



(10) **DE 11 2020 001 320 T5** 2021.12.16

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2020/189116**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 001 320.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/005749**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.02.2020**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **24.09.2020**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **16.12.2021**

(51) Int Cl.: **H01Q 21/06** (2006.01)
G01S 7/03 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2019-053751 **20.03.2019** **JP**

(71) Anmelder:
**Panasonic Intellectual Property Management Co.,
Ltd., Osaka-shi, JP**

(74) Vertreter:
**Eisenführ Speiser Patentanwälte Rechtsanwälte
PartGmbB, 28217 Bremen, DE**

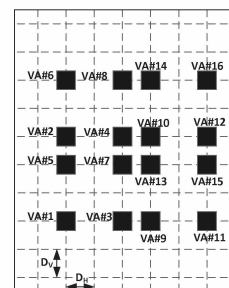
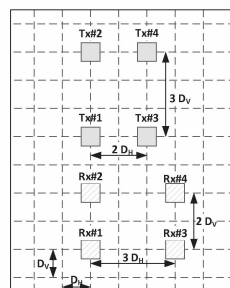
(72) Erfinder:
**Kishigami, Takaaki, Kadoma-shi, Osaka, JP;
Iwasa, Kenta, Kadoma-shi, Osaka, JP; Yomo,
Hidekuni, Kadoma-shi, Osaka, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Radar-Vorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Jede der Vielzahl von Sendean-
tenreihen enthält eine Vielzahl von Sendeelementen, die in
einer ersten Richtung in zweiten Intervallen angeordnet sind
und in einer zweiten Richtung in vierten Intervallen, von de-
nen jedes ein Intervall eines ganzzahligen Vielfachen eines
dritten Intervalls ist, angeordnet sind. Jede der Vielzahl von
Empfangsantennenreihen enthält eine Vielzahl von Emp-
fangselementen, die in der ersten Richtung in fünften Intervallen
angeordnet sind und in der zweiten Richtung in sechsten
Intervallen, von denen jedes ein Intervall eines ganzzahligen
Vielfachen des dritten Intervalls ist, angeordnet sind. Die Dif-
ferenz zwischen dem zweiten Intervall und dem fünften In-
tervall ist das erste Intervall und die Differenz zwischen dem
vierten Intervall und dem sechsten Intervall ist das dritte In-
tervall.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf eine Radar-Vorrichtung.

Stand der Technik

[0002] In den letzten Jahren wurden Radar-Vorrichtungen, die ein kurzwelliges Radar-Sendesignal wie Mikrowellen- oder Millimeterwellen verwenden, das eine hohe Auflösung ermöglicht, erforscht. Zur Verbesserung der Sicherheit im Freien ist die Entwicklung von Radar-Vorrichtungen, die neben Fahrzeugen Objekte (Ziele) wie Fußgänger in einem größeren Winkelbereich erfassen (nachfolgend als Weitwinkel-Radar-Vorrichtungen bezeichnet), erwünscht.

[0003] Zum Beispiel ist als eine Radar-Vorrichtung eine Impuls-Radar-Vorrichtung bekannt, die wiederholt eine Impulswelle abgibt. Ein Empfangssignal einer Weitwinkel-Impuls-Radar-Vorrichtung, die Fahrzeuge und/oder Fußgänger in einem größeren Winkelbereich erfasst, ist häufig ein Signal, das eine Mischung aus einer Vielzahl reflektierter Wellen von einem Ziel (beispielsweise einem Fahrzeug) in einer geringen Entfernung und einem Ziel (beispielsweise einem Fußgänger) in einer großen Entfernung ist. Aus diesem Grund erfordert (1) ein Radar-Sender eine Auslegung zum Senden einer Impulswelle oder einer impulsmodulierten Welle, die eine Autokorrelationskennlinie aufweist, die eine Seitenkeule niedriger Reichweite (nachstehend als Seitenkeulenkennlinie niedriger Reichweite bezeichnet) formt, und (2) ein Radar-Empfänger eine Auslegung, die einen breiten Empfangsdynamikbereich aufweist.

[0004] Beispiele der Auslegung der Weitwinkel-Radar-Vorrichtung umfassen die folgenden zwei Auslegungen.

[0005] Die erste ist eine Auslegung, die eine Radarwelle sendet und dabei eine mechanische oder elektronische Abtastung mit einer Impulswelle oder einer modulierten Welle unter Verwendung eines Richtstrahls durchführt, der einen engeren Winkel aufweist (beispielsweise einer Strahlbreite von ungefähr einigen Grad) als ein in der Radar-Vorrichtung angenommener Erfassungswinkel, und eine reflektierte Welle unter Verwendung eines engwinkligen Richtstrahls empfängt. Mit dieser Auslegung muss ein Abtastvorgang viele Male ausgeführt werden, um eine hohe Auflösung zu erreichen, sodass sich die Nachverfolgbarkeit eines Ziels, das sich mit hoher Geschwindigkeit bewegt, verschlechtert.

[0006] Die zweite ist eine Auslegung, die ein Verfahren zum Empfangen einer reflektierten Wellen mit einer Gruppenantenne, die aus einer Vielzahl von Antennen (Antennenelementen) besteht, und zum Schätzen eines Ankunfts winkels der reflektierten Welle mit einem Signalverarbeitungsalgorithmus gemäß einer Empfangsphasendifferenz für einen Zwischenelementabstand (Antennenabstand) (Schätzung der Ankunftsrichtung [Direction of Arrival, DOA]) verwendet. Mit dieser Auslegung kann ein Ankunfts winkel auch dann, wenn das Winkelintervall der Abtastung vergrößert wird, durch einen Empfangszweig geschätzt werden, sodass eine Abtastzeit verkürzt wird mit dem Ergebnis, dass sich die Nachverfolgbarkeit im Vergleich zu der ersten Auslegung verbessert. Beispiele des Ankunftsrichtungsschätzverfahrens können eine Fourier-Transformation auf Grundlage einer Matrixberechnung, ein Capon-Verfahren und ein LP-Verfahren (lineares Vorhersageverfahren) auf Grundlage einer inversen Matrixberechnung oder eine Mehrsignal-Klassifizierung (MUSIC, Multiple Signal Classification) und eine Schätzung der Signalparameter über Rotationsinvarianztechniken (ESPRIT, Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) auf Grundlage einer Eigenwertberechnung sein.

[0007] Als eine Radar-Vorrichtung ist eine Anordnung vorgesehen, die eine Vielzahl von Antennen (Gruppenantenne) nicht nur in einem Empfangszweig, sondern auch in einem Sendezweig enthält und eine Strahlabtastung durch eine Signalverarbeitung unter Verwendung von Sende- und Empfangsgruppenantennen durchführt (die als MIMO-Radar [Multiple Input Multiple Output Radar] bezeichnet sein kann) (siehe beispielsweise NPL 1).

[0008] Beim MIMO-Radar kann durch eine Gestaltung der Anordnung der Antennenelemente in der Sende- und Empfangsgruppenantenne eine virtuelle Empfangsgruppenantenne (nachstehend als virtuelle Empfangsgruppe bezeichnet) gebildet sein, die anzahlmäßig maximal dem Produkt der Anzahl von Sendeantennenelementen und der Anzahl von Empfangsantennenelementen entspricht. Mit dieser Auslegung ergibt sich der Effekt der Vergrößerung der effektiven Aperturlänge der Gruppenantenne mit einer kleinen Anzahl von Elementen, sodass die Winkelauflösung verbessert wird.

[0009] Das MIMO-Radar kann neben der eindimensionalen Abtastung (Winkelmessung) in einer vertikalen Richtung oder einer horizontalen Richtung auch auf eine zweidimensionale Strahlabtastung in der vertikalen Richtung und der horizontalen Richtung angewendet sein (siehe beispielsweise NPL 2).

Liste der Entgegenhaltungen

Nichtpatentliteratur

NPL 1 J. Li, P. Stoica, „MIMO Radar with Colocated Antennas“, Signal Processing Magazine, IEEE Vol. 24, Ausgabe: 5, S. 106 - 114, 2007.

NPL 2 P. P. Vaidyanathan, P. Pal, Chun-Yang Chen, „MIMO radar with broadband waveforms: Smearing filter banks and 2D virtual arrays“, IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, S. 188 - 192, 2008.

NPL 3 J. Wenger, „Automotive mm-wave radar: status and trends in system design and technology“, IEE Colloquium on Automotive Radar and Navigation Techniques (Ref.- Nr. 1998/230), S. 144 -147, 1998.

NPL 4 M.Harte, T. Mahler, T. Schipper, A. Zirot, and T. Zwick, „2-D antenna array geometries for MIMO radar imaging by digital beamforming“, 2013 European Microwave Conference, S. 1695 - 1698, 2013.

Zusammenfassung der Erfindung

[0010] Die Erfassungsleistung einer Radar-Vorrichtung kann in Abhängigkeit der Antennenanordnung des Sende- und Empfangszweigs in einem MIMO-Radar reduziert sein.

[0011] Nicht einschränkende Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung schaffen eine Radar-Vorrichtung mit verbesserter Erfassungsleistung.

[0012] Eine Radar-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält: eine Radar-Sendeschialtung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschialtung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen besteht, jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen eine Vielzahl von Sendeantennen enthält, die in einer ersten Richtung in einem zweiten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches eines ersten Abstands ist, angeordnet sind, die Vielzahl der Sendeantennenreihen in einer zweiten Richtung, die zu der ersten Richtung senkrecht ist, in einem vierten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches eines dritten Abstands ist, angeordnet sind, die Empfangsgruppenantenne aus einer Vielzahl von Empfangsantennenreihen besteht, jede der Vielzahl von Empfangsantennenreihen eine Vielzahl von Empfangsantennen enthält, die in der ersten Richtung in einem fünften Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches des ersten Abstands ist, angeordnet sind, die Vielzahl der Empfangsantennenreihen in der zweiten Richtung in einem sechsten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches des dritten Abstands ist, angeordnet sind, eine Differenz zwischen dem zweiten Abstand und dem fünften Abstand der erste Abstand ist und eine Differenz zwischen dem vierten Abstand und dem sechsten Abstand der dritte Abstand ist.

[0013] Es ist anzumerken, dass diese allgemeinen oder speziellen Aspekte durch ein System, eine Vorrichtung, ein Verfahren, eine integrierte Schaltung, ein Computerprogramm oder ein Aufzeichnungsmedium oder auch durch eine beliebige Kombination des Systems, der Vorrichtung, des Verfahrens, der integrierten Schaltung, des Computerprogramms und des Aufzeichnungsmediums verwirklicht sein können.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung wird die Erfassungsleistung der Radar-Vorrichtung verbessert.

[0015] Zusätzliche Nutzen und Vorteile der offenbarten beispielhaften Ausführungsformen gehen aus der Beschreibung und der Zeichnung hervor. Die Nutzen und/oder Vorteile können einzeln durch die verschiedenen Ausführungsformen und Merkmale der Beschreibung und der Zeichnung erlangt werden, die nicht alle vorgesehen sein müssen, um einen oder mehrere aus den Nutzen und/oder Vorteilen zu erlangen.

Figurenliste

- Fig. 1A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Anordnung einer Sende-Empfangs-Antenne zeigt;
- Fig. 1B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe zeigt;
- Fig. 2A** ist ein Diagramm, das eine Richtcharakteristik zeigt, die durch eine virtuelle Empfangsgruppe geschaffen ist ($dv = 0,5\lambda$);
- Fig. 2B** ist ein Diagramm, das eine Richtcharakteristik zeigt, die durch die virtuelle Empfangsgruppe geschaffen ist ($dv = 0,5\lambda$);
- Fig. 3A** ist ein Diagramm, das eine Richtcharakteristik zeigt, die durch eine virtuelle Empfangsgruppe geschaffen ist ($dv = X$);
- Fig. 3B** ist ein Diagramm, das eine Richtcharakteristik zeigt, die durch eine virtuelle Empfangsgruppe geschaffen ist ($dv = 2\lambda$);
- Fig. 4** ist ein Blockdiagramm, das einen Aufbau einer Radar-Vorrichtung zeigt;
- Fig. 5** ist ein Diagramm, das ein Beispiel von Radar-Sendesignalen zeigt;
- Fig. 6** ist ein Blockdiagramm, das einen weiteren Aufbau eines Radar-Sendesignalgenerators zeigt;
- Fig. 7** ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Sendezeitverlaufs eines Radar-Sendesignals und eines Messbereichs darstellt;
- Fig. 8** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 9A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Untergruppenkonfiguration zeigt;
- Fig. 9B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Untergruppenkonfiguration zeigt;
- Fig. 9C** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Untergruppenkonfiguration zeigt;
- Fig. 10** ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, die Untergruppen verwendet, zeigt;
- Fig. 11A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 11B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung von **Fig. 1A** zeigt;
- Fig. 12** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 13** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 14** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 15** ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 16** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 17** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 18** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 19** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 20** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 1 zeigt;
- Fig. 21** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 zeigt;

Fig. 22 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 zeigt;

Fig. 23 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 zeigt;

Fig. 24 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 zeigt;

Fig. 25A ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Untergruppe gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 zeigt;

Fig. 25B ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche die Untergruppen gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 verwendet, zeigt;

Fig. 25C ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche die Untergruppen gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 verwendet, zeigt;

Fig. 26 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 27 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 28 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 29 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 30 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 31 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 32 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 33 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 1 ist;

Fig. 34 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 35 ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Untergruppe gemäß der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 36 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 37 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 38 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 39 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 40 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 41 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 42 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 2 zeigt;

Fig. 43 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 2 zeigt;

- Fig. 44** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 2 zeigt;
- Fig. 45** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 2 zeigt;
- Fig. 46** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 2 zeigt;
- Fig. 47** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 2 zeigt;
- Fig. 48** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 2 ist;
- Fig. 49** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 2 ist;
- Fig. 50A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 2 ist;
- Fig. 50B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 2 ist;
- Fig. 51A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 2 ist;
- Fig. 51B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung zeigt, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 der Grundanordnung 2 ist;
- Fig. 52A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 52B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 52C** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 52D** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 53A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 53B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 53C** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 53D** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 54A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 54B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 54C** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 54D** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 55A** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;
- Fig. 55B** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 55C ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 55D ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 56A ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche Untergruppen gemäß der Grundanordnung 3 verwendet, zeigt;

Fig. 56B ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche die Untergruppen gemäß der Grundanordnung 3 verwendet, zeigt;

Fig. 57 ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 58 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 59 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 60 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 61 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 62 ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 63 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 64 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 65 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 66 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 67 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 68A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 68B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 3 zeigt;

Fig. 69 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 70A ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche Untergruppen gemäß der Grundanordnung 4 verwendet, zeigt;

Fig. 70B ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche Untergruppen gemäß der Grundanordnung 4 verwendet, zeigt;

Fig. 71 ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 72 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 73 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 74 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 75 ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 76 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 77 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 78 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 79 ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 80 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 81 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 82 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 83 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 84 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 85 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 86 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 87 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 88A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 88B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 4 zeigt;

Fig. 89 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 90A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 90B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 91A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 91B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 92A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 92B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 92C ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 92D ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 93A ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche Untergruppen gemäß der Grundanordnung 5 verwendet, zeigt;

Fig. 93B ist ein Diagramm, das ein Konfigurationsbeispiel einer Sendegruppenantenne, welche die Untergruppen gemäß der Grundanordnung 5 verwendet, zeigt;

Fig. 94 ist ein Diagramm, das ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses unter Verwendung einer Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 95 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 96 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 97 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 98 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 99 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 100A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 100B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 101 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 102 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 103 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 104 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 105 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 106A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 106B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 107 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 108 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 109 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 110 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 111 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt;

Fig. 112A ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt; und

Fig. 112B ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Antennenanordnung gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 5 zeigt.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0016] Wie oben beschrieben, kann ein MIMO-Radar mit einer virtuellen Empfangsgruppe neben der eindimensionalen Abtastung (Winkelmessung) in einer vertikalen Richtung oder einer horizontalen Richtung auch auf eine zweidimensionale Strahlabtastung in der vertikalen Richtung und der horizontalen Richtung angewendet sein.

[0017] Beispielsweise zeigt **Fig. 1A** eine Sendegruppenantenne, die vier Sendeantennen (Tx#1 bis Tx#4) enthält, die in einer vertikalen Richtung angeordnet sind (in **Fig. 1A** in der Längsrichtung), und eine Empfangsgruppenantenne, die vier Empfangsantennen (Rx#1 bis Rx#4) enthält, die in einer horizontalen Richtung angeordnet sind (in **Fig. 1A** in der Querrichtung). Wie in **Fig. 1A** gezeigt, sind die Sendeantennen in der vertikalen Richtung in gleichen Abständen (d_v) angeordnet, und die Empfangsantennen sind in der horizontalen Richtung in gleichen Abständen (d_H) angeordnet (siehe beispielsweise NPL 4).

[0018] **Fig. 1B** zeigt eine virtuelle Empfangsgruppe, die Sende- und Empfangsgruppenantennen einer in **Fig. 1A** gezeigten Antennenanordnung enthält. Die in **Fig. 1B** gezeigte virtuelle Empfangsgruppe besteht aus virtuellen Empfangsantennen mit 16 Elementen (VA#1 bis VA#16), wobei vier Antennen in der horizontalen Richtung und vier Antennen in der vertikalen Richtung in einer rechteckigen Form angeordnet sind. In **Fig. 1B** beträgt der horizontale Zwischenelementabstand der virtuellen Empfangsgruppe d_H und der vertikale Zwischenelementabstand der virtuellen Empfangsgruppe beträgt d_v . Mit anderen Worten beträgt die horizontale Aperturlänge D_H der virtuellen Empfangsgruppe $3d_H$ und die vertikale Aperturlänge D_v der virtuellen Empfangsgruppe beträgt $3d_v$.

[0019] **Fig. 2A** und **Fig. 2B** stellen eine Fourier-Strahlcharakteristik dar, die in der horizontalen Richtung an 0° und in der vertikalen Richtung an 0° ausgerichtet ist, wobei in der in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigten Antennenanordnung des MIMO-Radars der horizontale Zwischenelementabstand $d_H = 0,5\lambda$ ist und der vertikale Zwischenelementabstand $d_v = 0,5\lambda$ ist. λ Bezeichnet die Wellenlänge einer Radar-Trägerwelle.

[0020] Wie in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** gezeigt, ist bei 0° in der horizontalen Richtung und 0° in der vertikalen Richtung ein Hauptstrahl (Hauptkeule) ausgebildet. Wenn sich hier die Strahlbreite eines Hauptstrahls verringert, verbessert sich die Winkeltrennungsleistung für eine Vielzahl von Zielen. Beispielsweise beträgt in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** die Strahlbreite bei einem Leistungspegel von 3 dB etwa 13° . Wie in **Fig. 2A** und **Fig. 2B** gezeigt, werden um den Hauptstrahl herum Nebenkeulen erzeugt. In einer Radar-Vorrichtung wird eine Nebenkeule ein Faktor der fälschlichen Erfassung als ein virtuelles Bild. Wenn der Spitzenpegel einer Nebenkeule abnimmt, reduziert sich aus diesem Grund die Wahrscheinlichkeit, dass die Nebenkeule in einer Radar-Vorrichtung fälschlicherweise als ein virtuelles Bild erfasst wird. In **Fig. 2A** und **Fig. 2B** beträgt ein Verhältnis der Leistung zum Spitzenpegel jeder Nebenkeule, normalisiert nach dem Spitzenpegel des Hauptstrahls, (Spitzen-Nebenkeulen-Verhältnis (Peak Sidelobe Level Ratio, PSLR)) etwa -13 dB.

[0021] Zur Erweiterung des Erfassungsbereichs einer Radar-Vorrichtung ist die Verwendung von Antennen mit einem hohen Gewinn wirksam. Der Gewinn einer Antenne wird beispielsweise durch Verengung der Richtcharakteristik (Strahlbreite) der Antenne verbessert. Die Richtcharakteristik einer Antenne verengt sich beispielsweise, wenn sich die Aperturfläche der Antenne vergrößert. Zur Verengung der Richtcharakteristik einer Antenne wird somit die Größe der Antenne erhöht.

[0022] Beispielsweise verwendet eine an einem Fahrzeug montierte Radar-Vorrichtung (beispielsweise auch als Fahrzeugradar bezeichnet) oder dergleichen eine Untergruppenantenne, die aus einer Vielzahl von Antennenelementen besteht, die in einer vertikalen Richtung angeordnet sind (siehe beispielsweise NPL 3), um die Richtcharakteristik in der vertikalen Richtung zu verengen. Durch Verengung der Richtcharakteristik in der vertikalen Richtung wird der Gewinn der Antenne in der vertikalen Richtung verbessert, sodass reflektierte Wellen von einer Straßenoberfläche oder dergleichen in unnötigen Richtungen reduziert werden.

[0023] Wenn jedoch eine Untergruppenantenne für Antennenelemente verwendet wird, die eine Sendegruppenantenne oder eine Empfangsgruppenantenne bilden, ist es schwierig, Gruppenantennen anzuordnen, deren Zwischenelementabstand kleiner als die Größe der Untergruppenantenne ist. Wenn beispielsweise Antennenelemente, die eine Untergruppenantenne bilden, in einer vertikalen Richtung angeordnet sind, kann die Größe der Untergruppenantenne größer oder gleich einer Wellenlänge sein. Wenn beispielsweise in dem in **Fig. 1A** gezeigten MIMO-Radar eine Untergruppenantenne in der vertikalen Richtung verwendet wird, vergrößert sich somit der Zwischenelementabstand d_v auf eine Wellenlänge oder mehr.

[0024] Fig. 3A und Fig. 3B zeigen Beispiele einer Fourier-Strahlcharakteristik, die in der horizontalen Richtung an 0° und in der vertikalen Richtung an 0° ausgerichtet ist, wobei in einer in Fig. 1A gezeigten Sendempfangs-Antennenanordnung des MIMO-Radars der vertikale Zwischenelementabstand d_v eine Wellenlänge (λ) oder mehr beträgt. In Fig. 3A und Fig. 3B ist die Richtcharakteristik jedes der in der vertikalen Richtung untergruppierten Antennenelemente allein nicht berücksichtigt.

[0025] In Fig. 3A beträgt der vertikale Zwischenelementabstand $d_v = \lambda$ und der horizontale Zwischenelementabstand $d_H = 0,5\lambda$. In Fig. 3B beträgt der vertikale Zwischenelementabstand $d_v = 2\lambda$ und der horizontale Zwischenelementabstand $d_H = 0,5\lambda$.

[0026] Wie in Fig. 3A und Fig. 3B gezeigt, ist der Hauptstrahl (Hauptkeule) an 0° in der horizontalen Richtung und 0° in der vertikalen Richtung ausgerichtet, und im Vergleich beispielsweise zu den Nebenkeulen in Fig. 2A und Fig. 2B werden in der vertikalen Richtung um den Hauptstrahl herum hochpegelige Gitterkeulen erzeugt. In Fig. 3A und Fig. 3B beträgt ein Verhältnis des Spitzenpegels der Gitterkeulen zu dem Spitzenpegel der Hauptkeule 0 dB. In Fig. 3B ($d_v = 2\lambda$) ist ein Winkelintervall in der vertikalen Richtung, in dem die hochpegeligen Gitterkeulen erzeugt werden, im Vergleich zu Fig. 3A ($d_v = \lambda$) schmal. Mit anderen Worten liegen Eigenschaften vor, die das Winkelintervall, in dem die Gitterkeulen erzeugt werden, schmaler werden lassen, wenn der vertikale Zwischenelementabstand d_v zunimmt.

[0027] Wenn die vertikale Antennengröße in einer Radar-Vorrichtung zunimmt, wird auf diese Weise der vertikale Zwischenelementabstand größer, sodass leicht eine Gitterkeule bei einem Winkel erzeugt wird, der verhältnismäßig nah an einem Hauptstrahl ist. Wenn der in einer Radar-Vorrichtung angenommene Erfassungswinkelbereich größer oder gleich einem Winkel ist, bei dem eine Gitterkeule erzeugt wird, nimmt aus diesem Grund die Wahrscheinlichkeit zu, dass die Radar-Vorrichtung eine virtuelle Spitze aufgrund einer Gitterkeule innerhalb des Erfassungswinkelbereichs fälschlicherweise als ein Ziel erfasst, sodass sich die Erfassungsleistung der Radar-Vorrichtung verschlechtern kann.

[0028] In einer Ausführungsform gemäß der vorliegenden Offenbarung wird die Erzeugung von Gitterkeulen in dem Fall, in welchem eine Strahlabtastung in zwei Dimensionen, einer vertikalen und einer horizontalen, mit einem MIMO-Radar durchgeführt wird, auch dann unterdrückt, wenn die vertikale oder horizontale Antennengröße (oder Elementgröße) größer oder gleich einer Wellenlänge ist, und eine Verbesserung der vertikalen und horizontalen Winkelauflösung ist möglich.

[0029] Nachstehend sind Ausführungsformen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die Zeichnung genau beschrieben. In den Ausführungsformen sind gleiche Bestandteile mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet, und die Beschreibung davon ist nicht wiederholt.

[0030] Nachfolgend ist der Aufbau einer Radar-Vorrichtung zum Senden verschiedener codegemultiplexter Sendesignale aus einer Vielzahl von Sendeantennen in einem Sendezweig und zum Durchführen eines Vorgangs zum getrennten Empfangen der Sendesignale in einem Empfangszweig beschrieben. Der Aufbau der Radar-Vorrichtung ist nicht hierauf beschränkt und kann ein Aufbau sein, bei dem verschiedene frequenzgemultiplexte Sendesignale aus einer Vielzahl von Sendeantennen in einem Sendezweig gesendet werden und der einen Vorgang zum getrennten Empfangen der Sendesignale in einem Empfangszweig durchführt. In ähnlicher Weise kann der Aufbau der Radar-Vorrichtung ein Aufbau sein, bei dem zeitgemultiplexte aus einer Vielzahl von Sendeantennen in einem Sendezweig Sendesignale gesendet werden und der einen Empfangsvorgang in einem Empfangszweig durchführt.

[Ausführungsform 1]

[Aufbau der Radar-Vorrichtung]

[0031] Fig. 4 ist ein Blockdiagramm, das den Aufbau der Radar-Vorrichtung 10 gemäß der vorliegenden Ausführungsform zeigt.

[0032] Die Radar-Vorrichtung 10 enthält einen Radar-Sender (Sendezweig) 100, einen Radar-Empfänger (Empfangszweig) 200 und einen Referenzsignalgenerator 300.

[0033] Der Radar-Sender 100 erzeugt ein hochfrequentes (Hochfrequenz-) Radar-Signal (Radar-Sendesignal) entsprechend einem Referenzsignal, das von dem Referenzsignalgenerator 300 empfangen wird. Der

Radar-Sender **100** sendet das Radar-Sendesignal in einem vorgegebenen Sendezeitraum unter Verwendung einer Sendegruppenantenne, die aus einer Vielzahl von Sendeantennen 106-1 bis 106-Nt besteht.

[0034] Der Radar-Empfänger **200** empfängt ein reflektiertes Wellensignal, welches das von einem Ziel (nicht gezeigt) reflektierte Radar-Sendesignal ist, unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne, die eine Vielzahl von Empfangsantennen 202-1 bis 202-Na enthält. Der Radar-Empfänger **200** führt eine mit dem Radar-Sender **100** synchronisierte Verarbeitung durch, indem er unter Verwendung des von dem Referenzsignalgenerator **300** empfangenen Referenzsignals den folgenden Vorgang ausführt. Mit anderen Worten führt der Radar-Empfänger **200** eine Signalverarbeitung an dem von jeder Empfangsantenne **202** empfangenen reflektierten Wellensignal durch und führt mindestens eine Verarbeitung aus einer Erkennung des Vorhandenseins/Nichtvorhandenseins und einer Richtungsschätzung für das Ziel durch. Das Ziel ist ein durch die Radar-Vorrichtung **10** zu erfassendes Objekt und umfasst beispielsweise ein Fahrzeug (einschließlich eines vierrädrigen Fahrzeugs und eines zweirädrigen Fahrzeugs) oder eine Person.

[0035] Der Referenzsignalgenerator **300** ist mit jedem aus dem Radar-Sender **100** und dem Radar-Empfänger **200** verbunden. Der Referenzsignalgenerator **300** liefert das Referenzsignal als ein Referenzsignal an den Radar-Sender **100** und den Radar-Empfänger **200** und synchronisiert die Verarbeitung des Radar-Senders **100** mit der Verarbeitung des Radar-Empfängers **200**.

[Aufbau des Radar-Senders **100**]

[0036] Der Radar-Sender **100** enthält Radar-Sendesignalgeneratoren 101-1 bis 101-Nt, Sendefunkteile 105-1 bis 105-Nt und Sendeantennen 106-1 bis 106-Nt. Mit anderen Worten enthält der Radar-Sender **100** Nt Sendeantennen **106**. Jede Sendeantenne **106** ist mit einem individuellen Radar-Sendesignalgenerator **101** und einem individuellen Sendefunkteil **105** verbunden.

[0037] Der Radar-Sendesignalgenerator **101** erzeugt einen Zeitgebertakt, erhalten durch Multiplizieren des von dem Referenzsignalgenerator **300** empfangenen Referenzsignals mit einer vorgegebenen Zahl, und erzeugt ein Radar-Sendesignal entsprechend dem erzeugten Zeitgebertakt. Der Radar-Sendesignalgenerator **101** gibt wiederholt das Radar-Sendesignal in einem vorgegebenen Radar-Sendezeitraum (T_r) aus. Das Radar-Sendesignal ist ausgedrückt durch $r_z(k, M) = I_z(k, M) + j Q_z(k, M)$. Hier bezeichnet z eine der jeweiligen Sendeantenne **106** entsprechende Zahl, wobei $z = 1, \dots, N_t$ ist. j bezeichnet die imaginäre Einheit, k die diskrete Zeit und M die Ordnungszahl eines Radar-Sendezeitraums.

[0038] Jeder Radar-Sendesignalgenerator **101** enthält einen Codegenerator **102**, einen Modulator **103** und ein TPF (Tiefpassfilter) **104**. Nachfolgend sind Komponenten in dem Radar-Sendesignalgenerator 101- z beschrieben, der der z -ten ($z = 1, \dots, N_t$) Sendeantenne **106** entspricht.

[0039] Beispielsweise erzeugt der Codegenerator **102** Codes $a(z)_n$ ($n = 1, \dots, L$) (Pulscodes) in einer Codesequenz einer Codelänge L in jedem Radar-Sendezeitraum T_r . Wechselseitig gering korrelierte oder unkorrelierte Codes werden als die in den jeweiligen Codegeneratoren 102-1 bis 102-Nt erzeugten Codes $a(z)_n$ ($z = 1, \dots, N_t$) verwendet. Beispiele der Codesequenz umfassen einen Walsh-Hadamard-Code, einen M-Sequenz-Code und einen Gold-Code.

[0040] Der Modulator **103** führt eine Pulsmodulation (Amplitudenmodulation, ASK (Amplitudenumtastung) oder Pulsumtastung) oder Phasenmodulation (Phasenumtastung) über die Codesequenz (beispielsweise die von dem Codegenerator **102** ausgegebenen Codes $a(z)_n$) aus und gibt ein moduliertes Signal an das TPF **104** aus.

[0041] Das TPF **104** gibt eine Signalkomponente in einem vorgegebenen begrenzten Band oder niedriger aus dem von dem Modulator **103** ausgegebenen modulierten Signal an den Sendefunkteil **105** als ein Basisband-Radar-Sendesignal aus.

[0042] Der z -te ($z = 1, \dots, N_t$) Sendefunkteil **105** erzeugt ein Radar-Sendesignal in einem Trägerfrequenzband (Hochfrequenz-(HF)-Band) durch Anwenden einer Frequenzumwandlung auf das von dem z -ten Radar-Sendesignalgenerator **101** ausgegebenen Basisband-Radar-Sendesignal und gibt eine vorgegebene Sendeleistung P [dB], die durch einen Sendeverstärker verstärkt ist, an die z -te Sendeantenne **106** aus.

[0043] Die z -te ($z = 1, \dots, N_t$) Sendeantenne **106** strahlt das von dem z -ten Sendefunkteil **105** ausgegebene Radar-Sendesignal in einen Raum ab.

[0044] Fig. 5 zeigt Radar-Sendesignale, die von den N_t Sendeantennen **106** des Radar-Senders **100** gesendet werden. Eine Pulscodesequenz mit einer Codelänge L ist in einem Code-Sendeintervall T_w enthalten. Innerhalb jedes Radar-Sendezeitraums T_r wird während eines Code-Sendeintervalls T_w eine Pulscodesequenz gesendet, und das verbleibende Intervall $(T_r - T_w)$ wird ein signalfreies Intervall. Wenn die Pulsmodulation unter Verwendung von N_o Abtastwerten einmal pro Pulscode $(a(z)_n)$ durchgeführt wird, ist ein Signal von $N_r (= N_o \times L)$ Abtastwerten in jedem Code-Sendeintervall T_w enthalten. Mit anderen Worten beträgt eine Abtastrate in dem Modulator **103** $(N_o \times L)/T_w$. N_u Abtastwerte sind im signalfreien Intervall $(T_r - T_w)$ enthalten.

[0045] Der Radar-Sender **100** kann einen in Fig. 6 gezeigten Radar-Sendesignalgenerator **101a** anstelle des Radar-Sendesignalgenerators **101** enthalten. Der Radar-Sendesignalgenerator **101a** enthält nicht den Codegenerator **102**, den Modulator **103** und das TPF **104**, die in Fig. 4 gezeigt sind, und enthält stattdessen einen Code-Speicher **111** und einen D/A-Wandler **112**. Der Code-Speicher **111** speichert im Voraus eine in dem Codegenerator **102** (Fig. 4) erzeugte Codesequenz und liest die gespeicherte Codesequenz zyklisch und sequentiell aus. Der D/A-Wandler **112** wandelt die von dem Code-Speicher **111** ausgegebene Codesequenz (digitales Signal) in ein analoges Signal (Basisbandsignal) um.

[Aufbau des Radar-Empfängers **200**]

[0046] In Fig. 4 enthält der Radar-Empfänger **200** N_a Empfangsantennen **202**, die eine Gruppenantenne bilden. Der Radar-Empfänger **200** enthält N_a Antennenkanalprozessoren **201-1** bis **201- N_a** und einen Richtungs-schätzer **214**.

[0047] Jede Empfangsantenne **202** empfängt ein reflektiertes Wellensignal, das ein von einem Ziel (Objekt) reflektiertes Radar-Sendesignal ist, und gibt das empfangene reflektierte Wellensignal zu einem entsprechenden Antennenkanalprozessor **201** als ein Empfangssignal aus.

[0048] Jeder Antennenkanalprozessor **201** enthält einen Empfangsfunkteil **203** und einen Signalprozessor **207**.

[0049] Der Empfangsfunkteil **203** enthält einen Verstärker **204**, einen Frequenzwandler **205** und einen Quadraturdetektor **206**. Der Empfangsfunkteil **203** erzeugt einen Zeitgebertakt, der durch Multiplizieren des von dem Referenzsignalgenerator **300** ausgegebenen Referenzsignals mit einer vorgegebenen Zahl erhalten wird, und arbeitet entsprechend dem erzeugten Zeitgebertakt. Genauer verstärkt der Verstärker **204** ein Empfangssignal, das von der Empfangsantenne **202** ausgegeben wird, auf einen vorgegebenen Pegel, der Frequenzwandler **205** wandelt die Frequenz des Empfangssignals in einem Hochfrequenzbereich in einen Basisbandbereich um, und der Quadraturdetektor **206** wandelt das Empfangssignal im Basisband in ein Empfangssignal in einem Basisband um, das ein I-Signal und ein Q-Signal enthält.

[0050] Der Signalprozessor **207** enthält A/D-Wandler **208**, **209** und Separatoren **210-1** bis **210- N_t** .

[0051] Ein I-Signal wird von dem Quadraturdetektor **206** in den A/D-Wandler **208** eingegeben. Ein Q-Signal wird von dem Quadraturdetektor **206** in den A/D-Wandler **209** eingegeben. Der A/D-Wandler **208** wandelt das I-Signal durch Abtasten eines Basisbandsignals, welches das I-Signal enthält, zu einer diskreten Zeit in digitale Daten um. Der A/D-Wandler **209** wandelt das Q-Signal durch Abtasten eines Basisbandsignals, welches das Q-Signal enthält, zu einer diskreten Zeit in digitale Daten um.

[0052] Bei der Abtastung der A/D-Wandler **208**, **209** werden N_s diskrete Abtastwerte pro Zeit $T_p (= T_w/L)$ eines einzelnen Unterpulses in einem Radar-Sendesignal erfasst. Mit anderen Worten beträgt die Anzahl von Überabtastungen pro Unterpuls N_s .

[0053] In der folgenden Beschreibung ist ein Basisband-Empfangssignal zur diskreten Zeit k in einem M -ten Radar-Sendezeitraum $T_r[M]$, das eine Ausgabe der A/D-Wandler **208**, **209** ist, als ein komplexwertiges Signal $x(k, M) = I_r(k, M) + j Q_r(k, M)$ mit einem I-Signal $I_r(k, M)$ und einem Q-Signal $Q_r(k, M)$ ausgedrückt. Nachstehend ist für die diskrete Zeit k die Zeit, zu welcher ein Radar-Sendezeitraum (T_r) beginnt, als eine Referenz ($k = 1$) definiert, und der Signalprozessor **207** arbeitet periodisch bis $k = (N_r + N_u)N_s/N_o$, das heißt einem Abtastpunkt vor dem Ende des Radar-Sendezeitraums T_r . Mit anderen Worten ist $k = 1, \dots, (N_r + N_u)N_s/N_o$. Dabei ist j eine imaginäre Einheit.

[0054] Der Signalprozessor **207** enthält N_t Separatoren **210**, deren Anzahl gleich der Anzahl der Kanäle ist, die der Anzahl der Sendeantennen **106** entspricht. Jeder Separator **210** enthält einen Korrelationsrechner **211**,

einen Addierer **212** und einen Doppler-Frequenz-Analysator **213**. Nachfolgend ist der Aufbau des z-ten ($z = 1, \dots, N_t$) Separators **210** beschrieben.

[0055] Der Korrelationsrechner **211** führt eine Korrelationsberechnung zwischen einem diskreten Abtastwert $x(k, M)$, enthaltend die von dem jeweiligen A/D-Wandler **208**, **209** empfangenen diskreten Abtastwerte $I_r(k, M)$ und $Q_r(k, M)$, und einem Pulscode $a(z)_n$ (wobei $z = 1, \dots, N_t$; $n = 1, \dots, L$) mit einer Codelänge L , gesendet vom Radar-Sender **100**, für jeden Radar-Sendezeitraum T_r durch. Zum Beispiel führt der Korrelationsrechner **211** eine gleitende Korrelationsberechnung zwischen dem diskreten Abtastwert $x(k, M)$ und dem Pulscode $a(z)_n$ durch. Zum Beispiel wird ein Korrelationsberechnungswert $AC_{(z)}(k, M)$ einer gleitenden Korrelationsberechnung zur diskreten Zeit k in einem M -ten Radar-Sendezeitraum $T_r[M]$ gemäß dem folgenden Ausdruck berechnet.

[1]

$$AC_{(z)}(k, M) = \sum_{n=1}^L x(k + N_s(n-1), M) a(z)_n^* \quad (\text{Ausdruck 1})$$

[0056] Im Ausdruck oben gibt der Asterisk (*) einen komplex konjugierten Operator an.

[0057] Der Korrelationsrechner **211** führt beispielsweise die Korrelationsberechnung über einen Zeitraum $k = 1, \dots, (N_r + N_u)N_s/N_o$ gemäß Ausdruck 1 durch.

[0058] Der Korrelationsrechner **211** ist nicht auf das Durchführen der Korrelationsberechnung über $k = 1, \dots, (N_r + N_u)N_s/N_o$ beschränkt und kann einen Messbereich (das heißt den Bereich von k) gemäß einem Bereich einschränken, in dem ein durch die Radar-Vorrichtung **10** zu messendes Ziel vorhanden ist. Mit diesem Aufbau ist es mit der Radar-Vorrichtung **10** möglich, den Rechenaufwand des Korrelationsrechners **211** zu reduzieren. Beispielsweise kann der Korrelationsrechner **211** den Messbereich auf $k = N_s(L+1), \dots, (N_r + N_u)N_s/N_o - N_sL$ begrenzen. Wie in **Fig. 7** gezeigt, führt die Radar-Vorrichtung **10** in diesem Fall keine Messung in einem Zeitintervall durch, das dem Code-Sendeintervall T_w entspricht.

[0059] Selbst wenn in der Radar-Vorrichtung **10** ein Radar-Sendesignal zu dem Radar-Empfänger **200** direkt rücküberspricht, wird bei diesem Aufbau die Verarbeitung durch den Korrelationsrechner **211** nicht in einem Zeitraum durchgeführt, während dessen ein Radar-Sendesignal rücküberspricht (mindestens ein Zeitraum kürzer als τ_1), sodass eine Messung ohne den Einfluss des Rückübersprechens möglich ist. Wenn der Messbereich (der Bereich von k) begrenzt ist, kann eine Verarbeitung mit einem begrenzten Messbereich (dem Bereich von k) in ähnlicher Weise auf die Verarbeitungen des Addierers **212**, Doppler-Frequenz-Analysators **213** und Richtungsschätzers **214** angewendet werden, die weiter unten beschrieben sind. Mit diesem Aufbau ist es möglich, den Verarbeitungsaufwand jeder Komponente zu reduzieren, sodass es möglich ist, die elektrische Leistungsaufnahme des Radar-Empfängers **200** zu reduzieren.

[0060] Der Addierer **212** addiert (kohärente Integration) einen Korrelationsberechnungswert $AC_{(z)}(k, M)$ über einen Zeitraum $(T_r \times N_p)$ einer vorgegebenen Anzahl von Malen (N_p Malen) des Radar-Sendezeitraums T_r unter Verwendung des Korrelationsberechnungswerts $AC_{(z)}(k, M)$, der von dem Korrelationsrechner **211** zu jeder diskreten Zeit k im M -ten Radar-Sendezeitraum T_r ausgegeben wird. Die Additionsverarbeitung (kohärente Integration) der Anzahl N_p der Additionen über den Zeitraum $(T_r \times N_p)$ ist durch den folgenden Ausdruck ausgedrückt.

[2]

$$CI_{(z)}(k, M) = \sum_{g=1}^{N_p} AC_{(z)}(k, N_p(m-1) + g) \quad (\text{Ausdruck 2})$$

[0061] Dabei bezeichnet $CI_{(z)}(k, m)$ einen addierten Wert von Korrelationsberechnungswerten (nachfolgend als addierter Korrelationswert bezeichnet), N_p ist ein ganzzahliger Wert größer oder gleich eins und m ist eine ganze Zahl größer oder gleich eins und gibt die Ordnungszahl der Anzahl von Malen der Addition in dem Fall an, in welchem die Anzahl der Male der Addition N_p in dem Addierer **212** als eine Einheit definiert ist. Zudem ist $z = 1, \dots, N_t$.

[0062] Der Addierer **212** führt die Addition N_p mal durch, wobei die Ausgabe des Korrelationsrechners **211**, erhalten in der Einheit des Radar-Sendezeitraums T_r , als eine Einheit angenommen wird. Mit anderen Worten

berechnet der Addierer **212** für jede diskrete Zeit k einen Korrelationswert $Cl_{(z)}(k, m)$, der durch Addieren der Korrelationsberechnungswerte $AC_{(z)}(k, Np(m - 1) + 1)$ bis $AC_{(z)}(k, Np \times m)$ erhalten ist, als eine Einheit, während der Zeitpunkt der diskreten Zeit k übereinstimmt. Mit diesem Aufbau verbessert der Addierer **212** das SRV (Signal-Rausch-Verhältnis) eines reflektierten Wellensignals in einem Bereich hoher Korrelation eines reflektierten Wellensignals von einem Ziel aufgrund des Effekts der Addition der Korrelationsberechnungswerte über Np Male. Somit verbessert der Radar-Empfänger **200** die Messleistung in Bezug auf die Schätzung einer Ankunftsentfernung des Ziels.

[0063] Um einen idealen Additions Gewinn zu erreichen, muss die Bedingung erfüllt sein, dass die Phasenkomponenten der Korrelationsberechnungswerte innerhalb eines bestimmten Bereichs im Intervall der Addition der Korrelationsberechnungswerte über die Anzahl Np der Additionen übereinstimmen. Mit anderen Worten wird die Anzahl Np der Additionen vorzugsweise entsprechend einer angenommenen maximalen Bewegungsgeschwindigkeit des Ziels festgelegt, welches das zu messende Objekt ist. Dies hat folgenden Grund. Je höher die angenommene Höchstgeschwindigkeit eines Ziels ist, desto größer sind die Schwankungen der Doppler-Frequenz, die in einer von dem Ziel reflektierten Welle enthalten sind. Aus diesem Grund verkürzt sich ein Zeitraum mit einer hohen Korrelation, sodass die Anzahl Np der Additionen zu einem kleinen Wert wird und sich der gewinnsteigernde Effekt der Addition in dem Addierer **212** verringert.

[0064] Der Doppler-Frequenz-Analysator **213** führt eine kohärente Integration bei Angleichung des Zeitpunkts der diskreten Zeit k unter Verwendung von $Cl_{(z)}(k, Nc(w - 1) + 1)$ bis $Cl_{(z)}(k, Nc \times w)$ durch, wobei es sich um Nc Ausgaben des Addierers **212** handelt, die für jede diskrete Zeit k als eine Einheit erhalten werden. Beispielsweise korrigiert der Doppler-Frequenz-Analysator **213** Phasenschwankungen $\Phi(f_s) = 2\pi f_s(T_r \times Np)$ $\Delta\Phi$ entsprechend verschiedenen $2Nf$ Doppler-Frequenzen $f_s\Delta\Phi$ und führt eine kohärente Integration durch, wie in dem folgenden Ausdruck gezeigt.

[3]

$$\begin{aligned} FT_Cl_{(z)}^{Nant}(k, f_s, w) &= \sum_{q=0}^{Nc-1} Cl_{(z)}(k, Nc(w - 1) + q + 1) \exp[-j\phi(f_s)q] \\ &= \sum_{q=0}^{Nc-1} Cl_{(z)}(k, Nc(w - 1) + q + 1) \exp[-j2\pi f_s T_r Np q \Delta\phi] \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 3})$$

[0065] Hier ist $FT_Cl_{(z)}^{Nant}(k, f_s, w)$ die w -te Ausgabe des Doppler-Frequenz-Analysators **213** und bezeichnet das Ergebnis der kohärenten Integration der Doppler-Frequenz $f_s\Delta\Phi$ zur diskreten Zeit k im $Nant$ -ten Antennenkanalprozessor **201**. $Nant = 1$ bis Na , $f_s = -Nf + 1, \dots, 0, \dots, Nf$, $k = 1, \dots, (Nr + Nu)Ns/No$, w ist eine ganze Zahl größer oder gleich eins und $\Delta\Phi$ ist eine Phasendrehungseinheit.

[0066] Mit diesem Aufbau erhält jeder Antennenkanalprozessor **201** $FT_Cl_{(z)}^{Nant}(k, -Nf + 1, w), \dots, FT_Cl_{(z)}^{Nant}(k, Nf - 1, w)$ als das Ergebnis der kohärenten Integration gemäß $2Nf$ Doppler-Frequenz-Komponenten zu jeder diskreten Zeit k für jeden Zeitraum $(T_r \times Np \times Nc)$ der mehreren Male $Np \times Nc$ des Radar-Sendezeitraums T_r . j ist eine imaginäre Einheit und $z = 1, \dots, Nt$.

[0067] Wenn $\Delta\Phi = 1/(Nc \times T_r \times Np)$ ist, ist die oben beschriebene Verarbeitung des Doppler-Frequenz-Analysators **213** äquivalent zum Durchführen einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) an der Ausgabe des Addierers **212** bei einem Abtastintervall $T_m = (T_r \times Np)$ mit einer Abtastfrequenz $f_m = 1/T_m$.

[0068] Durch Festlegen einer Zweierpotenz für Nf kann eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) in dem Doppler-Frequenz-Analysator **213** angewendet werden und der Rechenaufwand kann reduziert werden. Bei $Nf > Nc$ kann eine FFT in ähnlicher Weise angewandt werden, wenn ein Auffüllen mit Nullen (Zero Padding) zur Einstellung von $Cl_{(z)}(k, Nc(w - 1) + q) = 0$ in dem Bereich, in dem $q > Nc$ ist, durchgeführt wird, und der Rechenaufwand kann reduziert werden.

[0069] In dem Doppler-Frequenz-Analysator **213** kann anstelle einer FFT eine Verarbeitung zum sequentiellen Berechnen einer Produktsummenoperation, die in dem Ausdruck 3 gezeigt ist, durchgeführt werden. Mit anderen Worten kann der Doppler-Frequenz-Analysator **213** Koeffizienten $\exp[-j2\pi f_s T_r Np q \Delta\phi]$ für $f_s = -Nf + 1, \dots, 0, \dots, Nf - 1$ über $Cl_{(z)}(k, Nc(w - 1) + q + 1)$ erzeugen, wobei es sich um Nc Ausgaben des Addierers **212** handelt, die für jede diskrete Zeit k erhalten werden, und kann sequentiell eine Produktsummenoperation durchführen. Dabei ist $q = 0$ bis $Nc - 1$.

[0070] In der folgenden Beschreibung sind die w-ten Ausgaben $FT_CI_{(z)}^1(k, f_s, w)$, $FT_CI_{(z)}^2(k, f_s, w)$, ..., $FT_CI_{(z)}^{Na}(k, f_s, w)$, die durch Anwenden einer ähnlichen Verarbeitung in jedem der Na Antennenkanalprozessoren **201** erhalten werden, als ein Korrelationsvektor $h(k, f_s, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe ausgedrückt, wie in dem folgenden Ausdruck gezeigt. Der Korrelationsvektor $h(k, f_s, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe enthält $N_t \times N_a$ Elemente, welche die Produkte der Anzahl N_t der Sendeantennen und der Anzahl N_a der Empfangsantennen sind. Der Korrelationsvektor $h(k, f_s, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe wird zum Beschreiben eines Verfahrens zum Durchführen einer Richtungsschätzung auf Grundlage einer Phasendifferenz zwischen den Empfangsantennen **202** an einem reflektierten Wellensignal von einem Ziel verwendet, das weiter unten beschrieben ist. Dabei ist $z = 1, \dots, N_t$ und $b = 1, \dots, N_a$.

[4]

$$h(k, f_s, w) = \begin{bmatrix} FT_CI_{(1)}^1(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^1(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^1(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(1)}^2(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(1)}^{Na}(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^{Na}(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^{Na}(k, f_s, w) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h^1(k, f_s, w) \\ h^2(k, f_s, w) \\ \vdots \\ h^{Na}(k, f_s, w) \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 4})$$

[5]

$$h^b(k, f_s, w) = \begin{bmatrix} FT_CI_{(1)}^b(k, f_s, w) \\ FT_CI_{(2)}^b(k, f_s, w) \\ \vdots \\ FT_CI_{(N_t)}^b(k, f_s, w) \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 5})$$

[0071] Vorstehend ist die Verarbeitung jeder Komponente des Signalprozessors **207** beschrieben.

[0072] Der Richtungsschätzer **214** berechnet einen Korrelationsvektor $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe, der erhalten wird durch Korrigieren einer Phasenabweichung und Amplitudenabweichung zwischen den Antennenkanalprozessoren **201** unter Verwendung eines Gruppenkorrekturwerts $h_{\text{cal}[y]}$ über dem Korrelationsvektor $h(k, f_s, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe des w-ten Doppler-Frequenz-Analysators **213**, der von den Antennenkanalprozessoren 201-1 bis 201-Na ausgegeben wird. Der Korrelationsvektor $h_{\text{after_cal}}(k, f_s, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe ist durch den folgenden Ausdruck ausgedrückt. Dabei ist $y = 1, \dots, (N_t \times N_a)$.

[6]

$$\mathbf{h}_{\text{after_cal}}(k, fs, w) = \mathbf{CA} \mathbf{h}(k, fs, w) = \begin{bmatrix} h_1(k, fs, w) \\ h_2(k, fs, w) \\ \vdots \\ h_{Na \times Nr}(k, fs, w) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{CA} = \begin{bmatrix} h_cal[1] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_cal[2] & \ddots & \dots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_cal[Nt \times Na] \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 6})$$

[0073] Der Korrelationsvektor $\mathbf{h}_{\text{after_cal}}(k, fs, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe, der durch Korrigieren der Zwischenantennenabweichungen erhalten wird, ist ein Spaltenvektor, der aus $Na \times Nr$ Elementen besteht. Nachfolgend sind die Elemente des Korrelationsvektors $\mathbf{h}_{\text{after_cal}}(k, fs, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe als $h_1(k, fs, w), \dots, h_{Na \times Nr}(k, fs, w)$ ausgedrückt und sind zum Beschreiben der Richtungsschätzungsverarbeitung verwendet.

[Antennenanordnung in der Radar-Vorrichtung 10]

[0074] Die Anordnung der Nt Sendeantennen **106** und Na Empfangsantennen **202** in der Radar-Vorrichtung **10** mit dem oben beschriebenen Aufbau ist nachfolgend beschrieben.

<Grundanordnung 1>

[0075] **Fig. 8** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Grundanordnung 1.

[0076] Der Abstand D_H in der horizontalen Richtung (in **Fig. 8** beispielsweise der Querrichtung) und der Abstand D_V in der vertikalen Richtung (**Fig. 8** beispielsweise der Längsrichtung), die in der folgenden Beschreibung verwendet sind, sind beispielsweise gleich. Der Abstand D_H und der Abstand D_V können sich voneinander unterscheiden.

(1) Anordnung der Sende-Empfangs-Antenne

[0077] In **Fig. 8** beträgt die Anzahl Nt der Sendeantennen **106** in der Sendegruppenantenne vier (Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) und die Anzahl Na der Empfangsantennen **202** in der Empfangsgruppenantenne beträgt vier (Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4).

[0078] Die in **Fig. 8** gezeigte Sendegruppenantenne besteht aus einer ersten Sendeantennenreihe (in **Fig. 8** Tx#2 und Tx#4) und einer zweiten Sendeantennenreihe (in **Fig. 8** Tx#1 und Tx#3). Jede Sendeantennenreihe enthält zwei Sendeantennenelemente, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren Antennenabstand in der horizontalen Richtung (in **Fig. 8** der Querrichtung) $2D_H$ beträgt. Der Abstand in der vertikalen Richtung (in **Fig. 8** der Längsrichtung) zwischen der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe beträgt beispielsweise $3D_V$.

[0079] Die in **Fig. 8** gezeigte Empfangsgruppenantenne besteht aus einer ersten Empfangsantennenreihe (in **Fig. 8** Rx#2 und Rx#4) und einer zweiten Empfangsantennenreihe (in **Fig. 8** Rx#1 und Rx#3). Jede Empfangsantennenreihe enthält zwei Empfangsantennenelemente, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren horizontaler Antennenabstand $3D_H$ beträgt. Der vertikale Abstand zwischen der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe beträgt beispielsweise $2D_V$.

[0080] Mit anderen Worten sind in **Fig. 8** der vertikale Abstand zwischen den Sendeantennenreihen (in **Fig. 8** $3D_V$) und der horizontale Antennenabstand in jeder Empfangsantennenreihe (in **Fig. 8** $3D_H$) gleich. In **Fig. 8** sind der horizontale Antennenabstand in jeder Sendeantennenreihe (in **Fig. 8** $2D_H$) und der vertikale Abstand zwischen den Empfangsantennenreihen (in **Fig. 8** $2D_H$) gleich.

[0081] In **Fig. 8** ist die Differenz zwischen dem Abstand $3D_v$ zwischen den Sendeantennenreihen (oder dem Antennenabstand $3D_H$ zwischen den Empfangsantennenreihen) und dem Antennenabstand $2D_H$ in jeder Sendeantennenreihe (oder dem Abstand $2D_v$ in jeder Empfangsantennenreihe) D_H bzw. D_v .

[0082] In **Fig. 8** ist die Differenz zwischen dem Antennenabstand $2D_H$ (dem Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches von D_H ist) in jeder Sendeantennenreihe und dem Antennenabstand $3D_H$ (dem Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches von D_H ist) in jeder Empfangsantennenreihe D_H . In **Fig. 8** ist die Differenz zwischen dem Abstand $3D_v$ (dem Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches von D_v ist), in dem die Vielzahl von Sendeantennenreihen angeordnet ist, und dem Abstand $2D_v$ (dem Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches von D_v ist), in dem die Vielzahl von Empfangsantennenreihen angeordnet ist, D_v .

(2) Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe

[0083] Die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe (virtuelle Antennen VA#1 bis VA#16), die entsprechend der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung, die in **Fig. 8** gezeigt ist, vorgesehen ist, weist die folgenden Eigenschaften auf.

[0084] Hier kann die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe als der folgende Ausdruck der Positionen (der Positionen der Speisepunkte) der Sendeantennen, welche die Sendegruppenantenne bilden, und der Positionen (der Positionen der Speisepunkte) der Empfangsantennen, welche die Empfangsgruppenantenne bilden, ausgedrückt sein.

[7]

$$\begin{cases} X_{V_#k} = \left(X_{T_#}[\text{mod}(k-1, N_t)+1] - X_{T_#1} \right) + \left(X_{R_#}[\text{ceil}(k/N_a)] - X_{R_#1} \right) \\ Y_{V_#k} = \left(Y_{T_#}[\text{mod}(k-1, N_t)+1] - Y_{T_#1} \right) + \left(Y_{R_#}[\text{ceil}(k/N_a)] - Y_{R_#1} \right) \end{cases} \quad (\text{Ausdruck 7})$$

[0085] $\text{mod}(x, y)$ ist ein Operator, welcher den Rest nach der Division berechnet (Modulo-Operation) und den Rest zurückgibt, wenn x durch y geteilt wird. $\text{ceil}(x)$ ist ein Operator, der einen Wert zurückgibt, der auf die nächste ganze Zahl größer oder gleich x gerundet wurde. In dem Ausdruck 7 entspricht die X-Achse der in **Fig. 8** gezeigten horizontalen Richtung (Querrichtung) und die Y-Achse entspricht der in **Fig. 8** gezeigten vertikalen Richtung (Längsrichtung).

[0086] Dabei sind die Positionskoordinaten von jeder der Sendeantennen **106**, welche die Sendegruppenantenne bilden, $(X_{T_#n}, Y_{T_#n})$ (wobei $n = 1, \dots, N_t$), die Positionskoordinaten von jeder der Empfangsantennen **202**, welche die Empfangsgruppenantenne bilden, sind $(X_{R_#m}, Y_{R_#m})$ (wobei $m = 1, \dots, N_a$) und die Positionskoordinaten von jeder der virtuellen Antennen, welche die virtuelle Empfangsgruppe bilden, sind $(X_{V_#k}, Y_{V_#k})$ (wobei $k = 1, \dots, N_t \times N_a$). In dem Ausdruck 7 ist VA#1 als der Positionsbezugspunkt (0, 0) der virtuellen Empfangsgruppe ausgedrückt.

[0087] Der Fall der in **Fig. 8** gezeigten Antennenanordnung ist nachfolgend als ein Beispiel beschrieben.

[0088] Die Positionskoordinaten von jeder der Sendeantennen **106**, welche die Sendegruppenantenne bilden, sind als die Positionskoordinaten $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1}, Y_{T_#1} + 3D_v)$ der Sendeantenne Tx#2, die Positionskoordinaten $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1})$ der Sendeantenne Tx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1} + 3D_v)$ der Sendeantenne Tx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ der Sendeantenne Tx#1 ausgedrückt.

[0089] In ähnlicher Weise sind die Positionskoordinaten von jeder der Empfangsantennen **202**, welche die Empfangsgruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1}, Y_{R_#1} + 2D_v)$ der Empfangsantenne Rx#2, die Positionskoordinaten $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + 3D_H, Y_{R_#1})$ der Empfangsantenne Rx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} + 3D_H, Y_{R_#1} + 2D_v)$ der Empfangsantenne Rx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ der Empfangsantenne Rx#1 ausgedrückt.

[0090] Mit solch einer Anordnung der Sendegruppenantenne und einer Anordnung der Empfangsgruppenantenne ist jeder Satz von Positionskoordinaten $(X_{V_#1}, Y_{V_#1})$ bis $(X_{V_#16}, Y_{V_#16})$ der virtuellen Empfangsgruppe VA#1 bis VA#16 wie folgt beschrieben. (0,0), (0, $3D_v$), ($2D_H$, 0), ($2D_H$, $3D_v$), (0, $2D_v$), (0, $5D_v$), ($2D_H$, $2D_v$), ($2D_H$, $5D_v$), ($3D_H$, 0), ($3D_H$, $3D_v$), ($5D_H$, 0), ($5D_H$, $3D_v$), ($3D_H$, $2D_v$), ($3D_H$, $5D_v$), ($5D_H$, $2D_v$) und ($5D_H$, $5D_v$)

[0091] Auf diese Weise sind in der in **Fig. 8** gezeigten Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die Elemente der virtuellen Empfangsgruppe ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet. Aus diesem Grund ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass sich die Hauptkeule verengt und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0092] Wie in **Fig. 8** gezeigt, sind die virtuellen Gruppenelemente VA#4, VA#7, VA#10 und VA#13, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Beispielsweise sind in **Fig. 8**, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$, festgelegt sind, die virtuellen Gruppenelemente VA#4, VA#7, VA#10 und VA#13 in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $D_H = 0,5\lambda$, und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $D_V = 0,5\lambda$ angeordnet. Mit dieser Konfiguration werden Gitterkeulen reduziert. Der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen ist weiter unten beschrieben.

[0093] In der Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe besteht keine Abhängigkeit zwischen der Position der Sendegruppenantenne und der Position der Empfangsgruppenantenne. Aus diesem Grund sind die Positionen der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne nicht auf die in **Fig. 8** gezeigte Anordnung beschränkt und können auf eine beliebige Anordnung festgelegt sein. Dies gilt auch für die anderen weiter unten beschriebenen Anordnungsconfigurationen.

[0094] Ein ähnlicher Effekt wird erzielt, wenn die horizontale und vertikale Anordnung in der in **Fig. 8** gezeigten Anordnung der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne als die vertikale und horizontale Anordnung modifiziert wird (beispielsweise die Anordnung, die gegenüber der Anordnung von **Fig. 8** um 90 Grad gedreht ist). Dies gilt auch für die anderen weiter unten beschriebenen Anordnungsconfigurationen.

[0095] In der in **Fig. 8** gezeigten Antennenanordnung können die Anordnung der Sendegruppenantenne und die Anordnung der Empfangsgruppenantenne ausgetauscht sein. Beispielsweise kann die in **Fig. 8** gezeigte Anordnung der Empfangsgruppenantenne als die Anordnung der Sendegruppenantenne verwendet sein und die in **Fig. 8** gezeigte Anordnung der Sendegruppenantenne kann als die Anordnung der Empfangsgruppenantenne verwendet sein. Selbst wenn die Anordnung der Sendegruppenantenne und die Anordnung der Empfangsgruppenantenne ausgetauscht sind, ist die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die gleiche Anordnung, sodass ein ähnlicher Effekt erhalten wird. Dies gilt auch für die anderen weiter unten beschriebenen Anordnungsconfigurationen.

[0096] Hier ist der Fall, in welchen der Abstand D_H und der Abstand D_V in **Fig. 8** auf etwa $0,5\lambda$, festgelegt sind, als ein Beispiel beschrieben. Wie in **Fig. 8** gezeigt, ist der Abstand der Antennenelemente sowohl in der Sendeanntennengruppe als auch in der Empfangsantennengruppe ein beliebiger aus $2D_H$, $3D_H$, $2D_V$ und $3D_V$. Mit anderen Worten sind in **Fig. 8** der Abstand $3D_V$ zwischen den Sendeanntennenreihen, der Antennenabstand $3D_H$ in jeder Empfangsantennenreihe, der Antennenabstand $2D_H$ in jeder Sendeanntennenreihe und der Abstand $2D_V$ zwischen den Empfangsantennenreihen Abstände, die größer als eine Wellenlänge eines Radar-Sendesignals sind (beispielsweise einer Radar-Trägerwelle). Somit können in **Fig. 8** die horizontalen und vertikalen Elementgrößen von jeder der Sendeanntennen **106** und der Empfangsantennen **202** auf eine Größe festgelegt werden, die größer oder gleich etwa 1λ ist.

[0097] Mit dieser Konfiguration kann beispielsweise eine Antenne, die vier Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Zwei-mal-zwei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind, wie in **Fig. 9A** gezeigt, auf jedes Antennenelement von mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 8** gezeigt sind, angewendet werden. In **Fig. 9A** ist die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 2D_V$.

[0098] In dem Fall von **Fig. 8** beträgt der vertikale Antennenabstand der Sendegruppenantenne $3D_V$ und ist größer als der horizontale Antennenabstand $2D_H$. Aus diesem Grund ist beispielsweise eine Antenne, die sechs Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Zwei-mal-drei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind, wie in **Fig. 9B** gezeigt, auf jedes der Antennenelemente der Sendegruppenantenne, die in **Fig. 8** gezeigt ist, anwendbar. In **Fig. 9B** ist die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 3D_V$.

[0099] In dem Fall von **Fig. 8** beträgt der horizontale Antennenabstand der Empfangsgruppenantenne $3D_H$ und ist größer als der vertikale Antennenabstand $2D_V$. Aus diesem Grund ist beispielsweise eine Antenne, die sechs Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Drei-mal-zwei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind, wie in **Fig. 9C** gezeigt, auf jedes der Antennenelemente der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 8** gezeigt ist, anwendbar. In **Fig. 9C** ist die Antennenbreite $W_{ANT} < 3D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 2D_V$.

[0100] In der in **Fig. 8** gezeigten Antennenanordnung wird der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert, wenn die Antenne mit der in **Fig. 9A**, **Fig. 9B** oder **Fig. 9C** gezeigten Untergruppenkonfiguration verwendet wird, sodass die Erfassungsleistung (beispielsweise Erfassungsreichweite) in der Radar-Vorrichtung **10** verbessert wird. Die auf die in **Fig. 8** gezeigten Antennenelemente anzuwendende Untergruppenkonfiguration ist nicht auf die in **Fig. 9A**, **Fig. 9B** und **Fig. 9C** gezeigten Konfigurationen beschränkt und kann eine Untergruppenkonfiguration sein, in welcher die in **Fig. 8** gezeigten Positionen als der Phasenmittelpunkt jedes Antennenelements (mit anderen Worten jedes Antennenkanals) angeordnet werden können.

[0101] **Fig. 10** zeigt ein Beispiel in dem Fall, in welchem die in **Fig. 9B** gezeigte Untergruppe auf jedes der Antennenelemente der Sendegruppenantenne, die in **Fig. 8** gezeigt sind, als ein Beispiel angewendet ist. Wie in **Fig. 10** gezeigt, besteht die Sendegruppenantenne aus Antennenelementen, die jeweils aus einer Untergruppenkonfiguration einer vertikalen Größe von $3D_v$ und einer horizontalen Größe von $2D_H$ bestehen.

[0102] Auf diese Weise kann gemäß der Grundanordnung 1 beispielsweise das Antennenelement mit einer Größe, die größer oder gleich 1λ ist (beispielsweise in dem Fall, in welchem $D_H = D_v = 0,5\lambda$), angewendet werden, und in der virtuellen Empfangsgruppe können virtuelle Antennen in der horizontalen Richtung und der vertikalen Richtung dicht angeordnet sein (beispielsweise in einem Abstand von D_H oder D_v). Somit werden die Gitterkeulen reduziert (mit anderen Worten unterdrückt), während der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert wird.

[0103] Vorstehend ist ein Beispiel der Antennenanordnung in der Radar-Vorrichtung **10** beschrieben.

[0104] Der Richtungsschätzer **214** führt wie folgt eine Richtungsschätzungsverarbeitung in der horizontalen Richtung und in der vertikalen Richtung unter Verwendung von Empfangssignalen der virtuellen Empfangsgruppe (siehe beispielsweise **Fig. 8**) durch, die von der Anordnung der oben beschriebenen Send-Empfangs-Antenne (siehe beispielsweise **Fig. 8**) erhalten ist.

[0105] Die Elementnummer (VA#-Nummer) der virtuellen Empfangsgruppe entspricht der Elementnummer des Spaltenvektors des Korrelationsvektors $h_{\text{after_cal}}(k, fs, w)$ für die virtuelle Empfangsgruppe, der durch Korrigieren der in Ausdruck 6 gezeigten Zwischenantennenabweichungen erhalten ist. Beispielsweise entspricht VA#1, das in **Fig. 8** gezeigt ist, dem ersten Element $h_i(k, fs, w)$ der Spaltenvektorelemente von $h_{\text{after_cal}}(k, fs, w)$. Dies gilt auch für die anderen in **Fig. 8** gezeigten VA#2 bis VA#16.

[0106] Bei der Ankunftsrichtungsschätzung in der horizontalen Richtung und der vertikalen Richtung berechnet der Richtungsschätzer **214** ein Raumprofil, während er eine Azimutrichtung θ und eine Elevationsrichtung ϕ in einem Richtungsschätz-Bewertungsfunktionswert $P(\theta, \phi, k, fs, w)$ innerhalb eines vorgegebenen Winkelbereichs variabel macht. Der Richtungsschätzer **214** extrahiert eine vorgegebene Anzahl lokaler maximaler Spitzen des berechneten Raumprofils in absteigender Reihenfolge und gibt die Azimutrichtung und die Elevationsrichtung jeder lokalen maximalen Spitze als eine Ankunftsrichtungsschätzung aus.

[0107] Ein Bewertungsfunktionswert $P(\theta, \phi, k, fs, w)$ kann mittels verschiedener Verfahren in Abhängigkeit von einem Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus erhalten werden. Ein Schätzverfahren unter Verwendung einer Gruppenantenne, das beispielsweise in der Referenz-NPL beschrieben ist, kann verwendet werden.

[0108] (Referenz-NPL) Direction-of-arrival estimation using signal subspace modeling Cadzow, J.A.; Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on Volume: 28, Ausgabe: 1, Erscheinungsjahr: 1992, Seite (n): 64 - 79

[0109] Ein Strahlformungsverfahren kann beispielsweise als der folgende Ausdruck ausgedrückt werden. Andere Verfahren wie Capon und MUSIC können in ähnlicher Weise angewendet werden.

[8]

$$P(\theta_u, \phi_v, k, fs, w) = \left| a(\theta_u, \phi_v)^H h_{\text{after_cal}}(k, fs, w) \right|^2 \quad (\text{Ausdruck 8})$$

[0110] Dabei ist ein hochgestelltes H ein hermitischer Transponierungsoperator. $a(\theta_u, \phi_v)$ stellt den Richtungsvektor der virtuellen Empfangsgruppe für eine ankommende Welle in der Azimutrichtung θ und der Elevationsrichtung ϕ dar.

[0111] Wie oben beschrieben, gibt der Richtungsschätzer **214** die berechnete Ankunftsrichtungsschätzung zusammen mit der diskreten Zeit k und der Doppler-Frequenz $f_s \Delta \Phi$ zum Zeitpunkt der Berechnung der Ankunftsrichtungsschätzung als ein Radar-Positionierungsergebnis aus.

[0112] Die Azimutrichtung θ_u ist ein Vektor, der in einem vorgegebenen Azimutabstand β_1 innerhalb eines Azimutbereichs für die Durchführung der Ankunftsrichtungsschätzung variiert wird. Zum Beispiel ist θ_u wie folgt festgelegt.

$$\theta_u = \theta_{\min} + u\beta_1 \text{ und } u = 0, \dots, NU.$$

$$NU = \text{floor}[(\theta_{\max} - \theta_{\min}) / \beta_1] + 1$$

Hier ist $\text{floor}(x)$ eine Funktion, die einen maximalen Ganzzahlwert zurückgibt, der eine reelle Zahl x nicht überschreitet.

[0113] ϕ_v wird in einem vorgegebenen Azimutabstand β_2 innerhalb eines vorgegebenen Elevationswinkelbereichs für die Durchführung der Ankunftsrichtungsschätzung variiert. Zum Beispiel ist ϕ_v wie folgt festgelegt.

$$\phi_v = \phi_{\min} + v\beta_2 \text{ und } v = 0, \dots, NV.$$

$$NV = \text{floor}[(\phi_{\max} - \phi_{\min}) / \beta_2] + 1$$

[0114] In der vorliegenden Ausführungsform wird der Richtungsvektor $a(\theta_u, \phi_v)$ der virtuellen Empfangsgruppe im Voraus entsprechend der virtuellen Empfangsgruppenanordnung $VA\#1, \dots, VA\#(N_t \times N_a)$ berechnet. Hier ist der Richtungsvektor $a(\theta_u, \phi_v)$ ein Spaltenvektor der $(N_t \times N_a)$ -ten Ordnung, der eine komplexe Antwort der virtuellen Empfangsgruppe in dem Fall, in welchem eine reflektierte Welle aus der Azimutrichtung θ und der Elevationsrichtung ϕ kommt, als Elemente enthält. Die komplexe Antwort $a(\theta_u, \phi_v)$ der virtuellen Empfangsgruppe stellt eine Phasendifferenz dar, die geometrisch-optisch mit dem Zwischenelementabstand zwischen den Antennen berechnet wird.

[0115] Die oben beschriebene Zeitinformation k kann in eine Entfernungsinformation umgewandelt und ausgegeben werden. Es kann der folgende Ausdruck verwendet werden, um die Zeitinformation k in eine Entfernungsinformation $R(k)$ umzuwandeln. Dabei gibt T_w ein Code-Sendeintervall, L eine Pulscodelänge und C_0 eine Lichtgeschwindigkeit an.

[9]

$$R(k) = k \frac{T_w C_0}{2L} \quad (\text{Ausdruck 9})$$

[0116] Die Doppler-Frequenz-Information ($f_s \Delta \Phi$) kann in eine Relativgeschwindigkeitskomponente umgewandelt und ausgegeben werden. Der folgende Ausdruck kann zum Umwandeln der Doppler-Frequenz $f_s \Delta \Phi$ in eine Relativgeschwindigkeitskomponente $v_d(f_s)$ verwendet werden. Hier ist λ eine Wellenlänge der Trägerfrequenz eines von dem Sendefunkteil **105** ausgegebenen HF-Signals.

[10]

$$v_d(f_s) = \frac{\lambda}{2} f_s \Delta \Phi \quad (\text{Ausdruck 10})$$

[0117] **Fig. 11A** und **Fig. 11B** zeigen Beispiele eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem das Strahlformungsverfahren in dem Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers **214** verwendet wird. In **Fig. 11A** und **Fig. 11B** sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen. Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0118] Fig. 11A zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem die in Fig. 8 gezeigte Sende-Empfangs-Antennenanordnung (beispielsweise eine MIMO-Gruppenanordnung) verwendet wird (wobei $D_H = 0,5\lambda$, und $D_V = 0,5\lambda$). Mit anderen Worten sind in Fig. 11A die Bedingung, dass der horizontale und der vertikale Antennenabstand der Sendeantennen 106 größer oder gleich 1λ ist, und die Bedingung, dass der horizontale und der vertikale Antennenabstand der Empfangsantennen 202 ebenfalls größer oder gleich 1λ ist, erfüllt.

[0119] Fig. 11B zeigt ein Richtungsschätzungsergebnis in dem Fall, in welchem in der in Fig. 1 gezeigten Antennenanordnung des MIMO-Radars als ein Beispiel zum Vergleich mit Fig. 11A der vertikale Antennenabstand der Sendeantennen λ ist und der horizontale Antennenabstand der Empfangsantennen λ ist (das heißt, $d_V = \lambda$ und $d_H = \lambda$).

[0120] In Fig. 11B werden in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung in der horizontalen Richtung und in der vertikalen Richtung Gitterkeulen erzeugt. Demgegenüber ist in Fig. 11A ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung reduziert sind. Beispielsweise beträgt in Fig. 11A das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,44.

[0121] Wie oben beschrieben, kann, indem die in Fig. 8 gezeigte MIMO-Gruppenanordnung verwendet wird, die Anordnung so ausgeführt werden, dass der horizontale und vertikale Antennenabstand in der virtuellen Empfangsgruppe einen Zwischenelementabstand von etwa $0,5\lambda$ enthalten, auch wenn die Elementgröße jeder Antenne in der Längsrichtung oder in der Querrichtung, die für die Sendegruppenantenne und die Empfangsgruppenantenne verwendet wird, etwa 1λ beträgt, sodass die Gitterkeulen reduziert werden. Wie in Fig. 8 gezeigt, sind beispielsweise die virtuellen Gruppenelemente der virtuellen Empfangsgruppe ohne jegliche Überlappung angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0122] Eine Antenne mit einer Untergruppenkonfiguration, deren Elementgröße in der Längsrichtung und in der Querrichtung mindestens etwa 1λ beträgt, kann als jedes der Antennenelemente zur Verwendung in den Sendeantennen 106 und den Empfangsantennen 202 verwendet werden. Somit wird der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert, sodass die Erfassungsleistung (beispielsweise Erfassungsreichweite) der Radar-Vorrichtung 10 verbessert wird.

[0123] Die MIMO-Gruppenanordnung ist nicht auf das in Fig. 8 gezeigte Beispiel beschränkt. Beispielsweise kann die Anordnung verwendet werden, bei der die horizontale Richtung und die vertikale Richtung der in Fig. 8 gezeigten Antennenanordnung vertauscht sind. In diesem Fall wird die Anordnung, bei der die horizontale Richtung und die vertikale Richtung der in Fig. 8 gezeigten Anordnung vertauscht sind, als die Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe erhalten. Mit dieser Konfiguration wird eine Winkeltrennungsleistung erhalten, bei der die horizontale Richtung und die vertikale Richtung in Fig. 8 und Fig. 8 vertauscht sind. Die Anordnung, bei der die horizontale Richtung und die vertikale Richtung vertauscht sind, kann in ähnlicher Weise auch in den MIMO-Gruppenanordnungen gemäß der folgenden Beschreibung verwendet werden.

<Modifikation 1 der Grundanordnung 1>

[0124] In der Grundanordnung 1 (beispielsweise Fig. 8) ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der Sendeantennen 106 vier ($N_t = 4$) und die Anzahl der Empfangsantennen 202 vier ($N_r = 4$) beträgt. Die Anzahl N_t der Sendeantennen und die Anzahl N_r der Empfangsantennen sind nicht auf diese Zahlen beschränkt.

[0125] In Modifikation 1 der Grundanordnung 1 besteht eine Sendegruppenantenne wie in dem Fall der Grundanordnung 1 aus einer ersten Sendeantennenreihe und einer zweiten Sendeantennenreihe in beispielsweise einem vertikalen Abstand von $3D_V$. Jede Sendeantennenreihe enthält wie in dem Fall der Grundanordnung 1 eine Vielzahl von Sendeantennenelementen, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren horizontaler Antennenabstand $2D_H$ beträgt.

[0126] In Modifikation 1 der Grundanordnung 1 besteht eine Empfangsgruppenantenne wie in dem Fall der Grundanordnung 1 aus einer Vielzahl von Empfangsantennenreihen in beispielsweise einem vertikalen Ab-

stand von $2D_v$. Jede Empfangsantennenreihe enthält eine Vielzahl von Empfangsantennenelementen, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren horizontaler Antennenabstand $3D_H$ beträgt.

[0127] Mit anderen Worten sind in Modifikation 1 der Grundanordnung 1 wie in dem Fall der Grundanordnung 1 der vertikale Abstand (hier $3D_v$) zwischen den Sendeantennenreihen und der horizontale Antennenabstand (hier $3D_H$) in jeder Empfangsantennenreihe gleich. Der horizontale Antennenabstand (hier $2D_H$) in jeder Sendeantennenreihe und der vertikale Abstand (hier $2D_v$) zwischen den Empfangsantennenreihen sind gleich.

[0128] Nachfolgend ist die Anzahl der Sendeantennenreihen mit $N_{TxGroup}$ bezeichnet und die Anzahl der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen ist mit $N_{TxGroup_ANT}$ bezeichnet. Die Anzahl der Empfangsantennenreihen ist mit $N_{RxGroup}$ bezeichnet und die Anzahl der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen ist mit $N_{RxGroup_ANT}$ bezeichnet.

[0129] In Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist die Anordnung möglich, bei der die Anzahl der Antennen der MIMO-Gruppe gemäß den Werten von $N_{TxGroup_ANT}$ und $N_{RxGroup}$ erhöht ist.

[0130] Fig. 12 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup_ANT} = 4$ und $N_{RxGroup} = 2$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0131] Fig. 13 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup_ANT} = 2$ und $N_{RxGroup} = 3$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0132] Fig. 14 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup_ANT} = 4$ und $N_{RxGroup} = 3$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0133] In Fig. 12, Fig. 13 und Fig. 14 ist $N_{TxGroup} = 2$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$.

[0134] In jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die in Fig. 12, Fig. 13 bzw. Fig. 14 gezeigt sind, kann die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne 106 und jeder Empfangsantenne 202 auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$, festgelegt sind.

[0135] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in Fig. 12, Fig. 13 bzw. Fig. 14 gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0136] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in Fig. 12, Fig. 13 bzw. Fig. 14 gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxGroup_ANT}$ und $N_{RxGroup}$ zu.

[0137] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $((N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0138] Wenn $N_{TxGroup_ANT}$ und/oder $N_{RxGroup_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn $N_{RxGroup}$ und/oder $N_{TxGroup}$ zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

[0139] Fig. 15 zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem, wenn beispielsweise die MIMO-Gruppenanordnung, in der die Anzahl N_t der Sendeantennen 106 acht und die Anzahl

Na der Empfangsantennen **202** sechs beträgt ($N_{\text{TxGroup_ANT}} = 4$, $N_{\text{TxGroup}} = 2$, $N_{\text{RxGroup}} = 3$, $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 2$, $D_H = 0,5\lambda$, und $D_V = 0,5\lambda$), verwendet wird, wie in **Fig. 14** gezeigt, ein Strahlformungsverfahren als der Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers **214** verwendet wird. Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0140] In **Fig. 15** sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungsfunktionswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen.

[0141] In **Fig. 15** ist ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung im Vergleich zu **Fig. 11A** reduziert sind. Beispielsweise beträgt in **Fig. 15** das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,22.

[0142] Somit ist ersichtlich, dass in dem Fall von **Fig. 14** ($N_{\text{TxGroup_ANT}} = 4$ und $N_{\text{RxGroup}} = 3$) der Effekt der Reduzierung der Nebenkeulen durch Erhöhen von $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ und N_{RxGroup} im Vergleich zu dem Fall von **Fig. 8** ($N_{\text{TxGroup_ANT}} = 2$ und $N_{\text{RxGroup}} = 2$) verbessert wird (siehe beispielsweise FIG. IIA) (im Fall beider Figuren ist $N_{\text{TxGroup}} = 2$ und $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 2$). In **Fig. 15** ist ersichtlich, dass die Spitze der Hauptkeule im Vergleich zu **Fig. 11A** geschärft ist und die Winkelauflösung infolge einer Erhöhung von $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ und N_{RxGroup} verbessert wird.

<Modifikation 2 der Grundanordnung 1>

[0143] Nachfolgend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 1-2A und 1-2B in Modifikation 2 der Grundanordnung 1 beschrieben.

(Anordnungsmethode 1-2A)

[0144] In Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente durch Erhöhen der Anzahl N_{RxGroup} der in der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Empfangsantennenreihen erhöht ist. Wenn hier die Bedingung $N_{\text{RxGroup}} \geq 3$ erfüllt ist, kann die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente in der virtuellen Empfangsgruppe auch durch Erhöhen der Anzahl N_{TxGroup} der Sendeantennenreihen in der Sendegruppenantenne erhöht werden.

[0145] In diesem Fall kann der vertikale Antennenabstand der Sendeantennenreihen beispielsweise auf einen bestimmten Wert (beispielsweise $3D_V$) festgelegt sein; in Abhängigkeit von der Anzahl N_{RxGroup} der Empfangsantennenreihen kann die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe jedoch die Anordnung sein, bei der sich die virtuellen Gruppenelemente überlappen.

[0146] Wenn die Anordnung, die kein überlappendes virtuelles Gruppenelement enthält, auf die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe angewandt wird, kann der folgende Abstand D_{TxGroupV} beispielsweise als die geradzahigen Antennenabstände unter den vertikalen Antennenabständen der Sendeantennenreihen verwendet werden.

[11]

$$D_{\text{TxGroupV}} = D_V (2N_{\text{RxGroup}} - 3) \quad (\text{Ausdruck 11})$$

[0147] Wenn beispielsweise $N_{\text{RxGroup}} = 3$ ist, ist $D_{\text{TxGroupV}} = 3D_V$, und wenn $N_{\text{RxGroup}} = 4$ ist, ist $D_{\text{TxGroupV}} = 5D_V$.

[0148] Beispielsweise beträgt die Anzahl N_{TxGroup} der Sendeantennenreihen drei und die Abstände der drei Sendeantennenreihen sind auf $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV}}\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl N_{TxGroup} der Sendeantennenreihen vier beträgt, sind die Abstände der vier Sendeantennenreihen auf $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV}}, 3D_V\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ der Sendeantennenreihen fünf beträgt, sind die Abstände der fünf Sendeantennenreihen in ähnlicher Weise auf $\{3D_V, D_{\text{TxGroupV}}, 3D_V, D_{\text{TxGroupV}}\}$ festgelegt.

[0149] Fig. 16 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 3$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 16 ist in dem Ausdruck 11 $D_{TxGroupV} = 3D_v$.

[0150] Fig. 17 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 17 ist in dem Ausdruck 11 $D_{TxGroupV} = 5D_v$.

[0151] Wenn die Anordnung mit einem ungleichen Abstand (beispielsweise dem Abstand, der größer als D_H oder D_v ist) um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe enthalten sein kann, kann $D_{TxGroupV}$ ein Wert sein, der größer als der Wert des Ausdrucks 11 ist.

(Anordnungsmethode 1-2B)

[0152] In Modifikation 1 der Grundanordnung 1 ist der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente durch Erhöhen der Anzahl $N_{TxGroup_ANT}$ der in jeder der Sendeantennenreihen der Sendegruppenantenne enthaltenen Sendeantennen erhöht ist. Wenn hier die Bedingung $N_{TxGroup_ANT} \geq 3$ erfüllt ist, kann die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente in der virtuellen Empfangsgruppe auch durch Erhöhen der Anzahl $N_{RxGroup_ANT}$ der in jeder Empfangsantennenreihe in der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Empfangsantennen erhöht werden.

[0153] In diesem Fall kann der horizontale Antennenabstand von jeder der Empfangsantennenreihen beispielsweise auf einen bestimmten Wert (beispielsweise $3D_H$) festgelegt sein; in Abhängigkeit von der Anzahl $N_{TxGroup_ANT}$ der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen kann jedoch die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die Anordnung sein, bei der sich die virtuellen Gruppenelemente überlappen.

[0154] Wenn die Anordnung, die kein überlappendes virtuelles Gruppenelement enthält, auf die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe angewandt wird, kann der folgende Abstand D_{RxAnth} beispielsweise als die geradzahigen Antennenabstände unter den horizontalen Antennenabständen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen verwendet werden.

[12]

$$D_{RxAnth} = D_H (2N_{TxGroup_Ant} - 3) \quad (\text{Ausdruck 12})$$

[0155] Wenn beispielsweise $N_{TxGroup_ANT} = 3$ ist, ist $D_{RxAnth} = 3D_H$, und wenn $N_{TxGroup_ANT} = 4$ ist, ist $D_{RxAnth} = 5D_H$.

[0156] Wenn beispielsweise die Anzahl $N_{RxGroup_ANT}$ der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen drei beträgt, sind die Antennenabstände der drei Empfangsantennen auf $\{3D_H, D_{RxAnth}\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{RxGroup_ANT}$ der Empfangsantennen vier beträgt, sind die Antennenabstände der vier Empfangsantennen auf $\{3D_H, D_{RxAnth}, 3D_H\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{RxGroup_ANT}$ der Empfangsantennen fünf beträgt, sind die Antennenabstände der fünf Empfangsantennen in ähnlicher Weise auf $\{3D_H, D_{RxAnth}, 3D_H, D_{RxAnth}\}$ festgelegt.

[0157] Fig. 18 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 3$, $N_{RxGroup} = 2$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 18 ist in dem Ausdruck 12 $D_{RxAnth} = 3D_H$.

[0158] Fig. 19 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 2$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 19 ist in dem Ausdruck 12 $D_{RxAnth} = 5D_H$.

[0159] Wenn die Anordnung mit einem ungleichen Abstand (beispielsweise dem Abstand, der größer als D_H oder D_v ist) um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe enthalten sein kann, kann D_{RxAnth} ein Wert sein, der größer als der Wert des Ausdrucks 12 ist.

[0160] Vorstehend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 1-2A und 1-2B in Modifikation 2 der Grundanordnung 1 beschrieben.

[0161] Beispielsweise können in jeder der Sende-Empfangs-Antennenanordnungen (beispielsweise MIMO-Gruppenanordnungen), die jeweils in **Fig. 16** bis **Fig. 19** gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0162] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in **Fig. 16** bis **Fig. 19** gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0163] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in **Fig. 16** bis **Fig. 19** gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxGroup}$, $N_{TxGroup_ANT}$, $N_{RxGroup}$ und $N_{RxGroup_ANT}$ zu.

[0164] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $((N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V angeordnet. Wenn die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, zunehmen, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0165] Wenn $N_{TxGroup_ANT}$ und/oder $N_{RxGroup_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn $N_{TxGroup}$ und/oder $N_{RxGroup}$ zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

[0166] In Modifikation 2 der Grundanordnung 1 ist auch eine Anordnung möglich, die eine Kombination der Anordnungsmethode 1-2A und der Anordnungsmethode 1-2B ist. **Fig. 20** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 20** ist in dem Ausdruck 11 $D_{TxGroupV} = 5D_H$ und in dem Ausdruck 12 $D_{RxAntH} = 5D_H$. Mit dieser Konfiguration wird der Effekt der Kombination der Anordnungsmethode 1-2A und der Anordnungsmethode 1-2B erhalten.

<Modifikation 3 der Grundanordnung 1>

[0167] Nachfolgend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 1-3A, 1-3B und 1-3C in Modifikation 3 der Grundanordnung 1 beschrieben.

(Anordnungsmethode 1-3A)

[0168] In der Grundanordnung 1 ist der Fall beschrieben, in welchem die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen in der Sendegruppenantenne gleich sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration können die horizontalen Anordnungspositionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen unter den Sendeantennenreihen variiert sein.

[0169] Beispielsweise können in der Sendegruppenantenne die in jeder aus der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen so angeordnet sein, dass die horizontalen Positionen um D_H verschoben sind.

[0170] Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen nach rechts oder nach links verschoben werden.

[0171] **Fig. 21** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1 und Tx#3) bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise

Tx#2 und Tx#4) in der Sendegruppenantenne um D_H nach rechts verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0172] In **Fig. 21** sind die horizontalen Positionen von Tx#1 und Tx#2 um D_H variiert. Die horizontalen Positionen von Tx#3 und Tx#4 sind um D_H variiert.

(Anordnungsmethode 1-3B)

[0173] In der Grundanordnung 1 ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen in der Empfangsgruppenantenne gleich sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration können die horizontalen Anordnungspositionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen unter den Empfangsantennenreihen variiert sein.

[0174] Beispielsweise können in der Empfangsgruppenantenne die in jeder aus der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sein, dass die horizontalen Positionen um D_H verschoben sind.

[0175] Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen nach rechts oder nach links verschoben werden.

[0176] **Fig. 22** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#3) bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#4) in der Empfangsgruppenantenne um D_H nach rechts verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0177] In **Fig. 22** sind die horizontalen Positionen von Rx#1 und Rx#2 um D_H variiert. Die horizontalen Positionen von Rx#3 und Rx#4 sind um D_H variiert.

(Anordnungsmethode 1-3C)

[0178] Die Anordnungsmethode 1-3C ist eine Methode, die eine Kombination der Anordnungsmethode 1-3A und der Anordnungsmethode 1-3B ist.

[0179] Beispielsweise sind die Sendeantennen in der Sendegruppenantenne so angeordnet, dass die horizontalen Positionen zwischen der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe um D_H verschoben sind. In ähnlicher Weise sind die Empfangsantennen in der Empfangsgruppenantenne so angeordnet, dass die horizontalen Positionen zwischen der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe um D_H verschoben sind.

[0180] Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann beispielsweise eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen nach rechts oder nach links verschoben werden. Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann beispielsweise eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen nach rechts oder nach links verschoben werden.

[0181] **Fig. 23** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Anordnungsmethode 1-3C. In **Fig. 23** sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1 und Tx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2 und Tx#4) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 23** sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#4) um D_H nach links verschoben sind.

[0182] **Fig. 24** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Anordnungsmethode 1-3C. In

Fig. 24 sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1 und Tx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2 und Tx#4) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 24** sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#4) um D_H nach rechts verschoben sind.

[0183] Beispielsweise sind im Vergleich zu der Anordnung (beispielsweise **Fig. 24**), bei der die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung zwischen den Empfangsantennenreihen und den Sendeantennenreihen variiert ist, die Elemente der virtuellen Empfangsgruppe in der Anordnung (beispielsweise **Fig. 23**), bei der die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung zwischen den Empfangsantennenreihen und den Sendeantennenreihen gleich ist, um den Mittelpunkt der Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe dichter angeordnet, sodass die Eignung weiter erhöht ist.

[0184] Vorstehend ist jede der Anordnungsmethoden 1-3A bis 1-3C beschrieben.

[0185] Beispielsweise können in jeder der Sende-Empfangs-Antennenanordnungen (beispielsweise MIMO-Gruppenanordnungen), die jeweils in **Fig. 21** bis **Fig. 24** gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe von etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0186] Mit dieser Konfiguration kann in Modifikation 3 der Grundanordnung 1 beispielsweise eine Antenne, die eine Untergruppe verwendet, die aus vier Elementen besteht, bei denen flache Patchantennen in einer Zwei-mal-zwei-Matrix angeordnet sind (wobei die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 2D_v$ ist), wie in **Fig. 9A** gezeigt, angewendet werden (nicht gezeigt).

[0187] Der vertikale Abstand zwischen den Sendeantennenreihen beträgt $3D_v$, der horizontale Abstand zwischen den Sendeantennen in jeder Sendeantennenreihe beträgt $2D_H$ und der vertikale Abstand ist in der Sendegruppenantenne größer als der horizontale Abstand. Aus diesem Grund kann in Modifikation 3 der Grundanordnung 1 beispielsweise eine Antenne, die eine Untergruppe verwendet, die aus sechs Elementen besteht, bei denen flache Patchantennen in einer Zwei-mal-drei-Matrix angeordnet sind (wobei die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 3D_v$ ist), wie in **Fig. 9B** gezeigt, angewendet werden.

[0188] In Modifikation 3 der Grundanordnung 1 sind in mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen oder der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen voneinander verschoben. Aus diesem Grund kann die Elementgröße der Untergruppe in der Längsrichtung in Modifikation 3 der Grundanordnung 1 von beliebiger Größe sein, wenn die Elementgröße der Untergruppe in der Querrichtung W_{ANT} weniger als D_H beträgt.

[0189] Beispielsweise zeigt **Fig. 25A** ein Beispiel einer Untergruppe, bei der flache Patchantennen in einer Ein-mal-acht-Matrix angeordnet sind. Die Konfiguration der Untergruppe ist nicht auf die in **Fig. 25A** gezeigte Konfiguration beschränkt.

[0190] **Fig. 25B** zeigt ein Beispiel in dem Fall, in welchem die in **Fig. 25A** gezeigte Untergruppe auf die in **Fig. 23** oder **Fig. 24** gezeigte Sendeantennengruppe angewendet ist. Zusätzlich zu der in **Fig. 25B** gezeigten Sendegruppenantenne können passive Elemente (Blindelemente) angeordnet sein, wie in **Fig. 25C** gezeigt. Mit den passiven Elementen wird der Einfluss der Kopplung von Antenne zu Antenne benachbarter Antennen unter den Antennen ausgeglichen, sodass die Richtcharakteristik jeder der Sendeantennen (Tx#1 bis Tx#4) ausgeglichen wird. Wenn passive Elemente installiert sind, können beispielsweise die Einflüsse der elektrischen Eigenschaften von Antennenstrahlung, Impedanzanpassung, Trennung einheitlich sein. Die Anordnung der passiven Elemente ist nicht auf **Fig. 25C** beschränkt, und passive Elemente können an Positionen und in Größen angeordnet sein, welche die anderen Antennen physisch nicht stören.

[0191] Auf diese Weise wird in der Antennenanordnung gemäß Modifikation 3 der Grundanordnung 1 der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert und die Erfassungsleistung (beispielsweise Erfassungsreichweite) der Radar-Vorrichtung **10** verbessert, wenn die Antenne mit einer Untergruppenkonfiguration verwendet wird.

[0192] In Modifikation 3 der Grundanordnung 1 sind die virtuellen Gruppenelemente der virtuellen Empfangsgruppe ohne jegliche Überlappung angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

(Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1)

[0193] Modifikation 3 der Grundanordnung 1 kann mit Modifikation 1 der Grundanordnung 1 kombiniert sein.

[0194] Beispielsweise können in der Anordnung der Sendegruppenantenne gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 1 die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen so angeordnet sein, dass sie zwischen den Sendeanennenreihen um D_H verschoben sind.

[0195] In ähnlicher Weise können beispielsweise in der Konfiguration der Empfangsgruppenantenne gemäß Modifikation 1 der Grundanordnung 1 die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sein, dass sie zwischen den Empfangsantennenreihen um D_H verschoben sind.

[0196] Fig. 26 bis Fig. 30 zeigen Beispiele der Antennenanordnung, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1 ist.

[0197] Fig. 26 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeanennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 3$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0198] Fig. 27 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeanennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 3$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0199] Fig. 28 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeanennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 3$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist, die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 28 sind die in der zweiten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8) um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 28 sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#5) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3 und Rx#6) um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 28 sind die in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#4) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0200] Fig. 29 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeanennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 3$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist, die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 29 sind die in der zweiten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8) um D_H nach rechts verschoben sind. In Fig. 29 sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#5) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3 und Rx#6) um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 29 sind die in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#4) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0201] Beispielsweise können in jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die jeweils in **Fig. 26** bis **Fig. 29** gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0202] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in **Fig. 26** bis **Fig. 29** gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0203] Selbst wenn die horizontalen Positionen der Sendeantennen so angeordnet sind, dass sie zwischen der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe in der Sendegruppenantenne um D_H verschoben sind, oder wenn die horizontalen Positionen der Empfangsantennen so angeordnet sind, dass sie zwischen der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe in der Empfangsgruppenantenne um D_H verschoben sind, sind die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, nimmt beispielsweise in Abhängigkeit von $N_{TxGroup_ANT}$ und $N_{RxGroup}$ zu.

[0204] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $((N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0205] Wenn $N_{TxGroup_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn $N_{RxGroup}$ zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

[0206] Wenn die Anzahl $N_{RxGroup}$ der Empfangsantennenreihen größer oder gleich drei ist, ist in **Fig. 28** und **Fig. 29** der Fall gezeigt, in welchem die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sind, dass sie in einer bestimmten Richtung (nach rechts oder nach links) verschoben sind. Die Richtung der Verschiebung der horizontalen Positionen der Empfangsantennen ist nicht auf diese Richtung beschränkt. Wenn beispielsweise die Anzahl $N_{RxGroup}$ der Empfangsantennenreihen größer oder gleich drei ist, kann die Richtung der Verschiebung der horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen nach rechts oder nach links für jede Empfangsantennenreihe geändert werden.

[0207] **Fig. 30** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 3$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist, die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 30** sind die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 30** sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#5) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3 und Rx#6) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 30** sind die in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#4) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach rechts verschoben sind.

[0208] Auch bei der Antennenanordnung von **Fig. 30** sind die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, nimmt beispielsweise in Abhängigkeit von $N_{TxGroup_ANT}$ und $N_{RxGroup}$ zu. Beispielsweise sind $((N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in

der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet. Wenn die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, zunehmen, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

(Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2)

[0209] Modifikation 3 der Grundanordnung 1 kann mit Modifikation 2 der Grundanordnung 1 kombiniert sein.

[0210] Beispielsweise können in der Anordnung der Sendegruppenantenne gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 1 die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen so angeordnet sein, dass sie zwischen den Sendeanennenreihen um D_H verschoben sind.

[0211] In ähnlicher Weise können beispielsweise in der Anordnung der Empfangsgruppenantenne gemäß Modifikation 2 der Grundanordnung 1 die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sein, dass sie zwischen den Empfangsantennenreihen um D_H verschoben sind.

[0212] Wenn die Anzahl $N_{TxGroup}$ der Sendeanennenreihen größer oder gleich drei ist, können die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen so angeordnet sein, dass sie in einer bestimmten Richtung (nach rechts oder nach links) verschoben sind, und die Richtung der Verschiebung der horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen nach links oder nach rechts kann für jede Sendeanennenreihe geändert werden.

[0213] Fig. 31 und Fig. 32 zeigen Beispiele der Antennenanordnung, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 ist.

[0214] Fig. 31 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeanennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup-ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup-ANT} = 2$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe und jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 31 ist in dem Ausdruck $11 D_{TxGroupV} = 5D_v$.

[0215] In Fig. 31 sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#3, Tx#7, Tx#11 und Tx#15) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#4, Tx#8, Tx#12 und Tx#16) um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 31 sind die in der dritten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#2, Tx#6, Tx#10 und Tx#14) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 31 sind die in der vierten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#1, Tx#5, Tx#9 und Tx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen um D_H nach links verschoben sind.

[0216] In Fig. 31 sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3 und Rx#7) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#4 und Rx#8) um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 31 sind die in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#6) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 31 sind die in der vierten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#5) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0217] Fig. 32 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeanennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup-ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 2$ und $N_{RxGroup-ANT} = 4$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Sendeanennenreihe und jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 32 ist in dem Ausdruck $12 D_{RxGroupH} = 5D_H$.

[0218] In Fig. 32 sind die in der zweiten Sendeanennenreihe enthaltenen Sendeanennen (beispielsweise Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeanennenreihe ent-

haltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 32** sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1, Rx#3, Rx#5 und Rx#7) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2, Rx#4, Rx#6 und Rx#8) um D_H nach links verschoben sind.

[0219] Beispielsweise können in jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die in **Fig. 31** bzw. **Fig. 32** gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** eine Größe größer oder gleich 1λ sein, wenn D_H und D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0220] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 31** bzw. **Fig. 32** gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, so dass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0221] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 31** bzw. **Fig. 32** gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Beispielsweise nimmt die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, in Abhängigkeit von $N_{TxGroup}$, $N_{TxGroup_ANT}$, $N_{RxGroup}$ und $N_{RxGroup_ANT}$ zu.

[0222] Beispielsweise sind $((N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0223] Wenn $N_{TxGroup_ANT}$ und/oder $N_{RxGroup_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn $N_{TxGroup}$ und/oder $N_{RxGroup}$ zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

[0224] Modifikation 3 der Grundanordnung 1 kann beispielsweise eine Anordnung aufweisen, bei der in der Anordnung, die eine Kombination der Anordnungsmethoden A und B in Modifikation 2 der Grundanordnung 1 ist, die in **Fig. 20** gezeigt ist, die horizontalen Positionen der Antennen zwischen den Sendeantennenreihen und zwischen den Empfangsantennenreihen in jeder Sendegruppenantenne und jeder Empfangsgruppenantenne um D_H verschoben sind.

[0225] **Fig. 33** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe und jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 33** ist in dem Ausdruck 11 $D_{TxGroupV} = 5D_V$ und in dem Ausdruck 12 $D_{RxGroupH} = 5D_H$.

[0226] In **Fig. 33** sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#3, Tx#7, Tx#11 und Tx#15) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#4, Tx#8, Tx#12 und Tx#16) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 33** sind die in der dritten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2, Tx#6, Tx#10 und Tx#14) in der horizontalen Richtung bezüglich der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen an den gleichen Positionen angeordnet. In **Fig. 33** sind die in der vierten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1, Tx#5, Tx#9 und Tx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0227] In **Fig. 33** sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3, Rx#7, Rx#11 und Rx#15) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#4, Rx#8, Rx#12 und Rx#16) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 33** sind die in der dritten Empfangsantennen-

reihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2, Rx#6, Rx#10 und Rx#14) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach rechts verschoben sind. In **Fig. 33** sind die in der vierten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1, Rx#5, Rx#9 und Rx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0228] Mit dieser Konfiguration wird zusätzlich zu dem durch Modifikation 3 der Grundanordnung 1 erhaltenen Effekt der Effekt der Kombination der Anordnungsmethoden 1-2A und 1-2B in Modifikation 2 der Grundanordnung 1 erhalten.

<Grundanordnung 2>

[0229] **Fig. 34** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Grundanordnung 2.

(1) Anordnung der Sende-Empfangs-Antenne

[0230] In **Fig. 34** beträgt die Anzahl N_t der Sendeantennen **106** in der Sendegruppenantenne vier (Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) und die Anzahl N_a der Empfangsantennen **202** in der Empfangsgruppenantenne beträgt vier (Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4).

[0231] Die in **Fig. 34** gezeigte Sendegruppenantenne besteht aus einer ersten Sendeantennenreihe (in **Fig. 34** Tx#2 und Tx#4) und einer zweiten Sendeantennenreihe (in **Fig. 34** Tx#1 und Tx#3). Jede Sendeantennenreihe enthält zwei Sendeantennenelemente, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren Antennenabstand in der horizontalen Richtung (in **Fig. 34** der Querrichtung) $3D_H$ beträgt. Der Abstand in der vertikalen Richtung (in **Fig. 34** der Längsrichtung) zwischen der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe beträgt beispielsweise $3D_v$.

[0232] Die in **Fig. 34** gezeigte Empfangsgruppenantenne besteht aus einer ersten Empfangsantennenreihe (in **Fig. 34** Rx#2 und Rx#4) und einer zweiten Empfangsantennenreihe (in **Fig. 34** Rx#1 und Rx#3). Jede Empfangsantennenreihe enthält zwei Empfangsantennenelemente, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren horizontaler Antennenabstand $2D_H$ beträgt. Der vertikale Abstand zwischen der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe beträgt beispielsweise $2D_v$.

[0233] Auf diese Weise besteht die Sendegruppenantenne in der in **Fig. 34** gezeigten Sende-Empfangs-Antennenanordnung aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen, und jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen enthält beispielsweise eine Vielzahl von Sendeantennen, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand (hier $3D_H$), der ein ganzzahliges Vielfaches von D_H ist, angeordnet sind. Die Vielzahl von Sendeantennenreihen sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $3D_v$ angeordnet. Mit anderen Worten sind der vertikale Antennenabstand zwischen den Sendeantennenreihen (in **Fig. 34** $3D_v$) und der horizontale Antennenabstand in jeder Sendeantennenreihe (in **Fig. 34** $3D_H$) gleich.

[0234] In der in **Fig. 34** gezeigten Sende-Empfangs-Antennenanordnung besteht die Empfangsgruppenantenne aus einer Vielzahl von Empfangsantennenreihen, und jede der Vielzahl von Empfangsantennenreihen enthält beispielsweise eine Vielzahl von Empfangsantennen, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand (hier $2D_H$), der ein ganzzahliges Vielfaches von D_H ist, angeordnet sind. Die Vielzahl von Empfangsantennenreihen sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $2D_v$ angeordnet. Mit anderen Worten sind der horizontale Antennenabstand in jeder Empfangsantennenreihe (in **Fig. 34** $2D_H$) und der vertikale Antennenabstand zwischen den Empfangsantennenreihen (in **Fig. 34** $2D_v$) gleich.

[0235] In **Fig. 34** unterscheidet sich der Antennenabstand der Sendeantennen **106** (in **Fig. 34** $3D_H$) von dem Antennenabstand der Empfangsantennen **202** (in **Fig. 34** $2D_H$), und die Differenz beträgt beispielsweise D_H . In **Fig. 34** ist die Differenz zwischen dem Abstand $3D_v$ (dem Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches von D_v ist), in dem die Vielzahl von Sendeantennenreihen angeordnet ist, und dem Abstand $2D_v$ (dem Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches von D_v ist), in dem die Vielzahl von Empfangsantennenreihen angeordnet ist, D_v .

[0236] Beispielsweise ist angenommen, dass die in **Fig. 34** gezeigte horizontale Richtung (Querrichtung) der X-Achse entspricht und die in **Fig. 34** gezeigte vertikale Richtung (Längsrichtung) der Y-Achsen-Richtung entspricht.

[0237] In dem Fall der in **Fig. 34** gezeigten Antennenanordnung sind die Positionskoordinaten von jeder der Sendeantennen **106**, welche die Sendegruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{T\#2}, Y_{T\#2}) = (X_{T\#1}, Y_{T\#1} + 3D_v)$ der Sendeantenne Tx#2, die Positionskoordinaten $(X_{T\#3}, Y_{T\#3}) = (X_{T\#1} + 3D_H, Y_{T\#1})$ der Sendeantenne Tx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{T\#4}, Y_{T\#4}) = (X_{T\#1} + 3D_H, Y_{T\#1} + 3D_v)$ der Sendeantenne Tx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{T\#1}, Y_{T\#1})$ der Sendeantenne Tx#1 ausgedrückt.

[0238] In ähnlicher Weise sind die Positionskoordinaten von jeder der Empfangsantennen **202**, welche die Empfangsgruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{R\#2}, Y_{R\#2}) = (X_{R\#1}, Y_{R\#1} + 2D_v)$ der Empfangsantenne Rx#2, die Positionskoordinaten $(X_{R\#3}, Y_{R\#3}) = (X_{R\#1} + 2D_H, Y_{R\#1})$ der Empfangsantenne Rx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{R\#4}, Y_{R\#4}) = (X_{R\#1} + 2D_H, Y_{R\#1} + 2D_v)$ der Empfangsantenne Rx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{R\#1}, Y_{R\#1})$ der Empfangsantenne Rx#1 ausgedrückt.

(2) Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe

[0239] Die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe (virtuelle Antennen VA# 1 bis VA# 16), die entsprechend der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung, die in **Fig. 34** gezeigt ist, vorgesehen ist, weist die folgenden Eigenschaften auf.

[0240] Mit der Anordnung der Sendegruppenantenne und der Anordnung der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 34** gezeigt sind, ist jeder Satz von Positionskoordinaten $(X_{v\#1}, Y_{v\#1})$ bis $(X_{v\#16}, Y_{v\#16})$ der virtuellen Empfangsgruppen VA#1 bis VA#16 wie folgt beschrieben. Hier ist VA#1 als der Positionsbezugspunkt (0, 0) der virtuellen Empfangsgruppe ausgedrückt.

(0,0), (0, 3D_v), (3D_H, 0), (3D_H, 3D_v), (0, 2D_v), (0, 5D_v), (3D_H, 2D_v), (3D_H, 5D_v), (2D_H, 0), (2D_H, 3D_v), (5D_H, 0), (5D_H, 3D_v), (2D_H, 2D_v), (2D_H, 5D_v), (5D_H, 2D_v) und (5D_H, 5D_v)

[0241] Auf diese Weise sind in der in **Fig. 34** gezeigten Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die Elemente der virtuellen Empfangsgruppe ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet. Aus diesem Grund ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass sich die Hauptkeule verengt und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0242] Wie in **Fig. 34** gezeigt, sind die virtuellen Gruppenelemente VA#4, VA#7, VA#10 und VA#13, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Beispielsweise sind in **Fig. 34**, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_v auf etwa 0,5λ festgelegt sind, die virtuellen Gruppenelemente VA#4, VA#7, VA#10 und VA#13 in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H = 0,5λ und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v = 0,5λ angeordnet. Mit dieser Konfiguration werden die Gitterkeulen wie in dem Fall der Grundanordnung 1 (siehe beispielsweise **Fig. 8**) reduziert.

[0243] Beispielsweise können in der in **Fig. 34** gezeigten MIMO-Gruppenanordnung die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich 1λ ausgelegt sein, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_v auf etwa 0,5λ festgelegt sind.

[0244] Mit dieser Konfiguration kann beispielsweise eine Antenne, die vier Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Zwei-mal-zwei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind (wobei die Antennenbreite W_{ANT} < 2D_H und die Antennenhöhe H_{ANT} < 2D_v ist), wie in **Fig. 9A** gezeigt, auf jedes Antennenelement von mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 34** gezeigt sind, angewendet werden.

[0245] In **Fig. 34** beträgt in der Sendegruppenantenne der horizontale Antennenabstand 3D_H und der vertikale Antennenabstand beträgt 3D_v. Mit anderen Worten sind die Antennenabstände (3D_H und 3D_v) der in **Fig. 34** gezeigten Sendegruppenantenne größer als die Antennenabstände (2D_H und 2D_v) der Empfangsgruppenantenne. Der horizontale Antennenabstand (3D_H) der in **Fig. 34** gezeigten Sendegruppenantenne ist größer als der horizontale Antennenabstand (beispielsweise 2D_H in **Fig. 8**) der Sendegruppenantenne in der Grundanordnung 1.

[0246] Somit kann beispielsweise eine Antenne, die neun Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Drei-mal-drei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind, wie in **Fig. 35** gezeigt, und in der Längsrichtung und in der Querrichtung breiter ist als die in **Fig. 9A** gezeigte Untergruppe mit vier Elementen (wobei die Antennenbreite W_{ANT} < 3D_H und die Antennenhöhe H_{ANT} < 3D_v ist), auf die in **Fig. 34** gezeigte Sendegruppenantenne angewendet werden.

[0247] Der Richtungsschätzer **214** führt eine Richtungsschätzungsverarbeitung in der horizontalen Richtung und in der vertikalen Richtung unter Verwendung von Empfangssignalen der virtuellen Empfangsgruppe durch, die von der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung (siehe beispielsweise **Fig. 34**) erhalten ist. Beispielsweise weist die in **Fig. 34** gezeigte virtuelle Empfangsgruppe der Grundanordnung 2 eine ähnliche Konfiguration wie diejenige der virtuellen Empfangsgruppe der Grundanordnung 1 (siehe beispielsweise **Fig. 8**) auf, sodass eine ähnliche Leistung erhalten wird.

[0248] Wie oben beschrieben, kann, wenn die in **Fig. 34** gezeigte MIMO-Gruppenanordnung verwendet wird, die Anordnung so ausgeführt werden, dass der horizontale und vertikale Antennenabstand in der virtuellen Empfangsgruppe einen Zwischenelementabstand von etwa $0,5\lambda$ enthalten, auch wenn die Elementgröße jeder Antenne in der Längsrichtung oder in der Querrichtung, die für die Sendegruppenantenne und die Empfangsgruppenantenne verwendet wird, etwa 1λ beträgt, sodass die Gitterkeulen reduziert werden. Wie in **Fig. 34** gezeigt, sind beispielsweise die virtuellen Gruppenelemente der virtuellen Empfangsgruppe ohne jegliche Überlappung angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0249] Eine Antenne mit einer Untergruppenkonfiguration, deren Elementgröße in der Längsrichtung und in der Querrichtung mindestens etwa 1λ beträgt, kann als jedes der Antennenelemente zur Verwendung in den Sendeantennen **106** und den Empfangsantennen **202** verwendet werden. Somit wird der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert, sodass die Erfassungsleistung (beispielsweise Erfassungsreichweite) der Radar-Vorrichtung **10** verbessert wird.

[0250] In der Grundanordnung 2 kann der Antennenabstand in einer beliebigen aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne (in **Fig. 34** der Sendegruppenantenne) größer eingestellt sein als in der anderen. Mit dieser Konfiguration kann in einer der Gruppenantennen eine Untergruppe mit einer größeren Größe angewendet werden, sodass der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert wird.

<Modifikation 1 der Grundanordnung 2>

[0251] In der Grundanordnung 2 (beispielsweise **Fig. 34**) ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der Sendeantennen **106** vier ($N_t = 4$) und die Anzahl der Empfangsantennen **202** vier ($N_a = 4$) beträgt. Die Anzahl N_t der Sendeantennen und die Anzahl N_a der Empfangsantennen sind nicht auf diese Zahlen beschränkt.

[0252] In Modifikation 1 der Grundanordnung 2 besteht eine Sendegruppenantenne wie in dem Fall der Grundanordnung 2 (beispielsweise **Fig. 34**) aus einer ersten Sendeantennenreihe und einer zweiten Sendeantennenreihe in beispielsweise einem vertikalen Abstand von $3D_v$. Jede Sendeantennenreihe enthält wie in dem Fall der Grundanordnung 2 zwei Sendeantennenelemente, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren horizontaler Antennenabstand $3D_H$ beträgt.

[0253] In Modifikation 1 der Grundanordnung 2 besteht eine Empfangsgruppenantenne wie in dem Fall der Grundanordnung 2 aus $N_{RxGroup}$ Empfangsantennenreihen (beispielsweise einer ersten bis $N_{RxGroup}$ -ten Empfangsantennenreihe) in beispielsweise einem vertikalen Abstand von $2D_v$. Jede Empfangsantennenreihe enthält $N_{RxGroup_ANT}$ Empfangsantennenelemente, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren horizontaler Antennenabstand $2D_H$ beträgt.

[0254] In Modifikation 1 der Grundanordnung 2 ist die Anordnung möglich, bei der die Anzahl der Antennen der MIMO-Gruppe (beispielsweise die Anzahl N_a der Empfangsantennen) gemäß den Werten von $N_{RxGroup}$ und $N_{RxGroup_ANT}$ erhöht ist.

[0255] **Fig. 36** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{RxGroup} = 3$ und $N_{RxGroup_ANT} = 2$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0256] **Fig. 37** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{RxGroup} = 2$ und $N_{RxGroup_ANT} = 3$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0257] **Fig. 38** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{\text{RxGroup}} = 3$ und $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 4$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0258] In **Fig. 36**, **Fig. 37** und **Fig. 38** ist $N_{\text{TxGroup}} = 2$ und $N_{\text{TxGroup_ANT}} = 2$.

[0259] In jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die in **Fig. 36**, **Fig. 37** bzw. **Fig. 38** gezeigt sind, kann die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_V beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0260] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 36**, **Fig. 37** bzw. **Fig. 38** gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0261] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 36**, **Fig. 37** bzw. **Fig. 38** gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von N_{RxGroup} und $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ zu.

[0262] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $((N_{\text{RxGroup_ANT}} \times N_{\text{TxGroup_ANT}}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{\text{RxGroup}} \times N_{\text{TxGroup_ANT}}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0263] Wenn $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn N_{RxGroup} zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

<Modifikation 2 der Grundanordnung 2>

[0264] Nachfolgend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 2-2A und 2-2B in Modifikation 2 der Grundanordnung 2 beschrieben.

(Anordnungsmethode 2-2A)

[0265] In Modifikation 1 der Grundanordnung 2 ist der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente durch Erhöhen der Anzahl N_{RxGroup} der in der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Empfangsantennenreihen erhöht ist. Wenn hier die Bedingung $N_{\text{RxGroup}} \geq 3$ erfüllt ist, kann die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente in der virtuellen Empfangsgruppe auch durch Erhöhen der Anzahl N_{TxGroup} der Sendeantennenreihen in der Sendegruppenantenne erhöht werden.

[0266] In diesem Fall kann der vertikale Antennenabstand der Sendeantennenreihen beispielsweise auf einen bestimmten Wert (beispielsweise $3D_V$) festgelegt sein; in Abhängigkeit von der Anzahl N_{RxGroup} der Empfangsantennenreihen kann die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe jedoch die Anordnung sein, bei der sich die virtuellen Gruppenelemente überlappen.

[0267] Wenn die Anordnung, die kein überlappendes virtuelles Gruppenelement enthält, auf die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe angewandt wird, kann der folgende Abstand $D_{\text{TxGroup}V2}$ beispielsweise als die geradzahigen Antennenabstände unter den vertikalen Antennenabständen der Sendeantennenreihen verwendet werden.

[13]

$$D_{\text{TxGroup}V2} = D_V (2N_{\text{RxGroup}} - 3) \quad (\text{Ausdruck 13})$$

[0268] Wenn beispielsweise $N_{\text{RxGroup}} = 3$ ist, ist $D_{\text{TxGroup}V_2} = 3D_v$, und wenn $N_{\text{RxGroup}} = 4$ ist, ist $D_{\text{TxGroup}V_2} = 5D_H$.

[0269] Beispielsweise beträgt die Anzahl N_{TxGroup} der Sendeantennenreihen drei und die Abstände der drei Sendeantennenreihen sind auf $\{3D_v, D_{\text{TxGroup}V_2}\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl N_{TxGroup} der Sendeantennenreihen vier beträgt, sind die Abstände der vier Sendeantennenreihen auf $\{3D_v, D_{\text{TxGroup}V_2}, 3D_v\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ der Sendeantennenreihen fünf beträgt, sind die Abstände der fünf Sendeantennenreihen auf $\{3D_v, D_{\text{TxGroup}V_2}, 3D_v, D_{\text{TxGroup}V_2}\}$ festgelegt.

[0270] Fig. 39 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{\text{TxGroup}} = 4$, $N_{\text{TxGroup_ANT}} = 2$, $N_{\text{RxGroup}} = 3$ und $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 2$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 39 ist in dem Ausdruck 13 $D_{\text{TxGroup}V_2} = 3D_v$.

[0271] Fig. 40 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{\text{TxGroup}} = 4$, $N_{\text{TxGroup_ANT}} = 4$, $N_{\text{RxGroup}} = 4$ und $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 2$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 40 ist in dem Ausdruck 13 $D_{\text{TxGroup}V_2} = 5D_v$.

[0272] Wenn die Anordnung mit einem ungleichen Abstand (beispielsweise dem Abstand, der größer als D_H oder D_v ist) um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe enthalten sein kann, kann $D_{\text{TxGroup}V_2}$ ein Wert sein, der größer als der Wert des Ausdrucks 13 ist.

(Anordnungsmethode 2-2B)

[0273] In Modifikation 1 der Grundanordnung 2 ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente durch Erhöhen der Anzahl $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ der in jeder der Empfangsantennenreihen der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Empfangsantennen erhöht ist. Wenn hier die Bedingung $N_{\text{RxGroup_ANT}} \geq 3$ erfüllt ist, kann die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente in der virtuellen Empfangsgruppe auch durch Erhöhen der Anzahl $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen in der Sendegruppenantenne erhöht werden.

[0274] In diesem Fall kann der horizontale Antennenabstand der Empfangsantennenreihen beispielsweise auf einen bestimmten Wert (beispielsweise $3D_H$) festgelegt sein; in Abhängigkeit von der Anzahl $N_{\text{RxGroup_ANT}}$ der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen kann jedoch die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die Anordnung sein, bei der sich die virtuellen Gruppenelemente überlappen.

[0275] Wenn die Anordnung, die kein überlappendes virtuelles Gruppenelement enthält, auf die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe angewandt wird, kann der folgende Abstand beispielsweise als die geradzah-
ligen Antennenabstände unter den horizontalen Antennenabständen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen verwendet werden.

[14]

$$D_{\text{TxAnth}} = D_H (2N_{\text{RxGroup_Ant}} - 3) \quad (\text{Ausdruck 14})$$

[0276] Wenn beispielsweise $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 3$ ist, ist $D_{\text{TxAnth}} = 3D_H$, und wenn $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 4$ ist, ist $D_{\text{TxAnth}} = 5D_H$.

[0277] Wenn beispielsweise die Anzahl $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen drei beträgt, sind die Antennenabstände der drei Sendeantennen auf $\{3D_H, D_{\text{TxAnth}}\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ der Sendeantennen vier beträgt, sind die Antennenabstände der vier Sendeantennen auf $\{3D_H, D_{\text{TxAnth}}, 3D_H\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{\text{TxGroup_ANT}}$ der Sendeantennen fünf beträgt, sind die Antennenabstände der fünf Sendeantennen auf $\{3D_H, D_{\text{TxAnth}}, 3D_H, D_{\text{TxAnth}}\}$ festgelegt.

[0278] Fig. 41 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{\text{TxGroup}} = 2$, $N_{\text{TxGroup_ANT}} = 4$, $N_{\text{RxGroup}} = 2$ und $N_{\text{RxGroup_ANT}} = 3$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 41 ist in dem Ausdruck 14 $D_{\text{TxAnth}} = 3D_H$.

[0279] **Fig. 42** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 2$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 2$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 41** ist in dem Ausdruck 14 $D_{TxAntH} = 5D_H$.

[0280] Wenn die Anordnung mit einem ungleichen Abstand (beispielsweise dem Abstand, der größer als D_H oder D_v ist) um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe enthalten sein kann, kann D_{TxAntH} ein Wert sein, der größer als der Wert des Ausdrucks 14 ist.

[0281] Vorstehend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 2-2A und 2-2B in Modifikation 2 der Grundanordnung 2 beschrieben.

[0282] Beispielsweise können in jeder der Sende-Empfangs-Antennenanordnungen (beispielsweise MIMO-Gruppenanordnungen), die jeweils in **Fig. 39** bis **Fig. 42** gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0283] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in **Fig. 39** bis **Fig. 42** gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0284] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in **Fig. 39** bis **Fig. 42** gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxGroup}$, $N_{TxGroup_ANT}$, $N_{RxGroup}$ und $N_{RxGroup_ANT}$ ZU.

[0285] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $((N_{RxGroup_ANT} \times N_{TxGroup_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet. Wenn die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, zunehmen, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0286] Wenn $N_{TxGroup_ANT}$ und/oder $N_{RxGroup_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn $N_{TxGroup}$ und/oder $N_{RxGroup}$ zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

[0287] In Modifikation 2 der Grundanordnung 2 ist auch eine Anordnung möglich, die eine Kombination der Anordnungsmethode 2-2A und der Anordnungsmethode 2-2B ist. **Fig. 43** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 43** ist in dem Ausdruck 13 $D_{TxGroup} V_2 = 5D_H$ und in dem Ausdruck 14 $D_{TxAntH} = 5D_H$. Mit dieser Konfiguration wird der Effekt der Kombination der Anordnungsmethode 2-2A und der Anordnungsmethode 2-2B erhalten.

<Modifikation 3 der Grundanordnung 2>

[0288] Nachfolgend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 2-3A, 2-3B und 2-3C in Modifikation 3 der Grundanordnung 2 beschrieben.

(Anordnungsmethode 2-3A)

[0289] In der Grundanordnung 2 ist der Fall beschrieben, in welchem die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen in der Sendegruppenantenne gleich sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration können die horizontalen Anordnungspositionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen unter den Sendeantennenreihen variiert sein.

[0290] Beispielsweise können in der Sendegruppenantenne die in jeder aus der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen so angeordnet sein, dass die horizontalen Positionen um D_H verschoben sind.

[0291] Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen nach rechts oder nach links verschoben werden.

[0292] Fig. 44 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1 und Tx#3) bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2 und Tx#4) in der Sendegruppenantenne um D_H nach rechts verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0293] In Fig. 44 sind die horizontalen Positionen von Tx#1 und Tx#2 um D_H variiert. Die horizontalen Positionen von Tx#3 und Tx#4 sind um D_H variiert.

(Anordnungsmethode 2-3B)

[0294] In der Grundanordnung 2 ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen in der Empfangsgruppenantenne gleich sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration können die horizontalen Anordnungspositionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen unter den Empfangsantennenreihen variiert sein.

[0295] Beispielsweise können in der Empfangsgruppenantenne die in jeder aus der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sein, dass die horizontalen Positionen um D_H verschoben sind.

[0296] Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen nach rechts oder nach links verschoben werden.

[0297] Fig. 45 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#3) bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#4) in der Empfangsgruppenantenne um D_H nach links verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0298] In Fig. 45 sind die horizontalen Positionen von Rx#1 und Rx#2 um D_H variiert. Die horizontalen Positionen von Rx#3 und Rx#4 sind um D_H variiert.

(Anordnungsmethode 2-3C)

[0299] Die Anordnungsmethode 2-3C ist eine Methode, die eine Kombination der Anordnungsmethode 2-3A und der Anordnungsmethode 2-3B ist.

[0300] Beispielsweise sind die Sendeantennen in der Sendegruppenantenne so angeordnet, dass die horizontalen Positionen zwischen der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe um D_H verschoben sind. In ähnlicher Weise sind die Empfangsantennen in der Empfangsgruppenantenne so angeordnet, dass die horizontalen Positionen zwischen der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe um D_H verschoben sind.

[0301] Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann beispielsweise eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen nach rechts oder nach links verschoben werden. Die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung kann beispielsweise eine beliebige Richtung sein, in der die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen nach rechts oder nach links verschoben werden.

[0302] Fig. 46 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Anordnungsmethode 2-3C. In Fig. 46 sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1 und Tx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2 und Tx#4) um D_H nach rechts verschoben sind. In Fig. 46 sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#4) um D_H nach rechts verschoben sind.

[0303] Fig. 47 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Anordnungsmethode 2-3C. In Fig. 47 sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1 und Tx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2 und Tx#4) um D_H nach rechts verschoben sind. In Fig. 47 sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1 und Rx#3) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2 und Rx#4) um D_H nach links verschoben sind.

[0304] Beispielsweise sind im Vergleich zu der Konfiguration (beispielsweise Fig. 47), bei der die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung zwischen den Empfangsantennenreihen und den Sendeantennenreihen variiert ist, die Elemente der virtuellen Empfangsgruppe in der Anordnung (beispielsweise Fig. 46), bei der die Richtung der Verschiebung um D_H in der horizontalen Richtung zwischen den Empfangsantennenreihen und den Sendeantennenreihen gleich ist, um den Mittelpunkt der Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe dichter angeordnet, sodass die Eignung weiter erhöht ist.

[0305] Vorstehend ist jede der Anordnungsmethoden 2-3A bis 2-3C beschrieben.

[0306] Beispielsweise können in jeder der Sende-Empfangs-Antennenanordnungen (beispielsweise MIMO-Gruppenanordnungen), die jeweils in Fig. 45 bis Fig. 47 gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne 106 und jeder Empfangsantenne 202 auf eine Größe von etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0307] Mit dieser Konfiguration kann in Modifikation 3 der Grundanordnung 1 beispielsweise eine Antenne, die eine Untergruppe verwendet, die aus vier Elementen besteht, bei denen flache Patchantennen in einer Zwei-mal-zwei-Matrix angeordnet sind (wobei die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 2D_v$ ist), wie in Fig. 9A gezeigt, angewendet werden (nicht gezeigt).

[0308] Beispielsweise kann eine Antenne, die neun Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Drei-mal-drei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind, wie in Fig. 9A gezeigt, und in der Längsrichtung und in der Querrichtung breiter ist als die Untergruppe mit vier Elementen (wobei die Antennenbreite $W_{ANT} < 3D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 3D_v$ ist), auf die in Fig. 45 bis Fig. 47 jeweils gezeigten Sendegruppenantennen angewendet werden.

[0309] In Modifikation 3 der Grundanordnung 2 sind in mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen oder der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen voneinander verschieben. Aus diesem Grund kann die Elementgröße der Untergruppe in der Längsrichtung in Modifikation 3 der Grundanordnung 2 von beliebiger Größe sein, wenn die Elementgröße der Untergruppe in der Querrichtung W_{ANT} weniger als D_H beträgt. Beispielsweise kann in jeder der Sendegruppenantennen von Fig. 45 bis Fig. 47 eine Untergruppe, bei der flache Patchantennen in einer Ein-mal-acht-Matrix angeordnet sind, wie in Fig. 25A gezeigt, verwendet werden.

(Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 1 oder Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2)

[0310] Modifikation 3 der Grundanordnung 2 kann mit Modifikation 1 oder Modifikation 2 der Grundanordnung 2 kombiniert sein.

[0311] Beispielsweise können in der Anordnung der Sendegruppenantenne gemäß Modifikation 1 oder Modifikation 2 der Grundanordnung 2 die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen so angeordnet sein, dass sie zwischen den Sendeantennenreihen um D_H verschoben sind.

[0312] In ähnlicher Weise können beispielsweise in der Anordnung der Empfangsgruppenantenne gemäß Modifikation 1 oder Modifikation 2 der Grundanordnung 2 die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sein, dass sie zwischen den Empfangsantennenreihen um D_H verschoben sind.

[0313] Fig. 48, Fig. 49, Fig. 50A, Fig. 50B, Fig. 51A und 51B zeigen Beispiele der Antennenanordnung, die eine Kombination von Modifikation 3 und Modifikation 2 ist.

[0314] Fig. 48 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Antennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 48 ist in dem Ausdruck 13 $D_{TxGroup} V_2 = 5D_H$ und in dem Ausdruck 14 $D_{TxAntH} = 5D_H$.

[0315] Fig. 49 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 49 ist in dem Ausdruck 13 $D_{TxGroup} V_2 = 5D_H$ und in dem Ausdruck 14 $D_{TxAntH} = 5D_H$.

[0316] In Fig. 49 sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3, Rx#7, Rx#11 und Rx#15) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#4, Rx#8, Rx#12 und Rx#16) um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 49 sind die in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2, Rx#6, Rx#10 und Rx#14) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach rechts verschoben sind. In Fig. 49 sind die in der vierten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1, Rx#5, Rx#9 und Rx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0317] Fig. 50A zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe und jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen so angeordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und Fig. 50B zeigt ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 50A ist in dem Ausdruck 13 $D_{TxGroup} V_2 = 5D_H$ und in dem Ausdruck 14 $D_{TxAntH} = 5D_H$.

[0318] In Fig. 50A sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#3, Tx#7, Tx#11 und Tx#15) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#4, Tx#8, Tx#12 und Tx#16) um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 50A sind die in der dritten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#2, Tx#6, Tx#10 und Tx#14) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen um D_H nach links verschoben sind. In Fig. 50A sind die in der vierten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (beispielsweise Tx#1, Tx#5, Tx#9 und Tx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0319] In Fig. 50A sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3, Rx#7, Rx#11 und Rx#15) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#4, Rx#8, Rx#12 und Rx#16) um D_H nach rechts verschoben sind. In Fig. 50A sind die in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2, Rx#6, Rx#10 und Rx#14) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach rechts verschoben sind. In Fig. 50A sind die in der vierten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1, Rx#5, Rx#9 und Rx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach rechts verschoben sind.

[0320] Fig. 51A zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup} = 4$, $N_{TxGroup_ANT} = 4$, $N_{RxGroup} = 4$ und $N_{RxGroup_ANT} = 4$ ist und die horizontalen Positionen der in jeder Sendeantennenreihe und jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen so an-

geordnet sind, dass sie um D_H verschoben sind, und **Fig. 51B** zeigt ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 50A** ist in dem Ausdruck 13 $D_{TxGroup} V_2 = 5D_H$ und in dem Ausdruck 14 $D_{TxAntH} = 5D_H$.

[0321] In **Fig. 51A** sind in der Sendegruppenantenne die in der zweiten Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen (beispielsweise Tx#3, Tx#7, Tx#11 und Tx#15) bezüglich der in der ersten Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen (beispielsweise Tx#4, Tx#8, Tx#12 und Tx#16) um D_H nach links verschoben. In **Fig. 51A** sind die in der dritten Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen (beispielsweise Tx#2, Tx#6, Tx#10 und Tx#14) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen um D_H nach rechts verschoben sind. In **Fig. 51A** sind die in der vierten Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen (beispielsweise Tx#1, Tx#5, Tx#9 und Tx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen um D_H nach links verschoben sind.

[0322] In **Fig. 51A** sind in der Empfangsgruppenantenne die in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#3, Rx#7, Rx#11 und Rx#15) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#4, Rx#8, Rx#12 und Rx#16) um D_H nach links verschoben sind. In **Fig. 51A** sind die in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#2, Rx#6, Rx#10 und Rx#14) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach rechts verschoben sind. In **Fig. 51A** sind die in der vierten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (beispielsweise Rx#1, Rx#5, Rx#9 und Rx#13) so angeordnet, dass sie bezüglich der in der dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um D_H nach links verschoben sind.

[0323] Beispielsweise können in jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die in **Fig. 48**, **Fig. 49**, **Fig. 50A** bzw. **Fig. 51A** gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeleitung 106 und jeder Empfangsantenne 202 auf eine Größe größer oder gleich 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0324] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 48**, **Fig. 49**, **Fig. 50B** bzw. **Fig. 51B** gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0325] Wenn die Anzahl $N_{TxGroup}$ der Sendeleitungenreihen größer oder gleich drei ist, können die horizontalen Positionen der in jeder Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen so angeordnet sein, dass sie in einer bestimmten Richtung (nach rechts oder nach links) verschoben sind, und die Richtung der Verschiebung der horizontalen Positionen der in jeder Sendeleitungenreihe enthaltenen Sendeleitungen nach links oder nach rechts kann für jede Sendeleitungenreihe geändert werden. Wenn die Anzahl $N_{RxGroup}$ der Empfangsantennenreihen größer oder gleich drei ist, können die horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet sein, dass sie in einer bestimmten Richtung (nach rechts oder nach links) verschoben sind, und die Richtung der Verschiebung der horizontalen Positionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen nach links oder nach rechts kann für jede Empfangsantennenreihe geändert werden.

[0326] Auch bei einer beliebigen Antennenanordnung sind die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Beispielsweise nimmt die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, in Abhängigkeit von $N_{TxGroup}$, $N_{TxGroup_ANT}$, $N_{RxGroup}$ und $N_{RxGroup_ANT}$ zu.

[0327] Beispielsweise sind $((N_{TxGroup_ANT} \times N_{RxGroup_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxGroup} \times N_{TxGroup}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V angeordnet. Wenn die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, zunehmen, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0328] Wenn $N_{TxGroup_ANT}$ und/oder $N_{RxGroup_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn $N_{TxGroup}$ und/oder $N_{RxGroup}$ zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppen-

elemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

<Grundanordnung 3>

[0329] Fig. 52A bis Fig. 52D zeigen Beispiele der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 und Beispiele der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Grundanordnung 3.

(1) Anordnung der Sende-Empfangs-Antenne

[0330] In jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D beträgt die Anzahl N_t der Sendeantennen 106 in der Sendegruppenantenne vier ($Tx\#1$, $Tx\#2$, $Tx\#3$ und $Tx\#4$) und die Anzahl N_a der Empfangsantennen 202 in der Empfangsgruppenantenne beträgt vier ($Rx\#1$, $Rx\#2$, $Rx\#3$ und $Rx\#4$).

[0331] Die Sendegruppenantennen, die in Fig. 52A bis Fig. 52D gezeigt sind, bestehen jeweils aus einer ersten Sendeantennenreihe ($Tx\#2$ und $Tx\#4$ in jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D) und einer zweiten Sendeantennenreihe ($Tx\#1$ und $Tx\#3$ in jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D). Jede Sendeantennenreihe enthält zwei Sendeantennenelemente, deren Positionen in der vertikalen Richtung gleich sind und deren Antennenabstand in der horizontalen Richtung (in jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D der Querrichtung) $2D_H$ beträgt. Der Abstand in der vertikalen Richtung (in jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D der Längsrichtung) zwischen der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe beträgt beispielsweise $2D_V$.

[0332] In jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D sind die horizontalen Positionen der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und die horizontalen Positionen der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen Positionen, die voneinander verschieden und um D_H verschoben sind. Beispielsweise sind die horizontalen Positionen der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen so angeordnet, dass sie gegenüber den horizontalen Positionen der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen um $+D_H$ oder um $-D_H$ verschoben sind.

[0333] Die Empfangsgruppenantenne, die in jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D gezeigt ist, besteht aus einer ersten Empfangsantennenreihe ($Rx\#1$ und $Rx\#2$ in jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D) und einer zweiten Empfangsantennenreihe ($Rx\#3$ und $Rx\#4$ in jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D). Jede Empfangsantennenreihe enthält zwei Empfangsantennenelemente, deren Positionen in der horizontalen Richtung gleich sind und deren vertikaler Antennenabstand $2D_V$ beträgt. Der horizontale Abstand zwischen der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe beträgt beispielsweise $2D_H$.

[0334] In jeder von Fig. 52A bis Fig. 52D sind die vertikalen Positionen der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und die vertikalen Positionen der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen Positionen, die voneinander verschieden und um D_V verschoben sind. Beispielsweise sind die vertikalen Positionen der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen so angeordnet, dass sie gegenüber den vertikalen Positionen der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen um $+D_V$ oder um $-D_V$ verschoben sind.

[0335] Beispielsweise stehen in der Sende-Empfangs-Antennenanordnung, die in jeder von Fig. 52A und Fig. 52C gezeigt ist, die Anordnungspositionen der in der Sendegruppenantenne enthaltenen Sendeantennen und die Anordnungspositionen der in der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Empfangsantennen beispielsweise in einer Beziehung der Drehung um $+90^\circ$ oder -90° in einer aus der horizontalen Richtung und der vertikalen Richtung gebildeten zweidimensionalen Ebene.

[0336] In der Sende-Empfangs-Antennenanordnung, die in jeder von Fig. 52B und Fig. 52D gezeigt ist, stehen die Anordnungspositionen der in der Sendegruppenantenne enthaltenen Sendeantennen und die Anordnungspositionen der in der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Empfangsantennen beispielsweise in einer Beziehung der Drehung um $+90^\circ$ oder -90° und Invertierung in einer aus der horizontalen Richtung und der vertikalen Richtung gebildeten zweidimensionalen Ebene.

[0337] Eine beliebige Kombination eines von zwei Typen ($+D_H$, $-D_H$) des horizontalen Verschiebungsbetrags ΔH_{Tx} der zweiten Sendeantennenreihe bezüglich der ersten Sendeantennenreihe und eines von zwei Typen ($+D_V$, $-D_V$) des vertikalen Verschiebungsbetrags ΔV_{Rx} der zweiten Empfangsantennenreihe bezüglich der ersten Empfangsantennenreihe kann angewendet werden. Hier ist beispielsweise in jeder von Fig. 52A bis

Fig. 52D die Richtung $+D_H$ die Richtung nach rechts und $-D_H$ die Richtung nach links. In jeder von **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** ist die Richtung $+D_V$ die Richtung nach oben und $-D_V$ die Richtung nach unten.

[0338] Beispielsweise ist eine beliebige der Vier-Typ-Kombinationskonfigurationen $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$, $(+D_H, -D_V)$, $(-D_H, +D_V)$, $(D_H, -D_V)$. Beispielsweise zeigen **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** jeweils eine MIMO-Gruppenanordnung und die Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe in dem Fall, in welchem $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$, $(-D_H, +D_V)$, $(+D_H, +D_V)$ oder $(+D_H, -D_V)$.

[0339] Die Anordnungen der virtuellen Empfangsgruppe, die jeweils von den MIMO-Gruppenanordnungen erhalten sind, sind in dem Fall der Antennenreihen-Verschiebungsbeträge, die jeweils in **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** gezeigt sind, rotationssymmetrische Anordnungen und schaffen Eigenschaften mit einer ähnlichen Winkel-messleistung.

[0340] Beispielsweise ist angenommen, dass die in **Fig. 52A** gezeigte horizontale Richtung (Querrichtung) der X-Achse entspricht und die in **Fig. 52A** gezeigte vertikale Richtung (Längsrichtung) der Y-Achsen-Richtung entspricht.

[0341] Beispielsweise sind in dem Fall der in **Fig. 52A** gezeigten Antennenanordnung die Positionskoordinaten von jeder der Sendeantennen **106**, welche die Sendegruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1} + D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ der Sendeantenne Tx#2, die Positionskoordinaten $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1})$ der Sendeantenne Tx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 3D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ der Sendeantenne Tx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ der Sendeantenne Tx#1 ausgedrückt.

[0342] In ähnlicher Weise sind die Positionskoordinaten von jeder der Empfangsantennen **202**, welche die Empfangsgruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1}, Y_{R_#1} + 2D_V)$ der Empfangsantenne Rx#2, die Positionskoordinaten $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} - D_V)$ der Empfangsantenne Rx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ der Empfangsantenne Rx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ der Empfangsantenne Rx#1 ausgedrückt.

(2) Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe

[0343] Die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe (virtuelle Antennen VA#1 bis VA# 16), die entsprechend jeder der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnungen, die jeweils in **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** gezeigt sind, vorgesehen ist, weist die folgenden Eigenschaften auf.

[0344] Mit der Anordnung der Sendegruppenantenne und der Anordnung der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 52A** gezeigt sind, ist jeder Satz von Positionskoordinaten $(X_{v_#1}, Y_{v_#1})$ bis $(X_{v_#16}, Y_{v_#16})$ der virtuellen Empfangsgruppe VA#1 bis VA#16 wie folgt beschrieben. Hier ist VA#1 als der Positionsbezugspunkt (0, 0) der virtuellen Empfangsgruppe ausgedrückt.

$(0, 0)$, $(D_H, 2D_V)$, $(2D_H, 0)$, $(3D_H, 2D_V)$, $(0, 2D_V)$, $(D_H, 4D_V)$, $(2D_H, 2D_V)$, $(3D_H, 4D_V)$, $(2D_H, -D_V)$, $(3D_H, D_V)$, $(4D_H, -D_V)$, $(5D_H, D_V)$, $(2D_H, D_V)$, $(3D_H, 3D_V)$, $(4D_H, D_V)$ und $(5D_H, 3D_V)$

[0345] Auf diese Weise sind in den in **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** jeweils gezeigten Anordnungen der virtuellen Empfangsgruppen die Elemente der virtuellen Empfangsgruppe ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet. Aus diesem Grund ist die Aperturlänge jeder der virtuellen Empfangsgruppen erweitert, sodass sich die Hauptkeule verengt und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0346] Die in jeder von **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** gezeigten virtuellen Gruppenelemente VA#4, VA#7, VA#10 und VA#13, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Beispielsweise sind in jeder von **Fig. 52A** bis **Fig. 52D**, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind, die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $D_H = 0,5\lambda$ und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $D_V = 0,5\lambda$ angeordnet. Mit dieser Konfiguration werden die Gitterkeulen wie in dem Fall der Grundanordnung 1 (siehe beispielsweise **Fig. 8**) reduziert.

[0347] Beispielsweise können in der in jeder von **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** gezeigten MIMO-Gruppenanordnung die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine

Größe größer oder gleich 1λ ausgelegt sein, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0348] Mit dieser Konfiguration kann beispielsweise eine Antenne, die vier Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Zwei-mal-zwei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind (wobei die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 2D_V$ ist), wie in **Fig. 9A** gezeigt, auf jedes Antennenelement von mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne, die in jeder von **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** gezeigt sind, angewendet werden.

[0349] Die Anzahl (nachfolgend als $N_{TxHGroup1_ANT}$ bezeichnet) der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und die Anzahl (nachfolgend als $N_{TxHGroup2_ANT}$ bezeichnet) der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen können gleich oder um eine Antenne verschieden sein. Beispielsweise ist in definiert, dass $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 0$ oder 1.

[0350] Die Anzahl (nachfolgend als $N_{RxVGroup1_ANT}$ bezeichnet) der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und die Anzahl (nachfolgend als $N_{RxVGroup2_ANT}$ bezeichnet) der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen können gleich oder um eine Antenne verschieden sein. Beispielsweise ist in definiert, dass $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 0$ oder 1.

[0351] **Fig. 53A** bis **Fig. 53D** zeigen jeweils ein Beispiel der Konfiguration, bei der die Anzahl der MIMO-Gruppenantennen in dem Fall, in welchem ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{TxHGroup1_ANT}$ der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und der Anzahl $N_{TxHGroup2_ANT}$ der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen besteht und die Anzahl $N_{RxVGroup1_ANT}$ der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und die Anzahl $N_{RxVGroup2_ANT}$ der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen gleich sind, minimal ist.

[0352] Wie in **Fig. 53A** bis **Fig. 53D** gezeigt, ist die Konfiguration, bei der die Anzahl der MIMO-Gruppenantennen in dem Fall, in welchem $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 1$ und $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 0$ ist, minimal ist, eine Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen drei beträgt und die Anzahl der Empfangsantennen vier beträgt ($N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = 2$), und es sind beispielsweise vier Muster von **Fig. 53A** bis **Fig. 53D** vorhanden.

[0353] **Fig. 53A** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2), $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3) und $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0354] **Fig. 53B** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2), $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3) und $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0355] **Fig. 53C** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2 und Tx#3), $N_{TxHGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1) und $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0356] **Fig. 53D** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2 und Tx#3), $N_{TxHGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1) und $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, +D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0357] **Fig. 54A** bis **Fig. 54D** zeigen jeweils ein Beispiel der Konfiguration, bei der die Anzahl der MIMO-Gruppenantennen in dem Fall, in welchem die Anzahl $N_{TxHGroup1_ANT}$ der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und die Anzahl $N_{TxHGroup2_ANT}$ der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen gleich sind und ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{RxVGroup1_ANT}$ der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und der Anzahl $N_{RxVGroup2_ANT}$ der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen besteht, minimal ist.

[0358] Wie in **Fig. 54A** bis **Fig. 54D** gezeigt, ist die Konfiguration, bei der die Anzahl der MIMO-Gruppenantennen in dem Fall, in welchem $|N_{TxHGroup1_ANT} - N_{TxHGroup2_ANT}| = 0$ und $|N_{RxVGroup1_ANT} - N_{RxVGroup2_ANT}| = 1$ ist, minimal ist, eine Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen vier ($N_{TxVGroup1_ANT} = N_{TxVGroup2_ANT} = 2$) beträgt und die Anzahl der Empfangsantennen drei beträgt, und es sind beispielsweise vier Muster von **Fig. 54A** bis **Fig. 54D** vorhanden.

[0359] Fig. 54A zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 1$ (Rx#1), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 2$ (Rx#2 und Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (-D_H, +D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0360] Fig. 54B zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 1$ (Rx#1), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 2$ (Rx#2 und Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (+D_H, +D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0361] Fig. 54C zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 2$ (Rx#1 und Rx#2), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 1$ (Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (-D_H, -D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0362] Fig. 54D zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 2$ (Rx#1 und Rx#2), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 1$ (Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (+D_H, -D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0363] Fig. 55A bis Fig. 55D zeigen jeweils ein Beispiel der Konfiguration, bei der die Anzahl der MIMO-Gruppenantennen in dem Fall, in welchem ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{\text{TxHGroup1_ANT}}$ der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und der Anzahl $N_{\text{TxHGroup2_ANT}}$ der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen besteht und ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{\text{RxVGroup1_ANT}}$ der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und der Anzahl $N_{\text{RxVGroup2_ANT}}$ der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen besteht, minimal ist.

[0364] Wie in **Fig. 55A bis Fig. 55D** gezeigt, ist die Konfiguration, bei der die Anzahl der MIMO-Gruppenantennen in dem Fall, in welchem $|N_{\text{TxHGroup1_ANT}} - N_{\text{TxHGroup2_ANT}}| = 1$ und $|N_{\text{RxVGroup1_ANT}} - N_{\text{RxVGroup2_ANT}}| = 1$ ist, minimal ist, eine Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen drei beträgt und die Anzahl der Empfangsantennen drei beträgt, und es sind beispielsweise vier Muster von **Fig. 55A bis Fig. 55D** vorhanden.

[0365] Fig. 55A zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{TxVGroup1_ANT}} = 1$ (Tx#2), $N_{\text{TxVGroup2_ANT}} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 2$ (Rx#1 und Rx#2), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 1$ (Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (-D_H, -D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0366] Fig. 55B zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{TxVGroup1_ANT}} = 1$ (Tx#2), $N_{\text{TxVGroup2_ANT}} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 1$ (Rx#1), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 2$ (Rx#2 und Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (-D_H, +D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0367] Fig. 55C zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{TxVGroup1_ANT}} = 2$ (Tx#2 und Tx#3), $N_{\text{TxVGroup2_ANT}} = 1$ (Tx#1), $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 2$ (Rx#1 und Rx#2), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 1$ (Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (+D_H, -D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0368] Fig. 55D zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{\text{TxVGroup1_ANT}} = 2$ (Tx#2 und Tx#3), $N_{\text{TxVGroup2_ANT}} = 1$ (Tx#1), $N_{\text{RxHGroup1_ANT}} = 1$ (Rx#1), $N_{\text{RxHGroup2_ANT}} = 2$ (Rx#2 und Rx#3) und $(\Delta H_{\text{Tx}}, \Delta V_{\text{Rx}}) = (+D_H, +D_V)$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0369] Beispielsweise enthält die Sendegruppenantenne in jeder von **Fig. 55A bis Fig. 55D** drei Sendeantennen und die Empfangsgruppenantenne enthält drei Empfangsantennen.

[0370] Zwei Sendeantennen der drei Sendeantennen (beispielsweise in einer Sendeantennenreihe enthaltene Sendeantennen) sind beispielsweise in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $2D_H$ voneinander angeordnet (mit anderen Worten im doppelten Abstand des Abstands D_H). Die verbleibende eine Sendeantennen der drei Sendeantennen ist beispielsweise in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H von jeder der zwei Sendeantennen angeordnet (mit anderen Worten an einer mittleren Position) und ist in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $2D_V$ von den zwei Sendeantennen angeordnet (mit anderen Worten im doppelten Abstand des Abstands D_V).

[0371] In ähnlicher Weise sind zwei Empfangsantennen der drei Empfangsantennen (beispielsweise in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltene Empfangsantennen) in der vertikalen Richtung beispielsweise in einem Abstand von $2D_V$ voneinander angeordnet (mit anderen Worten im doppelten Abstand des Abstands D_V). Die verbleibende eine Empfangsantenne der drei Empfangsantennen ist beispielsweise in der vertikalen

Richtung in einem Abstand von D_v von jeder der zwei Empfangsantennen angeordnet (mit anderen Worten an einer mittleren Position) und ist in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $2D_H$ von den zwei Empfangsantennen angeordnet (mit anderen Worten im doppelten Abstand des Abstands D_H).

[0372] Mit anderen Worten stehen in jeder von **Fig. 55A** bis **Fig. 55D** die Anordnungspositionen der drei Sendeantennen und die Anordnungspositionen der drei Empfangsantennen in einer Beziehung der Drehung in einer zweidimensionalen Ebene, die durch die horizontale Richtung (beispielsweise X-Achse) und die vertikale Richtung (beispielsweise Y-Achse) gebildet ist. Beispielsweise stehen in jeder von **Fig. 52A** bis **Fig. 52D** die Sendegruppenantenne und die Empfangsgruppenantenne in einer Beziehung der Drehung um ± 90 Grad.

[0373] Die Sende-Empfangs-Antennenanordnung gemäß jeder aus der Grundanordnung 3 und den Modifikationen der Grundanordnung 3 enthält mindestens eine Antennenanordnung mit einer Anordnungsbeziehung der oben beschriebenen drei Sendeantennen oder drei Empfangsantennen.

[0374] Die virtuellen Gruppenelemente jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in **Fig. 52A** bis **Fig. 52D**, **Fig. 53A** bis **Fig. 53D**, **Fig. 54A** bis **Fig. 54D** und **Fig. 55A** bis **Fig. 55D** gezeigt sind, sind jeweils ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0375] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Beispielsweise sind in jeder von **Fig. 52A** bis **Fig. 52D**, **Fig. 53A** bis **Fig. 53D**, **Fig. 54A** bis **Fig. 54D** und **Fig. 55A** bis **Fig. 55D**, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_v auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind, die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $D_H = 0,5\lambda$ und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $D_v = 0,5\lambda$ angeordnet. Mit dieser Konfiguration werden Gitterkeulen reduziert.

[0376] Beispielsweise können in der MIMO-Gruppenanordnung von Grundanordnung 3 die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_v auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0377] Mit dieser Konfiguration kann beispielsweise eine Antenne, die vier Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Zwei-mal-zwei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind (wobei die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 2D_v$ ist), wie in **Fig. 9A** gezeigt, auf jedes Antennenelement von mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 52A** bis **Fig. 52D**, **Fig. 53A** bis **Fig. 53D**, **Fig. 54A** bis **Fig. 54D** und **Fig. 55A** bis **Fig. 55D** gezeigt sind, angewendet werden.

[0378] In dem Fall jeder Sendeantenne **106** kann eine Antenne mit beliebiger Größe in der Längsrichtung verwendet werden, wenn die Elementgröße in der Querrichtung W_{ANT} kleiner als D_H ist.

[0379] Beispielsweise zeigt **Fig. 56A** ein Beispiel, bei dem eine Untergruppe, in der flache Patchantennen in einer Ein-mal-acht-Matrix angeordnet sind, wie in **Fig. 25A** gezeigt, auf die in **Fig. 52A** gezeigte Antennenanordnung angewendet ist. Wie in **Fig. 56B** gezeigt, können zusätzlich zu der in **Fig. 56A** gezeigten Sendegruppenantenne passive Elemente (Blindelemente) angeordnet sein. Mit den passiven Elementen wird der Einfluss der Kopplung von Antenne zu Antenne benachbarter Antennen unter den Antennen ausgeglichen, sodass die Richtcharakteristik jeder der Sendeantennen (Tx#1 bis Tx#4) ausgeglichen wird.

[0380] Auf diese Weise wird in der Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert und die Erfassungsleistung (beispielsweise Erfassungsreichweite) der Radar-Vorrichtung **10** verbessert, wenn die Antenne mit einer Untergruppenkonfiguration verwendet wird.

[0381] Der Richtungsschätzer **214** führt eine Richtungsschätzungsverarbeitung in der horizontalen Richtung und in der vertikalen Richtung unter Verwendung von Empfangssignalen der virtuellen Empfangsgruppe durch, die von der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung erhalten ist. Die Verarbeitung der virtuellen Empfangsgruppe von Grundanordnung 3 in dem Richtungsschätzer **214** ist ähnlich derjenigen von Grundanordnung 1, sodass die Beschreibung davon hier nicht wiederholt ist.

[0382] **Fig. 57** zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem, wenn beispielsweise die MIMO-Gruppenanordnung, in der die Anzahl N_t der Sendeantennen **106** vier und die Anzahl N_a

der Empfangsantennen **202** vier beträgt ($D_H = 0,5\lambda$ und $D_V = 0,5\lambda$), verwendet wird, wie in **Fig. 52A** gezeigt, ein Strahlformungsverfahren als der Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers **214** verwendet wird. Mit anderen Worten ist in **Fig. 57** der horizontale und der vertikale Antennenabstand jeder Sendeantenne **106** größer oder gleich 1λ und der horizontale und der vertikale Antennenabstand jeder Empfangsantenne **202** ist ebenfalls größer oder gleich 1λ . Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0383] In **Fig. 57** sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungsfunktionswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen.

[0384] In **Fig. 57** ist ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung im Vergleich zu **Fig. 1A** reduziert sind. Beispielsweise beträgt in **Fig. 57** das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,3.

[0385] Wie oben beschrieben, kann, wenn die MIMO-Gruppenanordnung gemäß der Grundanordnung 3 verwendet wird, die Anordnung so ausgeführt werden, dass der horizontale und vertikale Antennenabstand in der virtuellen Empfangsgruppe einen Zwischenelementabstand von etwa $0,5\lambda$ enthalten, auch wenn die Elementgröße jeder Antenne in der Längsrichtung oder in der Querrichtung, die für die Sendegruppenantenne und die Empfangsgruppenantenne verwendet wird, etwa 1λ beträgt, sodass die Gitterkeulen reduziert werden. Beispielsweise sind die Elemente der virtuellen Gruppenelemente der virtuellen Empfangsgruppe, die in **Fig. 52A** gezeigt ist, ohne jegliche Überlappung angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

<Modifikation 1 der Grundanordnung 3>

[0386] In der Grundanordnung 3 sind die Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen **106** und die Anzahl der Empfangsantennen **202** vier Sendeelemente ($N_t = 4$) bzw. vier Empfangselemente ($N_a = 4$) sind (beispielsweise **Fig. 52A** bis **Fig. 52D**), die Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen **106** und die Anzahl der Empfangsantennen **202** drei Sendeelemente ($N_t = 3$) bzw. vier Empfangselemente ($N_a = 4$) sind (beispielsweise **Fig. 53A** bis **Fig. 53D**), die Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen **106** und die Anzahl der Empfangsantennen **202** vier Sendeelemente ($N_t = 4$) bzw. drei Empfangselemente ($N_a = 3$) sind (beispielsweise **Fig. 54A** bis **Fig. 54D**), und die Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen **106** und die Anzahl der Empfangsantennen **202** drei Sendeelemente ($N_t = 3$) bzw. drei Empfangselemente ($N_a = 3$) sind, als eine minimale Konfiguration (siehe beispielsweise **Fig. 55A** bis **Fig. 55D**) beschrieben.

[0387] Die Anzahl N_t der Sendeantennen und die Anzahl N_a der Empfangsantennen sind nicht auf diese Zahlen beschränkt.

[0388] Nachfolgend ist in Modifikation 1 der Grundanordnung 3 die Anordnung beschrieben, bei der die Anzahl der Antennen der MIMO-Gruppe in der Grundanordnung 3 erhöht ist.

[0389] Beispielsweise können in einer Sendegruppenantenne die Anzahl $N_{TxHGroup1_ANT}$ der in einer ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und die Anzahl $N_{TxHGroup2_ANT}$ der in einer zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Antennen erhöht sein. In einer Empfangsgruppenantenne können die Anzahl $N_{RxVGroup1_ANT}$ der in einer ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen und die Anzahl $N_{RxVGroup2_ANT}$ der in einer zweiten vertikalen Empfangsantennenreihe enthaltenen Antennen erhöht sein.

[0390] **Fig. 58** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2 und Tx#4), $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{RxVGroup1_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) und $N_{RxVGroup2_ANT} = 3$ (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. **Fig. 58** zeigt den Fall, in welchem $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ ist. Alternativ kann die Konfiguration $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$, $(+D_H, -D_V)$ oder $(+D_H, +D_V)$ sein.

[0391] **Fig. 59** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2 und Tx#4), $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{RxVGroup1_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) und $N_{RxVGroup2_ANT} = 2$ (Rx#4 und Rx#5) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. **Fig. 59**

zeigt den Fall, in welchem $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ ist. Alternativ kann die Konfiguration $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (+D_H, -D_V)$ sein.

[0392] Fig. 60 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8), $N_{TxHGroup2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxVGroup1_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) und $N_{RxVGroup2_ANT} = 3$ (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. Fig. 60 zeigt den Fall, in welchem $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ ist. Alternativ kann die Konfiguration $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$, $(+D_H, -D_V)$ oder $(+D_H, +D_V)$ sein.

[0393] Fig. 61 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup1_ANT} = 3$ (Tx#2, Tx#4 und Tx#6), $N_{TxHGroup2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxVGroup1_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) und $N_{RxVGroup2_ANT} = 3$ (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. Fig. 61 zeigt den Fall, in welchem $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, -D_V)$ ist. Alternativ kann die Konfiguration $(\Delta H_{Tx}, \Delta V_{Rx}) = (-D_H, +D_V)$ sein.

[0394] In jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die jeweils in Fig. 58 bis Fig. 61 gezeigt sind, kann die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne 106 und jeder Empfangsantenne 202 auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_V beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0395] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in Fig. 58 bis Fig. 61 gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0396] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in Fig. 58 bis Fig. 61 gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxHGroup1_ANT}$, $N_{TxHGroup2_ANT}$, $N_{RxVGroup1_ANT}$ und $N_{RxVGroup2_ANT}$ zu.

[0397] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $(N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT})$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $(N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT})$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V angeordnet. In einer virtuellen Empfangsgruppe sind $((N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V angeordnet.

[0398] Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0399] Wenn $N_{TxGroup1_ANT}$ und/oder $N_{TxHGroup2_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn $N_{RxVGroup1_ANT}$ und/oder $N_{RxVGroup2_ANT}$ zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

[0400] Fig. 62 zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem, wenn beispielsweise die MIMO-Gruppenanordnung, in der die Anzahl N_t der Sendeantennen 106 acht und die Anzahl N_a der Empfangsantennen 202 sechs beträgt ($N_{TxGroup1_ANT} = 4$, $N_{TxGroup2_ANT} = 4$, $N_{RxGroup1_ANT} = 3$, $N_{RxGroup2_ANT} = 3$, $D_H = 0,5\lambda$ und $D_V = 0,5\lambda$), verwendet wird, wie in Fig. 60 gezeigt, ein Strahlformungsverfahren als der Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers 214 verwendet wird. Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0401] In Fig. 62 sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungsfunktionswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen.

[0402] In **Fig. 62** ist ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung reduziert werden. Beispielsweise beträgt in **Fig. 62** das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,13. Es ist ersichtlich, dass beispielsweise im Vergleich zu **Fig. 52A** der Effekt der Reduzierung der Nebenkeulen durch Erhöhen von $N_{TxHGroup1_ANT}$, $N_{TxHGroup2_ANT}$, $N_{RxVGroup1_ANT}$ und $N_{RxVGroup2_ANT}$ verbessert wird. In **Fig. 62** ist ersichtlich, dass die Spitze der Hauptkeule im Vergleich zu **Fig. 57** geschärft ist und die Winkelauflösung infolge einer Erhöhung von $N_{TxHGroup1_ANT}$, $N_{TxHGroup2_ANT}$, $N_{RxVGroup1_ANT}$ und $N_{RxVGroup2_ANT}$ verbessert wird.

<Modifikation 2 der Grundanordnung 3>

[0403] Nachfolgend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 3-2A und 3-2B in Modifikation 2 der Grundanordnung 3 beschrieben.

(Anordnungsmethode 3-2A)

[0404] In Modifikation 1 der Grundanordnung 3 ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente durch Erhöhen der Anzahl $N_{RxVGroup1_ANT}$ der Empfangsantennen und der Anzahl $N_{RxVGroup2_ANT}$ der Empfangsantennen, die in den Empfangsantennenreihen der Empfangsgruppenantenne enthalten sind, erhöht sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration kann die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente in der virtuellen Empfangsgruppe auch beispielsweise durch Erhöhen der Anzahl $N_{TxGroup}$ der Sendeantennenreihen in der Sendegruppenantenne erhöht werden.

[0405] In diesem Fall kann der vertikale Antennenabstand der Sendeantennenreihen beispielsweise auf einen bestimmten Wert (beispielsweise $2D_v$) festgelegt sein; in Abhängigkeit von der Anzahl $N_{RxVGroup1_ANT}$ der Empfangsantennen und der Anzahl $N_{RxVGroup2_ANT}$ der Empfangsantennen, die in den Empfangsantennenreihen enthalten sind, kann die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe jedoch die Anordnung sein, bei der sich die virtuellen Gruppenelemente überlappen.

[0406] Wenn die Anordnung, die kein überlappendes virtuelles Gruppenelement enthält, auf die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe angewandt wird, kann der folgende Abstand $D_{TxHGroupV}$ beispielsweise als die geradzahigen Antennenabstände unter den vertikalen Antennenabständen der Sendeantennenreihen verwendet werden.

[15]

$$D_{TxHGroupV} = D_v (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT} - 2) \quad (\text{Ausdruck 15})$$

[0407] Wenn beispielsweise $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = 2$ ist, ist $D_{TxHGroupV} = 2D_v$, und wenn $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = 3$ ist, ist $D_{TxHGroupV} = 4D_v$.

[0408] Wenn die Anzahl $N_{TxHGroup}$ der Sendeantennenreihen beispielsweise drei beträgt, sind die Abstände der drei Sendeantennenreihen auf $\{2D_v, D_{TxHGroupV}\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{TxHGroup}$ der Sendeantennen vier beträgt, sind die Abstände der vier Sendeantennenreihen auf $\{2D_v, D_{TxHGroupV}, 2D_v\}$ festgelegt. Wenn $N_{RxGroup-ANT} = 5$ ist, sind die Abstände der fünf Sendeantennenreihen in ähnlicher Weise auf $\{2D_v, D_{TxHGroupV}, 2D_v, D_{TxHGroupV}\}$ festgelegt.

[0409] **Fig. 63** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{RxVGroup} = 2$, $N_{TxHGroup} = 4$, $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$, $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$, $N_{TxHGroup3_ANT} = 2$, $N_{TxHGroup4_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup1_ANT} = 2$ und $N_{RxVGroup2_ANT} = 2$ ist, und ein Beispiel einer virtuellen Empfangsgruppe. $N_{TxHGroup3_ANT}$ bezeichnet die Anzahl der in einer dritten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen, und $N_{TxHGroup4_ANT}$ bezeichnet die Anzahl der in einer vierten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen. In **Fig. 63** ist in dem Ausdruck 15 $D_{TxHGroupV} = 2D_v$.

[0410] In **Fig. 63** ist der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ einer zweiten Empfangsantennenreihe (Rx#3, Rx#4) bezüglich einer ersten Empfangsantennenreihe (Rx#1, Rx#2) in dem Fall $\Delta V_{Rx(2,1)} = -D_v$. Alternativ kann der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ so festgelegt sein, dass $\Delta V_{Rx(2,1)} = +D_v$.

[0411] In **Fig. 63** ist der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ einer zweiten Sendeantennenreihe (Tx#3 und Tx#7) bezüglich einer ersten Sendeantennenreihe (Tx#4 und Tx#8) auf $-D_H$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(3,2)}$ der dritten Sendeantennenreihe (Tx#2 und Tx#6) bezüglich der zweiten Sendeantennenreihe auf $+D_H$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(4,3)}$ der vierten Sendeantennenreihe (Tx#1 und Tx#5) bezüglich der dritten Sendeantennenreihe auf $-D_H$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein. In **Fig. 63** ist die Richtung $+D_v$ die Richtung nach oben, $-D_v$ ist die Richtung nach unten, die Richtung $+D_H$ ist die Richtung nach rechts und $-D_H$ ist die Richtung nach links.

[0412] **Fig. 64** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{RxVGroup} = 2$, $N_{TxHGroup} = 4$, $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$, $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$, $N_{TxHGroup3_ANT} = 2$, $N_{TxHGroup4_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup1_ANT} = 3$ und $N_{RxVGroup2_ANT} = 3$ ist, und ein Beispiel einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 64** ist in dem Ausdruck $15 D_{TxHGroupV} = 4D_v$.

[0413] In **Fig. 64** ist der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ einer zweiten Empfangsantennenreihe (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) bezüglich einer ersten Empfangsantennenreihe (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) in dem Fall $\Delta V_{Rx(2,1)} = -D_v$. Alternativ kann der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ so festgelegt sein, dass $\Delta V_{Rx(2,1)} = +D_v$.

[0414] In **Fig. 64** ist der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ einer zweiten Sendeantennenreihe (Tx#3 und Tx#7) bezüglich einer ersten Sendeantennenreihe (Tx#4 und Tx#8) auf $-D_H$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(3,2)}$ einer dritten Sendeantennenreihe (Tx#2 und Tx#6) bezüglich der zweiten Sendeantennenreihe auf $+D_H$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(4,3)}$ einer vierten Sendeantennenreihe (Tx#1 und Tx#5) bezüglich der dritten Sendeantennenreihe auf $-D_H$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein. In **Fig. 64** ist die Richtung $+D_v$ die Richtung nach oben, $-D_v$ ist die Richtung nach unten, die Richtung $+D_H$ ist die Richtung nach rechts und $-D_H$ ist die Richtung nach links.

[0415] Wenn die Anordnung mit einem ungleichen Abstand (beispielsweise dem Abstand, der größer als D_H oder D_v ist) um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe enthalten sein kann, kann $D_{TxHGroupV}$ ein Wert sein, der größer als der Wert des Ausdrucks 15 ist.

(Anordnungsmethode 3-2B)

[0416] In Modifikation 1 der Grundanordnung 3 ist der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente durch Erhöhen der Anzahl $N_{TxHGroup1_ANT}$ der Sendeantennen und der Anzahl $N_{TxHGroup2_ANT}$ der Sendeantennen, die in den Sendeantennenreihen der Sendegruppenantenne enthalten sind, erhöht ist. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration kann die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente in der virtuellen Empfangsgruppe auch beispielsweise durch Erhöhen der Anzahl $N_{RxVGroup}$ der Empfangsantennenreihen in der Empfangsgruppenantenne erhöht werden.

[0417] In diesem Fall kann der horizontale Antennenabstand von jeder der Empfangsantennenreihen beispielsweise auf einen bestimmten Wert (beispielsweise $2D_H$) festgelegt sein; in Abhängigkeit von der Anzahl $N_{TxHGroup1_ANT}$ der Sendeantennen oder der Anzahl $N_{TxHGroup2_ANT}$ der Sendeantennen, die in den Sendeantennenreihen enthalten sind, kann jedoch die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die Anordnung sein, bei der sich die virtuellen Gruppenelemente überlappen.

[0418] Wenn die Anordnung, die kein überlappendes virtuelles Gruppenelement enthält, auf die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe angewandt wird, kann der folgende Abstand $D_{RxVGroupH}$ beispielsweise als die geradzahigen Antennenabstände unter den horizontalen Abständen der Empfangsantennenreihen verwendet werden.

[16]

$$D_{RxVGroupH} = D_H (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT} - 2) \quad (\text{Ausdruck 16})$$

[0419] Wenn beispielsweise $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = 2$ ist, ist $D_{RxVGroupH} = 2D_H$, und wenn $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = 3$ ist, ist $D_{RxVGroupH} = 4D_H$.

[0420] Wenn beispielsweise die Anzahl $N_{RxVGroup}$ der Empfangsantennenreihen drei beträgt, sind die horizontalen Abstände der drei Empfangsantennenreihen auf $\{2D_H, D_{RxVGroupH}\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{RxVGroup}$ der Empfangsantennenreihen vier beträgt, sind die horizontalen Abstände der vier Empfangsantennenreihen

auf $\{2D_H, D_{RxVGroupH}, 2D_H\}$ festgelegt. Wenn die Anzahl $N_{RxVGroup}$ der Empfangsantennenreihen fünf beträgt, sind die horizontalen Abstände der fünf Empfangsantennenreihen in ähnlicher Weise auf $\{2D_H, D_{RxVGroupH}, 2D_H, D_{RxVGroupH}\}$ festgelegt.

[0421] Fig. 65 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup} = 2$, $N_{RxVGroup} = 4$, $N_{TxHGroup1_ANT} = 2$, $N_{TxHGroup2_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup1_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup2_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup3_ANT} = 2$ und $N_{RxVGroup4_ANT} = 2$ ist, und ein Beispiel einer virtuellen Empfangsgruppe. $N_{RxVGroup3_ANT}$ bezeichnet die Anzahl der in einer dritten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen, und $N_{RxVGroup4_ANT}$ bezeichnet die Anzahl der in einer vierten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen. In Fig. 65 ist in dem Ausdruck 16 $D_{RxVGroupH} = 2D_H$.

[0422] In Fig. 65 ist der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ einer zweiten Sendeantennenreihe (Tx#1 und Tx#3) bezüglich einer ersten Sendeantennenreihe (Tx#2 und Tx#4) in dem Fall $\Delta H_{Tx(2,1)} = -D_H$. Alternativ kann der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ so festgelegt sein, dass $\Delta H_{Tx(2,1)} = +D_H$.

[0423] In Fig. 65 ist der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ einer zweiten Empfangsantennenreihe (Rx#3 und Rx#4) bezüglich einer ersten Empfangsantennenreihe (Rx#1 und Rx#2) auf $-D_v$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(3,2)}$ einer dritten Empfangsantennenreihe (Rx#5 und Rx#6) bezüglich der zweiten Empfangsantennenreihe auf $+D_v$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(4,3)}$ einer vierten Empfangsantennenreihe (Rx#7 und Rx#8) bezüglich der dritten Empfangsantennenreihe auf $-D_v$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein. In Fig. 65 ist die Richtung $+D_v$ die Richtung nach oben und $-D_v$ die Richtung nach unten.

[0424] Fig. 66 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxHGroup} = 2$, $N_{RxVGroup} = 4$, $N_{TxHGroup1_ANT} = 3$, $N_{TxHGroup2_ANT} = 3$, $N_{RxVGroup1_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup2_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup3_ANT} = 2$ und $N_{RxVGroup4_ANT} = 2$ ist, und ein Beispiel einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 66 ist in dem Ausdruck 16 $D_{RxVGroupH} = 4D_H$.

[0425] Der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ einer zweiten Sendeantennenreihe (Tx#1, Tx#3 und Tx#5) bezüglich einer ersten Sendeantennenreihe (Tx#2, Tx#4, und Tx#6) ist in dem Fall $\Delta H_{Tx(2,1)} = -D_H$. Alternativ kann der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ so festgelegt sein, dass $\Delta H_{Tx(2,1)} = +D_H$.

[0426] In Fig. 66 ist der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ einer zweiten vertikalen Empfangsantennenreihe (Rx#3 und Rx#4) bezüglich einer ersten Empfangsantennenreihe (Rx#1 und Rx#2) auf $-D_v$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(3,2)}$ einer dritten Empfangsantennenreihe (Rx#5 und Rx#6) bezüglich der zweiten Empfangsantennenreihe auf $+D_v$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(4,3)}$ einer vierten Empfangsantennenreihe (Rx#7 und Rx#8) bezüglich der dritten Empfangsantennenreihe auf $-D_v$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein. In Fig. 66 ist die Richtung $+D_v$ die Richtung nach oben, $-D_v$ ist die Richtung nach unten, die Richtung $+D_H$ ist die Richtung nach rechts und $-D_H$ ist die Richtung nach links.

[0427] Wenn die Anordnung mit einem ungleichen Abstand (beispielsweise dem Abstand, der größer als D_H oder D_v ist) um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe enthalten sein kann, kann $D_{RxVGroupH}$ ein Wert sein, der größer als der Wert des Ausdrucks 16 ist.

[0428] Vorstehend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 3-2A und 3-2B in Modifikation 2 der Grundanordnung 3 beschrieben.

[0429] Beispielsweise können in jeder der Sende-Empfangs-Antennenanordnungen (beispielsweise MIMO-Gruppenanordnungen), die jeweils in Fig. 63 bis Fig. 66 gezeigt sind, die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne 106 und jeder Empfangsantenne 202 auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0430] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in Fig. 63 bis Fig. 66 gezeigt sind, die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0431] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in Fig. 63 bis Fig. 66 gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Ab-

stand von D_v dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von der Anzahl $N_{TxHGroup}$ der Sendeantennenreihen und der Anzahl $N_{TxHGroup(ntvg_ANT)}$ der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen (hier ist $ntvg = 1, \dots, N_{TxHGroup2_sowie}$ der Anzahl $N_{RxVGroup}$ der Empfangsantennenreihen und der Anzahl $N_{RxVGroupP(nrhg_ANT)}$ der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen (hier ist $nrhg = 1, \dots, N_{RxVGroup}$) zu.

[0432] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $(0,5 \times (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) \times N_{RxVGroup})$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H in Linien angeordnet, und $(0,5 \times (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) \times N_{TxHGroup})$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v in Linien angeordnet. $(0,5 \times (N_{TxHGroup1_ANT} + N_{TxHGroup2_ANT}) \times N_{RxVGroup} - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $(0,5 \times (N_{RxVGroup1_ANT} + N_{RxVGroup2_ANT}) \times N_{TxHGroup} - 2)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet.

[0433] Wenn die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, zunehmen, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0434] Wenn die Anzahl $N_{TxHGroup(ntvg_ANT)}$ der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und/oder die Anzahl $N_{RxVGroup}$ der Empfangsantennenreihen zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die horizontale Winkelauflösung verbessert wird. Wenn die Anzahl $N_{RxVGroup(nrhg_ANT)}$ der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und/oder die Anzahl $N_{TxHGroup}$ der Sendeantennenreihen zunimmt, nimmt in ähnlicher Weise die Anzahl der in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die vertikale Winkelauflösung verbessert wird.

[0435] In Modifikation 2 der Grundanordnung 3 ist auch eine Anordnung möglich, die eine Kombination der Anordnungsmethode 3-2A und der Anordnungsmethode 3-2B ist.

[0436] Fig. 67 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{RxGroup} = N_{TxHGroup} = 4$, $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = N_{TxHGroup3_ANT} = N_{TxHGroup4_ANT} = 2$, $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = N_{RxVGroup3_ANT} = N_{RxVGroup4_ANT} = 2$ ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 67 ist in dem Ausdruck 15 $D_{TxHGroupV} = 2D_v$ und in dem Ausdruck 16 $D_{RxVGroupH} = 2D_H$.

[0437] In Fig. 67 ist der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ einer zweiten Sendeantennenreihe (Tx#3 und Tx#7) bezüglich einer ersten Sendeantennenreihe (Tx#4 und Tx#8) auf $-D_H$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(3,2)}$ einer dritten Sendeantennenreihe (Tx#2 und Tx#6) bezüglich der zweiten Sendeantennenreihe auf $-D_H$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(4,3)}$ einer vierten Sendeantennenreihe (Tx#1 und Tx#5) bezüglich der dritten Sendeantennenreihe auf $-D_H$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein.

[0438] In Fig. 67 ist der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ einer zweiten Empfangsantennenreihe (Rx#3 und Rx#4) bezüglich einer ersten Empfangsantennenreihe (Rx#1 und Rx#2) auf $-D_v$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(3,2)}$ einer dritten Empfangsantennenreihe (Rx#5 und Rx#6) bezüglich der zweiten Empfangsantennenreihe auf $+D_v$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(4,3)}$ einer vierten Empfangsantennenreihe (Rx#7 und Rx#8) bezüglich der dritten Empfangsantennenreihe auf $-D_v$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein.

[0439] In Fig. 67 ist die Richtung $+D_v$ die Richtung nach oben, die Richtung $-D_v$ ist die Richtung nach unten, die Richtung $+D_H$ ist die Richtung nach rechts und die Richtung $-D_H$ ist die Richtung nach links.

[0440] Fig. 68A zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{RxVGroup} = N_{TxHGroup} = 4$, $N_{TxHGroup1_ANT} = N_{TxHGroup2_ANT} = N_{TxHGroup3_ANT} = N_{TxHGroup4_ANT} = 4$, $N_{RxVGroup1_ANT} = N_{RxVGroup2_ANT} = N_{RxVGroup3_ANT} = N_{RxVGroup4_ANT} = 4$. Fig. 68B zeigt ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In Fig. 68A ist in dem Ausdruck 15 $D_{TxHGroupV} = 6D_v$ und in dem Ausdruck 16 $D_{RxVGroupH} = 6D_H$.

[0441] In Fig. 68A ist der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(2,1)}$ einer zweiten Sendeantennenreihe (Tx#3, Tx#7, Tx#11 und Tx#15) bezüglich einer ersten Sendeantennenreihe (Tx#4, Tx#8, Tx#12 und Tx#16) auf $-D_H$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(3,2)}$ einer dritten Sendeantennenreihe (Tx#2, Tx#6, Tx#10 und Tx#14)

bezüglich der zweiten Sendeantennenreihe auf $+D_H$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta H_{Tx(4,3)}$ einer vierten Sendeantennenreihe (Tx#1, Tx#5, Tx#9 und Tx#13) bezüglich der dritten Sendeantennenreihe auf $-D_H$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein.

[0442] In Fig. 68A ist der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(2,1)}$ einer zweiten Empfangsantennenreihe (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich einer ersten Empfangsantennenreihe (Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) auf $-D_v$ festgelegt, der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(3,2)}$ einer dritten Empfangsantennenreihe (Rx#9, Rx#10, Rx#11 und Rx#12) bezüglich der zweiten Empfangsantennenreihe auf $+D_v$ festgelegt und der Verschiebungsbetrag $\Delta V_{Rx(4,3)}$ einer vierten Empfangsantennenreihe (Rx#13, Rx#14, Rx#15 und Rx#16) bezüglich der dritten Empfangsantennenreihe auf $-D_v$ festgelegt. Jeder Verschiebungsbetrag kann eine Kombination von zwei Typen ($+D_v$, $-D_v$) sein.

[0443] In Fig. 68A und Fig. 68B ist die Richtung $+D_v$ die Richtung nach oben, die Richtung $-D_v$ ist die Richtung nach unten, die Richtung $+D_H$ ist die Richtung nach rechts und die Richtung $-D_H$ ist die Richtung nach links.

<Grundanordnung 4>

[0444] Fig. 69 zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen 106 und der Empfangsantennen 202 und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Grundanordnung 4.

(1) Anordnung der Sende-Empfangs-Antenne

[0445] In Fig. 69 beträgt die Anzahl N_t der Sendeantennen 106 in der Sendegruppenantenne vier (Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) und die Anzahl N_a der Empfangsantennen 202 in der Empfangsgruppenantenne beträgt vier (Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4).

[0446] Die in Fig. 69 gezeigte Sendegruppenantenne besteht beispielsweise aus einer ersten Sendeantennenreihe (Tx#2 und Tx#4 in Fig. 69) und einer zweiten Sendeantennenreihe (Tx#1 und Tx#3 in Fig. 69). Jede Sendeantennenreihe enthält zwei Sendeantennenelemente, deren horizontaler Abstand $2D_H$ und deren vertikaler Abstand D_v beträgt. In jeder der in Fig. 69 gezeigten Sendeantennenreihen sind beliebige benachbarte Sendeantennen in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $2D_H$ (mit anderen Worten im doppelten Abstand des Abstands D_H) voneinander angeordnet und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v voneinander angeordnet. Mit anderen Worten sind in Fig. 69 die in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen linienförmig diagonal nach unten rechts (mit anderen Worten diagonal nach oben links) in der horizontalen Richtung in einem Antennenabstand von $2D_H$ und in der vertikalen Richtung in einem Antennenabstand von D_v angeordnet.

[0447] In Fig. 69 ist die zweite Sendeantennenreihe bezüglich der ersten Sendeantennenreihe in der horizontalen Richtung mit einer Verschiebung von D_H nach links und in der vertikalen Richtung mit einer Verschiebung von $2D_v$ nach unten angeordnet. Mit anderen Worten stehen die in Fig. 69 gezeigten benachbarten Sendeantennenreihen in einer Beziehung der Verschiebung um einen Abstand von D_H in der horizontalen Richtung und $2D_v$ (mit anderen Worten um den doppelten Abstand des Abstands D_v) in der vertikalen Richtung.

[0448] Die in Fig. 69 gezeigte Empfangsgruppenantenne besteht aus einer ersten Empfangsantennenreihe (in Fig. 69 Rx#2 und Rx#4) und einer zweiten Empfangsantennenreihe (in Fig. 69 Rx#1 und Rx#3). Jede Empfangsantennenreihe enthält zwei Empfangsantennenelemente, deren horizontaler Antennenabstand $2D_H$ und deren vertikaler Antennenabstand D_v beträgt. In jeder der in Fig. 69 gezeigten Empfangsantennenreihen sind beliebige benachbarte Empfangsantennen in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $2D_H$ (mit anderen Worten im doppelten Abstand des Abstands D_H) voneinander angeordnet und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v voneinander angeordnet. Mit anderen Worten sind in Fig. 69 die in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen linienförmig diagonal nach oben rechts (mit anderen Worten diagonal nach unten links) in der horizontalen Richtung in einem Antennenabstand von $2D_H$ und in der vertikalen Richtung in einem Antennenabstand von D_v angeordnet.

[0449] In Fig. 69 ist die zweite Empfangsantennenreihe bezüglich der ersten Empfangsantennenreihe so angeordnet, dass sie in der horizontalen Richtung um D_H nach rechts verschoben ist, und so angeordnet, dass sie in der vertikalen Richtung um $2D_v$ nach unten verschoben ist. Mit anderen Worten stehen die in Fig. 69 gezeigten benachbarten Empfangsantennenreihen in einer Beziehung der Verschiebung um einen Abstand von D_H in der horizontalen Richtung und $2D_v$ (mit anderen Worten um den doppelten Abstand des Abstands D_v) in der vertikalen Richtung.

[0450] Wie in **Fig. 69** gezeigt, sind die Sendeantennen Tx#1 bis Tx#4 beispielsweise sowohl in der horizontalen Richtung als auch in der vertikalen Richtung an unterschiedlichen Positionen angeordnet. Wie in **Fig. 69** gezeigt, sind die Empfangsantennen Rx#1 bis Rx#4 sowohl in der horizontalen Richtung als auch in der vertikalen Richtung an unterschiedlichen Positionen angeordnet.

[0451] In der in **Fig. 69** gezeigten Sende-Empfangs-Antennenanordnung befinden sich die Anordnungspositionen der Sendeantennen und die Anordnungspositionen der Empfangsantennen beispielsweise in einer linearen Symmetrie (mit anderen Worten in einer invertierten Beziehung) in Bezug auf eine zur horizontalen Richtung oder vertikalen Richtung parallele Linie.

[0452] Beispielsweise ist angenommen, dass die in **Fig. 69** gezeigte horizontale Richtung (Querrichtung) der X-Achse entspricht und die in **Fig. 69** gezeigte vertikale Richtung (Längsrichtung) der Y-Achsen-Richtung entspricht.

[0453] In dem Fall der in **Fig. 69** gezeigten Antennenanordnung sind die Positionskoordinaten von jeder der Sendeantennen **106**, welche die Sendegruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1} + D_H, Y_{T_#1} + 2D_V)$ der Sendeantenne Tx#2, die Positionskoordinaten $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1} - D_V)$ der Sendeantenne Tx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 3D_H, Y_{T_#1} + D_V)$ der Sendeantenne Tx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ der Sendeantenne Tx#1 ausgedrückt.

[0454] In ähnlicher Weise sind die Positionskoordinaten von jeder der Empfangsantennen **202**, welche die Empfangsgruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1} - D_H, Y_{R_#1} + 2D_V)$ der Empfangsantenne Rx#2, die Positionskoordinaten $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + 2D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ der Empfangsantenne Rx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} + D_H, Y_{R_#1} + 3D_V)$ der Empfangsantenne Rx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ der Empfangsantenne Rx#1 ausgedrückt.

(2) Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe

[0455] Die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe (virtuelle Antennen VA#1 bis VA#16), die entsprechend der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung, die in **Fig. 69** gezeigt ist, vorgesehen ist, weist die folgenden Eigenschaften auf.

[0456] Mit der Anordnung der Sendegruppenantenne und der Anordnung der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 69** gezeigt sind, ist jeder Satz von Positionskoordinaten $(X_{V_#1}, Y_{V_#1})$ bis $(X_{V_#16}, Y_{V_#16})$ der virtuellen Empfangsgruppen VA#1 bis VA#16 wie folgt beschrieben. Hier ist VA#1 als der Positionsbezugspunkt (0, 0) der virtuellen Empfangsgruppe ausgedrückt.

$(0,0), (D_H, 2D_V), (2D_H, -D_V), (3D_H, D_V), (-D_H, 2D_V), (0, 4D_V), (D_H, D_V), (2D_H, 3D_V), (2D_H, D_V), (3D_H, 3D_V), (4D_H, 0), (5D_H, 2D_V), (D_H, 3D_V), (2D_H, 5D_V), (3D_H, 2D_V)$ und $(4D_H, 4D_V)$

[0457] Auf diese Weise sind in der in **Fig. 69** gezeigten Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die Elemente der virtuellen Empfangsgruppe ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet. Aus diesem Grund ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass sich die Hauptkeule verengt und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0458] Die virtuellen Gruppenelemente VA#2, VA#7, VA#9, VA#4, VA#15, VA#10, VA#8 und VA#13, die um den Mittelpunkt der in **Fig. 69** gezeigten virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Beispielsweise sind in **Fig. 69**, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind, die virtuellen Gruppenelemente VA#2, VA#7, VA#9, VA#4, VA#15, VA#10, VA#8 und VA#13 in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $D_H = 0,5\lambda$ und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $D_V = 0,5\lambda$ angeordnet. Mit dieser Konfiguration werden die Gitterkeulen wie in dem Fall der Grundanordnung 1 (siehe beispielsweise **Fig. 8**) reduziert.

[0459] Elemente an Positionen, die Koordinaten entsprechen, die durch die virtuellen Gruppenelemente umgeben sind (beispielsweise VA#2, VA#7, VA#9, VA#4, VA#15, VA#10, VA#8 und VA#13), die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, fehlen um den Mittelpunkt der in **Fig. 69** gezeigten virtuellen Empfangsgruppe. Die Radar-Vorrichtung **10** ist in der Lage, Empfangssignale der Elemente in dem fehlenden Bereich beispielsweise durch Ausführen einer Interpolation unter Verwendung der Empfangssignale der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind und den fehlenden Bereich umgeben, ungefähr zu empfangen.

[0460] Beispielsweise können in einer MIMO-Gruppenanordnung von Grundanordnung 4 die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0461] Mit dieser Konfiguration kann beispielsweise eine Antenne, die vier Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Zwei-mal-zwei-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind (wobei die Antennenbreite $W_{ANT} < 2D_H$ und die Antennenhöhe $H_{ANT} < 2D_V$ ist), wie in **Fig. 9A** gezeigt, auf jedes Antennenelement von mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 69** gezeigt sind, angewendet werden. Beispielsweise zeigt **Fig. 70A** ein Beispiel, bei dem eine Untergruppe, in der flache Patchantennen in einer Zwei-mal-zwei-Matrix angeordnet sind, wie in **Fig. 9A** gezeigt, auf die in **Fig. 69** gezeigte Sendeantennenanordnung angewendet ist.

[0462] In jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** kann eine Antenne mit beliebiger Größe in der Längsrichtung verwendet werden, wenn die Elementgröße in der Querrichtung W_{ANT} kleiner als D_H ist. Beispielsweise zeigt **Fig. 70B** ein Beispiel, bei dem eine Untergruppe, in der flache Patchantennen in einer Ein-mal-acht-Matrix angeordnet sind, wie in **Fig. 25A** gezeigt, auf die in **Fig. 69** gezeigte Antennenanordnung angewendet ist. Zusätzlich zu der in **Fig. 70B** gezeigten Sendegruppenantenne können passive Elemente (Blindelemente) angeordnet sein (nicht gezeigt).

[0463] Auf diese Weise wird in der Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 4 der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert und die Erfassungsleistung (beispielsweise Erfassungsreichweite) der Radar-Vorrichtung **10** verbessert, wenn die Antenne mit einer Untergruppenkonfiguration verwendet wird.

[0464] Der Richtungsschätzer **214** führt eine Richtungsschätzungsverarbeitung in der horizontalen Richtung und in der vertikalen Richtung unter Verwendung von Empfangssignalen der virtuellen Empfangsgruppe durch, die von der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung erhalten ist. Die Verarbeitung der virtuellen Empfangsgruppe von Grundanordnung 4 in dem Richtungsschätzer **214** ist ähnlich derjenigen von Grundanordnung 1, sodass die Beschreibung davon hier nicht wiederholt ist.

[0465] **Fig. 71** zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem, wenn beispielsweise die MIMO-Gruppenanordnung, in der die Anzahl N_t der Sendeantennen **106** vier und die Anzahl N_a der Empfangsantennen **202** vier beträgt ($D_H = 0,5\lambda$ und $D_V = 0,5\lambda$), verwendet wird, wie in **Fig. 69** gezeigt, ein Strahlformungsverfahren als der Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers **214** verwendet wird. Mit anderen Worten ist in **Fig. 71** der horizontale und der vertikale Antennenabstand jeder Sendeantenne **106** größer oder gleich 1λ und der horizontale und der vertikale Antennenabstand jeder Empfangsantenne **202** ist ebenfalls größer oder gleich 1λ . Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0466] In **Fig. 71** sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungsfunktionswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen.

[0467] In **Fig. 71** ist ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung im Vergleich zu **Fig. 1A** reduziert sind. Beispielsweise beträgt in **Fig. 71** das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,35.

[0468] Wie oben beschrieben, kann, wenn die MIMO-Gruppenanordnung gemäß der Grundanordnung 4 verwendet wird, die Anordnung so ausgeführt werden, dass der horizontale und vertikale Antennenabstand in der virtuellen Empfangsgruppe einen Zwischenelementabstand von etwa $0,5\lambda$ enthalten, auch wenn die Elementgröße jeder Antenne in der Längsrichtung oder in der Querrichtung, die für die Sendegruppenantenne und die Empfangsgruppenantenne verwendet wird, etwa 1λ beträgt, sodass die Gitterkeulen reduziert werden. Beispielsweise sind die Elemente der virtuellen Gruppenelemente der virtuellen Empfangsgruppe, die in **Fig. 69** gezeigt ist, ohne jegliche Überlappung angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

<Modifikation 1 der Grundanordnung 4>

[0469] In der Grundanordnung 4 (beispielsweise **Fig. 69**) ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem die Anzahl der Sendeantennen **106** vier ($N_t = 4$) und die Anzahl der Empfangsantennen **202** vier ($N_a = 4$) beträgt. Die Anzahl N_t der Sendeantennen und die Anzahl N_a der Empfangsantennen sind nicht auf diese Zahlen beschränkt.

[0470] Nachstehend ist in Modifikation 1 der Grundanordnung 4 beispielsweise die Anordnung beschrieben, bei der die Anzahl N_t der Sendeantennen und die Anzahl N_a der Empfangsantennen durch Verwendung der in **Fig. 69** gezeigten Antennenanordnung als eine Grundkonfiguration erhöht sind.

[0471] Im Folgenden ist jede der Antennenanordnungsmethoden 4-1A, 4-1B, 4-1C und 4-1D in Modifikation 1 der Grundanordnung 4 beschrieben.

(Anordnungsmethode 4-1A)

[0472] Beispielsweise besteht eine Sendegruppenantenne aus einer ersten Sendeantennenreihe und einer zweiten Sendeantennenreihe. Jede Sendeantennenreihe enthält eine Vielzahl von Sendeantennenelementen, die linienförmig diagonal nach unten rechts in einem Antennenabstand von $2D_H$ in der horizontalen Richtung und in einem Antennenabstand von D_v in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0473] Die zweite Sendeantennenreihe ist bezüglich der ersten Sendeantennenreihe so angeordnet, dass sie um D_H nach links verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um $2D_v$ nach unten verschoben ist.

[0474] Hier ist die Anzahl der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0475] Beispielsweise besteht eine Empfangsgruppenantenne aus einer ersten Empfangsantennenreihe und einer zweiten Empfangsantennenreihe. Jede Empfangsantennenreihe enthält eine Vielzahl von Empfangsantennenelementen, die linienförmig diagonal nach oben rechts in einem Abstand von $2D_H$ in der horizontalen Richtung und in einem Abstand von D_v in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0476] Die zweite Empfangsantennenreihe ist bezüglich der ersten Empfangsantennenreihe so angeordnet, dass sie um D_H nach rechts verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um $2D_v$ nach unten verschoben ist.

[0477] Hier ist die Anzahl der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0478] **Fig. 72** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8), $N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = 2$ (Rx#2 und Rx#4) und $N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 2$ (Rx#1 und Rx#3) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0479] **Fig. 73** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = 2$ (Tx#2 und Tx#4), $N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2, Rx#4 und Rx#6) und $N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#3 und Rx#5) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0480] **Fig. 74** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8), $N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2, Rx#4 und Rx#6) und $N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#3 und Rx#5) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0481] In jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die in **Fig. 72**, **Fig. 73** bzw. **Fig. 74** gezeigt sind, kann die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0482] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 72, Fig. 73** bzw. **Fig. 74** gezeigt sind, einige der virtuellen Gruppenelemente an überlappenden Positionen angeordnet; jedoch ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass die Winkelauflösung verbessert wird. In **Fig. 72** und **Fig. 73** liegt keine Überlappung der virtuellen Gruppenelemente vor, und in **Fig. 74** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in zwei Bereichen.

[0483] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 72, Fig. 73** bzw. **Fig. 74** gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Wie in **Fig. 72, Fig. 73** und **Fig. 74** gezeigt, fehlen um den Mittelpunkt jeder virtuellen Empfangsgruppe Elemente an Positionen, die einigen Koordinaten entsprechen. Die Radar-Vorrichtung **10** ist in der Lage, Empfangssignale der fehlenden Elemente durch Ausführen einer Interpolation unter Verwendung der Empfangssignale der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind und den fehlenden Bereich umgeben, ungefähr zu empfangen.

[0484] Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 72, Fig. 73** bzw. **Fig. 74** gezeigt sind, dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$, $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ und $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ zu.

[0485] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $((N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT}) - 5)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $(0,5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxUpperRightGr1_ANT} + N_{RxUpperRightGr2_ANT}) - 1)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v in der virtuellen Empfangsgruppe dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0486] Wenn $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$, $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ und/oder $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung und/oder in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale und/oder vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung und/oder der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0487] **Fig. 75** zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem, wenn beispielsweise die MIMO-Gruppenanordnung, in der die Anzahl N_t der Sendeantennen **106** acht und die Anzahl N_a der Empfangsantennen **202** sechs beträgt ($N_{TxLowerRightGr1_ANT} = N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 4$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 3$, $D_H = 0,5\lambda$ und $D_v = 0,5\lambda$), verwendet wird, wie in **Fig. 74** gezeigt, ein Strahlformungsverfahren als der Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers **214** verwendet wird. Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0488] In **Fig. 75** sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungsfunktionswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen.

[0489] In **Fig. 75** ist ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung im Vergleich zu **Fig. 1A** reduziert sind. Beispielsweise beträgt in **Fig. 75** das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,28. Es ist ersichtlich, dass beispielsweise im Vergleich zu der Konfiguration der Grundanordnung 4, die in **Fig. 69** gezeigt ist (in dem Fall, in welchem $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = N_{TxLowerRightGr2_ANT} = N_{RxUpperRightGr1_ANT} = N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 2$) (siehe beispielsweise **Fig. 71**), der Effekt der Reduzierung der Nebenkeulen durch Erhöhen von $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$, $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ und $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ verbessert wird. In **Fig. 75** ist ersichtlich, dass die Spitze der Hauptkeule im Vergleich zu **Fig. 71** geschärft ist und die Winkelauflösung infolge einer Erhöhung von $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$, $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ und $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ verbessert wird.

[0490] Wenn $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$, $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ und/oder $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ zunimmt, wird die horizontale Aperturlänge der virtuellen Gruppe stärker erweitert als in der vertikalen Richtung, wodurch eine MIMO-Gruppenkonfiguration die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung im Vergleich zu der Winkelauflösung in der vertikalen Richtung tendentiell weiter verbessert.

(Anordnungsmethode 4-1B)

[0491] Nachstehend ist in der Anordnungsmethode 4-1B der Fall beschrieben, in welchem die Aperturlänge einer virtuellen Empfangsgruppe in der vertikalen Richtung stärker erweitert ist als in der horizontalen Richtung. Mit dieser Konfiguration wird eine MIMO-Gruppenkonfiguration erhalten, welche die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung im Vergleich zu der Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert.

[0492] Beispielsweise besteht eine Sendegruppenantenne aus einer ersten Sendeantennenreihe und einer zweiten Sendeantennenreihe. Jede Sendeantennenreihe enthält eine Vielzahl von Sendeantennenelementen, die linienförmig diagonal nach oben rechts in einem Antennenabstand von D_H in der horizontalen Richtung und in einem Antennenabstand von $2D_v$ in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0493] Die zweite Sendeantennenreihe ist bezüglich der ersten Sendeantennenreihe so angeordnet, dass sie um $2D_H$ nach rechts verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um D_v nach unten verschoben ist.

[0494] Hier ist die Anzahl der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0495] Beispielsweise besteht eine Empfangsgruppenantenne aus einer ersten Empfangsantennenreihe und einer zweiten Empfangsantennenreihe. Jede Empfangsantennenreihe enthält eine Vielzahl von Empfangsantennenelementen, die linienförmig diagonal nach unten rechts in einem Antennenabstand von D_H in der horizontalen Richtung und in einem Antennenabstand von $2D_v$ in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0496] Die zweite Empfangsantennenreihe ist bezüglich der ersten Empfangsantennenreihe so angeordnet, dass sie um $2D_H$ nach links verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um D_v nach unten verschoben ist.

[0497] Hier ist die Anzahl der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0498] Fig. 76 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8), $N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = 2$ (Rx#4 und Rx#3) und $N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 2$ (Rx#2 und Rx#1) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0499] Fig. 77 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = 2$ (Tx#2 und Tx#4), $N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2, Rx#4, und Rx#6) und $N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#3 und Rx#5) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0500] Fig. 78 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8), $N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = 3$ (Rx#2, Rx#4 und Rx#6) und $N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 3$ (Rx#1, Rx#3 und Rx#5) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0501] In jeder der MIMO-Gruppenanordnungen, die in Fig. 76, Fig. 77 bzw. Fig. 78 gezeigt sind, kann die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne 106 und jeder Empfangsantenne 202 auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0502] Beispielsweise sind in jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in Fig. 76, Fig. 77 bzw. Fig. 78 gezeigt sind, einige der virtuellen Gruppenelemente an überlappenden Positionen angeordnet; jedoch ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass die Winkelauflösung verbessert wird. In Fig. 76 und Fig. 77 liegt keine Überlappung der virtuellen Gruppenelemente vor, und in Fig. 78 überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in zwei Bereichen.

[0503] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in Fig. 76, Fig. 77 bzw. Fig. 78 gezeigt sind, positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand

von D_v dicht angeordnet. Wie in **Fig. 76**, **Fig. 77** und **Fig. 78** gezeigt, fehlen um den Mittelpunkt jeder virtuellen Empfangsgruppe Elemente an Positionen, die einigen Koordinaten entsprechen. Die Radar-Vorrichtung **10** ist in der Lage, Empfangssignale der fehlenden Elemente durch Ausführen einer Interpolation unter Verwendung der Empfangssignale der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind und den fehlenden Bereich umgeben, ungefähr zu empfangen.

[0504] Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die in **Fig. 76**, **Fig. 77** bzw. **Fig. 78** gezeigt sind, dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$, $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$, $NRxLowerRightGr1_ANT$ und $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ ZU.

[0505] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $(0,5 \times (N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + NRxLowerRightGr1_ANT + NRxLowerRightGr2_ANT) - 1)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $((N_{TxUpperRightGr1_ANT} + N_{TxUpperRightGr2_ANT} + NRxLowerRightGr1_ANT + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) - 5)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v in der virtuellen Empfangsgruppe dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0506] Wenn $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$, $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ und/oder $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung und/oder in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale und/oder vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung und/oder der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0507] **Fig. 79** zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem, wenn beispielsweise die MIMO-Gruppenanordnung, in der die Anzahl N_t der Sendeantennen **106** acht und die Anzahl N_a der Empfangsantennen **202** sechs beträgt ($N_{TxUpperRightGr1_ANT} = N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 4$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 3$, $D_H = 0,5\lambda$ und $D_v = 0,5\lambda$), verwendet wird, wie in **Fig. 78** gezeigt, ein Strahlformungsverfahren als der Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers **214** verwendet wird. Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0508] In **Fig. 79** sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungsfunktionswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen.

[0509] In **Fig. 79** ist ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung im Vergleich zu **Fig. 1A** reduziert sind. Beispielsweise beträgt in **Fig. 79** das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,28. Es ist ersichtlich, dass beispielsweise im Vergleich zu der Konfiguration der Grundanordnung 4, die in **Fig. 69** gezeigt ist (in dem Fall, in welchem $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = N_{TxUpperRightGr2_ANT} = N_{RxLowerRightGr1_ANT} = NRxLowerRightGr2_ANT$) (siehe beispielsweise **Fig. 71**), der Effekt der Reduzierung der Nebenkeulen durch Erhöhen von $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$, $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ und $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ verbessert wird. In **Fig. 79** ist ersichtlich, dass die Spitze der Hauptkeule im Vergleich zu **Fig. 71** geschärft ist und die Winkelauflösung infolge einer Erhöhung von $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$, $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ und $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ verbessert wird.

[0510] Wenn $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$, $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ und/oder $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ zunimmt, wird die Aperturlänge der virtuellen Gruppe in der vertikalen Richtung stärker erweitert als in der horizontalen Richtung, wodurch eine MIMO-Gruppenkonfiguration die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung im Vergleich zu der Winkelauflösung in der horizontalen Richtung tendentiell weiter verbessert.

(Anordnungsmethode 4-1C)

[0511] Die Anordnungsmethode 4-1C ist eine Methode, die eine Kombination der Anordnungsmethode 4-1A und der Anordnungsmethode 4-1B ist.

[0512] Beispielsweise besteht eine Sendegruppenantenne aus einer ersten Sendeantennenreihe und einer zweiten Sendeantennenreihe. Jede Sendeantennenreihe enthält eine Vielzahl von Sendeantennenelementen,

die linienförmig diagonal nach unten rechts in einem Antennenabstand von $2D_H$ in der horizontalen Richtung und in einem Antennenabstand von D_v in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0513] Die zweite Sendeantennenreihe ist bezüglich der ersten Sendeantennenreihe so angeordnet, dass sie um D_H nach links verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um $2D_v$ nach unten verschoben ist.

[0514] Hier ist die Anzahl der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0515] Beispielsweise besteht eine Empfangsgruppenantenne aus einer ersten Empfangsantennenreihe und einer zweiten Empfangsantennenreihe. Jede Empfangsantennenreihe enthält eine Vielzahl von Empfangsantennenelementen, die linienförmig diagonal nach unten rechts in einem Antennenabstand von D_H in der horizontalen Richtung und in einem Antennenabstand von $2D_v$ in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0516] Die zweite Empfangsantennenreihe ist bezüglich der ersten Empfangsantennenreihe so angeordnet, dass sie um $2D_H$ nach links verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um D_v nach unten verschoben ist.

[0517] Hier ist die Anzahl der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxLowerRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxLowerRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0518] Fig. 80 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxLowerRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8), $N_{TxLowerRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxLowerRightGr1_ANT} = 4$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6 und Rx#8) und $N_{RxLowerRightGr2_ANT} = 4$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5 und Rx#7) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0519] In der in Fig. 80 gezeigten MIMO-Gruppenanordnung kann die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne 106 und jeder Empfangsantenne 202 auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0520] In der virtuellen Empfangsgruppe, die in Fig. 80 gezeigt ist, sind einige der virtuellen Gruppenelemente an überlappenden Positionen angeordnet; jedoch ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass die Winkelauflösung verbessert wird. In Fig. 80 überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in einem Bereich.

[0521] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der in Fig. 80 gezeigten virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Wie in Fig. 80 gezeigt, fehlen um den Mittelpunkt jeder virtuellen Empfangsgruppe Elemente an Positionen, die einigen Koordinaten entsprechen. Die Radar-Vorrichtung 10 ist in der Lage, Empfangssignale der fehlenden Elemente durch Ausführen einer Interpolation unter Verwendung der Empfangssignale der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind und den fehlenden Bereich umgeben, ungefähr zu empfangen.

[0522] Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe, die in Fig. 80 gezeigt ist, dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$, $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ und $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ zu.

[0523] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $(0,5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) + 1)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $(0,5 \times (N_{TxLowerRightGr1_ANT} + N_{TxLowerRightGr2_ANT} + N_{RxLowerRightGr1_ANT} + N_{RxLowerRightGr2_ANT}) + 1)$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v in der virtuellen Empfangsgruppe dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0524] Wenn $N_{TxLowerRightGr1_ANT}$, $N_{TxLowerRightGr2_ANT}$, $N_{RxLowerRightGr1_ANT}$ und/oder $N_{RxLowerRightGr2_ANT}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung und/oder in der vertikalen Richtung angeordneten

virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale und/oder vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung und/oder der vertikalen Richtung verbessert wird.

(Anordnungsmethode 4-1D)

[0525] Die Anordnungsmethode 4-1D ist eine Methode, die eine Kombination der Anordnungsmethode 4-1A und der Anordnungsmethode 4-1B ist.

[0526] Beispielsweise besteht eine Sendegruppenantenne aus einer ersten Sendeantennenreihe und einer zweiten Sendeantennenreihe. Jede Sendeantennenreihe enthält eine Vielzahl von Sendeantennenelementen, die linienförmig diagonal nach oben rechts in einem Antennenabstand von $2D_H$ in der horizontalen Richtung und in einem Antennenabstand von D_v in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0527] Die zweite Sendeantennenreihe ist bezüglich der ersten Sendeantennenreihe so angeordnet, dass sie um $2D_H$ nach rechts verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um D_v nach unten verschoben ist.

[0528] Hier ist die Anzahl der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen mit $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{TxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0529] Beispielsweise besteht eine Empfangsgruppenantenne aus einer ersten Empfangsantennenreihe und einer zweiten Empfangsantennenreihe. Jede Empfangsantennenreihe enthält eine Vielzahl von Empfangsantennenelementen, die linienförmig diagonal nach oben rechts in einem Antennenabstand von $2D_H$ in der horizontalen Richtung und in einem Antennenabstand von D_v in der vertikalen Richtung angeordnet sind.

[0530] Die zweite Empfangsantennenreihe ist bezüglich der ersten Empfangsantennenreihe so angeordnet, dass sie um D_H nach rechts verschoben ist, und so angeordnet, dass sie um $2D_v$ nach unten verschoben ist.

[0531] Hier ist die Anzahl der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxUpperRightGr1_ANT} \geq 2$. Hier ist die Anzahl der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen mit $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ bezeichnet. Beispielsweise ist $N_{RxUpperRightGr2_ANT} \geq 2$.

[0532] **Fig. 81** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxUpperRightGr1_ANT} = 4$ (Tx#2, Tx#4, Tx#6 und Tx#8), $N_{TxUpperRightGr2_ANT} = 4$ (Tx#1, Tx#3, Tx#5 und Tx#7), $N_{RxUpperRightGr1_ANT} = 4$ (Rx#2, Rx#4, Rx#6 und Rx#8) und $N_{RxUpperRightGr2_ANT} = 4$ (Rx#1, Rx#3, Rx#5 und Rx#7) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0533] In der in **Fig. 81** gezeigten MIMO-Gruppenanordnung kann die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v beispielsweise auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0534] In der virtuellen Empfangsgruppe, die in **Fig. 81** gezeigt ist, sind einige der virtuellen Gruppenelemente an überlappenden Positionen angeordnet; jedoch ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass die Winkelauflösung verbessert wird. In **Fig. 81** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in einem Bereich.

[0535] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der in **Fig. 81** gezeigten virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Wie in **Fig. 81** gezeigt, fehlen um den Mittelpunkt jeder virtuellen Empfangsgruppe Elemente an Positionen, die einigen Koordinaten entsprechen. Die Radar-Vorrichtung **10** ist in der Lage, Empfangssignale der fehlenden Elemente durch Ausführen einer Interpolation unter Verwendung der Empfangssignale der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind und den fehlenden Bereich umgeben, ungefähr zu empfangen.

[0536] Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe, die in **Fig. 81** gezeigt ist, dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von $N_{TxUpperRightGr1_ANT}$, $N_{TxUpperRightGr2_ANT}$, $N_{RxUpperRightGr1_ANT}$ und $N_{RxUpperRightGr2_ANT}$ zu.

[0537] Beispielsweise sind in einer virtuellen Empfangsgruppe $(0,5 \times (N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}) + 1)$ virtuelle Gruppenelemente in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H angeordnet, und $(0,5 \times (N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}} + N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}))$ virtuelle Gruppenelemente sind in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v angeordnet. Wenn die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v in der virtuellen Empfangsgruppe dicht angeordnet sind, zunimmt, verbessert sich der Effekt der Reduzierung der Gitterkeulen und Nebenkeulen.

[0538] Wenn $N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}}$, $N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}}$, $N_{\text{RxUpperRightGr1_ANT}}$ und/oder $N_{\text{RxUpperRightGr2_ANT}}$ zunimmt, nimmt die Anzahl der in der horizontalen Richtung und/oder in der vertikalen Richtung angeordneten virtuellen Gruppenelemente zu, sodass die horizontale und/oder vertikale Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung und/oder der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0539] Vorstehend ist jede der Antennenanordnungsmethoden 4-1A, 4-1B, 4-1C und 4-1D in Modifikation 1 der Grundanordnung 4 beschrieben.

[0540] In den Anordnungsmethoden 4-1A, 4-1B, 4-1C und 4-1D ist vorstehend der Fall beschrieben, in welchem eine Sendegruppenantenne aus der ersten Sendeantennenreihe und der zweiten Sendeantennenreihe besteht. Die Konfiguration kann diejenige sein, bei der die Anzahl N_{TxGroup} der in der Sendegruppenantenne enthaltenen Sendeantennenreihen größer oder gleich drei ist. In diesem Fall ist die n_{tx} -te Sendeantennenreihe entsprechend einer beliebigen Regel der Anordnungsmethoden 4-1A, 4-1B, 4-1C und 4-1D bezüglich der $(n_{\text{tx}} - 1)$ -ten Sendeantennenreihe angeordnet. Dabei ist $n_{\text{tx}} = 1, \dots, N_{\text{TxGroup}}$.

[0541] In ähnlicher Weise ist in den Anordnungsmethoden 4-1A, 4-1B, 4-1C und 4-1D der Fall beschrieben, in welchem eine Empfangsgruppenantenne aus der ersten Empfangsantennenreihe und der zweiten Empfangsantennenreihe besteht. Die Konfiguration kann diejenige sein, bei der die Anzahl N_{RxGroup} der Empfangsantennenreihen größer oder gleich drei ist. In diesem Fall ist die n_{rx} -te Empfangsantennenreihe entsprechend einer beliebigen Regel der Anordnungsmethoden 4-1A, 4-1B, 4-1C und 4-1D bezüglich der $(n_{\text{rx}} - 1)$ -ten Empfangsantennenreihe angeordnet. Dabei ist $n_{\text{rx}} = 1, \dots, N_{\text{RxGroup}}$.

[0542] Beispielsweise zeigt **Fig. 82** ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl N_{TxGroup} der Sendeantennenreihen drei beträgt, die Anzahl N_{RxGroup} der Empfangsantennenreihen drei beträgt, $N_{\text{TxUpperRightGr1_ANT}} = 3$ (Tx#3, Tx#6 und Tx#9), $N_{\text{TxUpperRightGr2_ANT}} = 3$ (Tx#2, Tx#5 und Tx#8), $N_{\text{TxUpperRightGr3_ANT}} = 3$ (Tx#1, Tx#4 und Tx#7), $N_{\text{RxLowerRightGr1_ANT}} = 3$ (Rx#7, Rx#8 und Rx#9), $N_{\text{RxLowerRightGr2_ANT}} = 3$ (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) und $N_{\text{RxLowerRightGr3_ANT}} = 3$ (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe bei der Anordnungsmethode 4-1B.

[0543] Beispielsweise kann in der in **Fig. 82** gezeigten MIMO-Gruppenanordnung die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn D_H und D_v auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0544] In der virtuellen Empfangsgruppe, die in **Fig. 82** gezeigt ist, sind einige der virtuellen Gruppenelemente an überlappenden Positionen angeordnet; jedoch ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass die Winkelauflösung verbessert wird. In **Fig. 82** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in acht Bereichen.

[0545] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der in **Fig. 82** gezeigten virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet. Wie in **Fig. 82** gezeigt, fehlen um den Mittelpunkt jeder virtuellen Empfangsgruppe Elemente an Positionen, die einigen Koordinaten entsprechen. Die Radar-Vorrichtung **10** ist in der Lage, Empfangssignale der fehlenden Elemente durch Ausführen einer Interpolation unter Verwendung der Empfangssignale der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind und den fehlenden Bereich umgeben, ungefähr zu empfangen.

[0546] Die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe, die in **Fig. 82** gezeigt ist, dicht angeordnet sind, nimmt in Abhängigkeit von N_{TxGroup} und N_{RxGroup} zu.

<Modifikation 2 der Grundanordnung 4>

[0547] In Modifikation 2 der Grundanordnung 4 ist nachstehend eine MIMO-Gruppenanordnung, bei der jede aus der Anordnung der Vier-Elemente-Sendegruppenantenne und der Vier-Elemente-Empfangsgruppenantenne, die in der Grundanordnung 4 gezeigt sind, als ein Basissatz definiert ist und die Anordnungspositionen einer Vielzahl der Basissätze versetzt sind, beschrieben.

[0548] In der unten beschriebenen Anordnung kann der Versatz des Basissatzes der Sendegruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen oder der Versatz des Basissatzes der Empfangsgruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen so festgelegt sein, dass in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe keine überlappenden Elemente vorhanden sind und mehr virtuelle Gruppenelemente um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_v oder D_H dicht angeordnet sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration kann dies durch Anpassen des Versatzes der Anordnungspositionen in ähnlicher Weise erreicht werden, wenn beispielsweise die Anordnung, bei der eine Anordnung mit ungleichem Abstand in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, oder die Anordnung, bei der sich virtuelle Gruppenelemente überlappen, in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, verwendet wird.

[0549] **Fig. 83** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 83** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (beispielsweise Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) auf $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 5DH$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 83** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0550] **Fig. 84** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 84** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (beispielsweise Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) auf $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 5D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 84** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0551] **Fig. 85** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 85** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (beispielsweise Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) auf $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 5DH$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 85** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0552] **Fig. 86** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 86** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (beispielsweise Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) auf $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 5D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 86** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenele-

mente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0553] **Fig. 87** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 87** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (beispielsweise Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) der Sendegruppenantenne auf $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 8D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ festgelegt. In **Fig. 87** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (beispielsweise Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) der Empfangsgruppenantenne auf $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 5D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 87** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 83** oder **Fig. 85** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird.

[0554] **Fig. 88A** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 4$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 4$ festgelegt ist. **Fig. 88B** zeigt ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0555] In **Fig. 88A** ist - bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) der Sendegruppenantenne - der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) auf $D_{Hoffset_TxBaseSet2} = 8D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes ist auf $D_{Voffset_TxBaseSet2} = 0$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes (Tx#9, Tx#10, Tx#11 und Tx#12) ist auf $D_{Hoffset_TxBaseSet3} = 0$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes ist auf $D_{Voffset_TxBaseSet3} = 5D_v$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes (Tx#13, Tx#14, Tx#15 und Tx#16) ist auf $D_{Hoffset_TxBaseSet4} = 8D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes ist auf $D_{Voffset_TxBaseSet4} = 5D_v$ festgelegt.

[0556] In **Fig. 88A** ist - bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) der Empfangsgruppenantenne - der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) auf $D_{Hoffset_RxBaseSet2} = 5D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes ist auf $D_{Voffset_RxBaseSet2} = 0$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes (Rx#9, Rx#10, Rx#11 und Rx#12) ist auf $D_{Hoffset_RxBaseSet3} = 0$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes ist auf $D_{Voffset_RxBaseSet3} = 8D_v$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes (Rx#13, Rx#14, Rx#15 und Rx#16) ist auf $D_{Hoffset_RxBaseSet4} = 5D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes ist auf $D_{Voffset_RxBaseSet4} = 8D_v$ festgelegt.

[0557] Wie in **Fig. 88A** und **Fig. 88B** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 83** oder **Fig. 85** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird. (In dem Fall von **Fig. 88** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in acht Bereichen.)

[0558] Wie in **Fig. 88A** und **Fig. 88B** gezeigt, kann in ähnlicher Weise mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Sendegruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 84** oder **Fig. 86** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung weiter verbessert wird.

[0559] In Modifikation 2 ist der Fall beschrieben, in welchem die Antennenanordnung der Grundanordnung 4 als ein Basissatz verwendet wird. Alternativ ist der Basissatz nicht auf die Antennenanordnung der Grundanordnung 4 beschränkt und kann beispielsweise die Antennenanordnung von Modifikation 1 der Grundanordnung 4 sein.

[0560] Die Anzahl ($N_{TxBaseSet}$) der in der Sendegruppenantenne enthaltenen Basissätze und die Anzahl ($N_{RxBaseSet}$) der in der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Basissätze sind nicht auf die vorstehenden Beispiele beschränkt und können andere Werte annehmen.

<Grundanordnung 5>

[0561] **Fig. 89** zeigt ein Beispiel der Anordnung der Sendeantennen **106** und der Empfangsantennen **202** und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe gemäß der Grundanordnung 5.

(1) Anordnung der Sende-Empfangs-Antenne

[0562] In **Fig. 89** beträgt die Anzahl N_t der Sendeantennen **106** in der Sendegruppenantenne vier ($Tx\#1$, $Tx\#2$, $Tx\#3$ und $Tx\#4$) und die Anzahl N_a der Empfangsantennen **202** in der Empfangsgruppenantenne beträgt vier ($Rx\#1$, $Rx\#2$, $Rx\#3$ und $Rx\#4$).

[0563] Die in **Fig. 89** gezeigte Sendegruppenantenne besteht beispielsweise aus einer ersten Sendeantennenreihe ($Tx\#2$ und $Tx\#4$ in **Fig. 89**) und einer zweiten Sendeantennenreihe ($Tx\#1$ und $Tx\#3$ in **Fig. 89**). Jede Sendeantennenreihe enthält zwei Sendeantennenelemente, deren horizontaler Antennenabstand D_H und deren vertikaler Antennenabstand D_v ist. In jeder der in **Fig. 89** gezeigten Sendeantennenreihen sind beliebige benachbarte Sendeantennen in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H voneinander angeordnet und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v voneinander angeordnet. Mit anderen Worten sind in **Fig. 89** die in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen linienförmig diagonal nach unten rechts (mit anderen Worten diagonal nach oben links) in der horizontalen Richtung in einem Antennenabstand von D_H und in der vertikalen Richtung in einem Antennenabstand von D_v angeordnet.

[0564] In **Fig. 89** ist die zweite Sendeantennenreihe bezüglich der ersten Sendeantennenreihe so angeordnet, dass sie in der horizontalen Richtung um $2D_H$ nach links verschoben ist, und so angeordnet, dass sie in der vertikalen Richtung um D_v nach unten verschoben ist. Mit anderen Worten stehen die in **Fig. 89** gezeigten benachbarten Sendeantennenreihen in einer Beziehung der Verschiebung um einen Abstand von $2D_H$ (mit anderen Worten um den doppelten Abstand des Abstands D_H) in der horizontalen Richtung und D_v in der vertikalen Richtung.

[0565] In **Fig. 89** ist die zweite Sendeantennenreihe bezüglich der ersten Sendeantennenreihe so angeordnet, dass sie in der horizontalen Richtung um D_H nach links verschoben ist, und so angeordnet, dass sie in der vertikalen Richtung um $2D_v$ nach unten verschoben ist.

[0566] Die in **Fig. 89** gezeigte Empfangsgruppenantenne besteht aus einer ersten Empfangsantennenreihe (in **Fig. 89** $Rx\#2$ und $Rx\#4$) und einer zweiten Empfangsantennenreihe (in **Fig. 89** $Rx\#1$ und $Rx\#3$). Jede Empfangsantennenreihe enthält zwei Empfangsantennenelemente, deren horizontaler Antennenabstand D_H und deren vertikaler Antennenabstand D_v ist. In jeder der in **Fig. 89** gezeigten Empfangsantennenreihen sind beliebige benachbarte Empfangsantennen in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H voneinander angeordnet und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v voneinander angeordnet. Mit anderen Worten sind in **Fig. 89** die in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Sendeantennen linienförmig diagonal nach oben rechts (mit anderen Worten diagonal nach unten links) in der horizontalen Richtung in einem Antennenabstand von D_H und in der vertikalen Richtung in einem Antennenabstand von D_v angeordnet.

[0567] In **Fig. 89** ist die zweite Empfangsantennenreihe bezüglich der ersten Empfangsantennenreihe so angeordnet, dass sie in der horizontalen Richtung um $2D_H$ nach rechts verschoben ist, und so angeordnet, dass sie in der vertikalen Richtung um D_v nach unten verschoben ist. Mit anderen Worten stehen die in **Fig. 89** gezeigten benachbarten Empfangsantennenreihen in einer Beziehung der Verschiebung um einen Abstand von $2D_H$ (mit anderen Worten um den doppelten Abstand des Abstands D_H) in der horizontalen Richtung und D_v in der vertikalen Richtung.

[0568] Wie in **Fig. 89** gezeigt, sind die Sendeantennen Tx#1 bis Tx#4 beispielsweise in der horizontalen Richtung an unterschiedlichen Positionen angeordnet. Wie in **Fig. 89** gezeigt, sind die Empfangsantennen Rx#1 bis Rx#4 in ähnlicher Weise in der horizontalen Richtung an unterschiedlichen Positionen angeordnet.

[0569] In der in **Fig. 89** gezeigten Sende-Empfangs-Antennenanordnung befinden sich die Anordnungspositionen der Sendeantennen und die Anordnungspositionen der Empfangsantennen beispielsweise in einer linearen Symmetrie (mit anderen Worten in einer invertierten Beziehung) in Bezug auf eine zur horizontalen Richtung oder vertikalen Richtung parallele Linie.

[0570] Beispielsweise ist angenommen, dass die in **Fig. 89** gezeigte horizontale Richtung (Querrichtung) der X-Achse entspricht und die in **Fig. 89** gezeigte vertikale Richtung (Längsrichtung) der Y-Achsen-Richtung entspricht.

[0571] Beispielsweise sind in dem Fall der in **Fig. 89** gezeigten Antennenanordnung die Positionskoordinaten von jeder der Sendeantennen **106**, welche die Sendegruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{T_#2}, Y_{T_#2}) = (X_{T_#1} + 2D_H, Y_{T_#1} + D_V)$ der Sendeantenne Tx#2, die Positionskoordinaten $(X_{T_#3}, Y_{T_#3}) = (X_{T_#1} + D_H, Y_{T_#1} - D_V)$ der Sendeantenne Tx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{T_#4}, Y_{T_#4}) = (X_{T_#1} + 3D_H, Y_{T_#1})$ der Sendeantenne Tx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{T_#1}, Y_{T_#1})$ der Sendeantenne Tx#1 ausgedrückt.

[0572] In ähnlicher Weise sind die Positionskoordinaten von jeder der Empfangsantennen **202**, welche die Empfangsgruppenantenne bilden, als die Positionskoordinaten $(X_{R_#2}, Y_{R_#2}) = (X_{R_#1} - 2D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ der Empfangsantenne Rx#2, die Positionskoordinaten $(X_{R_#3}, Y_{R_#3}) = (X_{R_#1} + D_H, Y_{R_#1} + D_V)$ der Empfangsantenne Rx#3 und die Positionskoordinaten $(X_{R_#4}, Y_{R_#4}) = (X_{R_#1} - D_H, Y_{R_#1} + 2D_V)$ der Empfangsantenne Rx#4 bezüglich der Positionskoordinaten $(X_{R_#1}, Y_{R_#1})$ der Empfangsantenne Rx#1 ausgedrückt.

(2) Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe

[0573] Die Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe (virtuelle Antennen VA#1 bis VA#16), die entsprechend der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung, die in **Fig. 89** gezeigt ist, vorgesehen ist, weist die folgenden Eigenschaften auf.

[0574] Mit der Anordnung der Sendegruppenantenne und der Anordnung der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 89** gezeigt sind, ist jeder Satz von Positionskoordinaten $(X_{V_#1}, Y_{V_#1})$ bis $(X_{V_#16}, Y_{V_#16})$ der virtuellen Empfangsgruppe VA#1 bis VA#16 wie folgt beschrieben. Hier ist VA#1 als der Positionsbezugspunkt (0, 0) der virtuellen Empfangsgruppe ausgedrückt. (0, 0), $(2D_H, D_V)$, $(D_H, -D_V)$, $(3D_H, 0)$, $(-2D_H, D_V)$, $(0, 2D_V)$, $(-D_H, 0)$, (D_H, D_V) , (D_H, D_V) , $(3D_H, 2D_V)$, $(2D_H, 0)$, $(4D_H, D_V)$, $(-D_H, 2D_V)$, $(D_H, 3D_V)$, $(0, D_V)$ und $(2D_H, 2D_V)$

[0575] Auf diese Weise sind in der in **Fig. 89** gezeigten Anordnung der virtuellen Empfangsgruppe die Elemente der virtuellen Empfangsgruppe mit Ausnahme einiger virtueller Gruppenelemente (beispielsweise VA#8 und #9) ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet. Aus diesem Grund ist die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert, sodass sich die Hauptkeule verengt und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0576] Die virtuellen Gruppenelemente VA#4, #11, #2, #16, #10, #7, #1, #15, #6, #13, VA#8 und #9, die um den Mittelpunkt der in **Fig. 89** gezeigten virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Beispielsweise sind in **Fig. 89**, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind, die virtuellen Gruppenelemente VA#4, #11, #2, #16, #10, #7, #1, #15, #6, #13, VA#8 und #9 in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $D_H = 0,5\lambda$ und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $D_V = 0,5\lambda$ angeordnet. Mit dieser Konfiguration werden die Gitterkeulen wie in dem Fall der Grundanordnung 1 (siehe beispielsweise **Fig. 8**) reduziert.

[0577] Elemente an Positionen, die Koordinaten entsprechen, die durch die virtuellen Gruppenelemente umgeben sind, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, fehlen um den Mittelpunkt der in **Fig. 89** gezeigten virtuellen Empfangsgruppe. Die Radar-Vorrichtung **10** ist in der Lage, Empfangssignale der Elemente in dem fehlenden Bereich beispielsweise durch Ausführen einer Interpolation unter Verwendung der Empfangssignale der virtuellen Gruppenelemente, die in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind und den fehlenden Bereich umgeben, ungefähr zu empfangen.

[0578] Beispielsweise können in der in **Fig. 89** gezeigten MIMO-Gruppenanordnungsconfiguration die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich 1λ ausgelegt sein, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0579] Mit dieser Configuration kann eine Antenne mit beliebiger Größe in der Längsrichtung verwendet werden, wenn die Elementgröße in der Querrichtung W_{ANT} jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** kleiner als D_H ist. Mit dieser Configuration kann beispielsweise eine Antenne, die vier Elemente verwendet, die flache Patchantennen sind, die in einer Ein-mal-acht-Matrix als eine Untergruppe angeordnet sind, wie in **Fig. 25A** gezeigt, auf jede Antenne von mindestens einer aus der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne, die in **Fig. 89** gezeigt sind, angewendet werden.

[0580] Die Anzahl (nachfolgend als $N_{TxGroup1_ANT}$ bezeichnet) der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und die Anzahl (nachfolgend als $N_{TxGroup2_ANT}$ bezeichnet) der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen können gleich oder um eine Antenne verschieden sein. Beispielsweise ist in definiert, dass $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 0$ oder 1 .

[0581] In ähnlicher Weise können die Anzahl (nachfolgend als $N_{RxGroup1_ANT}$ bezeichnet) der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und die Anzahl (nachfolgend als $N_{RxGroup2_ANT}$ bezeichnet) der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen gleich oder um eine Antenne verschieden sein. Beispielsweise ist in definiert, dass $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 0$ oder 1 .

[0582] **Fig. 90A** und **Fig. 90B** zeigen jeweils ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{TxGroup1_ANT}$ der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und der Anzahl $N_{TxGroup2_ANT}$ der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen besteht und die Anzahl $N_{RxGroup1_ANT}$ der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und die Anzahl $N_{RxGroup2_ANT}$ der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen gleich sind, sowie ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0583] Wie in **Fig. 90A** und **Fig. 90B** gezeigt, ist die MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 1$ und $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 0$ ist, eine Configuration, bei der die Anzahl der Sendeantennen drei beträgt und die Anzahl der Empfangsantennen vier beträgt ($N_{RxGroup1_ANT} = N_{RxGroup2_ANT} = 2$), und es sind beispielsweise zwei Muster vorhanden.

[0584] **Fig. 90A** ist ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2) und $N_{TxGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1, Tx#3) ist. **Fig. 90B** ist ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2, Tx#3) und $N_{TxGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1) ist.

[0585] Als Nächstes zeigen **Fig. 91A** und **Fig. 91B** jeweils ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl $N_{TxGroup1_ANT}$ der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und die Anzahl $N_{TxGroup2_ANT}$ der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen gleich sind und ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{RxGroup1_ANT}$ der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und der Anzahl $N_{RxGroup2_ANT}$ der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen besteht, sowie ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0586] Wie in **Fig. 91A** und **Fig. 91B** gezeigt, ist die MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 0$ und $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 1$ ist, eine Configuration, bei der die Anzahl der Sendeantennen vier ($N_{TxGroup1_ANT} = N_{TxGroup2_ANT} = 2$) beträgt und die Anzahl der Empfangsantennen drei beträgt, und es sind beispielsweise zwei Muster vorhanden.

[0587] **Fig. 91A** ist eine MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{RxGroup1_ANT} = 1$ (Rx#3) und $N_{RxGroup2_ANT} = 2$ (Rx#1 und Rx#2) ist. **Fig. 91B** ist eine MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{RxGroup1_ANT} = 2$ (Rx#2 und Rx#3) und $N_{RxGroup2_ANT} = 1$ (Rx#1) ist.

[0588] Als Nächstes zeigen **Fig. 92A** bis **Fig. 92D** jeweils ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{TxGroup1_ANT}$ der in der ersten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen und der Anzahl $N_{TxGroup2_ANT}$ der in der zweiten Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen besteht und ein Unterschied von einer Antenne zwischen der Anzahl $N_{RxGroup1_ANT}$ der in der ersten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen und der Anzahl $N_{RxGroup2_ANT}$ der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen besteht, sowie ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

Group2_ANT der in der zweiten Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen besteht, sowie ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0589] Wie in **Fig. 92A** bis **Fig. 92D** gezeigt, ist die MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $|N_{TxGroup1_ANT} - N_{TxGroup2_ANT}| = 1$ und $|N_{RxGroup1_ANT} - N_{RxGroup2_ANT}| = 1$ ist, minimal ist, eine Konfiguration, bei der die Anzahl der Sendeantennen drei beträgt und die Anzahl der Empfangsantennen drei beträgt, und es sind beispielsweise vier Muster von **Fig. 92A** bis **Fig. 92D** vorhanden.

[0590] **Fig. 92A** ist eine MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxVGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2), $N_{TxVGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#3) und $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#1 und Rx#2) ist.

[0591] **Fig. 92B** ist eine MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxVGroup1_ANT} = 1$ (Tx#2), $N_{TxVGroup2_ANT} = 2$ (Tx#1 und Tx#3), $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#2 und Rx#3) und $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#1) ist.

[0592] **Fig. 92C** ist eine MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxVGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2 und Tx#3), $N_{TxVGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1), $N_{RxHGroup1_ANT} = 1$ (Rx#3) und $N_{RxHGroup2_ANT} = 2$ (Rx#1 und Rx#2) ist.

[0593] **Fig. 92D** ist eine MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem $N_{TxVGroup1_ANT} = 2$ (Tx#2, Tx#3), $N_{TxVGroup2_ANT} = 1$ (Tx#1), $N_{RxHGroup1_ANT} = 2$ (Rx#2, Rx#3) und $N_{RxHGroup2_ANT} = 1$ (Rx#1) ist.

[0594] In jeder der virtuellen Empfangsgruppen, die jeweils in **Fig. 90A**, **Fig. 90B**, **Fig. 91A**, **Fig. 91B** und **Fig. 92A** bis **Fig. 92D** gezeigt sind, sind die virtuellen Gruppenelemente ohne jegliche Überlappung an unterschiedlichen Positionen angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

[0595] Die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, sind in einem Abstand von D_H und einem Abstand von D_V dicht angeordnet. Beispielsweise sind in jeder von **Fig. 90A**, **Fig. 90B**, **Fig. 91A**, **Fig. 91B** und **Fig. 92A** bis **Fig. 92D**, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind, die virtuellen Gruppenelemente, die um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe positioniert sind, in der horizontalen Richtung in einem Abstand von $D_H = 0,5\lambda$ und in der vertikalen Richtung in einem Abstand von $D_V = 0,5\lambda$ angeordnet. Mit dieser Konfiguration werden Gitterkeulen reduziert.

[0596] Beispielsweise können in der MIMO-Gruppenanordnung von Grundanordnung 5 die horizontale und vertikale Elementgröße jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** auf eine Größe größer oder gleich etwa 1λ ausgelegt sein, wenn der Abstand D_H und der Abstand D_V auf etwa $0,5\lambda$ festgelegt sind.

[0597] Mit dieser Konfiguration kann eine Antenne mit beliebiger Größe in der Längsrichtung verwendet werden, wenn beispielsweise die Elementgröße in der Querrichtung W_{ANT} jeder Sendeantenne **106** und jeder Empfangsantenne **202** kleiner als D_H ist. Beispielsweise zeigt **Fig. 93A** ein Beispiel, bei dem eine Untergruppe, in der flache Patchantennen in einer Ein-mal-acht-Matrix angeordnet sind, wie in **Fig. 25A** gezeigt, auf die in **Fig. 89** gezeigte Antennenanordnung angewendet ist. Wie in **Fig. 93B** gezeigt, können zusätzlich zu der in **Fig. 93A** gezeigten Sendegruppenantenne passive Elemente (Blindelemente) angeordnet sein. Mit den passiven Elementen wird der Einfluss der Kopplung von Antenne zu Antenne benachbarter Antennen unter den Antennen ausgeglichen, sodass die Richtcharakteristik jeder der Sendeantennen (Tx#1 bis Tx#4) ausgeglichen wird.

[0598] Auf diese Weise wird in der Antennenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 der Richtwirkungsgewinn der Antenne verbessert und die Erfassungsleistung (beispielsweise Erfassungsreichweite) der Radar-Vorrichtung **10** verbessert, wenn die Antenne mit einer Untergruppenkonfiguration verwendet wird.

[0599] Der Richtungsschätzer **214** führt eine Richtungsschätzungsverarbeitung in der horizontalen Richtung und in der vertikalen Richtung unter Verwendung von Empfangssignalen der virtuellen Empfangsgruppe durch, die von der oben beschriebenen Sende-Empfangs-Antennenanordnung erhalten ist. Die Verarbeitung der virtuellen Empfangsgruppe von Grundanordnung 5 in dem Richtungsschätzer **214** ist ähnlich derjenigen von Grundanordnung 1, sodass die Beschreibung davon hier nicht wiederholt ist.

[0600] **Fig. 94** zeigt ein Beispiel eines Richtungsschätzungsergebnisses in dem Fall, in welchem, wenn beispielsweise die MIMO-Gruppenanordnung, in der die Anzahl N_t der Sendeantennen **106** vier und die Anzahl N_a der Empfangsantennen **202** vier beträgt ($D_H = 0,5\lambda$ und $D_V = 0,5\lambda$), verwendet wird, wie in **Fig. 89** gezeigt, ein Strahlformungsverfahren als der Ankunftsrichtungsschätzalgorithmus des Richtungsschätzers **214** verwendet

wird. Mit anderen Worten ist in **Fig. 94** der horizontale und der vertikale Antennenabstand jeder Sendeantenne **106** größer oder gleich 1λ und der horizontale und der vertikale Antennenabstand jeder Empfangsantenne **202** ist ebenfalls größer oder gleich 1λ . Die Richtwirkung jeder Antenne wird als Rundstrahlwirkung berechnet.

[0601] In **Fig. 94** sind Ausgaben des Ankunftsrichtungsschätzungs-Bewertungsfunktionswerts in dem Bereich von ± 90 Grad in der horizontalen Richtung und in dem Bereich von ± 90 Grad in der vertikalen Richtung in dem Fall, in welchem ein tatsächlicher Zielwert auf null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung festgelegt ist, aufgetragen.

[0602] In **Fig. 94** ist ersichtlich, dass die Gitterkeulen in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung im Vergleich zu **Fig. 1A** reduziert sind. Beispielsweise beträgt in **Fig. 94** das Verhältnis (PSLR) des Spitzenleistungspegels der höchsten Nebenkeule außer der Hauptkeule in anderen Richtungen als null Grad in der horizontalen Richtung oder null Grad in der vertikalen Richtung zum Spitzenleistungspegel der Hauptkeule in der Richtung von null Grad in der horizontalen Richtung und null Grad in der vertikalen Richtung etwa 0,35.

[0603] Wie oben beschrieben, kann, wenn die MIMO-Gruppenanordnung gemäß der Grundanordnung 5 verwendet wird, die Anordnung so ausgeführt werden, dass der horizontale und vertikale Antennenabstand in der virtuellen Empfangsgruppe einen Zwischenelementabstand von etwa $0,5\lambda$ enthalten, auch wenn die Elementgröße jeder Antenne in der Längsrichtung oder in der Querrichtung, die für die Sendegruppenantenne und die Empfangsgruppenantenne verwendet wird, etwa 1λ beträgt, sodass die Gitterkeulen reduziert werden. Beispielsweise sind die Elemente der virtuellen Gruppenelemente der virtuellen Empfangsgruppe, die in **Fig. 52A** gezeigt ist, ohne jegliche Überlappung angeordnet, sodass die Aperturlänge der virtuellen Empfangsgruppe erweitert und die Winkelauflösung verbessert wird.

<Modifikation 1 der Grundanordnung 5>

[0604] In Modifikation 1 der Grundanordnung 5 ist nachstehend eine MIMO-Gruppenanordnung, bei der jede aus der Anordnung der Sendegruppenantenne und der Empfangsgruppenantenne, die in der Grundanordnung 5 gezeigt sind, als ein Basissatz definiert ist und die Anordnungspositionen einer Vielzahl der Basissätze versetzt sind, beschrieben.

[0605] Nachfolgend ist jede der Anordnungsmethoden 5-1A, 5-1B und 5-1C in Modifikation 1 der Grundanordnung 5 beschrieben.

(Anordnungsmethode 5-1A)

[0606] In der Anordnungsmethode 5-1A ist nachstehend eine MIMO-Gruppenanordnung, bei der jede aus der Anordnung der Vier-Elemente-Sendegruppenantenne und der Vier-Elemente-Empfangsgruppenantenne, die in der Grundanordnung 5 gezeigt sind, als ein Basissatz definiert ist und die Anordnungspositionen einer Vielzahl der Basissätze versetzt sind, beschrieben.

[0607] In der unten beschriebenen Anordnung kann der Versatz des Basissatzes der Sendegruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen oder der Versatz des Basissatzes der Empfangsgruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen so festgelegt sein, dass in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe keine überlappenden Elemente vorhanden sind und mehr virtuelle Gruppenelemente um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_v oder D_H dicht angeordnet sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration kann dies durch Anpassen des Versatzes der Anordnungspositionen in ähnlicher Weise erreicht werden, wenn beispielsweise die Anordnung, bei der eine Anordnung mit ungleichem Abstand in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, oder die Anordnung, bei der sich virtuelle Gruppenelemente überlappen, in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, verwendet wird.

[0608] **Fig. 95** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 95** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) auf $D_{Offset_TxBaseSet2} = 5D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{offset_TxBaseSet2} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 95** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne

in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird. In dem Fall von **Fig. 95** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in zwei Bereichen.

[0609] Fig. 96 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 96** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) auf $D_{Hoffset-TxBaseSet2} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset-TxBaseSet2} = 3D_V$ festgelegt. Wie in **Fig. 96** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird. In dem Fall von **Fig. 96** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in zwei Bereichen.

[0610] Fig. 97 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 97** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (beispielsweise Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) auf $D_{Hoffset-RxBaseSet2} = 5D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset-RxBaseSet2} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 97** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass eine Winkelauflösung in der horizontalen Richtung möglich ist. In dem Fall von **Fig. 97** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in zwei Bereichen.

[0611] Fig. 98 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 98** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) auf $D_{Hoffset-RxBaseSet2} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset-RxBaseSet2} = 3D_V$ festgelegt. Wie in **Fig. 98** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird. In dem Fall von **Fig. 98** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in zwei Bereichen.

[0612] Fig. 99 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{RxBaseSet} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 99** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) der Sendegruppenantenne auf $D_{Hoffset-TxBaseSet2} = 10D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset-TxBaseSet2} = 0$ festgelegt. In **Fig. 99** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) der Empfangsgruppenantenne auf $D_{Hoffset-RxBaseSet2} = 5D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{Voffset-RxBaseSet2} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 99** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 95** oder **Fig. 97** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird. In dem Fall von **Fig. 99** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in vier Bereichen.

[0613] Fig. 100A zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{TxBaseSet} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppen-

antenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 4$ festgelegt ist. **Fig. 100B** zeigt ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0614] In **Fig. 100A** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Tx#1, Tx#2, Tx#3 und Tx#4) der Sendegruppenantenne auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 5D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = 00$ festgelegt.

[0615] In **Fig. 100A** ist - bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) der Empfangsgruppenantenne - der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 5D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = -3D_V$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes (Rx#9, Rx#10, Rx#11 und Rx#12) ist auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet3}} = -5D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}} = -3D_V$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes (Rx#13, Rx#14, Rx#15 und Rx#16) ist auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet4}} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}} = -6D_V$ festgelegt.

[0616] Wie in **Fig. 100A** und **Fig. 100B** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 95** oder **Fig. 97** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird.

[0617] Wie in **Fig. 100A** und **Fig. 100B** gezeigt, kann in ähnlicher Weise mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird. In dem Fall von **Fig. 100B** überlappen sich virtuelle Gruppenelemente in acht Bereichen.

<Anordnungsmethode 5-1B>

[0618] In der Anordnungsmethode 5-1B ist nachstehend eine MIMO-Gruppenanordnung, bei der jede aus der Anordnung der Vier-Elemente-Sendegruppenantenne und der Drei-Elemente-Empfangsgruppenantenne, die in der Grundanordnung 5 gezeigt sind, oder jede aus der Anordnung der Drei-Elemente-Sendegruppenantenne und der Anordnung der Vier-Elemente-Empfangsgruppenantenne als ein Basissatz definiert ist und die Anordnungspositionen einer Vielzahl der Basissätze versetzt sind, beschrieben.

[0619] Nachfolgend ist als ein Beispiel der Fall beschrieben, in welchem die in **Fig. 90A** gezeigte Antennenanordnung als ein Basissatz verwendet wird. Die Antennenanordnung ist nicht auf das in **Fig. 90A** gezeigte Beispiel beschränkt und kann eine andere Antennenanordnung sein (beispielsweise **Fig. 90B**, **Fig. 91A** oder **Fig. 91B**).

[0620] In der unten beschriebenen Anordnung kann der Versatz des Basissatzes der Sendegruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen oder der Versatz des Basissatzes der Empfangsgruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen so festgelegt sein, dass in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe keine überlappenden Elemente vorhanden sind und mehr virtuelle Gruppenelemente um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_V oder D_H dicht angeordnet sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration kann dies durch Anpassen des Versatzes der Anordnungspositionen in ähnlicher Weise erreicht werden, wenn beispielsweise die Anordnung, bei der eine Anordnung mit ungleichem Abstand in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, oder die Anordnung, bei der sich virtuelle Gruppenelemente überlappen, in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, verwendet wird.

[0621] **Fig. 101** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 101** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 4D_H$ festgelegt und

der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 101** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0622] Fig. 102 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 102** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = 3D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 102** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0623] Fig. 103 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 103** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 4D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 103** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0624] Fig. 104 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 104** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = 3D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 104** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0625] Fig. 105 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 105** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) der Sendegruppenantenne auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 4D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = -2D_v$ festgelegt. In **Fig. 105** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#5, Rx#6, Rx#7 und Rx#8) bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) der Empfangsgruppenantenne auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 4D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 105** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 101** oder **Fig. 103** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird.

[0626] Fig. 106A zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 4$ festgelegt ist. **Fig. 106B** zeigt ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0627] In **Fig. 106A** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) der Sendegruppenantenne auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 4D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = D_v$ festgelegt.

[0628] In **Fig. 106A** ist - bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2, Rx#3 und Rx#4) der Empfangsgruppenantenne - der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#5, Tx#6, Tx#7 und Tx#8) auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 4D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = 2D_v$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes (Tx#9, Tx#10, Tx#11 und Tx#12) ist auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet3}} = -6D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}} = -3D_v$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes (Tx#13, Tx#14, Tx#15 und Tx#16) ist auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet4}} = -2D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}} = -5D_v$ festgelegt.

[0629] Wie in **Fig. 106A** und 106B gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 101** oder **Fig. 103** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird.

[0630] Wie in **Fig. 106A** und 106B gezeigt, kann in ähnlicher Weise mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird.

(Anordnungsmethode 5-1C)

[0631] In der Anordnungsmethode 5-1C ist nachstehend eine MIMO-Gruppenanordnung, bei der jede aus der Anordnung der Drei-Elemente-Sendegruppenantenne und der Drei-Elemente-Empfangsgruppenantenne, die in der Grundanordnung 5 gezeigt sind, als ein Basissatz definiert ist und die Anordnungspositionen einer Vielzahl der Basissätze versetzt sind, beschrieben.

[0632] Nachfolgend ist als ein Beispiel der Fall beschrieben, in welchem die in **Fig. 92B** gezeigte Antennenanordnung als ein Basissatz verwendet wird. Die Antennenanordnung ist nicht auf das in **Fig. 92B** gezeigte Beispiel beschränkt und kann eine andere Antennenanordnung sein (beispielsweise **Fig. 92A**, **Fig. 92C** oder **Fig. 92D**).

[0633] In der unten beschriebenen Anordnung kann der Versatz des Basissatzes der Sendegruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen oder der Versatz des Basissatzes der Empfangsgruppenantenne bezüglich der horizontalen und vertikalen Anordnungspositionen so festgelegt sein, dass in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe keine überlappenden Elemente vorhanden sind und mehr virtuelle Gruppenelemente um den Mittelpunkt der virtuellen Empfangsgruppe in einem Abstand von D_v oder D_H dicht angeordnet sind. Ohne Einschränkung auf diese Konfiguration kann dies durch Anpassen des Versatzes der Anordnungspositionen in ähnlicher Weise erreicht werden, wenn beispielsweise die Anordnung, bei der eine Anordnung mit ungleichem Abstand in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, oder die Anordnung, bei der sich virtuelle Gruppenelemente überlappen, in der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe vergrößert wird, verwendet wird.

[0634] **Fig. 107** zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 107** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 3D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 107** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0635] Fig. 108 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 1$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 108** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = 3D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 108** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0636] Fig. 109 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 109** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 3D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 109** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung verbessert wird.

[0637] Fig. 110 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 1$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 110** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 0$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = 3D_v$ festgelegt. Wie in **Fig. 110** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_v dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0638] Fig. 111 zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 2$ festgelegt ist, und ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe. In **Fig. 111** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) der Sendegruppenantenne auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 6D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = 0$ festgelegt. In **Fig. 111** ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Rx#1, Rx#2 und Rx#3) der Empfangsgruppenantenne auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = 3D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = 0$ festgelegt. Wie in **Fig. 111** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die zwei Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 107** oder **Fig. 109** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird.

[0639] Fig. 112A zeigt ein Beispiel einer MIMO-Gruppenanordnung in dem Fall, in welchem die Anzahl der Basissätze der Sendegruppenantenne auf $N_{\text{TxBaseSet}} = 2$ und die Anzahl der Basissätze der Empfangsgruppenantenne auf $N_{\text{RxBaseSet}} = 4$ festgelegt ist. **Fig. 112B** zeigt ein Beispiel der Anordnung einer virtuellen Empfangsgruppe.

[0640] In Fig. 112A ist der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Tx#4, Tx#5 und Tx#6) bezüglich des ersten Basissatzes (Tx#1, Tx#2 und Tx#3) der Sendegruppenantenne auf $D_{\text{Hoffset_TxBaseSet2}} = 3D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes auf $D_{\text{Voffset_TxBaseSet2}} = 0$ festgelegt.

[0641] In **Fig. 112A** ist - bezüglich des ersten Basissatzes (beispielsweise Rx#1, Rx#2 und Rx#3) der Empfangsgruppenantenne - der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes (Rx#4, Rx#5 und Rx#6) auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet2}} = -3D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des zweiten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet2}} = -3D_V$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes (Rx#7, Rx#8 und Rx#9) ist auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet3}} = 6D_H$ festgelegt, der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des dritten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet3}} = 0$ festgelegt, der Versatz der horizontalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes (Rx#10, Rx#11 und Rx#12) ist auf $D_{\text{Hoffset_RxBaseSet4}} = 3D_H$ festgelegt und der Versatz der vertikalen Anordnungsposition des vierten Basissatzes ist auf $D_{\text{Voffset_RxBaseSet4}} = -3D_V$ festgelegt.

[0642] Wie in **Fig. 112A** und **112B** gezeigt, kann mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Sendegruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, und der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der horizontalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der horizontalen Richtung in einem Abstand von D_H dicht angeordnet sind, im Vergleich zu beispielsweise **Fig. 107** oder **Fig. 109** weiter erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der horizontalen Richtung weiter verbessert wird.

[0643] Wie in **Fig. 112A** und **Fig. 112B** gezeigt, kann in ähnlicher Weise mit der Anordnung, bei der die Basissätze der Empfangsgruppenantenne in der vertikalen Richtung versetzt sind, die Anzahl der virtuellen Gruppenelemente, die in der vertikalen Richtung in einem Abstand von D_V dicht angeordnet sind, erhöht werden, sodass die Winkelauflösung in der vertikalen Richtung verbessert wird.

[0644] Vorstehend ist jede der Anordnungsmethoden 5-1A, 5-1B und 5-1C beschrieben.

[0645] Bei jeder der Anordnungsmethoden 5-1A, 5-1B und 5-1C sind die Anzahl ($N_{\text{TxBaseSet}}$) der in der Sendegruppenantenne enthaltenen Basissätze und die Anzahl ($N_{\text{RxBaseSet}}$) der in der Empfangsgruppenantenne enthaltenen Basissätze nicht auf die vorstehenden Beispiele beschränkt und können andere Werte annehmen.

[0646] Die Ausführungsformen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung sind oben beschrieben.

[0647] Die Vorgänge gemäß den oben beschriebenen Ausführungsformen und ihren Variationen können je nach Bedarf in Kombination durchgeführt werden.

[Andere Ausführungsformen]

[0648] Die Anzahl N_t der Sendeantennen und die Anzahl N_a der Empfangsantennen sind nicht auf die oben beschriebenen Beispiele beschränkt und können andere Werte annehmen. Der Abstand D_V und der Abstand D_H sind nicht auf $0,5\lambda$ beschränkt und können beispielsweise einen Wert größer oder gleich $0,5\lambda$ und kleiner oder gleich 1λ annehmen. D_V und D_H können den gleichen Wert oder unterschiedliche Werte annehmen.

[0649] In den oben beschriebenen Ausführungsformen ist der Fall beschrieben, in welchem ein codierendes Impuls-Radar verwendet wird, und die vorliegende Offenbarung ist auch auf ein Radar-System anwendbar, das eine frequenzmodulierte Impulswelle verwendet, wie z. B. ein Chirp-Impuls-Radar.

[0650] In der in **Fig. 4** gezeigten Radar-Vorrichtung **10** können der Radar-Sender **100** und der Radar-Empfänger **200** einzeln an physisch entfernten Orten angeordnet sein.

[0651] Die Radar-Vorrichtung **10** gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält beispielsweise eine Zentraleinheit (CPU), ein Speichermedium, wie etwa einen Nur-Lese-Speicher (ein ROM), das ein Steuerungsprogramm speichert, und einen Arbeitsspeicher, wie etwa einen Direktzugriffsspeicher (ein RAM), obwohl diese nicht dargestellt sind. In diesem Fall werden die Funktionen der oben beschriebenen Bestandteile durch die das Steuerungsprogramm ausführende CPU umgesetzt. Die Hardwareanordnung der Radar-Vorrichtung ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Beispielsweise können die funktionalen Bestandteile der Radar-Vorrichtung als eine integrierte Schaltung (IC) umgesetzt sein. Jeder funktionale Bestandteil kann als ein einzelner Chip umgesetzt sein, oder einige oder alle davon können in einem einzelnen Chip umgesetzt sein.

[0652] In den oben beschriebenen Ausführungsformen kann die Bezeichnung „...teil“ durch eine andere Bezeichnung ersetzt werden, wie etwa „...schaltkreis (...schaltung)“, „...vorrichtung“ oder „...modul“.

[0653] Bisher sind verschiedene Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. Es ist klar, dass die vorliegende Offenbarung nicht auf diese Beispiele beschränkt ist. Es ist klar, dass ein Fachmann verschiedene Abwandlungs- und Modifikationsbeispiele innerhalb des Geltungsbereichs der Ansprüche erkennen kann, und es versteht sich, dass diese Abwandlungen und Modifikationen im technischen Geltungsbereich der vorliegenden Offenbarung enthalten sind. Jeder Bestandteil der oben erwähnten Ausführungsformen kann optional kombiniert werden, ohne von Kern der Offenbarung abzuweichen.

[0654] Jeder oben bei der Beschreibung jeder Ausführungsform beschriebene Funktionsblock ist typischerweise durch einen LSI-Schaltkreis, was eine integrierte Schaltung ist, verwirklicht. Die integrierte Schaltung steuert jeden bei der Beschreibung der vorstehenden Ausführungsformen verwendeten Funktionsblock und kann einen Eingangsanschluss und einen Ausgangsanschluss enthalten. Der LSI-Schaltkreis kann einzeln aus Chips ausgebildet sein, oder ein Chip kann so ausgebildet sein, dass er einen Teil oder alle der Funktionsblöcke enthält. Der LSI-Schaltkreis kann als IC, als System-LSI, als Super-LSI oder als Ultra-LSI bezeichnet sein, je nach unterschiedlichem Integrationsgrad. Jedoch ist die Technik der Umsetzung einer integrierten Schaltung nicht auf den LSI-Schaltkreis beschränkt und kann durch einen zweckbestimmten Schaltkreis, einen Allzweckprozessor oder einen Spezialprozessor verwirklicht sein. Außerdem kann ein FPGA (Field Programmable Gate Array), das nach der Herstellung des LSI-Schaltkreises programmiert werden kann, oder ein umkonfigurierbarer Prozessor verwendet sein, bei dem die Festlegungen von im LSI-Schaltkreis angeordneten Schaltkreiszellen umkonfiguriert werden können. Wenn künftige Technik integrierter Schaltungen als Ergebnis des Fortschritts der Halbleitertechnik oder anderer abgeleiteter Technik LSI-Schaltkreise ersetzt, könnten die Funktionsblöcke unter Verwendung der künftigen Technik integrierter Schaltungen integriert werden. Biotechnologie kann auch angewendet werden.

[0655] Die vorliegende Offenbarung kann durch eine beliebige Art von Einrichtung, Vorrichtung oder System mit einer Funktion der Kommunikation verwirklicht sein (kollektiv als Kommunikationseinrichtung bezeichnet). Nicht einschränkende Beispiele einer solchen Kommunikationseinrichtung umfassen ein Telefon (z. B. Mobiltelefon, Smartphone), ein Tablet, einen Personal Computer (PC) (z. B. einen Laptop, Desktop, ein Netbook), eine Kamera (z. B. eine digitale Standbild-/Videokamera), ein digitales Abspielgerät (ein digitales Audio-/Video-Abspielgerät) eine Wearable-Vorrichtung (z. B. eine Wearable-Kamera, Smart Watch, Tracking-Vorrichtung), eine Spielekonsole, einen digitalen Book-Reader, eine telemedizinische Vorrichtung und ein Fahrzeug, das über Kommunikationsfunktionalität verfügt (z. B. Automobil, Flugzeug, Schiff), und verschiedene Kombinationen davon.

[0656] Die Kommunikationseinrichtung ist nicht darauf beschränkt, tragbar oder beweglich zu sein, und kann auch eine beliebige Art von Einrichtung, Vorrichtung oder System enthalten, die stationär oder nicht tragbar ist, wie etwa eine Smart-Home-Vorrichtung (z. B. ein Haushaltsgerät, eine Beleuchtung, ein intelligenter Verbrauchszähler, eine Steuertafel), ein Verkaufsautomat und beliebige andere „Dinge“ eines „Internets der Dinge“ (IdD).

[0657] Die Kommunikation kann einen Datenaustausch beispielsweise über ein Mobilfunksystem, ein drahtloses LAN-System, ein Satellitensystem usw. und verschiedene Kombinationen davon umfassen. Die Kommunikationseinrichtung kann eine Vorrichtung, wie etwa eine Steuervorrichtung oder einen Sensor, umfassen, gekoppelt mit einer Kommunikationseinheit, die eine in der vorliegenden Offenbarung beschriebene Kommunikationsfunktion durchführt. Zum Beispiel kann die Kommunikationseinrichtung eine Steuervorrichtung oder einen Sensor umfassen, die/der Steuersignale oder Datensignale erzeugt, die durch eine Kommunikationseinheit verwendet werden, die eine Kommunikationsfunktion der Kommunikationseinrichtung durchführt.

[0658] Die Kommunikationseinrichtung kann auch eine Infrastruktureinrichtung enthalten, wie etwa eine Basisstation, einen Access Point und eine beliebige andere Einrichtung, Vorrichtung oder ein System, das mit Einrichtungen, wie etwa denen in den obigen nicht einschränkenden Beispielen, kommuniziert oder diese steuert.

<Zusammenfassung der vorliegenden Offenbarung>

[0659] Eine Radar-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält: eine Radar-Sendeschialtung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschialtung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen besteht, jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen eine Vielzahl von Sendeantennen enthält, die in einer ersten Richtung in einem zweiten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches eines ersten Abstands ist, angeordnet sind, die Vielzahl der Sendeantennenreihen in einer zweiten

Richtung, die zu der ersten Richtung senkrecht ist, in einem vierten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches eines dritten Abstands ist, angeordnet sind, die Empfangsgruppenantenne aus einer Vielzahl von Empfangsantennenreihen besteht, jede der Vielzahl von Empfangsantennenreihen eine Vielzahl von Empfangsantennen enthält, die in der ersten Richtung in einem fünften Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches des ersten Abstands ist, angeordnet sind, die Vielzahl der Empfangsantennenreihen in der zweiten Richtung in einem sechsten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches des dritten Abstands ist, angeordnet sind, eine Differenz zwischen dem zweiten Abstand und dem fünften Abstand der erste Abstand ist und eine Differenz zwischen dem vierten Abstand und dem sechsten Abstand der dritte Abstand ist.

[0660] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung unterscheiden sich Anordnungspositionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen in der ersten Richtung zwischen der Vielzahl von Sendeantennenreihen.

[0661] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung unterscheiden sich Anordnungspositionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen in der ersten Richtung zwischen der Vielzahl von Empfangsantennenreihen.

[0662] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist mindestens einer aus dem zweiten Abstand und dem fünften Abstand größer als eine Wellenlänge des Radar-Signals, mindestens einer aus dem vierten Abstand und dem sechsten Abstand ist größer als eine Wellenlänge des Radar-Signals und der erste Abstand und der dritte Abstand sind jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals.

[0663] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist der zweite Abstand zweimal so groß wie der erste Abstand, der vierte Abstand ist dreimal so groß wie der dritte Abstand, der fünfte Abstand ist dreimal so groß wie der erste Abstand und der sechste Abstand ist zweimal so groß wie der dritte Abstand.

[0664] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ist der zweite Abstand dreimal so groß wie der erste Abstand, der vierte Abstand ist dreimal so groß wie der dritte Abstand, der fünfte Abstand ist zweimal so groß wie der erste Abstand und der sechste Abstand ist zweimal so groß wie der dritte Abstand.

[0665] Eine Radar-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält: eine Radar-Sendeschialtung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschialtung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne mindestens drei Sendeantennen enthält und die Empfangsgruppenantenne mindestens drei Empfangsantennen enthält, zwei der drei Sendeantennen in einer ersten Richtung in einem zweiten Abstand, der zweimal so groß wie ein erster Abstand ist, angeordnet sind, eine verbleibende der drei Sendeantennen in der ersten Richtung in dem ersten Abstand von jeder der zwei Sendeantennen angeordnet ist und in einer zweiten Richtung, die senkrecht zu der ersten Richtung ist, in einem vierten Abstand, der zweimal so groß wie ein dritter Abstand ist, von den zwei Sendeantennen angeordnet ist, zwei der drei Empfangsantennen in der zweiten Richtung in dem vierten Abstand voneinander angeordnet sind und eine verbleibende der drei Empfangsantennen in der zweiten Richtung in dem dritten Abstand von jeder der zwei Empfangsantennen und in der ersten Richtung in dem zweiten Abstand von den zwei Empfangsantennen angeordnet ist.

[0666] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung sind der erste Abstand und der dritte Abstand jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals.

[0667] Eine Radar-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält: eine Radar-Sendeschialtung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschialtung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen besteht und jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen eine Vielzahl von Sendeantennen enthält, in jeder der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte zwei der Sendeantennen in einer ersten Richtung in einem zweiten Abstand, der zweimal so groß wie ein erster Abstand ist, voneinander angeordnet sind und in einer zweiten Richtung, die senkrecht zu der ersten Richtung ist, in einem dritten Abstand voneinander angeordnet sind, von der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte Sendeantennenreihen in einer Beziehung der Verschiebung um den ersten Abstand in der ersten Richtung und der Verschiebung um einen vierten Abstand, der zweimal so groß wie der dritte Abstand

ist, in der zweiten Richtung stehen und Anordnungspositionen der Vielzahl von Sendeantennen und Anordnungspositionen einer Vielzahl von Empfangsantennen, die in der Empfangsgruppenantenne enthalten sind, symmetrisch in Bezug auf eine Linie, die parallel zu der ersten Richtung oder der zweiten Richtung ist, sind.

[0668] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung sind der erste Abstand und der dritte Abstand jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals.

[0669] Eine Radar-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthält: eine Radar-Sendeschialtung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschialtung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen besteht und jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen eine Vielzahl von Sendeantennen enthält, in jeder der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte zwei der Sendeantennen in einer ersten Richtung in einem ersten Abstand voneinander angeordnet sind und in beiden einer zweiten Richtung, die senkrecht zu der ersten Richtung ist, in einem zweiten Abstand angeordnet sind, von der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte Sendeantennenreihen in der ersten Richtung in einem dritten Abstand, der zweimal so groß wie der erste Abstand ist, voneinander und in einer Beziehung der Verschiebung um den zweiten Abstand in der zweiten Richtung angeordnet sind und Anordnungspositionen der Vielzahl von Sendeantennen und Anordnungspositionen einer Vielzahl von Empfangsantennen, die in der Empfangsgruppenantenne enthalten sind, symmetrisch in Bezug auf eine Linie, die parallel zu der ersten Richtung oder der zweiten Richtung ist, sind.

[0670] In einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung sind der erste Abstand und der zweite Abstand jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals.

[0671] Die Offenbarung der japanischen Patentanmeldung Nr. 2019-053751, eingereicht am 20. März 2019, einschließlich der Beschreibung, der Zeichnung und der Zusammenfassung, ist hierin durch Bezugnahme in ihrer Gesamtheit aufgenommen.

Industrielle Anwendbarkeit

[0672] Die vorliegende Offenbarung ist geeignet als eine Radar-Vorrichtung, die ein Ziel erfasst.

Bezugszeichenliste

10	Radar-Vorrichtung
100	Radar-Sender
200	Radar-Empfänger
300	Referenzsignalgenerator
101, 101a	Radar-Sendesignalgenerator
102	Codegenerator
103	Modulator
104	TPF
105	Sendefunkteil
106	Sendeantenne
111	Code-Speicher
112	D/A-Wandler
201	Antennenkanalprozessor
202	Empfangsantenne
203	Empfangsfunkteil
204	Verstärker

205	Frequenzwandler
206	Quadraturdetektor
207	Signalprozessor
208, 209	A/D-Wandler
210	Separator
211	Korrelationsrechner
212	Addierer
213	Doppler-Frequenz-Analysator
214	Richtungsschätzer

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2019053751 [0671]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- J. Li, P. Stoica, „MIMO Radar with Colocated Antennas“, Signal Processing Magazine, IEEE Vol. 24, Ausgabe: 5, S. 106 - 114, 2007 [0009]
- P. P. Vaidyanathan, P. Pal, Chun-Yang Chen, „MIMO radar with broadband waveforms: Smearing filter banks and 2D virtual arrays“, IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, S. 188 - 192, 2008 [0009]
- J. Wenger, „Automotive mm-wave radar: status and trends in system design and technology“, IEE Colloquium on Automotive Radar and Navigation Techniques (Ref.- Nr. 1998/230), S. 144 -147, 1998 [0009]
- M.Harte, T. Mahler, T. Schipper, A. Ziroff, and T. Zwick, „2-D antenna array geometries for MIMO radar imaging by digital beamforming“, 2013 European Microwave Conference, S. 1695 - 1698, 2013 [0009]
- Direction-of-arrival estimation using signal subspace modeling Cadzow, J.A.; Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on Volume: 28, Ausgabe: 1, Erscheinungsjahr: 1992, Seite(n): 64 - 79 [0108]

Patentansprüche**1. Radar-Vorrichtung, umfassend:**

eine Radar-Sendeschaltung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschaltung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen besteht, jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen eine Vielzahl von Sendeantennen enthält, die in einer ersten Richtung in einem zweiten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches eines ersten Abstands ist, angeordnet sind, die Vielzahl von Sendeantennenreihen in einer zweiten Richtung, die zu der ersten Richtung senkrecht ist, in einem vierten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches eines dritten Abstands ist, angeordnet sind, die Empfangsgruppenantenne aus einer Vielzahl von Empfangsantennenreihen besteht, jede der Vielzahl von Empfangsantennenreihen eine Vielzahl von Empfangsantennen enthält, die in der ersten Richtung in einem fünften Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches des ersten Abstands ist, angeordnet sind, die Vielzahl von Empfangsantennenreihen in der zweiten Richtung in einem sechsten Abstand, der ein ganzzahliges Vielfaches des dritten Abstands ist, angeordnet sind, eine Differenz zwischen dem zweiten Abstand und dem fünften Abstand der erste Abstand ist und eine Differenz zwischen dem vierten Abstand und dem sechsten Abstand der dritte Abstand ist.

2. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei Anordnungspositionen der in jeder Sendeantennenreihe enthaltenen Sendeantennen in der ersten Richtung zwischen der Vielzahl von Sendeantennenreihen unterschiedlich sind.

3. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei Anordnungspositionen der in jeder Empfangsantennenreihe enthaltenen Empfangsantennen in der ersten Richtung zwischen der Vielzahl von Empfangsantennenreihen unterschiedlich sind.

4. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei mindestens einer aus dem zweiten Abstand und dem fünften Abstand größer als eine Wellenlänge des Radar-Signals ist, mindestens einer aus dem vierten Abstand und dem sechsten Abstand größer als eine Wellenlänge des Radar-Signals ist und der erste Abstand und der dritte Abstand jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals sind.

5. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der zweite Abstand zweimal so groß wie der erste Abstand ist, der vierte Abstand dreimal so groß wie der dritte Abstand ist, der fünfte Abstand dreimal so groß wie der erste Abstand ist und der sechste Abstand zweimal so groß wie der dritte Abstand ist.

6. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der zweite Abstand dreimal so groß wie der erste Abstand ist, der vierte Abstand dreimal so groß wie der dritte Abstand ist, der fünfte Abstand zweimal so groß wie der erste Abstand ist und der sechste Abstand zweimal so groß wie der dritte Abstand ist.

7. Radar-Vorrichtung, umfassend:

eine Radar-Sendeschaltung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschaltung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne mindestens drei Sendeantennen enthält und die Empfangsgruppenantenne mindestens drei Empfangsantennen enthält, zwei der drei Sendeantennen in einer ersten Richtung in einem zweiten Abstand, der zweimal so groß wie ein erster Abstand ist, angeordnet sind, eine verbleibende der drei Sendeantennen in der ersten Richtung in dem ersten Abstand von jeder der zwei Sendeantennen angeordnet ist und in einer zweiten Richtung, die senkrecht zu der ersten Richtung ist, in einem vierten Abstand, der zweimal so groß wie ein dritter Abstand ist, von den zwei Sendeantennen angeordnet ist, zwei der drei Empfangsantennen in der zweiten Richtung in dem vierten Abstand voneinander angeordnet sind und

eine verbleibende der drei Empfangsantennen in der zweiten Richtung in dem dritten Abstand von jeder der zwei Empfangsantennen angeordnet ist und in der ersten Richtung in dem zweiten Abstand von den zwei Empfangsantennen angeordnet ist.

8. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei der erste Abstand und der dritte Abstand jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals sind.

9. Radar-Vorrichtung, umfassend:

eine Radar-Sendeschialtung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschialtung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen besteht und jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen eine Vielzahl von Sendeantennen enthält, in jeder der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte zwei der Sendeantennen in einer ersten Richtung in einem zweiten Abstand, der zweimal so groß wie ein erster Abstand ist, voneinander angeordnet sind und in einer zweiten Richtung, die senkrecht zu der ersten Richtung ist, in einem dritten Abstand voneinander angeordnet sind, von der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte Sendeantennenreihen in einer Beziehung der Verschiebung um den ersten Abstand in der ersten Richtung und der Verschiebung um einen vierten Abstand, der zweimal so groß wie der dritte Abstand ist, in der zweiten Richtung stehen und Anordnungspositionen der Vielzahl von Sendeantennen und Anordnungspositionen einer Vielzahl von Empfangsantennen, die in der Empfangsgruppenantenne enthalten sind, symmetrisch in Bezug auf eine Linie, die parallel zu der ersten Richtung oder der zweiten Richtung ist, sind.

10. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei der erste Abstand und der dritte Abstand jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals sind.

11. Radar-Vorrichtung, umfassend:

eine Radar-Sendeschialtung, die unter Verwendung einer Sendegruppenantenne ein Radar-Signal sendet; und eine Radar-Empfangsschialtung, die unter Verwendung einer Empfangsgruppenantenne ein reflektiertes Wellensignal empfängt, welches das von einem Ziel reflektierte Radarsignal ist, wobei die Sendegruppenantenne aus einer Vielzahl von Sendeantennenreihen besteht und jede der Vielzahl von Sendeantennenreihen eine Vielzahl von Sendeantennen enthält, in jeder der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte zwei der Sendeantennen in einer ersten Richtung in einem ersten Abstand voneinander angeordnet sind und in beiden einer zweiten Richtung, die senkrecht zu der ersten Richtung ist, in einem zweiten Abstand angeordnet sind, von der Vielzahl von Sendeantennenreihen beliebige benachbarte Sendeantennenreihen in der ersten Richtung in einem dritten Abstand, der zweimal so groß wie der erste Abstand ist, voneinander und in einer Beziehung der Verschiebung um den zweiten Abstand in der zweiten Richtung angeordnet sind und Anordnungspositionen der Vielzahl von Sendeantennen und Anordnungspositionen einer Vielzahl von Empfangsantennen, die in der Empfangsgruppenantenne enthalten sind, symmetrisch in Bezug auf eine Linie, die parallel zu der ersten Richtung oder der zweiten Richtung ist, sind.

12. Radar-Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei der erste Abstand und der zweite Abstand jeweils größer oder gleich einer halben Wellenlänge des Radar-Signals und kleiner oder gleich einer Wellenlänge des Radar-Signals sind.

Es folgen 128 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

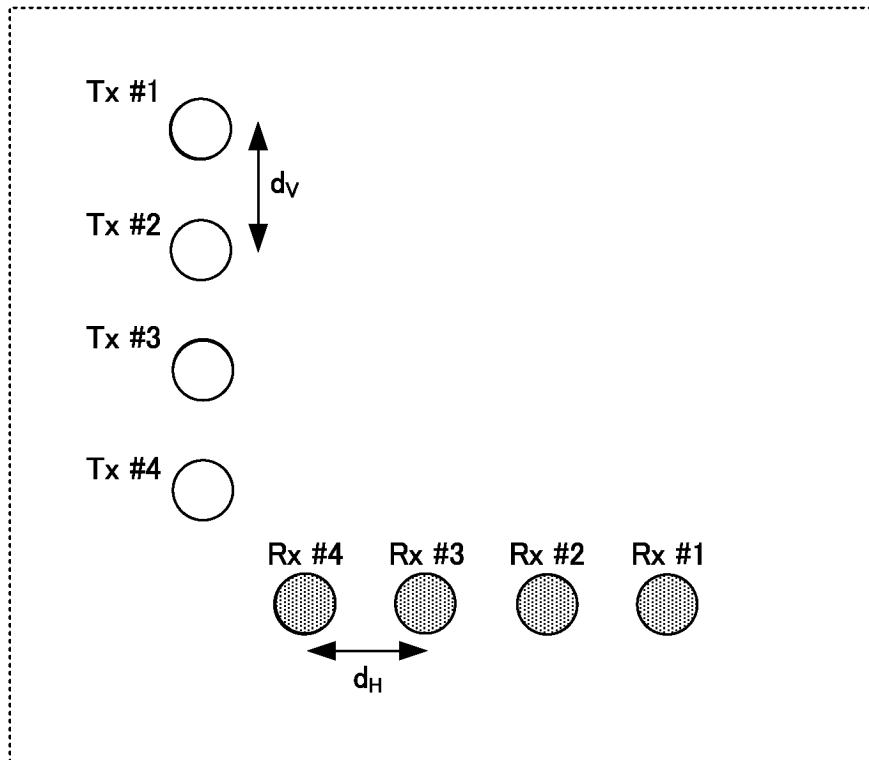


FIG. 1A

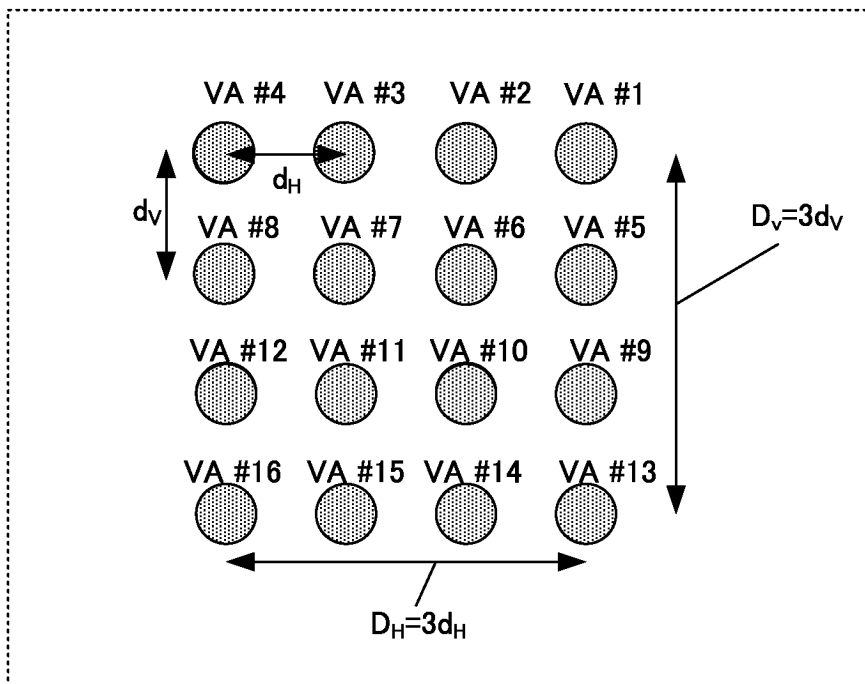


FIG. 1B

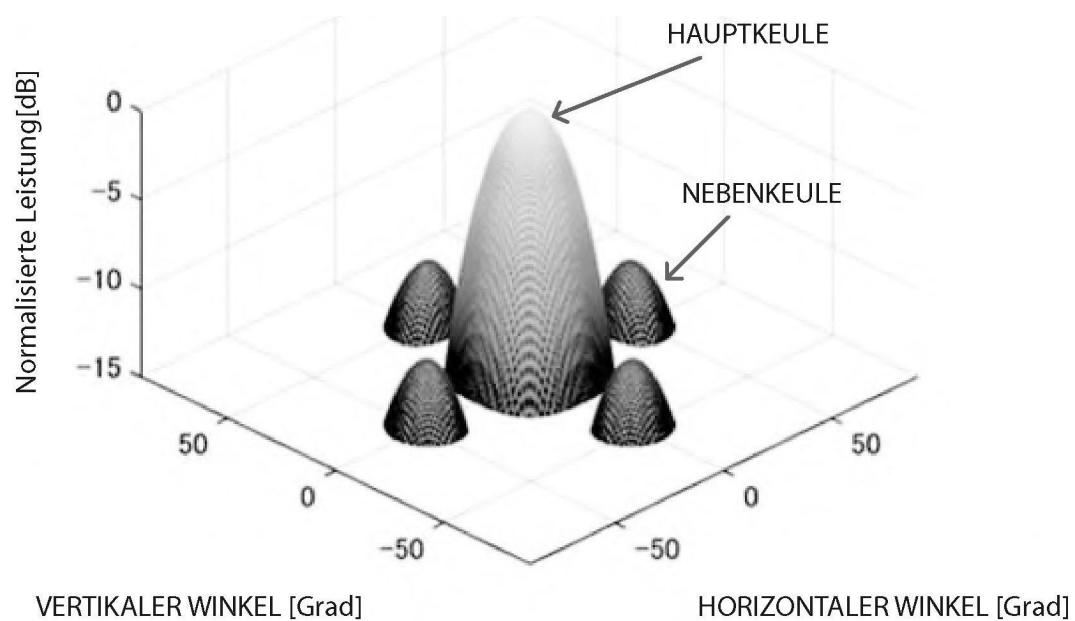


FIG. 2A

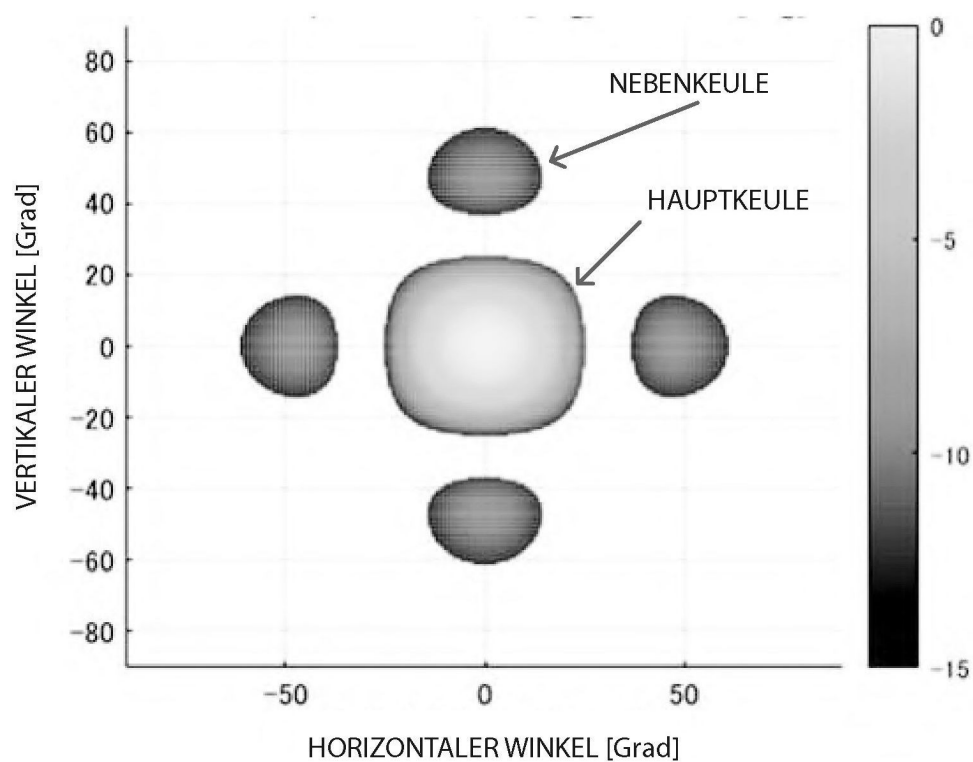


FIG. 2B

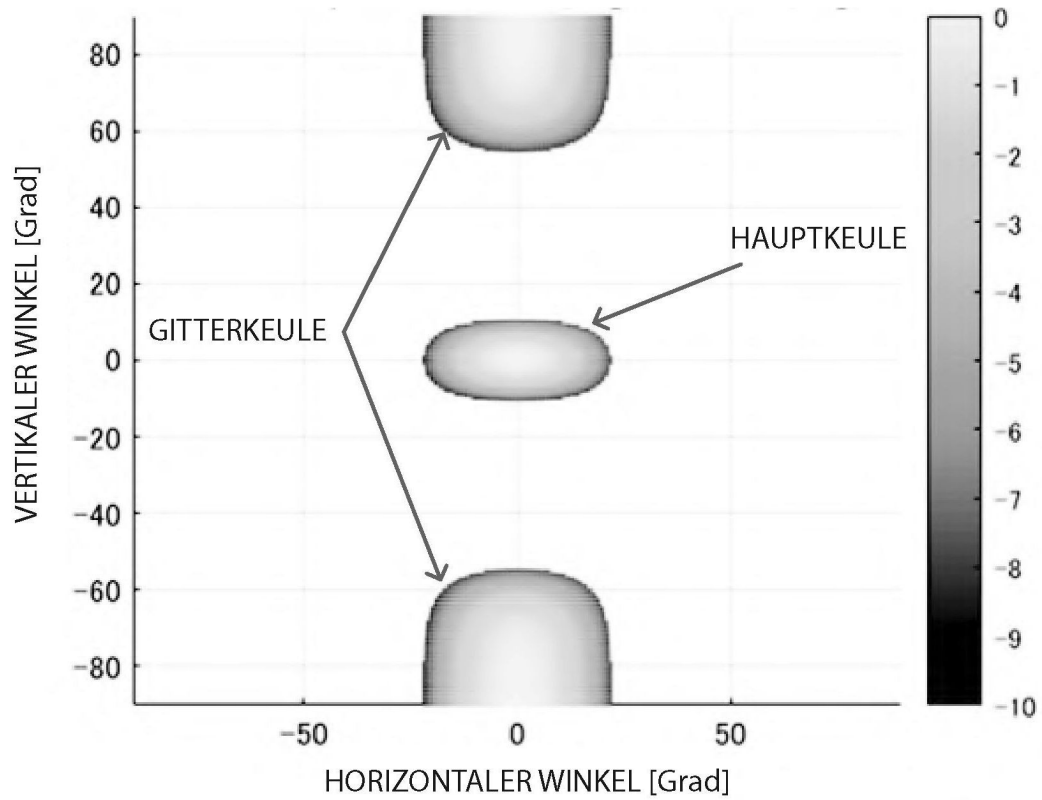


FIG. 3A

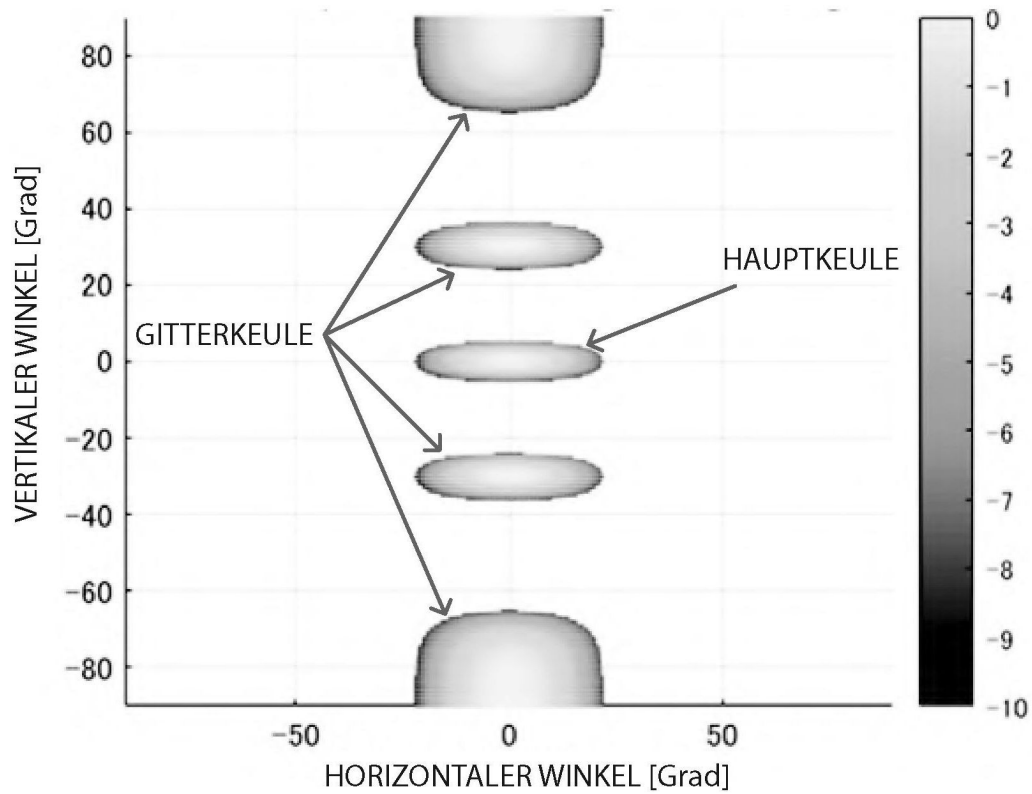


FIG. 3B

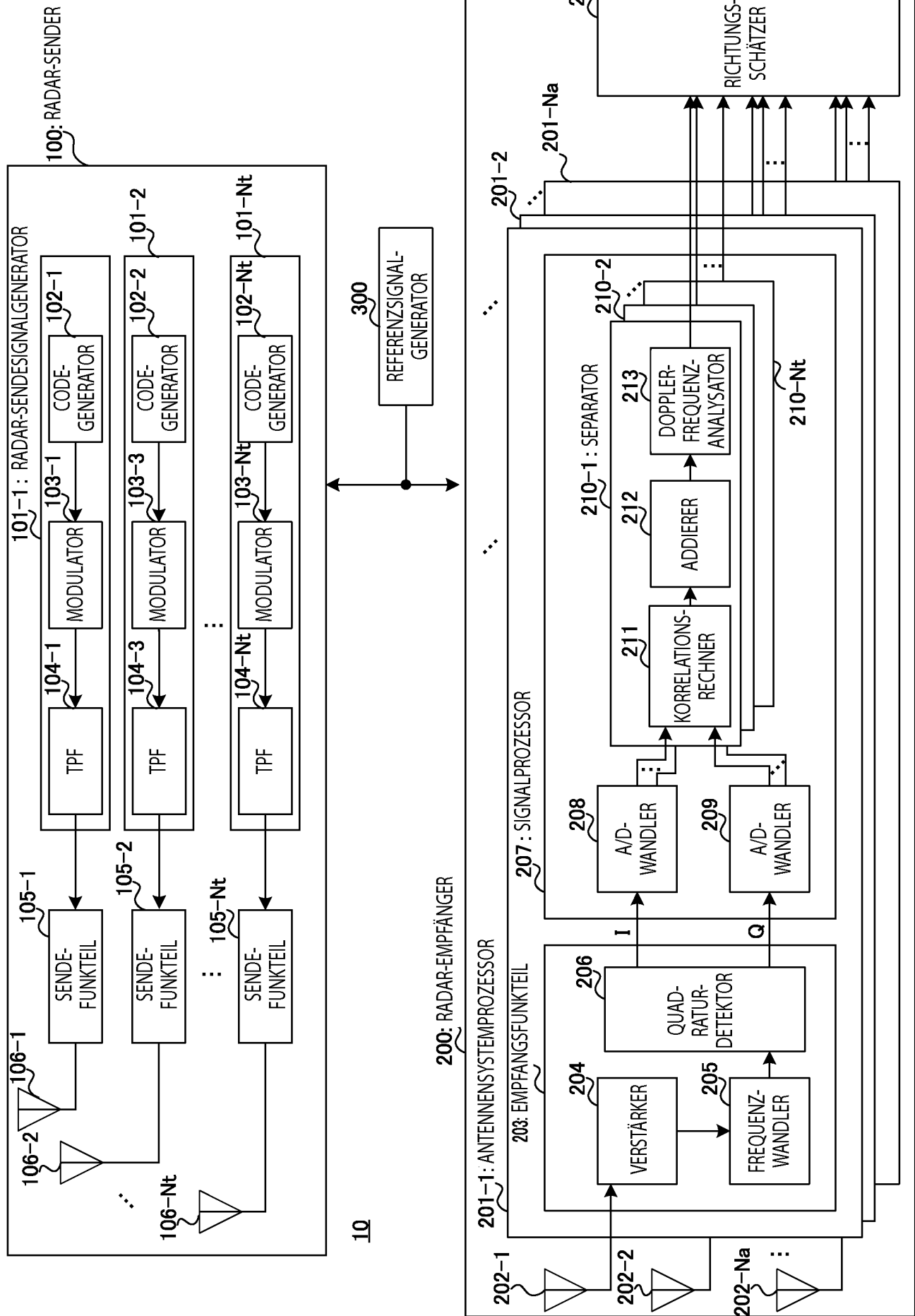


FIG. 4

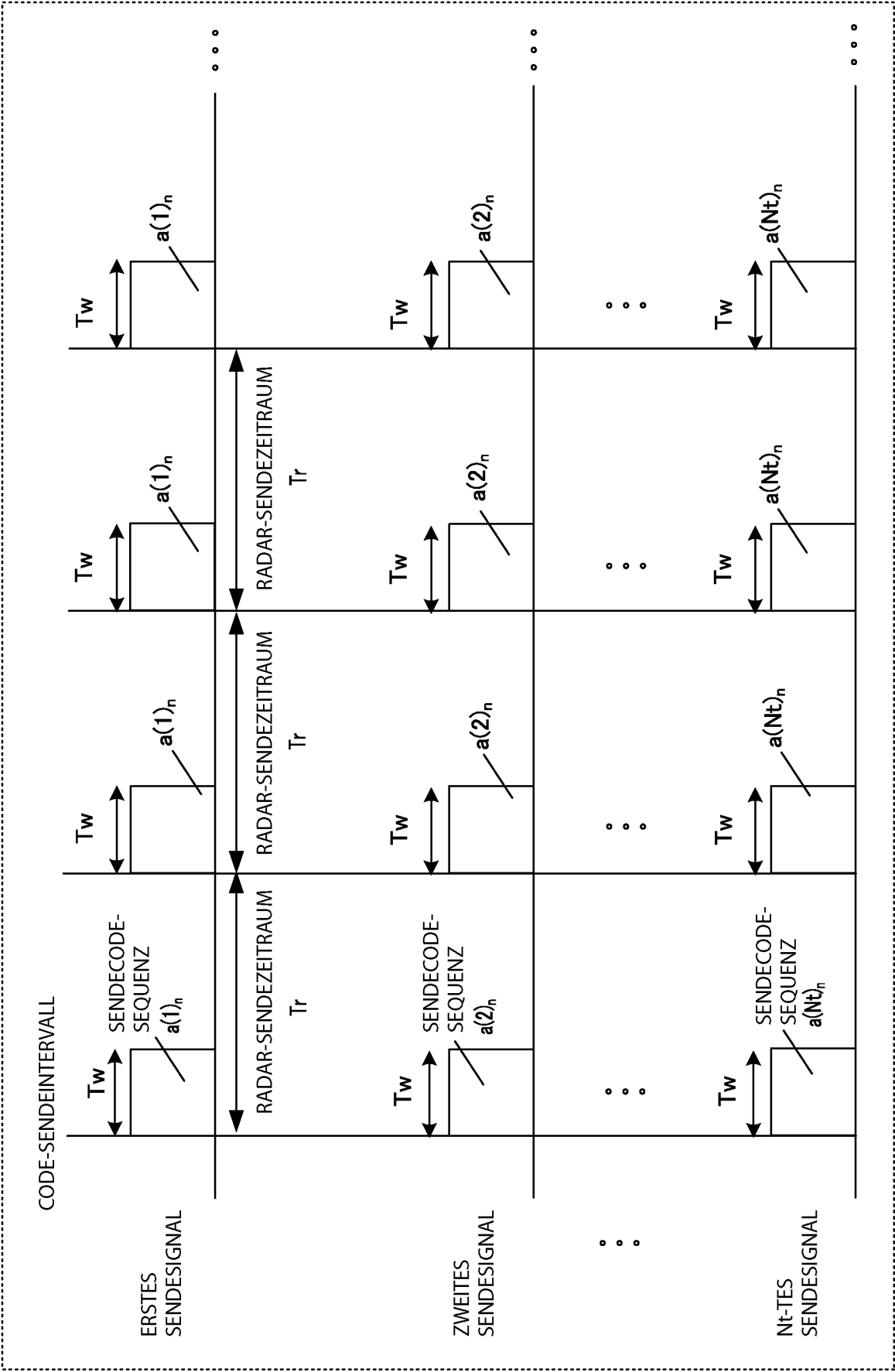


FIG. 5

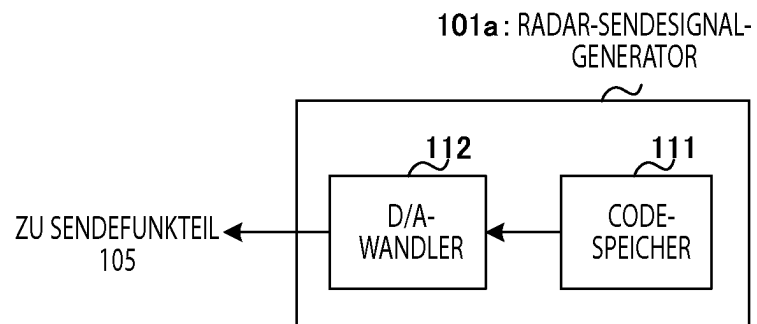


FIG. 6

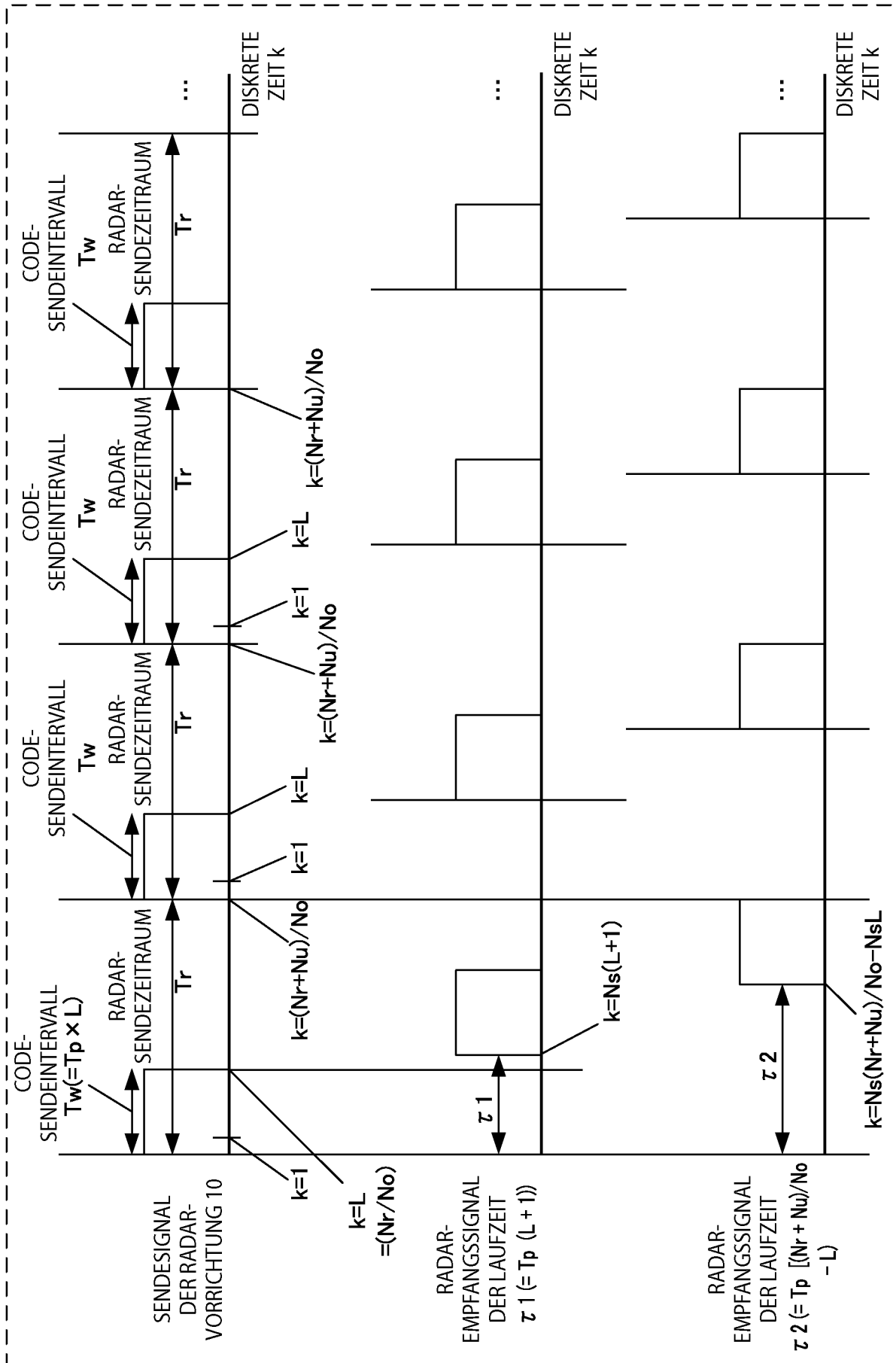


FIG. 7

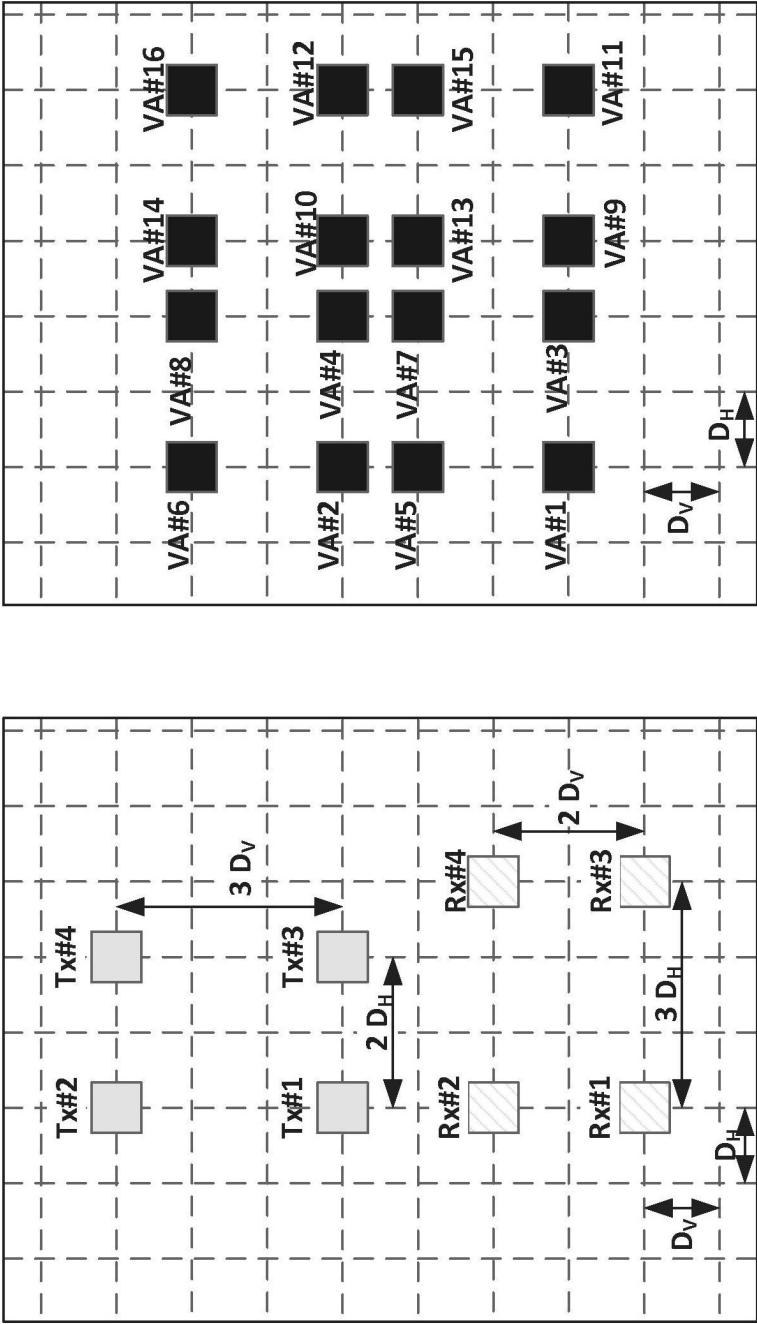


FIG. 8

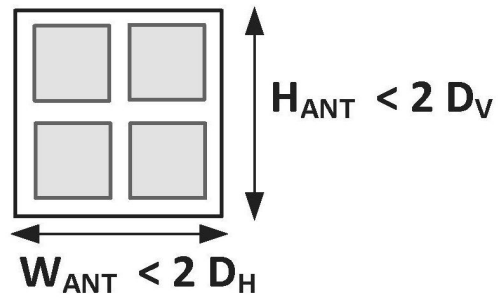


FIG. 9A

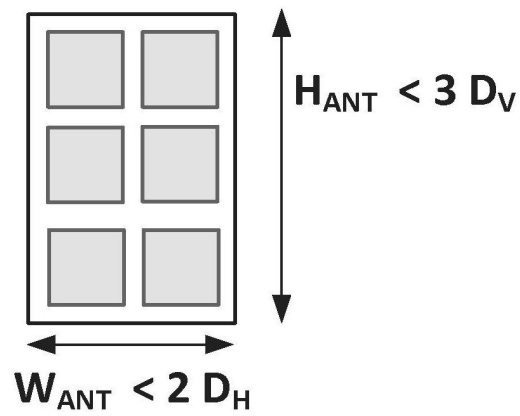


FIG. 9B

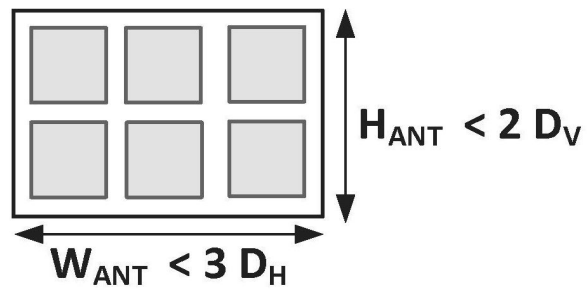


FIG. 9C

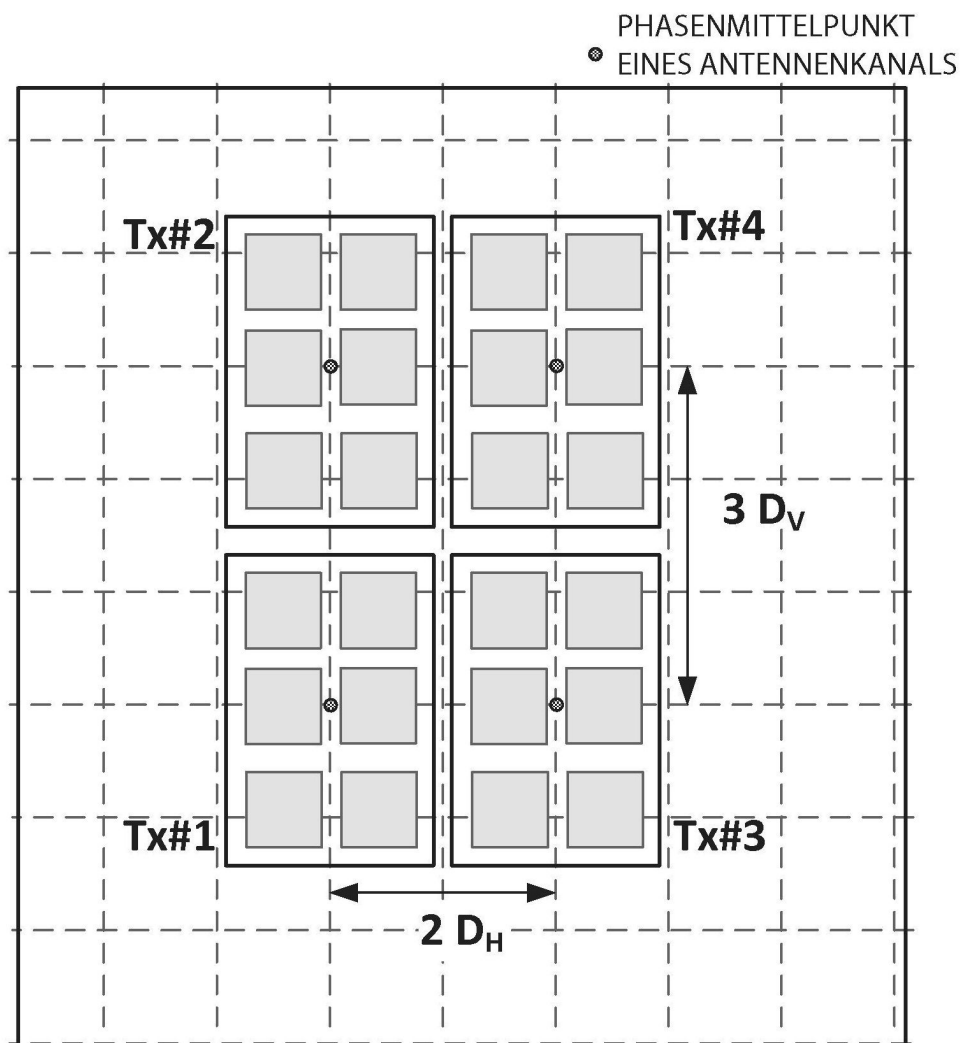


FIG. 10

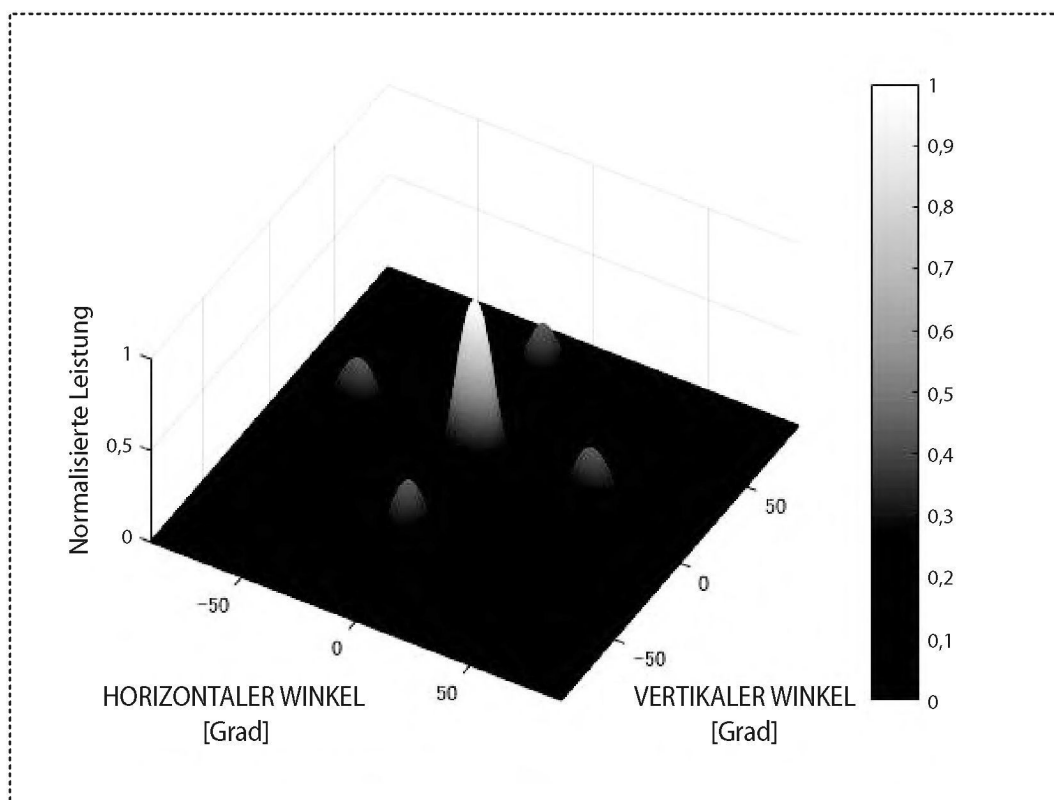


FIG. 11A

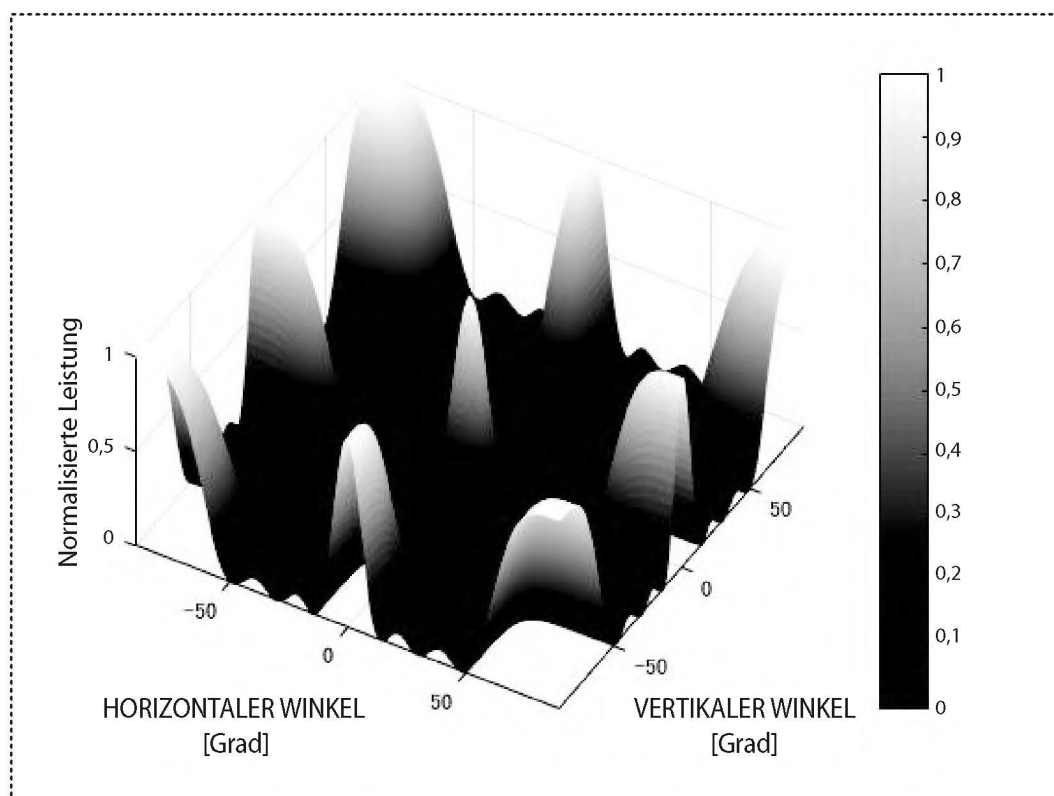


FIG. 11B

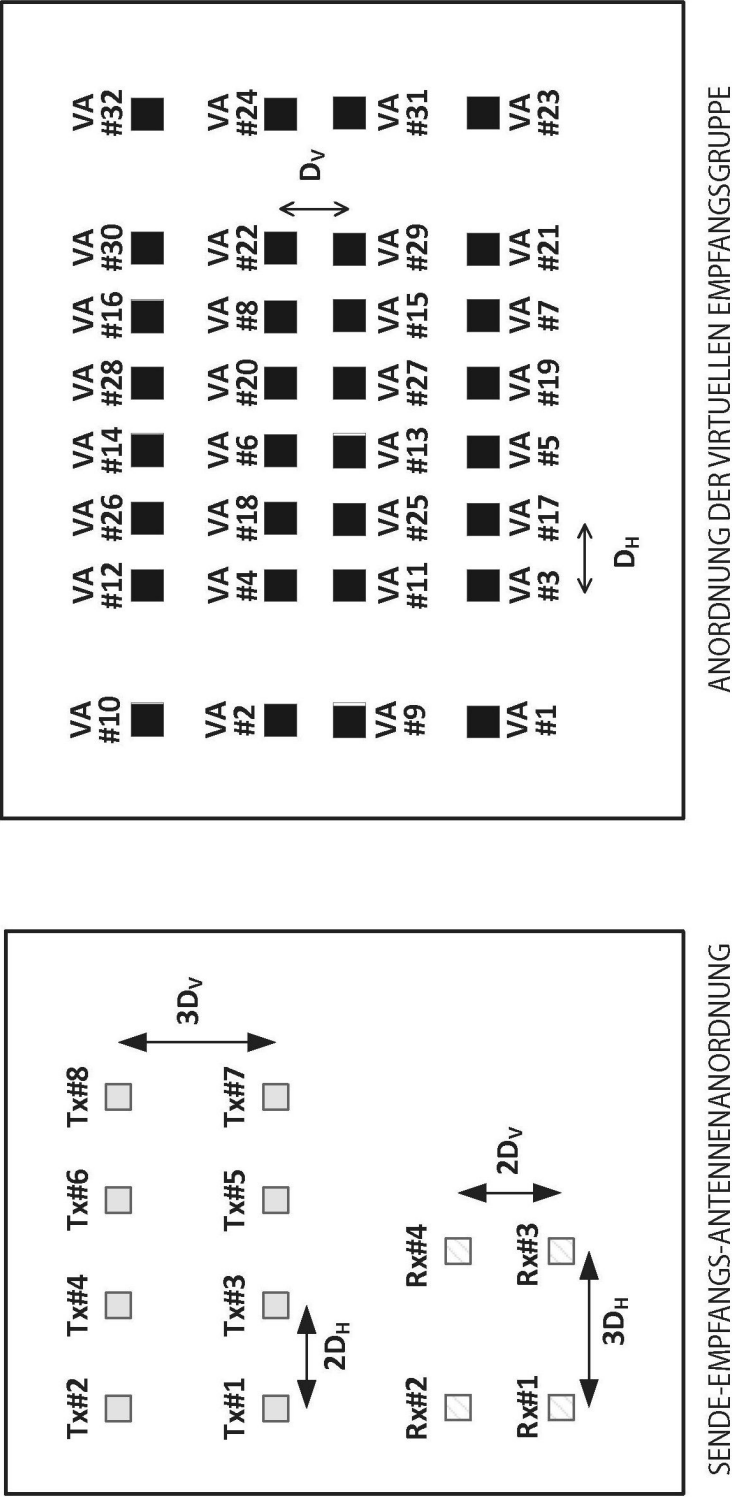


FIG. 12

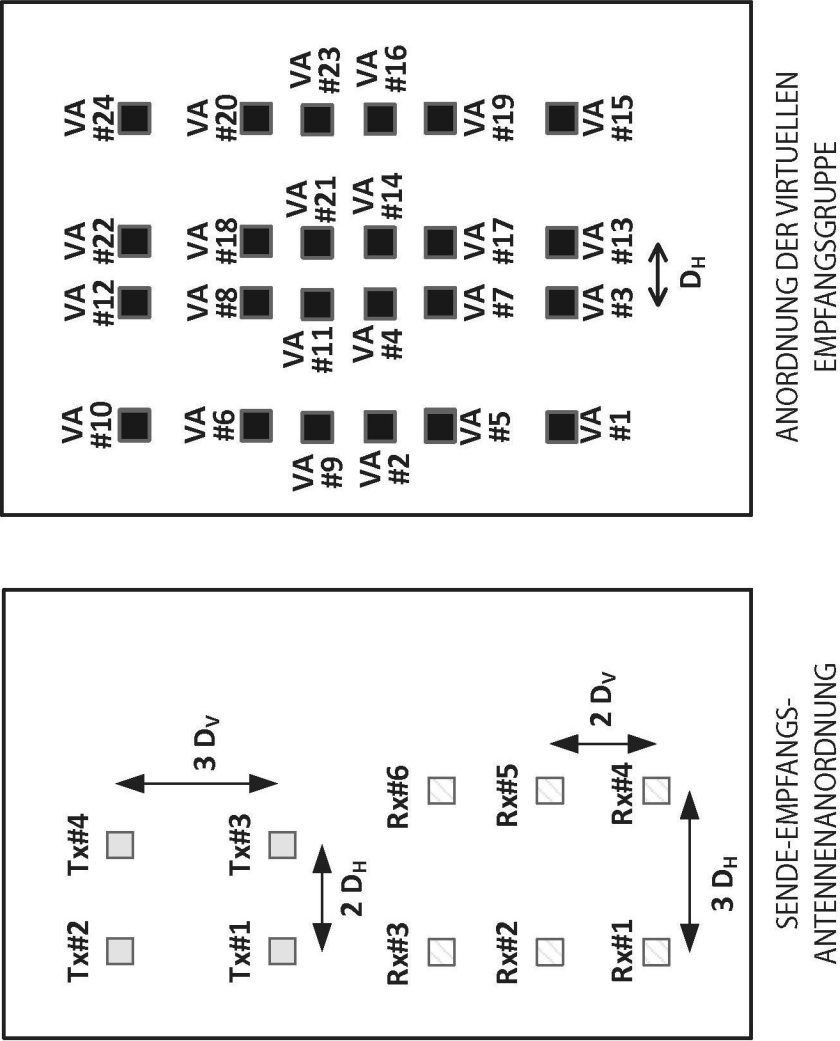
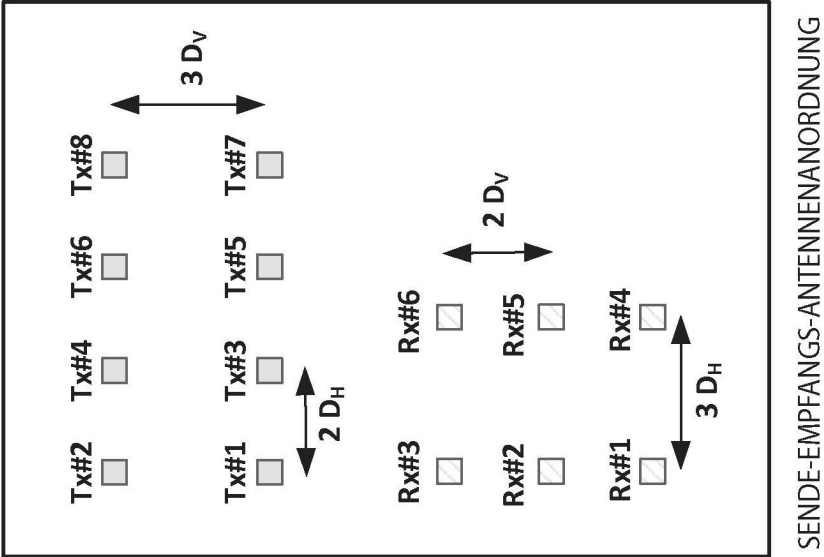
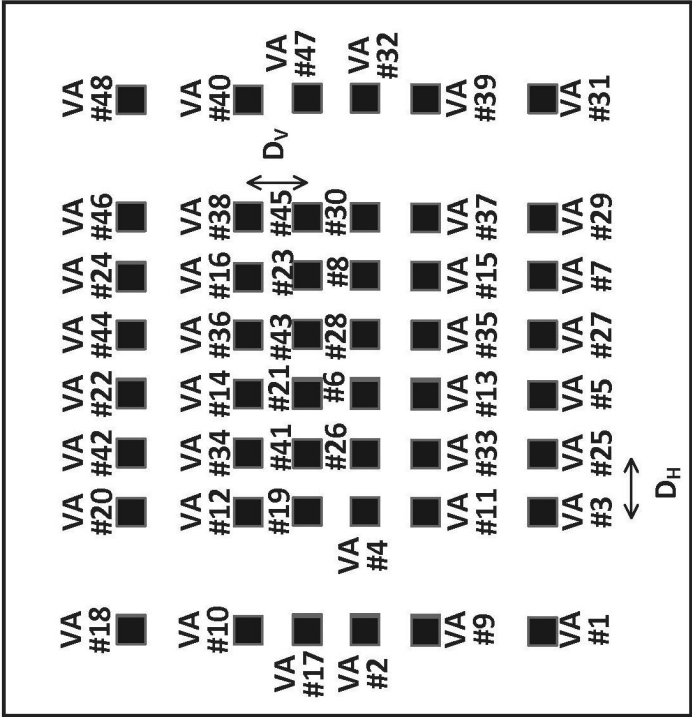


FIG. 13



SENDE-EMPFANGS-ANTENNENANORDNUNG



ANORDNUNG DER VIRTUELLEN EMPFANGSGRUPPE

FIG. 14

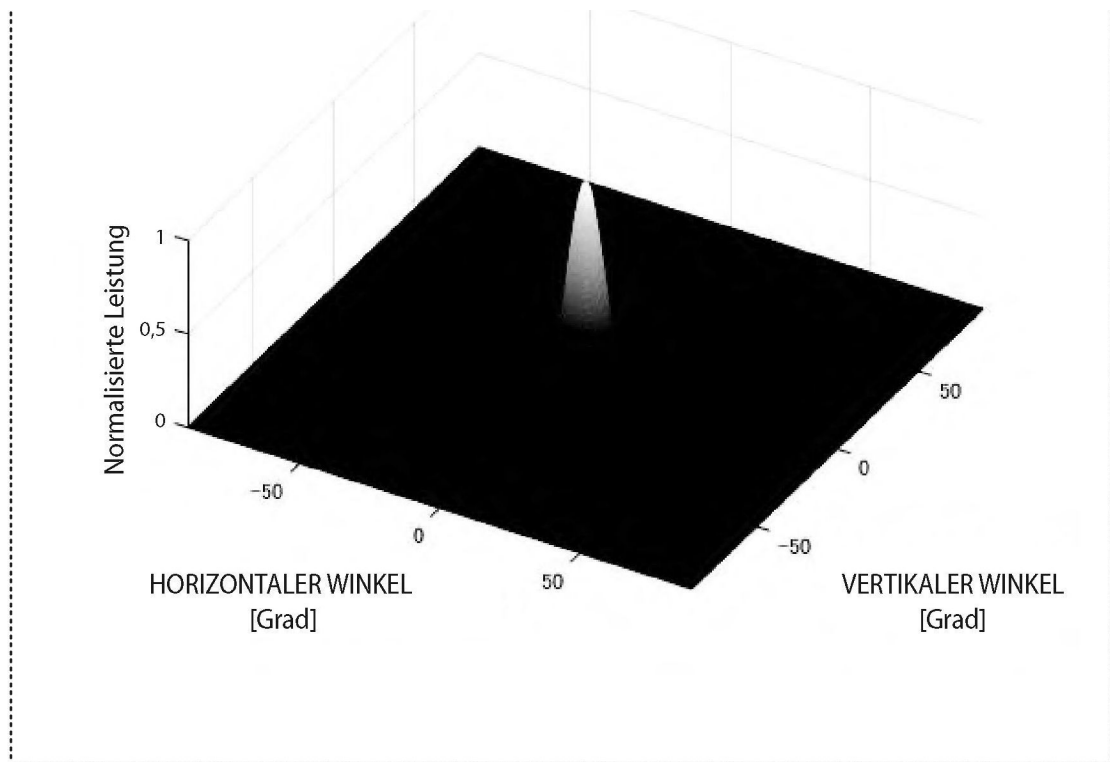


FIG. 15

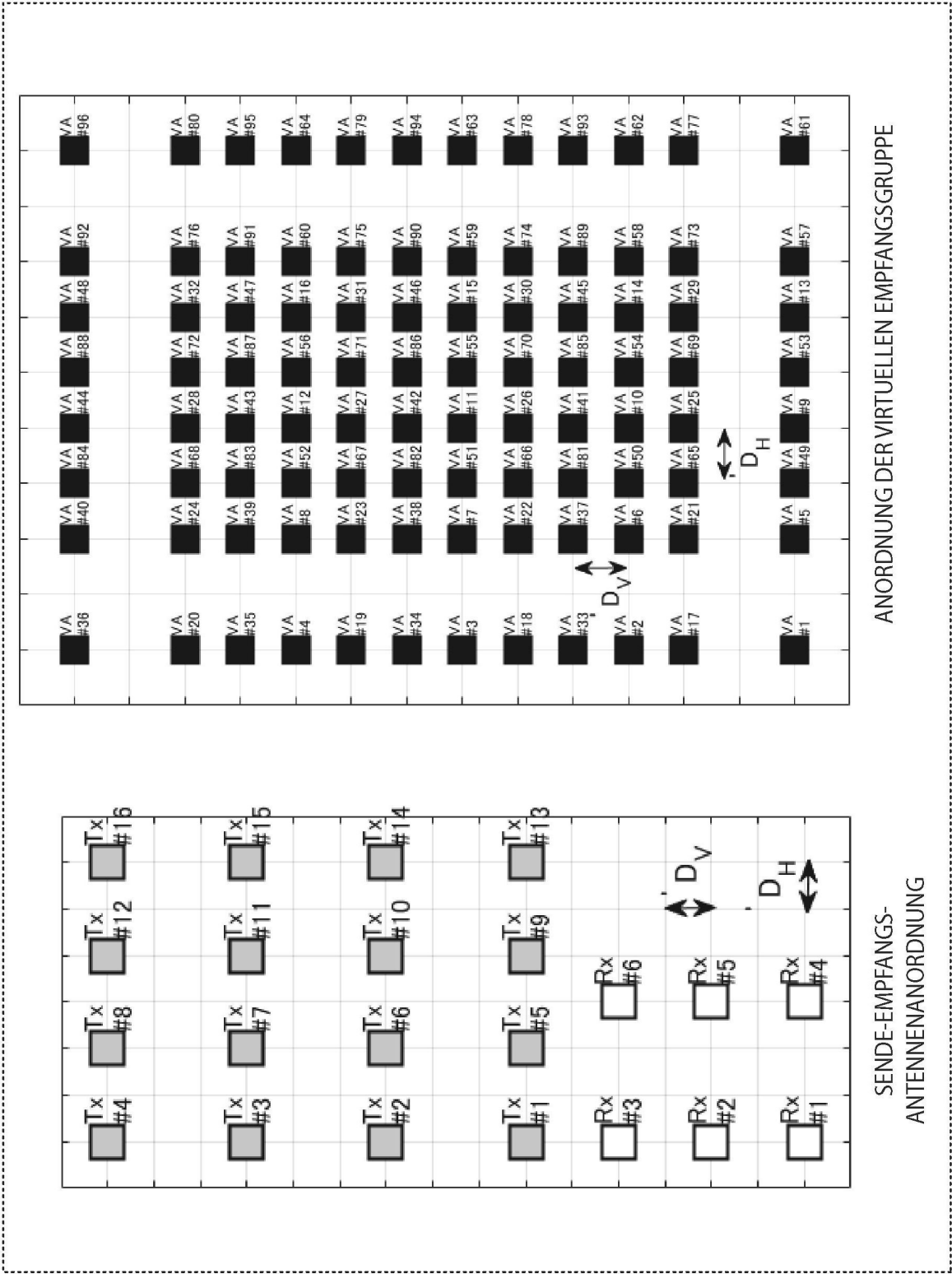


FIG. 16

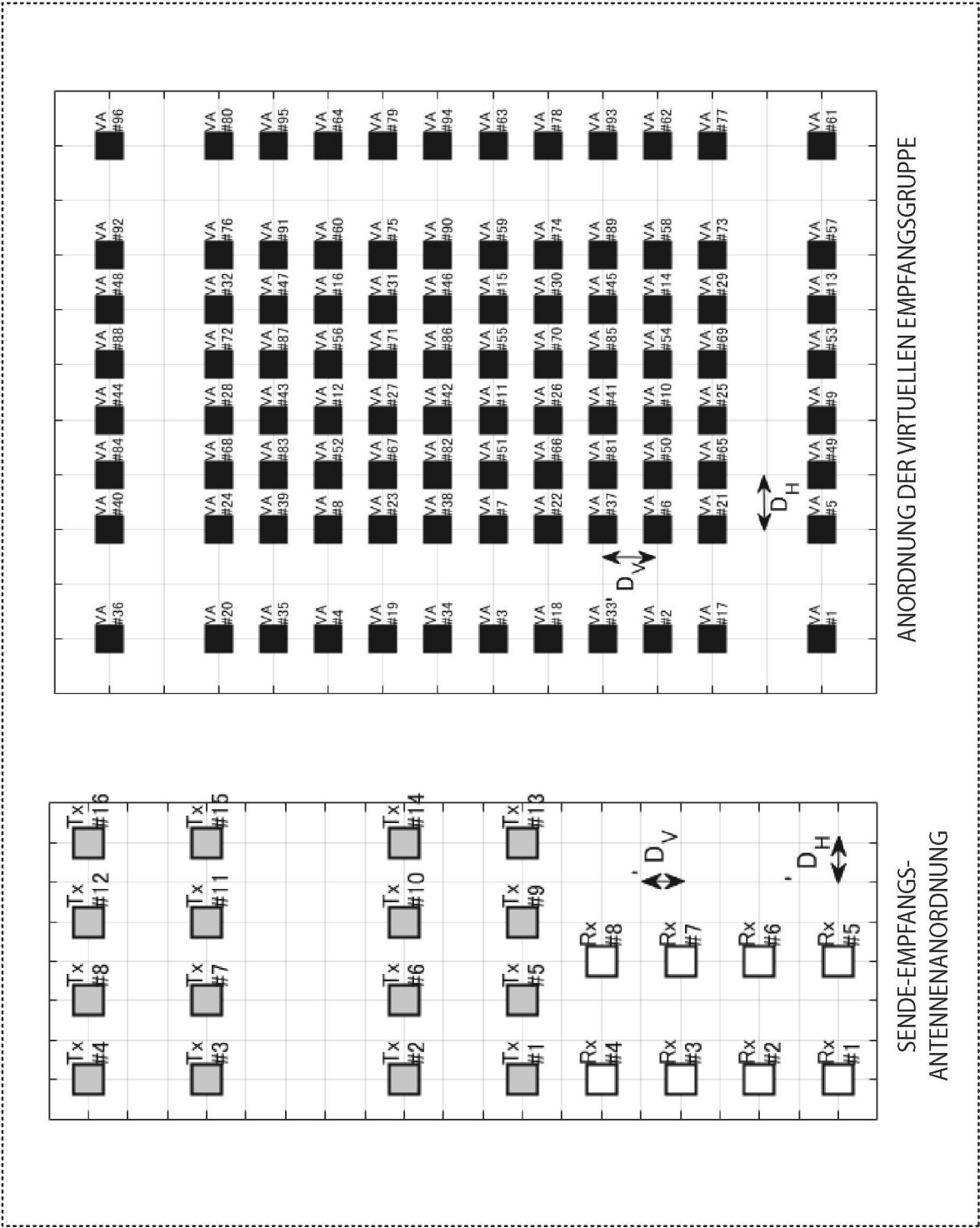


FIG. 17

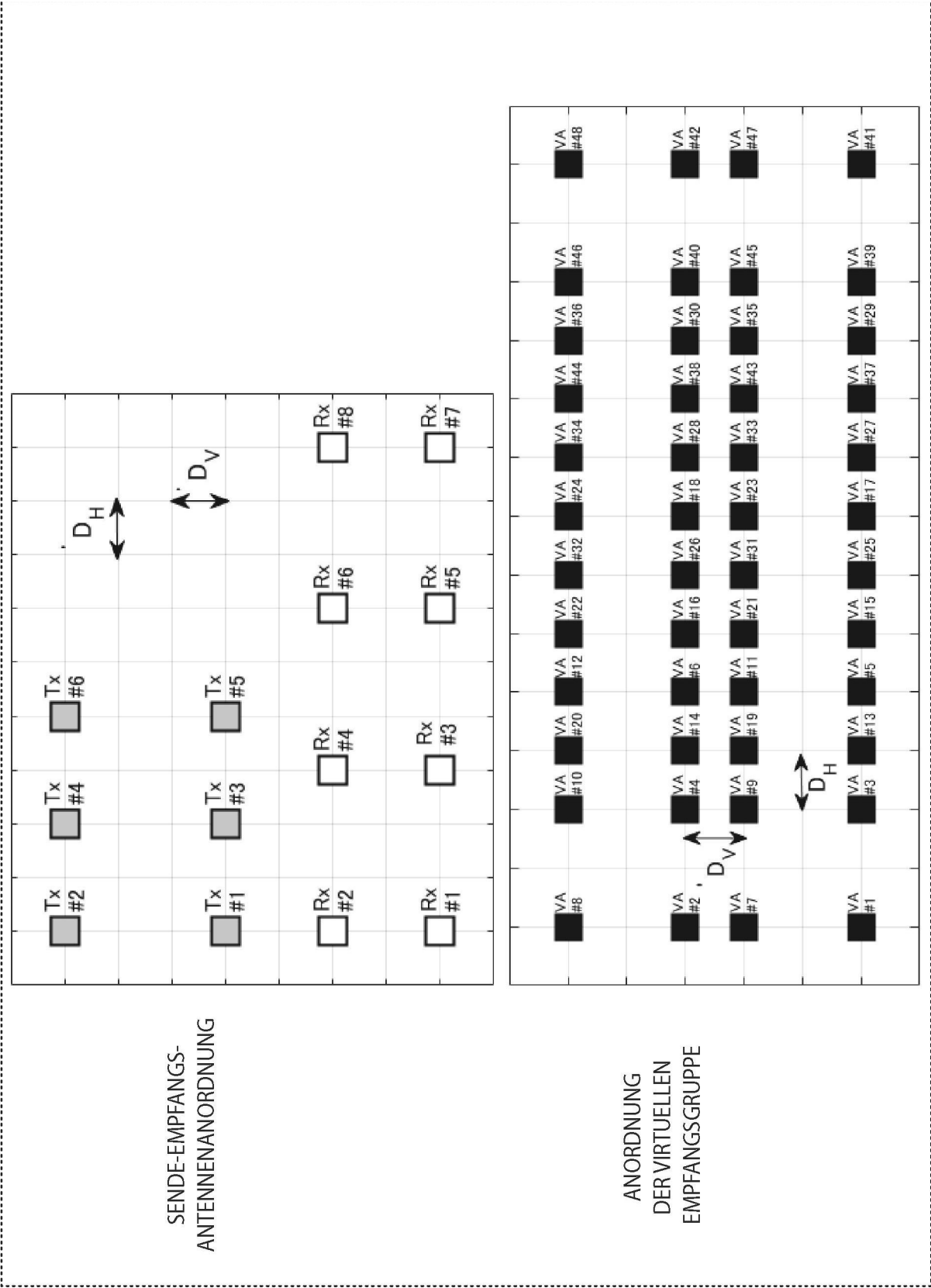


FIG. 18

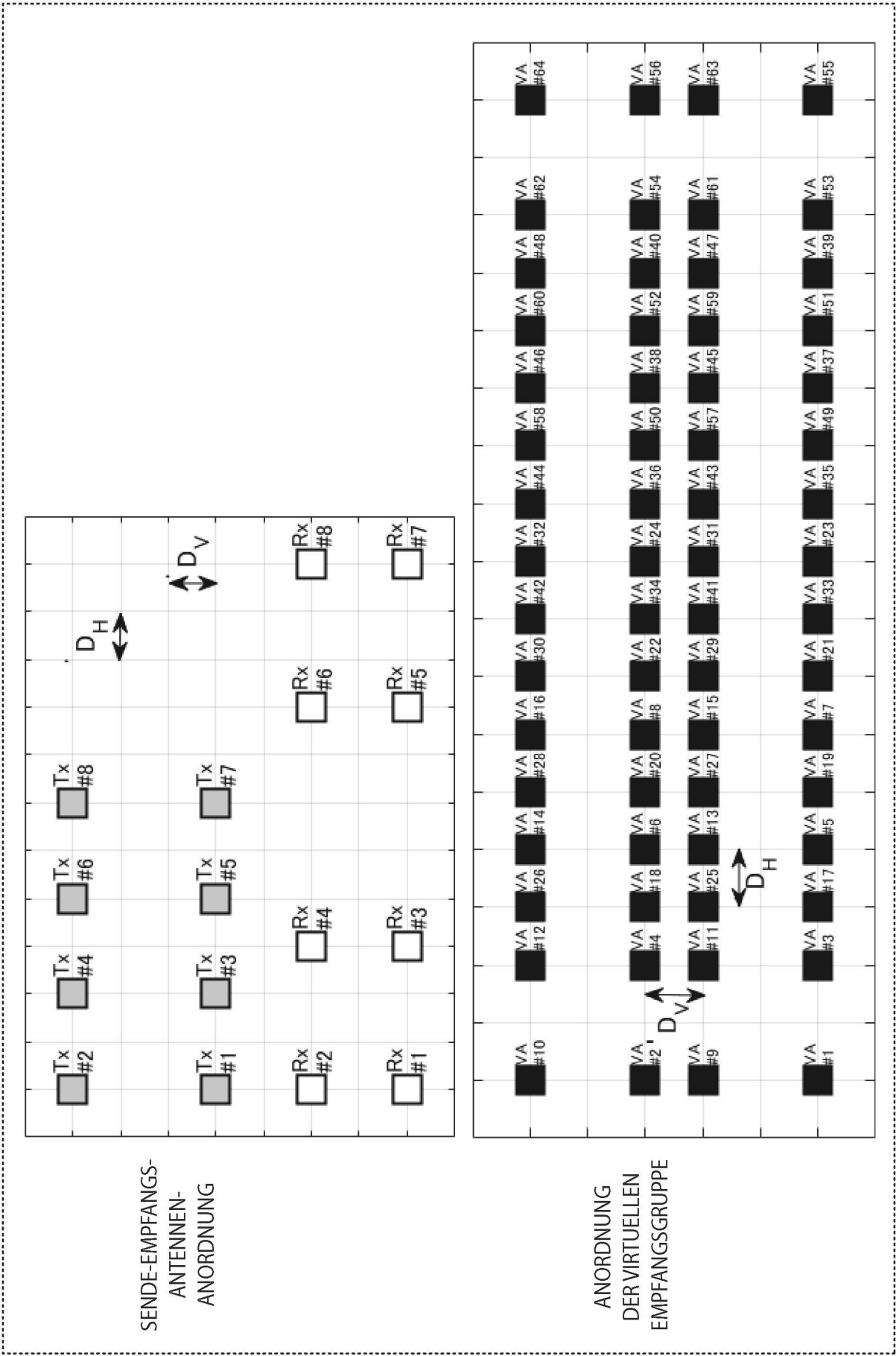


FIG. 19



SENDE-EMPFANGS-ANTENNENANORDNUNG

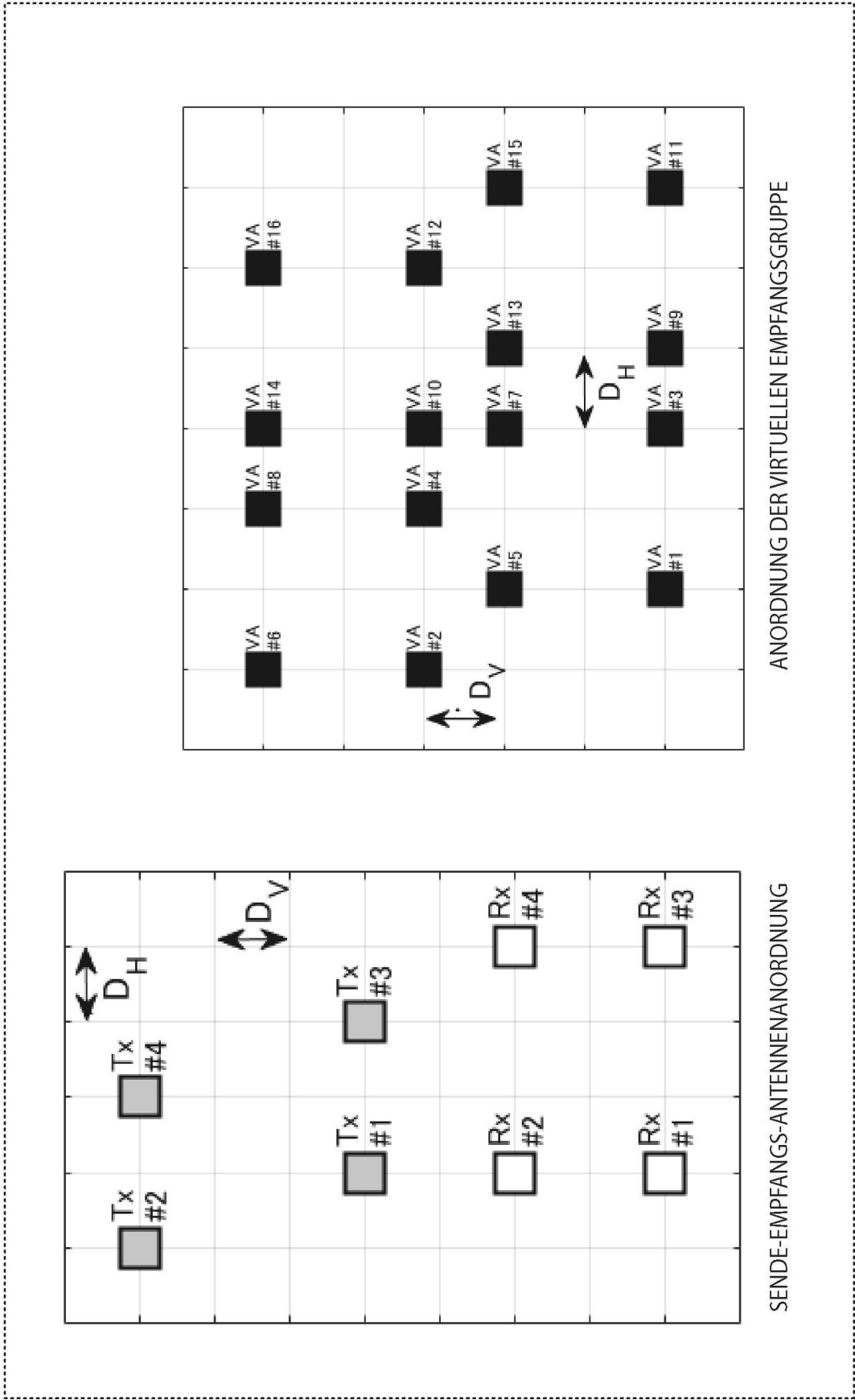


FIG. 21

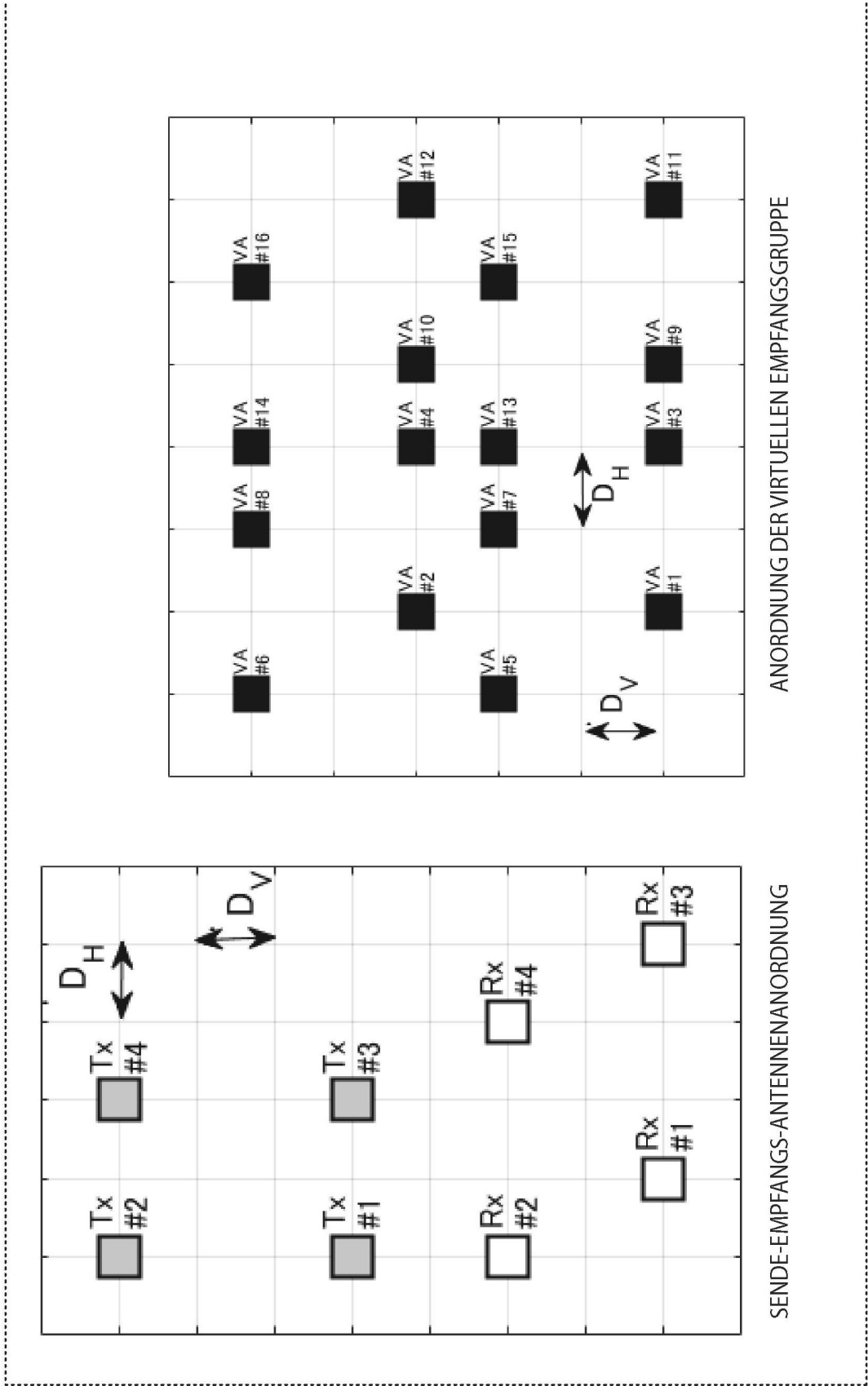


FIG. 22

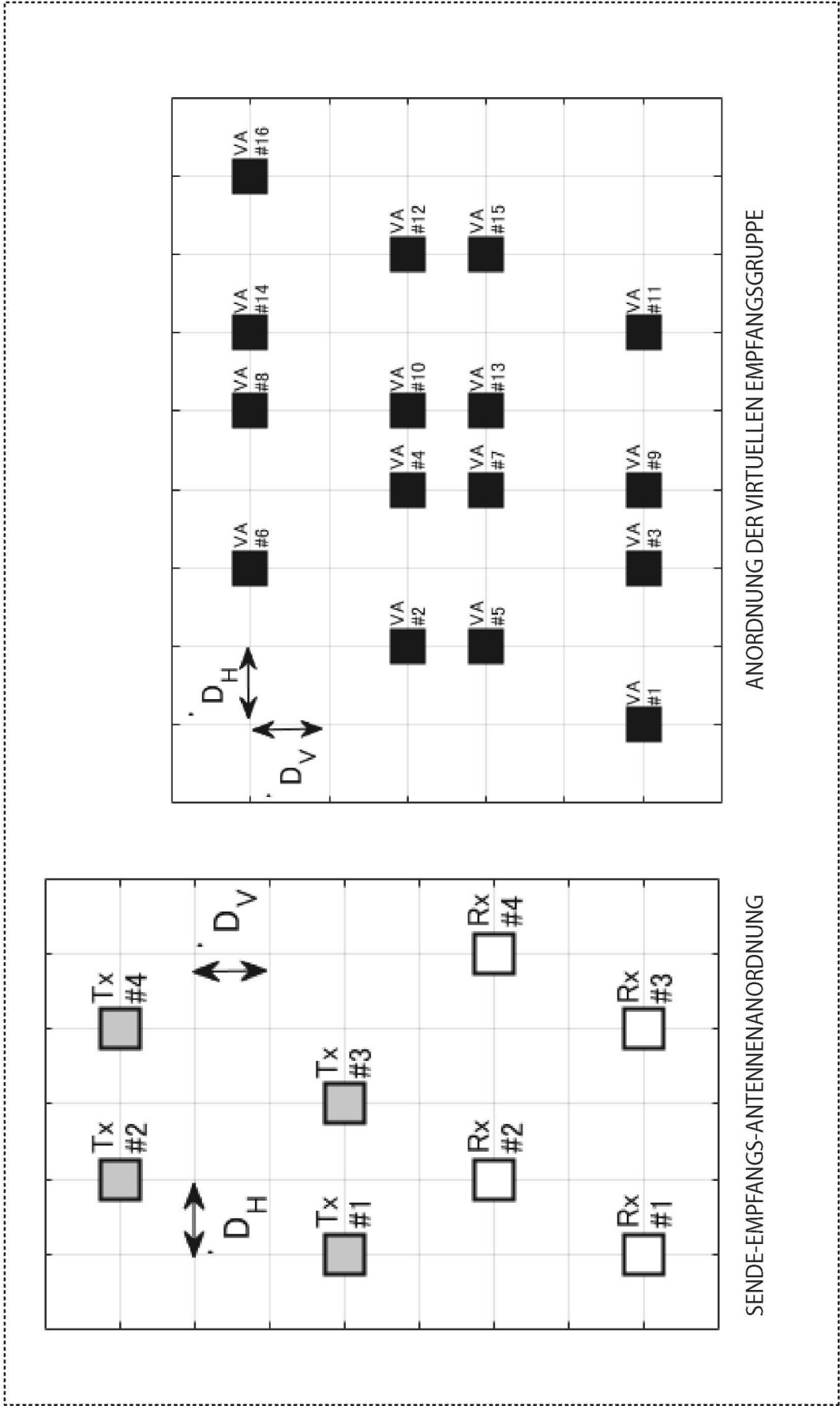


FIG. 23

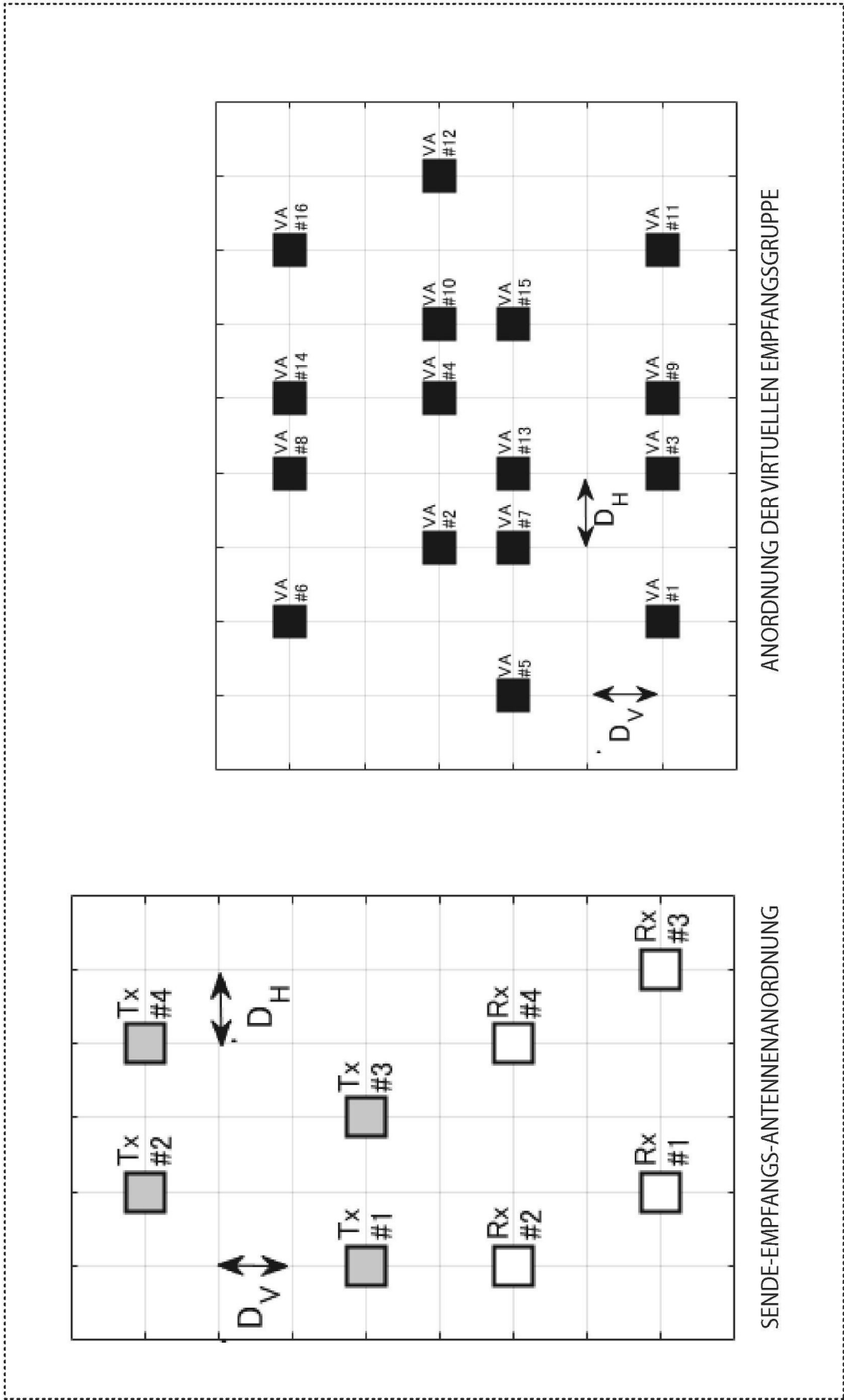


FIG. 24

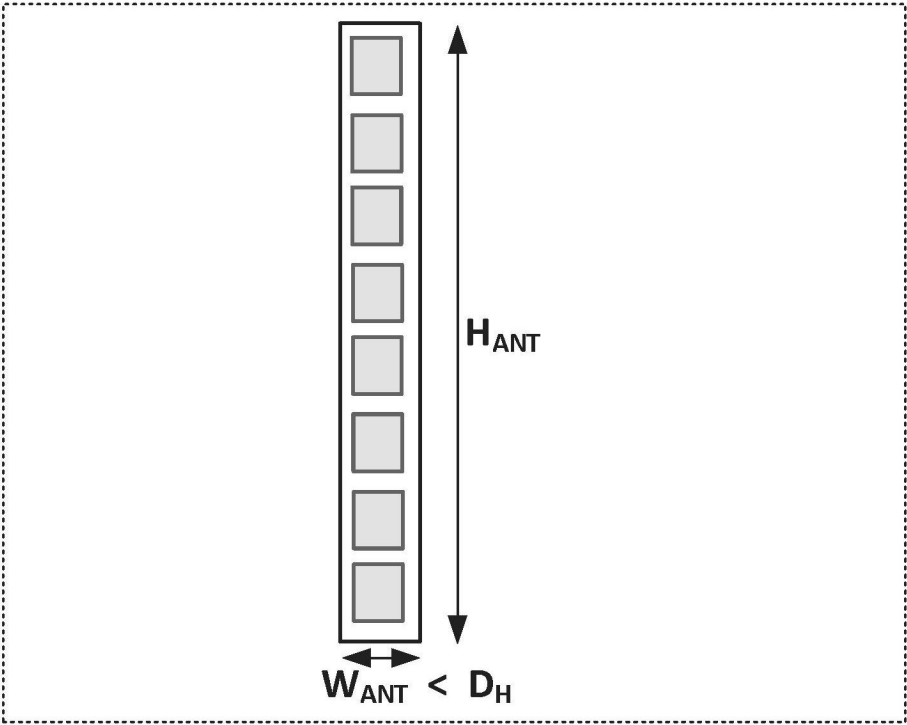


FIG. 25A

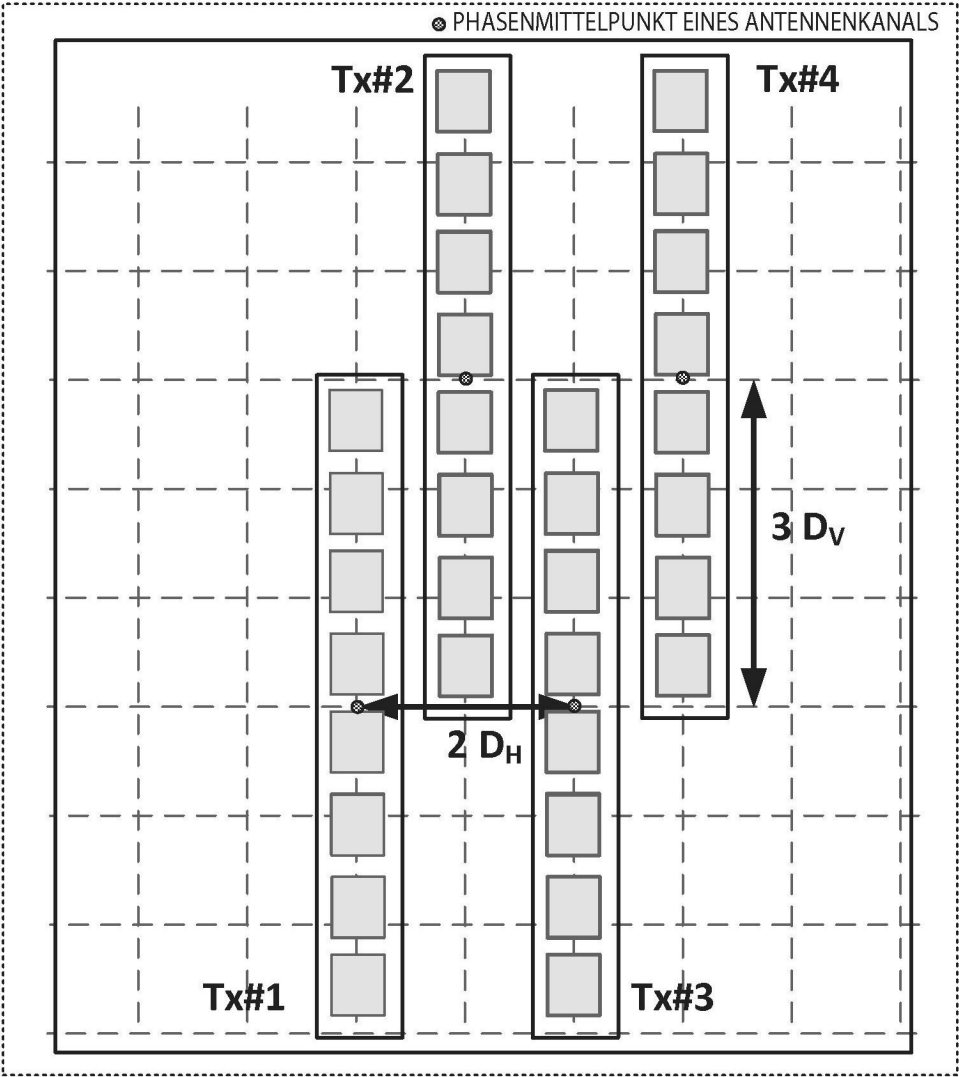


FIG. 25B

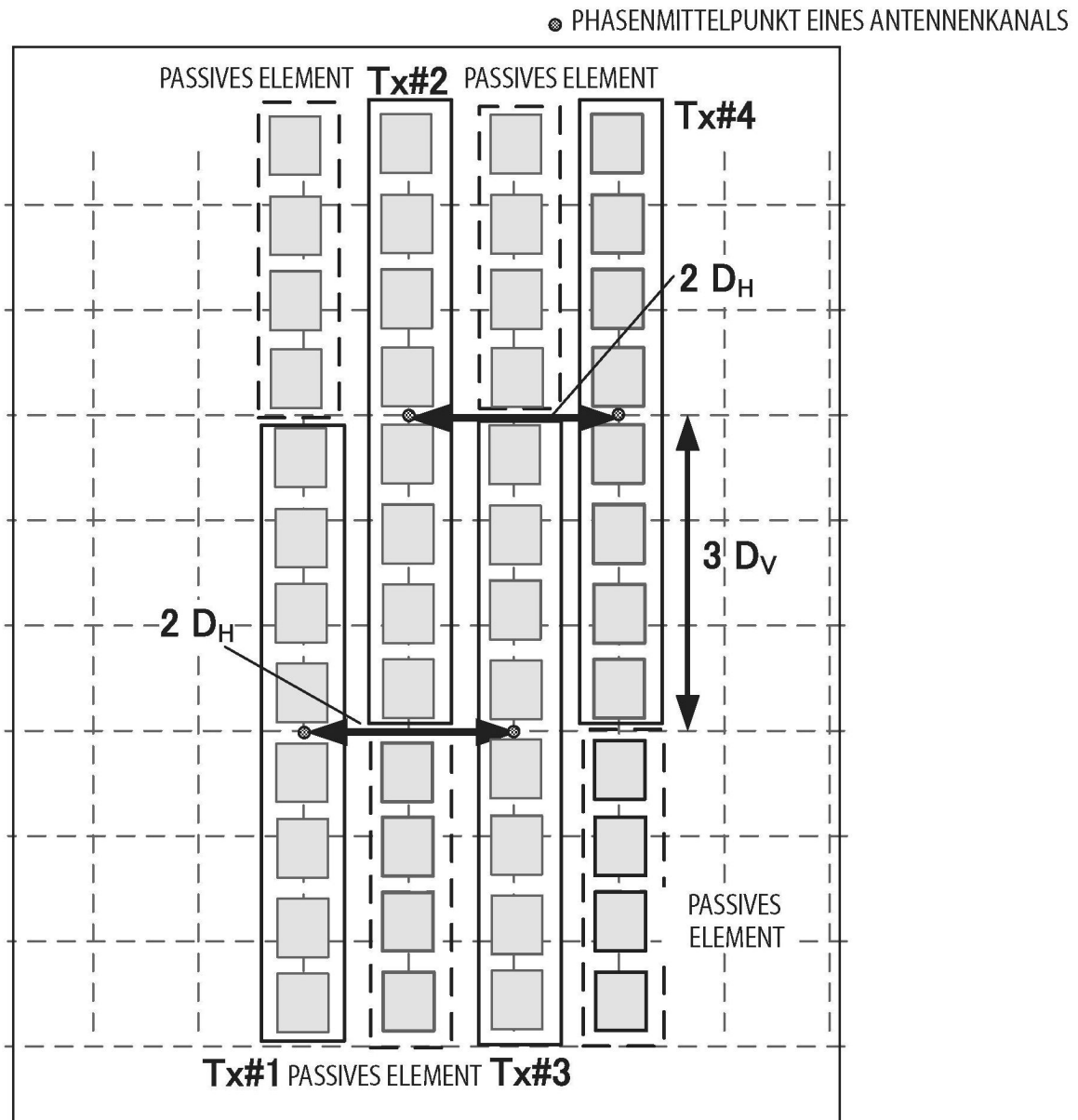


FIG. 25C

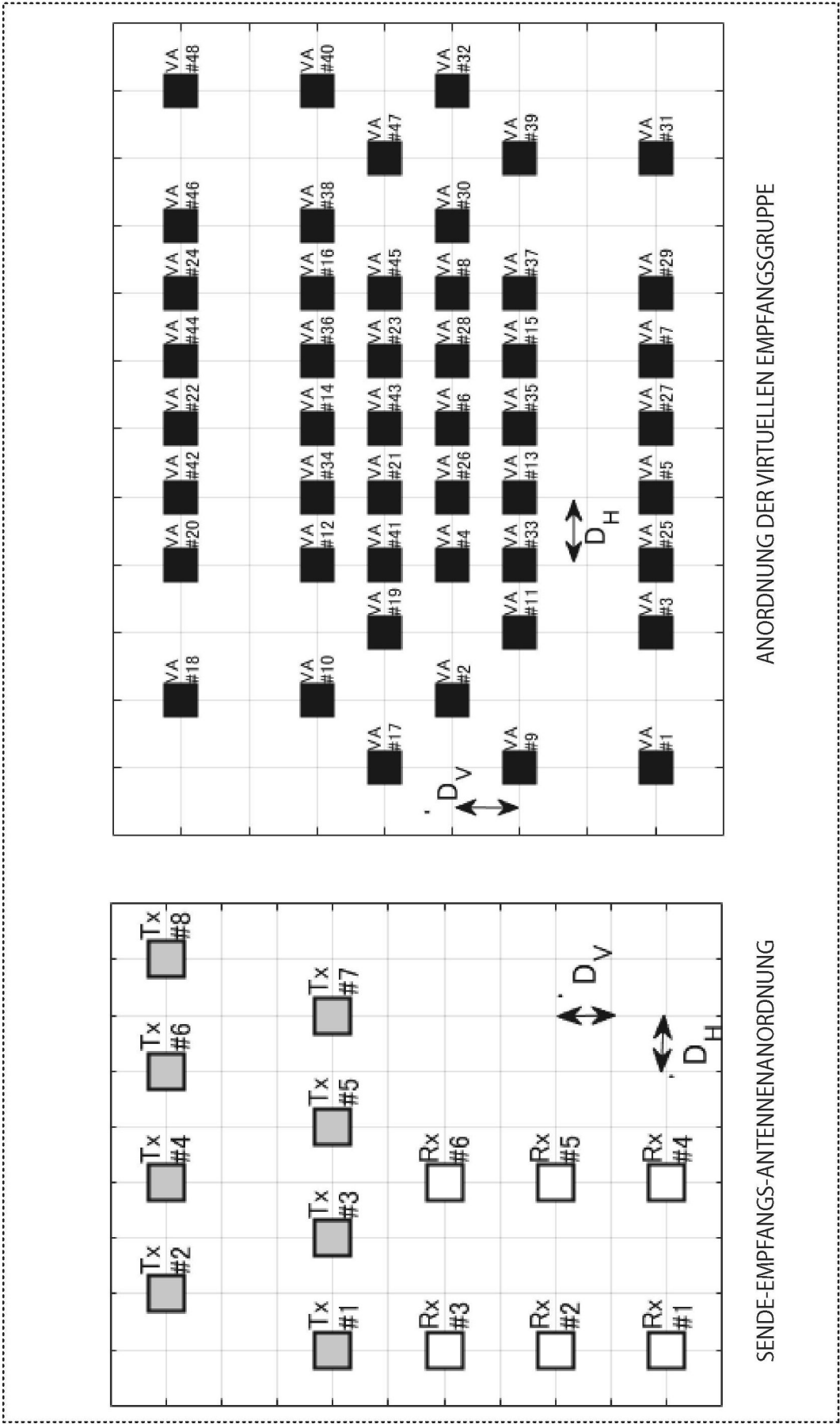


FIG. 26

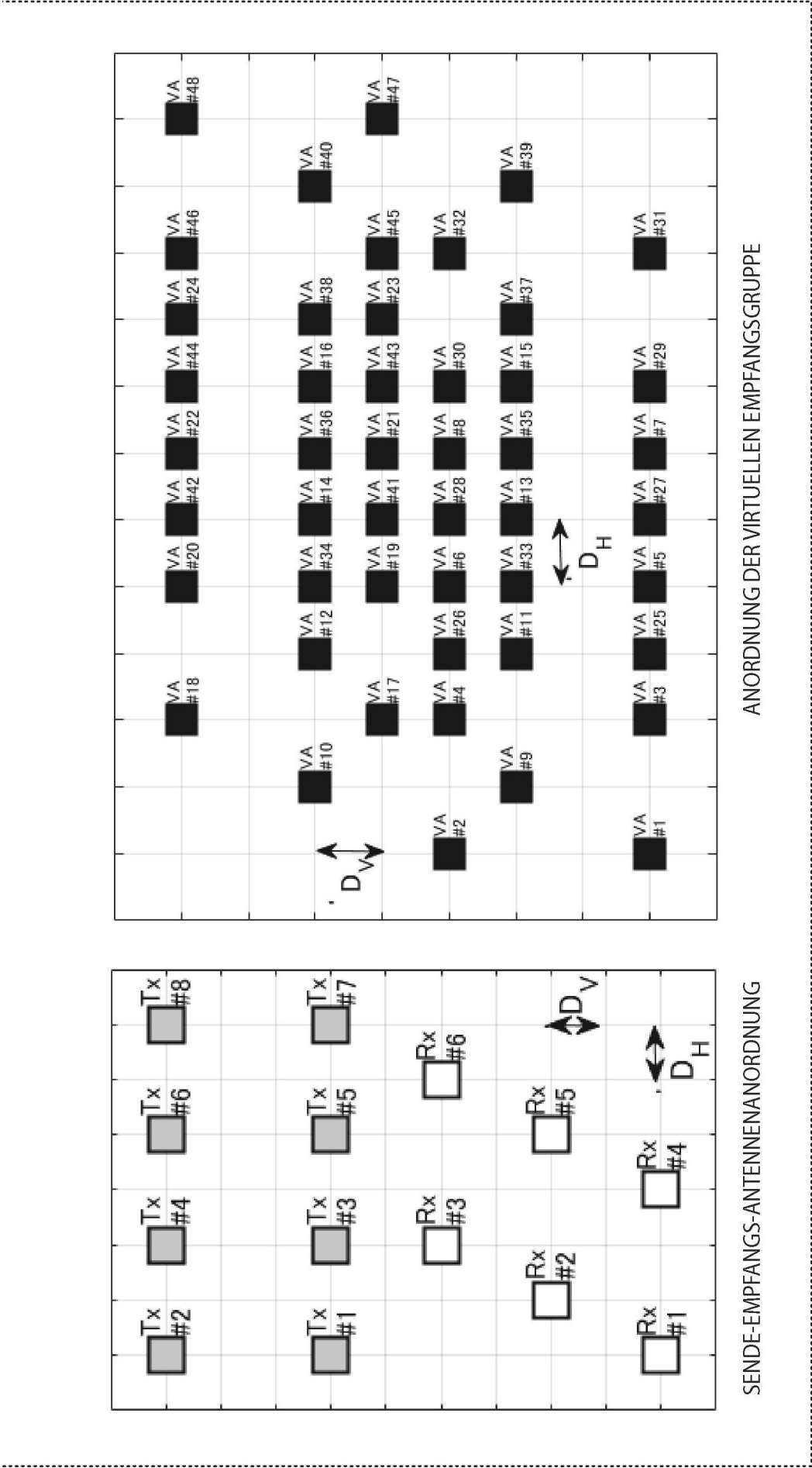


FIG. 27

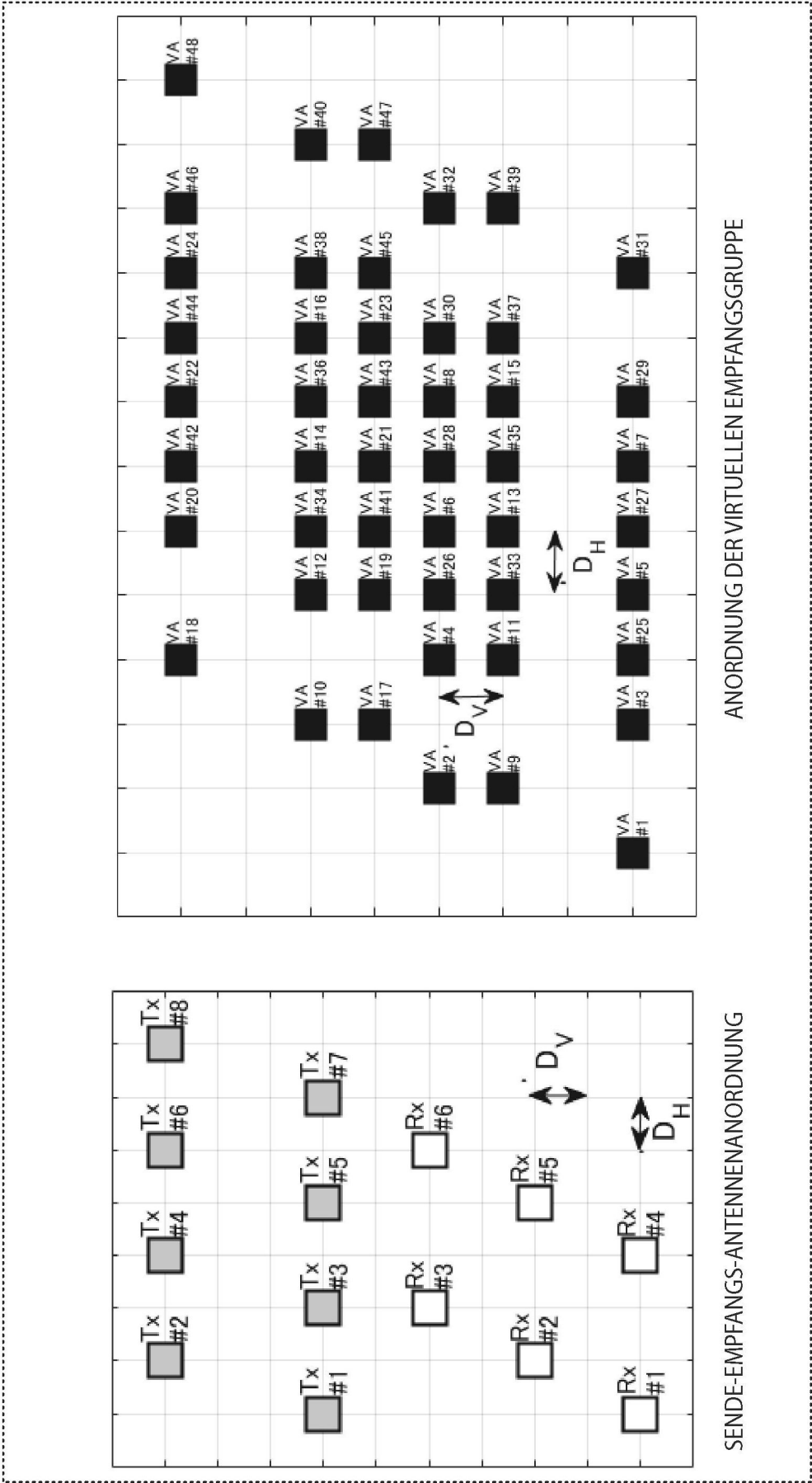


FIG. 28



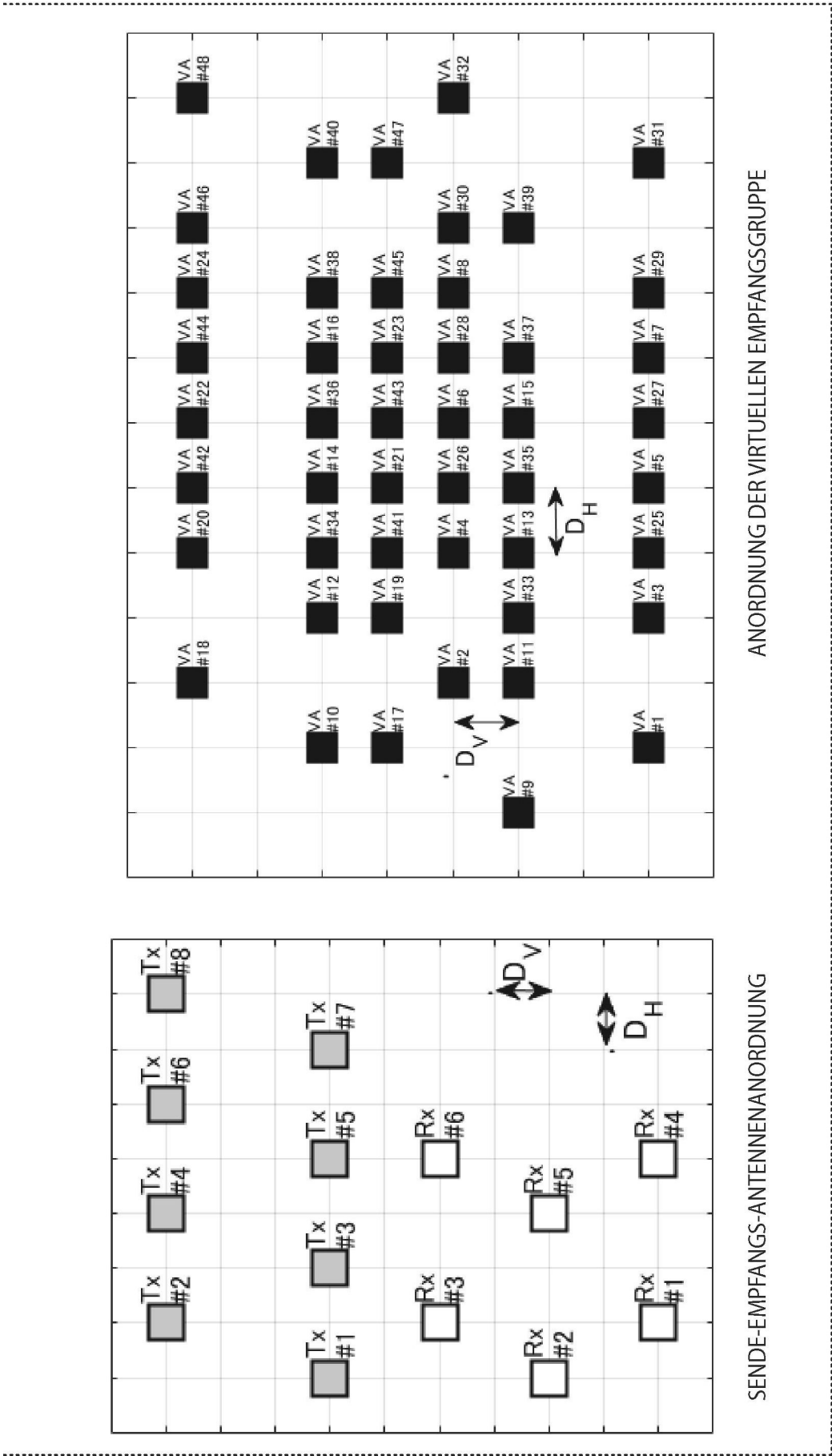


FIG. 30

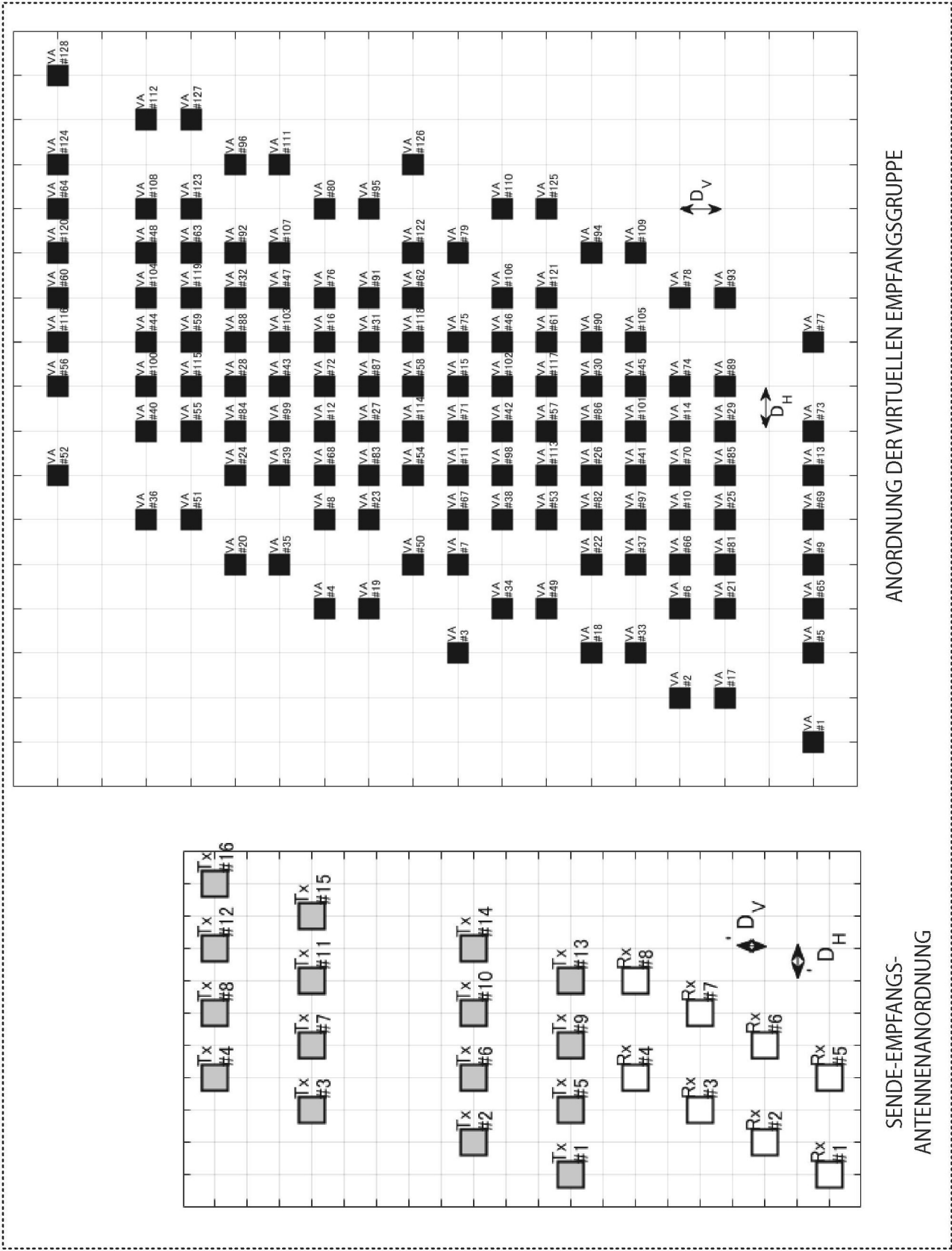
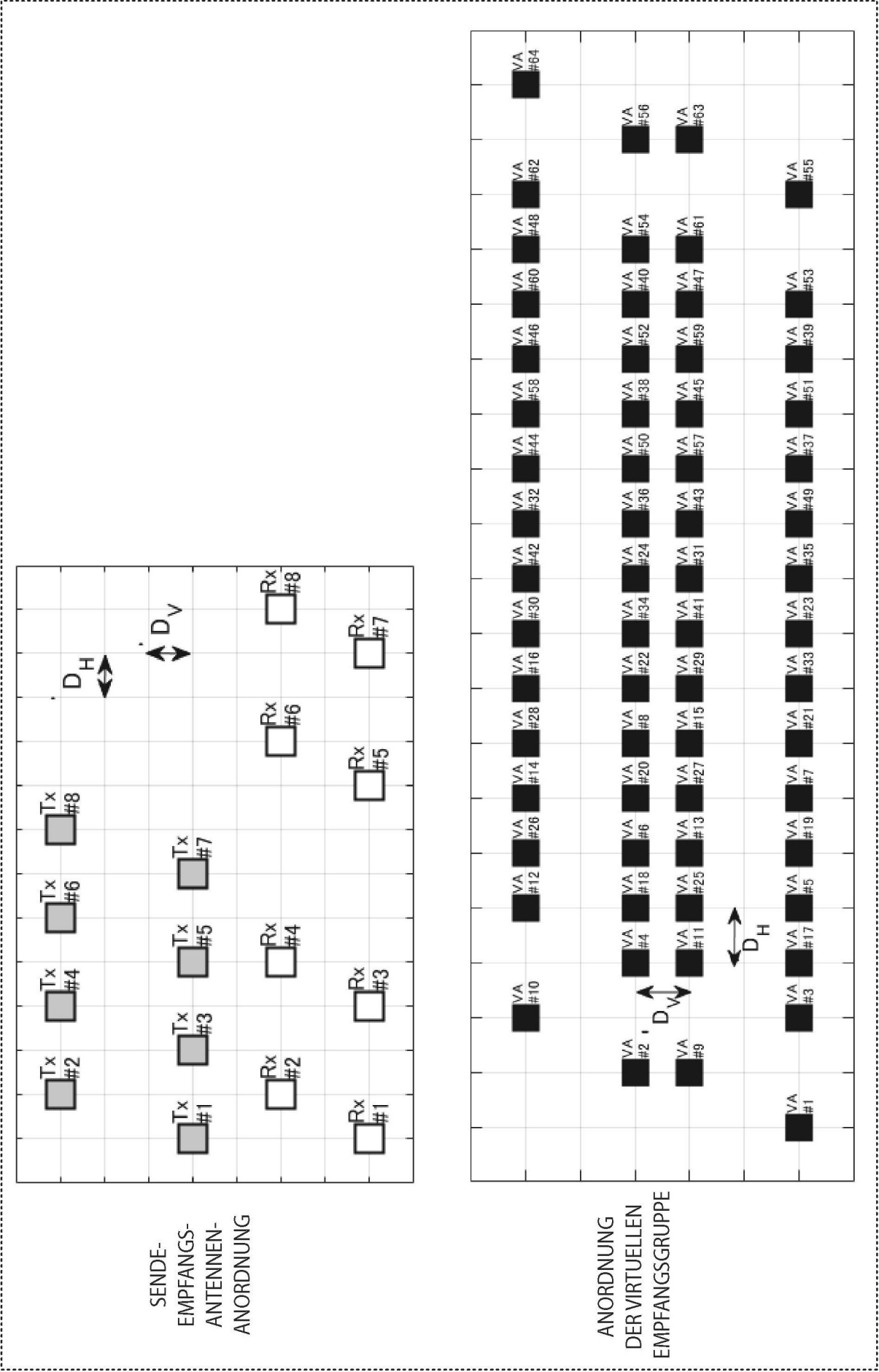
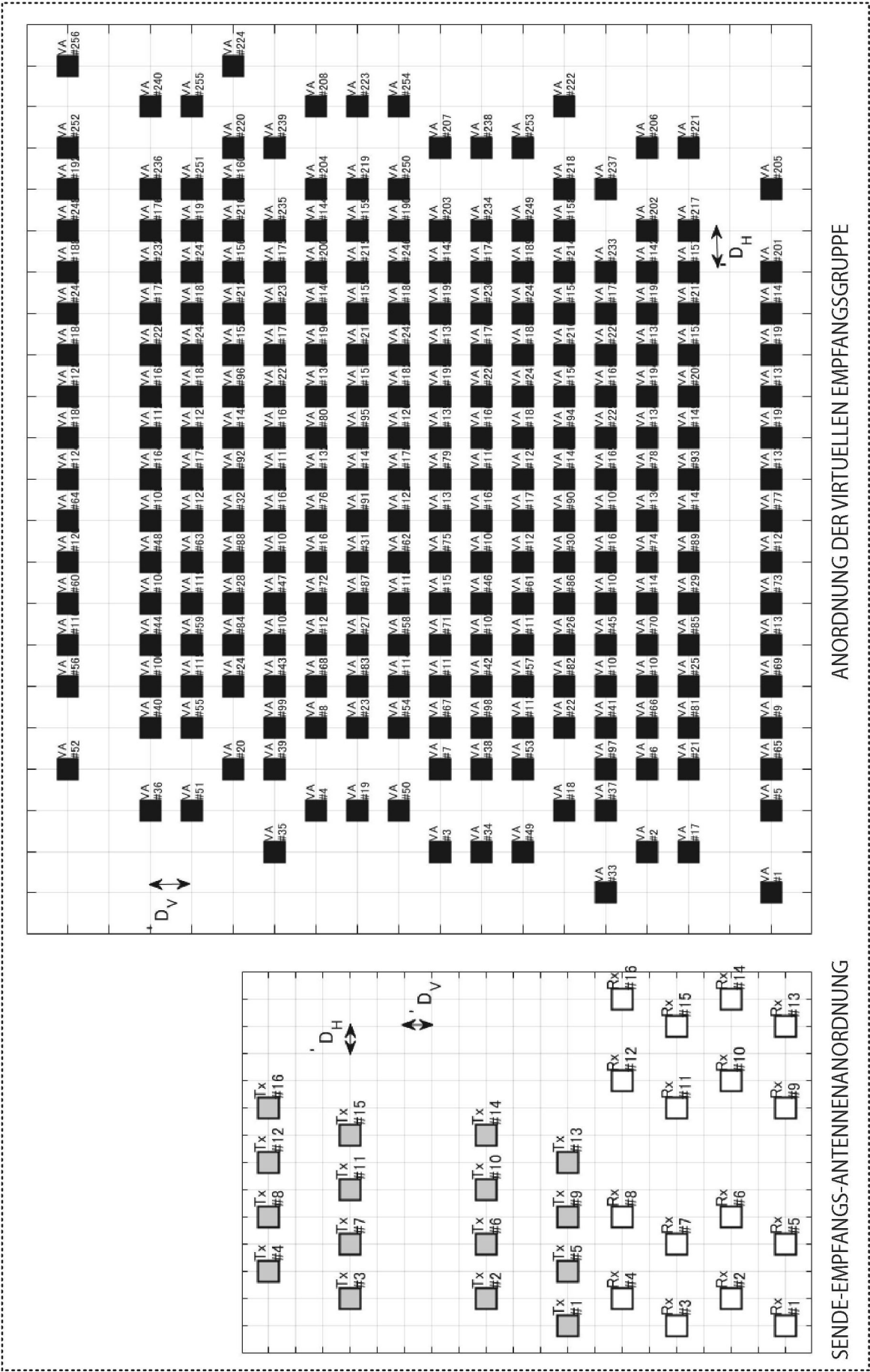
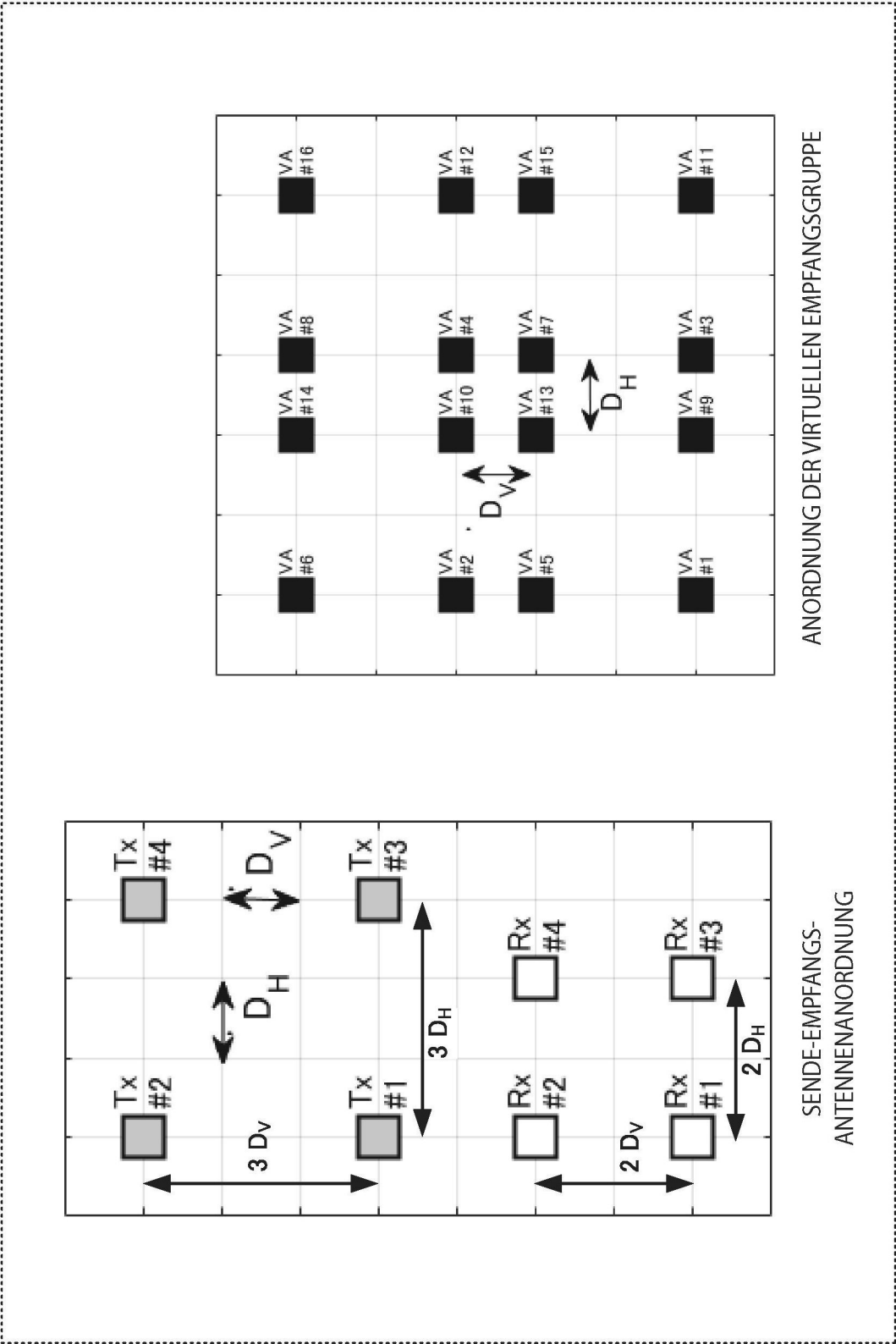


FIG. 31







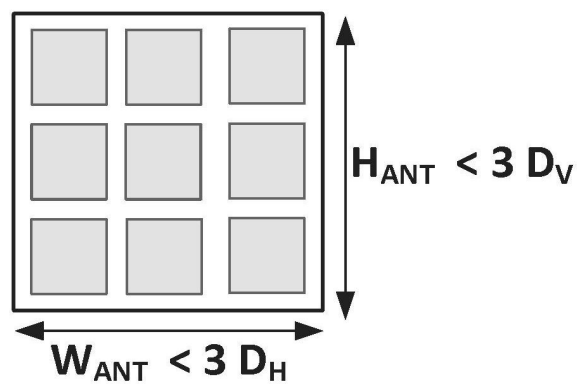


FIG. 35

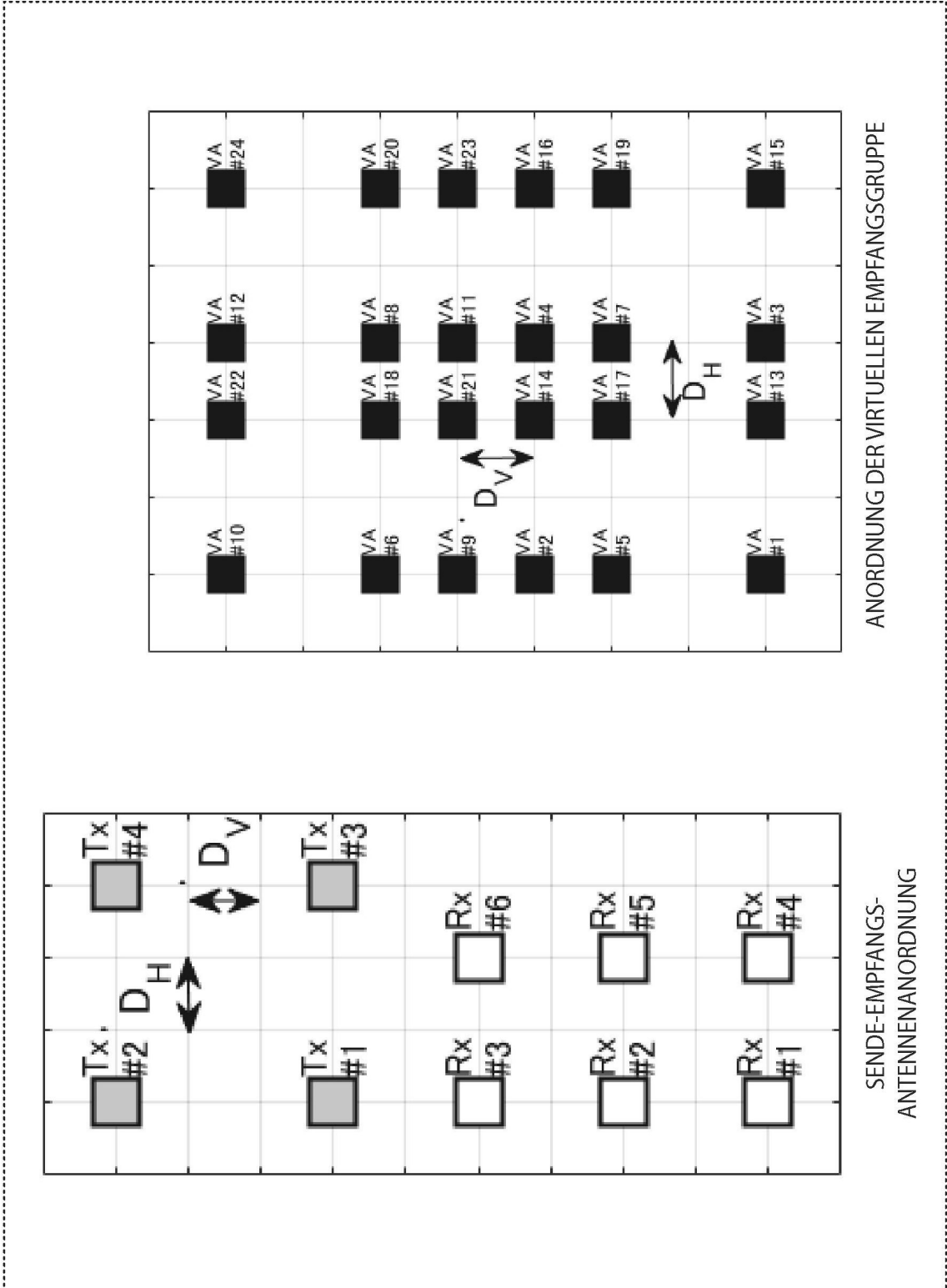


FIG. 36

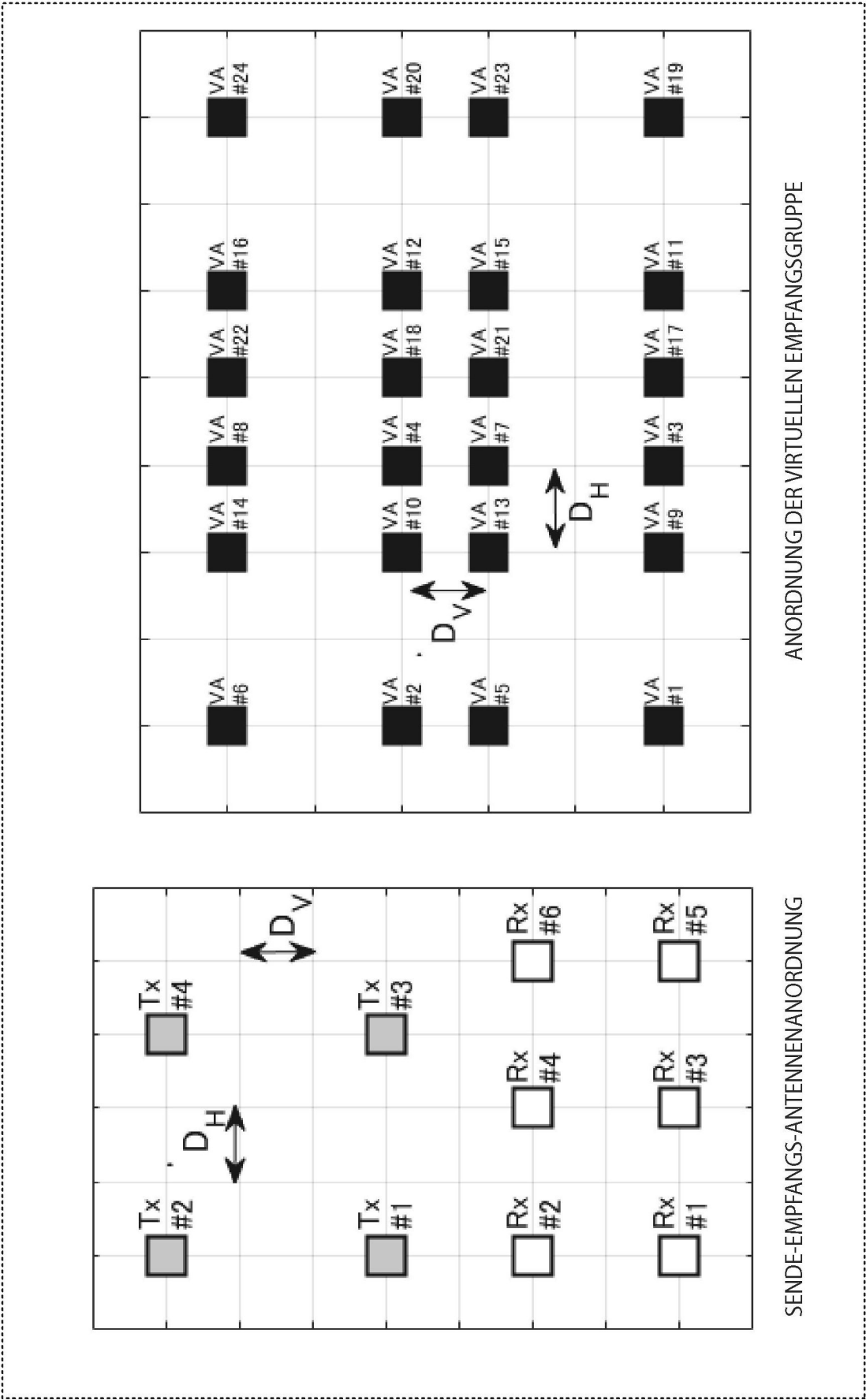


FIG. 37

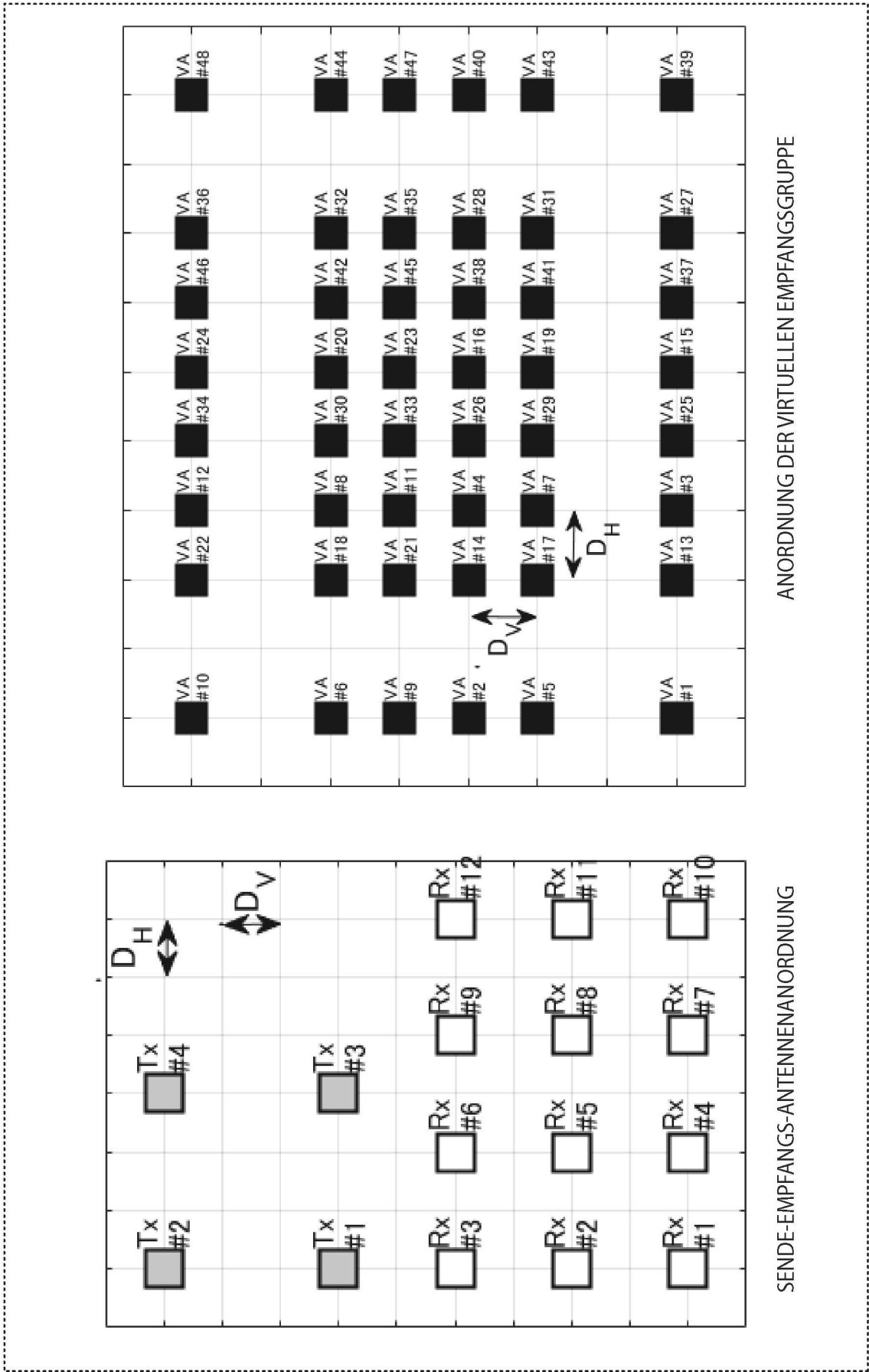


FIG. 38

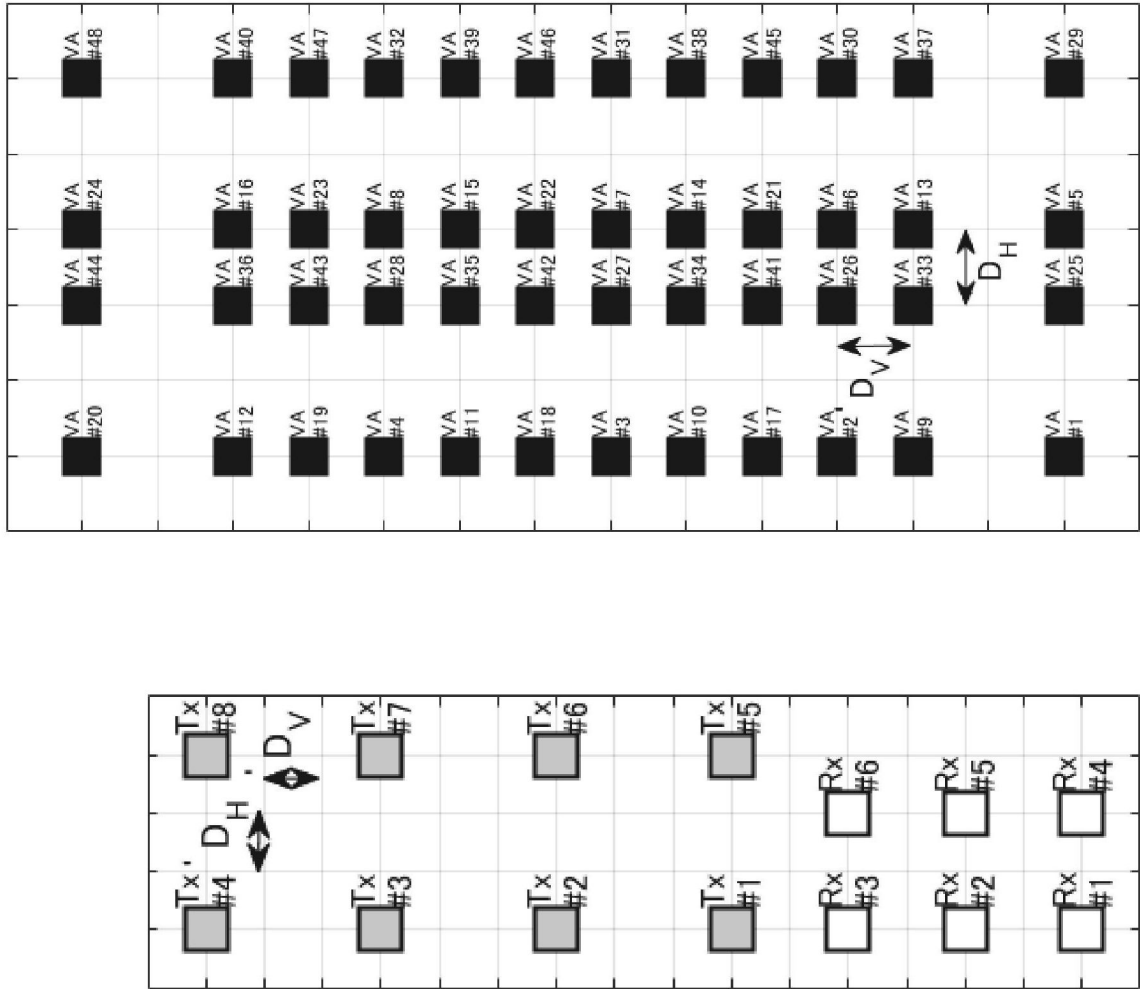


FIG. 39

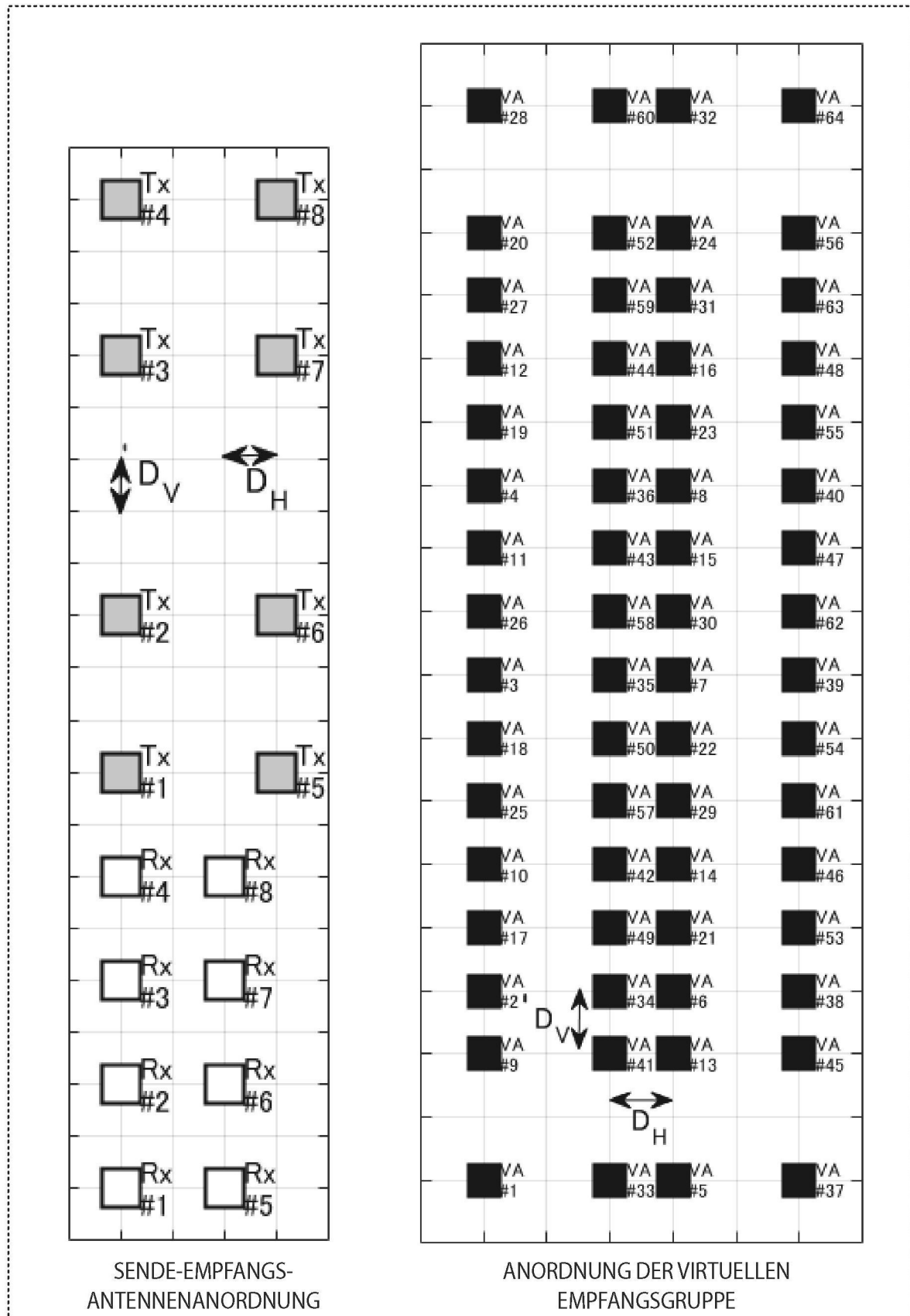


FIG. 40

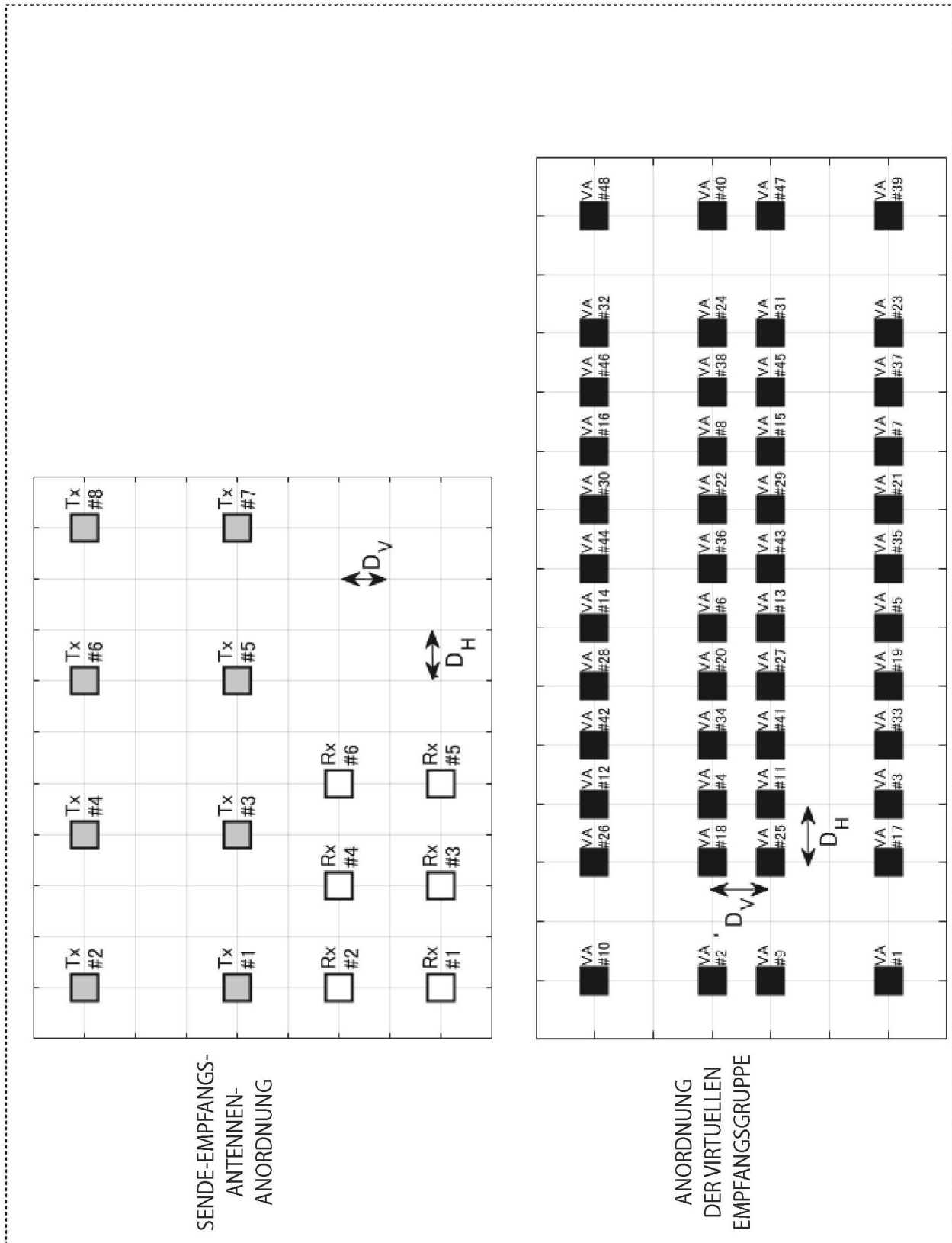


FIG. 41

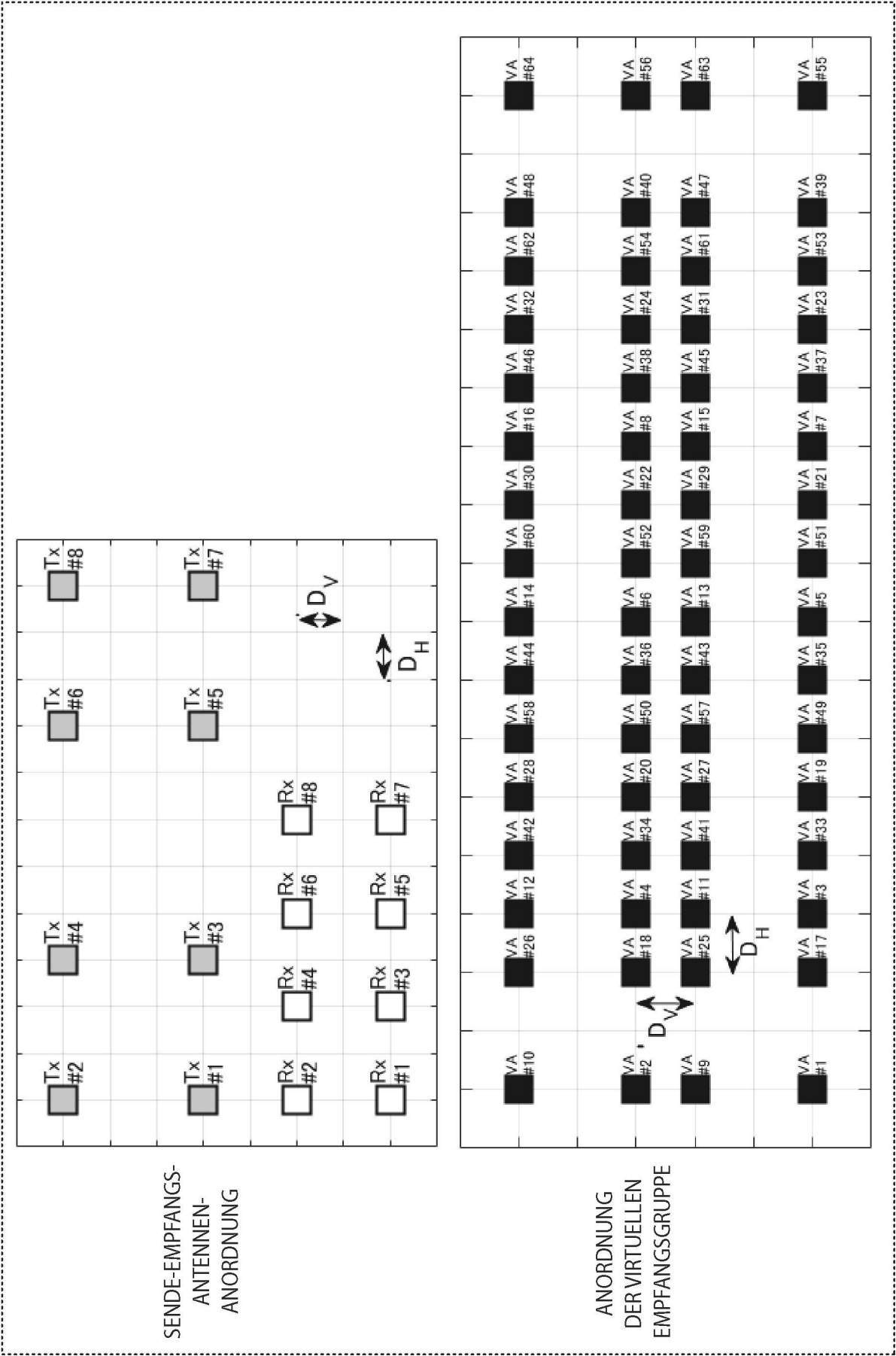


FIG. 42



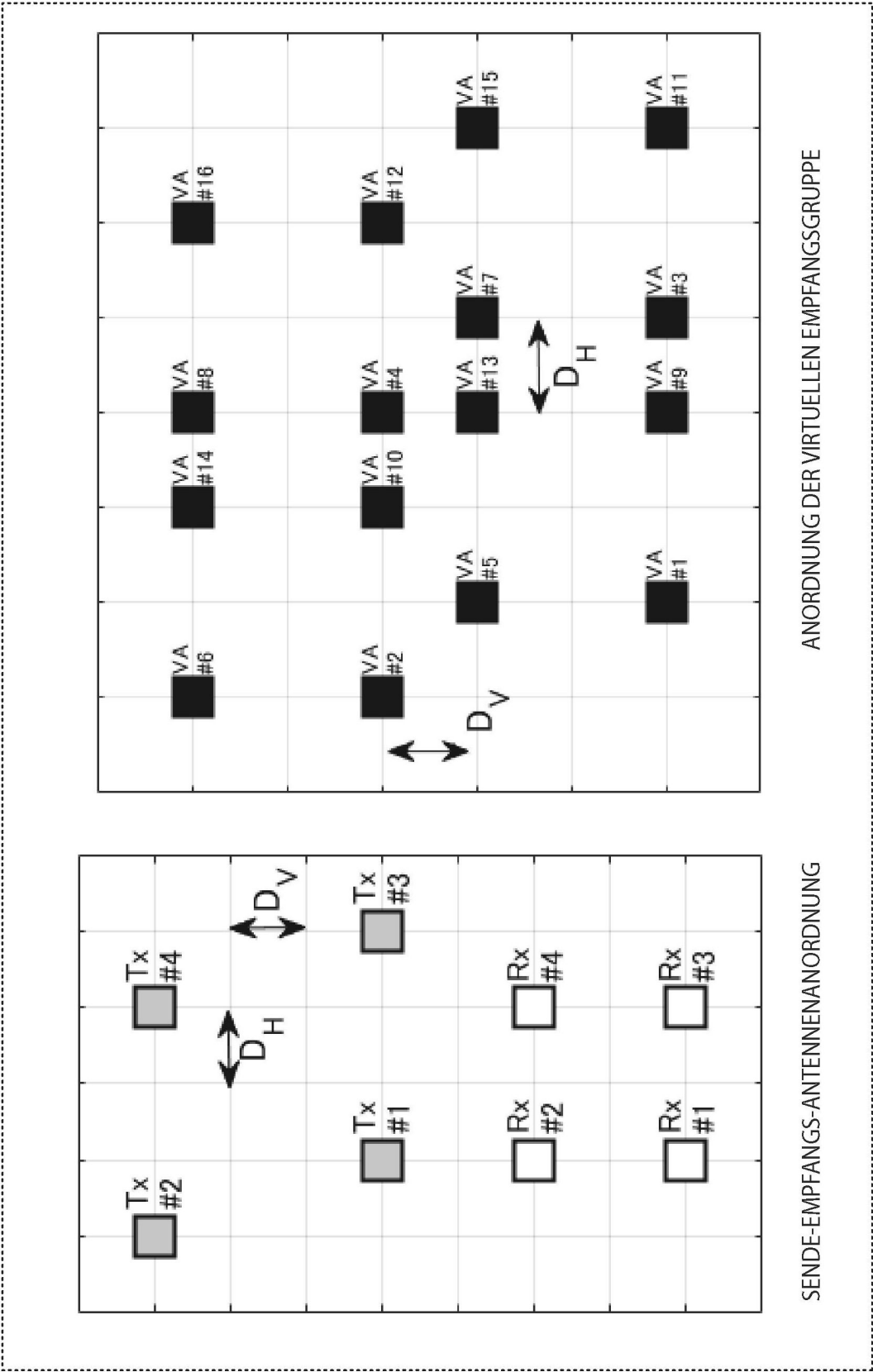


FIG. 44

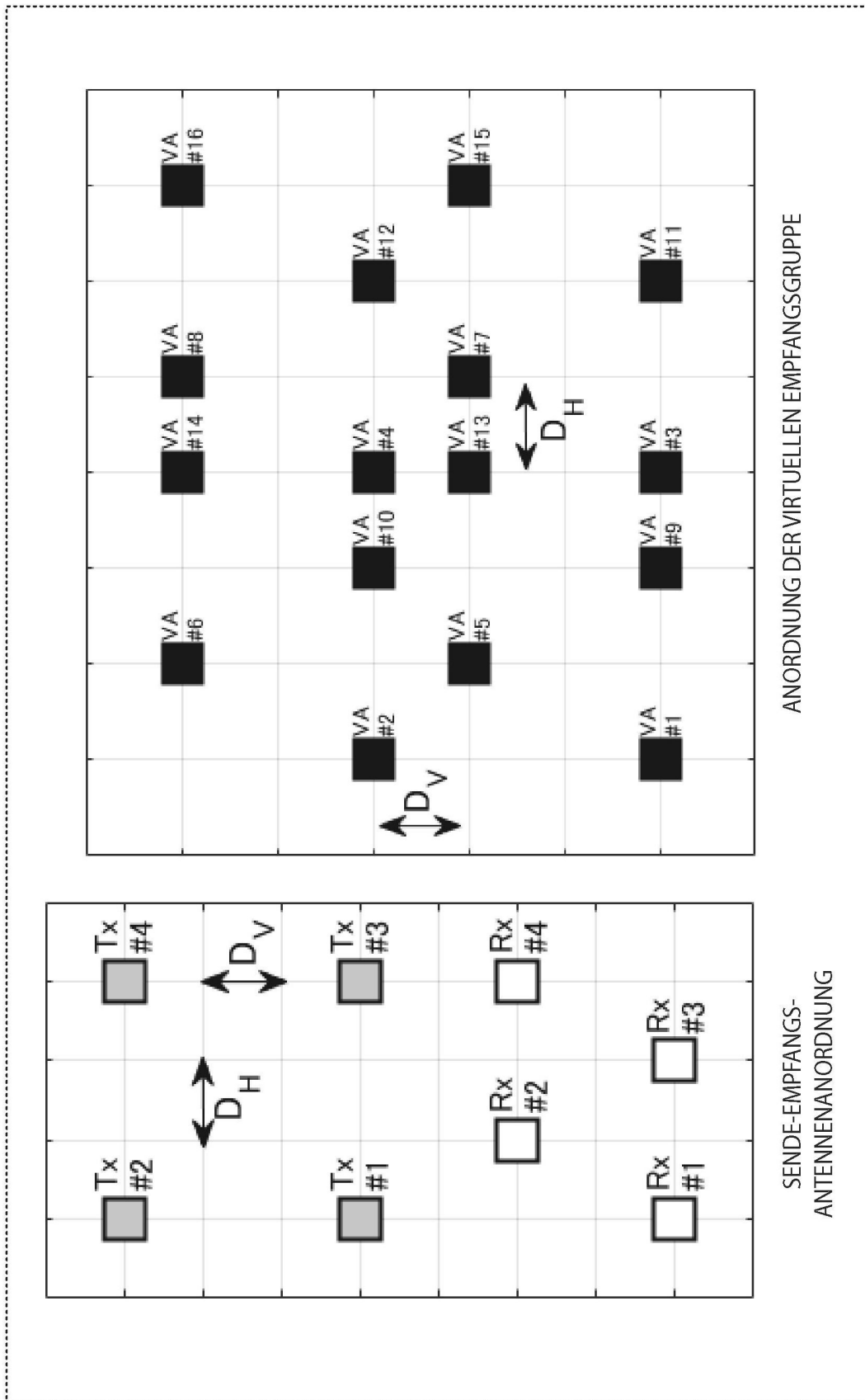


FIG. 45

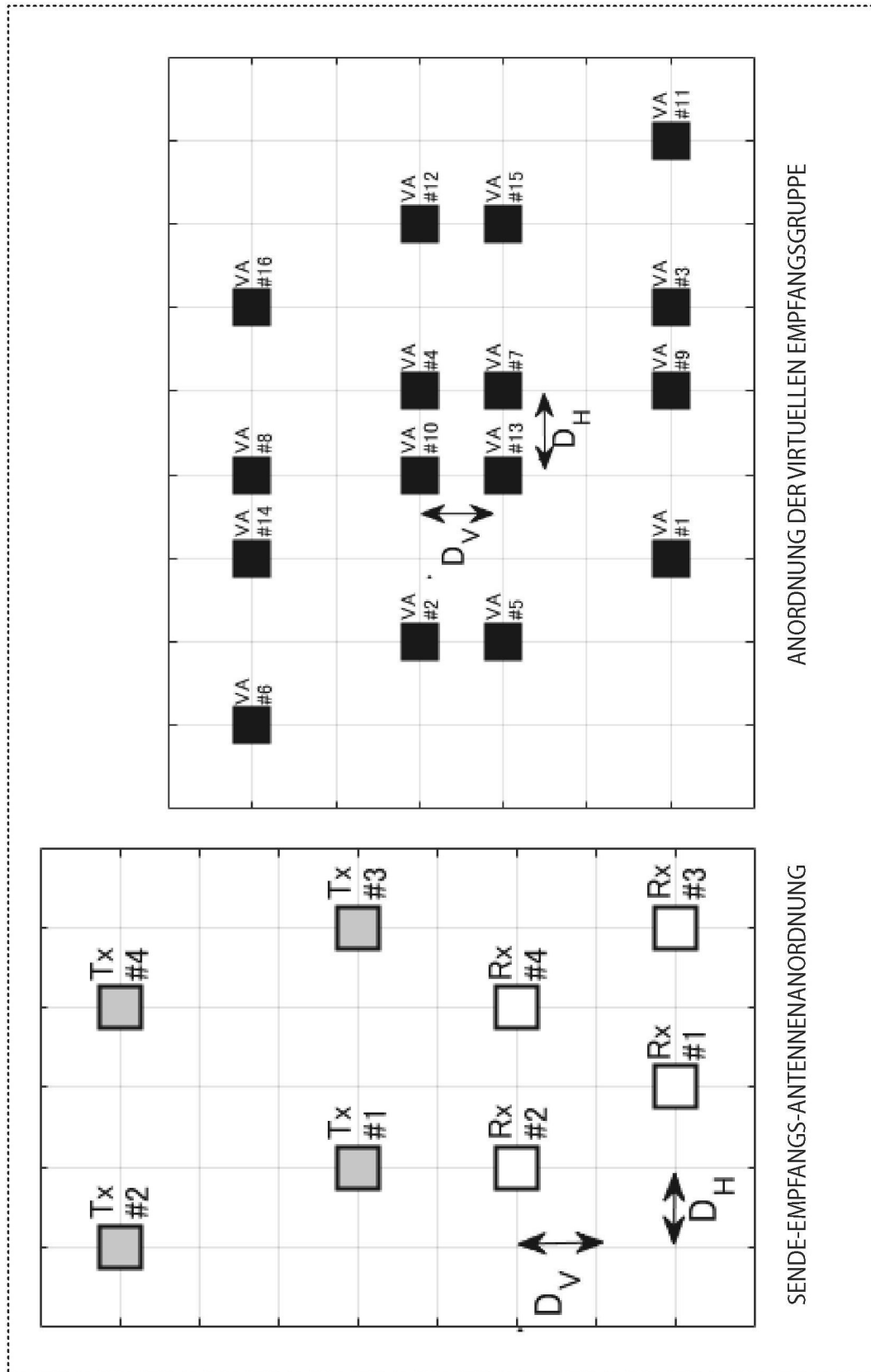


FIG. 46

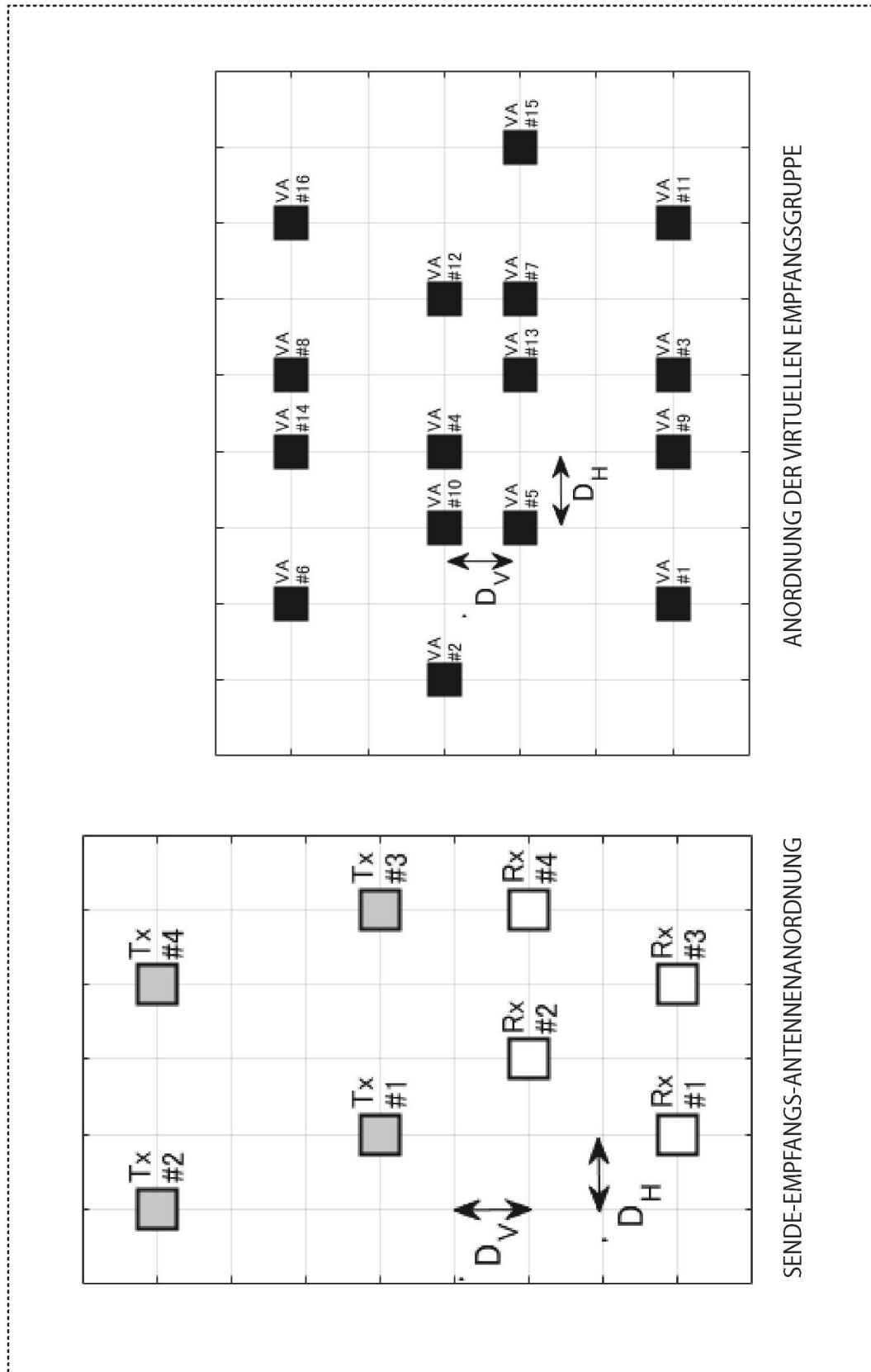


FIG. 47

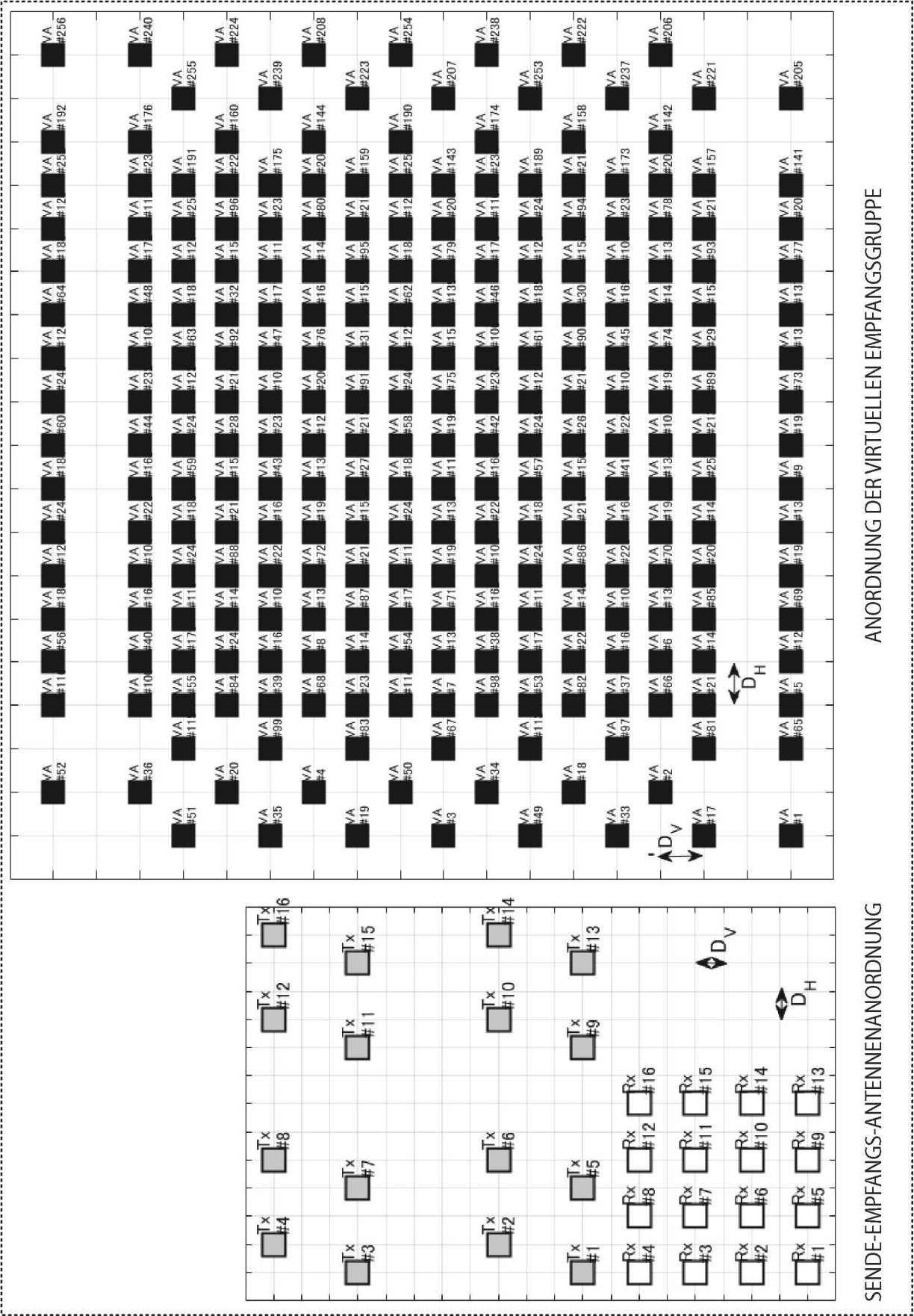


FIG. 48



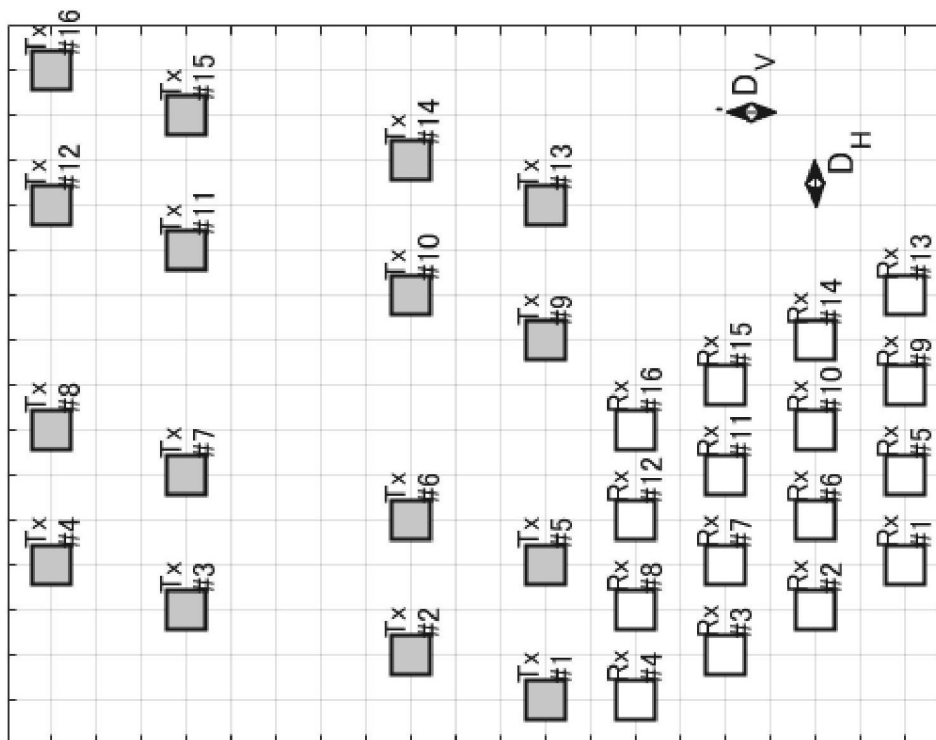


FIG. 50A

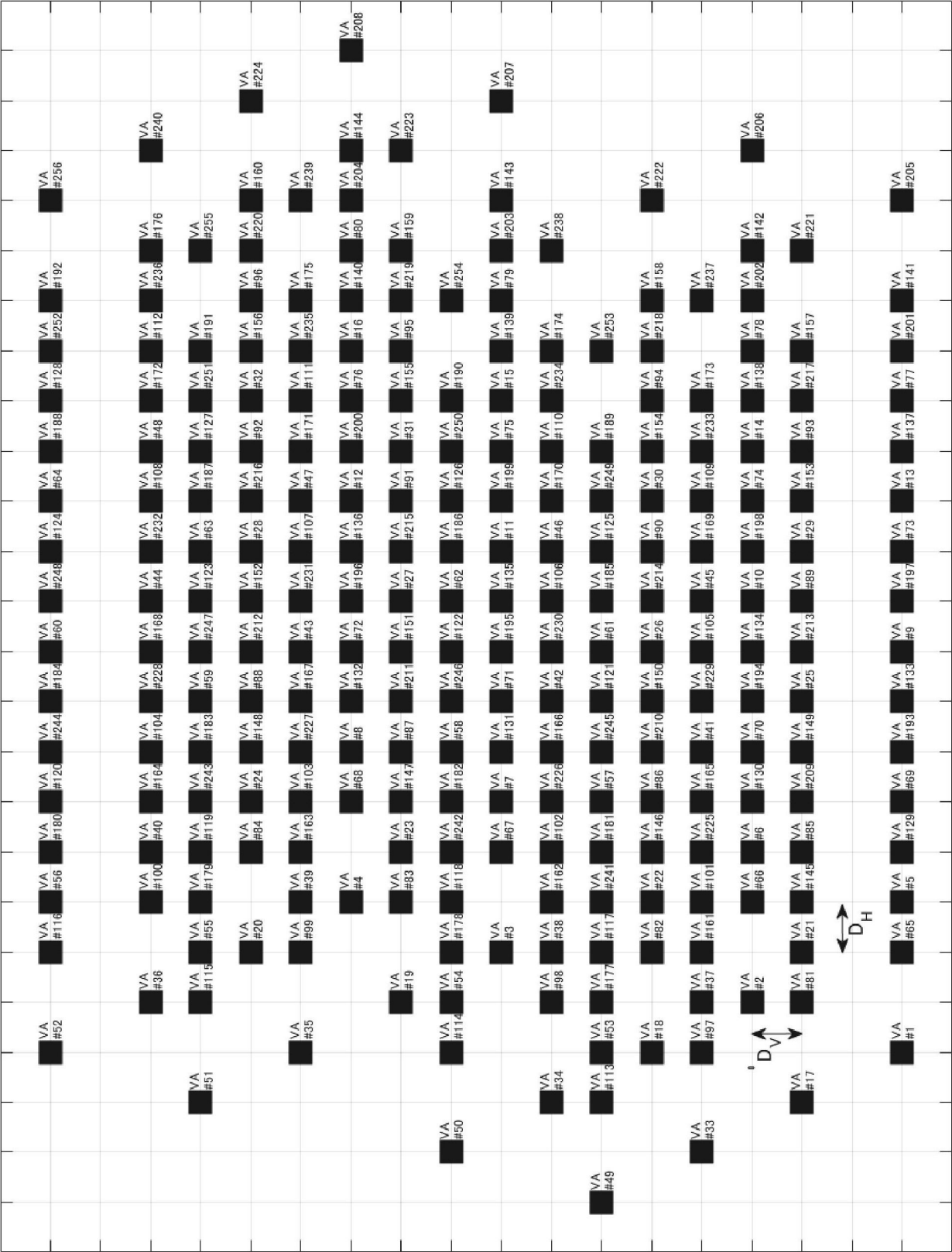


FIG. 50B

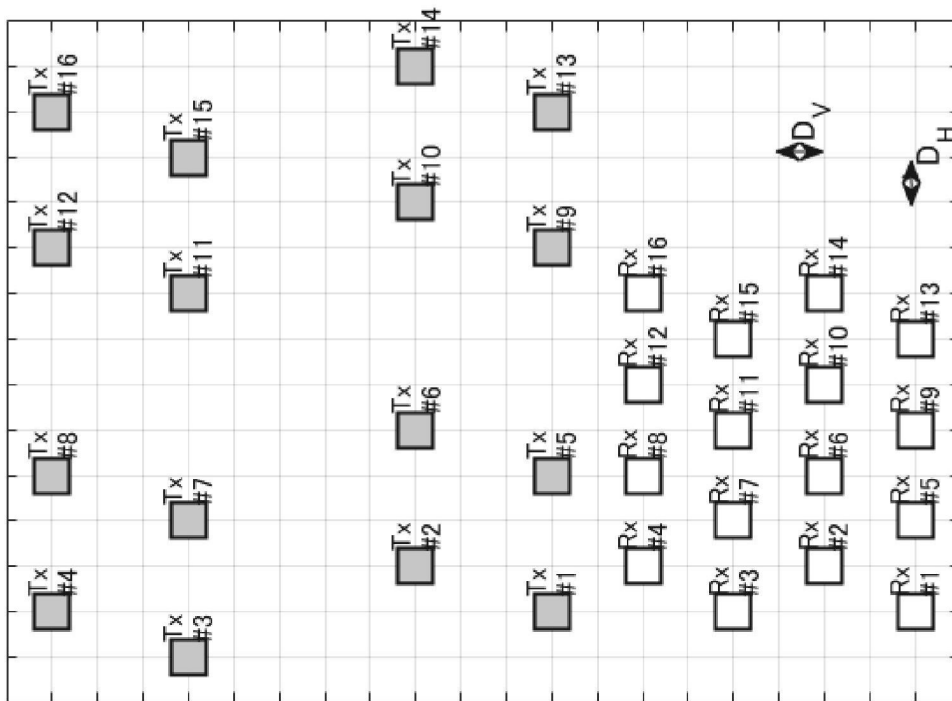


FIG. 51A

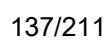


FIG. 51B

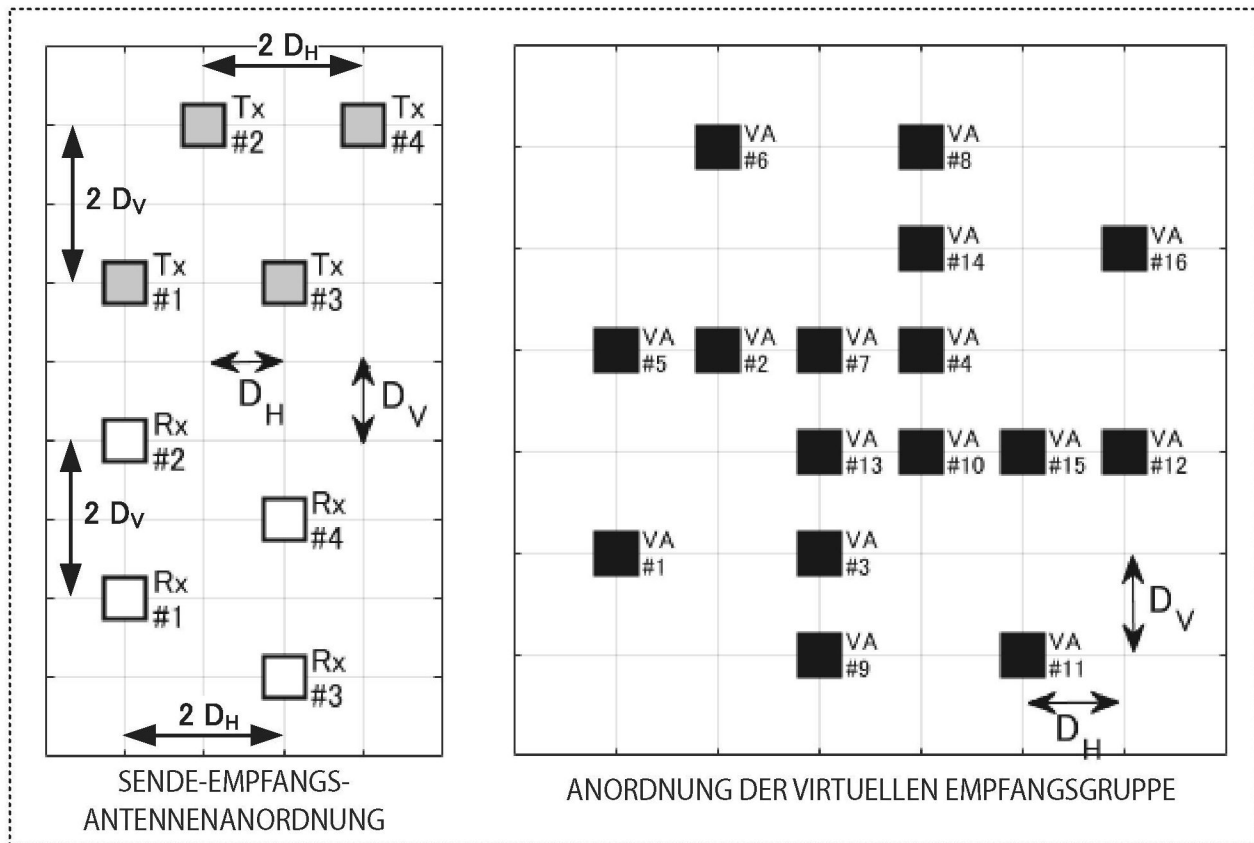


FIG. 52A

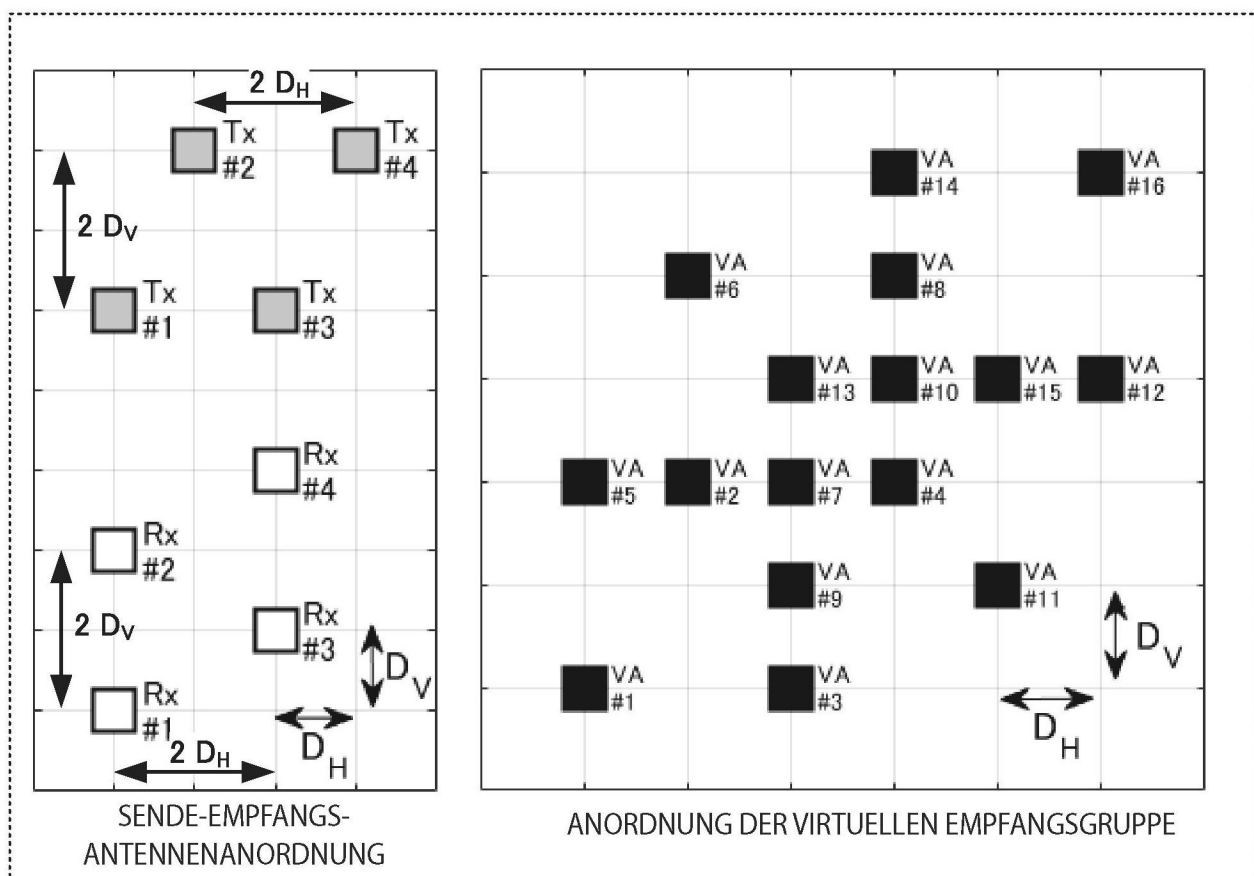


FIG. 52B

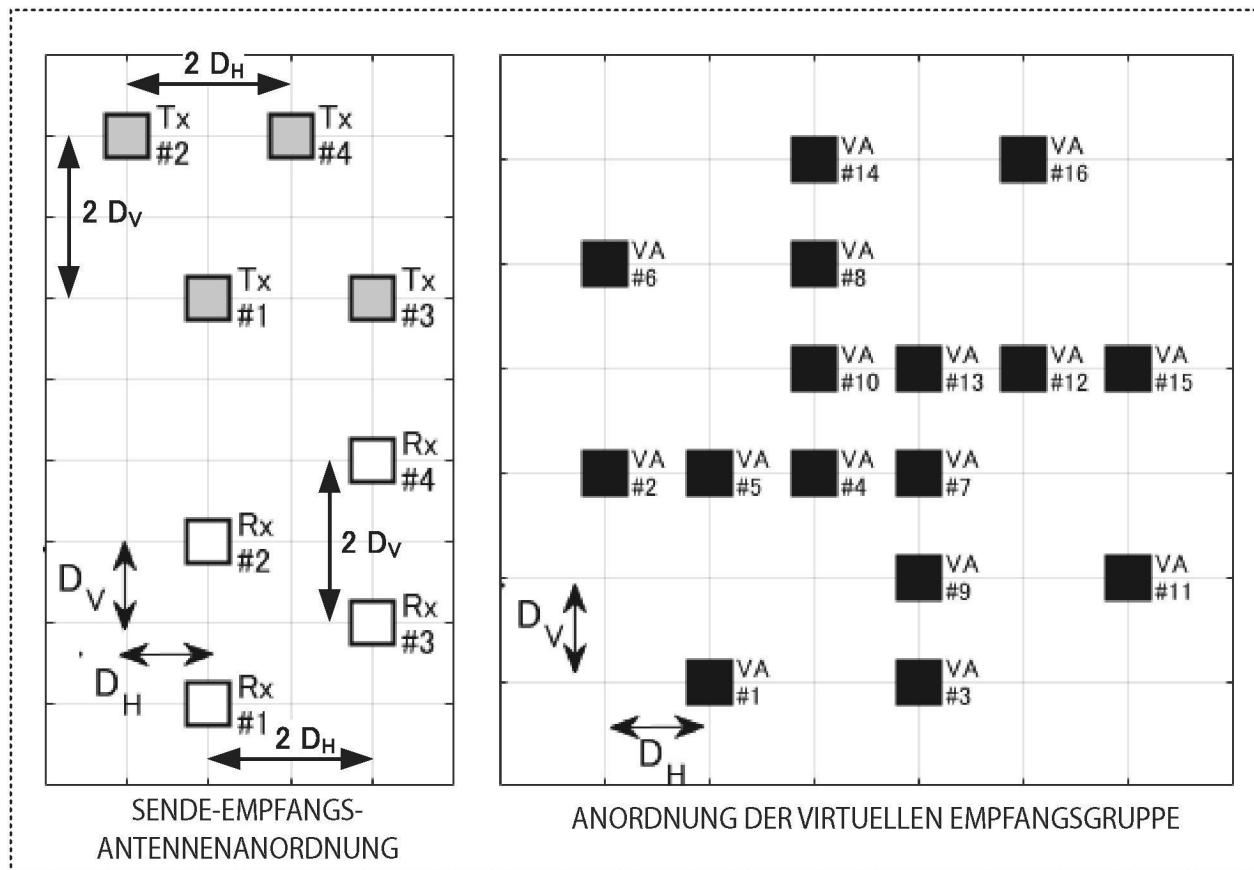


FIG. 52C

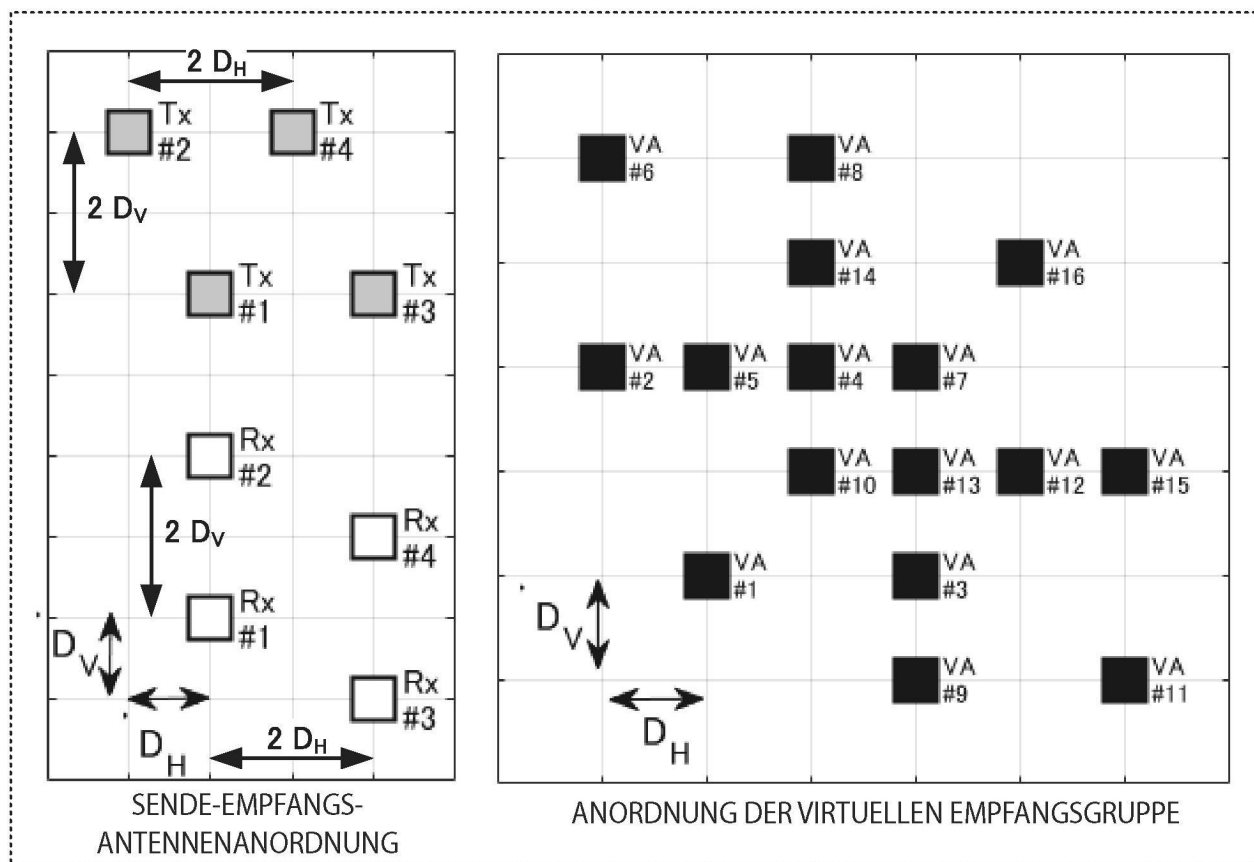


FIG. 52D

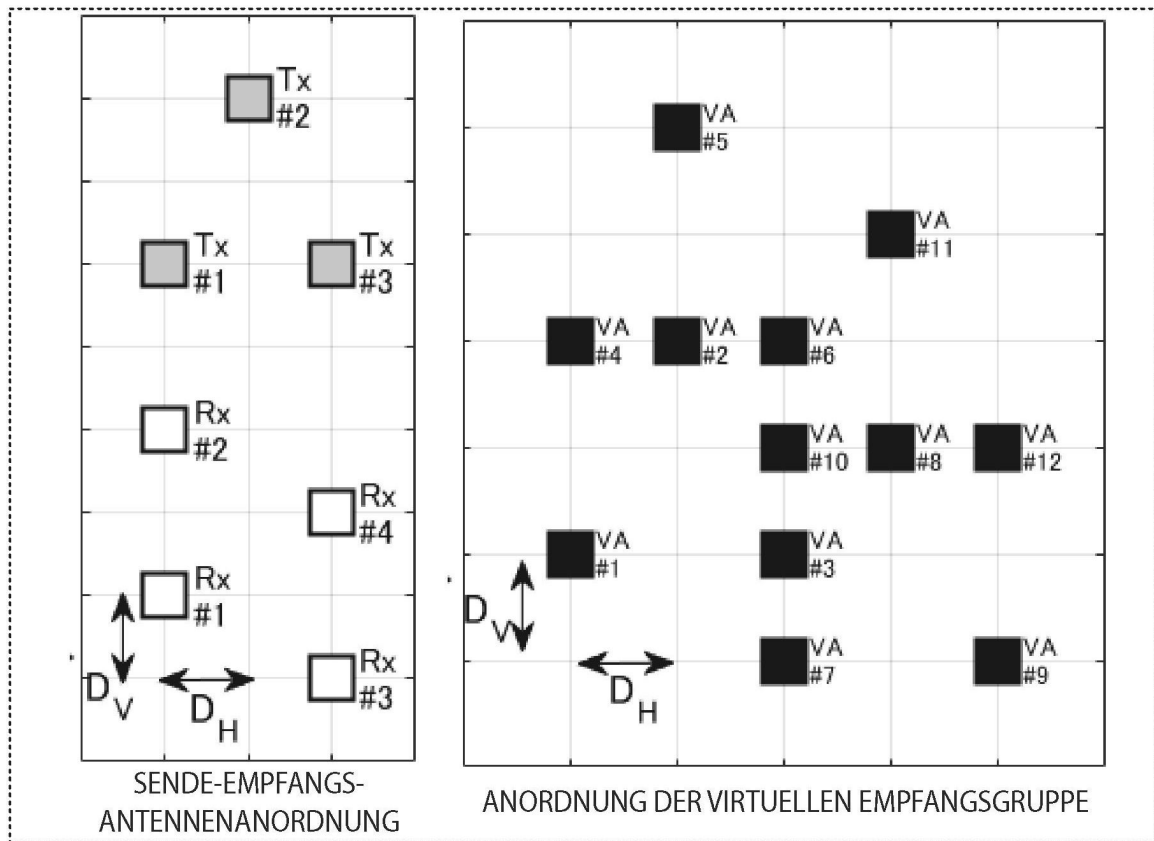


FIG. 53A

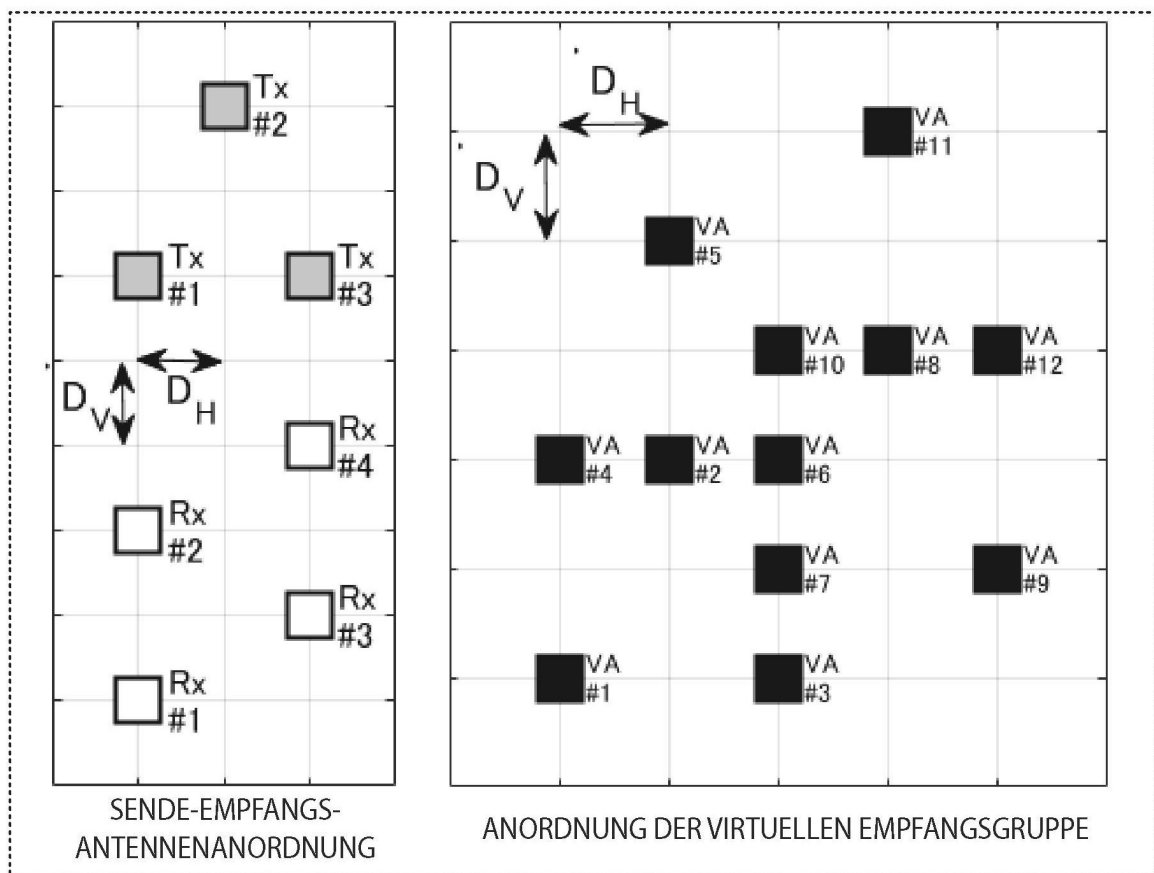


FIG. 53B

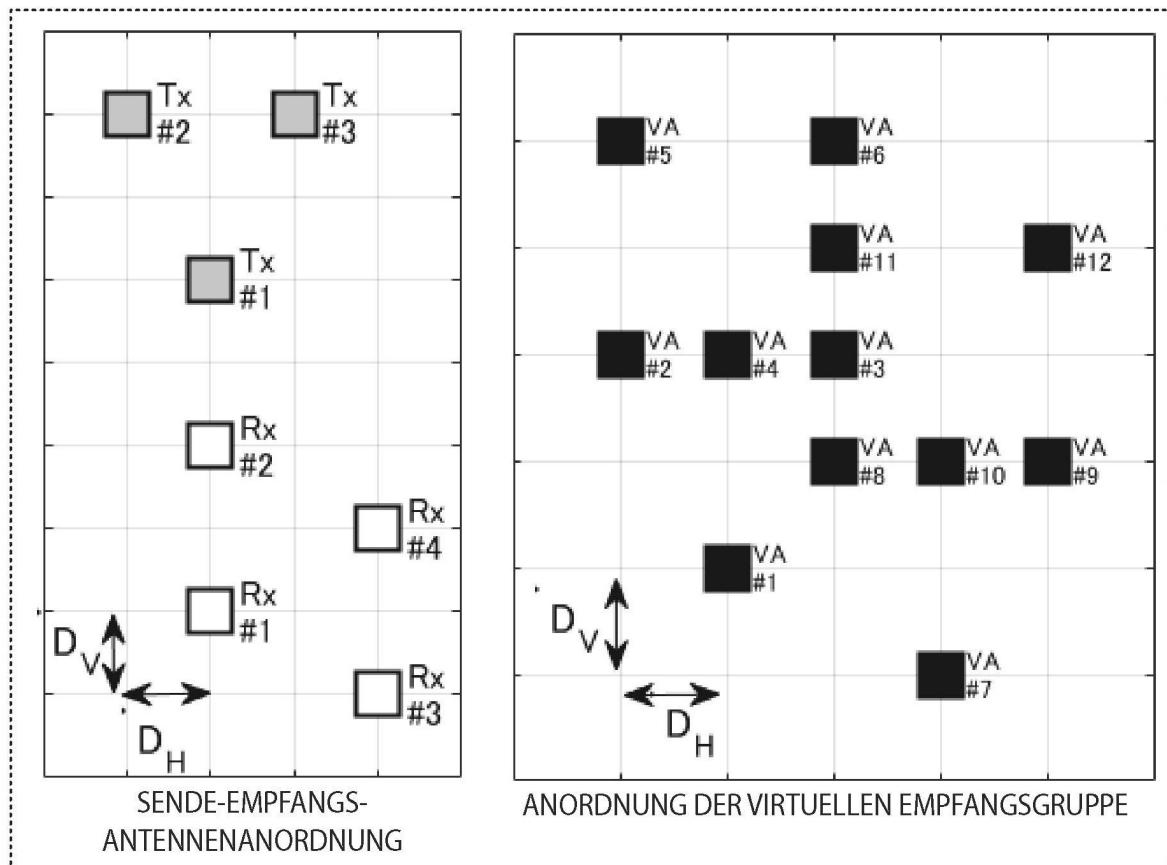


FIG. 53C

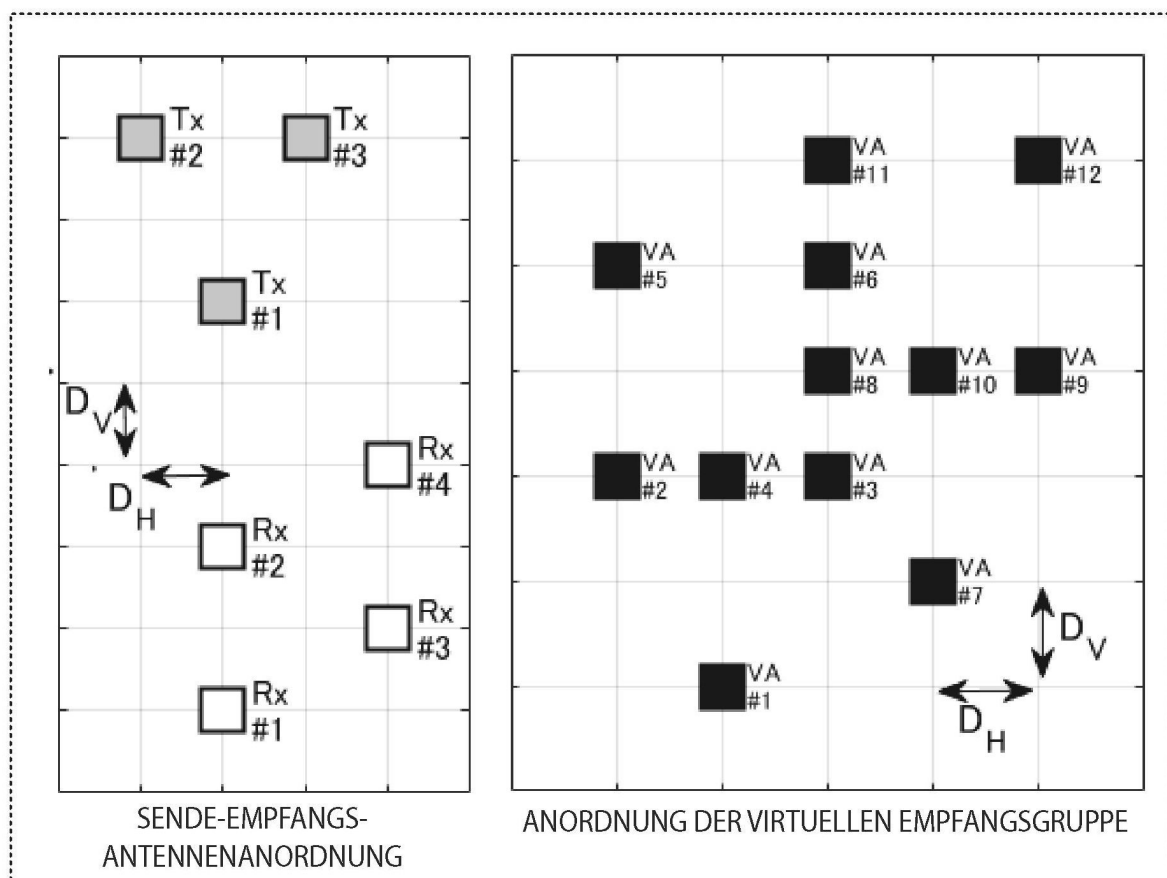


FIG. 53D

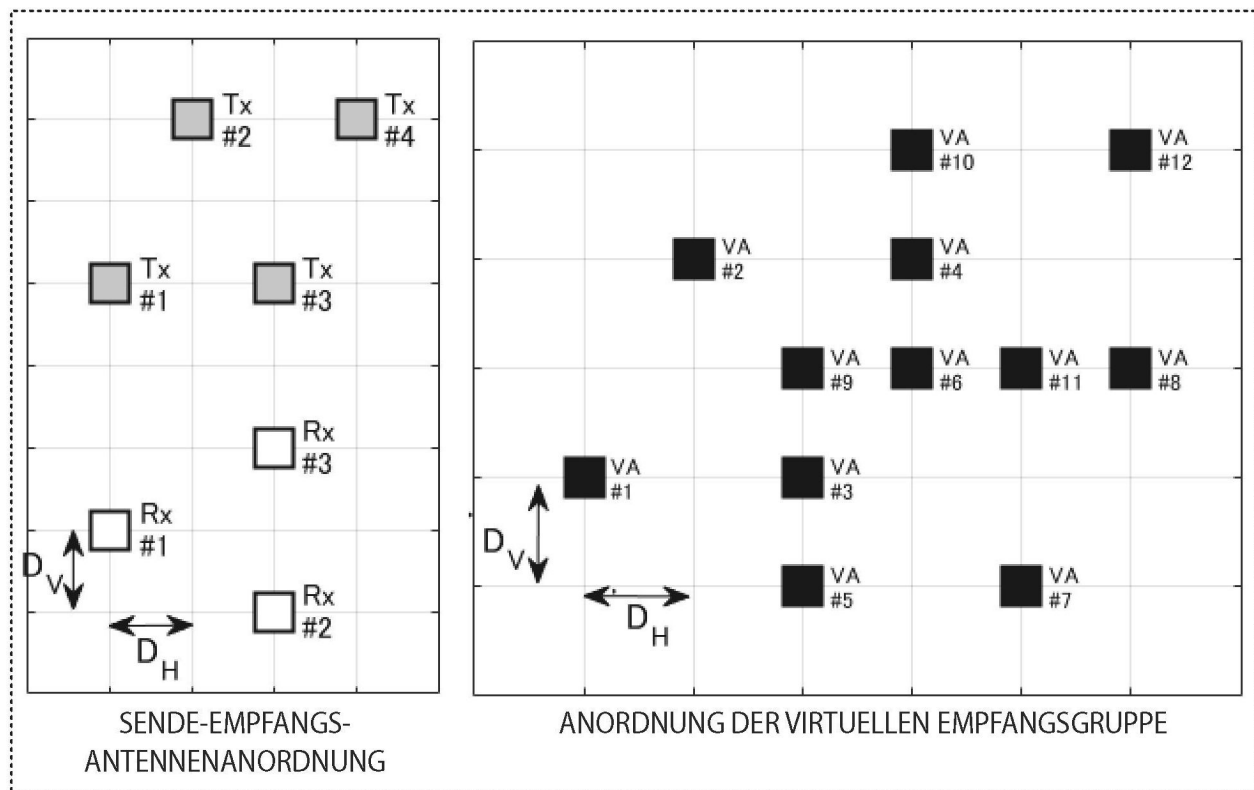


FIG. 54A

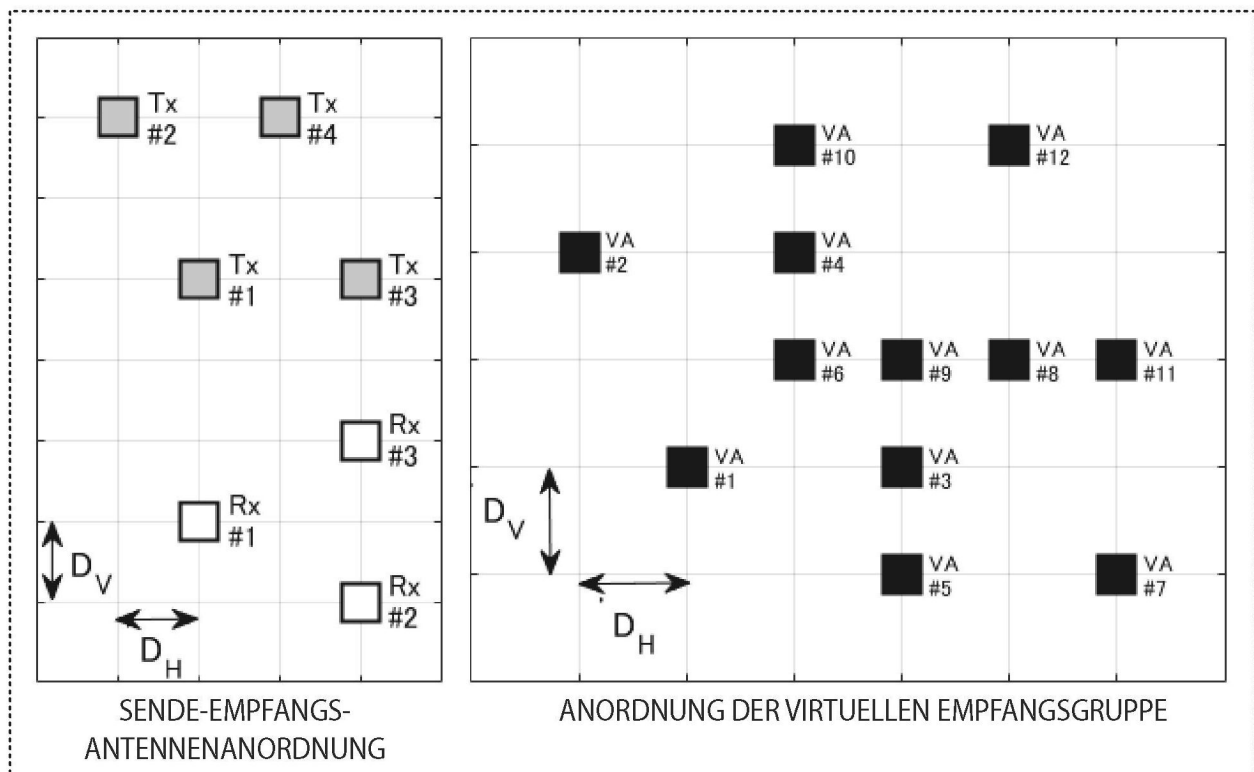


FIG. 54B

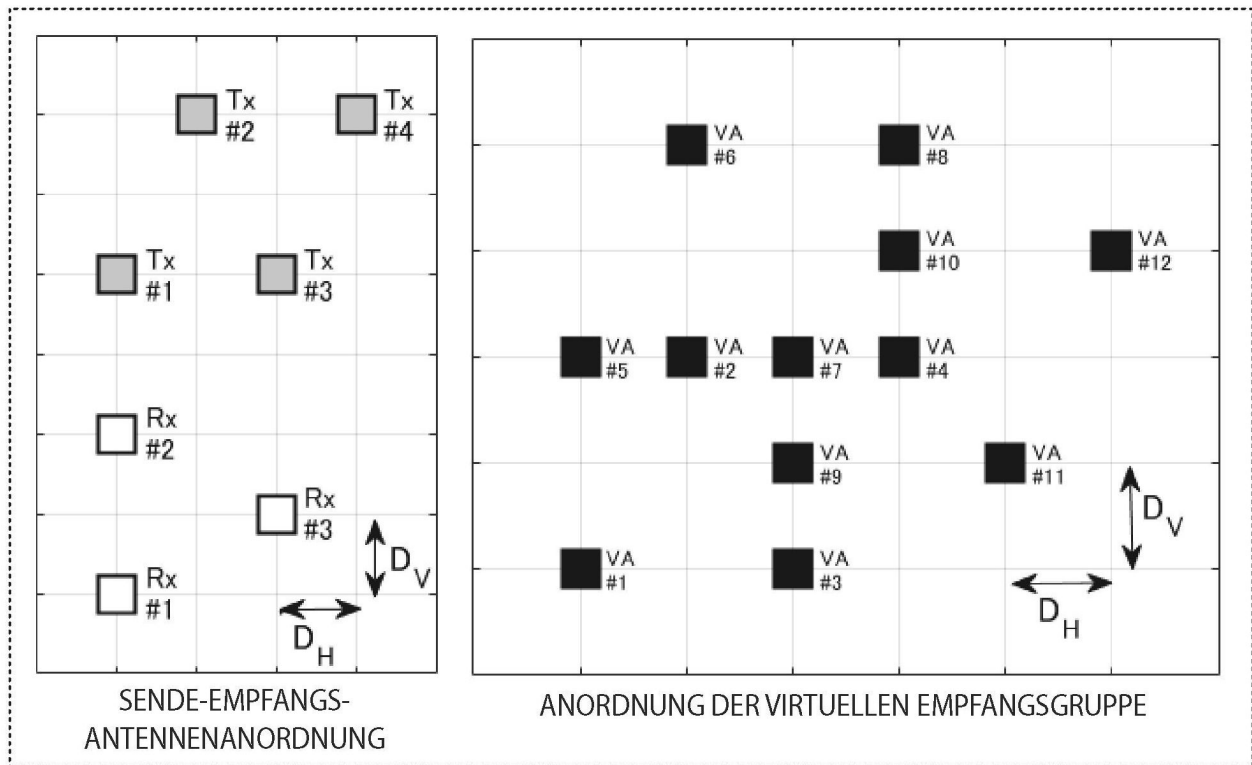


FIG. 54C

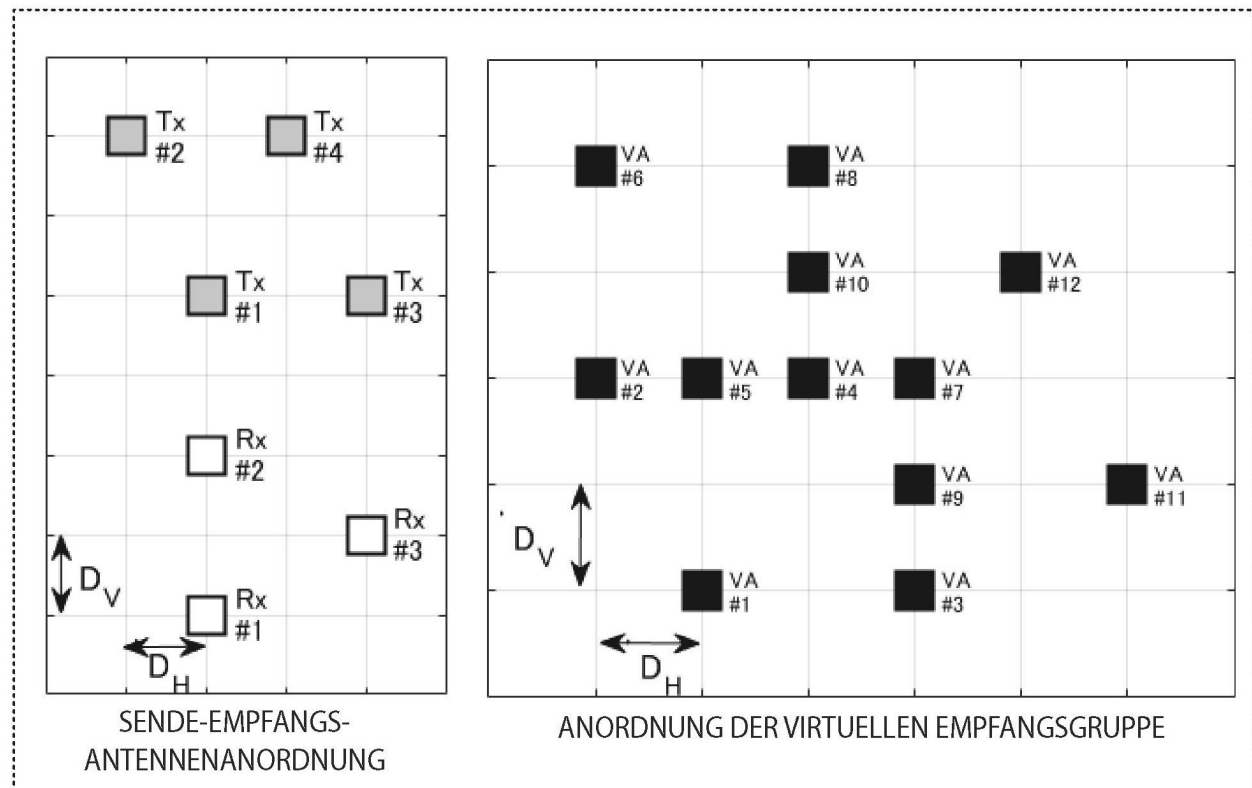


FIG. 54D

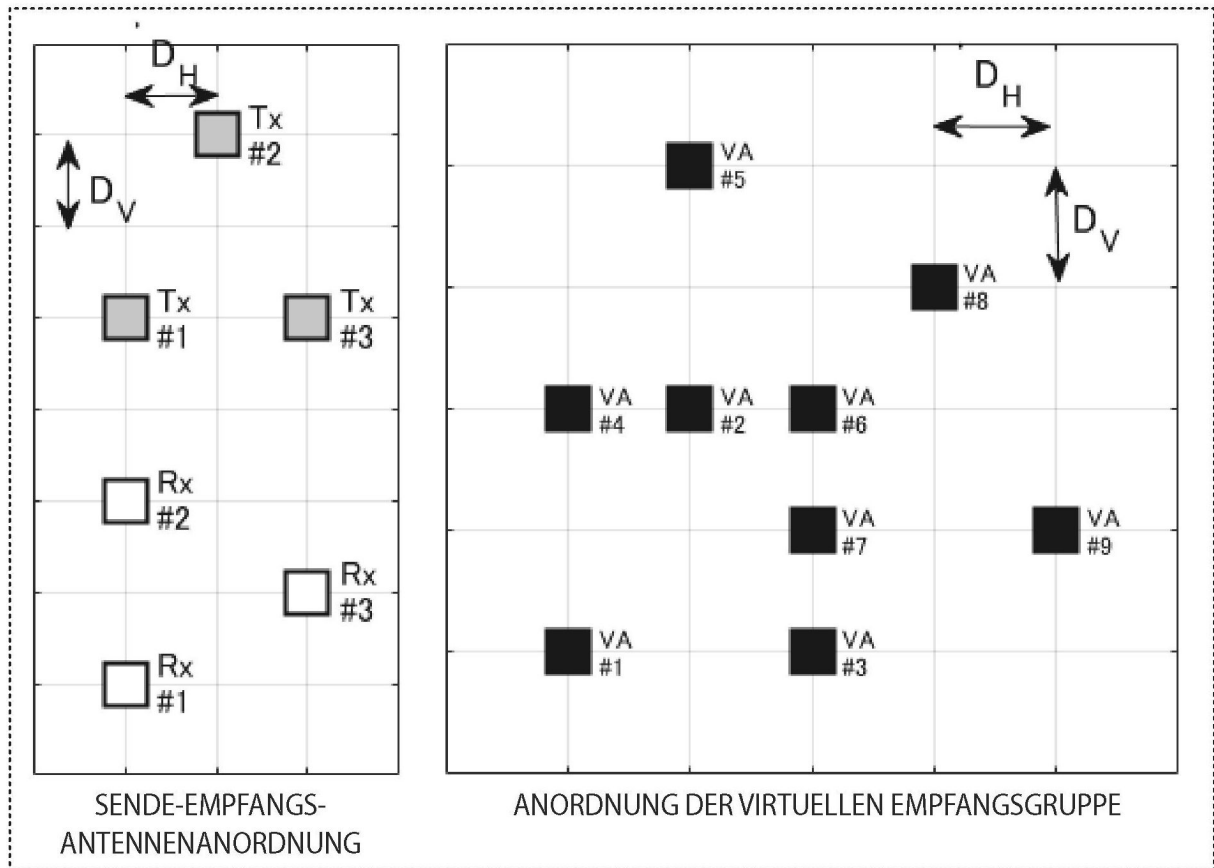


FIG. 55A

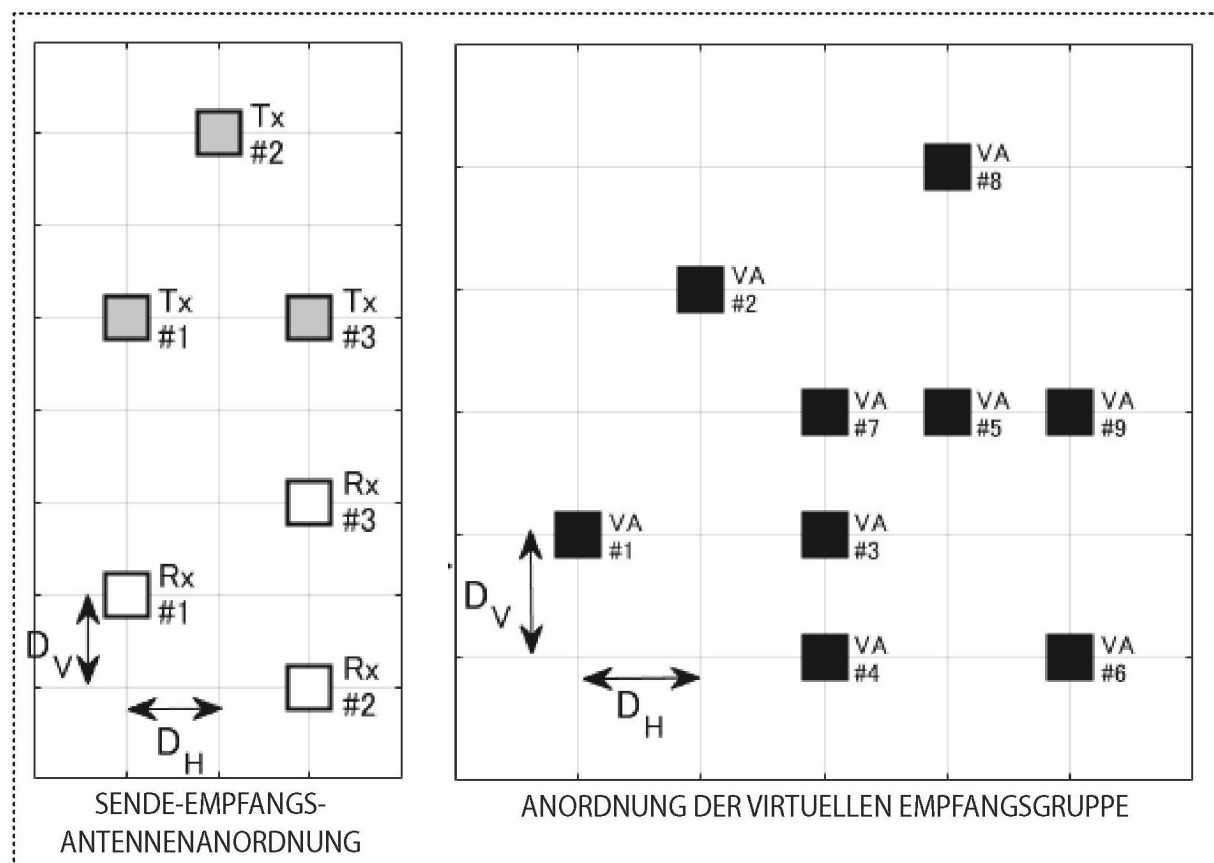


FIG. 55B

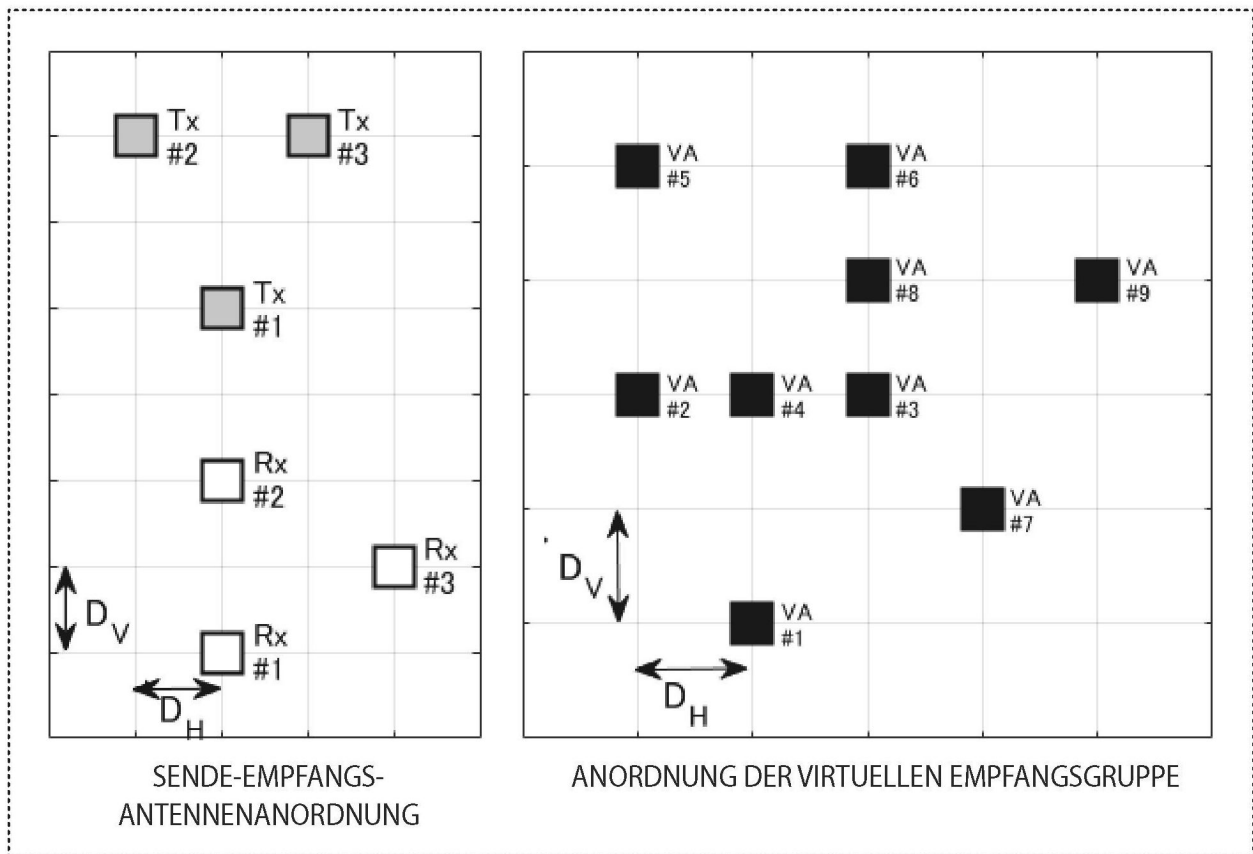


FIG. 55C

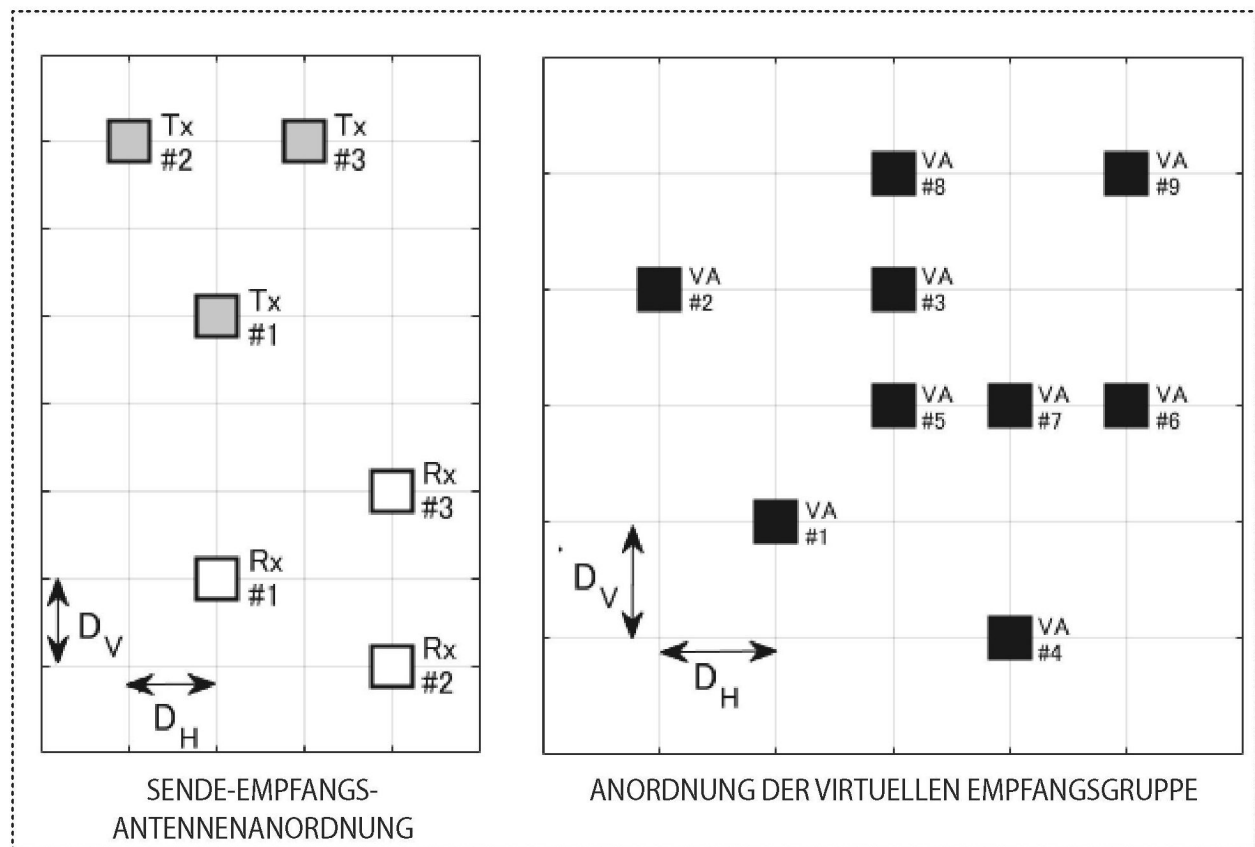


FIG. 55D

⊗ PHASENMITTELPUNKT EINES ANTENNENKANALS

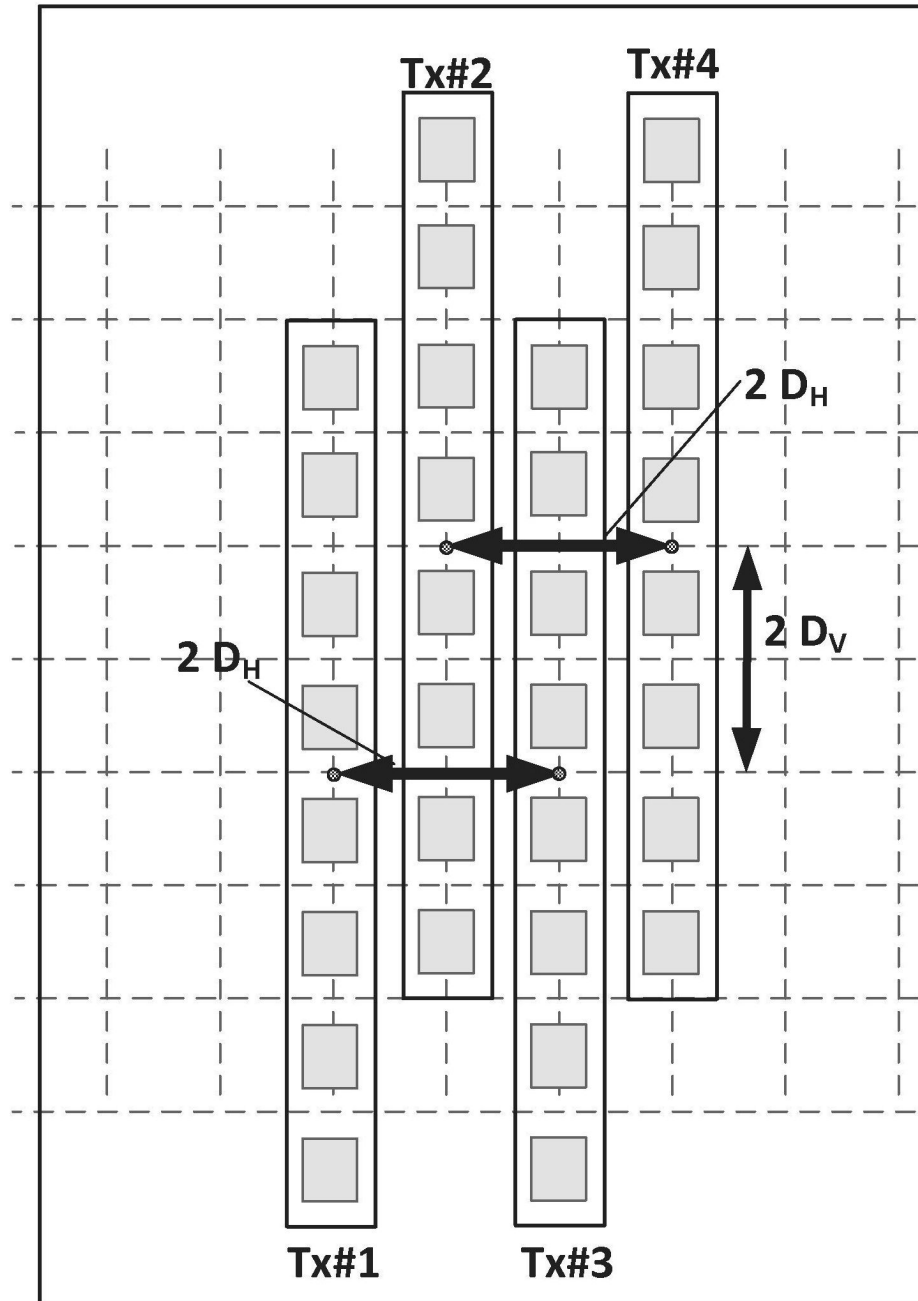


FIG. 56A

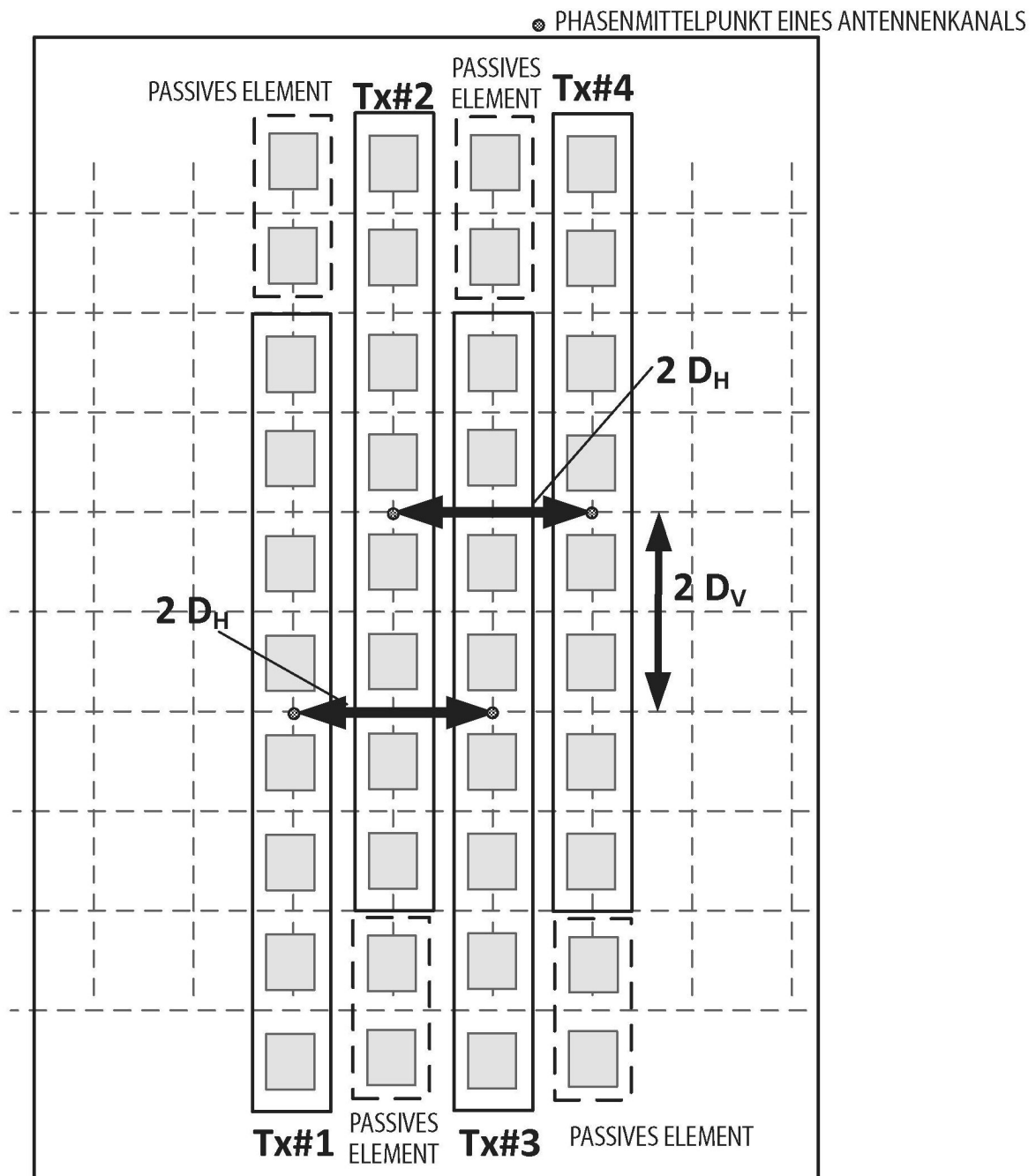


FIG. 56B

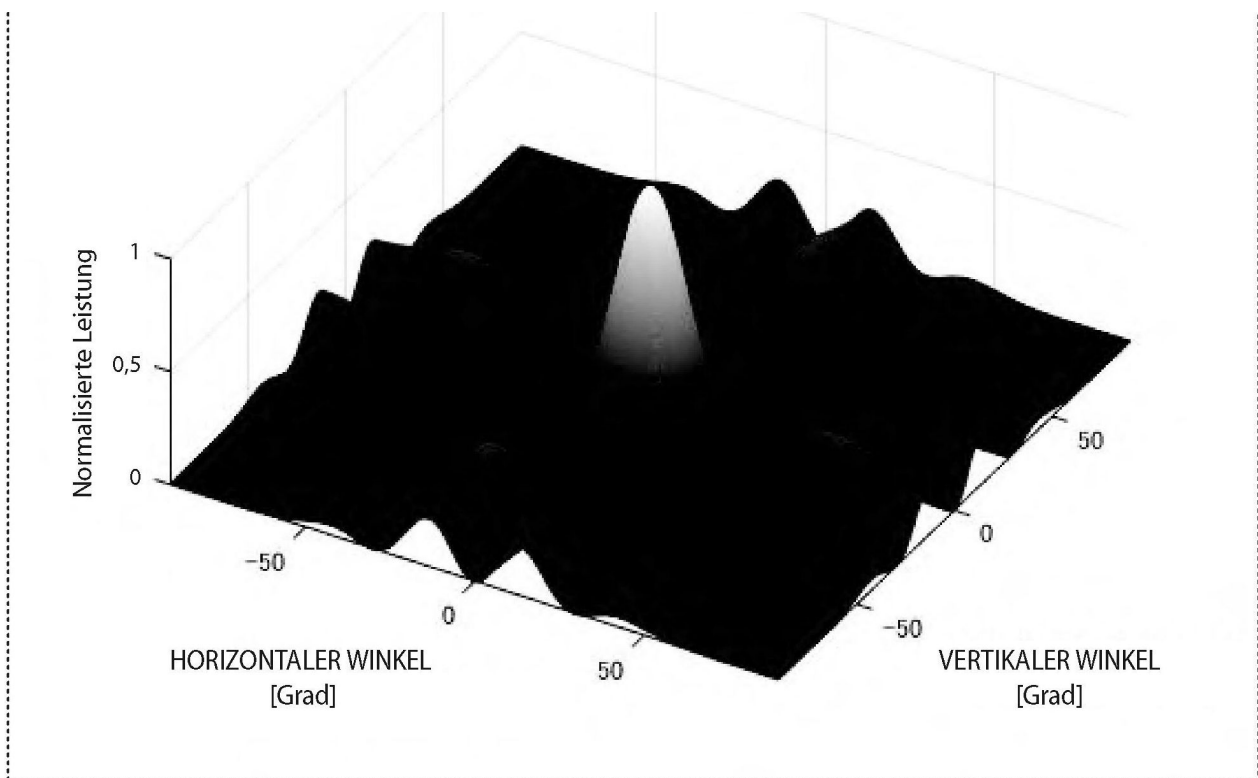


FIG. 57

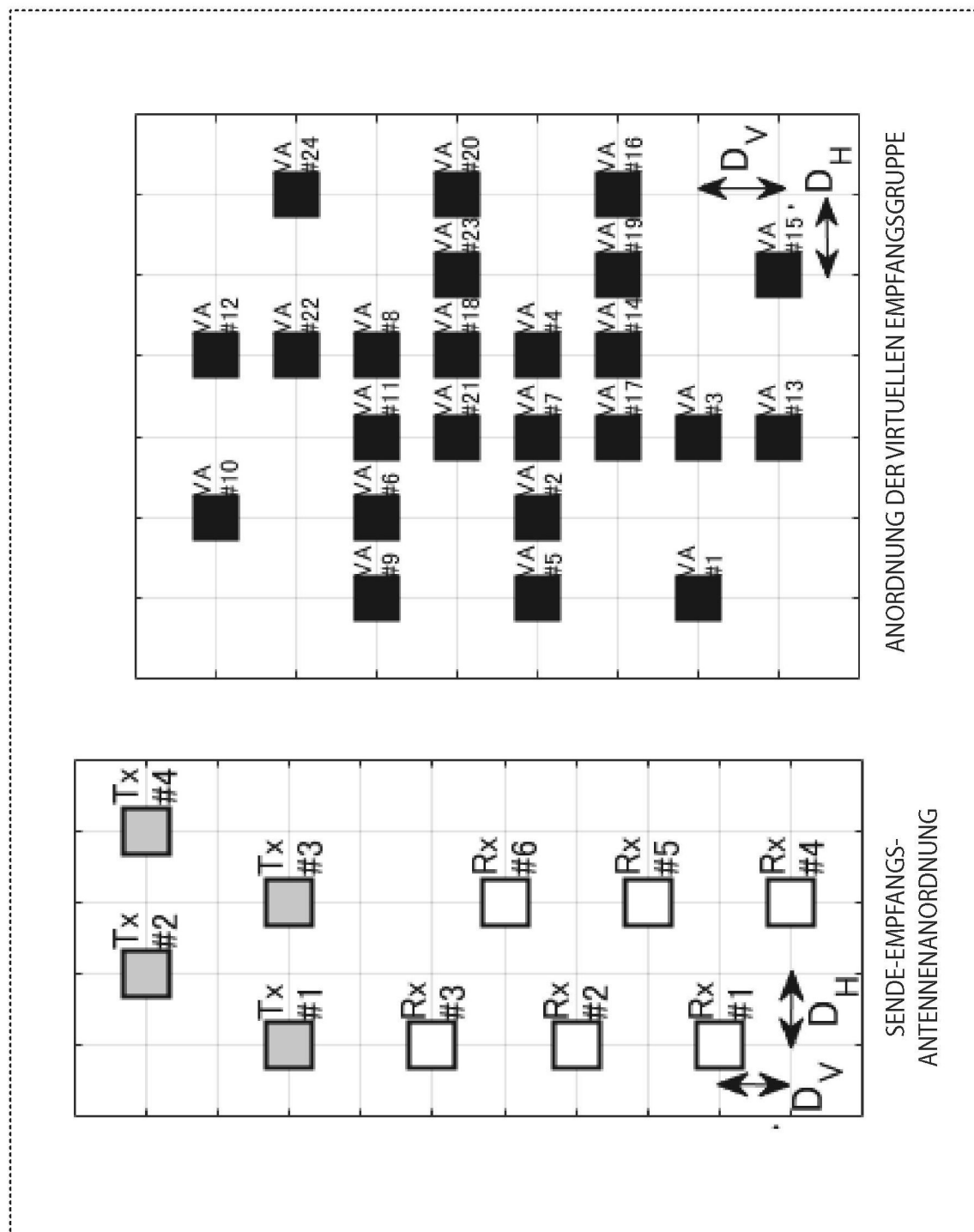


FIG. 58

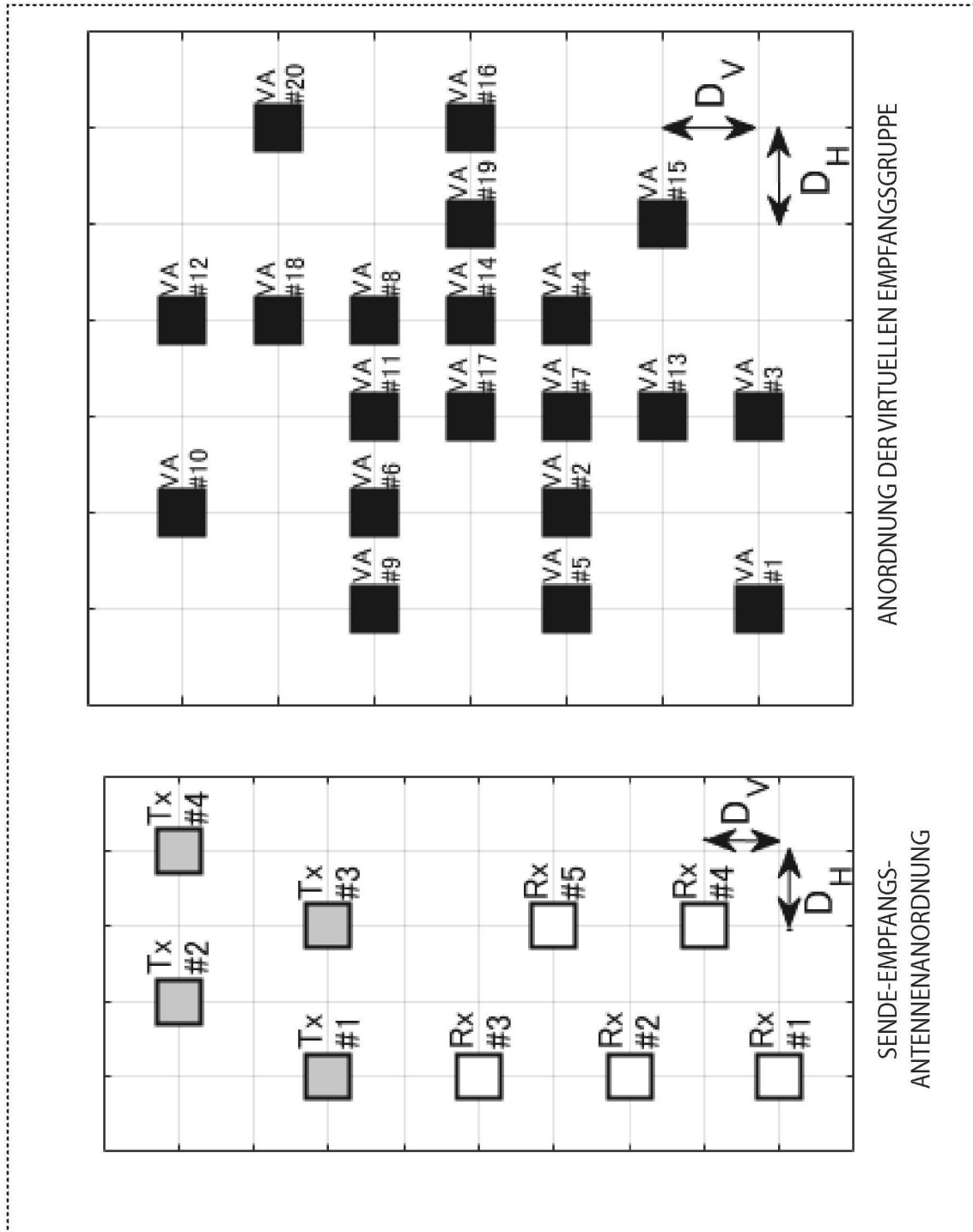


FIG. 59

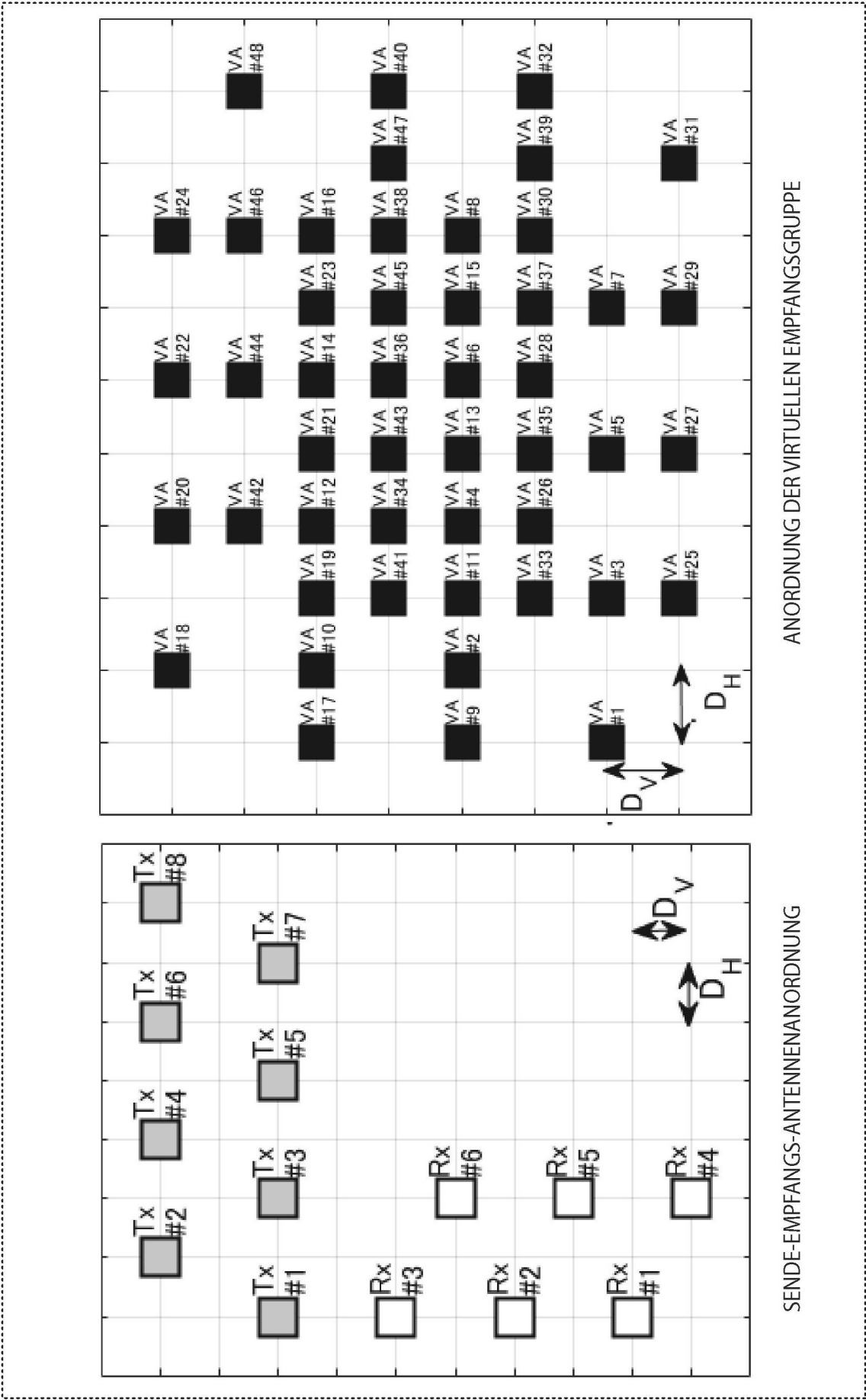


FIG. 60

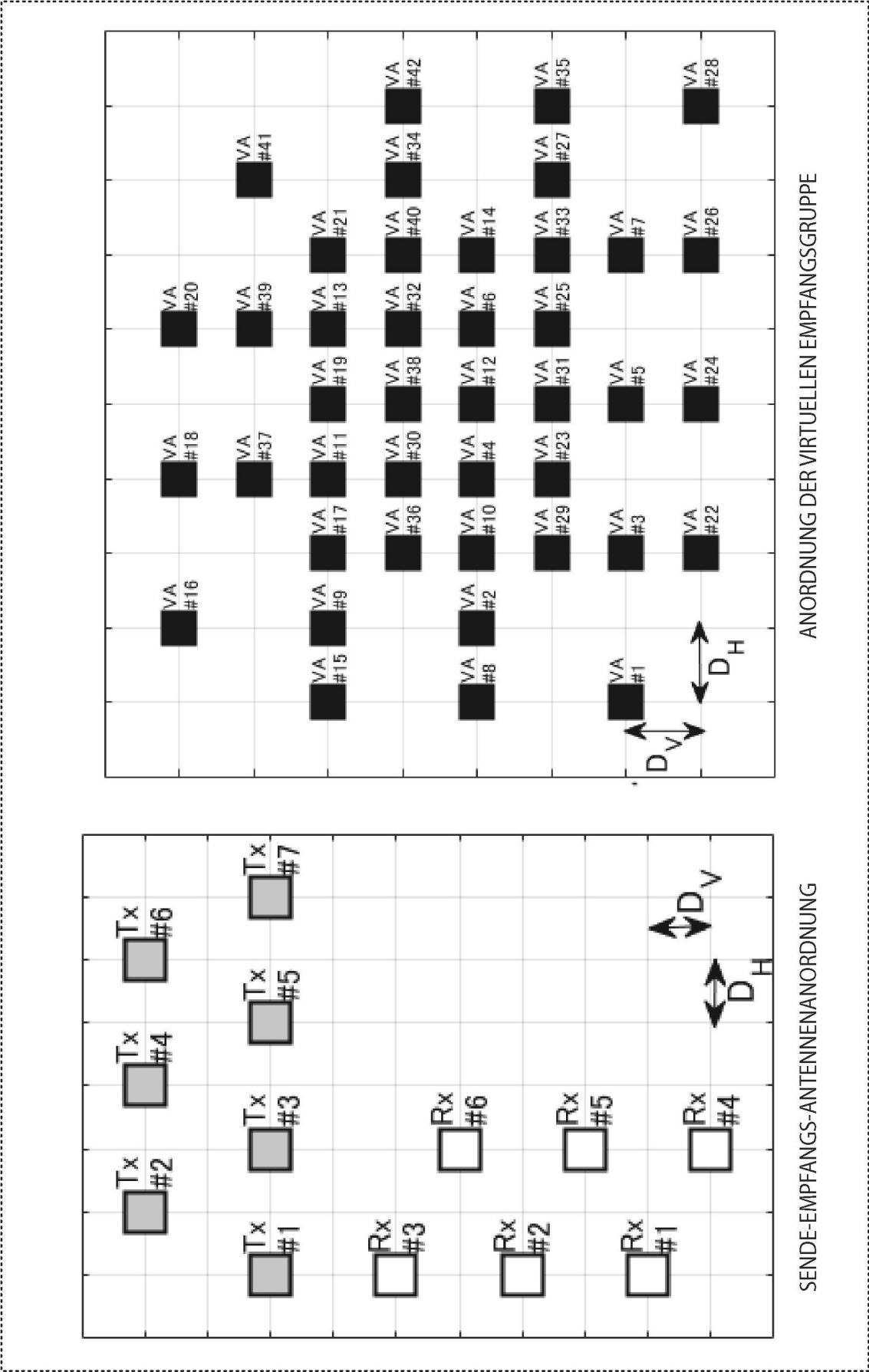


FIG. 61

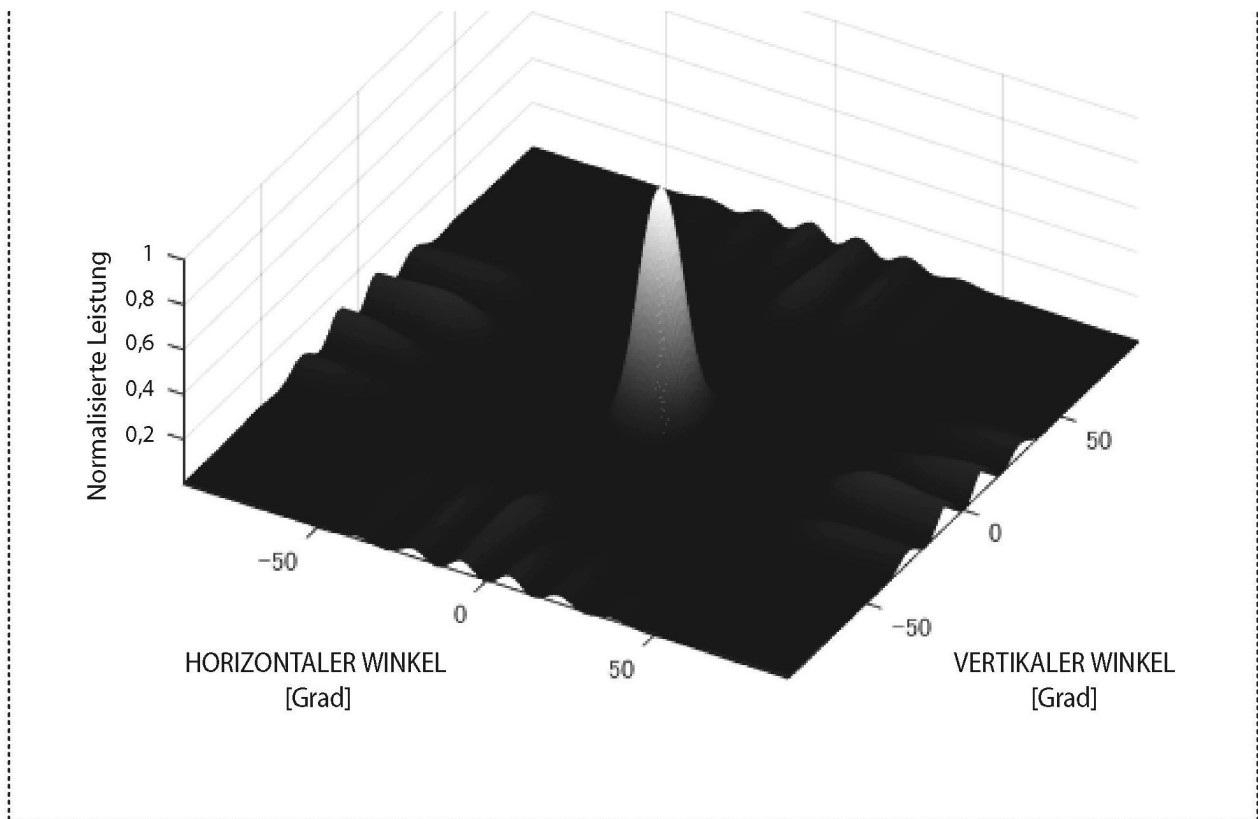


FIG. 62

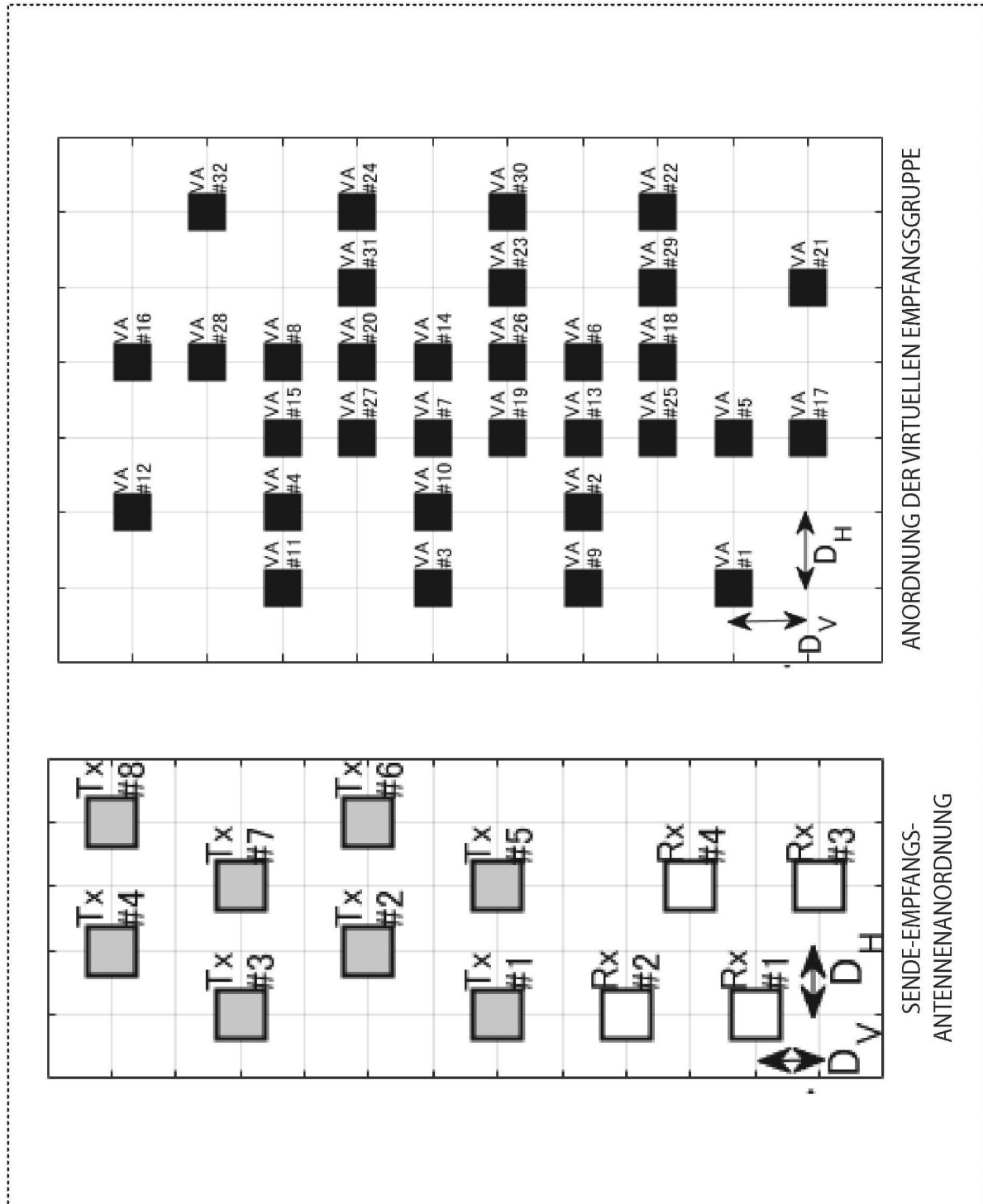


FIG. 63

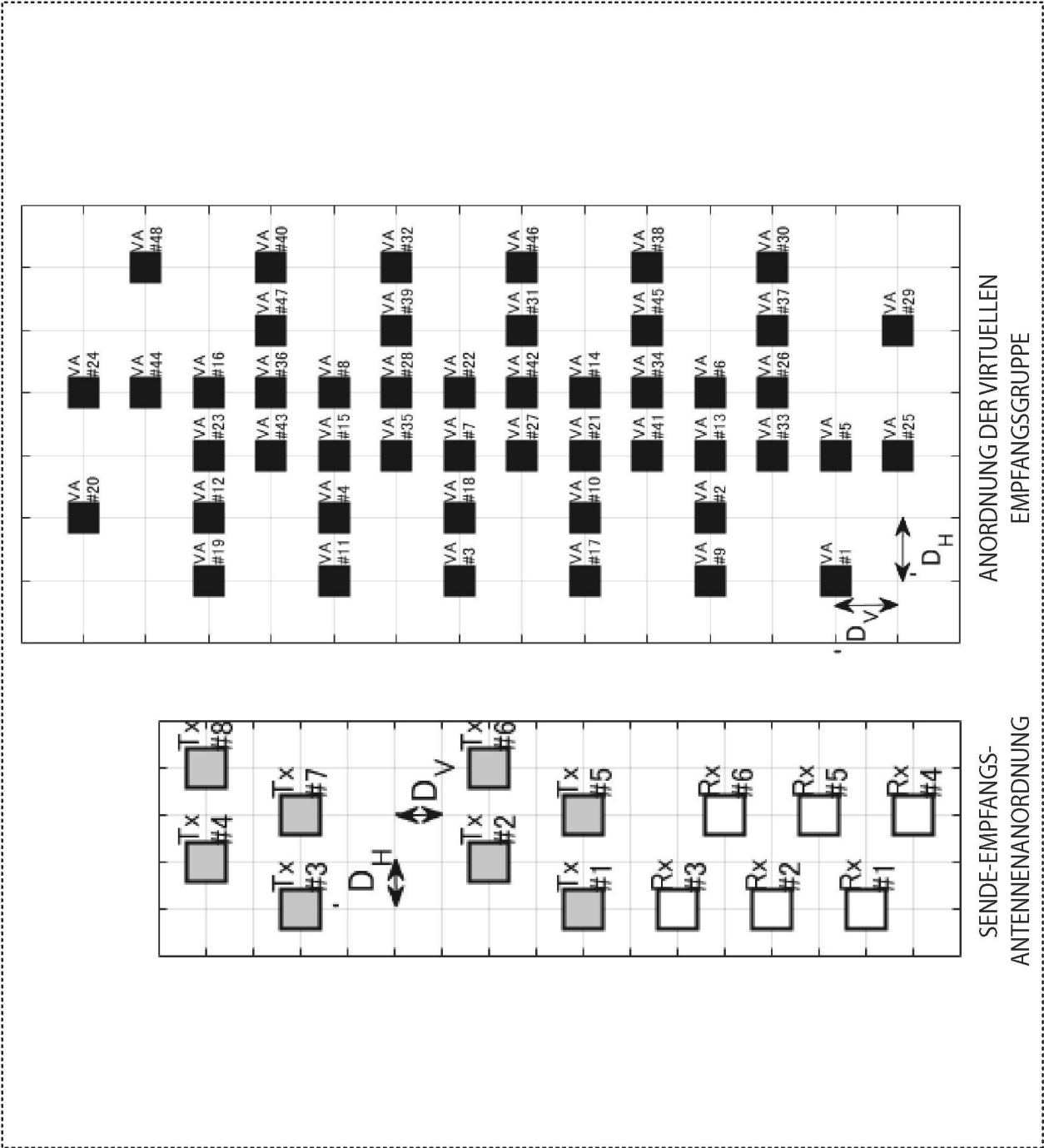


FIG. 64

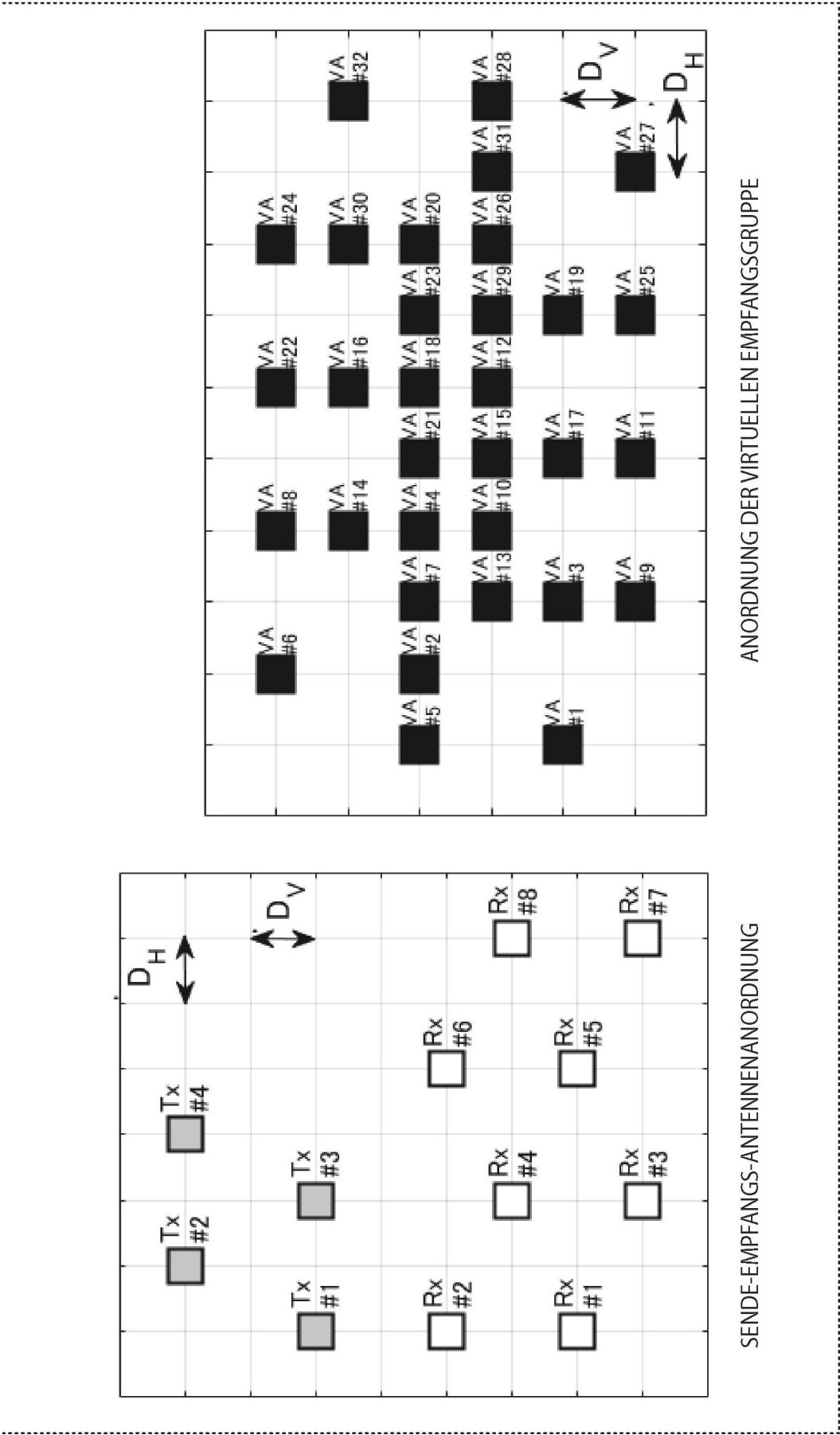


FIG. 65

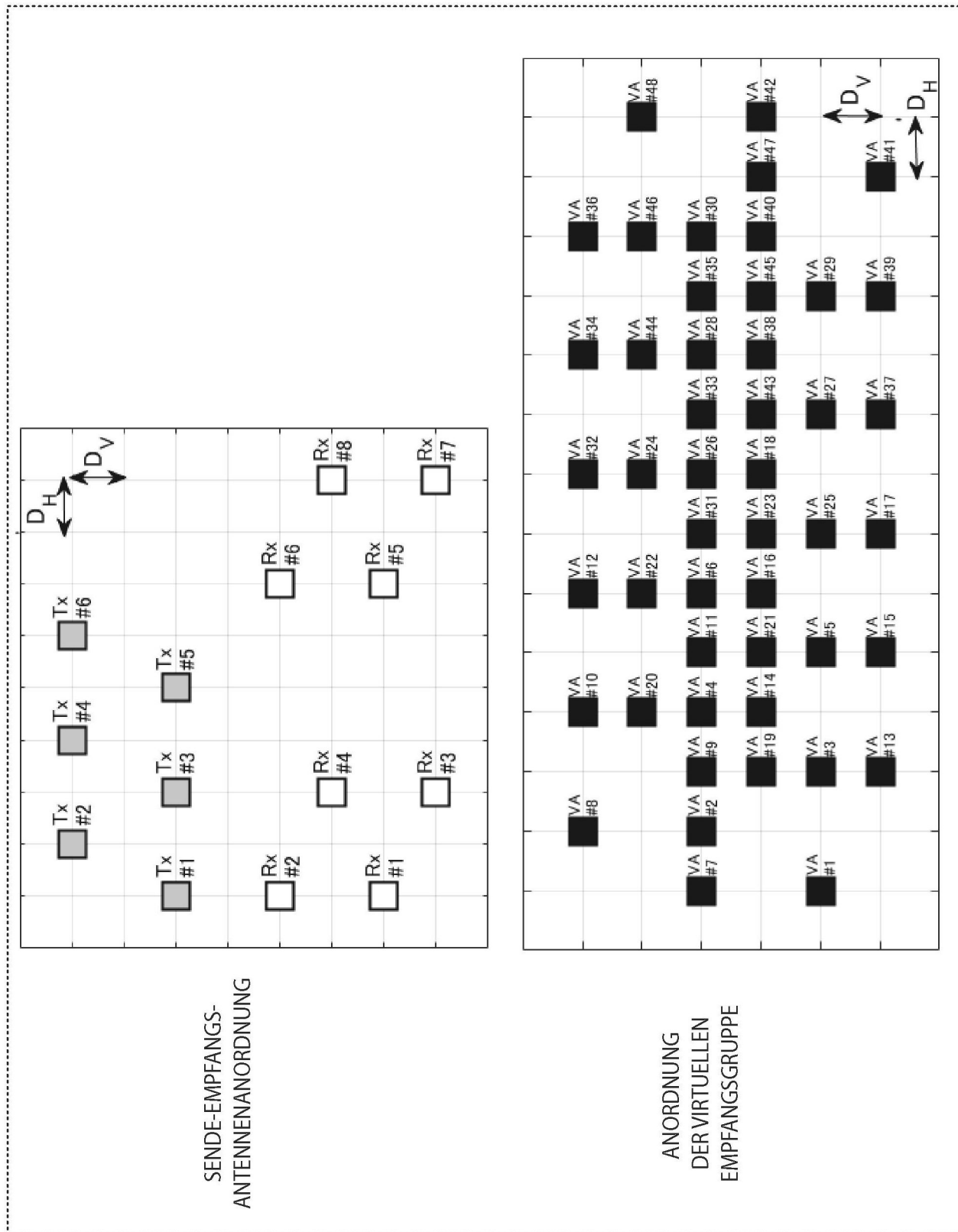


FIG. 66

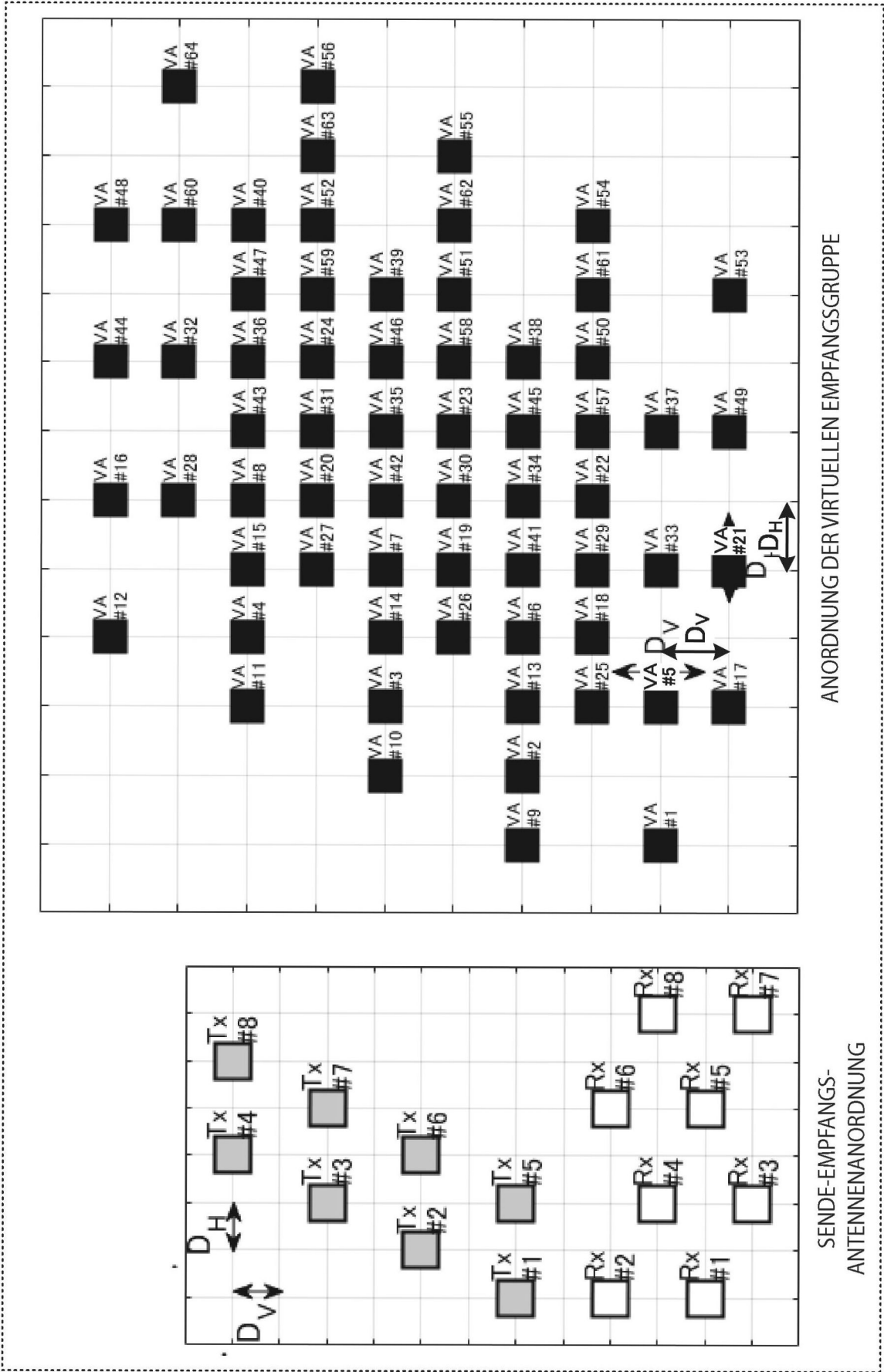


FIG. 67

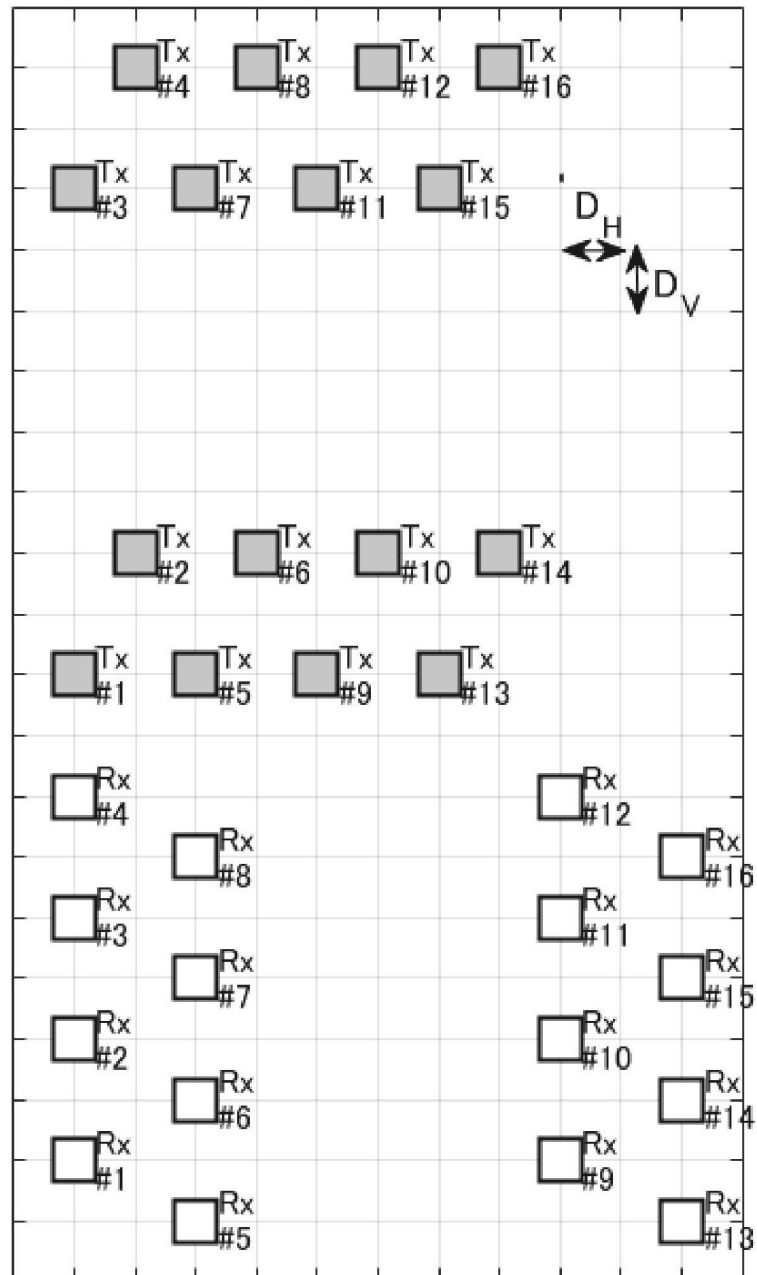


FIG. 68A

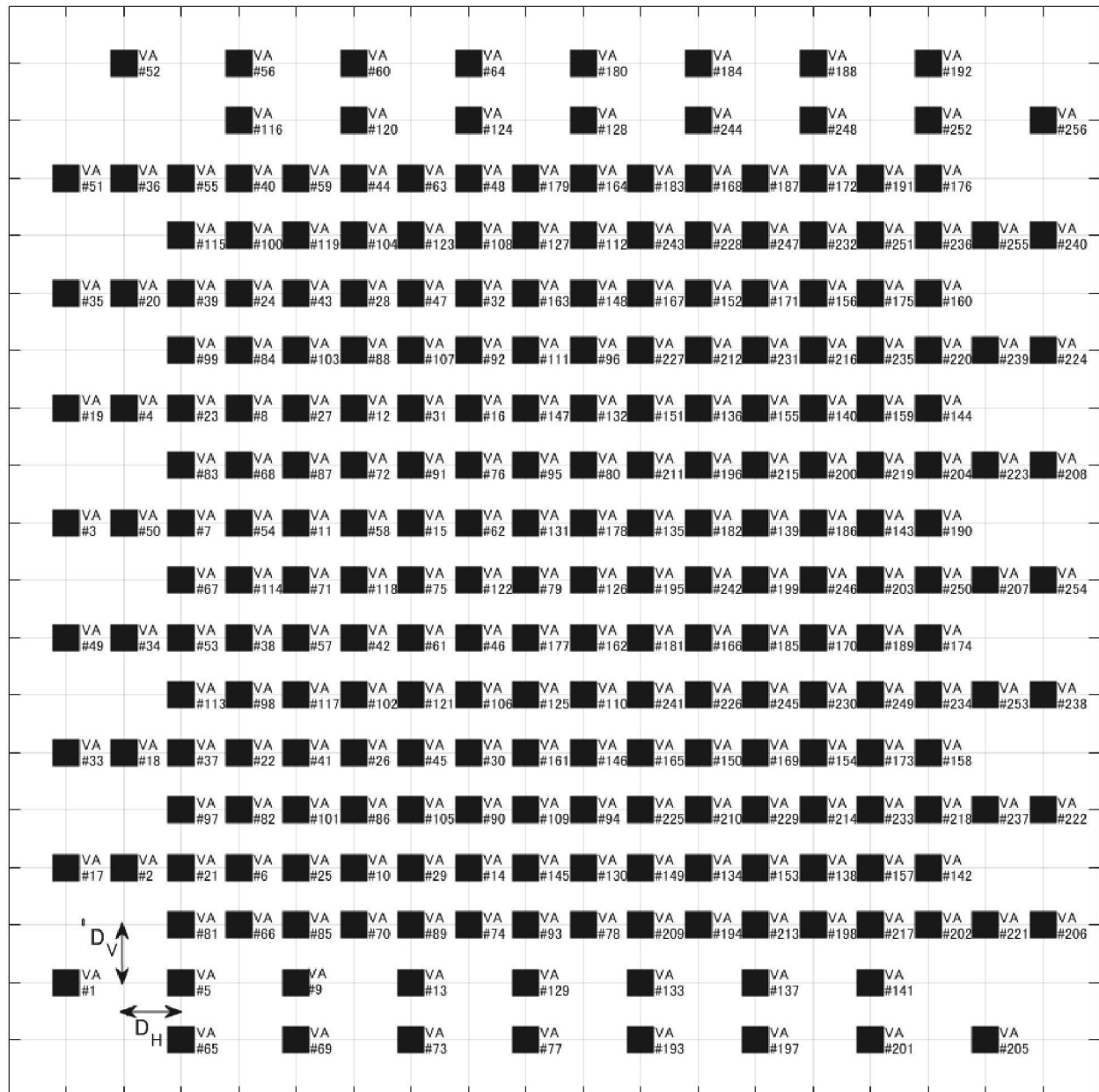


FIG. 68B

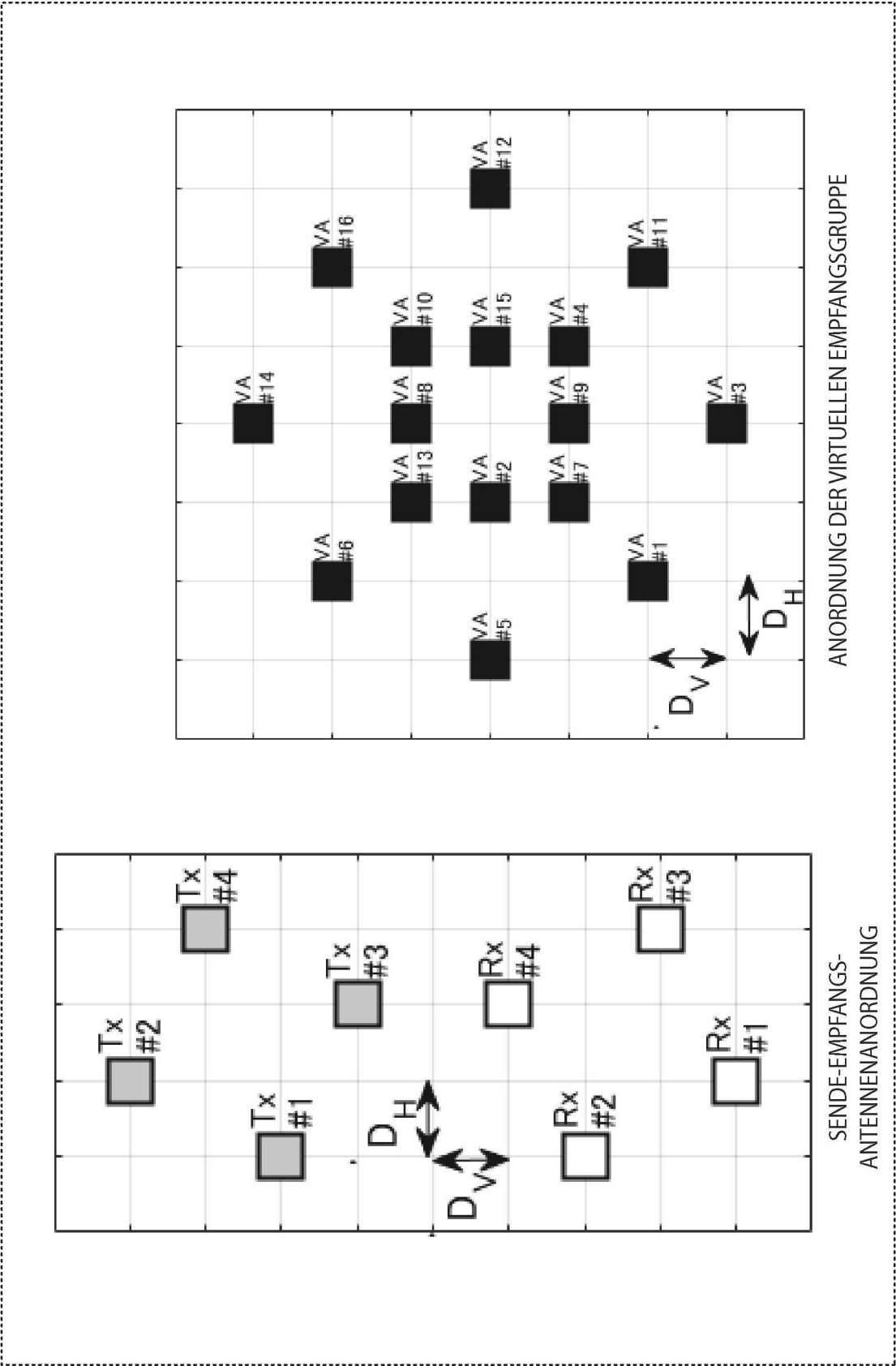


FIG. 69

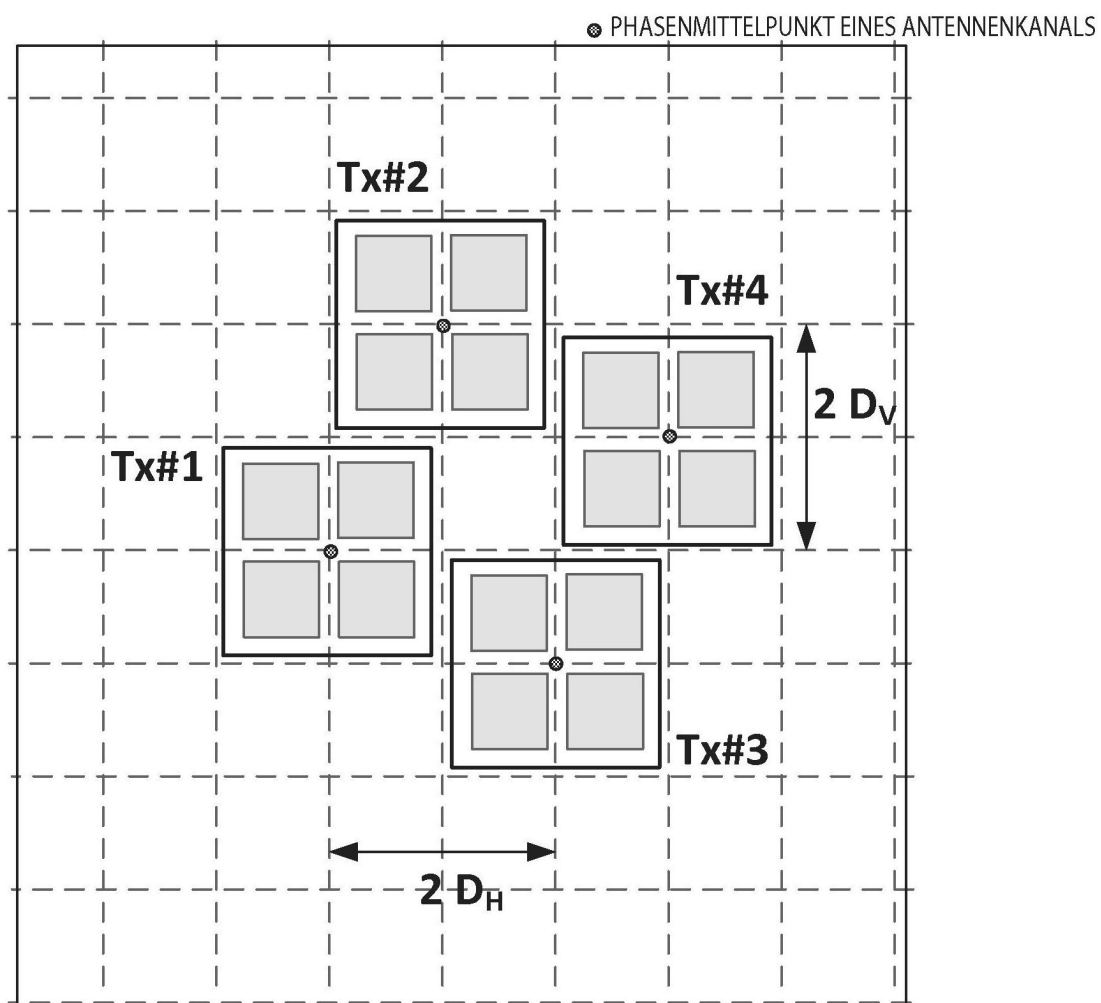


FIG. 70A

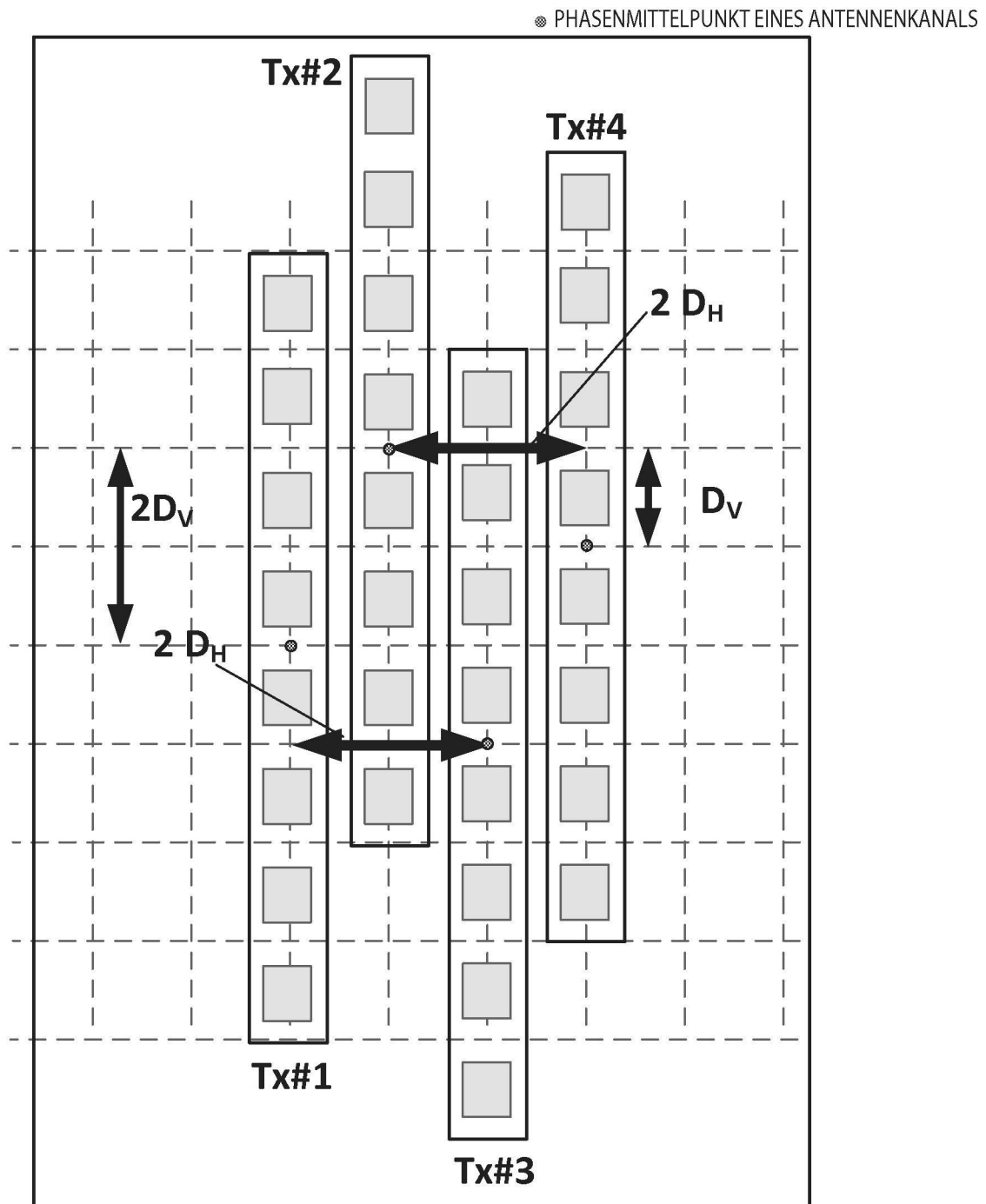


FIG. 70B

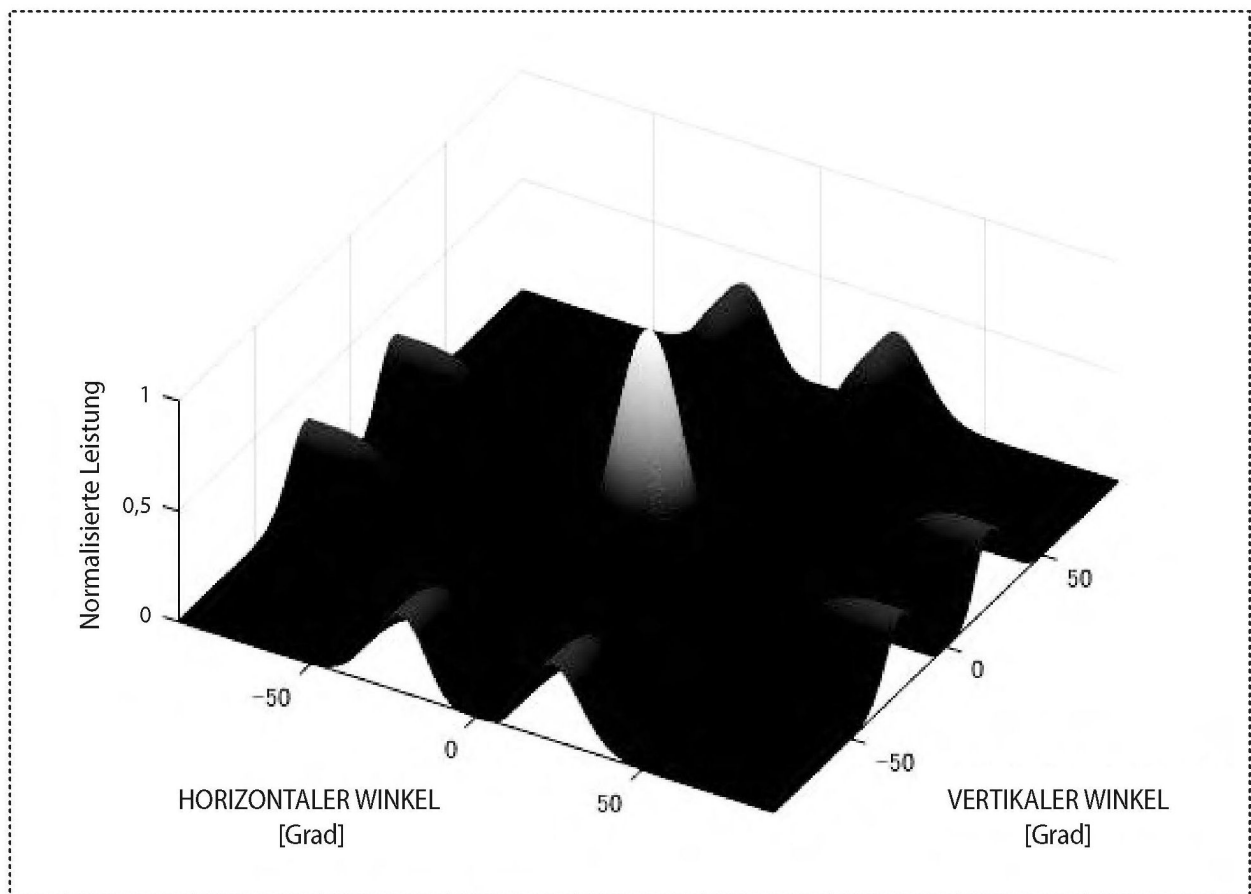


FIG. 71

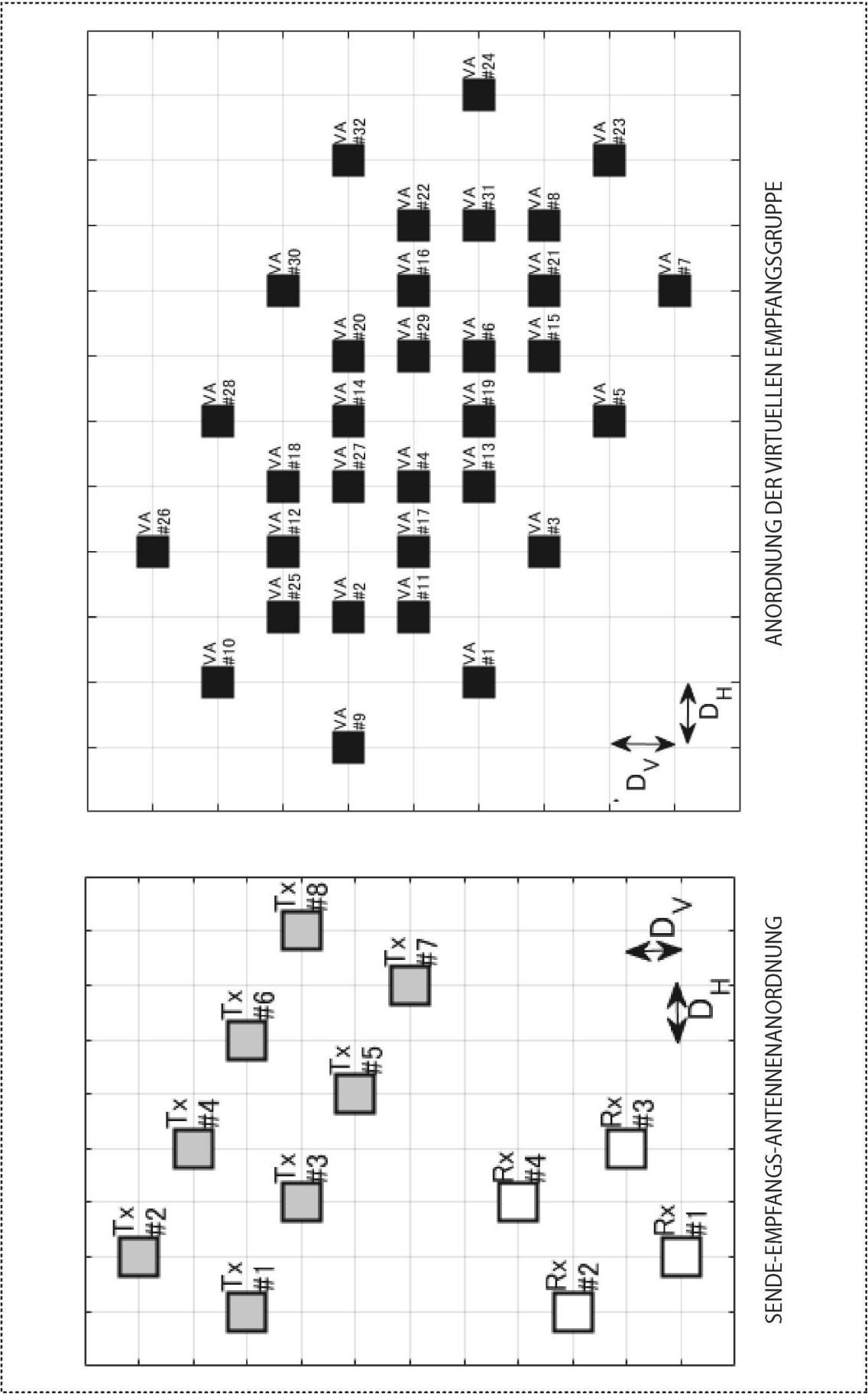


FIG. 72

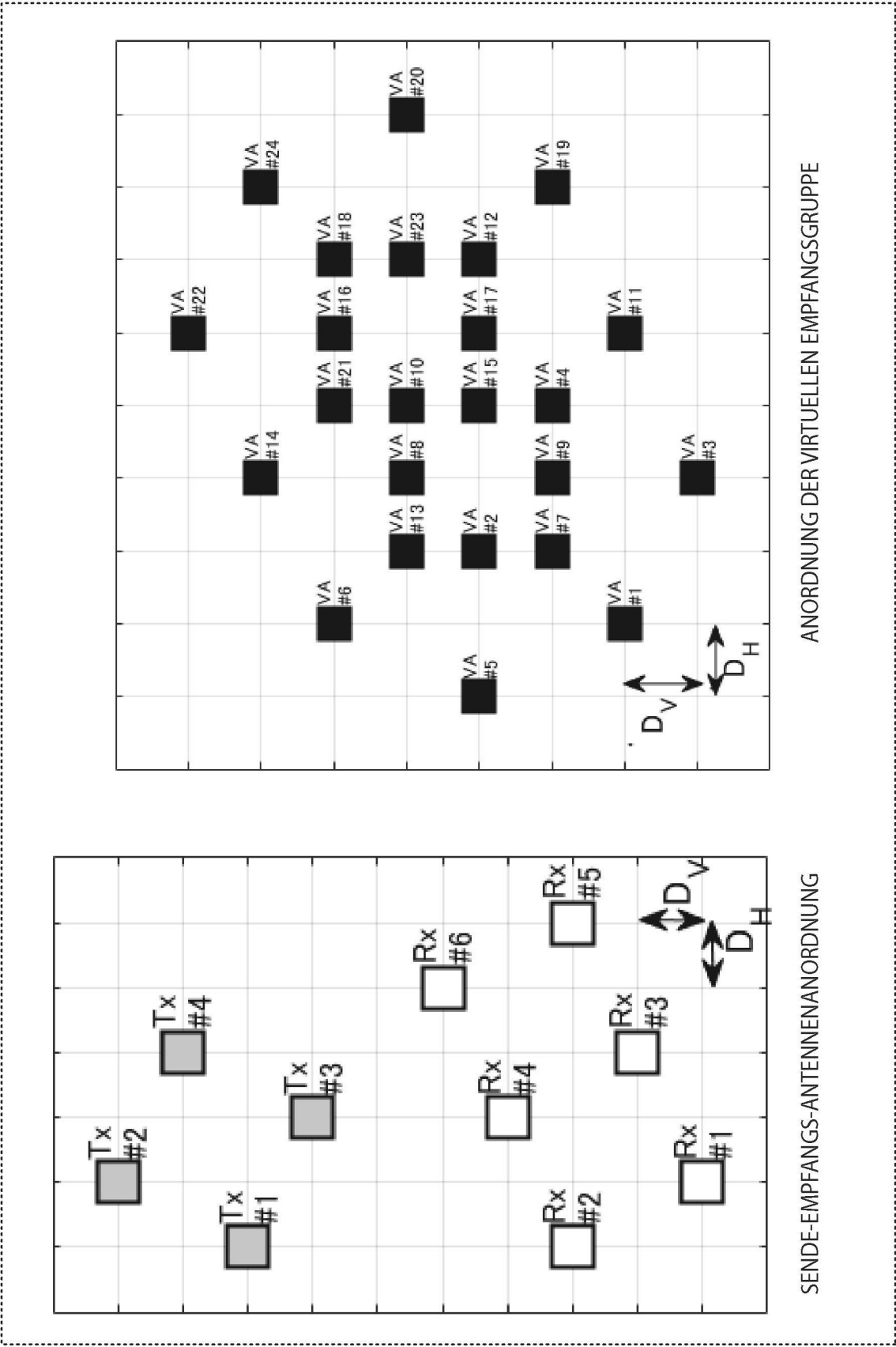
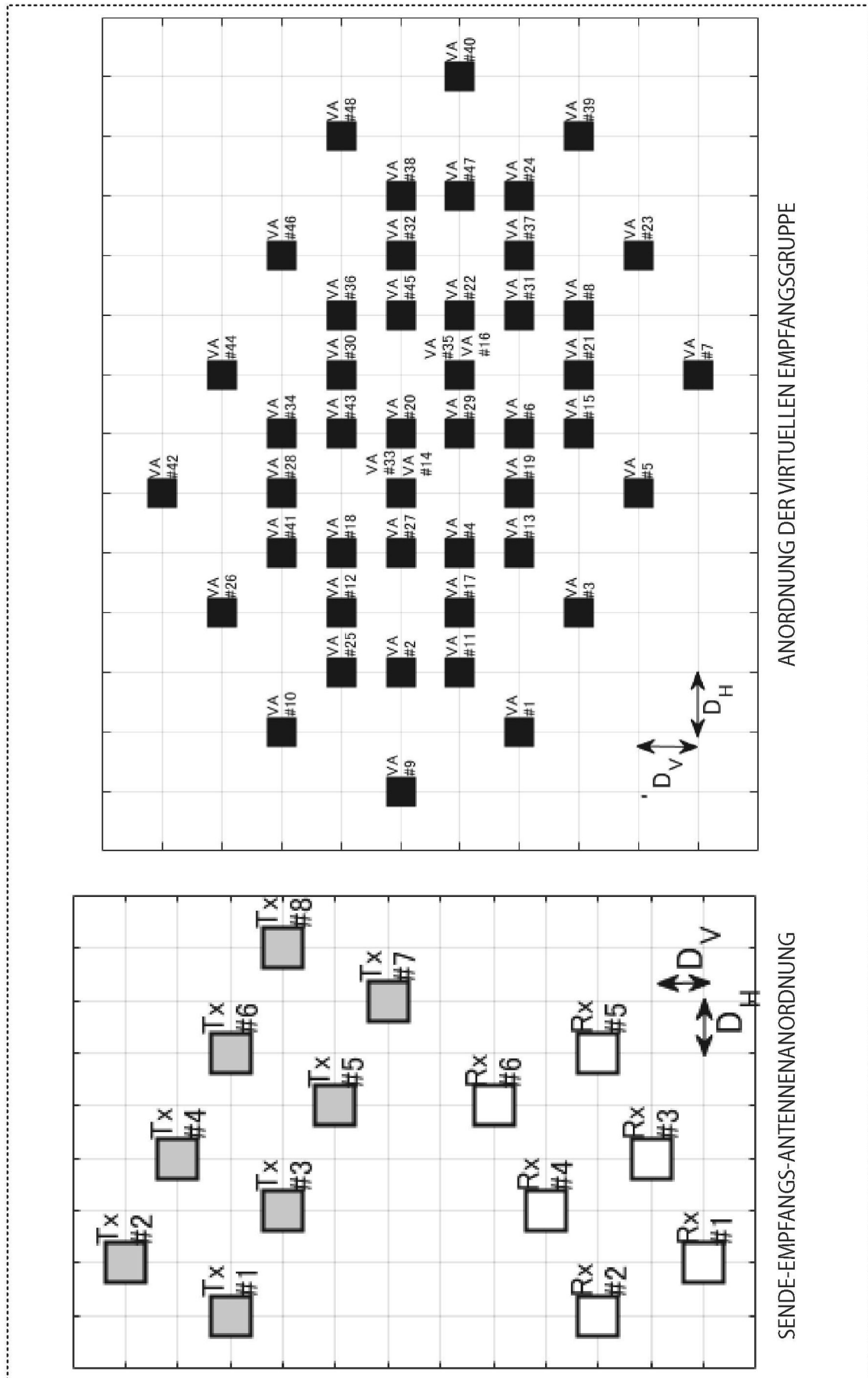


FIG. 73



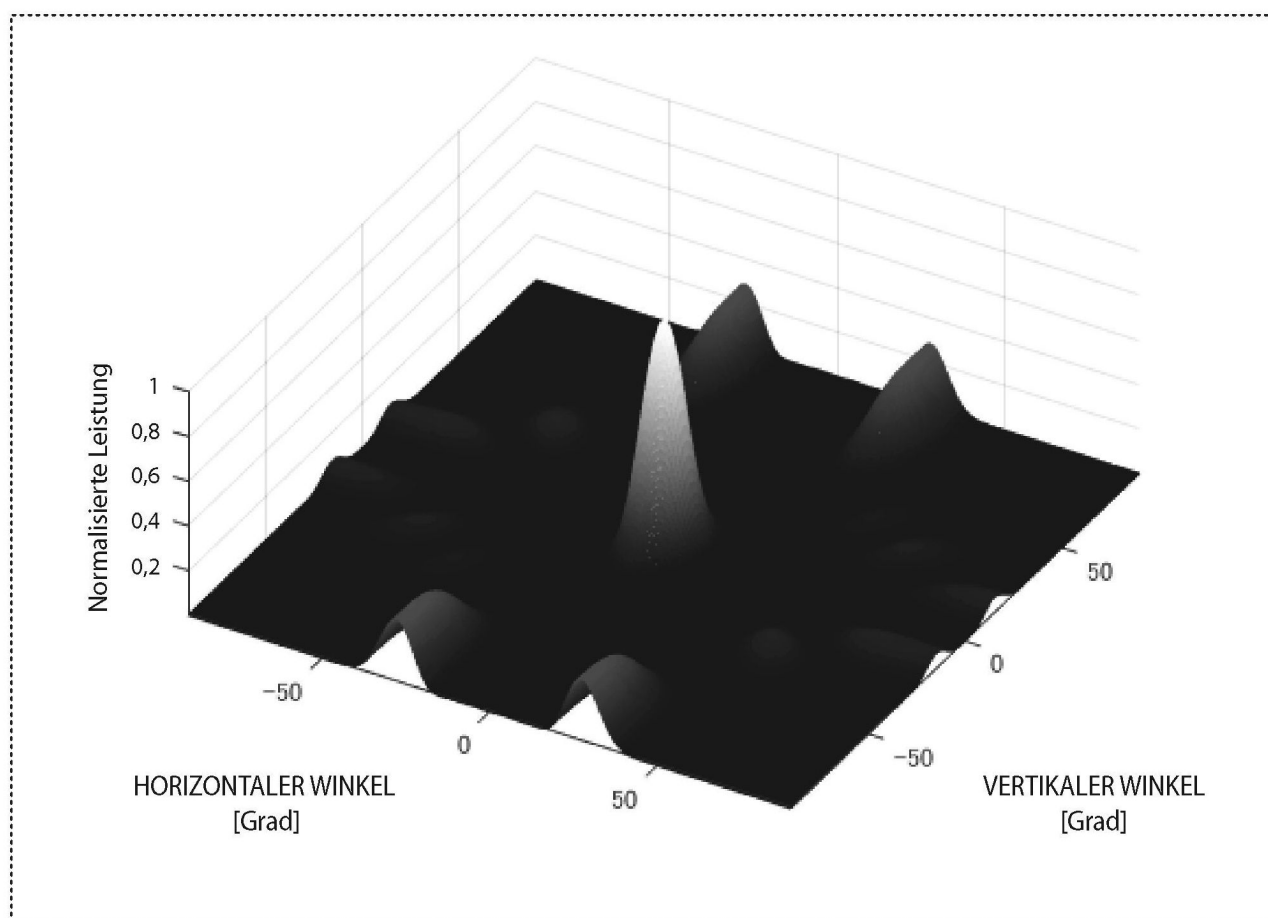


FIG. 75

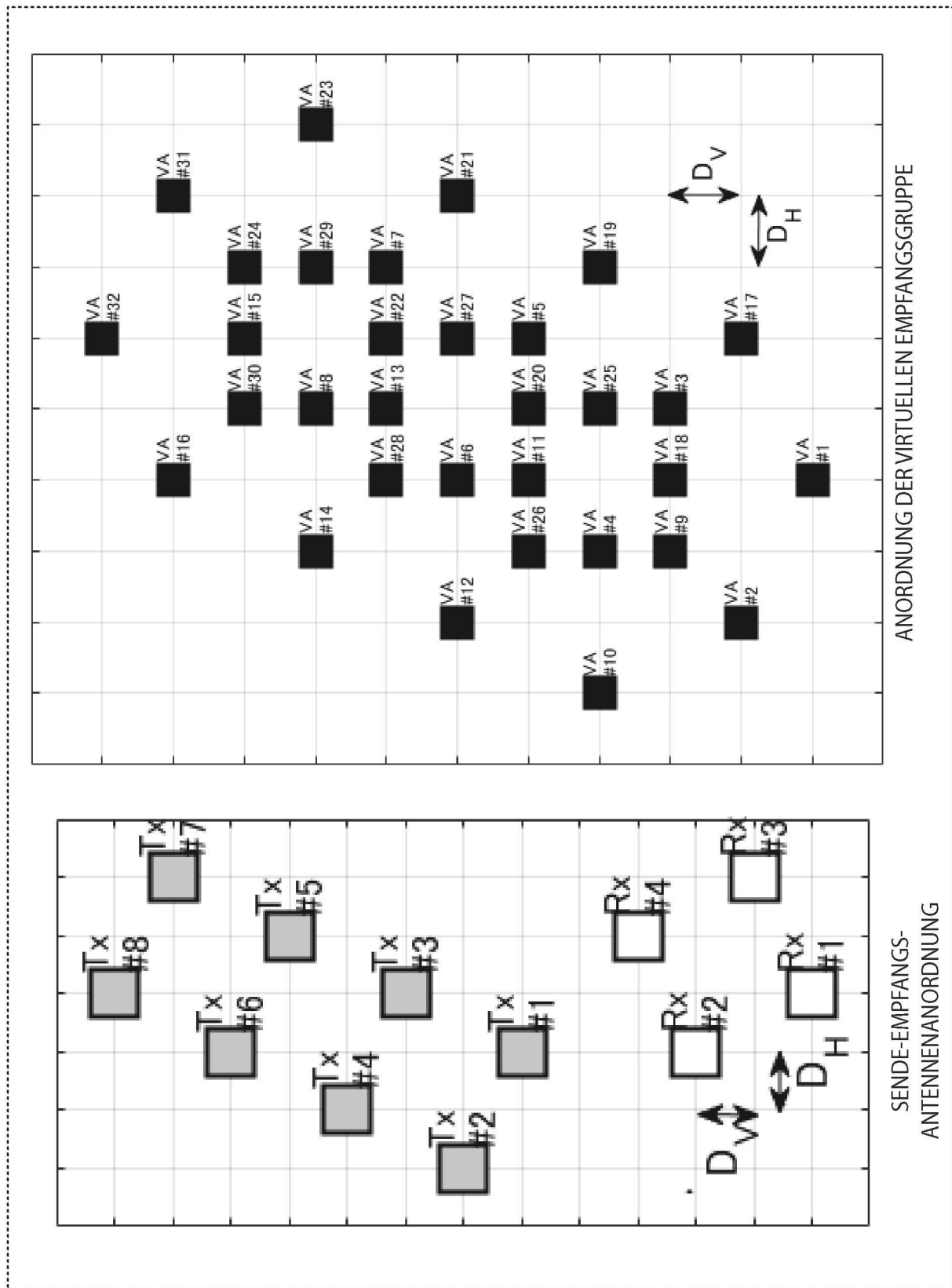


FIG. 76

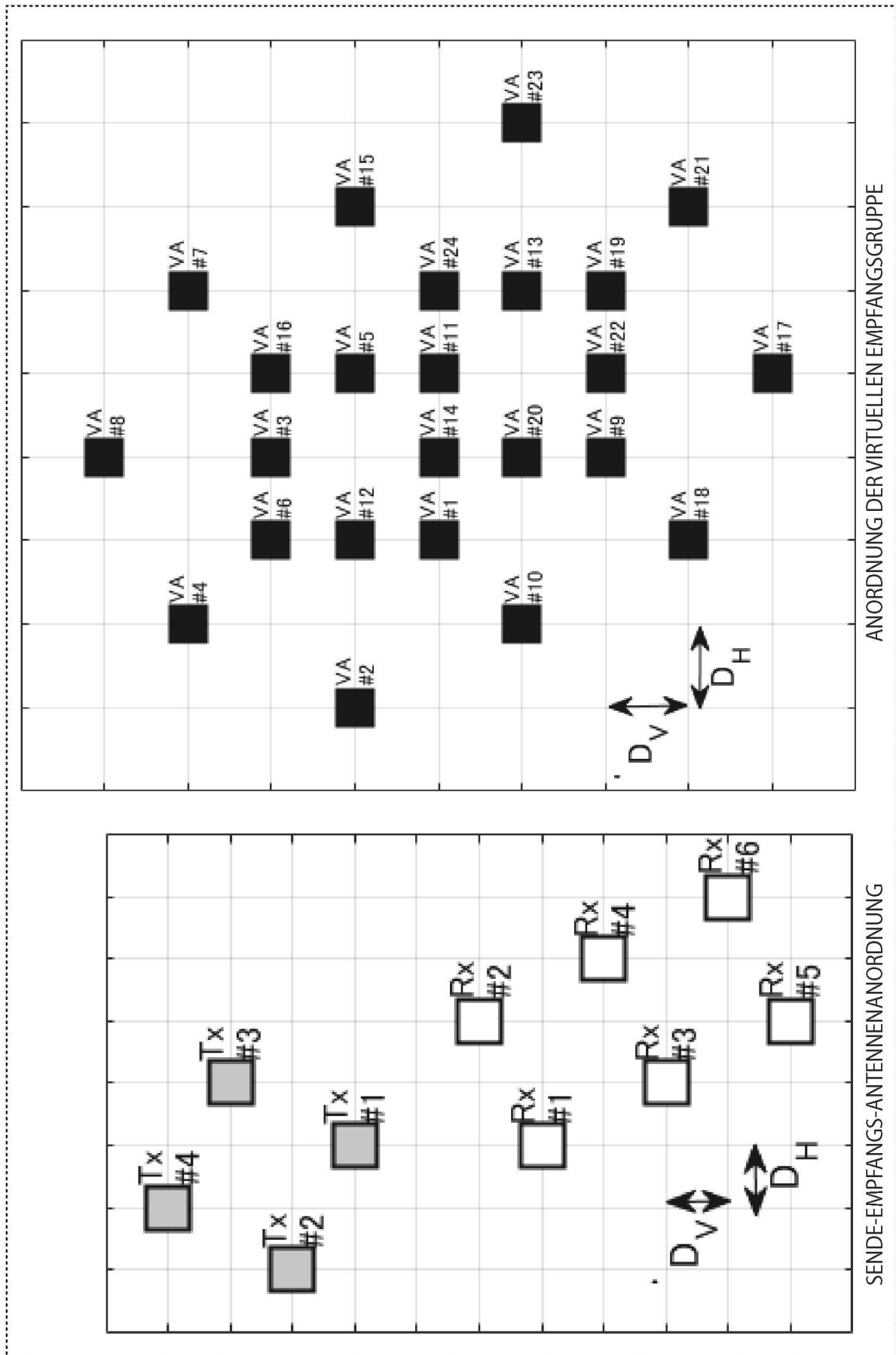


FIG. 77

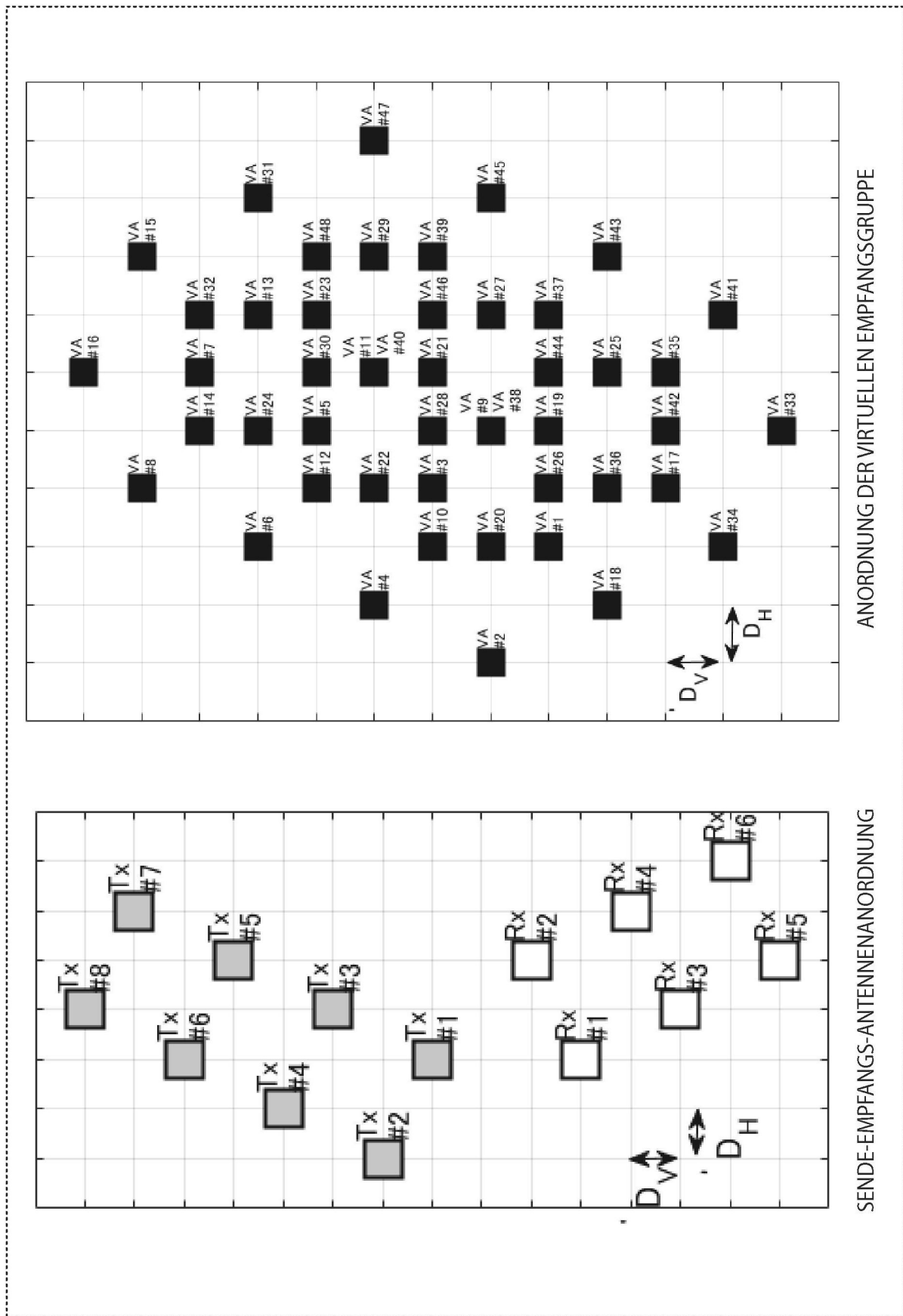


FIG. 78

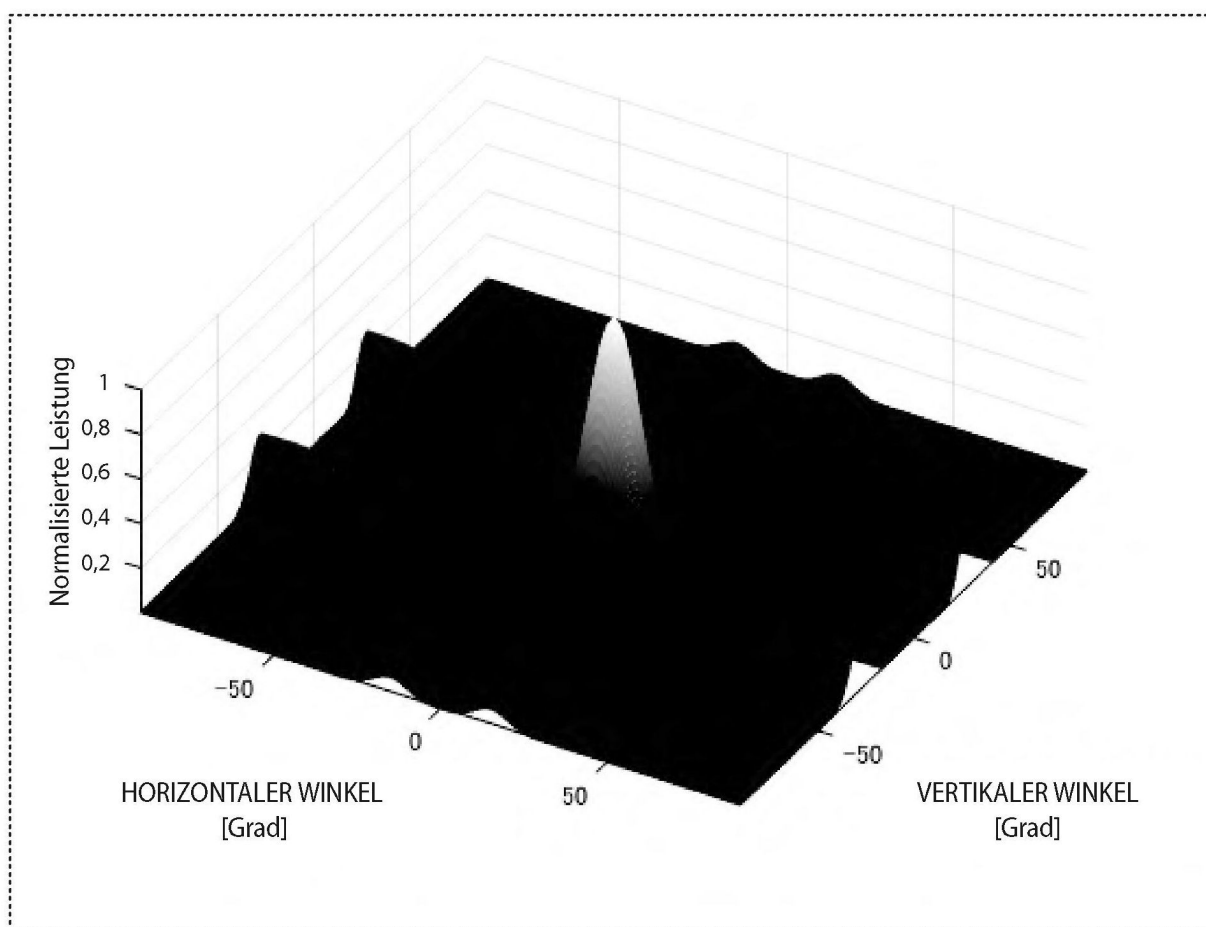


FIG. 79

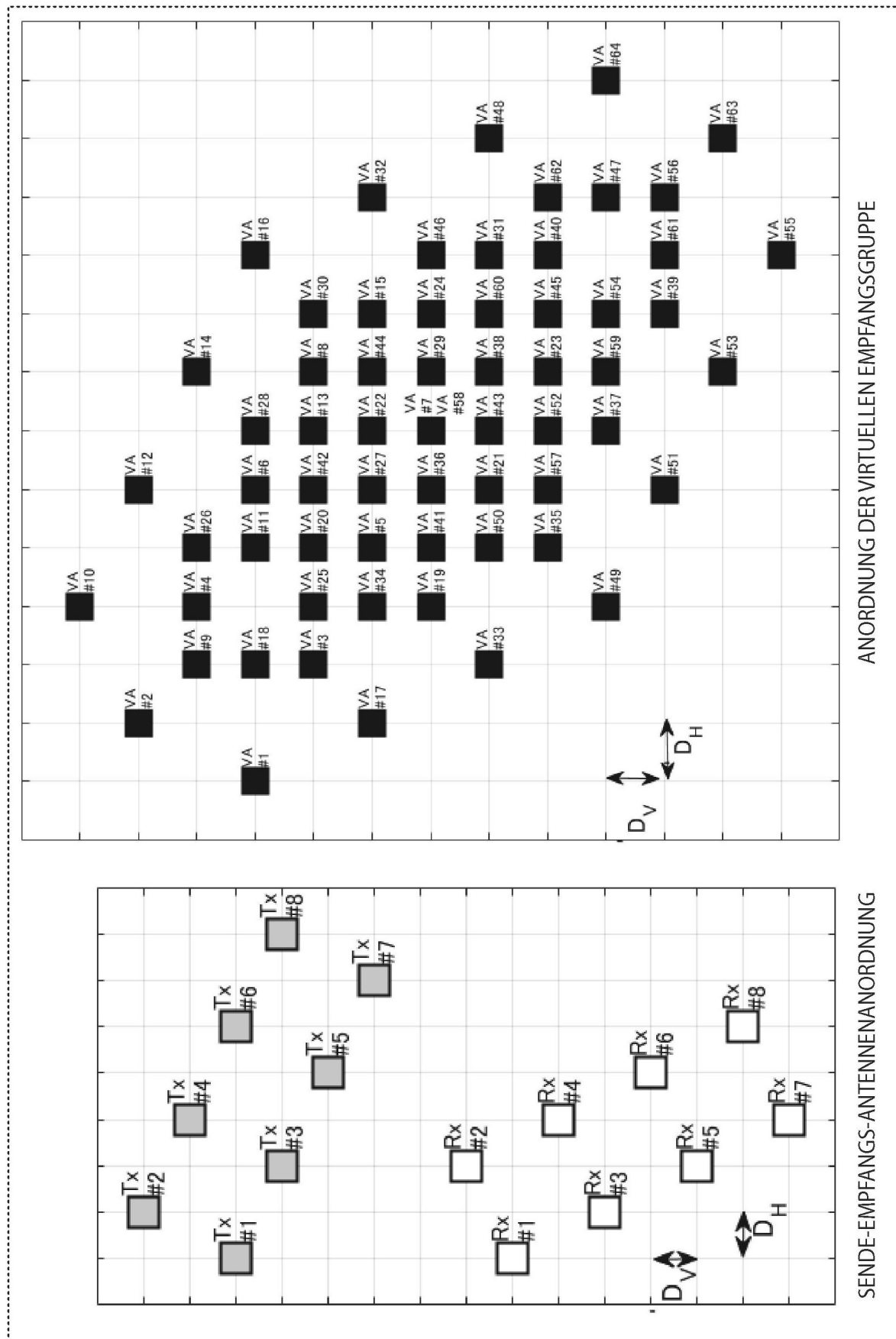


FIG. 80

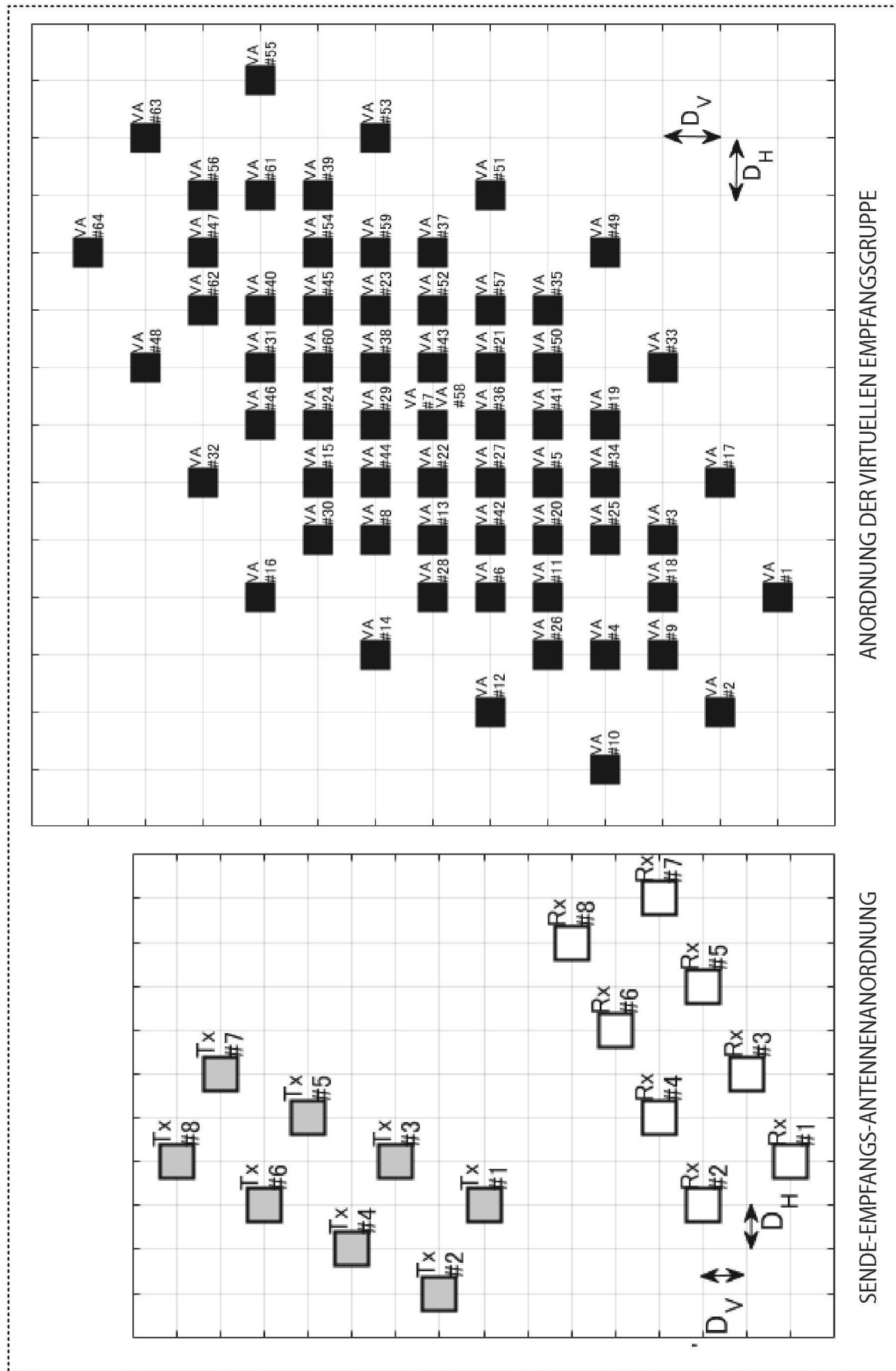


FIG. 81

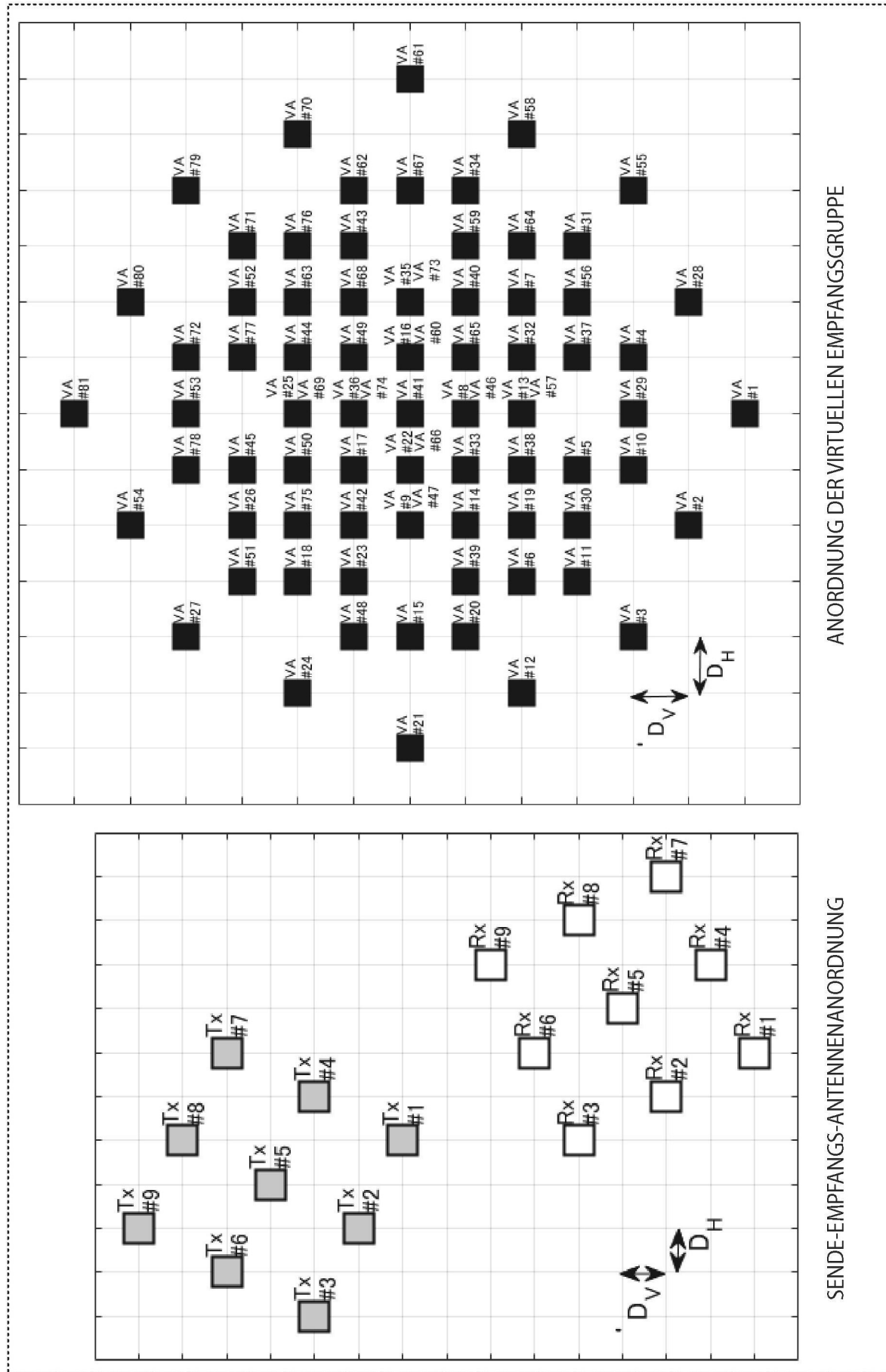


FIG. 82

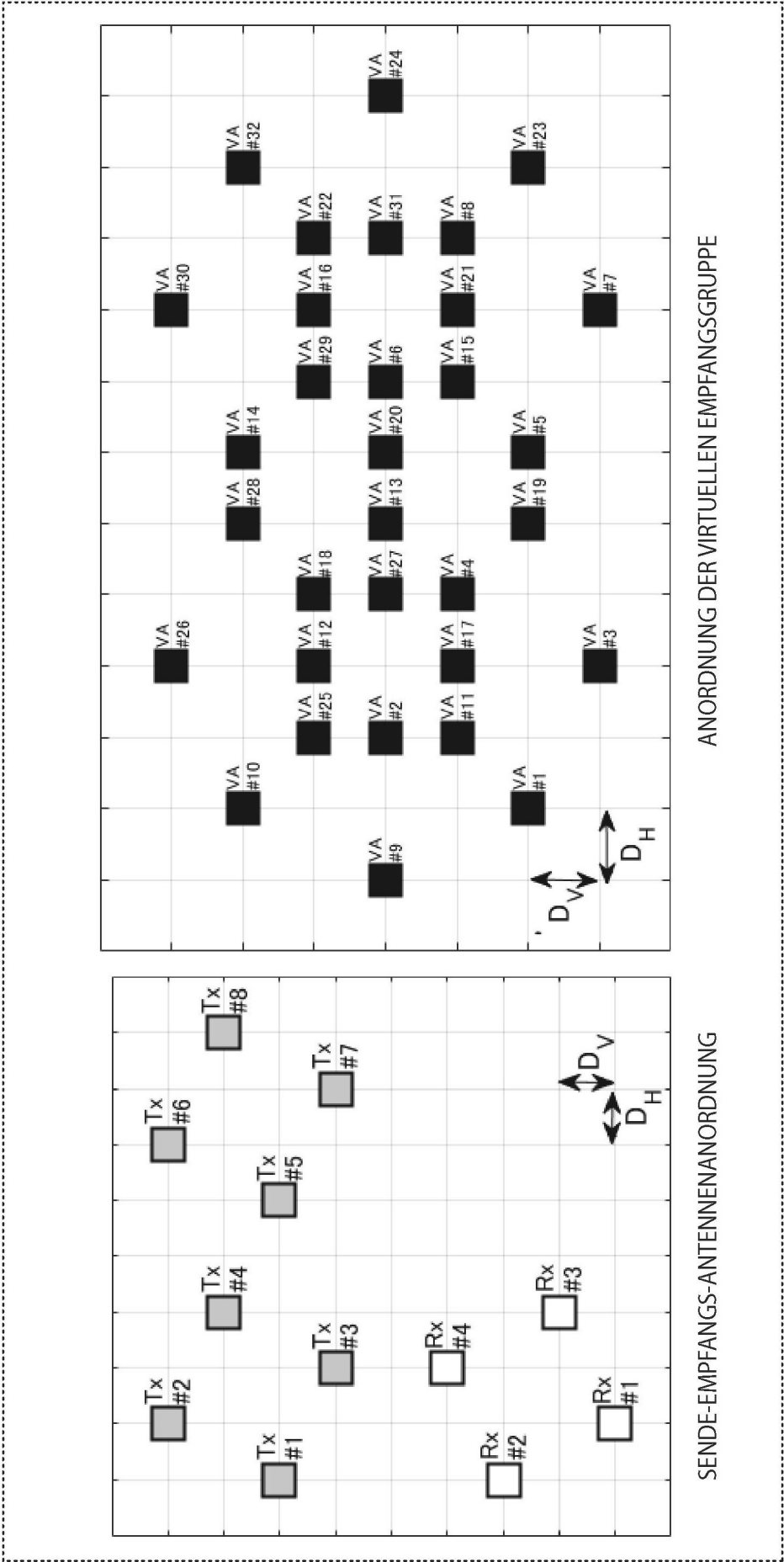


FIG. 83

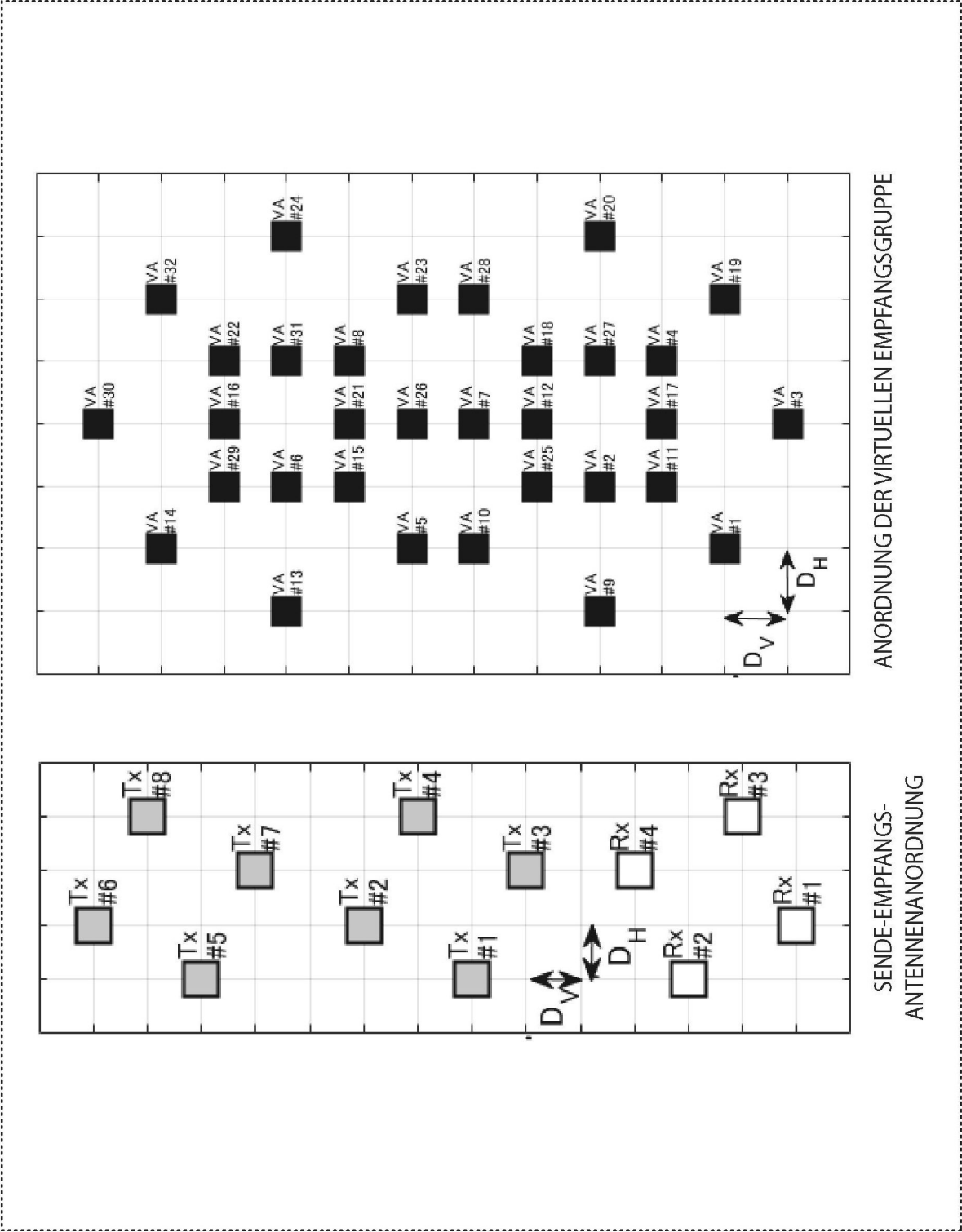


FIG. 84

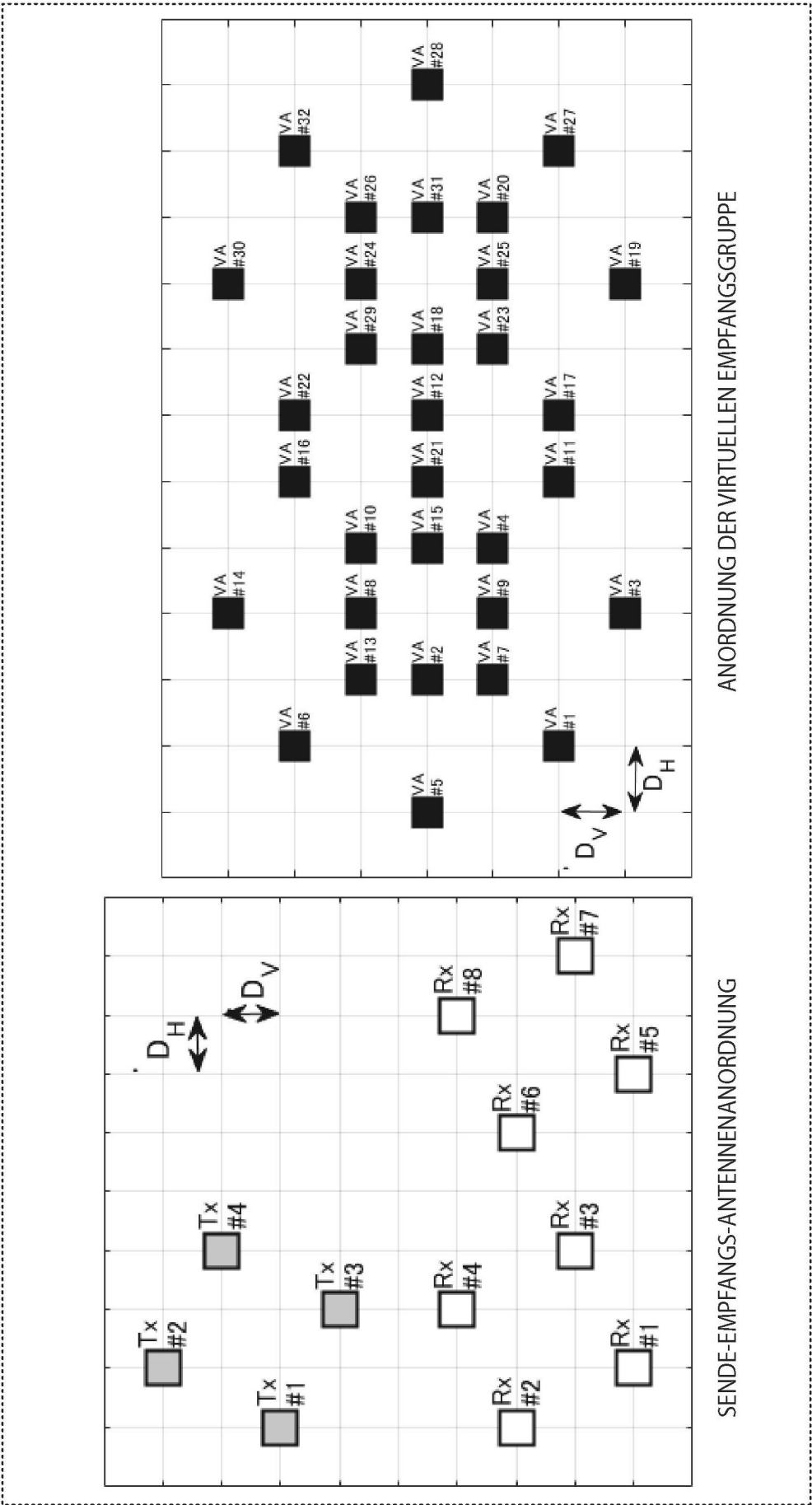


FIG. 85

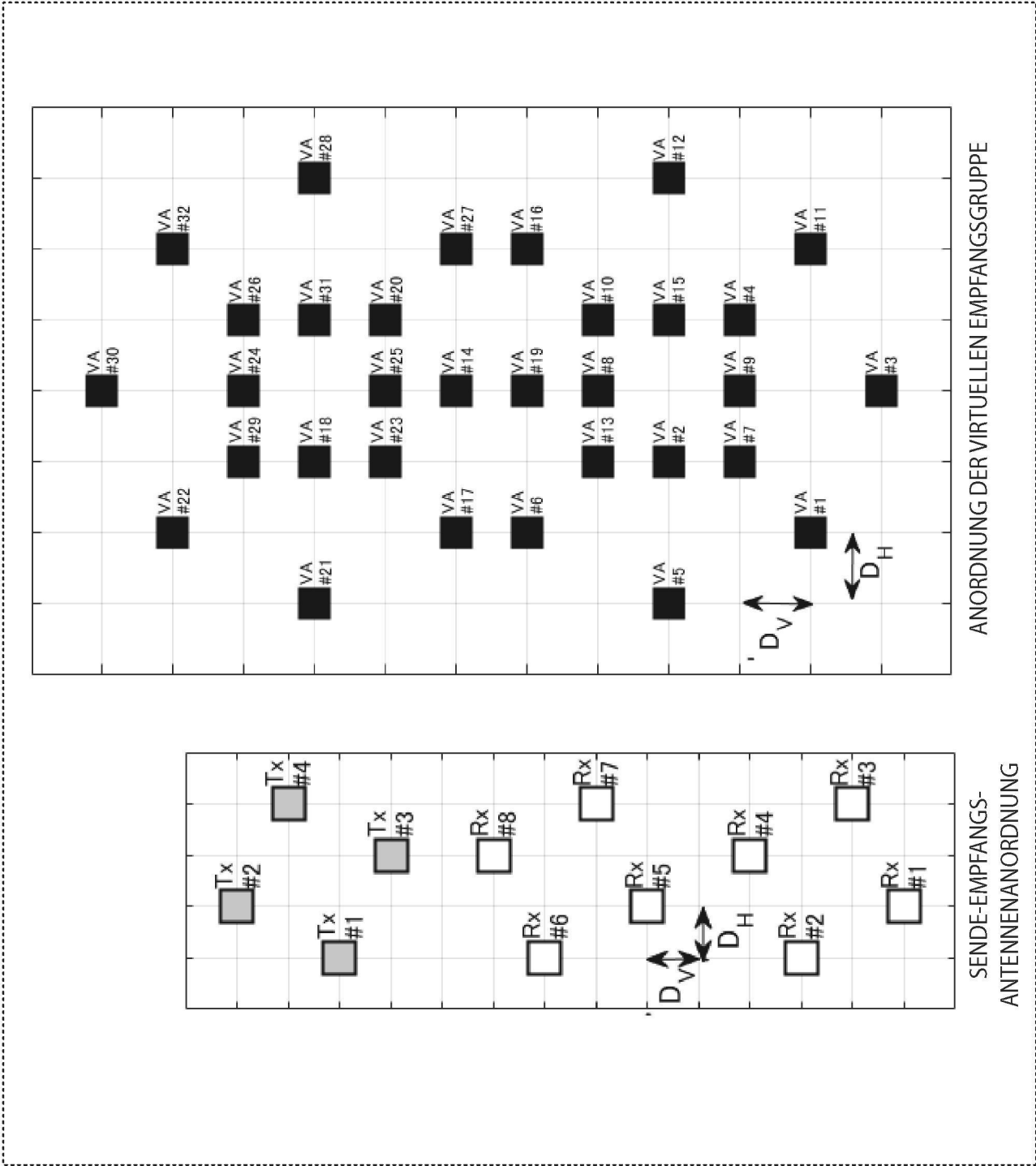


FIG. 86

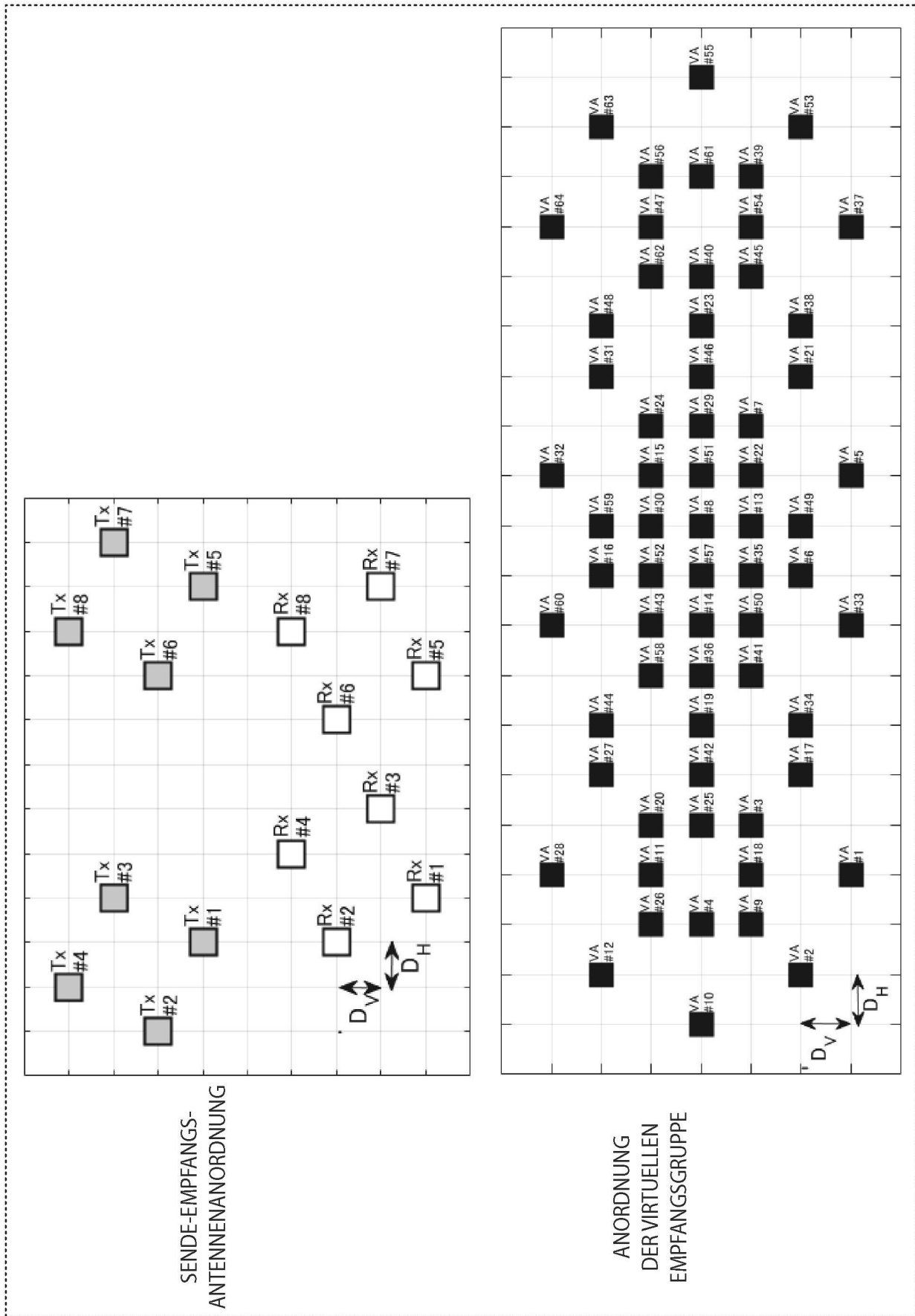


FIG. 87

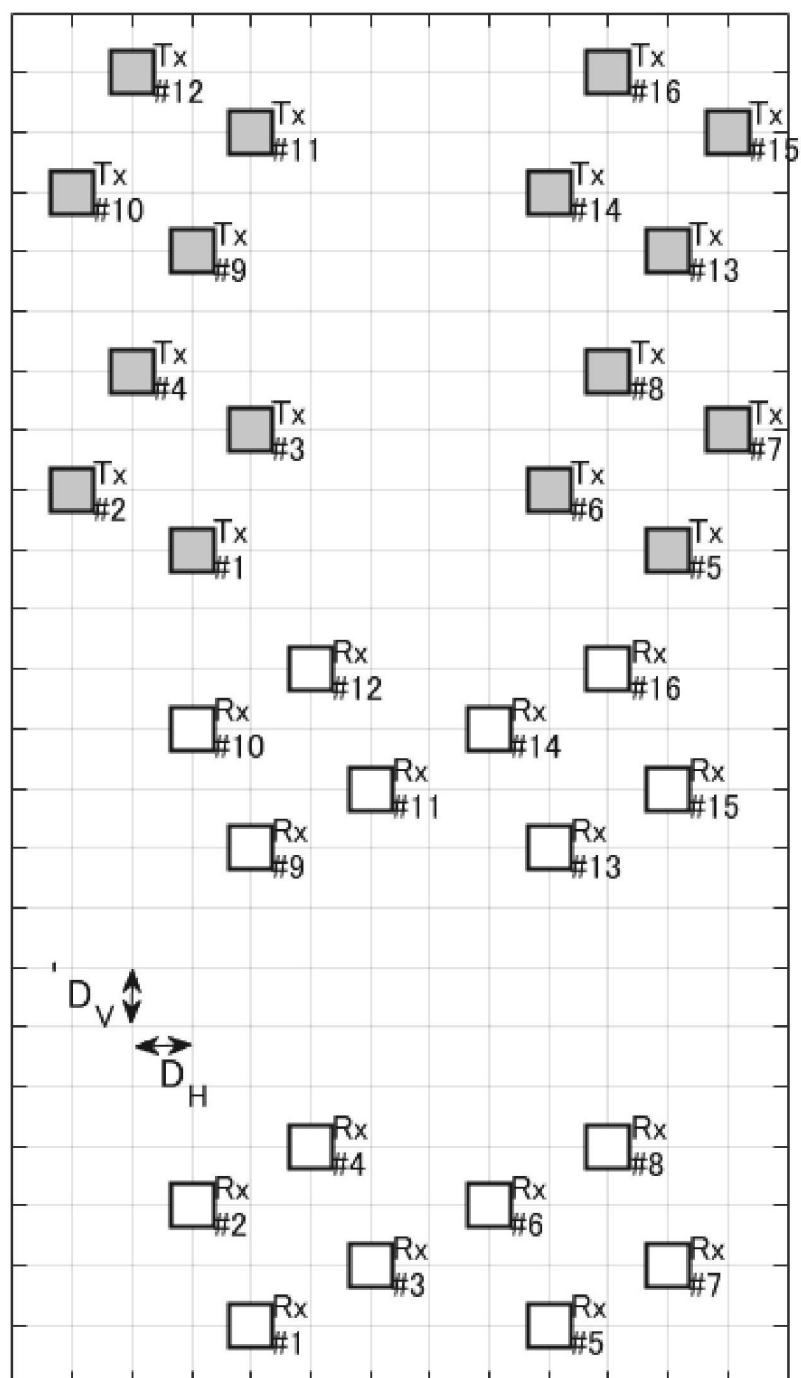


FIG. 88A

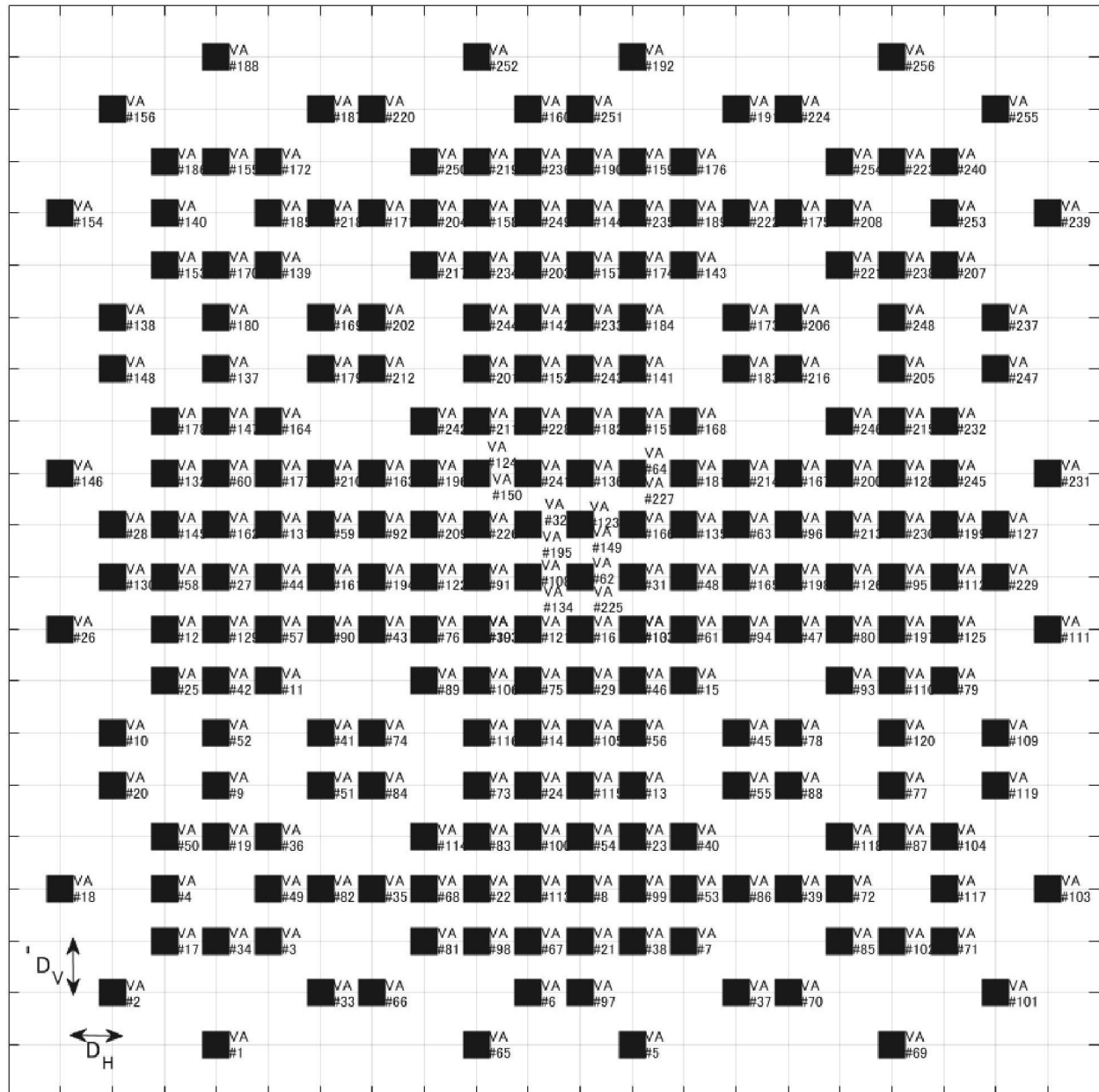


FIG. 88B

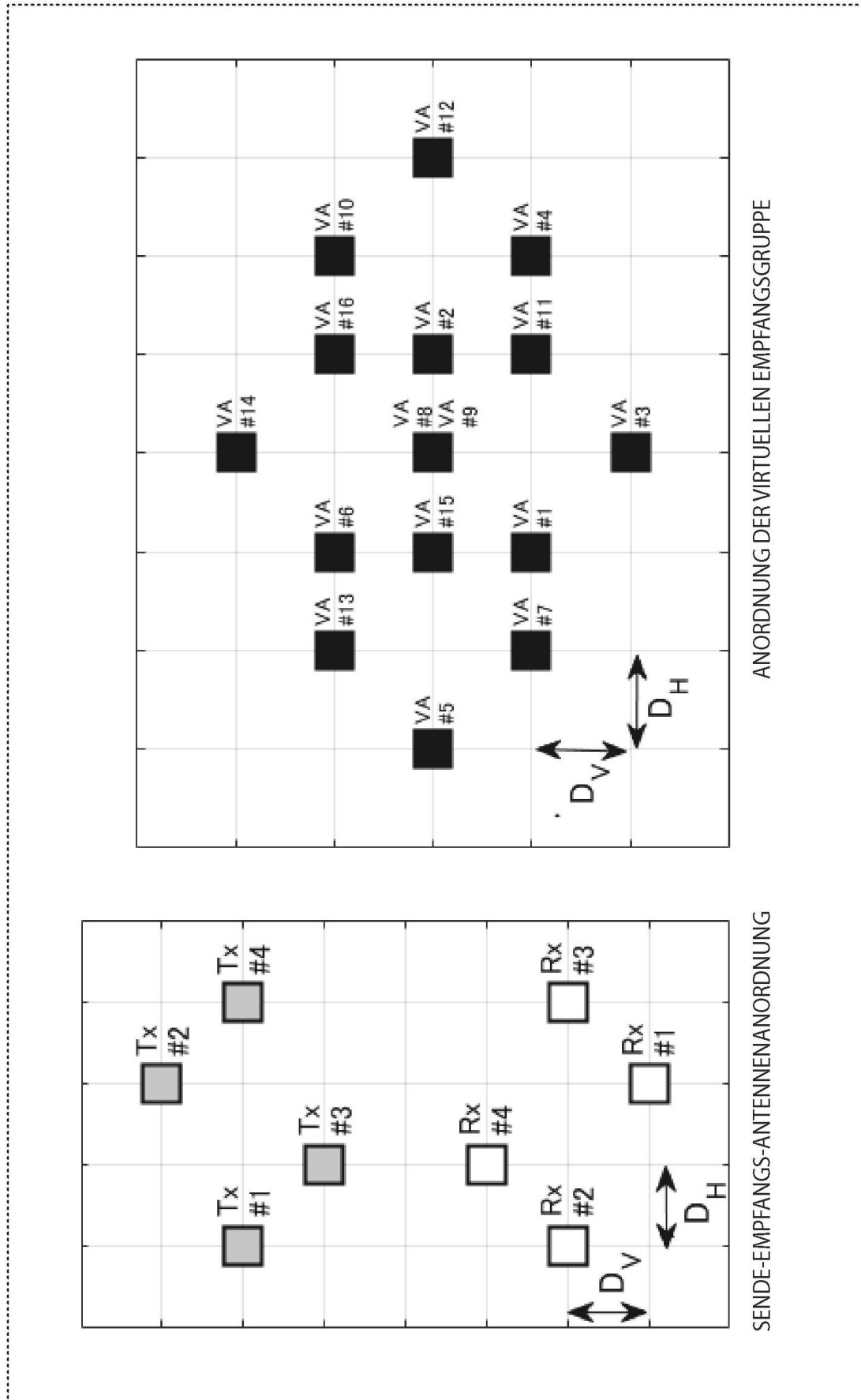


FIG. 89

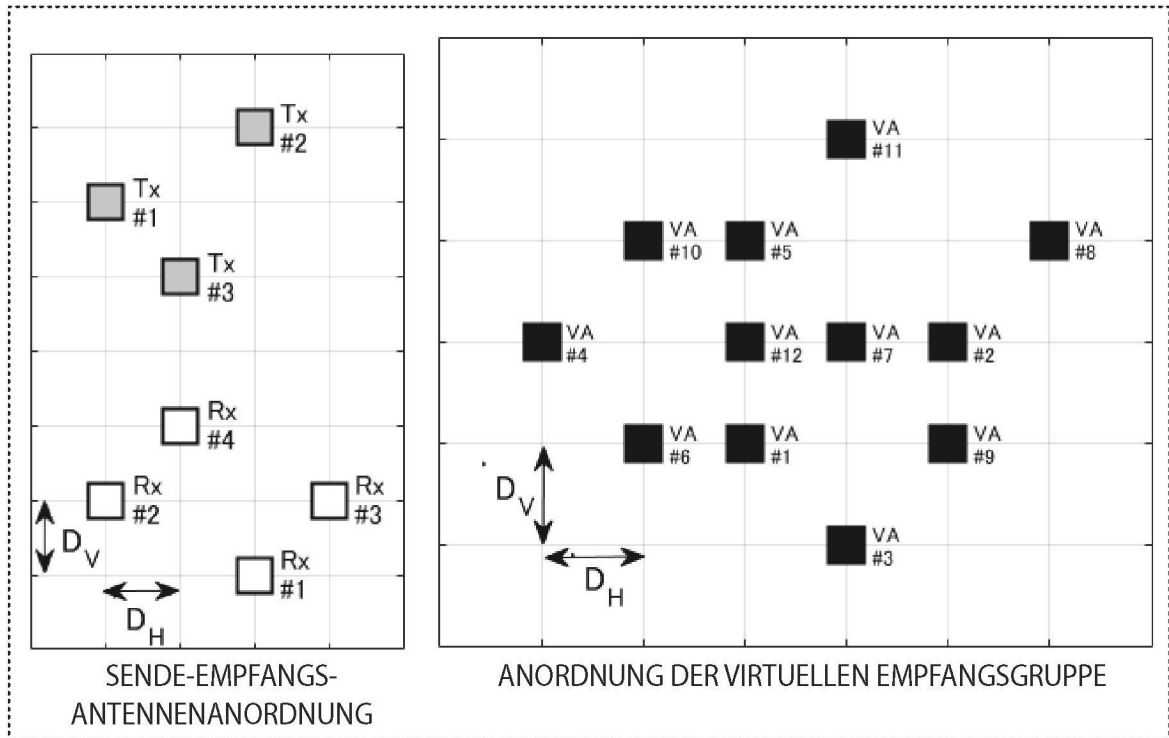


FIG. 90A

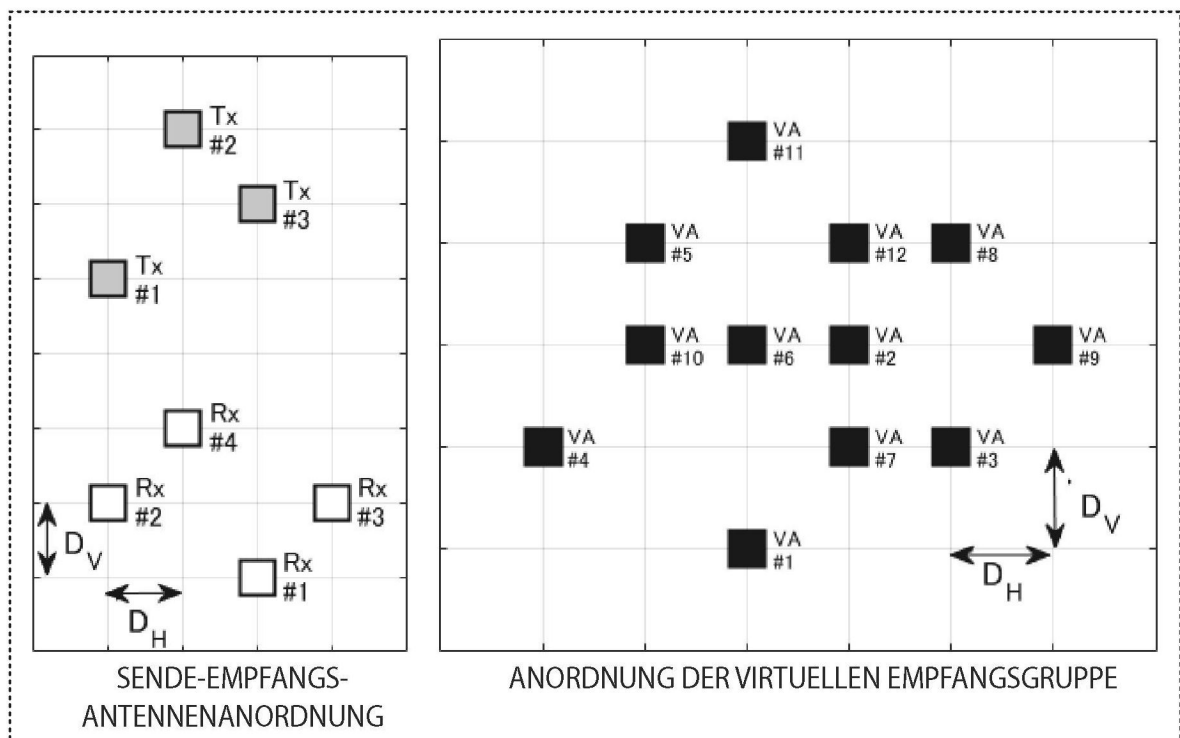


FIG. 90B

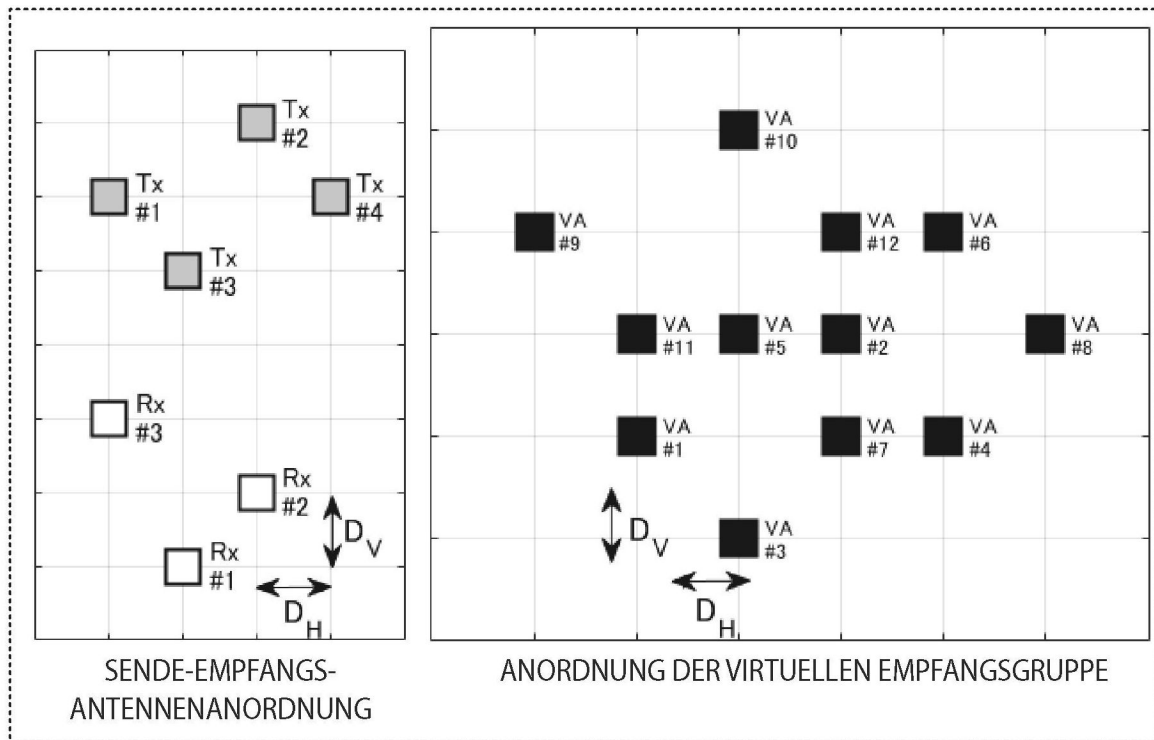


FIG. 91A

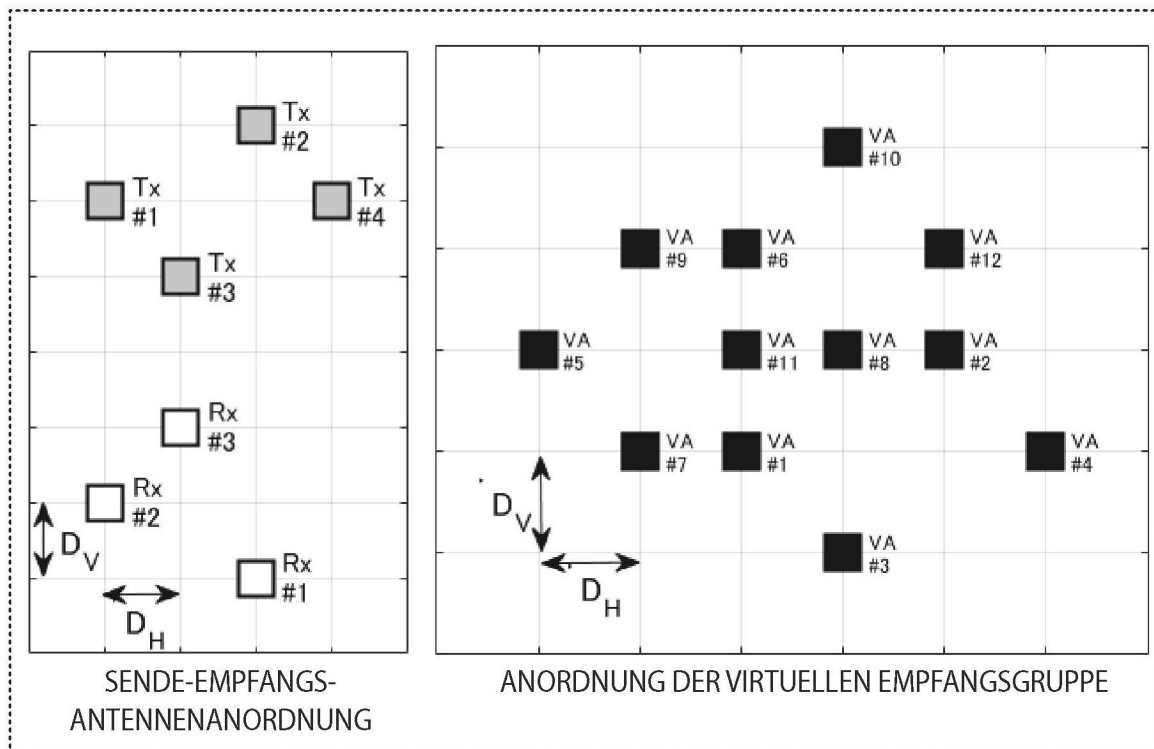


FIG. 91B

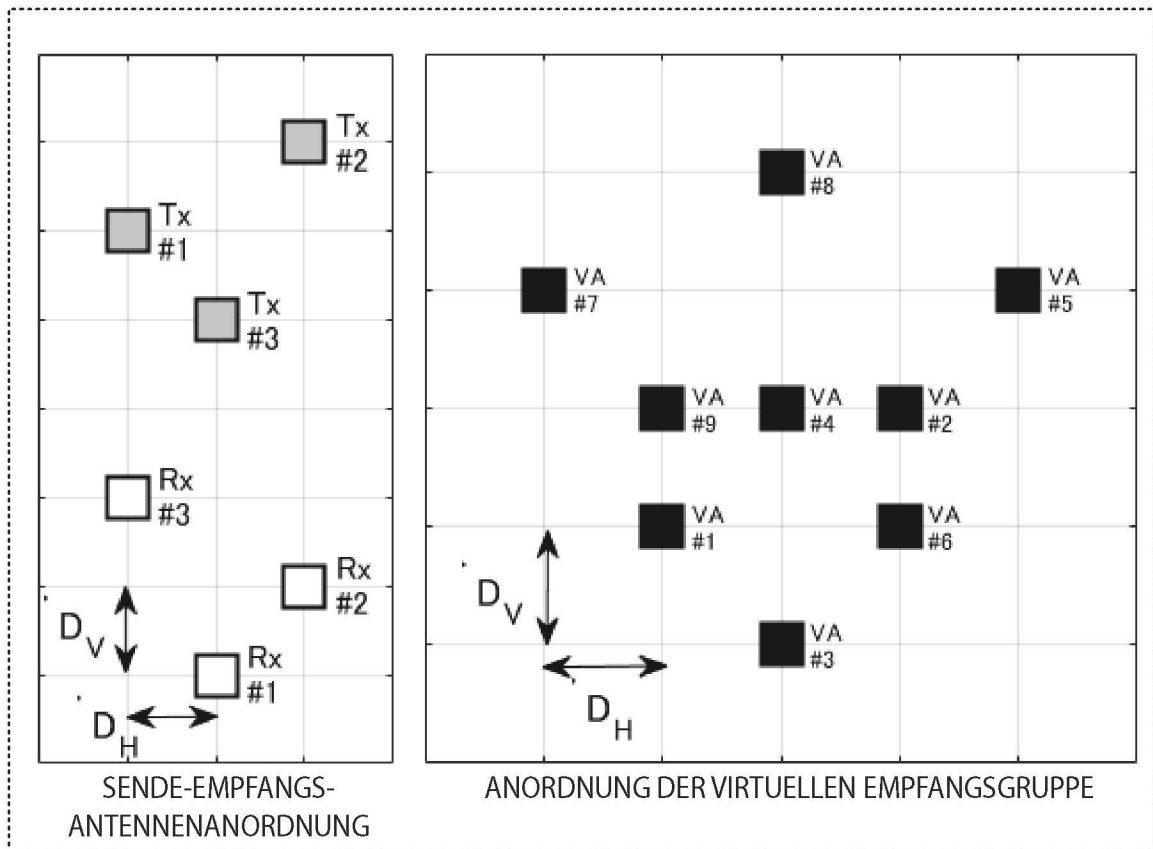


FIG. 92A

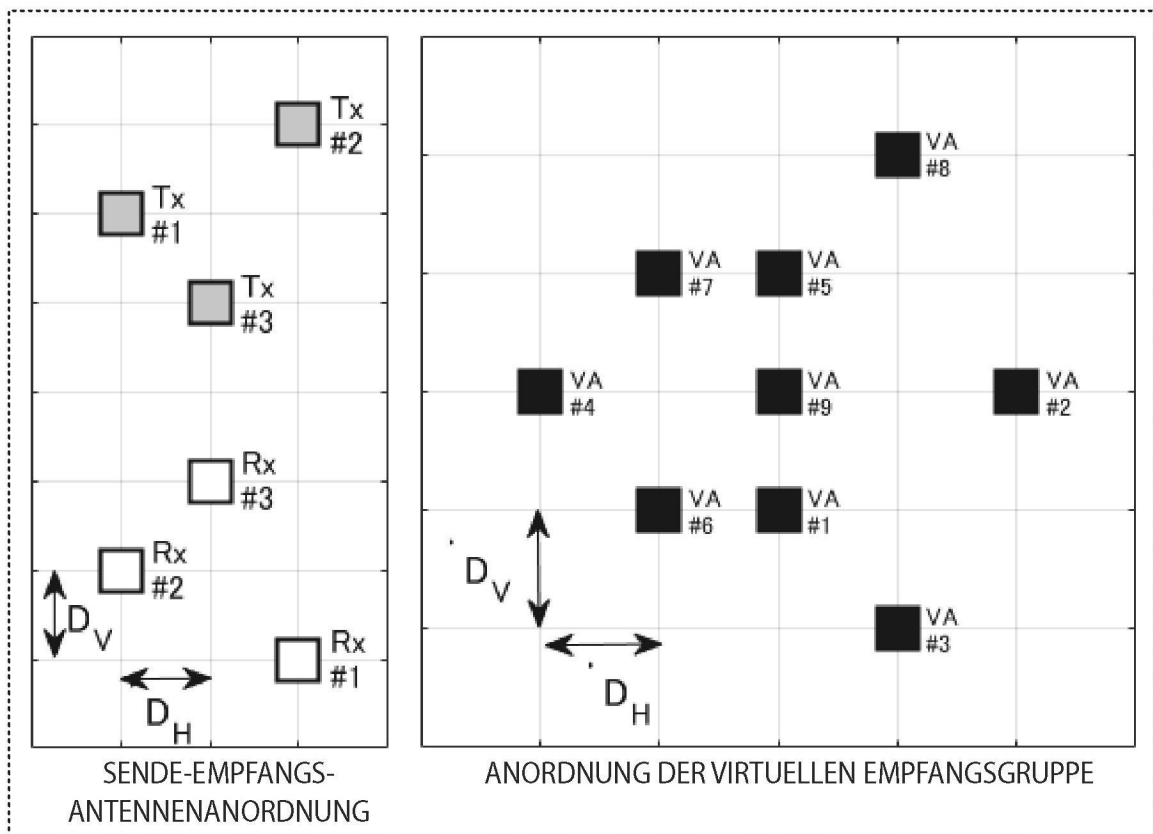


FIG. 92B

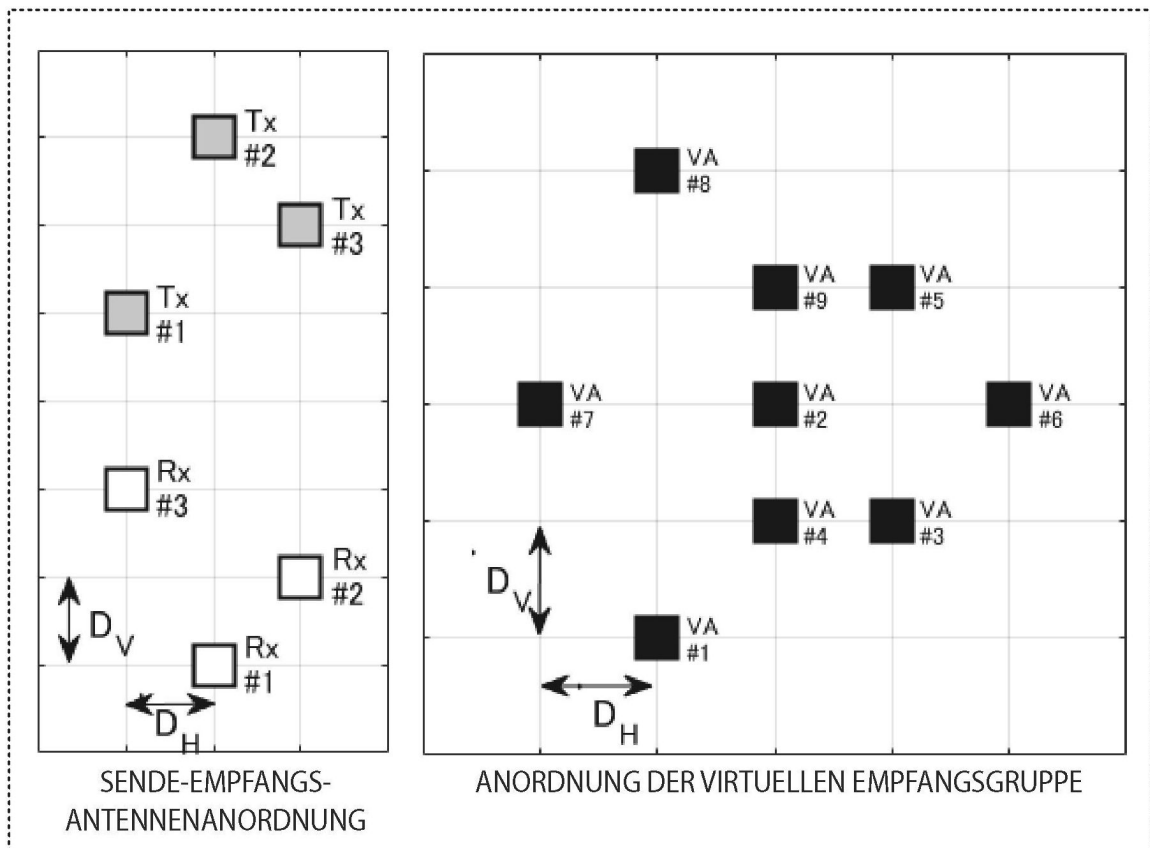


FIG. 92C

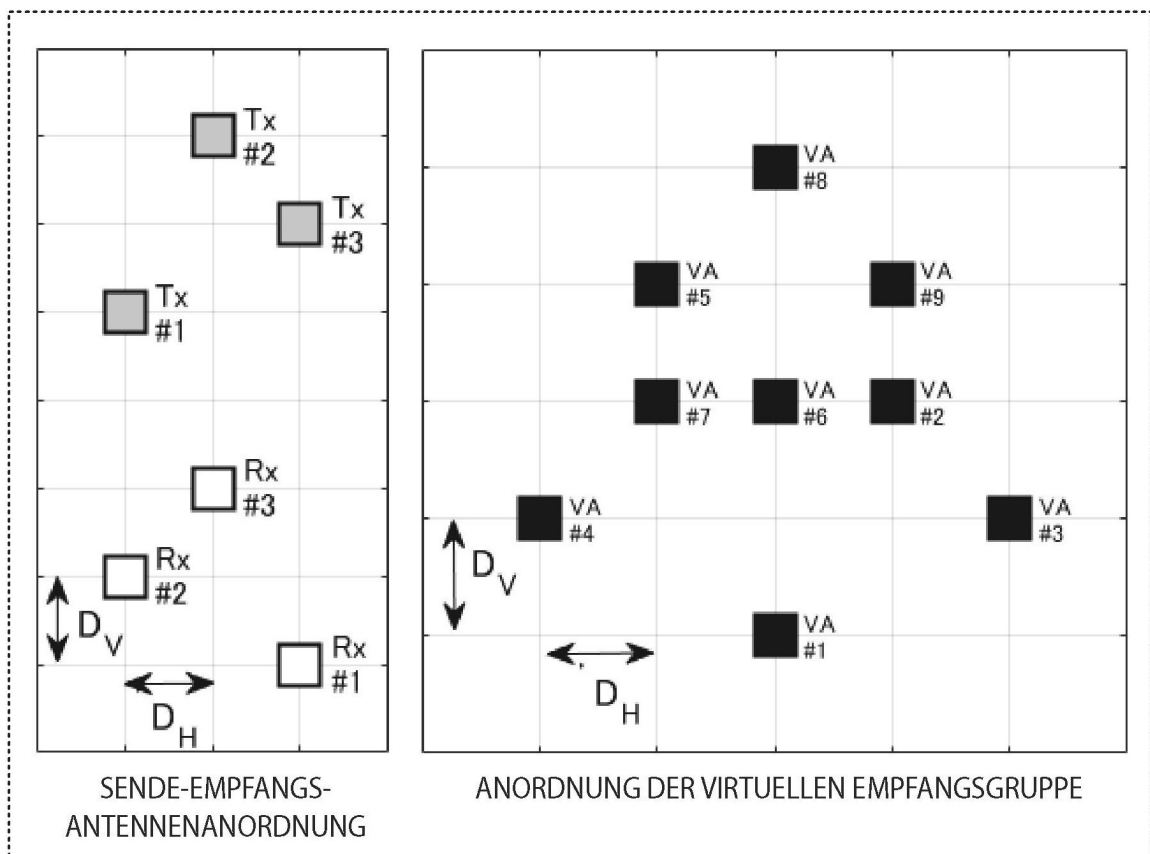


FIG. 92D

⊗ PHASENMITTELPUNKT EINES ANTENNENKANALS

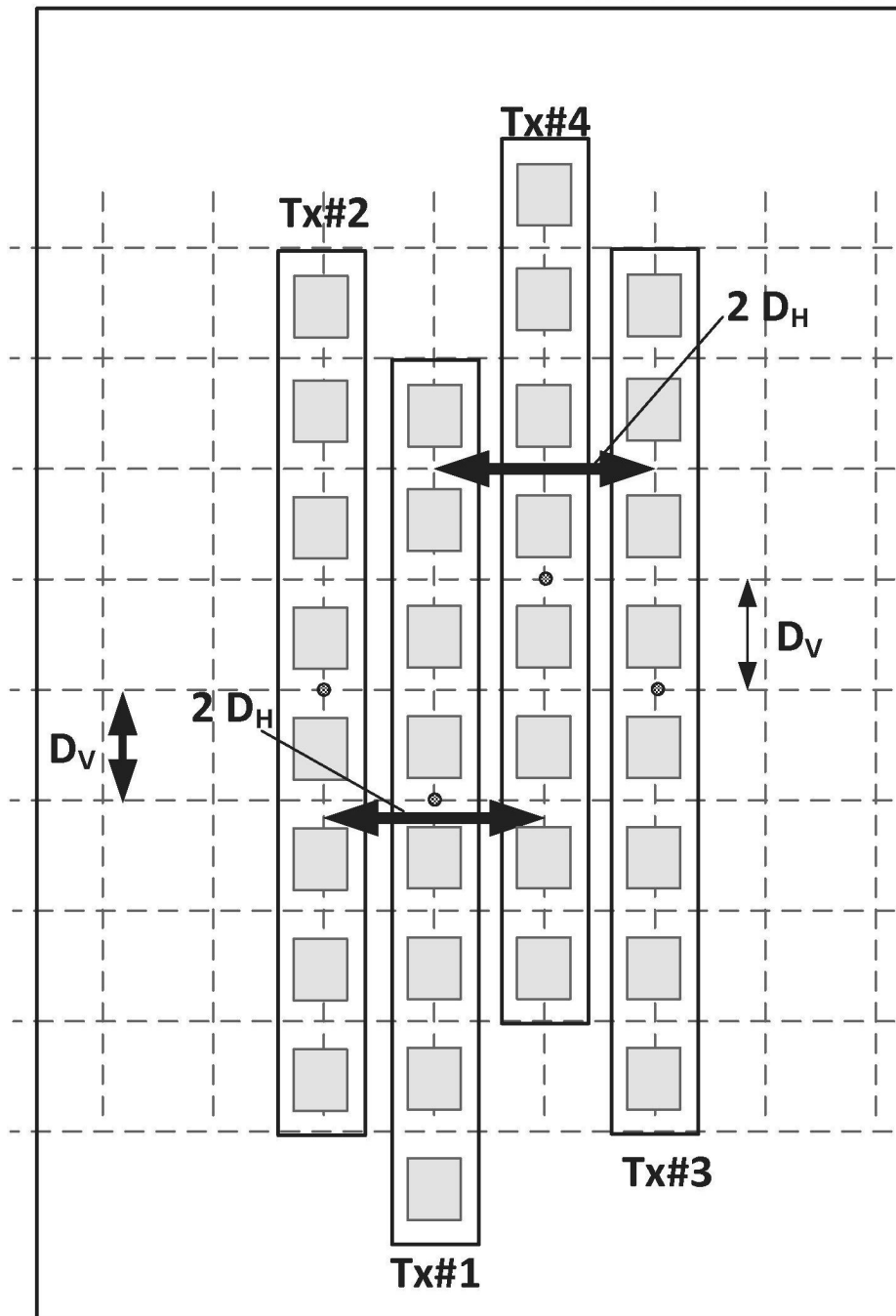


FIG. 93A

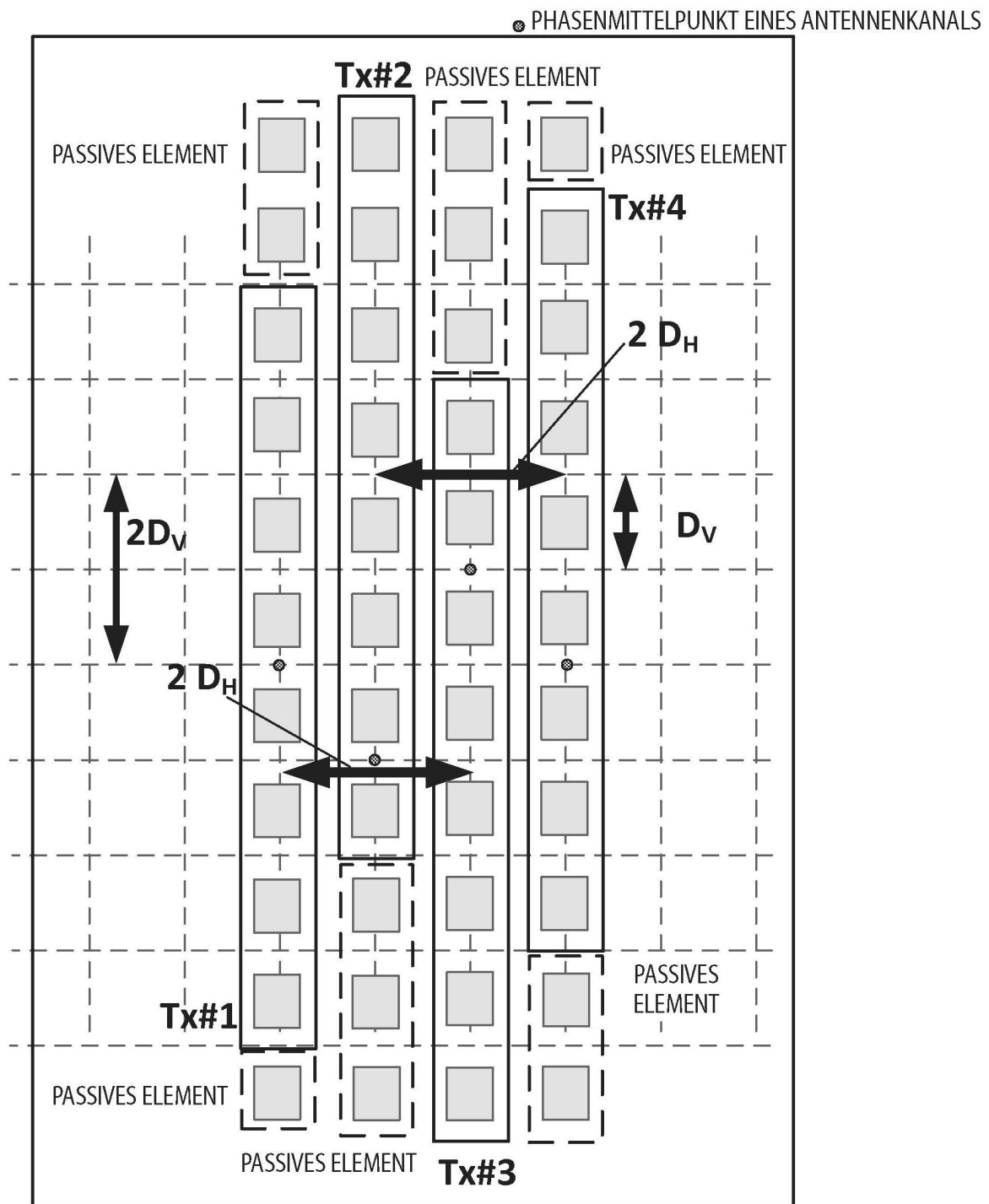


FIG. 93B

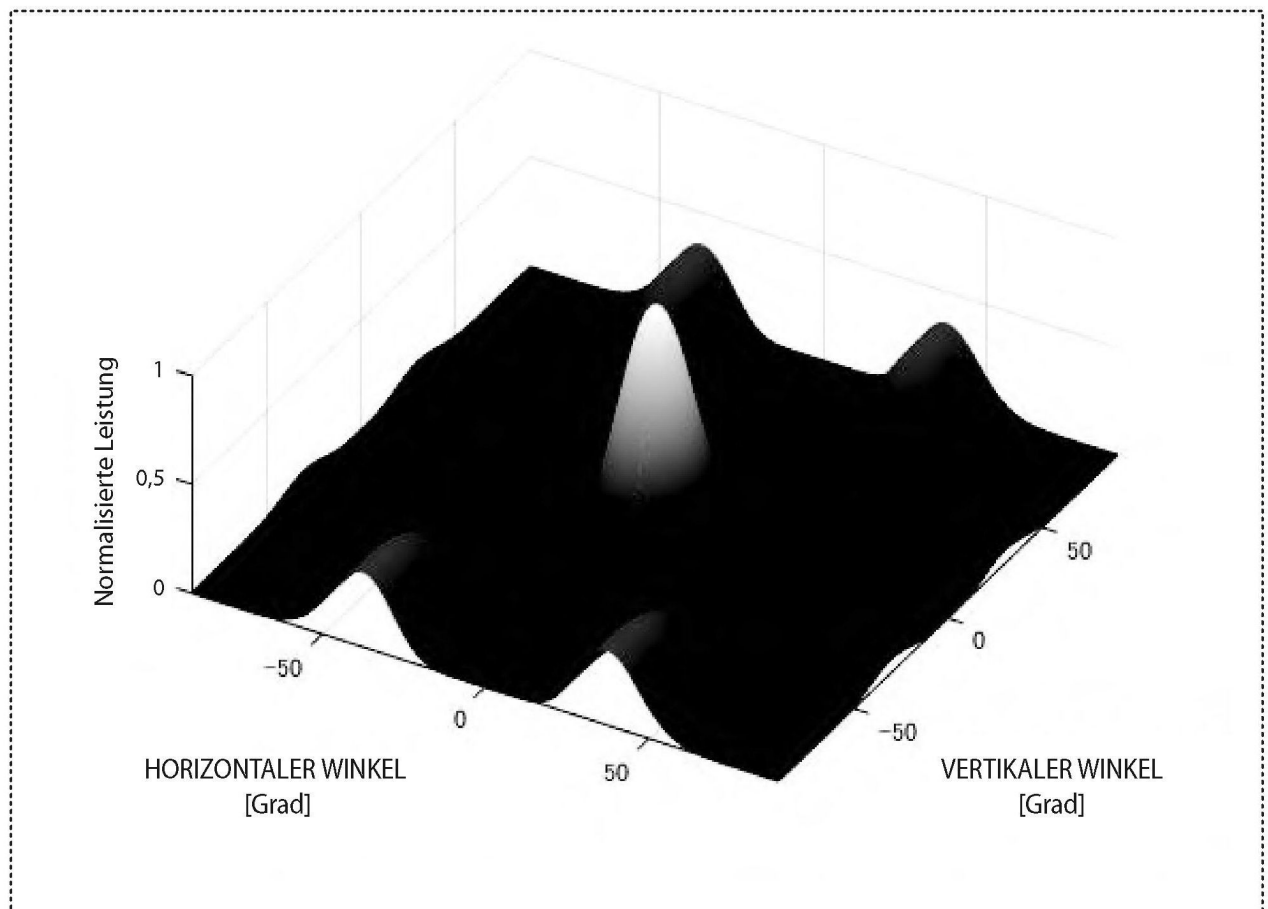


FIG. 94

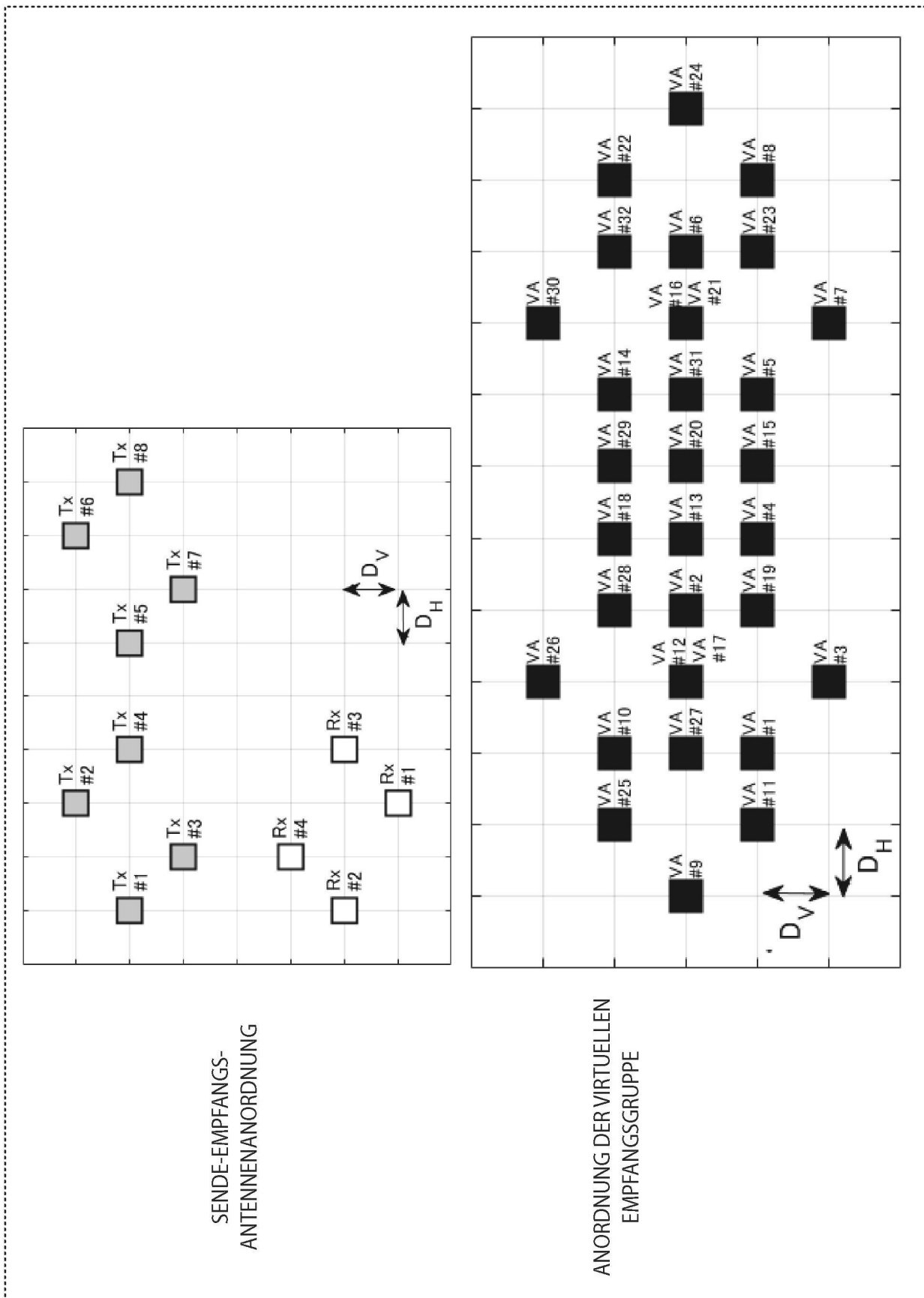
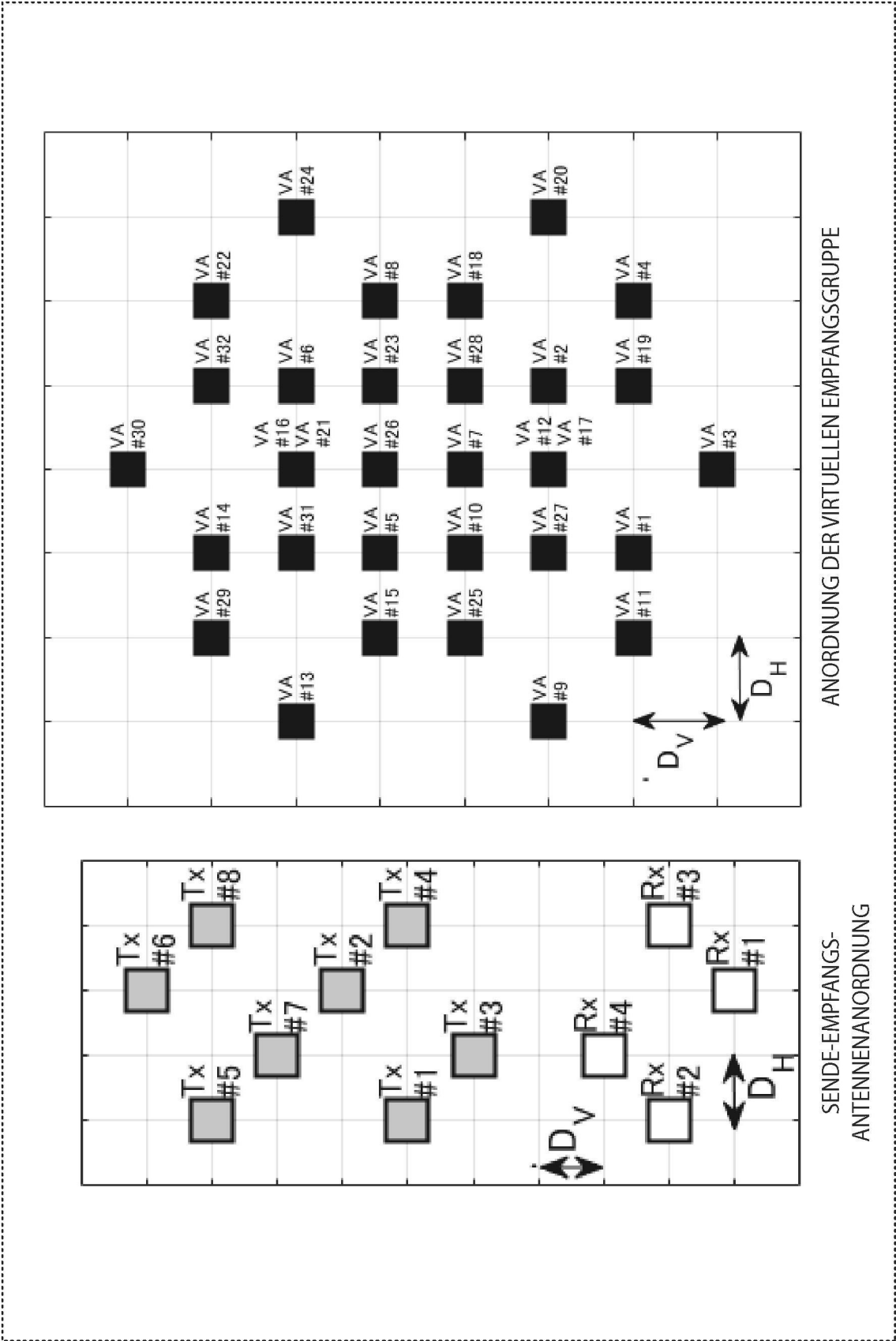


FIG. 95



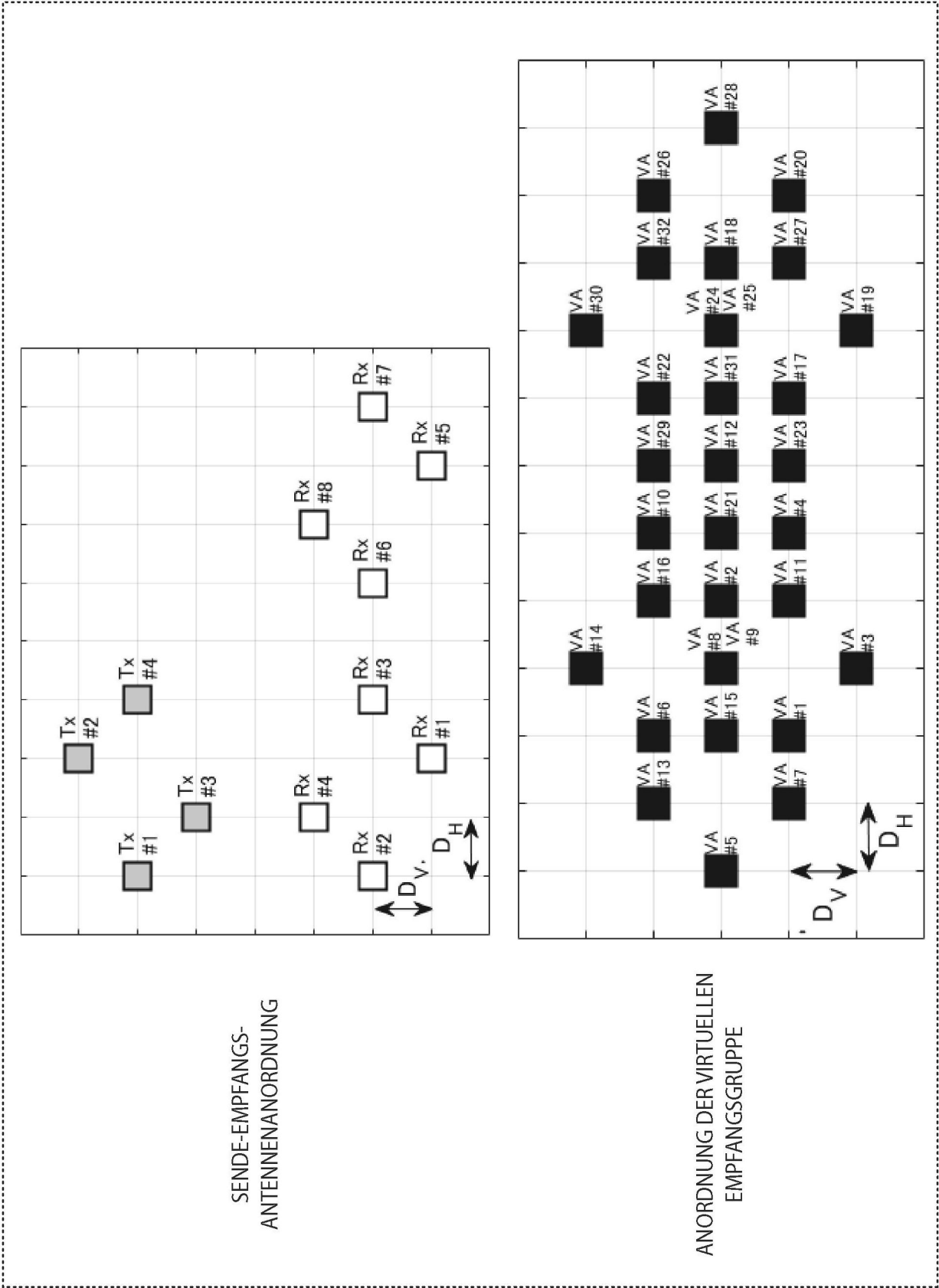


FIG. 97

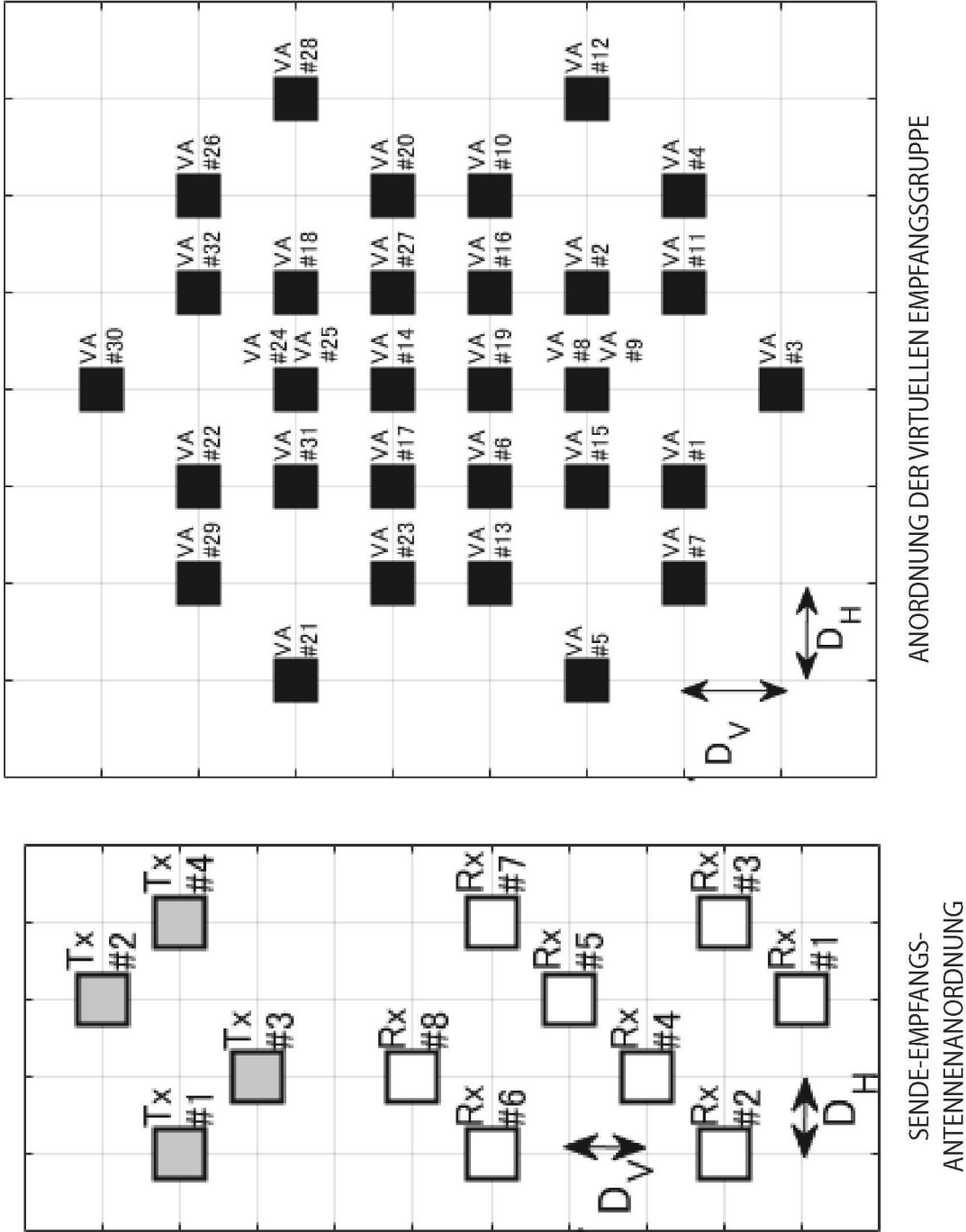
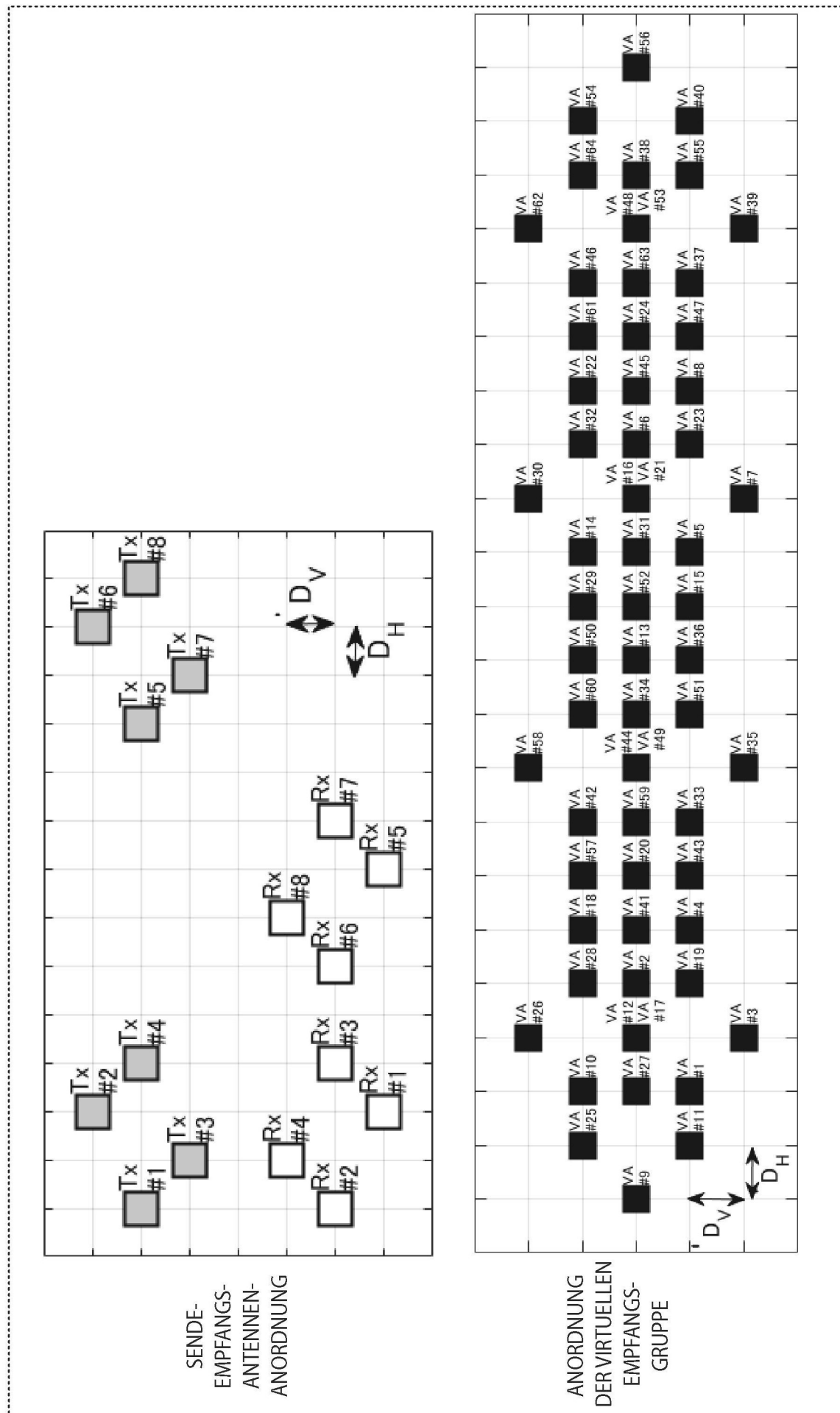


FIG. 98



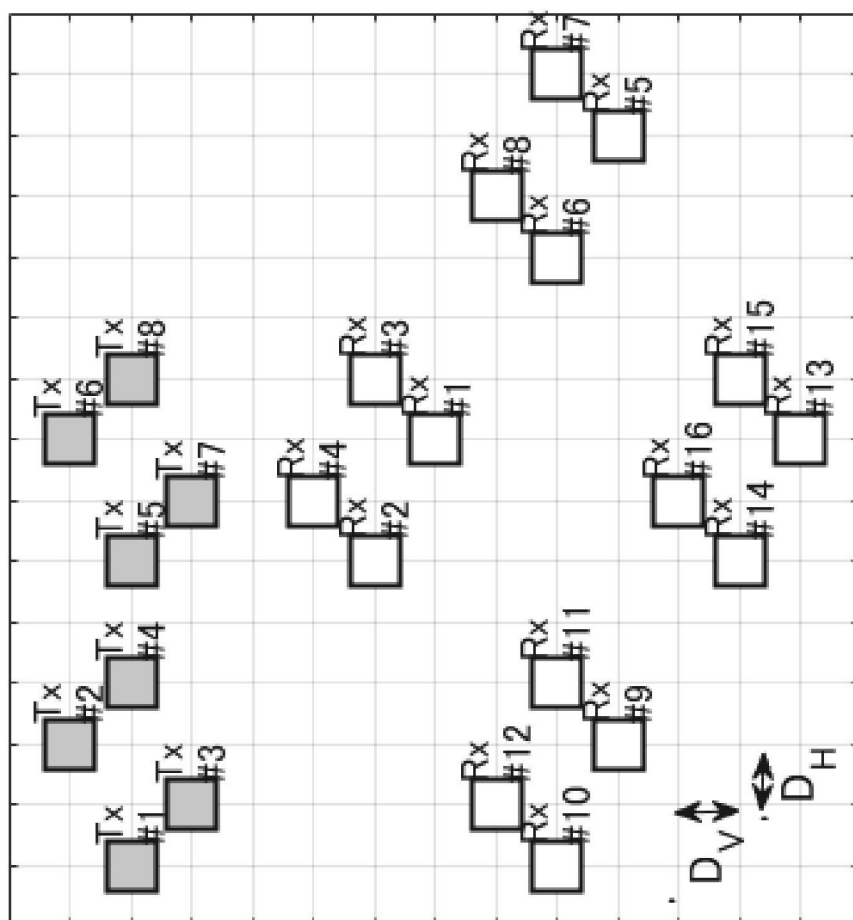


FIG. 100A

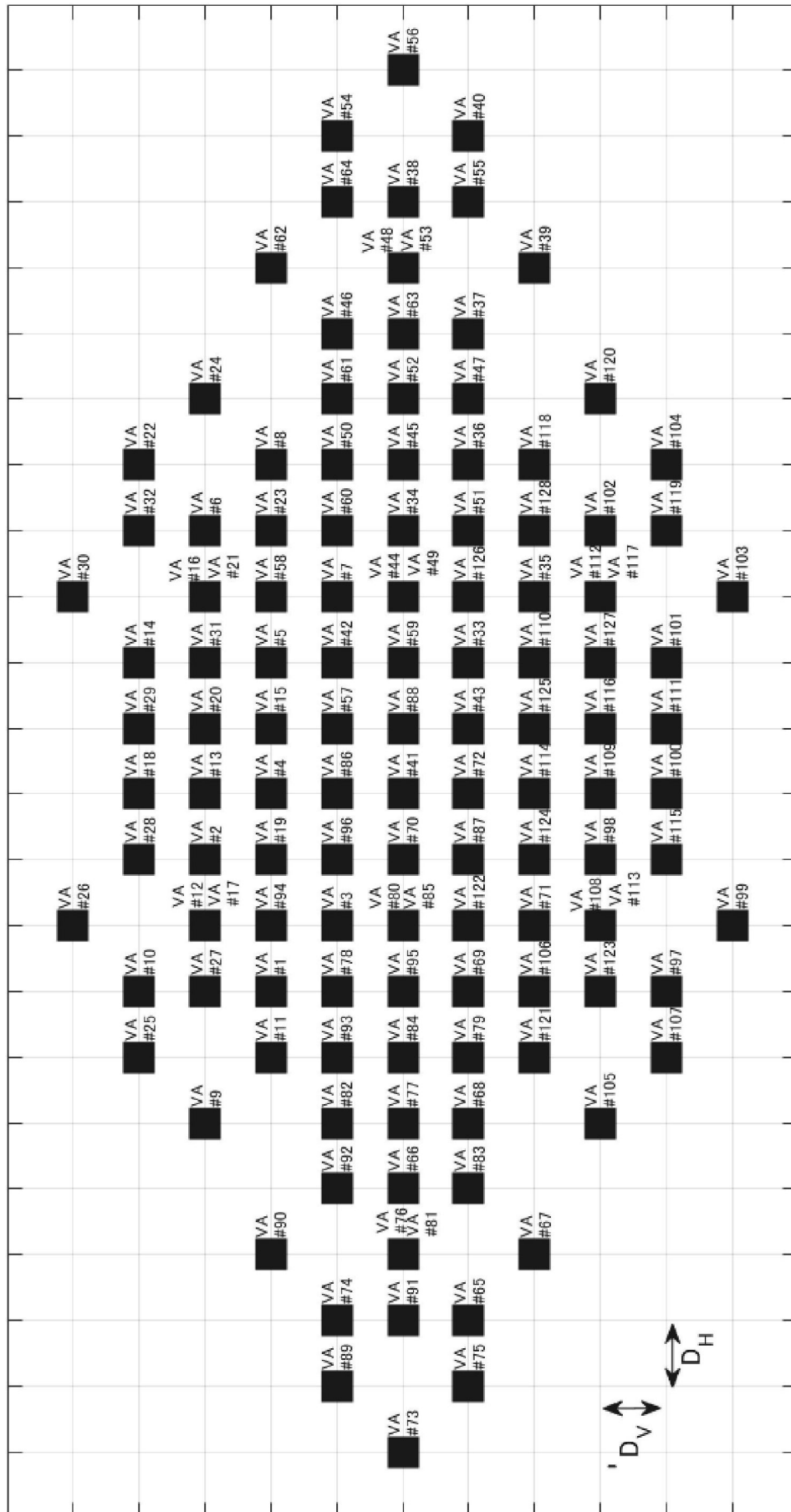


FIG. 100B

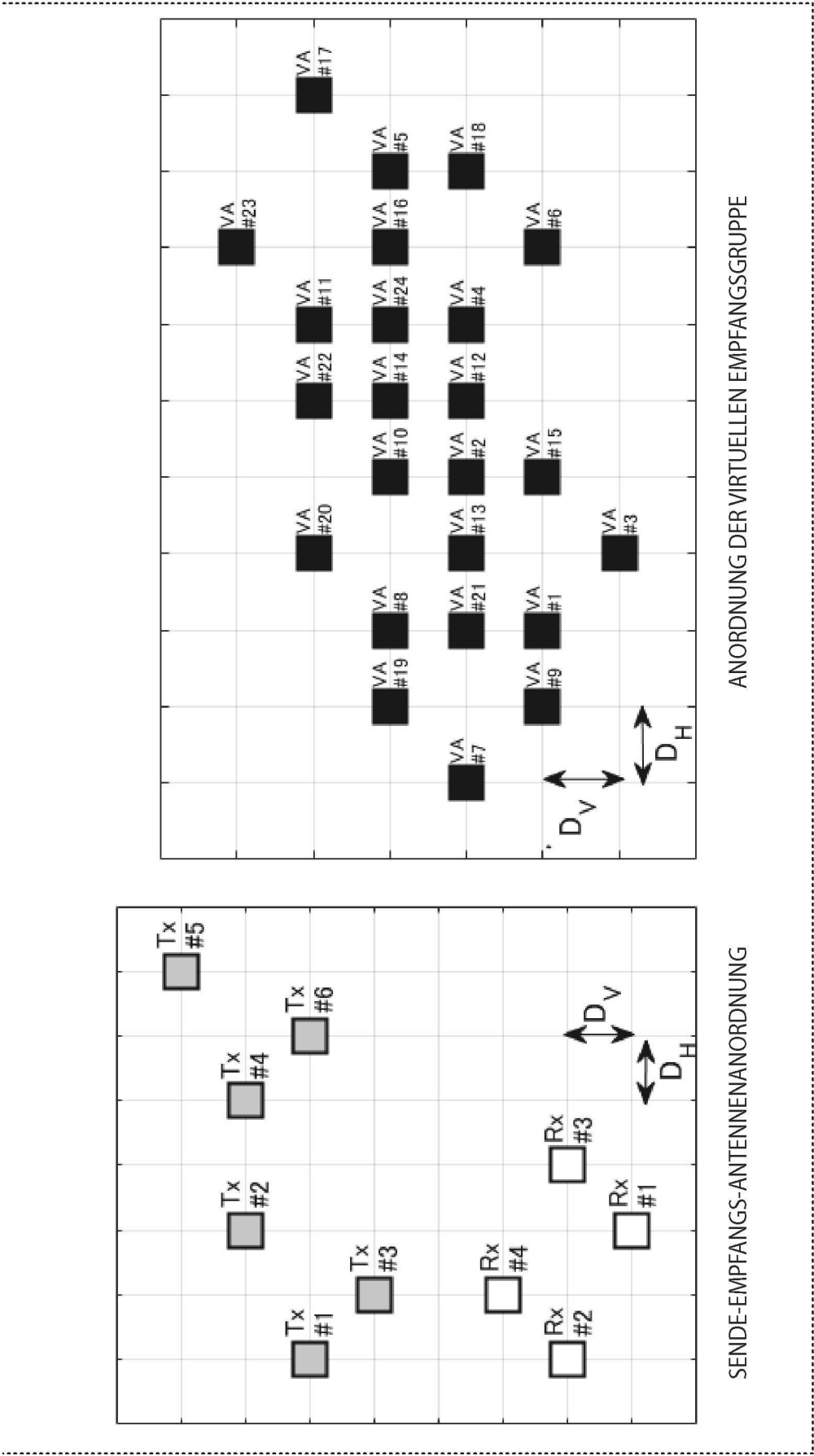


FIG. 101

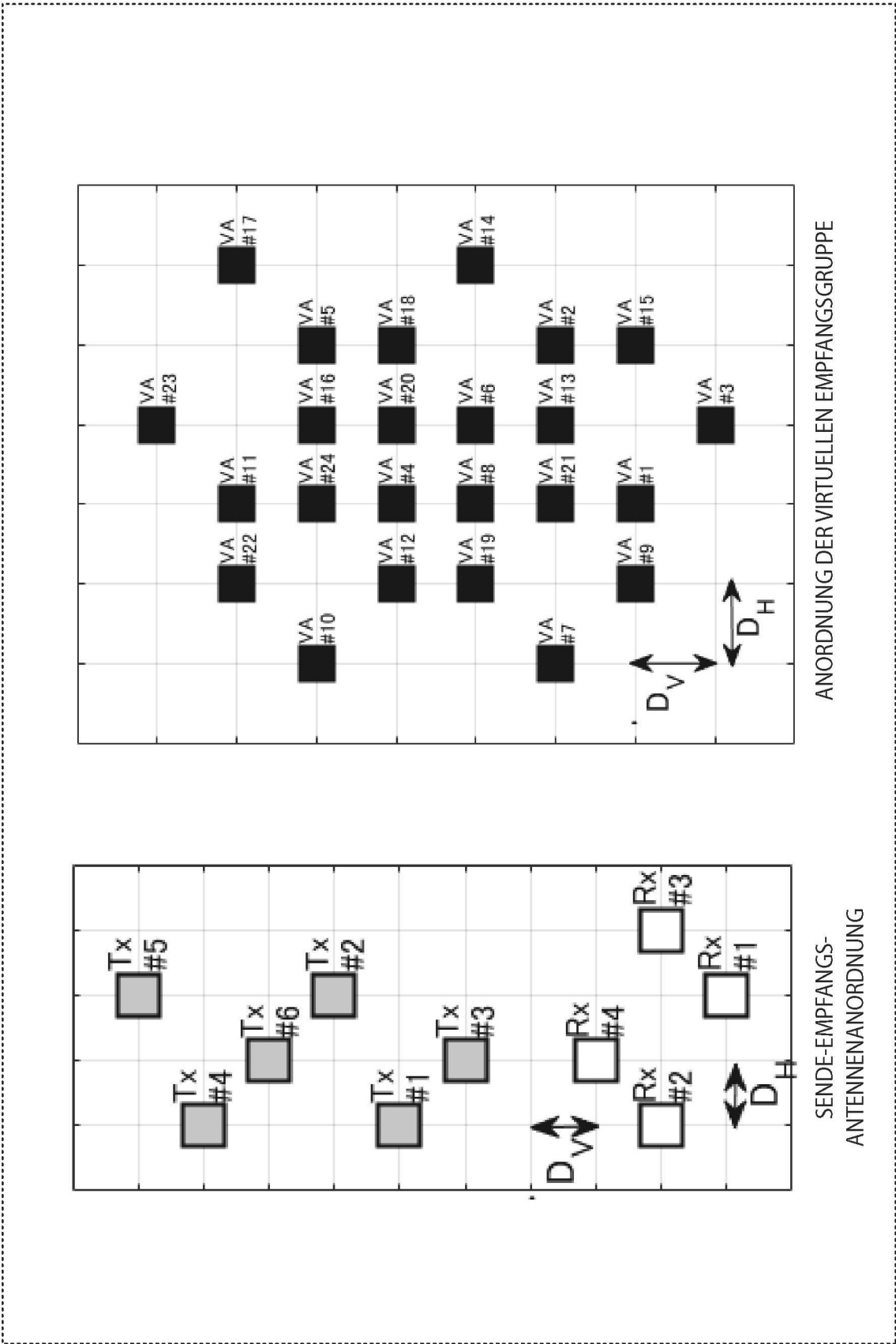


FIG. 102

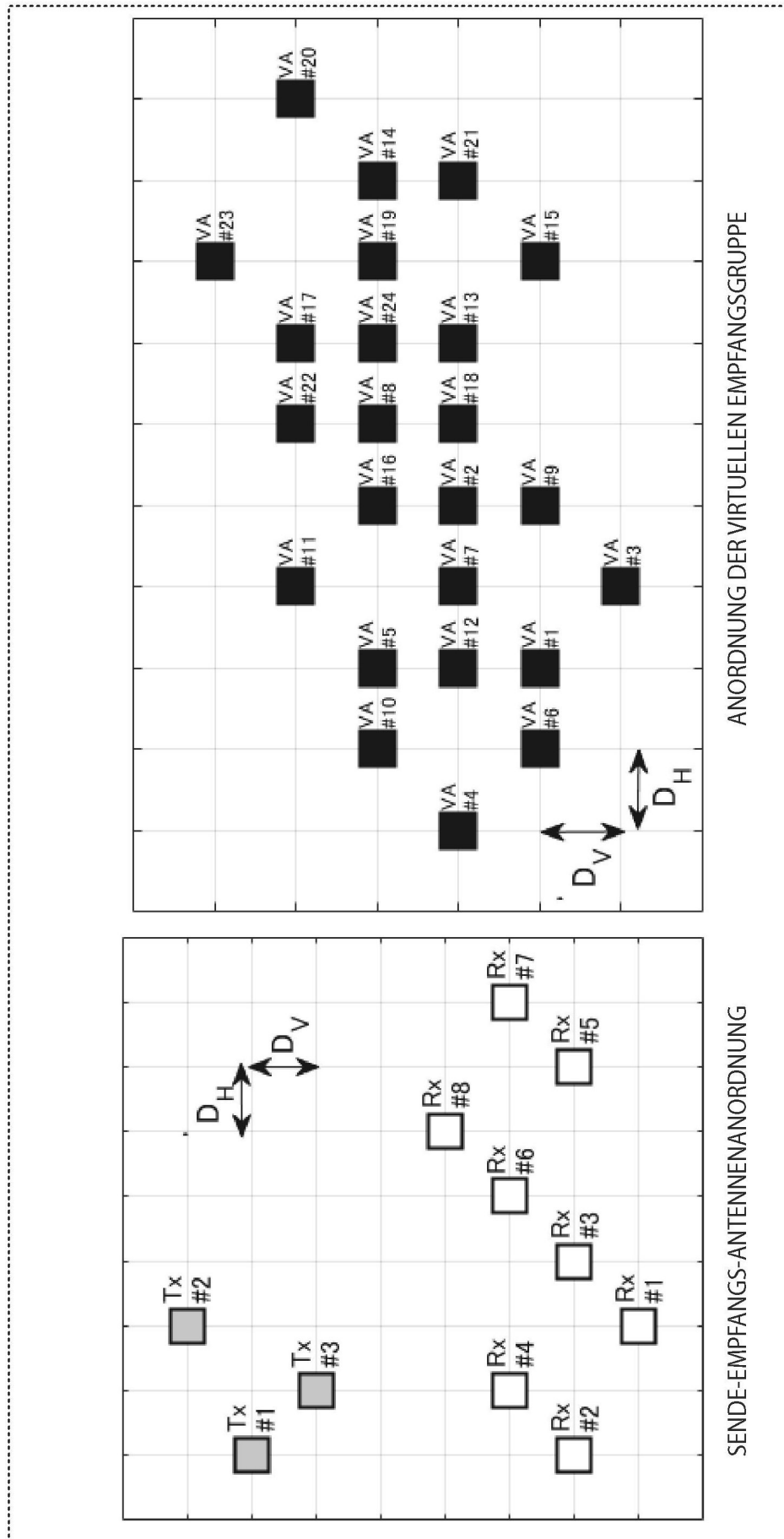


FIG. 103

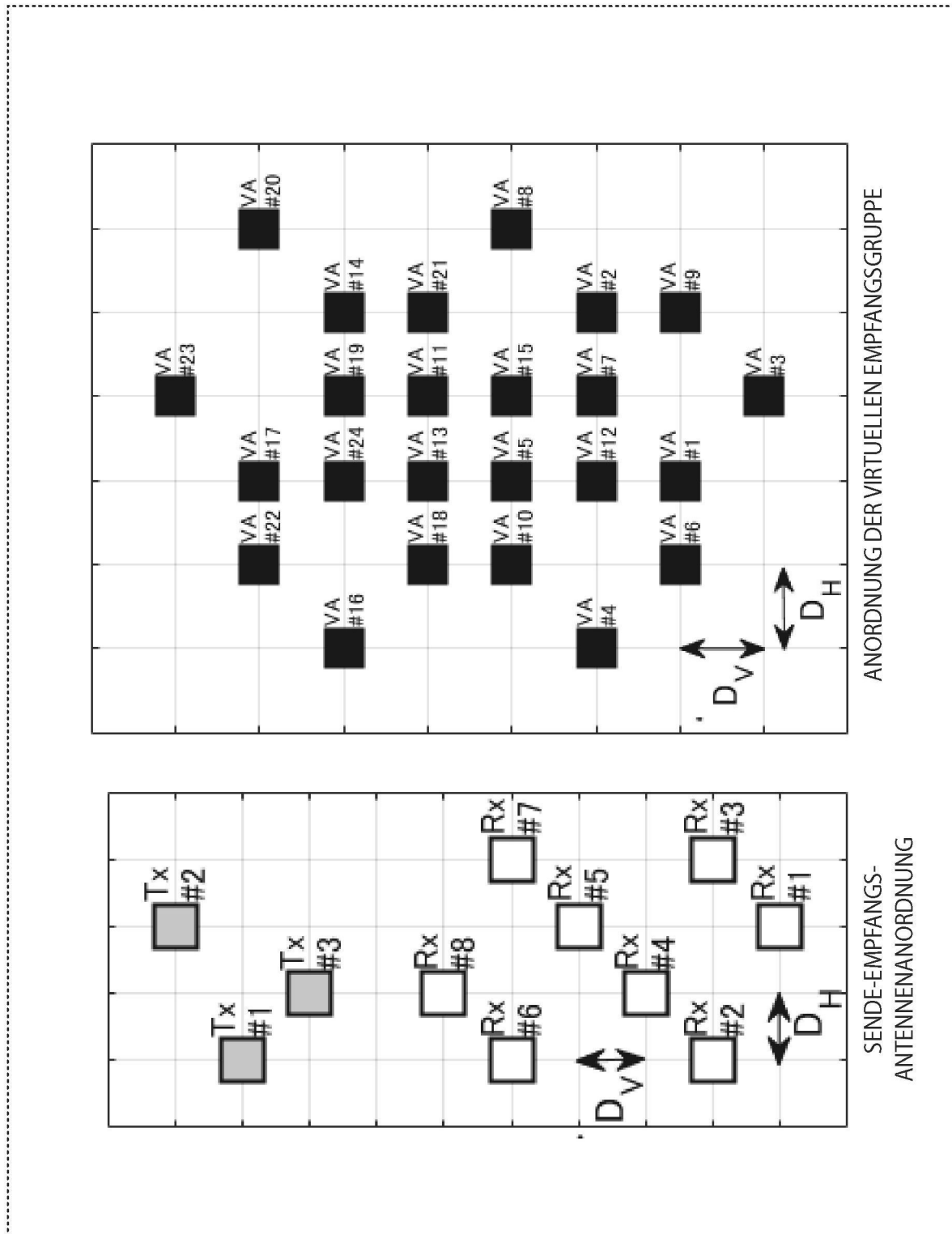


FIG. 104

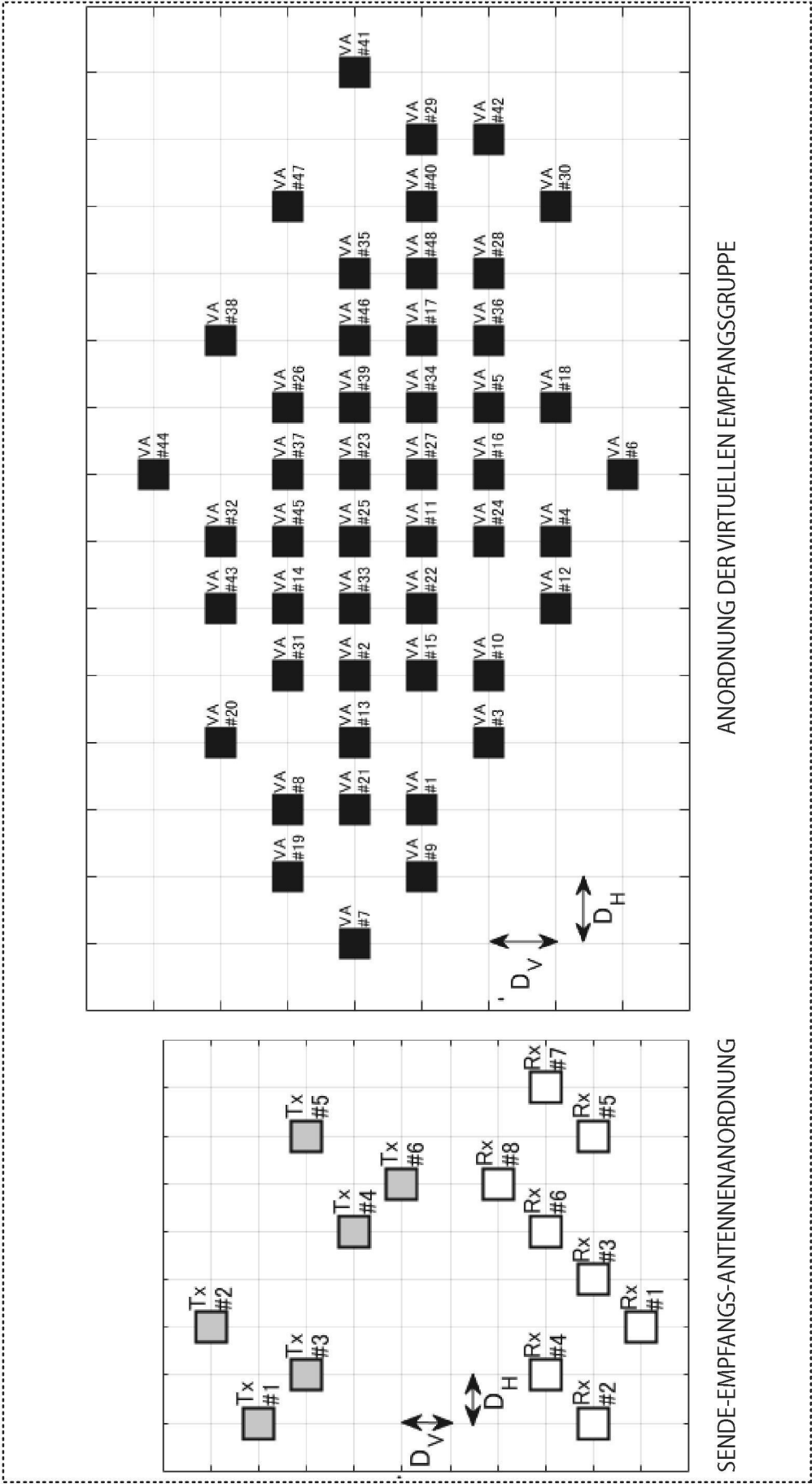


FIG. 105

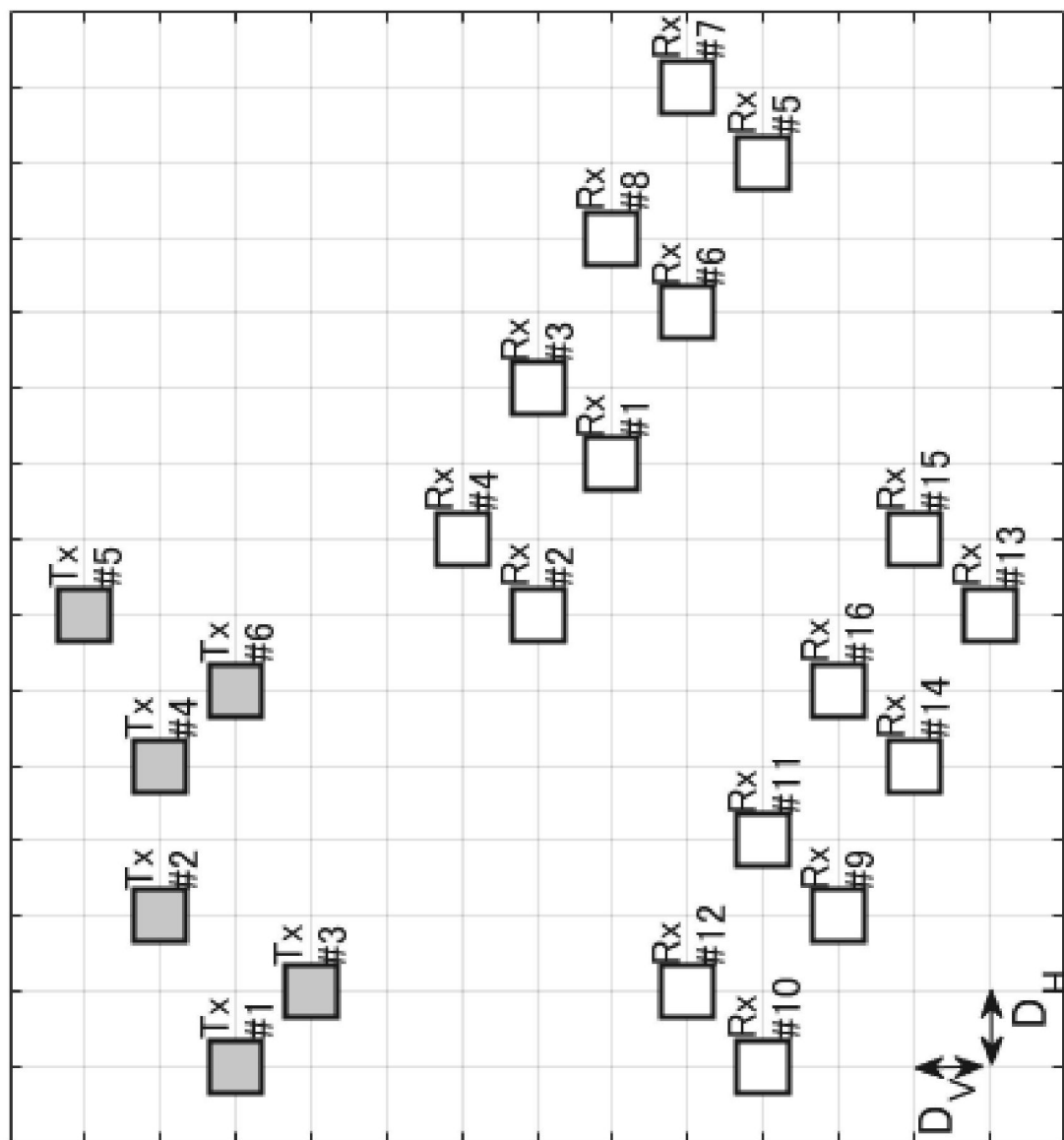


FIG. 106A

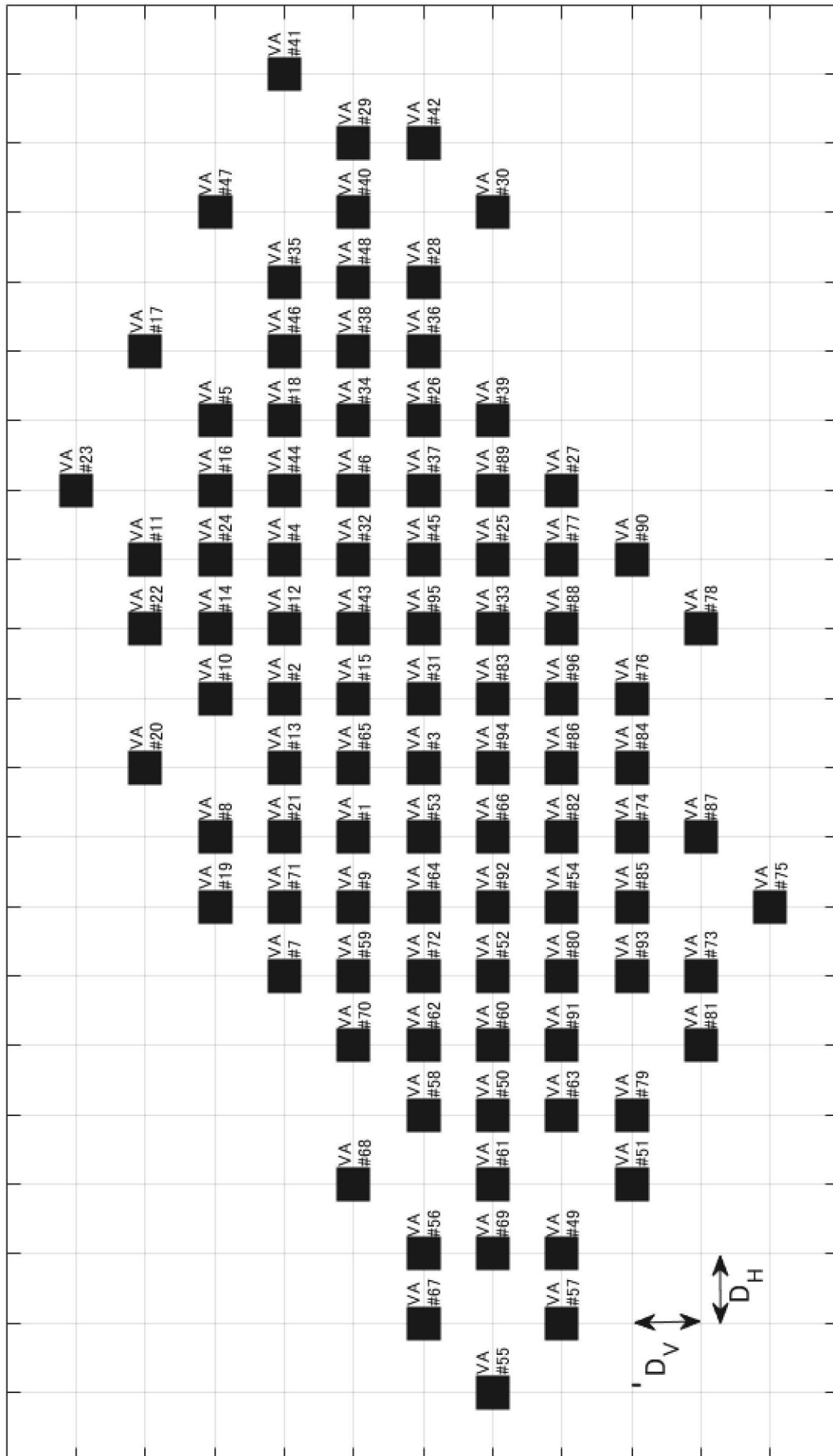
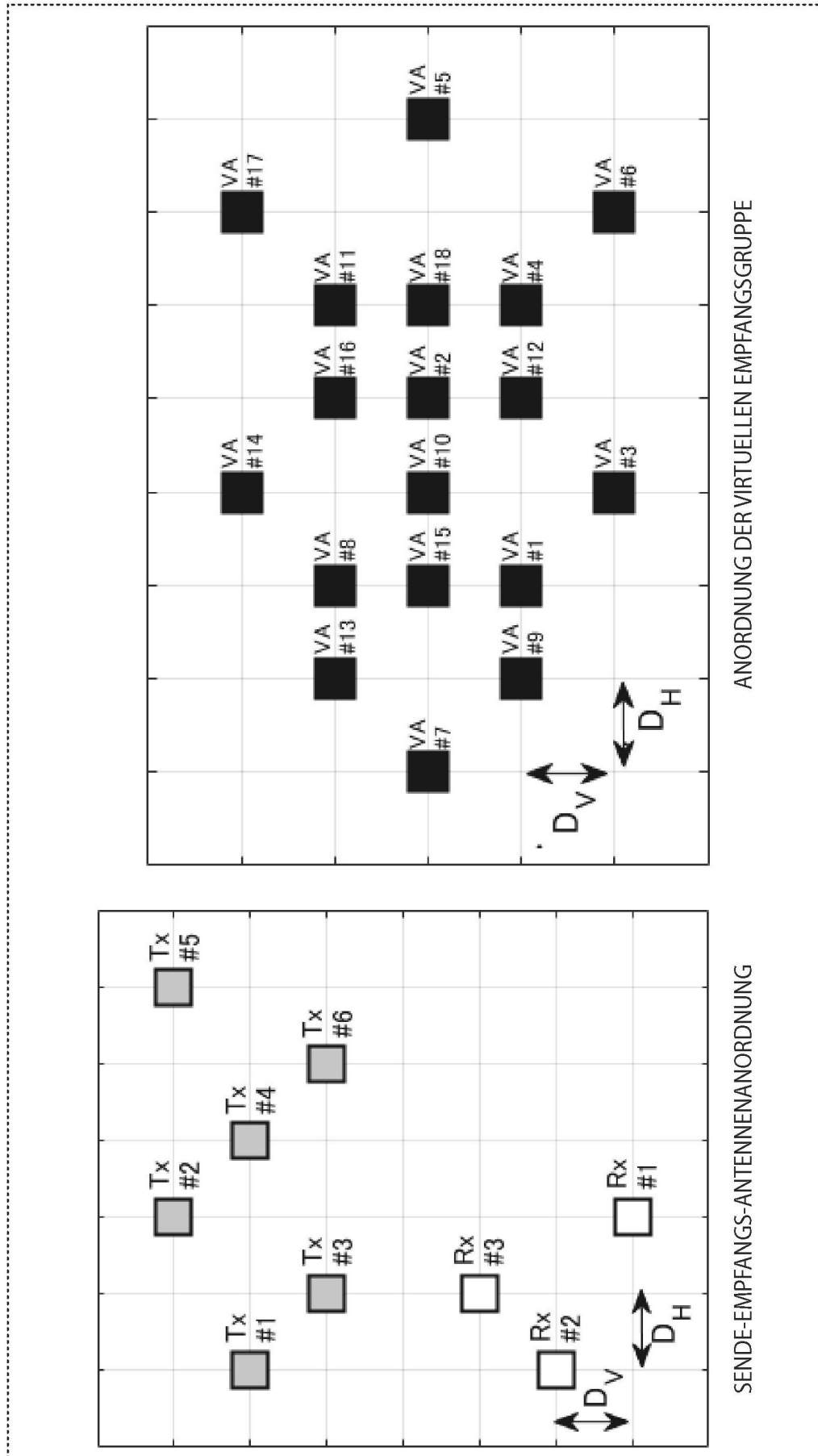


FIG. 106B



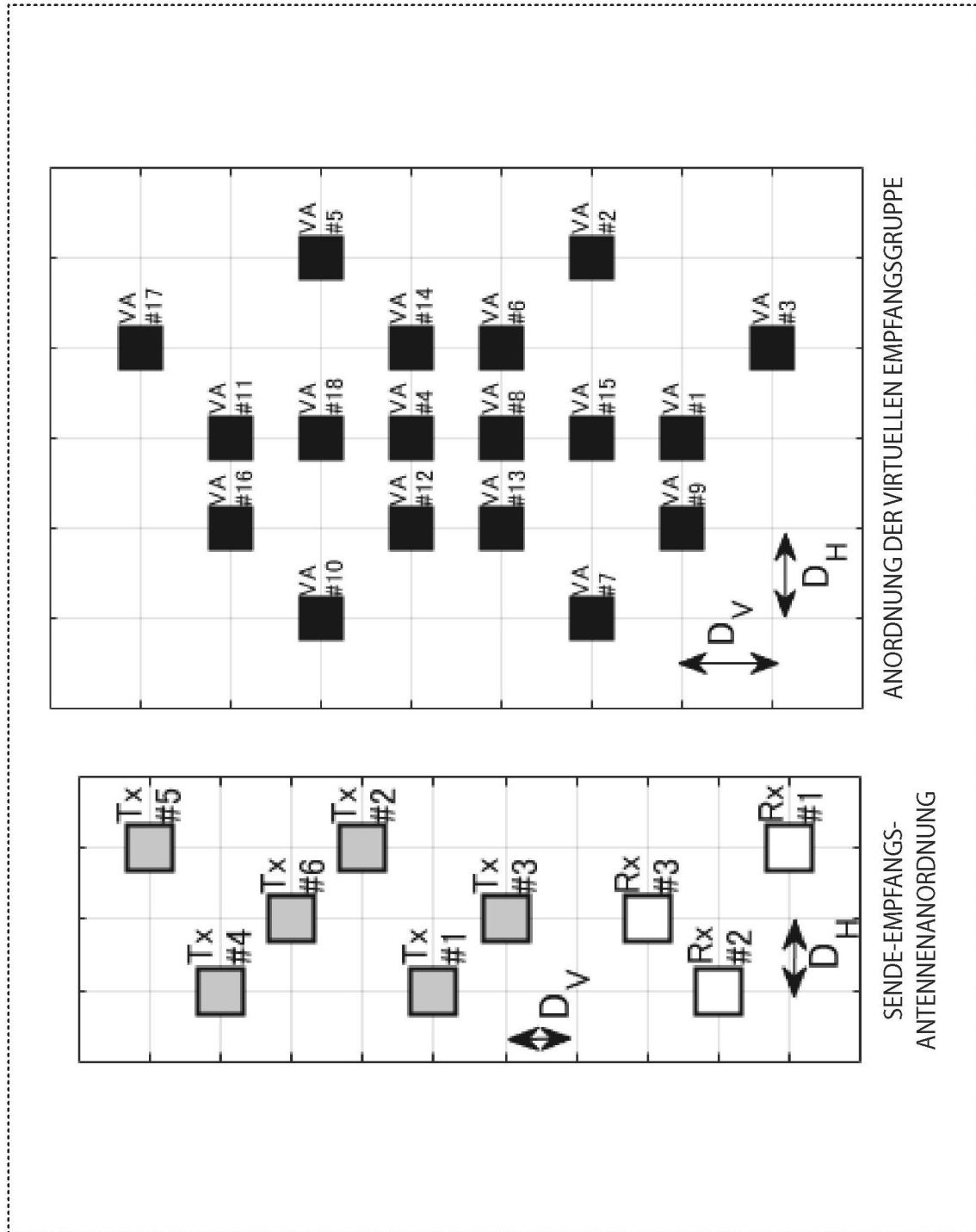


FIG. 108

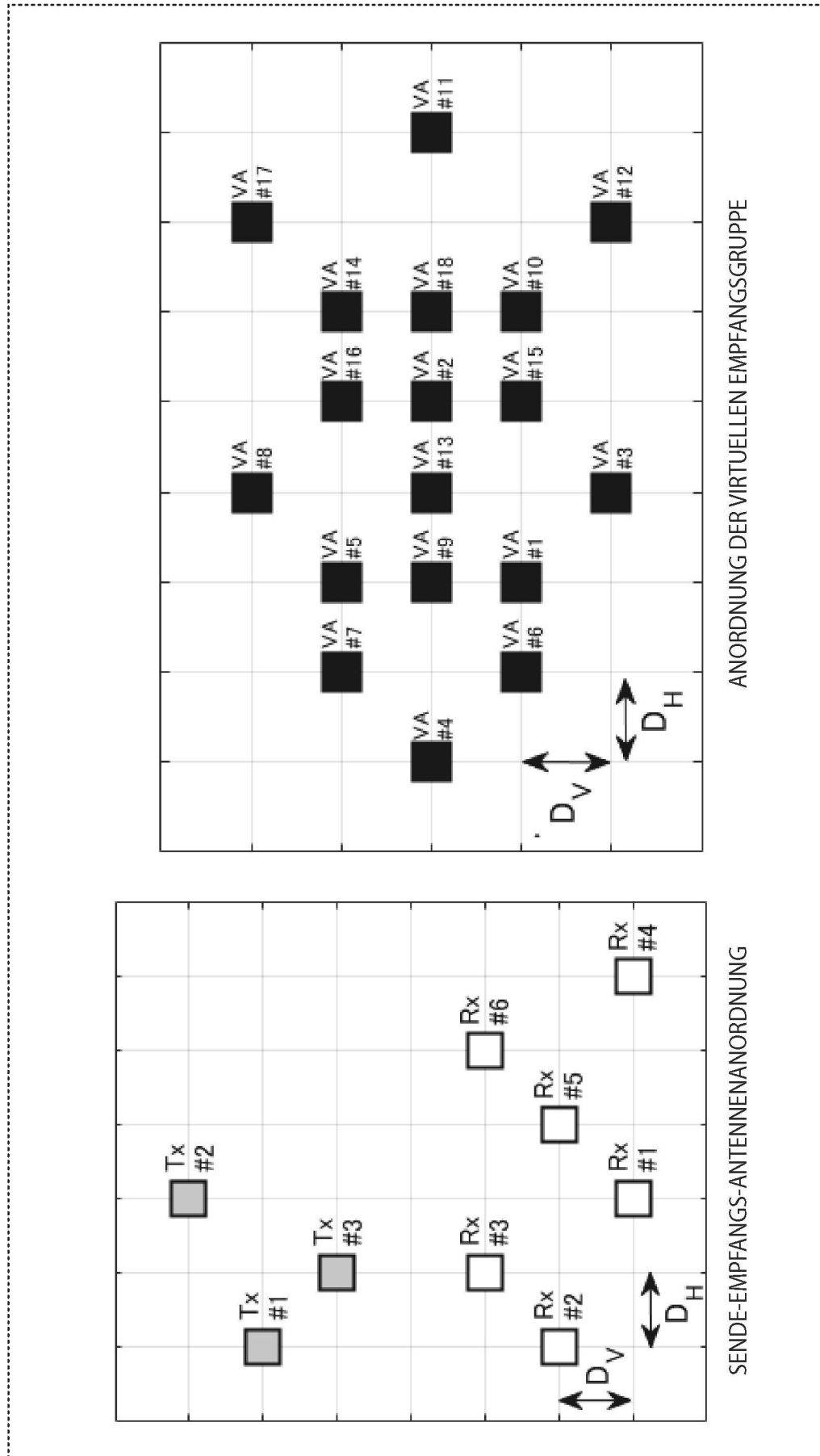


FIG. 109

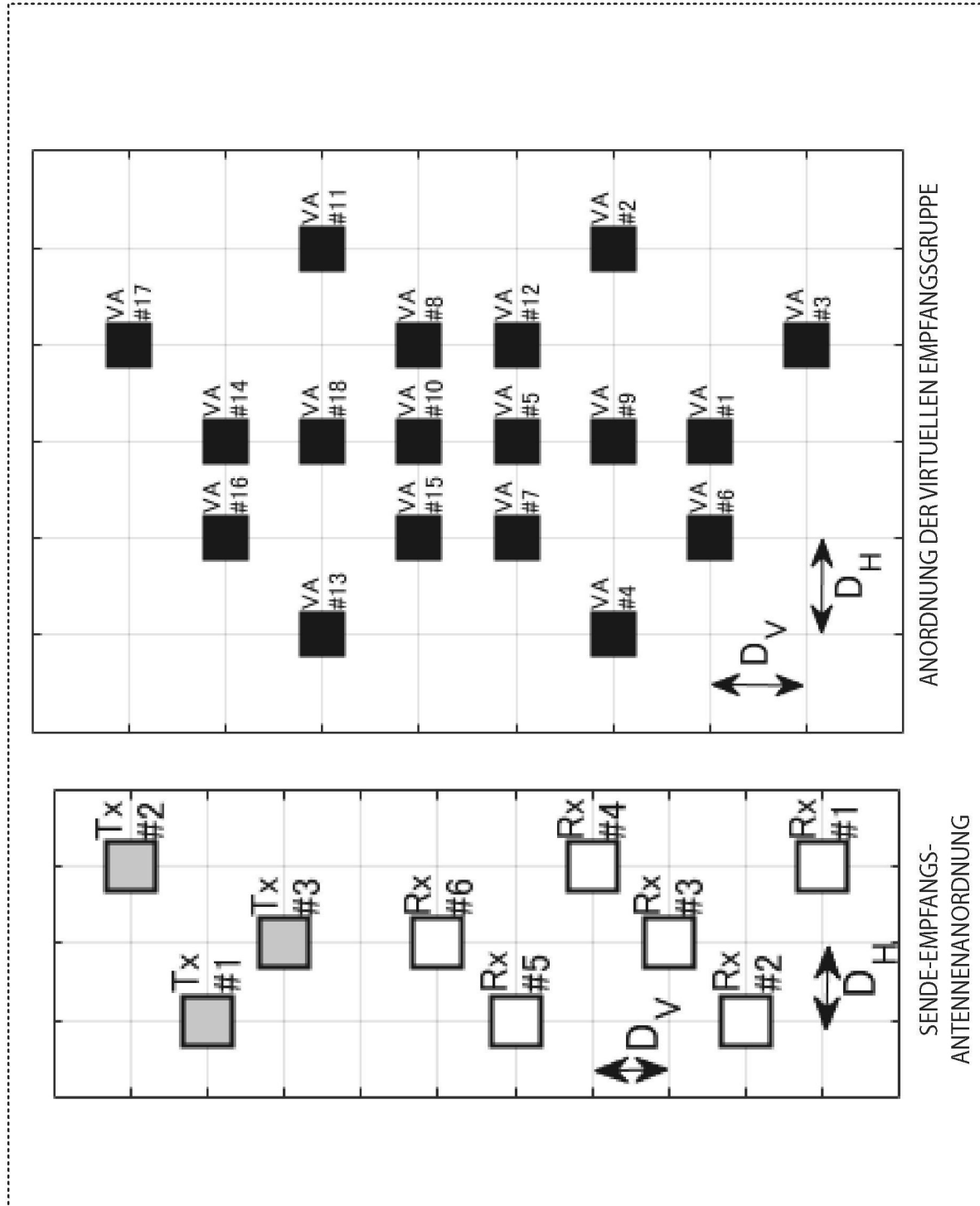


FIG. 110

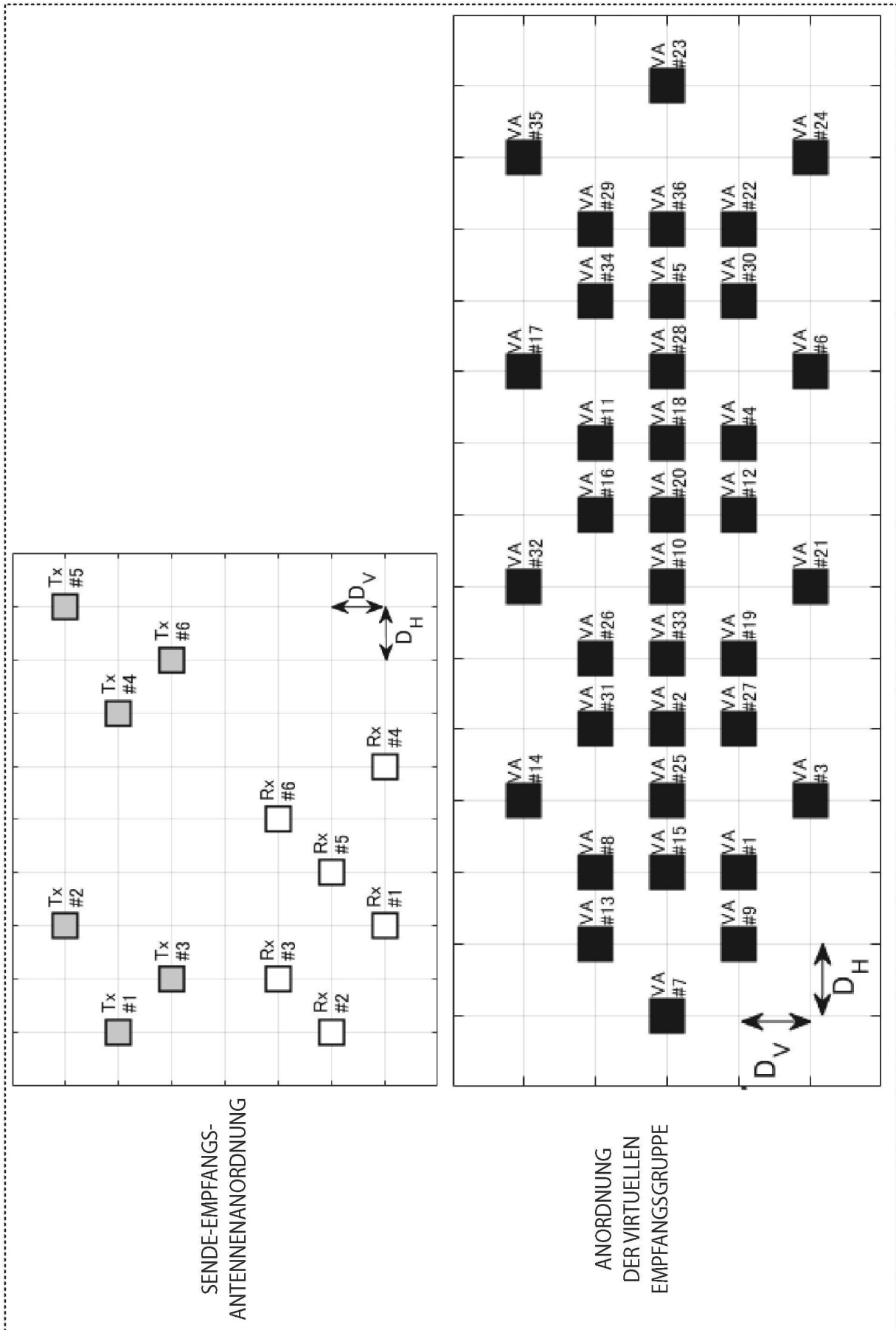


FIG. 111

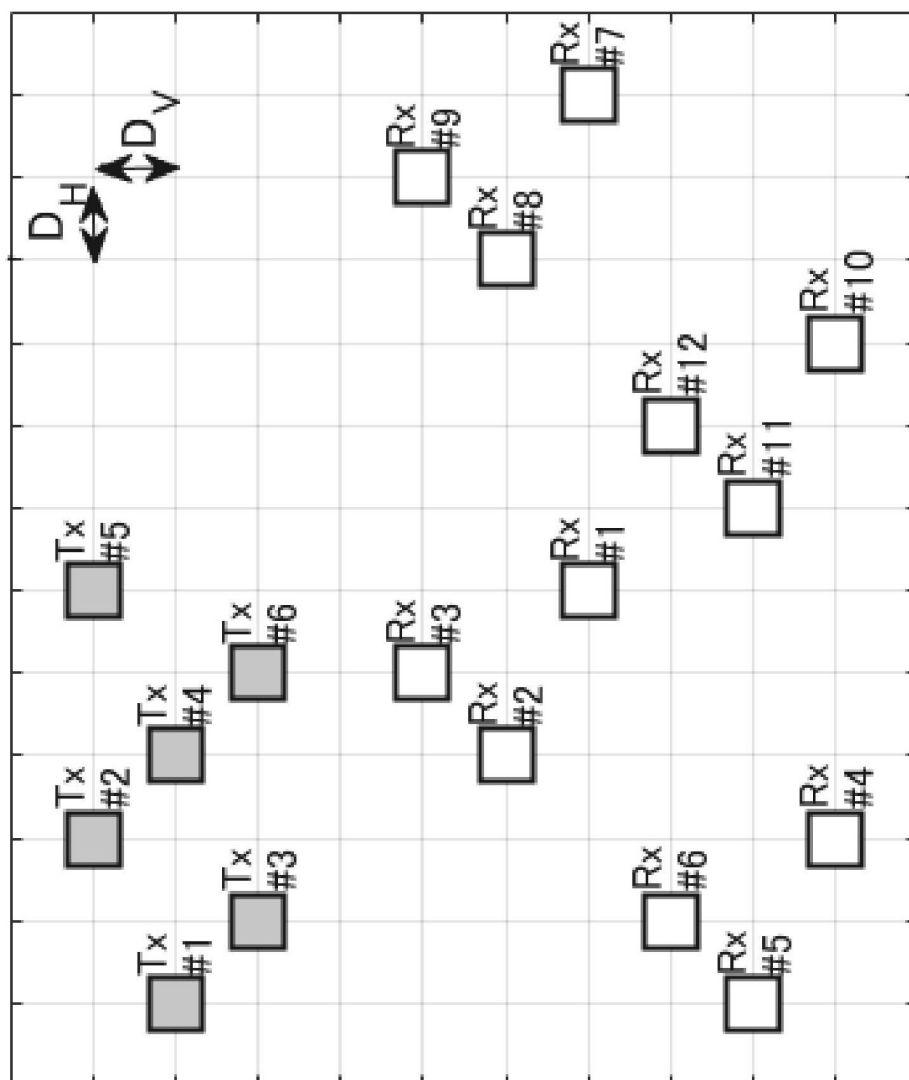


FIG. 112A

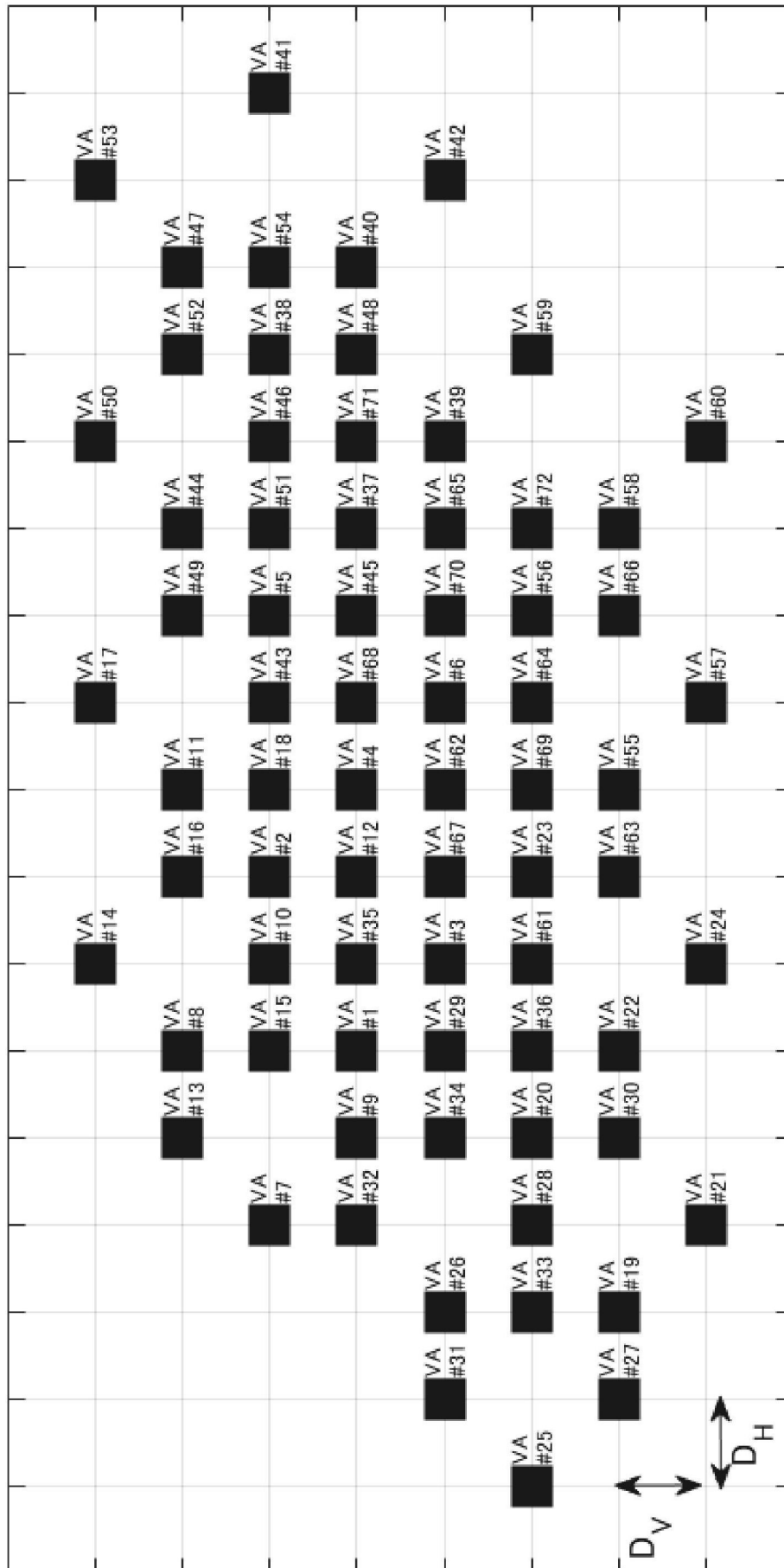


FIG. 112B