**, **3b** führen zu einer reduzierten Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems.

[0036] Die **Fig. 2A** zeigt eine schematische Skizze einer resultierenden erfindungsgemäßen Linsengeometrie gemäß eines Beispiels. Bei dem dieser Figur zu Grunde liegenden erfindungsgemäßen Verfahren werden zunächst unabhängig voneinander zwei (oder auch mehr) Linsen **8a** und **8b**, ähnlich zur Variante **2** aus dem Stand der Technik, entsprechend den Anforderungen der einzelnen Subsysteme bereitgestellt bzw. entworfen. Hierbei kann es sich sowohl um identische Linsen, wie in der **Fig. 2A** angedeutet, als auch um völlig unterschiedliche Linsen (im Hinblick auf Durchmesser, Brennweite, Linsenform, Material, usw.) handeln. Die entworfenen Linsengeometrien der einzelnen Linsen **8a** und **8b** werden anschließend so verschoben, dass die Brennpunkte **F1** und **F2** der einzelnen Linsen **8a** und **8b** auf den Positionen der separate Sende- und Empfangsantennen **TX** und **RX** zu liegen kommen. Die Linsengeometrie der resultierenden Linse **13** (siehe **Fig. 2B**) ergibt sich schließlich als Vereinigungsmenge aller verschobenen und überlagerten Linsengeometrien der einzelnen Linsen **8a** und **8b**.

[0037] Die **Fig. 2A** veranschaulicht das Vorgehen am Beispiel zweier identischer Linsen **8a** und **8b** mit Verschiebung in lediglich einer Raumrichtung. Es versteht sich, dass die Verschiebung der Linsengeometrien der einzelnen Linsen im Allgemeinen jedoch in alle Raumrichtungen möglich ist.

[0038] Die **Fig. 2B** zeigt beispielhaft eine gemäß des erfindungsgemäßen Verfahrens entworfene Linse **13** mit separaten Sende- und Empfangsantennen **TX** und **RX** und einer identischen Hauptabstrahlrichtung **H**.

[0039] Wie aus der Zusammenschau der **Fig. 2A** und **Fig. 2B** hervorgeht wird ein Linsendesign für das Antennensystem **100** dadurch bereitgestellt bzw. entworfen, dass für jede Subsystem-Antenne **TX**, **RX** des Antennensystems **100** zunächst ein individuelles Subsystem-Linsendesign bzw. eine individuelle (virtuelle) Subsystem-Linse **8a**, **8b** bereitgestellt oder entworfen wird. Anschließend werden die unabhängig voneinander bereitgestellten Subsystem-Linsendesigns bzw. (virtuellen) Subsystem-Linsen **8a**, **8b** miteinander zu einem endgültigen bzw. finalen Linsendesign bzw. einer endgültigen (virtuellen) Linse **13** kombiniert. Wie in der **Fig. 2B** angedeutet, weist das Antennensystem **100** die zwei Subsystem-An-

tennen **TX** und **RX** sowie eine auf Basis des Linsendesigns **13** hergestellte Linse auf.

[0040] Jedes bereitgestellte Subsystem-Linsendesign umfasst Ortsinformationen zu einem Brennpunkt **F** der zugehörigen (virtuellen) Subsystem-Linse **8a** bzw. **8b**. Das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns umfasst ein Überlagern der Subsystem-Linsendesigns bzw. der (virtuellen) Subsystem-Linsen **8a** und **8b** derart, dass die Brennpunkte **F1** und **F2** der Subsystem-Linsendesigns bzw. der (virtuellen) Subsystem-Linsen **8a** und **8b** jeweils auf vorgegebenen Brennpunktpositionen **P1** und **P2** der Subsystem-Antennen **TX** und **RX** zu liegen kommen (siehe **Fig. 2B**).

[0041] Die zwei Subsystem-Antennen **TX** und **RX** sind derart angeordnet, dass sie eine gemeinsame Hauptabstrahlrichtung **S** aufweisen. Die zwei Subsystem-Antennen **TX** und **RX** sind ferner derart angeordnet, dass sie die auf Basis des Linsendesigns **13** hergestellte Linse zumindest bereichsweise ausleuchten.

[0042] Wie ebenfalls aus den **Fig. 2A** und **Fig. 2B** ersichtlich, umfasst das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Vereinigen oder Vermengen der überlagerten Subsystem-Linsendesigns. Beispielsweise kann das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Bestimmen einer Linsen-Konturfläche **K** umfassen, wobei sich die Linsen-Konturfläche **K** aus einer Vereinigung der Konturflächen **K1** und **K2** der überlagerten Subsystem-Linsendesigns ergibt. Alternativ oder zusätzlich kann das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns ein Bestimmen eines Linsenvolumens umfassen, wobei sich das Linsenvolumen aus einer Vereinigung der Volumina der überlagerten Subsystem-Linsendesigns ergibt.

[0043] Hinsichtlich der **Fig. 2B** wird angemerkt, dass es sich hierbei um eine vereinfachte Darstellung, bei der der Einfluss durch die Kombination der Linsendesigns **8a** und **8b** vernachlässigt wurde. Dies ist allerdings auch in der Realität in guter Näherung möglich, wie erste Simulationen und Messungen gezeigt haben. Der dominierende Effekt beim Zusammenführen der Linsen ist Folgender: Jeder der beiden (oder bei multi-axialer Linsen mehreren) Primärstrahler leuchtet jede der beiden (oder mehreren) Teillinsen **8a** und **8b** aus. In der **Fig. 2B** leuchtet also der linke Primärstrahler mit seinen Nebenkeulen auch einen Teil der rechten Linse aus und umgekehrt. Hierdurch entstehen auch im Richtdiagramm des Gesamtsystems mit Linse zusätzliche Nebenkeulen. Dieser Effekt spielt in der Realität in guter Näherung aus zwei Gründen nur eine untergeordnete Rolle: Zum einen werden vorzugsweise Linsen mit kurzen Brennweiten gewählt, um kompakte Systeme zu realisieren. Die Primärstrahler sitzen also sehr dicht unter den Linsen. Der Winkel unter dem die unerwünschten Bereiche der Linse ausgeleuchtet werden, ist also sehr

groß. Die Leistung, die vom Primärstrahler in die weit aussen liegenden Richtungen abgestrahlt wird, ist entsprechend sehr gering und die Höhe der entstehenden Nebenkeule ist daher ebenfalls gering. Zum anderen ist bei monostatischen Radarsystemen das überlagerte Richtdiagramm von Sendeantenne und Empfangsantenne entscheidend. Eine Nebenkeule in der Empfangsantenne spielt eine untergeordnete Rolle, wenn die Sendeantenne diese Raumrichtung gar nicht erst ausleuchtet. Wichtig ist also die Multiplikation der Richtdiagramme von Sende- und Empfangsantenne. Im Fall von **Fig. 2B** passiert daher Folgendes: Der linke Primärstrahler führt im rechten Bereich der Linse zu einer nach rechts geneigten Nebenkeule. Der rechte Primärstrahler führt im linken Bereich der Linse zu einer nach links geneigten Nebenkeule. Bei der Multiplikation beider Richtdiagramme liegen die zusätzlichen Nebenkeulen, die durch die Vereinigung der Linsen entstehen also genau in den Minima des jeweils anderen Richtdiagramms und löschen sich dadurch im Wesentlichen aus. Übrig bleibt bei der Multiplikation nur noch die Überlagerung beider Hauptstrahlrichtungen (wie in der **Fig. 2B** vereinfacht angenommen).

[0044] Die vorteilhafte technische Effekt der vorliegenden Erfindung besteht in der Kombination und insbesondere in der Verschiebung und Überlagerung klassischer Linsengeometrien zu einer neuen resultierenden Linsengeometrie. Im Vergleich zu den eingangs erwähnten herkömmlichen Konzepten (siehe z.B. die **Fig. 1A** und **Fig. 1B**), können die einzelnen Bestandteile der Linsengeometrie dadurch jeweils optimal auf die Anforderungen der Primärstrahler der zugehörigen Antennen und Antennensysteme angepasst werden.

[0045] Mit dem hier vorgestellten erfindungsgemäßen Konzept wurden bereits mehrere Linsen mit unterschiedlichen Design-Vorgaben entworfen, simuliert, gefertigt und vermessen.

[0046] Die **Fig. 3** zeigt Richtdiagramme einer erfindungsgemäß hergestellten Linse (Kurve **60**) und einer klassischen Linse (Kurve **70**) im Vergleich. Hierbei wurde das Antennensystem eines kommerziellen Radarsensors in einer Simulationsumgebung abgebildet. Anschließend wurde das Antennensystem in der Simulation um eine erfindungsgemäß hergestellte Linse sowie um eine klassische Linse gemäß der ersten Variante (siehe **Fig. 1A**) erweitert. Die simulierten Richtdiagramme für die Sende- und Empfangsantenne wurden direkt in der Simulation überlagert, so dass die Kurven in dem Diagramm der **Fig. 3** ein direktes Maß für den Antennengewinn des gesamten simulierten Radarsystems darstellen.

[0047] Wie bereits weiter oben beschrieben, kommt es bei Anwendung der klassischen Linsengeometrie aufgrund der Positionierung der Sende- und Emp-

fangsantenne außerhalb des Brennpunkts der Linse zur Verkippung der Abstrahlrichtungen und damit zu einem Leistungsverlust in der gemeinsamen Hauptabstrahlrichtung in axialer Richtung (siehe **Fig. 1A**). Beim hier simulierten Radarsensor ist der Abstand zwischen Sende- und Empfangsantenne sogar so groß, dass sich gar keine erkennbare Hauptkeule ausbildet, weil die Hauptabstrahlrichtungen der beiden Antennen zu weit auseinanderliegen. Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren entworfene bzw. hergestellte Linse zeigt wie erwartet diese Probleme nicht. Ähnliche Simulationen wurden bereits für einen zweiten kommerziellen Radarsensor durchgeführt. Erste Messungen bestätigen zudem die Ergebnisse der Simulationen. Auch erste Versuche zum einfachen Austausch einer klassischen Linse mit einer erfindungsgemäß hergestellten Linse in einem bestehenden Radarsystem sind bereits erfolgt.

[0048] Das Problem, das die vorliegende Erfindung löst, besteht prinzipbedingt grundsätzlich bei allen Sende- und Empfangssystemen der Hochfrequenztechnik, bei denen Sender und Empfänger gleichzeitig aktiv sein müssen. Im Bereich der Radartechnik sind dies alle Radarsensoren, die nicht als Puls-Radare ausgeführt sind, also insbesondere CW-Radare (Continuous Wave), FMCW-Radare (Frequency Modulated Continuous Wave), OFDM-Radare (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) und PN-Radare (Pseudo Noise), wie sie verbreitet im Automobil- und Industrie-Bereich eingesetzt werden. Im Bereich der Kommunikationstechnik betrifft dies vor allem Vollduplex-Systeme, also beispielsweise Punkt-zu-Punkt-Verbindungen wie Richtfunkverbindungen.

[0049] Die oben genannten Radarsensoren kommen zum einen im Automobil-Bereich für diverse Fahrerassistenzsysteme zum Einsatz. Zum anderen werden sie im Industriebereich für diverse Sensoren der Steuerungs- und Regelungstechnik und der Industrieautomatisierung eingesetzt. Darüber hinaus sind auch Anwendungen im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik denkbar.

[0050] Die **Fig. 4A** zeigt eine photographische Aufnahme eines mittels einer erfindungsgemäßen Linse **15** erweiterten kommerziellen Radarsensors. Und die **Fig. 4B** zeigt eine photographische Aufnahme einer Auswahl von weiteren bisher gefertigter Linsen **15**. Da es sich bei den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** um photographische Aufnahmen handelt, wird angemerkt, dass diese Figuren nicht anders, beispielsweise als schwarz-weiße Strichzeichnungen, darstellbar sind. Die Linsen können z.B. aus Kunststoffen wie PTFE, PE, ABS, PMMA oder ähnlichen gängigen Kunststoffen mit moderaten Verlusten gefertigt werden.

[0051] Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht nur für dielektrische Linsen, sondern allgemein für alle Linsen, also auch metallische Beschleunigungslin-

sen oder planare Linsen bzw. sogenannte „Transmit Arrays“ anwendbar. Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit unabhängig von der konkreten Realisierungsform der Subsystem-Linsen.

Bezugszeichenliste

2	Linse
3a, 3b	Antenne (Primärstrahler)
5a, 5b	Linse
8a, 8b	Subsystem-Linsendesign / virtuelle Subsystem-Linse
13	Kombiniertes Linsendesign / virtuelle Linse
15	Linse
60	Kurve zum Richtdiagramm bei Verwendung einer herkömmlichen Linse
70	Kurve zum Richtdiagramm bei Verwendung einer erfindungsgemäßen Linse
100	Antennensystem
F	Brennpunkt
F1, F2	Brennpunkt
S	Hauptabstrahlrichtung
P	Brennpunktposition
P1, P2	Brennpunktposition
RX	Empfangsantenne
TX	Sendeantenne

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen eines Linsendesigns für ein Antennensystem (100), wobei das Antennensystem (100) zumindest zwei Subsystem-Antennen (TX, RX) aufweist, umfassend die Schritte:
 - Bereitstellen eines Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) für jede Subsystem-Antenne (TX, RX) des Antennensystems (100); und
 - Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) zu einem kombinierten Linsendesign (13), wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ein Überlappen der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) umfasst.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei jedes Subsystem-Linsendesign (8a, 8b) Ortsinformationen zu einem Brennpunkt (F) einer zugehörigen Subsystem-Linse umfasst und wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ein Überlappen der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) derart umfasst, dass die Brennpunkte (F1, F2) der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) jeweils auf vorgegebenen Brenn-

punktpositionen (P1, P2) der Subsystem-Antennen (TX, RX) zu liegen kommen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ein Vereinigen der überlappten Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ein Bestimmen einer einhüllenden Geometrie der überlappten Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ein Bestimmen einer Linsen-Konturfläche (K) umfasst, wobei sich die Linsen-Konturfläche (K) aus einer Vereinigung von Konturflächen (K1, K2) der überlappten Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ergibt; und/oder wobei das Kombinieren der Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ein Bestimmen eines Linsenvolumens umfasst, wobei sich das Linsenvolumen aus einer Vereinigung von Volumina der überlappten Subsystem-Linsendesigns (8a, 8b) ergibt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner umfassend den Schritt Herstellen einer Linse (15) auf Basis des bereitgestellten Linsendesigns (13).

7. Linse (15) für ein Antennensystem (100), wobei die Linse (15) auf Basis eines durch ein Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche bereitgestellten Linsendesigns (13) hergestellt wurde.

8. Antennensystem (100) aufweisend:
 - zumindest zwei Subsystem-Antennen (TX, RX); und
 - eine Linse (15) gemäß Anspruch 7.

9. Antennensystem (100) nach Anspruch 8, wobei die zumindest zwei Subsystem-Antennen (TX, RX) derart angeordnet sind, dass sie eine gemeinsame Hauptabstrahlrichtung (S) aufweisen, und/oder wobei die zumindest zwei Subsystem-Antennen (TX, RX) derart angeordnet sind, dass sie die Linse (15) zumindest bereichsweise ausleuchten; und/oder wobei die zumindest zwei Subsystem-Antennen (TX, RX) zumindest eine Sendeantenne (TX) und zumindest eine Empfangsantenne (RX) umfassen.

10. Computerprogrammprodukt umfassend computerlesbare Anweisungen, welche, wenn geladen in einen Speicher eines Computers und ausgeführt von dem Computer, bewirken, dass der Computer ein

Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 ausführt.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1A (Stand der Technik)

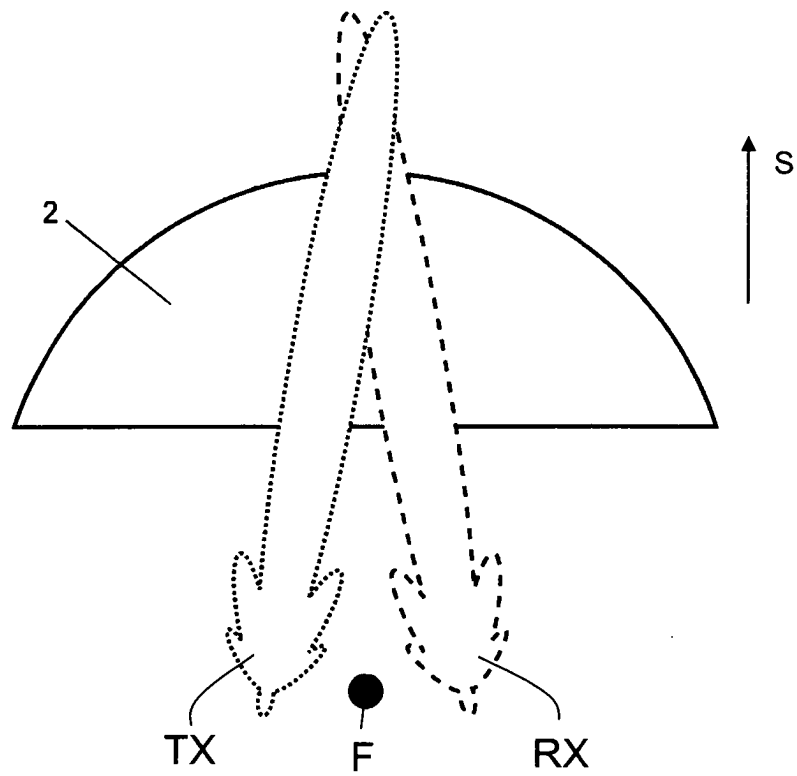


Fig. 1B (Stand der Technik)

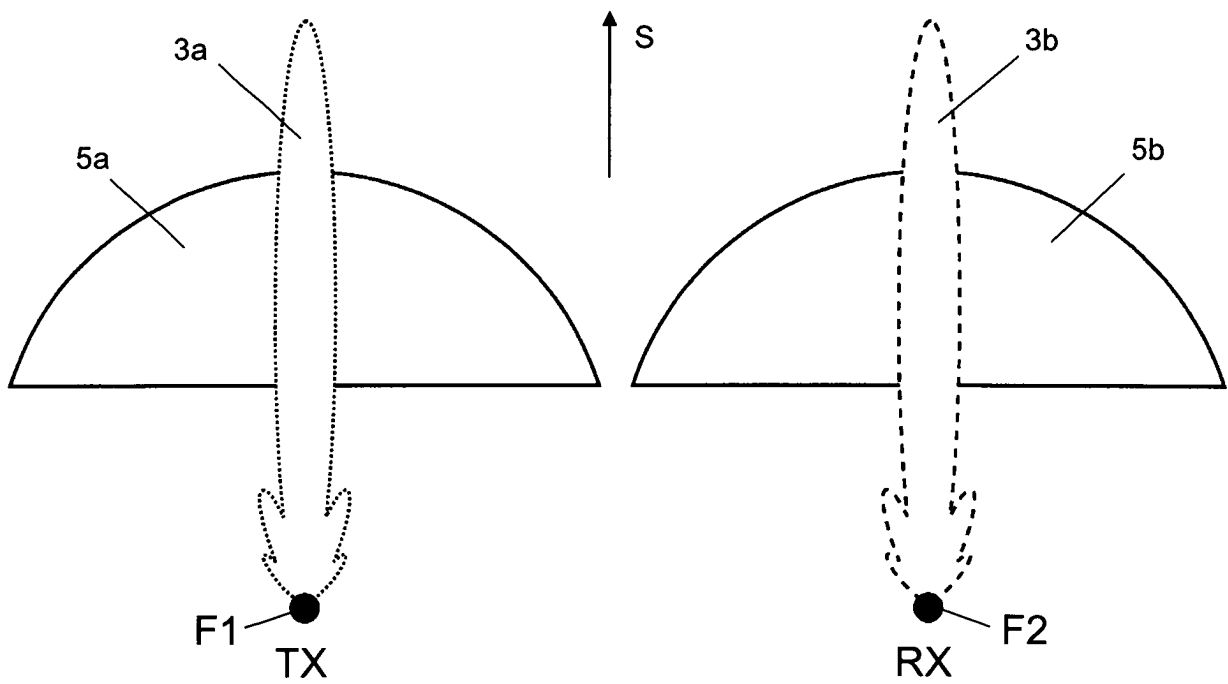
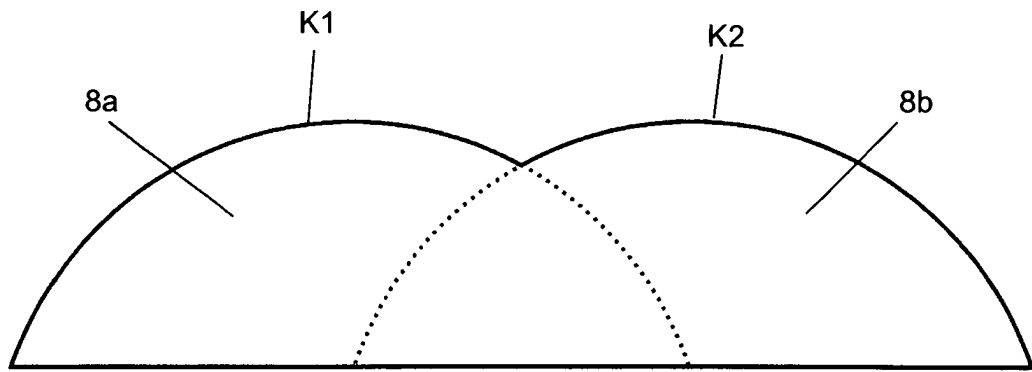


Fig. 2A



F1

F2

Fig. 2B

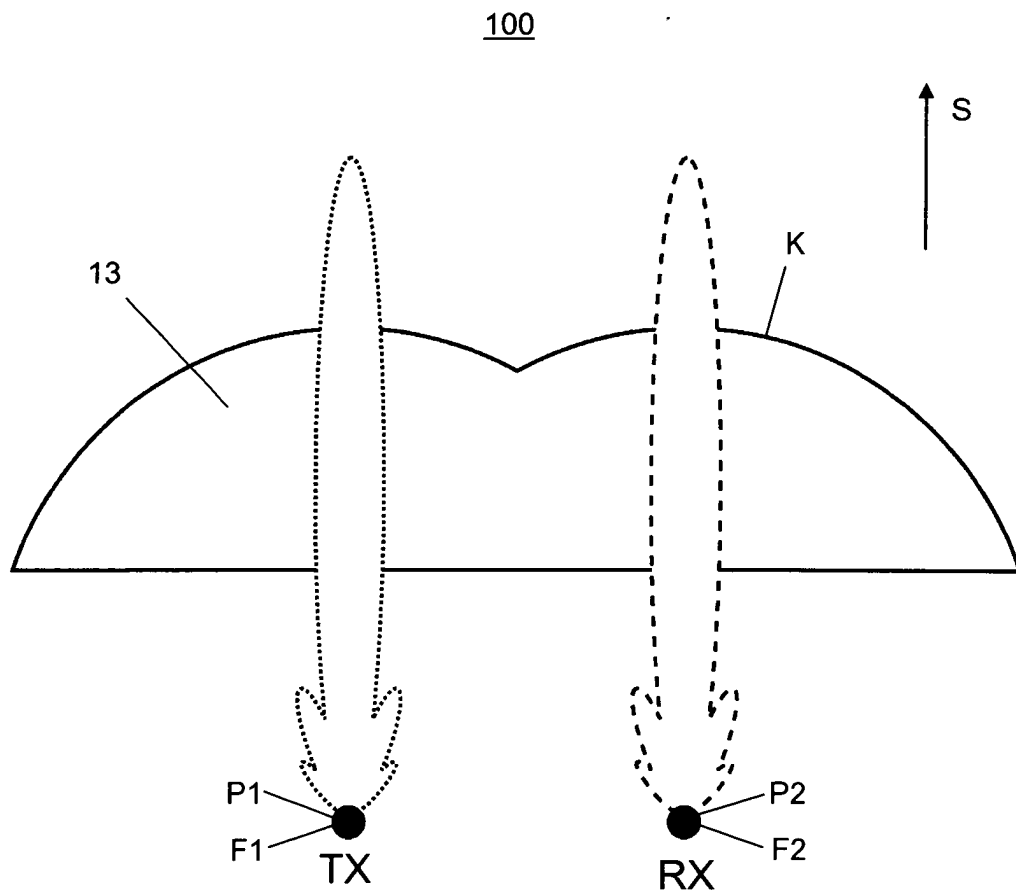


Fig. 3

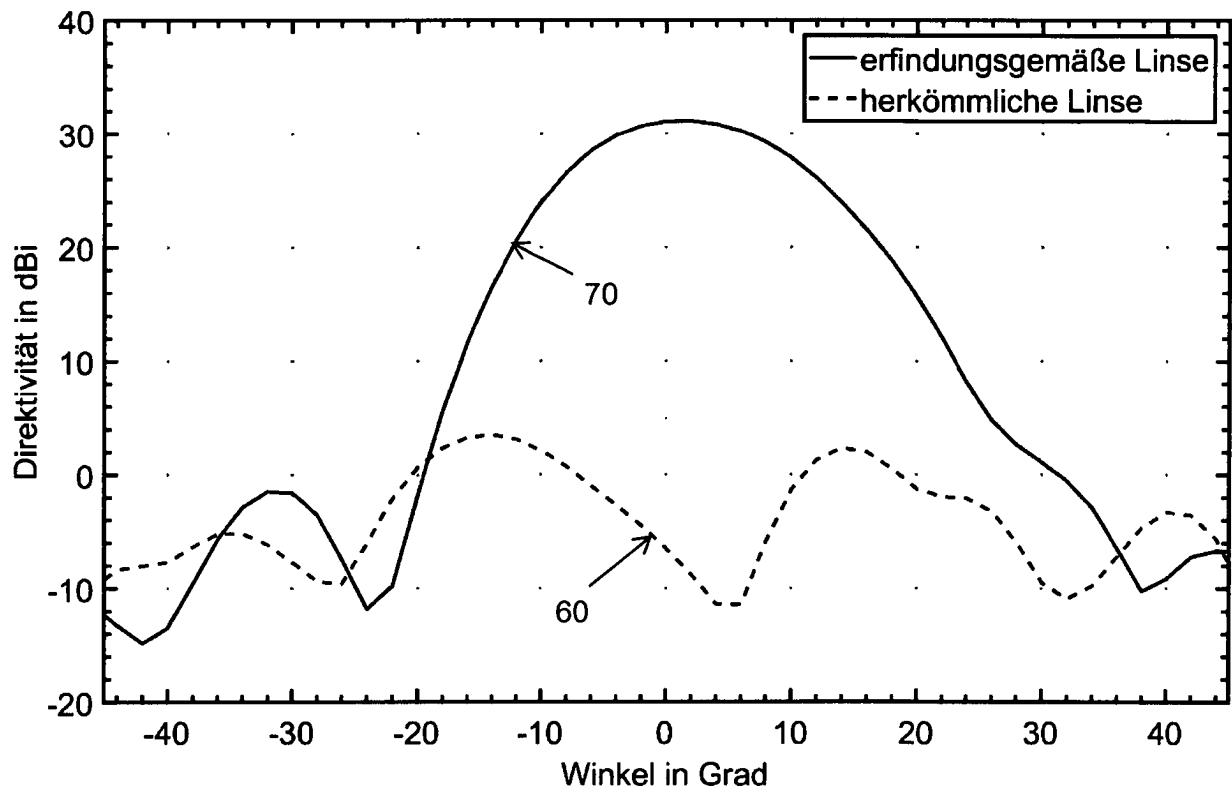


Fig. 4A

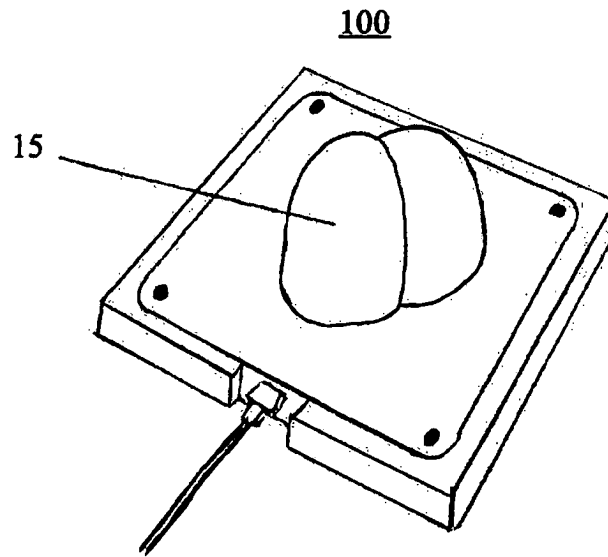


Fig. 4B

