

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. November 2020 (19.11.2020)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/229140 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 7/03 (2006.01) G01S 7/02 (2006.01)  
G01S 13/34 (2006.01) G01S 13/87 (2006.01)  
G01S 13/42 (2006.01) G01S 17/00 (2020.01)  
G01S 13/58 (2006.01) G01S 17/34 (2020.01)  
G01S 13/931 (2020.01) G01S 17/931 (2020.01)

(71) Anmelder: SIEMENS MOBILITY GMBH [DE/DE]; Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München (DE).

(72) Erfinder: EDSTALLER, Stefan; Augaßen 49, 84567 Erlbach (DE). MÜLLER, Dominikus Joachim; Eulenstr. 7, 82223 Eichenau (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/061484

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(22) Internationales Anmeldedatum:  
24. April 2020 (24.04.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

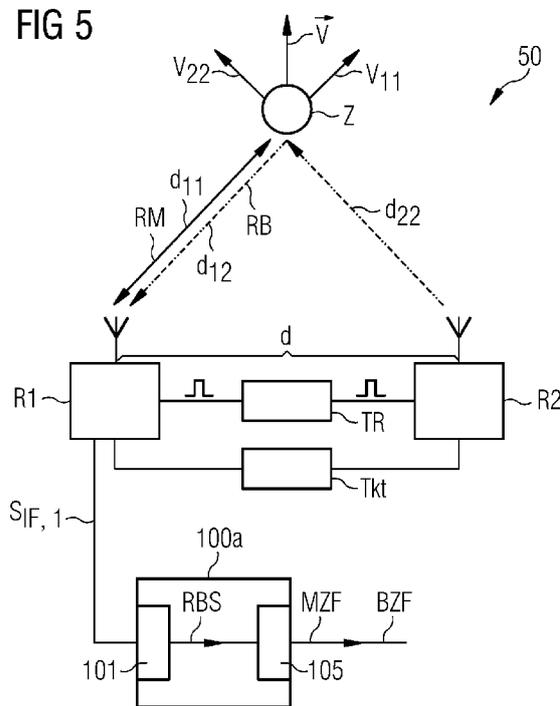
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2019 206 806.5  
10. Mai 2019 (10.05.2019) DE

(54) Title: DETERMINATION OF THE SPEED AND THE DISTANCE OF OBJECTS FROM A SENSOR SYSTEM

(54) Bezeichnung: ERMITTLUNG DER GESCHWINDIGKEIT UND DES ABSTANDS VON OBJEKTEN ZU EINEM SENSORSYSTEM

FIG 5



(57) Abstract: The invention relates to a beat frequency measuring method. The beat frequency measuring method measures monostatically an electromagnetic reflection signal, which comprises a reflection signal (RM) from a target object (Z), using at least one of at least two sensors in a cooperative sensor system. In addition, an electromagnetic reflection signal (RB), which comprises a reflection signal from a target object (Z), is measured bistatically by at least two sensors of the cooperative sensor system. In addition, a beat spectrum (RBS,  $BS_k$ ) is determined on the basis of the measured data (RM, RB). The beat spectrum (RBS,  $BS_k$ ) here comprises a low-frequency monostatic range (MB), which is assigned to the monostatic reflection signal (RM), and a higher frequency bistatic range (BB), which is assigned to the bistatic reflection signal (RB). A monostatic beat frequency (MZF) of the target object (Z) in the monostatic range (MB) and a bistatic beat frequency (BZF) of the target object (Z) in the bistatic range (BB) are determined on the basis of the determined beat spectrum (RBS). The at least two sensors (R1, R2) are either operated fully coherently by a common pulse, being synchronized via an electrical cable joint or by wireless connection between the two radar sensors, or alternatively the at least two sensors (R1, R2) are operated quasicohherently by an additional monostatic and bistatic measurement of a reference target (RO), the position of which is known. The invention also relates to a position determination method. A speed determination method is also described. The invention further describes a beat spectrum measuring apparatus (60). The invention additionally relates to a position determining device (130). The invention also relates to a speed determination device (120). A movable object is also described.

WO 2020/229140 A1

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

**(57) Zusammenfassung:** Es wird ein Beatfrequenz-Messverfahren beschrieben. Bei dem Beatfrequenz-Messverfahren wird ein elektromagnetisches Reflexionssignal, welches ein Reflexionssignal (RM) eines Zielobjekts (Z) umfasst, mit mindestens einem von mindestens zwei Sensoren eines kooperativen Sensorsystems monostatisch gemessen. Weiterhin wird ein elektromagnetisches Reflexionssignal (RB), welches ein Reflexionssignal eines Zielobjekts (Z) umfasst, mit mindestens zwei Sensoren des kooperativen Sensorsystems bistatisch gemessen. Es erfolgt überdies ein Ermitteln eines Beatspektrums (RBS, BS<sub>k</sub>) auf Basis der erfassten Messdaten (RM, RB). Dabei umfasst das Beatspektrum (RBS, BS<sub>k</sub>) einen niederfrequenten monostatischen Bereich (MB), welcher dem monostatischen Reflexionssignal (RM) zugeordnet ist, und einen höherfrequenten bistatischen Bereich (BB), welcher dem bistatischen Reflexionssignal (RB) zugeordnet ist. Auf Basis des ermittelten Beatspektrums (RBS) wird eine monostatische Beatfrequenz (MZF) des Zielobjekts (Z) im monostatischen Bereich (MB) und eine bistatische Beatfrequenz (BZF) des Zielobjekts (Z) im bistatischen Bereich (BB) ermittelt. Die mindestens zwei Sensoren (R1, R2) werden entweder durch einen gemeinsamen Takt vollkohärent betrieben, wobei eine Synchronisierung über eine elektrische Kabelverbindung oder per Funkverbindung zwischen den beiden Radarsensoren erfolgt, oder alternativ werden die mindestens zwei Sensoren (R1, R2) durch eine zusätzliche monostatische und bistatische Messung eines Referenzziels (RO), dessen Position bekannt ist, quasikohärent betrieben werden. Es wird auch ein Positionsermittlungsverfahren beschrieben. Zudem wird ein Geschwindigkeitsermittlungsverfahren beschrieben. Ferner wird eine Beatspektrum-Messeinrichtung (60) beschrieben. Überdies wird eine Positionsermittlungseinrichtung (130) beschrieben. Daneben wird auch eine Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung (120) beschrieben. Es wird auch ein bewegliches Objekt beschrieben.

Nachanmeldefassung

1

Beschreibung

Ermittlung der Geschwindigkeit und des Abstands von Objekten zu einem Sensorsystem

5

Die Erfindung betrifft ein Beatfrequenz-Messverfahren. Bei dem Beatfrequenz-Messverfahren erfolgt eine Messung von Reflexionssignalen von einem Zielobjekt zur Positions- und Geschwindigkeitsermittlung. Die Erfindung betrifft auch ein Positionsermittlungsverfahren. Zudem betrifft die Erfindung ein Geschwindigkeitsermittlungsverfahren. Ferner betrifft die Erfindung eine Beatspektrum-Messeinrichtung. Überdies betrifft die Erfindung eine Positionsermittlungseinrichtung. Daneben betrifft die Erfindung auch eine Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung. Außerdem betrifft die Erfindung auch ein bewegliches Objekt.

15

Autonomes Fahren erfordert eine genaue Kenntnis der Position und Geschwindigkeit von in der Nähe einer Fahrtstrecke eines autonom gesteuerten Fahrzeugs befindlichen Objekten. Zur Abstands- und Geschwindigkeitsermittlung werden oft Radarsysteme eingesetzt. Allerdings messen Radarsysteme immer nur die radiale Geschwindigkeit in Richtung vom Sensor zum Objekt. Eine vektorielle Geschwindigkeitsmessung, welche die Geschwindigkeitskomponenten eines Objekts in allen Raumrichtungen bestimmt, wäre besonders wünschenswert. Die Bestimmung einzelner vektorieller Geschwindigkeitskomponenten könnte zum Beispiel auch für die Berechnung der Bewegungsrichtung von Objekten genutzt werden.

20

25

30

Die Erkennung der Bewegungsrichtung von Fahrzeugen spielt im Bereich des autonomen Fahrens zum Beispiel bei der Spurwechselerkennung von vorausfahrenden oder nachfolgenden Fahrzeugen eine Rolle. Dadurch könnte eine Unterscheidung von Spurwechsel- und Bremsvorgängen ermöglicht werden, welche zu sicherheitskritischen Szenarien führen können. Beispiele für

35

Spurwechselfvorgänge und Bremsvorgänge sind in FIG 1 bis FIG 4 dargestellt.

5 Bisher werden mit Radargeräten und Radarsystemen keine vektoriellen Geschwindigkeiten gemessen. Die Bewegungsrichtung in Kombination mit der Geschwindigkeit kann zum Beispiel mit Hilfe von Radar- oder Lidarsensoren zusammen mit komplexen Objekttrackingalgorithmen ermittelt werden. Die Bewegungsrichtung wird bei einer solchen Vorgehensweise mit Hilfe von  
10 mehreren Messungen und Range-Doppler- und Range-Azimut-Auswertungen geschätzt. Vektorielle Geschwindigkeitskomponenten werden dabei jedoch nicht direkt gemessen.

Bei Sensorsystemen mit Trackingalgorithmen müssen oft mehrere  
15 Messreihen durchgeführt werden, um Aussagen über die Bewegungsrichtung von Objekten treffen zu können. Insbesondere bei zeitkritischen Anwendungen, wie dem autonomen Fahren ist aber der Rechenaufwand dafür zu hoch, um in Echtzeit Informationen liefern zu können.

20 Herkömmliche Spurwechselassistenten messen, ob sich auf nebenliegenden Fahrspuren in einem gewissen Abstand Fahrzeuge befinden, ohne die vektorielle Geschwindigkeit dieser Fahrzeuge zu ermitteln.

25 In LIPA, B.: HF Radar Bistatic Measurement of Surface Current Velocities: Drifter Comparisons and Radar Consistency Checks. In: Remote Sensing, Vol. 1, 2009. S. 1190-1211. - ISSN 2072-4292 wird eine Geschwindigkeitsbestimmung auf Basis einer  
30 bistatischen Radarmessung beschrieben.

In US 5 361 072 A wird ein kompaktes FMCW-Radarsystem beschrieben, welches mit Hilfe einer Software einen Winkel zu einem erfassten Ziel ermittelt.

35 In US 6 856 276 B2 wird die Synchronisierung von mehreren Radarsensoren mit Hilfe von GPS-Daten beschrieben.

In JP 2009 41 981 A wird ein Multi-Radarsystem zur Messung einer Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit eines Objekts beschrieben.

5 Es besteht also die Aufgabe, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Bewegungsrichtung, Position und der vektoriellen Geschwindigkeit eines Fahrzeugs zu entwickeln.

Diese Aufgabe wird durch ein Beatfrequenz-Messverfahren gemäß  
10 Patentanspruch 1, ein Positionsermittlungsverfahren gemäß Patentanspruch 7, ein Geschwindigkeitsermittlungsverfahren gemäß Patentanspruch 8, eine Beatspektrum-Messeinrichtung gemäß Patentanspruch 9, eine Positionsermittlungseinrichtung gemäß Patentanspruch 11, eine Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung gemäß Patentanspruch 12 und ein bewegliches Objekt gemäß  
15 Patentanspruch 13 gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Beatfrequenz-Messverfahren wird ein elektromagnetisches Reflexionssignal, welches ein Reflexions-  
20 signal eines Zielobjekts umfasst, mit mindestens einem von mindestens zwei Sensoren eines kooperativen Sensorsystems monostatisch gemessen. Als monostatische Messung soll in diesem Zusammenhang verstanden werden, dass Emitter und Empfänger zur Erzeugung bzw. zum Empfang des elektromagnetischen Sig-  
25 nals bzw. Reflexionssignals an derselben Position bzw. sehr nahe beieinander angeordnet sind und einen gemeinsamen aktiven Sensor bilden. Ein Zielobjekt kann zum Beispiel ein Fahrzeug oder ein in einem Bewegungsbereich eines sich bewegenden Objekts befindlicher mobiler oder feststehender Gegenstand  
30 sein.

Weiterhin wird ein elektromagnetisches Reflexionssignal, welches ein Reflexionssignal eines Zielobjekts umfasst, mit mindestens einem von zwei Sensoren des kooperativen Sensorsystems bistatisch gemessen. Bei einer bistatischen Messung werden  
35 zwei Sensoren genutzt, wobei ein erster Sensor als aktiver Sensor bzw. als Sendeeinheit genutzt wird, während ein

zweiter Sensor als Empfangseinheit für einen Empfang des Reflexionssignals eingesetzt wird. Beide Sensoren werden vorzugsweise durch ein gemeinsames Triggersignal ausgelöst. Das gemeinsame Triggersignal stellt sicher, dass die bistatische Antwort innerhalb der durch Hardware und Software vorgegebenen Grenzen, wie zum Beispiel die Bandbreite der Beatfrequenz, die Rampenkonfiguration und die Abtastfrequenz des Analog-Digital-Wandlers gemessen wird. Ein AD-Wandler wird zur Wandlung der analogen Messsignale in weiterverarbeitbare digitale Daten benötigt.

Die Abtastfrequenz des Analog-digital-Wandlers gibt die größte messbare Beatfrequenz vor. Das Triggersignal muss sicherstellen, dass die bistatische Antwort innerhalb dieser maximalen Beatfrequenz liegt. Meist wird die Abtastfrequenz in Abhängigkeit von der maximalen Bandbreite der Beatfrequenz gewählt, sodass die Begrenzung durch die Abtastfrequenz keine Rolle spielt.

Es erfolgt überdies ein Ermitteln eines Beatspektrums auf Basis der erfassten Messdaten. Dabei umfasst das Beatspektrum einen niederfrequenten monostatischen Bereich, welcher dem monostatischen Reflexionssignal zugeordnet ist, und einen höherfrequenten bistatischen Bereich, welcher dem bistatischen Reflexionssignal zugeordnet ist. Auf Basis des ermittelten Beatspektrums wird eine monostatische Beatfrequenz des Zielobjekts im monostatischen Bereich und eine bistatische Beatfrequenz des Zielobjekts im bistatischen Bereich ermittelt. D.h., dem Zielobjekt kann eine bestimmte Frequenz sowohl im monostatischen Bereich als auch im bistatischen Bereich des Beatspektrums zugeordnet werden. Diese Frequenz kann zum Beispiel durch eine charakteristische Gestalt des Beatspektrums in dem Bereich der Frequenz des Zielobjekts identifiziert werden. Beispielsweise kann bei der Frequenz des Zielobjekts ein erhöhter Intensitätswert gemessen werden.

Die mindestens zwei Sensoren werden entweder durch einen gemeinsamen Takt vollkohärent betrieben, wobei eine Synchronisierung über eine elektrische Kabelverbindung oder per Funkverbindung zwischen den beiden Radarsensoren erfolgt, oder  
5 alternativ werden die mindestens zwei Sensoren durch eine zusätzliche monostatische und bistatische Messung eines Referenzziels, dessen Position bekannt ist, quasi-kohärent betrieben. Die erste Variante erlaubt einen exakt synchronisierten Betrieb der beiden Sensoren, was für eine korrekte  
10 Auswertung der bistatischen Messung notwendig ist. Die alternative Variante gibt über eine Referenzmessung die benötigte Information, um bei der Auswertung der Messungen einen Frequenzoffset der bistatischen Messung im Vergleich zu der monostatischen Messung zu ermitteln.

15

Als vollkohärenter Betrieb soll in diesem Zusammenhang verstanden werden, dass die mindestens zwei Sensoren durch ein Taktsignal synchronisiert werden. Im vollkohärenten Betrieb kommt es nicht zu Frequenzverschiebungen im bistatischen Bereich des ermittelten Beatspektrums, so dass eine Korrektur  
20 des gemessenen Beatspektrums mit Hilfe eines Referenzziels nicht notwendig ist. Eine solche Lösung ist insbesondere bei an mobilen Einheiten angeordneten Sensoren vorteilhaft, da sich dort die Sensoren mitbewegen und Abstände zu Referenzobjekten möglicherweise nicht immer exakt bekannt sind.  
25

Im quasi-kohärenten Betrieb erfolgt keine gemeinsame Taktung der mindestens zwei Sensoren. Verschiebungen im Beatspektrum werden durch Messung einer Entfernung eines Referenzobjekts  
30 kompensiert. Diese Vorgehensweise ist bei einer stationären Anordnung von Sensoren, beispielsweise an Einheiten der Verkehrs- oder Straßeninfrastruktur vorteilhaft. Denn dort sind Abstände zu möglichen Referenzobjekten bekannt. Eine gemeinsame Taktung der Sensoren kann hier eingespart werden.

35

Insbesondere bei autonom fahrenden Fahrzeugen werden eine Vielzahl von Sensoren genutzt. Diese können zum Beispiel Radarsensoren umfassen. Die vorhandene Mehrzahl an Sensoren

kann nun beispielsweise vorteilhaft dazu genutzt werden, monostatische und zusätzlich bistatische Beatspektren von im Fahrbereich von Fahrzeugen befindlichen Objekten zu ermitteln und den Objekten charakteristische Frequenzen in den

5 Beatspektren zuzuordnen. Auf Basis dieser Messdaten lassen sich Entfernungen, Positionen und vektorielle Geschwindigkeiten von Objekten bestimmen. Vorteilhaft kann die Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Objektdetektion im Rahmen der autonomen Mobilität verbessert werden. Zudem kann bei der erfindungsgemäßen Vorgehensweise sowohl das bistatische Reflexionssignal als auch das monostatische Reflexionssignal von ein- und demselben Sensor, genauer gesagt, dem ersten Sensor

10 erfasst werden. D.h., es werden nur die Messsignale von einem einzelnen Sensor benötigt. Dadurch wird der Signalverarbeitungsaufwand und der Speicheraufwand im Vergleich zu einem Empfang von Messsignalen über mehrere Sensoren reduziert. Auch werden weniger Übertragungsleitungen für eine Übertragung der Messsignale benötigt, um die Messsignale zur Auswertung an eine Recheneinheit zu übermitteln. Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht auf den Einsatz von zwei Sensoren

15 beschränkt. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen oder um Redundanz für sicherheitskritische Anwendungen zu erzielen, können auch Messdaten von weiteren Sensoren zur Verarbeitung genutzt werden.

25

Bei dem erfindungsgemäßen Positionsermittlungsverfahren wird zunächst das erfindungsgemäße Beatfrequenz-Messverfahren durchgeführt. Außerdem wird eine erste Laufzeit  $\tau_{11}$  des monostatischen Reflexionssignals auf Basis der Frequenz des Zielobjekts im monostatischen Bereich des ermittelten Beatspektrums ermittelt. Zudem wird eine zweite Laufzeit  $\tau_{12}$  des bistatischen Reflexionssignals auf Basis der Frequenz des Zielobjekts im bistatischen Bereich des ermittelten Beatspektrums ermittelt. Die Laufzeiten verhalten sich proportional zu der monostatischen bzw. bistatischen Frequenz des

30 Zielobjekts. Auf Basis der ermittelten Laufzeiten  $\tau_{11}$ ,  $\tau_{12}$  werden Abstände  $d_{11}$ ,  $d_{12}$  der Sensoren zu dem Zielobjekt ermittelt. Schließlich wird eine Position des Zielobjekts durch

35

Triangulation auf Basis der ermittelten Abstände  $d_{11}$ ,  $d_{12}$  er-  
mittelt. Ist zum Beispiel der Abstand zwischen den beiden  
Sensoren bekannt, so lässt sich aus den drei bekannten Sei-  
tenlängen eines von den Sensoren und dem Zielobjekt aufge-  
spannten Dreiecks die Position des Zielobjekts berechnen.

Bei dem erfindungsgemäßen Geschwindigkeitsermittlungsverfah-  
ren wird das erfindungsgemäße Beatfrequenz-Messverfahren  
durchgeführt. Weiterhin wird eine erste Dopplerfrequenz des  
monostatischen Reflexionssignals des Zielobjekts im monosta-  
tischen Bereich des ermittelten Beatspektrums ermittelt. Zu-  
dem wird eine zweite Dopplerfrequenz des bistatischen Refle-  
xionssignals des Zielobjekts im bistatischen Bereich des er-  
mittelten Beatspektrums ermittelt. Auf Basis der ersten Dopp-  
lerfrequenz wird eine erste Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  des  
Zielobjekts ermittelt. Überdies wird eine zweite Geschwindig-  
keitskomponente  $v_{22}$  des Zielobjekts auf Basis der zweiten  
Dopplerfrequenz und der ersten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$   
ermittelt. Auf Basis der ermittelten ersten Geschwindigkeits-  
komponente  $v_{11}$  und der ermittelten zweiten Geschwindigkeits-  
komponente  $v_{22}$  wird schließlich eine vektorielle Geschwindig-  
keit  $V$  des Zielobjekts ermittelt.

Die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung zum Ermit-  
teln eines Beatspektrums weist einen ersten Sensor zum mono-  
statischen Messen eines elektromagnetischen Reflexionssignals  
auf, welches ein Reflexionssignal eines Zielobjekts umfasst.  
Teil der erfindungsgemäßen Beatspektrum-Messeinrichtung ist  
auch ein zweiter Sensor mit bekanntem Abstand  $d$  zu dem ersten  
Sensor zum bistatischen Messen eines elektromagnetischen Re-  
flexionssignals, welches ein Reflexionssignal des Zielobjekts  
umfasst. Die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung  
weist auch eine Spektrum-Ermittlungseinheit zum Ermitteln ei-  
nes Rohdaten-Beatspektrums auf Basis der erfassten Messdaten  
auf, wobei das Rohdaten-Beatspektrum einen niederfrequenten  
monostatischen Bereich, welcher dem monostatischen Reflexi-  
onssignal zugeordnet ist, und einen höherfrequenten bistati-

schen Bereich, welcher dem bistatischen Reflexionssignal zugeordnet ist, umfasst. Überdies umfasst die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung eine Beatfrequenzermittlungseinheit zum Ermitteln einer monostatischen Beatfrequenz des Zielobjekts im monostatischen Bereich auf Basis des ermittelten Beatspektrums und zum Ermitteln einer bistatischen Beatfrequenz des Zielobjekts im bistatischen Bereich auf Basis des ermittelten Beatspektrums. Die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung umfasst auch eine elektrische Kabelverbindung oder Funkverbindung zwischen den mindestens zwei Sensoren zum vollkohärenten Betrieb mit einem gemeinsamen Takt, wobei eine Synchronisierung über die elektrische Kabelverbindung oder die Funkverbindung zwischen den beiden Sensoren erfolgt, oder alternativ ein Referenzziel, dessen Position bekannt ist, für einen quasi-kohärenten Betrieb der mindestens zwei Sensoren durch eine zusätzliche monostatische und bistatische Messung des Referenzziels.

Die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung teilt die Vorteile des erfindungsgemäßen Beatspektrum-Messverfahrens. Wie bereits erwähnt, kann die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung auch mehr als zwei Sensoren umfassen, um die Messgenauigkeit zu erhöhen oder um Redundanz für sicherheitskritische Anwendungen zu erzielen. Die verwendeten Sensoren können jeweils mit einem einzelnen Sende- und Empfangskanal ausgestattet sein, wodurch der Aufwand im Vergleich zu Mehrkanalsystemen reduziert ist.

Um den Hardwareaufwand für eventuell noch zusätzliche Sensoren zur Verbesserung von Genauigkeit und Zuverlässigkeit für die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung weiter zu reduzieren, kann die Beatspektrum-Messeinrichtung als Master-Slave-System ausgebildet sein. Dabei kann ein Sensor als Master ausgelegt sein und mit einer Sende- und Empfangseinheit ausgestattet sein. Die Slave-Sensoren umfassen dann jeweils nur eine Sendeeinheit für die Erzeugung eines Messsignals, wodurch sich eine kompakte und kostengünstige Messeinrichtung ergibt.

Die erfindungsgemäße Positionsermittlungseinrichtung weist die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung auf. Weiterhin umfasst die erfindungsgemäße Positionsermittlungseinrichtung eine Laufzeitermittlungseinheit zum Ermitteln einer ersten Laufzeit  $\tau_{11}$  des monostatischen Reflexionssignals auf Basis der Frequenz des Zielobjekts im monostatischen Bereich des ermittelten Beatspektrums und zum Ermitteln einer zweiten Laufzeit  $\tau_{12}$  des bistatischen Reflexionssignals auf Basis der Frequenz des Zielobjekts im bistatischen Bereich des ermittelten Beatspektrums. Teil der erfindungsgemäßen Positionsermittlungseinrichtung ist auch eine Abstandsermittlungseinheit zum Ermitteln von Abständen  $d_{11}$ ,  $d_{12}$  der Sensoren zu dem Zielobjekt auf Basis der ermittelten Laufzeiten  $\tau_{11}$ ,  $\tau_{12}$ . Schließlich umfasst die erfindungsgemäße Positionsermittlungseinrichtung auch eine Positionsermittlungseinheit zum Ermitteln einer Position des Zielobjekts durch Triangulation auf Basis der ermittelten Abstände  $d_{11}$ ,  $d_{12}$ .

Vorteilhaft lässt sich eine Positionsbestimmung mit Hilfe von Messdaten durchführen, die von einem einzelnen Radarsensor kommen. Wie bereits erwähnt, lässt sich dadurch der Signalverarbeitungsaufwand und der Speicheraufwand sowie der infrastrukturelle Aufwand für die Datenübermittlung verringern.

25

Die erfindungsgemäße Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung umfasst die erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung. Teil der erfindungsgemäßen Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung ist auch eine Dopplerfrequenz-Ermittlungseinheit zum Ermitteln einer ersten Dopplerfrequenz des monostatischen Reflexionssignals des Zielobjekts im monostatischen Bereich des ermittelten Beatspektrums und zum Ermitteln einer zweiten Dopplerfrequenz des bistatischen Reflexionssignals des Zielobjekts im bistatischen Bereich des ermittelten Beatspektrums. Die erfindungsgemäße Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung weist auch eine Geschwindigkeitskomponenten-Ermittlungseinheit zum Ermitteln einer ersten Geschwindigkeitskom-

ponente  $v_{11}$  des Zielobjekts auf Basis der ersten Dopplerfrequenz und zum Ermitteln einer zweiten Geschwindigkeitskomponente  $v_{22}$  des Zielobjekts auf Basis der zweiten Dopplerfrequenz und der ersten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  auf. Ferner umfasst die erfindungsgemäße Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung eine Geschwindigkeits-Ermittlungseinheit zum Ermitteln einer vektoriellen Geschwindigkeit  $v$  des Zielobjekts auf Basis der ermittelten ersten und zweiten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$ ,  $v_{22}$ . Mit einem kooperativen Sensorsystem ist eine vektorielle Geschwindigkeitsmessung in allen Raumrichtungen und damit eine Berechnung der Bewegungsrichtung von Objekten möglich. Im Gegensatz zu herkömmlichen Herangehensweisen, wie zum Beispiel der Einsatz von Sensorsystemen mit Trackingalgorithmen, ist eine vektorielle Geschwindigkeitsmessung auf Basis einer einzigen Messreihe möglich. Mit hin kann der Rechenaufwand reduziert werden, wodurch Echtzeitanwendungen, wie sie bei der autonomen Mobilität auftreten, leichter realisiert werden.

Das erfindungsgemäße bewegliche Objekt umfasst eine Steuerungseinheit zur autonomen oder zumindest teilautonomen Steuerung einer Bewegung des beweglichen Objekts und eine erfindungsgemäße Beatspektrum-Messeinrichtung und/oder eine erfindungsgemäße Positionsermittlungseinrichtung und/oder eine erfindungsgemäße Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung. Das erfindungsgemäße bewegliche Objekt kann zum Beispiel ein autonom oder teilautonom gesteuertes Fahrzeug oder Flugobjekt umfassen.

Einige Komponenten der erfindungsgemäßen Mess- und Ermittlungseinrichtungen können zum überwiegenden Teil in Form von Softwarekomponenten ausgebildet sein. Dies betrifft insbesondere Teile der Spektrum-Ermittlungseinheit und der Beatfrequenzermittlungseinheit der Beatspektrum-Messeinrichtung, der Laufzeitermittlungseinheit, der Abstandsermittlungseinheit und der Positionsermittlungseinheit der Positionsermittlungseinrichtung und der Dopplerfrequenz-Ermittlungseinheit, der

Geschwindigkeitskomponenten-Ermittlungseinheit und der Geschwindigkeits-Ermittlungseinheit der Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung. Grundsätzlich können diese Komponenten aber auch zum Teil, insbesondere wenn es um besonders schnelle Berechnungen geht, in Form von softwareunterstützter Hardware, beispielsweise FPGAs oder dergleichen, realisiert sein. Ebenso können die benötigten Schnittstellen, beispielsweise wenn es nur um eine Übernahme von Daten aus anderen Softwarekomponenten geht, als Softwareschnittstellen ausgebildet sein. Sie können aber auch als hardwaremäßig aufgebaute Schnittstellen ausgebildet sein, die durch geeignete Software angesteuert werden.

Eine weitgehend softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass auch schon bisher in einem mobilen Objekt oder in Infrastruktur vorhandene Rechnersysteme nach einer eventuellen Ergänzung durch zusätzliche Hardwareelemente, wie zum Beispiel Sensoren, Taktgeber und Triggerbauelemente, auf einfache Weise durch ein Software-Update nachgerüstet werden können, um auf die erfindungsgemäße Weise zu arbeiten. Insofern wird die Aufgabe auch durch ein entsprechendes Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm gelöst, welches direkt in eine Speichereinrichtung eines solchen Rechnersystems ladbar ist, mit Programmabschnitten, um die durch Software realisierbaren Schritte der erfindungsgemäßen Verfahren auszuführen, wenn das Computerprogramm in dem Rechnersystem ausgeführt wird.

Ein solches Computerprogrammprodukt kann neben dem Computerprogramm gegebenenfalls zusätzliche Bestandteile, wie z.B. eine Dokumentation und/oder zusätzliche Komponenten, auch Hardware-Komponenten, wie z.B. Hardware-Schlüssel (Dongles etc.) zur Nutzung der Software, umfassen.

Zum Transport zur Speichereinrichtung des Rechnersystems und/oder zur Speicherung an dem Rechnersystem kann ein computerlesbares Medium, beispielsweise ein Memorystick, eine

Festplatte oder ein sonstiger transportabler oder fest eingebauter Datenträger dienen, auf welchem die von einer Rech-  
nereinheit einlesbaren und ausführbaren Programmabschnitte  
des Computerprogramms gespeichert sind. Die Rechereinheit  
5 kann z.B. hierzu einen oder mehrere zusammenarbeitende Mikro-  
prozessoren oder dergleichen aufweisen.

Die abhängigen Ansprüche sowie die nachfolgende Beschreibung  
enthalten jeweils besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und  
10 Weiterbildungen der Erfindung. Dabei können insbesondere die  
Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhän-  
gigen Ansprüchen einer anderen Anspruchskategorie und deren  
Beschreibungsteilen weitergebildet sein. Zudem können im Rah-  
men der Erfindung auch die verschiedenen Merkmale unter-  
15 schiedlicher Ausführungsbeispiele und Ansprüche auch zu neuen  
Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Beatfrequenz-  
Messverfahrens umfassen die Sensoren Radarsensoren. Radarwel-  
20 len eignen sich aufgrund ihrer größeren Wellenlänge von etwa  
1 bis 10m für die Detektion größerer Objekte auch in größeren  
Entfernungen und bei schlechter Sicht. Die Sensoren können  
auch Lidarsensoren umfassen. Lidarsensoren ermöglichen eine  
Detektion von Objekten mit erhöhter Auflösung, benötigen al-  
25 lerdings gute Sichtverhältnisse, um zu funktionieren. Werden  
beide Arten von Sensoren umfasst, so erfolgt eine optimale  
Objektedetektion bei jedem Wetter.

Bevorzugt umfassen die Sensoren FMCW-Sensoren. FMCW-Sensoren  
30 nutzen ein sogenanntes frequenzmoduliertes Dauerstrichradar  
(Frequency Modulated Continuous Wave radar), welches ein kon-  
tinuierliches Sendesignal abstrahlt. Ein solches FMCW-Radar  
kann seine Arbeitsfrequenz während einer Messung ändern, d.h.  
das Sendesignal wird frequenzmoduliert. Durch diese Änderun-  
35 gen in der Frequenz werden Laufzeitmessungen ermöglicht. Mit  
einem FMCW-Sensor lassen sich Entfernungen genau messen.  
Überdies kann die Entfernung und die Radialgeschwindigkeit  
gleichzeitig gemessen werden.

Bei einer quasi-kohärenten Messung erfolgt eine Kalibrierung zum Ermitteln eines korrigierten Beatspektrums. Hierzu wird eine Frequenz des Referenzziels im bistatischen Bereich auf Basis des ermittelten Rohdaten-Beatspektrums ermittelt. Auf Basis der durch die Messung ermittelten Frequenz des Referenzziels im bistatischen Bereich und einer vorbekannten Sollfrequenz des bistatischen Reflexionssignals des Referenzziels wird ein Wert  $f_{\text{diff}}$  einer Frequenzverschiebung des Beatspektrums im bistatischen Bereich ermittelt. Die Sollfrequenz kann auf Basis eines vorbekannten Abstands zu dem Referenzziel ermittelt werden bzw. bekannt sein. Schließlich wird das Rohdaten-Beatspektrum um den ermittelten Wert  $f_{\text{diff}}$  der Frequenzverschiebung verschoben.

Bei dem Referenzziel kann es sich um ein passives Referenzziel handeln, welches mit Hilfe eines aktiven Sensors angestrahlt wird und die von dem Sensor emittierten Wellen unverändert reflektiert. Vorteilhaft kann das Referenzziel sehr einfach ausgebildet sein und keinen Wartungsaufwand erfordern.

Alternativ kann das Referenzziel auch als aktives Referenzziel ausgebildet sein. Ein solches aktives Referenzziel umfasst eine Sende-/Empfangsantenne, mit der von einem aktiven Sensor emittierte Wellen empfangen werden, optional verstärkt und/oder moduliert werden und wieder ausgesendet werden. Mit einem solchen Referenzziel kann eine zuverlässige Erkennung und Identifizierung des Referenzziels erreicht werden, da es durch eine spezifische Modulation charakterisierbar ist.

In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Beatfrequenz-Messverfahrens entspricht eine Frequenz des Referenzziels im bistatischen Bereich einem Maximum des Beatspektrums. Vorteilhaft kann eine Frequenz eines Referenzziels anhand der Intensität eines Spektralwerts erkannt werden.

In einer vorteilhaften Variante der erfindungsgemäßen Beatspektrum-Messeinrichtung weist die Spektrum-Ermittlungseinheit zum Ermitteln eines korrigierten Beatspektrums eine Referenzfrequenz-Ermittlungseinheit zum Ermitteln einer Frequenz des Referenzziels im bistatischen Bereich auf Basis des ermittelten Beatspektrums auf. Teil der erfindungsgemäßen Beatspektrum-Messeinrichtung ist in dieser Variante auch eine Verschiebungsfrequenz-Ermittlungseinheit zum Ermitteln eines Werts einer Frequenzverschiebung des Beatspektrums im bistatischen Bereich, auf Basis der durch die Messung ermittelten Frequenz des Referenzziels im bistatischen Bereich und einer vorbekannten Sollfrequenz des bistatischen Reflexionssignals des Referenzziels und eine Verschiebungseinheit zum Verschieben des Rohdaten-Beatspektrums um den ermittelten Wert der Frequenzverschiebung. Vorteilhaft kann eine Kalibrierung der Beatspektrum-Messeinrichtung mit Hilfe des Referenzziels erfolgen, so dass eine genauere Frequenzmessung darauf aufbauende genaue Auswertungen der Messung hinsichtlich Geschwindigkeit und Position eines Objekts erfolgen können.

20

Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Es zeigen:

25 FIG 1 eine schematische Darstellung von zwei hintereinander fahrenden Fahrzeugen,

FIG 2 eine schematische Darstellung eines Verkehrsszenarios mit zwei Fahrzeugen, von denen ein Fahrzeug einen Spurwechsel vornimmt,

30

FIG 3 eine schematische Darstellung eines Verkehrsszenarios mit drei hintereinanderfahrenden Fahrzeugen,

35 FIG 4 eine schematische Darstellung eines Verkehrsszenarios, bei dem eine Einfahrt in eine Straße blockiert ist,

FIG 5 eine schematische Darstellung eines vollkohärenten kooperativen Radarsystems gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

5 FIG 6 eine schematische Darstellung eines quasikohärenten kooperativen Radarsystems gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

10 FIG 7 ein Schaubild eines Beatspektrums eines quasikohärenten kooperativen Radarsystems gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

15 FIG 8 ein Flussdiagramm, welches ein vollkohärentes Beatfrequenzmessverfahren zum Ermitteln eines Beatspektrums gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

FIG 9 ein Flussdiagramm, welches ein quasikohärentes Beatfrequenzmessverfahren zum Ermitteln eines Beatspektrums gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

20

FIG 10 ein Flussdiagramm, welches ein Geschwindigkeitsmessverfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

25 FIG 11 ein Flussdiagramm, welches ein Positionsermittlungsverfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

30 FIG 12 eine schematische Darstellung einer Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

35 FIG 13 eine schematische Darstellung einer Positionsermittlungseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

FIG 14 ein Schaubild, welches eine Positions- und Richtungs-ermittlung auf Basis der Messungen eines ersten Sensors einer

Positions- und Geschwindigkeits-Ermittlungseinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

FIG 15 ein Schaubild, welches Positions- und Richtungsermittlung auf Basis der Messungen eines zweiten von dem ersten Sensor beabstandeten Sensors veranschaulicht.

In FIG 1 ist ein Szenario 10 gezeigt, bei dem ein erstes Fahrzeug 1 und ein zweites Fahrzeug 2 hintereinander fahren. Das erste Fahrzeug 1 fährt mit einer ersten Geschwindigkeit  $v_{x,1}$  und das zweite Fahrzeug 2 fährt mit einer zweiten Geschwindigkeit  $v_{x,2}$  entlang einer Straße S. Beide Fahrzeuge 1, 2 weisen nur eine Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung, d.h. in Verlaufsrichtung der Straße auf. Wird das vorausfahrende zweite Fahrzeug 2 abgebremst, so verringert sich dessen Gesamtgeschwindigkeit. Da das zweite Fahrzeug 2 nur eine Geschwindigkeitskomponente  $v_{x,2}$  in x-Richtung aufweist, ist die Änderung der Geschwindigkeit des zweiten Fahrzeugs 2 gleich der Änderung der Geschwindigkeit  $v_{x,2}$  in x-Richtung. Das erste Fahrzeug 1 misst diese Änderung der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs 2 und müsste in diesem Fall die Geschwindigkeit ebenfalls verringern, um den benötigten Sicherheitsabstand einzuhalten, oder die Spur wechseln, um das vorausfahrende Fahrzeug 2 zu überholen.

In FIG 2 ist ein Szenario 20 gezeigt, bei dem das vorausfahrende Fahrzeug 2 von der rechten auf die linke Fahrspur zu wechseln beginnt. Während des Spurwechsels bleibt die Gesamtgeschwindigkeit  $\vec{v}_2$  des zweiten Fahrzeugs 2 konstant. Im Gegensatz zu dem in FIG 1 gezeigten Szenario ändert sich jedoch die Bewegungsrichtung des zweiten Fahrzeugs 2 und somit ändern sich auch die einzelnen Geschwindigkeitskomponenten des zweiten Fahrzeugs 2. Die Geschwindigkeit  $\vec{v}_2$  des zweiten Fahrzeugs 2 setzt sich aus den Komponenten  $v_{x,2}$  und  $v_{y,2}$ , d.h. der Komponenten der Geschwindigkeit  $\vec{v}_2$  in x-Richtung und der Komponenten der Geschwindigkeit  $\vec{v}_2$  in y-Richtung zusammen. Da die Gesamtgeschwindigkeit des zweiten Fahrzeugs 2 gleichbleibt und sich das zweite Fahrzeug 2 zusätzlich mit  $v_{y,2}$  in

y-Richtung bewegt, verringert sich auch in diesem Fall die Geschwindigkeit  $v_{x,2}$  in x-Richtung. Die Änderung der Geschwindigkeit  $v_{x,2}$  ist dabei abhängig vom Winkel zwischen der Fahrtrichtung und der x-Richtung. Das Radar des ersten Fahrzeugs 1 misst auch in diesem Fall nur die x-Komponente  $v_{x,2}$  und damit nur die Änderung von  $v_{x,2}$ . Es ist also nicht möglich für das erste Fahrzeug 1, auf Basis einer Radarmessung zu unterscheiden, ob sich die x-Komponente  $v_{x,2}$  der Geschwindigkeit  $\vec{v}_2$  des zweiten Fahrzeugs 2 aufgrund eines Bremsvorgangs oder aufgrund eines Spurwechsels verringert. In beiden Fällen müsste das erste Fahrzeug 1 seine Geschwindigkeit verringern bzw. die Spur wechseln. Dies kann zum Beispiel zu einem unnötigen Bremsmanöver führen. Um eine falsche Einschätzung der in FIG 2 gezeigten Verkehrssituation zu vermeiden, müssten alle Geschwindigkeitskomponenten bzw. es müsste die Bewegungsrichtung des zweiten Fahrzeugs 2 gemessen werden.

Ein ähnliches Problem liegt auch für einen Spurwechselassistenten vor, der vor einem Überholvorgang den rückwärtigen Verkehr auf eventuelle Gefahren überprüft.

In FIG 3 ist ein Szenario 30 mit drei hintereinanderfahrenden Fahrzeugen 1, 2, 3 gezeigt. Möchte das mittlere Fahrzeug 1 das vorausfahrende Fahrzeug 2 überholen, so muss sichergestellt werden, dass nachfolgende Fahrzeuge nicht ausscheren und die für das Überholen benötigte linke Spur blockieren oder es zur Kollision mit nachfolgenden Fahrzeugen kommt. In diesem Fall müsste das mittlere Fahrzeug 1 die Geschwindigkeitskomponenten bzw. die Bewegungsrichtung des hinteren Fahrzeugs 3 kennen, bevor das mittlere Fahrzeug 1 gefahrlos den Überholvorgang des vorderen Fahrzeugs 2 einleiten kann. Wird von dem mittleren Fahrzeug 1 nur die x-Komponente  $v_{x,3}$  des nachfolgenden Fahrzeugs 3 gemessen, könnte ein Spurwechsel des nachfolgenden Fahrzeugs 3 von dem mittleren Fahrzeug 1 fälschlicherweise als Bremsvorgang interpretiert werden und somit ein sicherheitskritischer Überholvorgang eingeleitet werden.

In FIG 4 ist ein weiteres Szenario 40 gezeigt, bei dem eine Einfahrt in eine Straße blockiert ist (symbolisiert mit einem Einfahrtsverbotsschild). Werden Fahrspuren blockiert, wie zum Beispiel im Bereich von Baustellen oder bei Unfällen, so müssen autonom fahrende Fahrzeuge per Infrastruktur zum Spurwechsel bzw. zum Abbiegen aufgefordert werden. Wird die Route des Fahrzeuges per Infrastruktur vorgegeben, um beispielsweise Staus, Unfälle oder Baustellen zu umgehen, ist es notwendig, die korrekte Einordnung des Fahrzeugs in Abbiegespuren zu überprüfen und den Abbiegevorgang nachzuverfolgen, um das Fahrzeug vor Gefahrensituationen zu schützen. Das in FIG 4 gezeigte Fahrzeug soll an einer Einmündung links abbiegen, da die Weiterfahrt in x-Richtung, d.h. geradeaus blockiert ist. Bei dem Abbiegevorgang ergeben sich Geschwindigkeitskomponenten  $v_{x,1}$ ,  $v_{y,1}$  in x-Richtung und in y-Richtung. Würde das Fahrzeug 1 geradeaus in die blockierte Straße einfahren, so würde von der Verkehrsinfrastruktur nur die x-Komponente  $v_{x,1}$  gemessen. Um die Ausführung der Aufforderung zum Abbiegen zu überprüfen und um gegebenenfalls erneut dazu aufzufordern abzubiegen, ist es nötig, einen Spurwechsel bzw. Abbiegevorgang erkennen zu können. Dazu ist es aber notwendig, die Bewegungsrichtung des Fahrzeugs 1 zu ermitteln.

In FIG 5 ist eine schematische Darstellung eines kooperativen Radarsystems 50 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht. Das Radarsystem 50 umfasst einen ersten Radarsensor R1 und einen in einem Abstand d zu dem ersten Radarsensor R1 positionierten zweiten Radarsensor R2. Die beiden Sensoren R1, R2, welche in unterschiedlichen Raumrichtungen messen, sind zu einem kooperativen Radarsystem kombiniert. Die Radarsensoren R1, R2 sind als konventionelle eigenständige FMCW-Radarsensoren ausgebildet und messen jeweils eine monostatische Antwort eines Ziels Z, d.h. ein monostatisches Reflexionssignal RM, welches zur Ermittlung der Abstände  $d_{11}$ ,  $d_{22}$  zwischen den Radarsensoren R1, R2 und dem Zielobjekt Z sowie der Geschwindigkeit des Ziels Z genutzt werden kann. Zusätzlich zu der monostatischen Antwort kann

von den beiden Radarsensoren R1, R2 auch ein bistatisches Reflexionssignal RB gemessen werden. Das bistatische Reflexionssignal RB enthält Informationen zum Abstand in radialer Richtung von dem Sensor R2 zum Ziel Z und in Richtung von dem Radarsensor R1 zu dem Ziel Z sowie Informationen zur Geschwindigkeit des Zielobjekts Z.

In dem in FIG 5 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel sind die beiden Sensoren R1, R2 durch einen Taktsignalgeber Tkt synchronisiert, d.h. die beiden Radarsensoren R1, R2 werden durch einen gemeinsamen Takt vollkohärent betrieben. Ein solcher vollkohärenter Betrieb kann zum Beispiel in einem autonomen Fahrzeug von Vorteil sein.

Die Übertragung des Taktsignals von dem Taktsignalgeber an die Radarsensoren R1, R2 kann zum Beispiel über eine elektrische Kabelverbindung zwischen den beiden Radarsensoren und dem Taktsignalgeber Tkt realisiert werden.

Mit Hilfe der monostatischen Antwort kann aus der bistatischen Antwort der jeweilige Abstand  $d_{11}$ ,  $d_{22}$  aus der Raumrichtung von beiden Sensoren R1, R2 zum Ziel Z und die Geschwindigkeit des Ziels Z ermittelt werden. Dadurch, dass beide Sensoren R1, R2 an räumlich verteilten Punkten aufgestellt sind, ist in einem solchen kooperativen Radarsystem eine Lokalisierung und eine vektorielle Geschwindigkeitsmessung von Objekten Z möglich. Für den Erhalt dieser Informationen werden die Messdaten von nur einem einzigen der beiden Sensoren R1, R2 benötigt.

Beide Sensoren R1, R2 starten eine Messung durch ein gemeinsames Triggersignal von einer Triggereinheit TR, welche mit den beiden Sensoren R1, R2 entweder über ein Kabel oder per Funk verbunden ist. Das gemeinsame Triggersignal stellt sicher, dass die bistatische Antwort innerhalb der durch die Sensorhardware und Software vorgegebenen Grenzen, d.h. insbesondere Grenzen für die Beatfrequenzbandbreite, die Rampenkonfiguration und den AD-Wandler gemessen werden kann.

Um die monostatische Antwort und die bistatische Antwort an dem ersten Sensor R1 zu unterscheiden, wird ein Frequenzoffset zwischen den beiden Radarsensoren R1, R2 realisiert, d.h. die FMCW-Signale des ersten und des zweiten Radarsensors R1, R2 starten bei jeweils unterschiedlichen Frequenzen  $f_{0,1}$ ,  $f_{0,2}$ . Die Bandbreite B und die Dauer T des FMCW-Signals ist bei beiden Sensoren R1, R2 gleich. Dadurch wird die bistatische Antwort um den Frequenzoffset  $f_{\text{off}} = f_{0,1} - f_{0,2}$  zu einem vordefinierten Bereich im Basisband verschoben und kann von der monostatischen Antwort getrennt werden.

Das Beatsignal  $S_{IF,1}$  des ersten Radarsensors R1 hängt wie folgt mit den Laufzeiten  $\tau_{11}$ ,  $\tau_{12}$  des monostatischen Reflexionssignals und des bistatischen Reflexionssignals zusammen:

$$S_{IF,1} = S_{IF,1,mono} + S_{IF,1,bi} = \cos\left(2\pi\left(\frac{B}{T}\tau_{11}t + f_{0,1}\tau_{11} - \frac{B}{2T}\tau_{11}^2\right)\right) + \cos\left(2\pi\left((f_{0,1} - f_{0,2})t + \frac{B}{T}\tau_{12}t + f_{0,2}\tau_{12} - \frac{B}{2T}\tau_{12}^2\right) + \phi_{0,1} - \phi_{0,2}\right). \quad (1)$$

Das Signal  $S_{IF,1}$  umfasst einen monostatischen Anteil  $S_{IF,1,mono}$  und einen bistatischen Anteil  $S_{IF,1,bi}$  der auf die Interaktion zwischen dem zweiten Sensor R2, dem Zielobjekt Z und dem ersten Sensor R1 zurückzuführen ist. Die Terme  $\frac{B}{T}\tau_{11}t$ ,  $\frac{B}{T}\tau_{12}t$  verhalten sich proportional zum Abstand des Ziels Z. Die Zeiten  $\tau_{11}$  und  $\tau_{12}$  bezeichnen die Laufzeiten des monostatischen und des bistatischen Signals  $S_{IF,1,mono}$ ,  $S_{IF,1,bi}$ . Die beiden Phasenwerte  $\phi_{0,1}$ ,  $\phi_{0,2}$  sind die Phasen der beiden Sensorsignale, deren Differenz aufgrund der gemeinsamen Taktung bekannt ist.

Teil der in FIG 5 gezeigten Beatspektrum-Messeinrichtung 50 ist auch eine Auswertungseinheit 100a mit einer Spektrum-Ermittlungseinheit 101 zum Ermitteln eines Rohdaten-Beatspektrums RBS auf Basis der erfassten Messdaten  $S_{IF,1}$ . Das Rohdaten-Beatspektrum RBS weist einen niederfrequenten monostatischen Bereich MB, welcher dem monostatischen Reflexionssignal RM zugeordnet ist, und einen höherfrequenten bistatischen Bereich BB auf, welcher dem bistatischen Reflexionssignal RB

zugeordnet ist, auf. Die beiden unterschiedlichen Bereiche MB, BB des Rohdaten-Beatspektrums sind in FIG 7 veranschaulicht.

- 5 Auf Basis des Rohdatenbeatspektrums RBS wird schließlich von einer Beatfrequenz-Ermittlungseinheit 105 eine monostatische Beatfrequenz MZF und eine bistatische Beatfrequenz BZF des Zielobjekts Z ermittelt.
- 10 Auf Basis dieser Beatfrequenzen sowie der bekannten Bandbreite B des Signals und der Signaldauer T lassen sich die Laufzeiten  $\tau_{11}$ ,  $\tau_{12}$  des monostatischen Reflexionssignals und des bistatischen Reflexionssignals ermitteln.
- 15 Aus der Laufzeit  $\tau_{11}$  des monostatischen Signals  $S_{IF,1, mono}$  lässt sich aus folgender Gleichung der Abstand  $d_{11}$  zwischen dem ersten Sensor R1 und dem Zielobjekt Z berechnen:

$$\tau_{11} = 2 \cdot \frac{d_{11}}{c}. \quad (2)$$

- 20 Dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit bzw. die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwellen.

- Aus der Laufzeit  $\tau_{12}$  des bistatischen Signals  $S_{IF,1, bi}$  sowie dem  
25 ermittelten Wert  $d_{11}$  des Abstands zwischen dem ersten Sensor R1 und dem Zielobjekt Z lässt sich über folgende Gleichung der Abstand  $d_{22}$  zwischen dem zweiten Sensor R2 und dem Zielobjekt Z berechnen:

30 
$$\tau_{12} = \frac{d_{11} + d_{22}}{c}. \quad (3)$$

- Aus einer einfachen trigonometrischen Berechnung auf Basis der nun bekannten Dreiecksseiten d,  $d_{11}$ ,  $d_{22}$  lässt sich dann  
35 die Position P des Zielobjekts Z relativ zu dem Radarsystem  
50 ermitteln.

Die Geschwindigkeit  $v = v_{11} + v_{22}$ , wobei  $v$ ,  $v_{11}$ ,  $v_{22}$  jeweils vektorielle Größen sind und  $v_{11}$  in Richtung von  $d_{11}$  und  $v_{22}$  in Richtung von  $d_{22}$  zeigt, ergibt sich aus den Dopplerfrequenzen des monostatischen und des bistatischen Sensorsignals

5  $S_{IF,1,mono}$ ,  $S_{IF,1,bi}$ .

Die Dopplerfrequenz ergibt sich aus der Differenz der Frequenz eines emittierten Signals und der Frequenz des reflektierten Signals. Die Dopplerfrequenz kann außerdem mit Hilfe  
 10 mehrerer, im zeitlichen Abstand  $T$ , aufeinanderfolgender Signale berechnet werden. Die Dopplerfrequenz ergibt sich hierbei aus dem Phasenunterschied zwischen den einzelnen Signalen bei der jeweiligen Beatfrequenz des Zielobjektes. Die Dopplerfrequenz kann auf verschiedenen Wegen berechnet werden.  
 15 Bei statischen Zielen ist die Phase des Beatsignals bei zeitlich aufeinanderfolgenden Signalen konstant. Bei bewegten Objekten ändert sich die Phase des Beatsignals bei zeitlich aufeinanderfolgenden Signalen proportional zur Änderung des Abstandes und somit proportional zur Geschwindigkeit. Diese  
 20 Änderung der Phase über der Zeit ergibt die Dopplerfrequenz. Diese Methode wird auch als „Range-Doppler Algorithmus“ oder „Range Doppler Processing“ bezeichnet.

Die Dopplerfrequenz  $f_{d,mono}$  des monostatischen Signalanteils  
 25 ergibt sich wie folgt:

$$f_{d,mono} = \frac{2f_{0,1}v_{11}}{c}. \quad (4)$$

Ist die Laufzeit  $\tau_{11}$  des monostatischen Signals bekannt, so  
 30 lässt sich aus der Dopplerfrequenz  $f_{d,mono}$  die Geschwindigkeit  $v_{11}$ , d.h. die Geschwindigkeitskomponente des Zielobjektes  $Z$  in Richtung der Strecke zwischen dem ersten Sensor  $R_1$  und dem Zielobjekt  $Z$  ermitteln.

Die Dopplerfrequenz  $f_{d,bi}$  des bistatischen Sensorsignals  
 35 ergibt sich wie folgt:

$$f_{d,bi} = f_{0,2} \frac{v_{11} + v_{22}}{c}. \quad (5)$$

Aus der bistatischen Dopplerfrequenz  $f_{d,bi}$  sowie der ermittelten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  lässt sich dann auch die zweite Geschwindigkeitskomponente  $v_{22}$  in Richtung der Strecke  
5 zwischen dem zweiten Sensor R2 und dem Zielobjekt Z ermitteln. Aus den beiden vektoriellen Geschwindigkeitskomponenten  $v_{11}$ ,  $v_{22}$  lässt sich zudem die vektorielle Gesamtgeschwindigkeit  $v$  des Zielobjekts Z berechnen zu:

$$10 \quad \quad \quad v = v_{11} + v_{22} \quad . \quad \quad \quad (6)$$

In FIG 6 ist eine schematische Darstellung eines kooperativen Radarsystems 60 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel gezeigt. Das Radarsystem 60 umfasst ebenso wie das in FIG 5  
15 dargestellte Radarsystem 50 einen ersten Radarsensor R1 und einen in einem Abstand  $d$  zu dem ersten Radarsensor R2 positionierten zweiten Radarsensor R2. Bei dem in FIG 6 dargestellten Radarsystem 60 handelt es sich anders als bei dem in FIG 5 gezeigten Radarsystem 50 nicht um ein vollkohärentes System, sondern um ein quasi-kohärentes System. Der Unterschied  
20 zu dem in FIG 5 gezeigten Ausführungsbeispiel besteht darin, dass das in FIG 6 gezeigte System keinen Taktgeber Tkt für die beiden Sensoren aufweist. Infolgedessen weisen die Sensorsignale unterschiedlicher Sensoren keine feste Phasenbeziehung auf. Stattdessen werden die beiden Radarsensoren R1,  
25 R2 unter Verwendung eines bekannten Referenzziels R0 und durch entsprechende Signalverarbeitung quasi-kohärent betrieben. Bei einem solchen Betrieb mit einem Referenzziel R0 wird die bistatische Antwort mit Hilfe des bekannten und des gemessenen Abstandes  $d_{ref}$  zum Referenzziel R0 korrigiert.  
30

Die beiden Sensoren R1, R2, welche in unterschiedlichen Raumrichtungen messen, sind zu einem kooperativen Radarsystem kombiniert. Die Radarsensoren R1, R2 sind als konventionelle  
35 eigenständige FMCW-Radarsensoren ausgebildet und messen jeweils eine monostatische Antwort des Ziels Z und des Referenzziels R0, d.h. ein monostatisches Reflexionssignal RM,

welches zur Ermittlung des Abstands  $d_{11}$ ,  $d_{ref}$  sowie der Geschwindigkeit des Ziels Z bzw. Referenzziels RO in radialer Raumrichtung von dem Sensor R1, R2 zum Ziel Z bzw. Referenzziel RO genutzt werden kann. Zusätzlich zu der monostatischen  
5 Antwort wird wie bei dem in FIG 5 gezeigten Ausführungsbeispiel von den beiden Radarsensoren R1, R2 auch ein bistatisches Reflexionssignal RB gemessen.

Das bistatische Reflexionssignal enthält Informationen zum Abstand und zur Geschwindigkeit in radialer Richtung von dem  
10 Sensor R2 zum Ziel Z und in Richtung von dem Radarsensor R1 zu dem Ziel Z. Entsprechendes gilt auch für das Referenzziel RO.

Wie bei dem in FIG 5 gezeigten Ausführungsbeispiel starten  
15 beide Sensoren R1, R2 eine Messung durch ein gemeinsames Triggersignal von der Triggereinheit TR, welche mit den beiden Sensoren R1, R2 entweder über ein Kabel oder per Funk verbunden ist. Das gemeinsame Triggersignal stellt sicher, dass die bistatische Antwort innerhalb der durch die Sensor-  
20 hardware und Software vorgegebenen Grenzen, d.h. insbesondere Grenzen für die Beatfrequenzbandbreite, die Rampenkonfiguration und AD-Wandler gemessen werden kann.

Um die monostatische Antwort und die bistatische Antwort an  
25 einem Sensor R1 zu unterscheiden, wird ein Frequenzoffset zwischen den beiden Radarsensoren R1, R2 realisiert, d.h. die FMCW-Signale der Radarsensoren starten bei jeweils unterschiedlichen Frequenzen. Die Bandbreite und die Dauer des FMCW-Signals ist bei beiden Sensoren R1, R2 gleich. Dadurch  
30 wird die bistatische Antwort um den Frequenzoffset  $f_{off}$  zu einem vordefinierten Bereich im Basisband verschoben und kann von der monostatischen Antwort getrennt werden.

Nach dem Ermitteln eines Beatspektrums erfolgt nun anders als  
35 bei dem in FIG 5 gezeigten Ausführungsbeispiel eine Korrektur des bistatischen Anteils des Beatspektrums. Dieser Vorgang ist im Zusammenhang mit FIG 7 ausführlich erläutert.

Das korrigierte Beatspektrum wird dann analog zu der in FIG 5 geschilderten Vorgehensweise dazu genutzt, eine Position P und eine Geschwindigkeit  $v$  des Zielobjekts Z zu ermitteln.

5 Wie im Zusammenhang mit FIG 5 erläutert, können mit Hilfe der monostatischen Antwort aus der bistatischen Antwort der Abstand und die Geschwindigkeit in Richtung von dem Sensor R2 zu dem Zielobjekt Z ermittelt werden. Werden beide Sensoren R1, R2 an räumlich verteilten Punkten aufgestellt, dann ist  
10 in einem solchen kooperativen Radarsystem eine Lokalisierung und eine vektorielle Geschwindigkeitsmessung von Objekten Z möglich. Für den Erhalt dieser Informationen werden die Messdaten von nur einem der beiden Sensoren R1, R2 benötigt.

15 Der quasi-kohärente Betrieb kann auch mit Hilfe eines GPS-gesteuerten Systems oder einer Funkverbindung zwischen den einzelnen Sensoren realisiert werden. GPS oder Funkverbindungen zwischen den Sensoren können die Triggereinheit TR ersetzen. Beide Varianten können für den kohärenten und den quasi-  
20 kohärenten Betrieb genutzt werden.

Bei GPS Signalen wird ein sehr stabiles „Pulse Per Second“-Signal (GPS 1 PPS) gesendet (Frequenz 1 Hz). Dieses Signal kann beim Betrieb im Freien an den Sensoren des Systems emp-  
25 fangen werden und im Anschluss daraus lokal ein Triggersignal generiert werden. Dies kann jeweils mit Hilfe einer eigenen Phasenregelschleife realisiert werden, welche als Referenzsignal das 1 PPS Signal verwendet.

30 Eine Funkverbindung zwischen den Sensoren setzt einen Master-Slave Betrieb zwischen den Sensoren voraus. Der Master Sensor kann dabei ein Triggersignal an den Slave Sensor senden. Dies kann sowohl innerhalb des für die Abstandsmessung benutzten Radarfrequenzbandes geschehen als auch mit zusätzlicher Hard-  
35 ware in anderen Frequenzbändern. Außerdem können mit Hilfe einer vorher definierten Signalform, welche vom Master zum Slave Sensor gesendet wird, Frequenz- und Phasenoffsets kompensiert werden, ähnlich zu einem Pilottonverfahren.

Ein Beispiel für eine Synchronisierung mittels einer direkten Funkverbindung zwischen zwei Radarsensoren ist im Paper "Precise Distance Measurement with Cooperative FMCW Radar Units" von A. Stelzer, M. Jahn und S. Scheiblhofer, 1-4244-1463-6/08/\$25.00 2008 IEEE, S. 771 bis 774 gegeben. Hier wird allerdings nur der Abstand zwischen den Sensoren gemessen. Teil der in FIG 6 gezeigten Beatspektrum-Messeinrichtung ist auch eine Auswertungseinheit 100 mit einer Spektrum-Ermittlungseinheit 101 zum Ermitteln eines Rohdaten-Beatspektrums RBS auf Basis der erfassten Messdaten  $S_{IF,1}$ . Das Rohdaten-Beatspektrum RBS weist einen niederfrequenten monostatischen Bereich MB, welcher dem monostatischen Reflexionssignal RM zugeordnet ist, und einen höherfrequenten bistatischen Bereich BB auf, welcher dem bistatischen Reflexionssignal RB zugeordnet ist. Das Rohdaten-Beatspektrum RBS wird an eine Referenzfrequenz-Ermittlungseinheit 102 übermittelt, die dazu eingerichtet ist, eine Frequenz RF des Referenzziels RO im bistatischen Bereich BB auf Basis des ermittelten Rohdaten-Beatspektrums RBS zu ermitteln. Die Frequenz RF des Referenzziels RO wird an eine Verschiebungsfrequenz-Ermittlungseinheit 103 übermittelt, die dazu eingerichtet ist, einen Wert  $f_{diff}$  einer Frequenzverschiebung des Beatspektrums RBS im bistatischen Bereich BB, auf Basis der durch die Messung ermittelten Frequenz RF des Referenzziels RO im bistatischen Bereich BB und einer vorbekannten Sollfrequenz SFB des bistatischen Reflexionssignals des Referenzziels RO zu ermitteln.

Der Wert  $f_{diff}$  der Frequenzverschiebung und das Rohdaten-Beatspektrum RBS werden an eine Verschiebungseinheit 104 übermittelt. Die Verschiebungseinheit dient dazu, den bistatischen Teil des Rohdaten-Beatspektrums RBS um den ermittelten Wert der Frequenzverschiebung  $f_{diff}$  zu verschieben. Bei diesem Vorgang wird ein korrigiertes Beatspektrum  $BS_k$  ermittelt, welches als Grundlage für eine Positionsberechnung und eine Geschwindigkeitsberechnung dienen kann.

Auf Basis des korrigierten Beatspektrums  $BS_k$  wird schließlich von einer Beatfrequenz-Ermittlungseinheit 105 eine monostatische Beatfrequenz MZF und eine bistatische Beatfrequenz BZF des Zielobjekts Z ermittelt.

5

In FIG 7 ist ein Schaubild 70 veranschaulicht, welches ein sogenanntes Beatspektrum einer Messung mit der in FIG 6 gezeigten Anordnung 60 veranschaulicht. Das in FIG 7 gezeigte Beatspektrum wurde also im quasi-kohärenten Betrieb aufgenommen. Es zeigt die Magnitude M in Dezibel über die Frequenz f in Kilohertz aufgetragen.

10

Bei der Messung fand keine volle Synchronisation der beiden Radarsensoren R1, R2 durch ein Taktsignal Tkt statt. Stattdessen wurde ein monostatisches Reflexionssignal RM und ein bistatisches Reflexionssignal RB sowohl von dem Zielobjekt Z als auch einem Referenzziel RO gemessen. In dem Beatspektrum sind der monostatische Bereich MB und der bistatische Bereich BB voneinander durch eine vertikale schwarze Linie L getrennt, die ungefähr bei einer Frequenz von 250 kHz liegt. Im monostatischen Bereich MB sind Maxima RF, ZF, die dem Referenzziel RO und dem Zielobjekt ZO zugeordnet sind, eingezeichnet. Die Frequenz ZF, die dem Zielobjekt Z entspricht, liegt ungefähr bei 50 kHz und die Frequenz RF, die dem Referenzziel RO entspricht, liegt ungefähr bei 100 kHz.

15

20

25

Auch im bistatischen Bereich BB des Beatspektrums sind Maxima RFB, ZFB, die dem Referenzziel RO und dem Zielobjekt ZO entsprechen, erkennbar. Die Frequenz ZFB, die dem Zielobjekt ZO entspricht, liegt ungefähr bei 530 kHz und die Frequenz RFB, die dem Referenzziel RO entspricht, liegt ungefähr 570 kHz. Die voll durchgezogene Linie kennzeichnet die Rohdaten RD des Radarsensors R1, d.h. die Daten, welche noch nicht mit Hilfe des Referenzzieles RO korrigiert wurden. Durch eine Korrektur des Beatspektrums BS im bistatischen Bereich BB werden die Frequenzen der beiden Zielobjekte RO, Z im Beatspektrum nach rechts verschoben. Das verschobene Spektrum CD ist durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet. Mit Hilfe der korrigierten

30

35

Spektraldaten CD lässt sich der Abstand  $d_{22}$  zwischen dem zweiten Radarsensor R2 und dem Ziel Z ermitteln. Unter Kenntnis der Abstände  $d_{11}$ ,  $d_{22}$  zwischen den Radarsensoren R1, R2 und dem Ziel Z lässt sich nun das unbekannte Ziel Z durch  
5 Triangulation lokalisieren, d.h. dessen Position P bestimmen. Weiterhin kann durch eine Bestimmung der Dopplerfrequenz auch die vektorielle Geschwindigkeit  $v$  des Zielobjekts Z ermittelt werden. Für die Ermittlung beider Größen werden monostatische und bistatische Antworten ausgewertet. Diese liefern Ab-  
10 standswerte bzw. Geschwindigkeitswerte in zwei Raumrichtungen.

In FIG 8 ist ein Flussdiagramm 800 gezeigt, welches ein vollkohärentes Beatfrequenzmessverfahren zum Ermitteln eines  
15 Beatspektrums veranschaulicht.

Bei dem Schritt 8.I wird zunächst ein monostatisches Radarsignal RM eines Zielobjekts Z von einem Radarsensor R1 erfasst. Weiterhin wird bei dem Schritt 8.II ein bistatisches,  
20 nicht-kohärentes elektromagnetisches Reflexionssignal RB, welches ein Reflexionssignal eines Zielobjekts Z umfasst, mit demselben Radarsensor R1 gemessen. Bei dem Schritt 8.III werden die erfassten Messdaten dazu genutzt, ein Rohdaten-Beatspektrum RBS zu ermitteln. Das Rohdaten-Beatspektrum RBS  
25 umfasst einen niederfrequenten monostatischen Bereich MB, welcher dem monostatischen Reflexionssignal RM zugeordnet ist, und einen höherfrequenten bistatischen Bereich BB, welcher dem bistatischen Reflexionssignal RB zugeordnet ist. Bei dem Schritt 8.IV wird auf Basis des Rohdatenbeatspektrums  
30 RBS eine monostatische Beatfrequenz MZF und eine bistatische Beatfrequenz BZF des Zielobjekts Z ermittelt.

In FIG 9 ist ein Flussdiagramm 900 gezeigt, welches ein quasi-kohärentes Beatfrequenzmessverfahren zum Ermitteln eines  
35 Beatspektrums veranschaulicht. Bei dem Schritt 9.I wird zunächst ein monostatisches Radarsignal RM eines Zielobjekts Z und eines Referenzziels RO von einem Radarsensor R1 erfasst. Weiterhin wird bei dem Schritt 9.II ein bistatisches,

nicht-kohärentes elektromagnetisches Reflexionssignal RB, welches ein Reflexionssignal eines Zielobjekts Z und eines Referenzziels RO umfasst, mit demselben Radarsensor R1 gemessen. Beidem Schritt 9.III werden die erfassten Messdaten RM, 5 RB dazu genutzt, ein Rohdaten-Beatspektrum RBS zu ermittelt. Das Rohdaten-Beatspektrum RBS umfasst einen niederfrequenten monostatischen Bereich MB, welcher dem monostatischen Reflexionssignal RM zugeordnet ist, und einen höherfrequenten bistatischen Bereich BB, welcher dem bistatischen Reflexions- 10 signal RB zugeordnet ist.

Bei dem Schritt 9.IV wird eine Frequenz RFB des Referenzziels RF im bistatischen Bereich BB auf Basis des ermittelten Rohdaten-Beatspektrums RBS ermittelt. Dem Referenzziel RO entspricht im bistatischen Bereich ein Maximum des Spektrums. 15 Aus der bekannten Lage des Referenzziels RO ist zudem eine Sollfrequenz SFB des bistatischen Reflexionssignals RB des Referenzziels RO bekannt, die mit der aus dem Rohdaten-Beatspektrum RBS bekannten Frequenz RFB verglichen werden kann.

20 Bei dem Schritt 9.V wird nun ein Wert  $f_{diff}$  einer Frequenzverschiebung des Beatspektrums im bistatischen Bereich BB auf Basis der durch die Messung ermittelten Frequenz RFB des Referenzziels RO im bistatischen Bereich BB und der vorbekannten Sollfrequenz SFB des bistatischen Reflexionssignals RB 25 des Referenzziels RO durch Differenzbildung ermittelt.

Bei dem Schritt 9.VI wird das Rohdaten-Beatspektrum RBS um den ermittelten Wert  $f_{diff}$  der Frequenzverschiebung verschoben, wodurch ein korrigiertes Beatspektrum  $BS_k$  erhalten wird. 30

Schließlich wird bei dem Schritt 9.VII anhand des korrigierten Beatspektrums  $BS_k$  eine monostatische Beatfrequenz MZF und eine bistatische Beatfrequenz BZF des Zielobjekts Z ermittelt. 35

In FIG 10 ist ein Flussdiagramm 1000 gezeigt, welches ein Geschwindigkeitsmessverfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.

5 Bei dem Schritt 10.I wird zunächst das in FIG 8 oder 9 veranschaulichte Beatspektrum-Messverfahren durchgeführt. Anschließend erfolgt bei dem Schritt 10.IIa ein Ermitteln einer ersten Dopplerfrequenz  $f_{d,mono}$  des monostatischen Reflexionssignals RM des Zielobjekts Z im monostatischen Bereich MB des  
10 ermittelten Beatspektrums  $RBS, BS_k$ . Zusätzlich erfolgt bei dem Schritt 10.IIb ein Ermitteln einer zweiten Dopplerfrequenz  $f_{d,bi}$  des bistatischen Reflexionssignals RB des Zielobjekts Z im bistatischen Bereich BB des ermittelten Beatspektrums  $RBS, BS_k$ . Weiterhin wird bei dem Schritt 10.III eine  
15 erste Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  des Zielobjekts Z auf Basis der ersten Dopplerfrequenz  $f_{d,mono}$  ermittelt und bei dem Schritt 10.IV eine zweite Geschwindigkeitskomponente  $v_{22}$  des Zielobjekts Z auf Basis der zweiten Dopplerfrequenz  $f_{d,bi}$  und der ersten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  ermittelt. Schließlich wird eine vektorielle Geschwindigkeit V des Zielobjekts  
20 Z auf Basis der ermittelten ersten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  und der ermittelten zweiten Geschwindigkeitskomponente  $v_{22}$  ermittelt. Die Ermittlung der Dopplerfrequenzen  $f_{d,mono}, f_{d,bi}$  sowie der Geschwindigkeit V kann auf die im Zusammenhang mit  
25 FIG 5 veranschaulichte Art und Weise erfolgen.

In FIG 11 ist ein Flussdiagramm 1100 gezeigt, welches ein Positionsermittlungsverfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht. Bei dem Schritt 11.I wird zunächst das in FIG 8 oder FIG 9 veranschaulichte Beatspektrum-Messverfahren durchgeführt. Anschließend erfolgt bei dem  
30 Schritt 11.II ein Ermitteln von Abständen  $d_{11}, d_{22}$  der Sensoren R1, R2 zu dem Zielobjekt Z auf Basis des korrigierten Beatspektrums  $BS_k$ . Schließlich wird bei dem Schritt 11.III  
35 eine Position P des Zielobjekts Z durch Triangulation auf Basis der ermittelten Abstände  $d_{21}, d_{12}$  ermittelt. Die Ermittlung der Abstände  $d_{11}, d_{22}$  wurde im Zusammenhang mit der ausführlichen Beschreibung von FIG 5 und 6 im Detail erläutert.

In FIG 12 ist eine Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung 120 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch dargestellt. Die Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung 120 umfasst die in FIG 5 oder alternativ in FIG 6 gezeigte Beatspektrum-Messeinrichtung 50, 60. Weiterhin umfasst die Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung 120 eine Dopplerfrequenz-Ermittlungseinheit 12 zum Ermitteln einer monostatischen Dopplerfrequenz  $f_{d,mono}$  und einer bistatischen Dopplerfrequenz  $f_{d,bi}$  auf Basis des von der Beatspektrum-Messeinrichtung 50, 60 ermittelten Beatspektrums RBS bzw. der daraus abgeleiteten monostatischen und bistatischen Beatfrequenzen MZF, BZF. Die von der Dopplerfrequenz-Ermittlungseinheit 12 ermittelten Dopplerfrequenzen  $f_{d,mono}$ ,  $f_{d,bi}$  wird an eine Geschwindigkeits-Ermittlungseinheit 13 übermittelt, die ebenfalls Teil der Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung 120 ist. Die Geschwindigkeits-Ermittlungseinheit 13 ist dazu eingerichtet, eine erste Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  des Zielobjekts Z auf Basis der monostatischen Dopplerfrequenz  $f_{d,mono}$  und eine zweite Geschwindigkeitskomponente  $v_{22}$  des Zielobjekts Z auf Basis der bistatischen Dopplerfrequenz  $f_{d,bi}$  und der ersten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$  zu ermitteln. Teil der Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung 120 ist auch eine Geschwindigkeits-Ermittlungseinheit 13a zum Ermitteln einer vektoriellen Geschwindigkeit V des Zielobjekts Z auf Basis der ermittelten ersten und zweiten Geschwindigkeitskomponente  $v_{11}$ ,  $v_{22}$ .

In FIG 13 ist eine schematische Darstellung einer Positionsermittlungseinrichtung 130 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht. Die Positionsermittlungseinrichtung 130 umfasst die in FIG 5 oder alternativ in FIG 6 gezeigte Beatspektrum-Messeinrichtung 50, 60. Teil der Positionsermittlungseinrichtung 130 ist auch eine Laufzeitermittlungseinheit 14 zum Ermitteln einer ersten Laufzeit  $\tau_{11}$  des monostatischen Reflexionssignals RM auf Basis der Frequenz MZF des Zielobjekts Z im monostatischen Bereich MB des ermittelten Beatspektrums und zum Ermitteln einer zweiten Laufzeit

$\tau_{12}$  des bistatischen Reflexionssignals RB auf Basis der Frequenz BZF des Zielobjekts Z im bistatischen Bereich BB des ermittelten Beatspektrums RBS,  $BS_k$ .

5 Weiterhin umfasst die Positionsermittlungseinrichtung 130 eine Abstandsermittlungseinheit 15 zum Ermitteln von Abständen  $d_{11}$ ,  $d_{22}$  der Radarsensoren zu dem Zielobjekt Z auf Basis des Beatspektrums RBS bzw. der daraus abgeleiteten monostatischen und bistatischen Beatfrequenzen MZF, BZF. Teil der Positionsermittlungseinrichtung 130 ist auch eine Positionsermittlungseinheit 16, welche eine Position P des Zielobjekts Z durch Triangulation auf Basis der ermittelten Abstände  $d_{11}$ ,  $d_{22}$  ermittelt.

15 In FIG 14 und FIG 15 sind Ergebnisse einer Lokalisierungs- und Geschwindigkeitsmessung mit einer in FIG 6 veranschaulichten Messeinrichtung veranschaulicht. Die zum kooperativen System verbundenen Sensoren R1, R2 befinden sich bei den Positionen  $(x, y) = (0; 0)$  und bei  $(x, y) = (2,03; 0)$  Meter.

20 Das unbekannte Ziel Z bewegt sich geradlinig über eine Strecke S von 2,5 Metern und mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s von beiden Sensoren R1, R2 weg. Der tatsächliche Weg R des Zieles Z ist durch eine gestrichelte Linie angedeutet. In FIG 14 wurden die Messdaten von dem linken Sensor R1 in Position

25  $(x; y) = (0; 0)$  zur Auswertung verwendet. In FIG 15 wurden die Daten vom rechten Sensor R2 bei  $(x; y) = (2,03; 0)$  verwendet. Die Kreise kennzeichnen die lokale Position P des Ziels Z während einer Bewegung. Die Pfeile geben die gemessene Bewegungsrichtung D des Ziels Z und deren Länge die gemessene Geschwindigkeit an. Es ergibt sich eine durchschnittliche Abweichung der gemessenen Positionen P und der tatsächlichen Positionen des Ziels Z von etwa 26 Millimetern. Die Bewegungsrichtung D des Ziels Z wurde mit einer Abweichung von weniger als  $3^\circ$  ermittelt. Diese Ergebnisse veranschaulichen die Anwendbarkeit des in FIG 6 gezeigten Radarsystems

35 für die in FIG 1 bis FIG 4 veranschaulichten Szenarien. 60

Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorbeschriebenen Verfahren und Vorrichtungen lediglich um bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung handelt und dass die Erfindung vom Fachmann variiert werden  
5 kann, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen, soweit er durch die Ansprüche vorgegeben ist. Es wird der Vollständigkeit halber auch darauf hingewiesen, dass die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht ausschließt,  
10 dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff „Einheit“ nicht aus, dass diese aus mehreren Komponenten besteht, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

## Patentansprüche

1. Beatfrequenz-Messverfahren, aufweisend die Schritte:

- 5 - Monostatisches Messen eines elektromagnetischen Reflexions-  
signals, welches ein Reflexionssignal (RM) eines Zielob-  
jekts (Z) umfasst, mit mindestens einem von mindestens zwei  
Sensoren (R1, R2) eines kooperativen Sensorsystems (50,  
60),
- 10 - bistatisches Messen eines elektromagnetischen Reflexions-  
signals (RB), welches ein Reflexionssignal eines Zielob-  
jekts (Z) umfasst, mit mindestens zwei Sensoren (R1, R2)  
des kooperativen Sensorsystems,
- 15 - Ermitteln eines Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ) auf Basis der er-  
fassten Messdaten (RM, RB), wobei das Beatspektrum einen  
niederfrequenten monostatischen Bereich (MB), welcher dem  
monostatischen Reflexionssignal (RM) zugeordnet ist, und  
einen höherfrequenten bistatischen Bereich (BB), welcher  
dem bistatischen Reflexionssignal (RB) zugeordnet ist, um-  
fasst,
- 20 - Ermitteln einer monostatischen Beatfrequenz (MZF) des Ziel-  
objekts (Z) im monostatischen Bereich (MB) auf Basis des  
ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),
- Ermitteln einer bistatischen Beatfrequenz (BZF) des Zielob-  
jekts (Z) im bistatischen Bereich (BB) auf Basis des ermit-  
25 telten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),  
wobei
- die mindestens zwei Sensoren (R1, R2) durch einen gemeinsa-  
men Takt vollkohärent betrieben werden, wobei eine Synchro-  
nisierung über eine elektrische Kabelverbindung oder per  
30 Funkverbindung zwischen den beiden Radarsensoren erfolgt,  
oder alternativ
- die mindestens zwei Sensoren (R1, R2) durch eine zusätzli-  
che monostatische und bistatische Messung eines Referenz-  
ziels (R0), dessen Position bekannt ist, quasi-kohärent be-  
35 trieben werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Sensoren (R1, R2) Ra-  
darsensoren und/oder Lidarsensoren umfassen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Sensoren (R1, R2) FMCW-Sensoren umfassen.

5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei für den Fall eines quasi-kohärenten Betriebs eine Kalibrierung zum Ermitteln eines korrigierten Beatspektrums ( $BS_k$ ) durchgeführt wird, mit den folgenden Schritten:

- 10 - Ermitteln einer Frequenz (RFB) des Referenzziels (RO) im bistatischen Bereich (BB) auf Basis des ermittelten Beatspektrums (RBS),
- Ermitteln eines Werts ( $f_{diff}$ ) einer Frequenzverschiebung des Beatspektrums im bistatischen Bereich (BB), auf Basis der durch die Messung ermittelten Frequenz (RFB) des Referenz-
- 15 ziels (RO) im bistatischen Bereich (BB) und einer vorbekannten Sollfrequenz (SFB) des bistatischen Reflexionssignals (RB) des Referenzziels (RO),
- Verschieben des Beatspektrums (RBS) um den ermittelten Wert ( $f_{diff}$ ) der Frequenzverschiebung.

20

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei für den Fall eines quasi-kohärenten Betriebs das Referenzziel (RO) als passives Referenzziel ausgebildet ist.

25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei für den Fall eines quasi-kohärenten Betriebs das Referenzziel (RO) als aktives Referenzziel ausgebildet ist.

7. Positionsermittlungsverfahren, aufweisend die Schritte:

- 30 - Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
- Ermitteln einer ersten Laufzeit ( $\tau_{11}$ ) des monostatischen Reflexionssignals (RM) auf Basis der Frequenz (MZF) des Zielobjekts (Z) im monostatischen Bereich (MB) des ermit-
- 35 telten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),

- Ermitteln einer zweiten Laufzeit ( $\tau_{12}$ ) des bistatischen Reflexionssignals (RB) auf Basis der Frequenz (BZF) des Zielobjekts (Z) im bistatischen Bereich (BB) des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),
  - 5 - Ermitteln von Abständen ( $d_{11}$ ,  $d_{22}$ ) der Sensoren (R1, R2) zu dem Zielobjekt (Z) auf Basis der ermittelten Laufzeiten ( $\tau_{11}$ ,  $\tau_{12}$ ),
  - Ermitteln einer Position (P) des Zielobjekts (Z) durch Triangulation auf Basis der ermittelten Abstände ( $d_{11}$ ,  $d_{22}$ ).
- 10
8. Geschwindigkeitsermittlungsverfahren, aufweisend die Schritte:
- Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
  - 15 - Ermitteln einer ersten Dopplerfrequenz ( $f_{d,mono}$ ) des monostatischen Reflexionssignals (RM) des Zielobjekts (Z) im monostatischen Bereich (MB) des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),
  - Ermitteln einer zweiten Dopplerfrequenz ( $f_{d,bi}$ ) des bistatischen Reflexionssignals (RB) des Zielobjekts (Z) im bistatischen Bereich (BB) des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),
  - 20 - Ermitteln einer ersten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{11}$ ) des Zielobjekts (Z) auf Basis der ersten Dopplerfrequenz ( $f_{d,mono}$ ),
  - Ermitteln einer zweiten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{22}$ ) des Zielobjekts (Z) auf Basis der zweiten Dopplerfrequenz ( $f_{d,bi}$ ) und der ersten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{11}$ ),
  - Ermitteln einer vektoriellen Geschwindigkeit (V) des Zielobjekts (Z) auf Basis der ermittelten ersten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{11}$ ) und der ermittelten zweiten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{22}$ ).
- 30
9. Beatspektrum-Messeinrichtung (50, 60) zum Ermitteln eines Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ), aufweisend:
- einen ersten Sensor (R1) zum monostatischen Messen eines elektromagnetischen Reflexionssignals, welches ein Reflexionssignal (RM) eines Zielobjekts (Z) umfasst,
- 35

- einen zweiten Sensor (R2) mit bekanntem Abstand (d) zu dem ersten Sensor (R1) zum bistatischen Messen eines elektromagnetischen Reflexionssignals (RB), welches ein Reflexionssignal des Zielobjekts (Z) umfasst,
  - 5 - eine Spektrum-Ermittlungseinheit (101) zum Ermitteln eines Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ) auf Basis der erfassten Messdaten (RB, RM), wobei das Beatspektrum (RBS,  $BS_k$ ) einen niederfrequenten monostatischen Bereich (MB), welcher dem monostatischen Reflexionssignal (RM) zugeordnet ist, und einen  
10 höherfrequenten bistatischen Bereich (BB), welcher dem bistatischen Reflexionssignal (RB) zugeordnet ist, umfasst,
  - eine Beatfrequenzermittlungseinheit (105) zum Ermitteln einer monostatischen Beatfrequenz (MZF) des Zielobjekts (Z) im monostatischen Bereich (MB) auf Basis des ermittelten  
15 Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ) und zum Ermitteln einer bistatischen Beatfrequenz (BZF) des Zielobjekts (Z) im bistatischen Bereich (BB) auf Basis des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ )
  - eine elektrische Kabelverbindung oder eine Funkverbindung  
20 zwischen den mindestens zwei Sensoren (R1, R2) zum vollkohärenten Betrieb mit einem gemeinsamen Takt, wobei eine Synchronisierung über die elektrische Kabelverbindung oder die Funkverbindung zwischen den beiden Sensoren erfolgt, oder alternativ
  - 25 - ein Referenzziel, dessen Position bekannt ist, für einen quasi-kohärenten Betrieb der mindestens zwei Sensoren (R1, R2) durch eine zusätzliche monostatische und bistatische Messung des Referenzziels (RO).
- 30 10. Beatspektrum-Messeinrichtung (60) nach Anspruch 9, wobei die Spektrum-Ermittlungseinheit zum Ermitteln eines korrigierten Beatspektrums ( $BS_k$ ) aufweist:
- eine Referenzfrequenz-Ermittlungseinheit (102) zum Ermitteln einer Frequenz (RF) des Referenzziels (RO) im bistatischen Bereich (BB) auf Basis des ermittelten Beatspektrums  
35 (RBS),
  - eine Verschiebungsfrequenz-Ermittlungseinheit (103) zum Ermitteln eines Werts ( $f_{diff}$ ) einer Frequenzverschiebung des

- Beatspektrums im bistatischen Bereich (BB), auf Basis der durch die Messung ermittelten Frequenz (RF) des Referenzziels (RO) im bistatischen Bereich (BB) und einer vorbekannten Sollfrequenz (SFB) des bistatischen Reflexionssignals (RB) des Referenzziels (RO),
- 5 - eine Verschiebungseinheit (104) zum Verschieben des Beatspektrums (RBS) um den ermittelten Wert ( $f_{diff}$ ) der Frequenzverschiebung.
- 10 11. Positionsermittlungseinrichtung (130), aufweisend:
- die Beatspektrum-Messeinrichtung (50, 60) nach Anspruch 9 oder 10,
  - eine Laufzeitermittlungseinheit (14) zum Ermitteln einer ersten Laufzeit ( $\tau_{11}$ ) des monostatischen Reflexionssignals (RM) auf Basis der Frequenz (MZF) des Zielobjekts (Z) im
  - 15 monostatischen Bereich (MB) des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ) und zum Ermitteln einer zweiten Laufzeit ( $\tau_{12}$ ) des bistatischen Reflexionssignals (RB) auf Basis der Frequenz (BZF) des Zielobjekts (Z) im bistatischen Bereich
  - 20 (BB) des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),
  - eine Abstandsermittlungseinheit (15) zum Ermitteln von Abständen ( $d_{11}$ ,  $d_{22}$ ) der Sensoren (R1, R2) zu dem Zielobjekt (Z) auf Basis der ermittelten Laufzeiten ( $\tau_{11}$ ,  $\tau_{12}$ ),
  - eine Positionsermittlungseinheit (16) zum Ermitteln einer
  - 25 Position (P) des Zielobjekts (Z) durch Triangulation auf Basis der ermittelten Abstände ( $d_{11}$ ,  $d_{22}$ ).
12. Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung (120), aufweisend:
- die Beatspektrum-Messeinrichtung (50, 60) nach Anspruch 9
  - 30 oder 10,
  - eine Dopplerfrequenz-Ermittlungseinheit (12) zum Ermitteln einer ersten Dopplerfrequenz ( $f_{d,mono}$ ) des monostatischen Reflexionssignals (RM) des Zielobjekts (Z) im monostatischen Bereich (MB) des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ) und
  - 35 zum Ermitteln einer zweiten Dopplerfrequenz ( $f_{d,bi}$ ) des bistatischen Reflexionssignals (RB) des Zielobjekts (Z) im bistatischen Bereich (BB) des ermittelten Beatspektrums (RBS,  $BS_k$ ),

- eine Geschwindigkeitskomponenten-Ermittlungseinheit (13) zum Ermitteln einer ersten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{11}$ ) des Zielobjekts (Z) auf Basis der ersten Dopplerfrequenz ( $f_{d,mono}$ ) und zum Ermitteln einer zweiten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{22}$ ) des Zielobjekts (Z) auf Basis der zweiten Dopplerfrequenz ( $f_{d,bi}$ ) und der ersten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{11}$ ),
- eine Geschwindigkeits-Ermittlungseinheit (13a) zum Ermitteln einer vektoriellen Geschwindigkeit des Zielobjekts (Z) auf Basis der ermittelten ersten und zweiten Geschwindigkeitskomponente ( $v_{11}$ ,  $v_{22}$ ).

13. Bewegliches Objekt, aufweisend

- eine Steuerungseinheit zur autonomen oder teilautonomen Steuerung einer Bewegung des beweglichen Objekts und
- eine Beatspektrum-Messeinrichtung (50, 60) nach Anspruch 9 oder 10 und/oder eine Positionsermittlungseinrichtung (130) nach Anspruch 11 und/oder eine Geschwindigkeitsermittlungseinrichtung (120) nach Anspruch 12.

20

14. Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches direkt in eine Speichereinheit einer Steuereinrichtung eines beweglichen Objekts ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen, wenn das Computerprogramm in der Rechereinheit ausgeführt wird.

25

15. Computerlesbares Medium, auf welchem von einer Rechereinheit ausführbare Programmabschnitte gespeichert sind, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen, wenn die Programmabschnitte von der Rechereinheit ausgeführt werden.

30

FIG 1

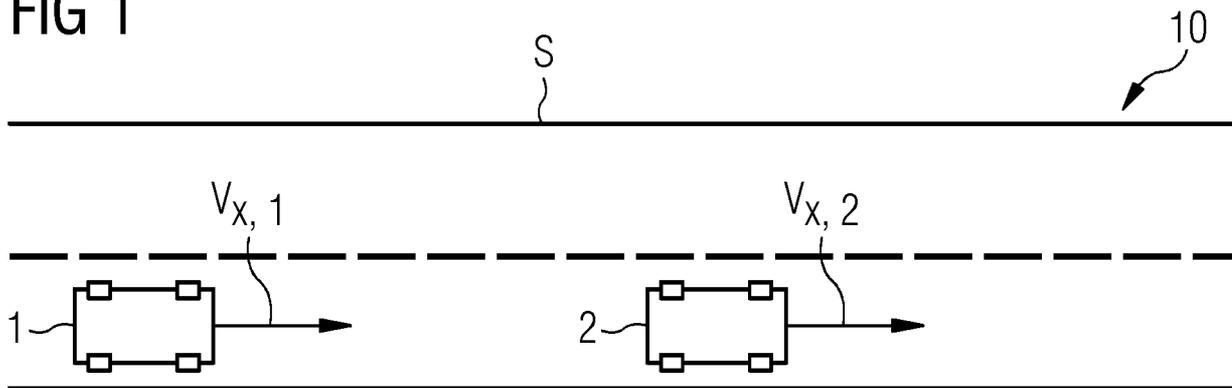


FIG 2

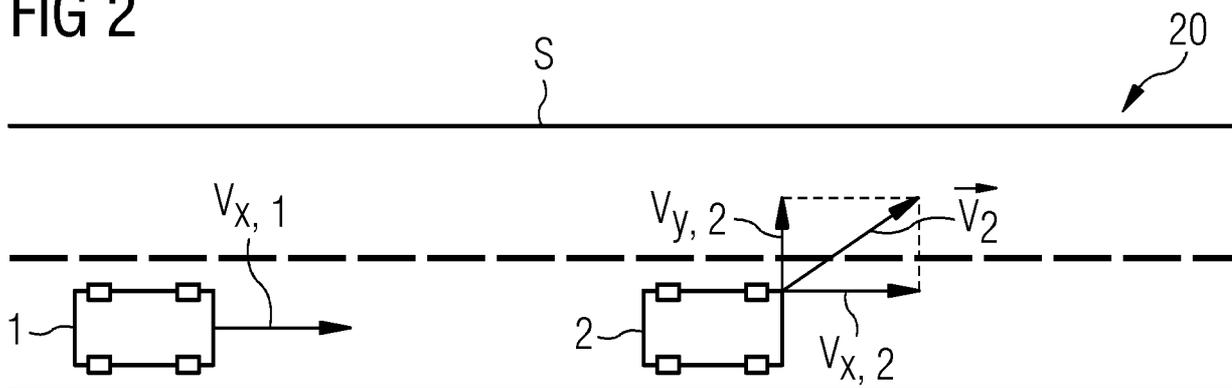


FIG 3

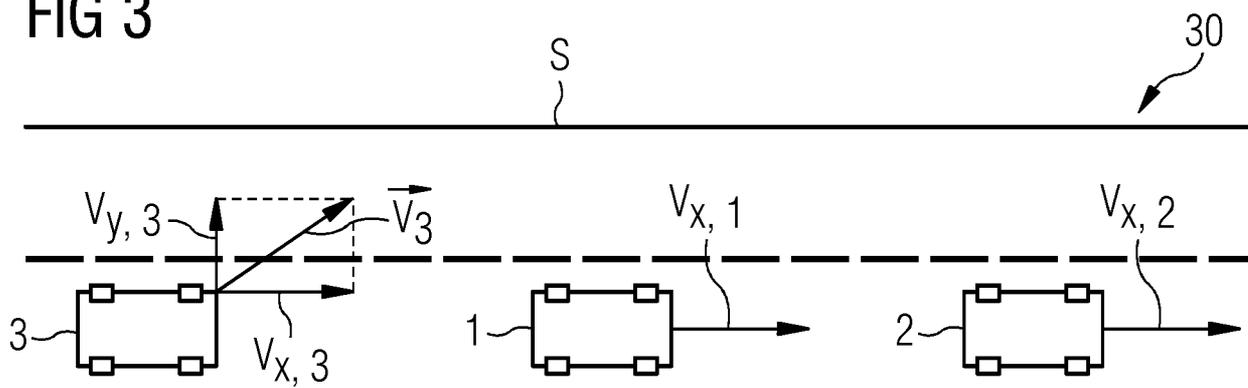


FIG 4

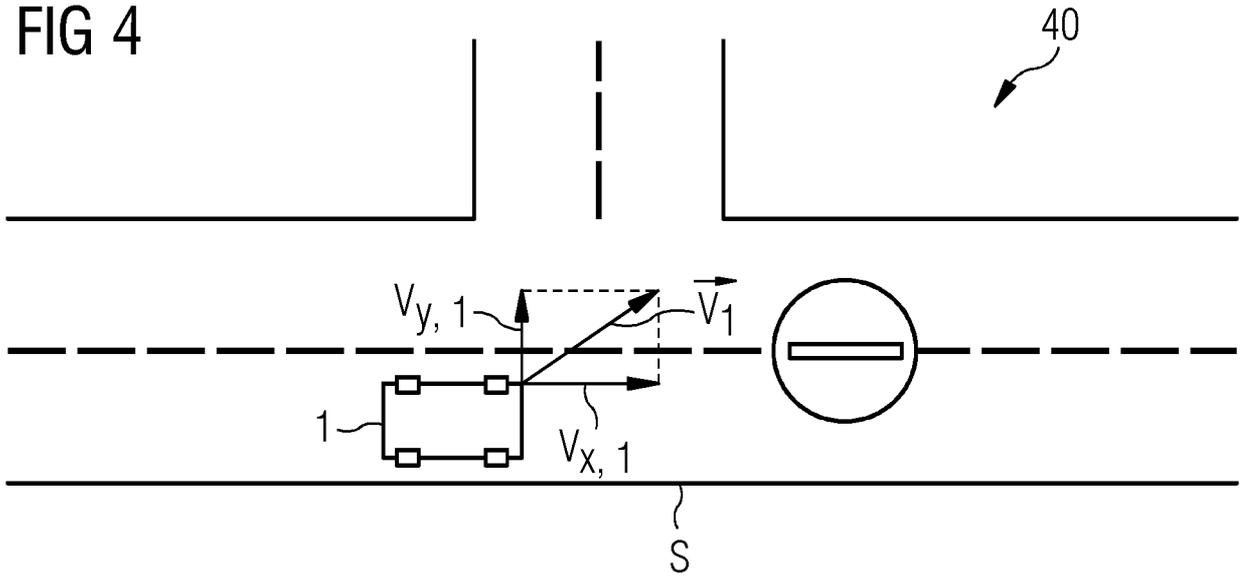


FIG 5

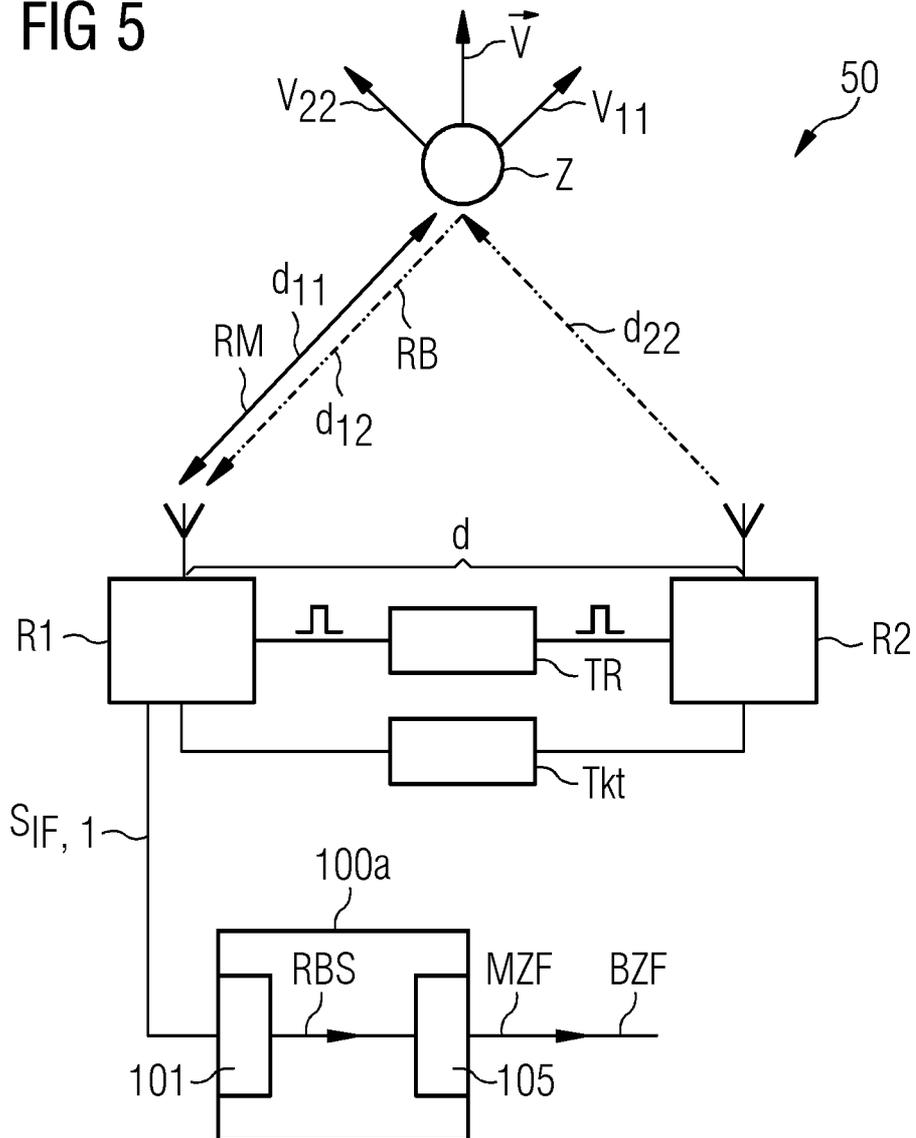


FIG 6

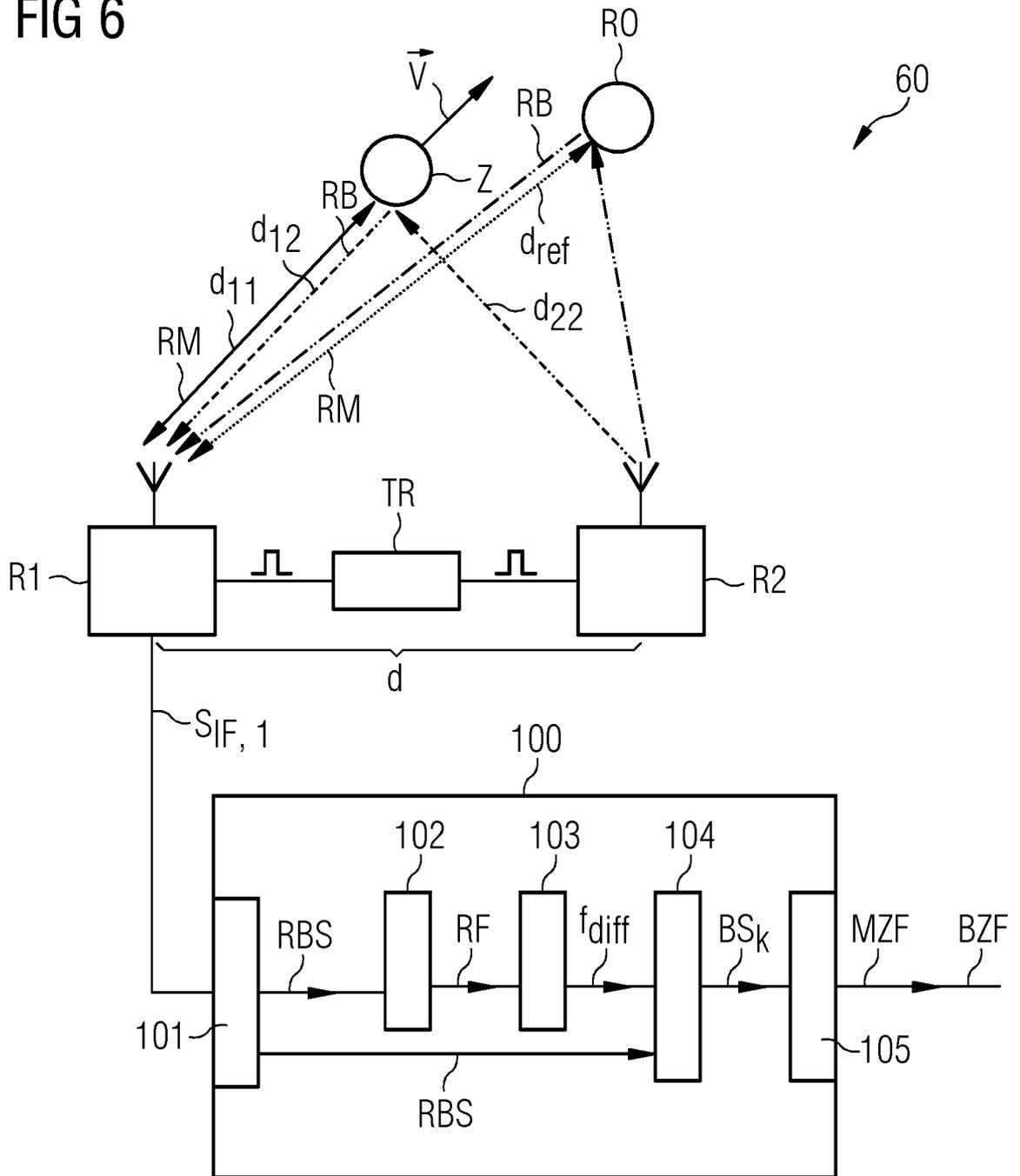


FIG 7

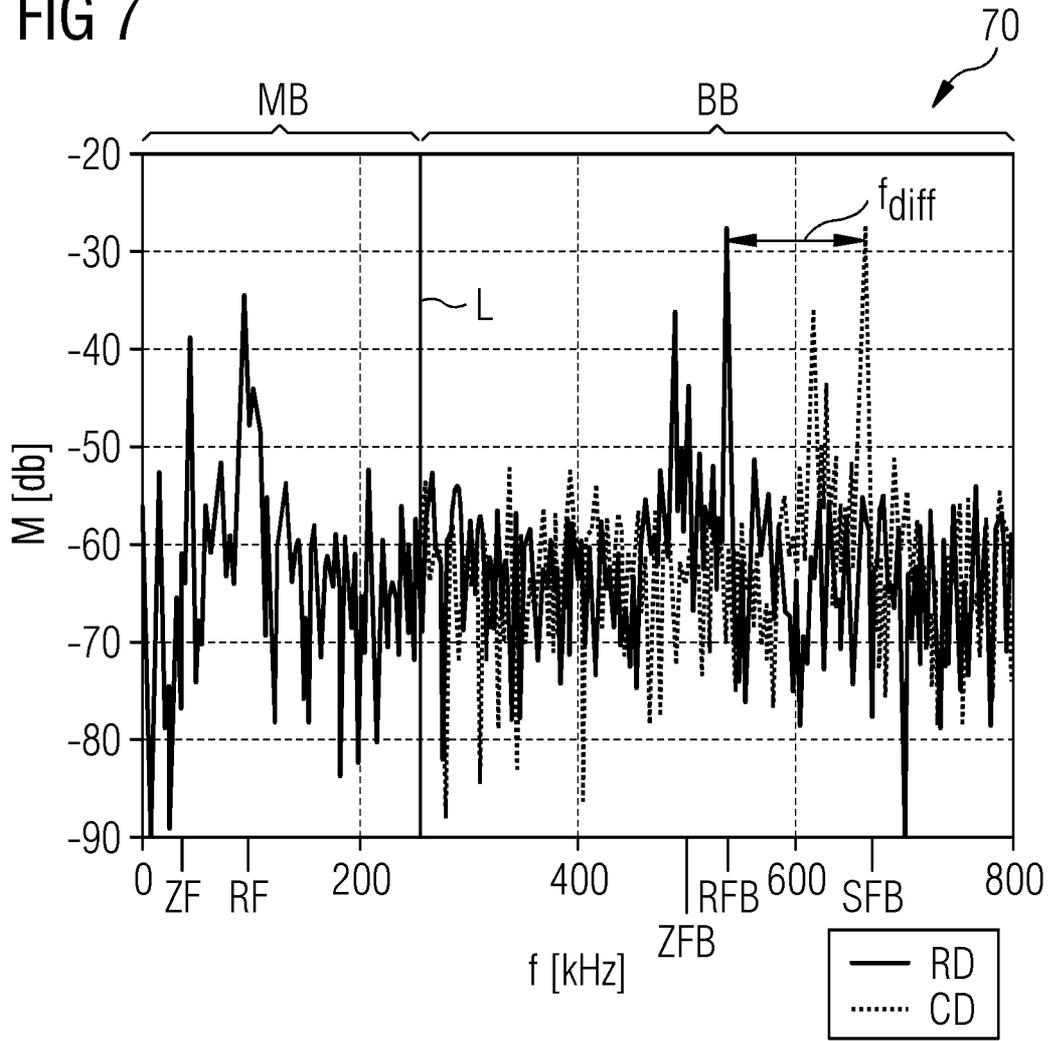


FIG 8

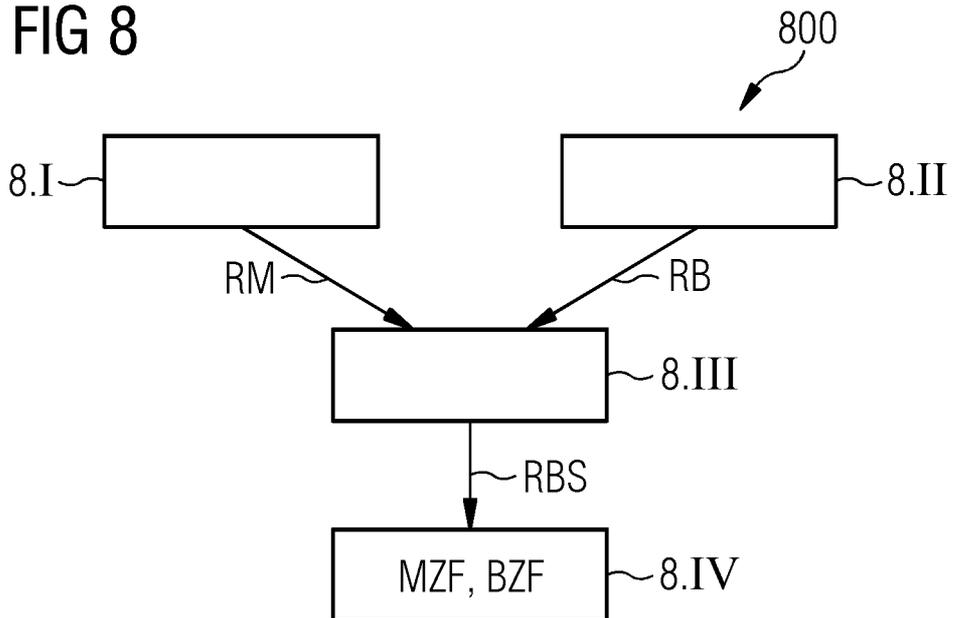


FIG 9

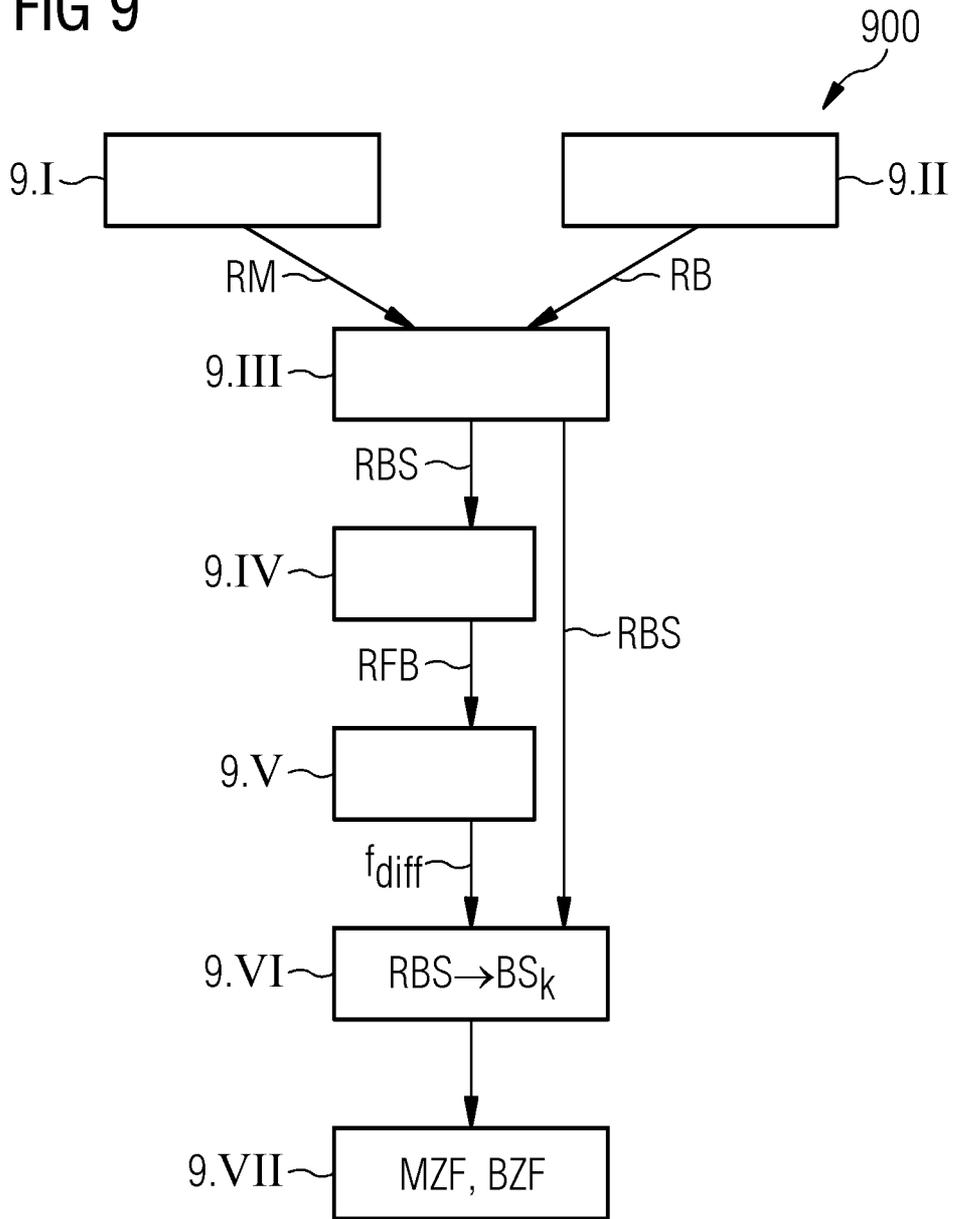


FIG 10

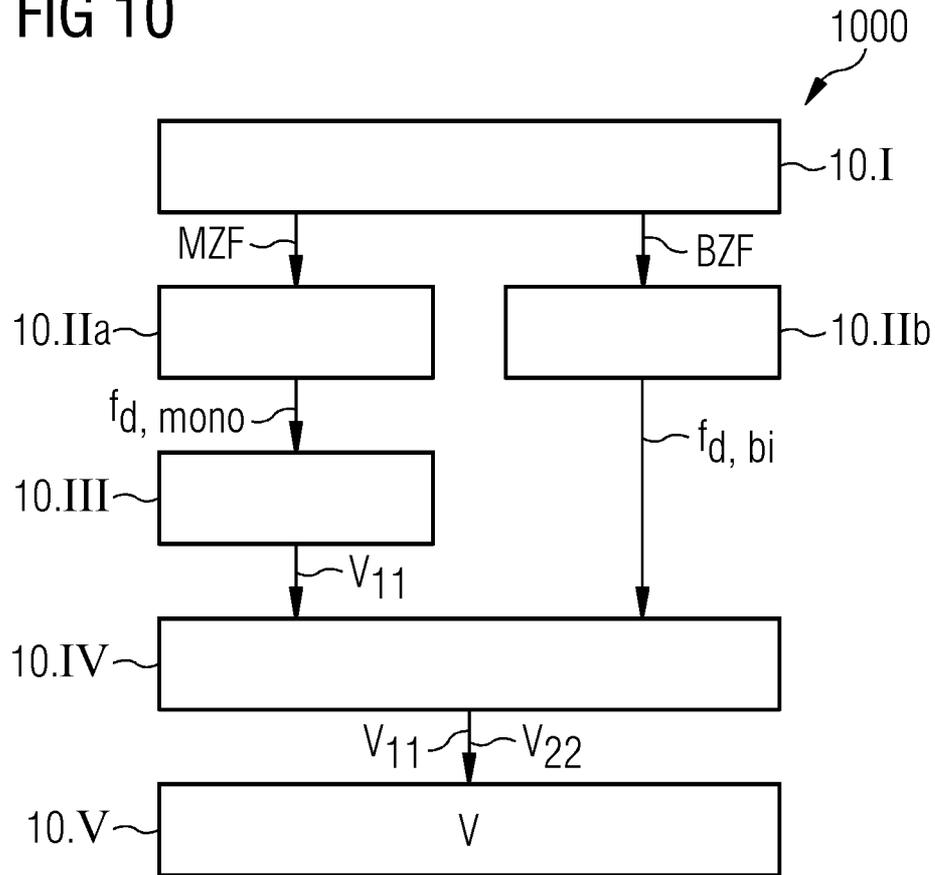


FIG 11

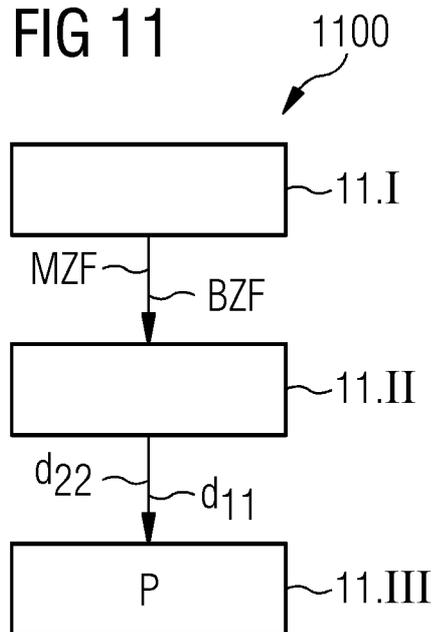


FIG 12

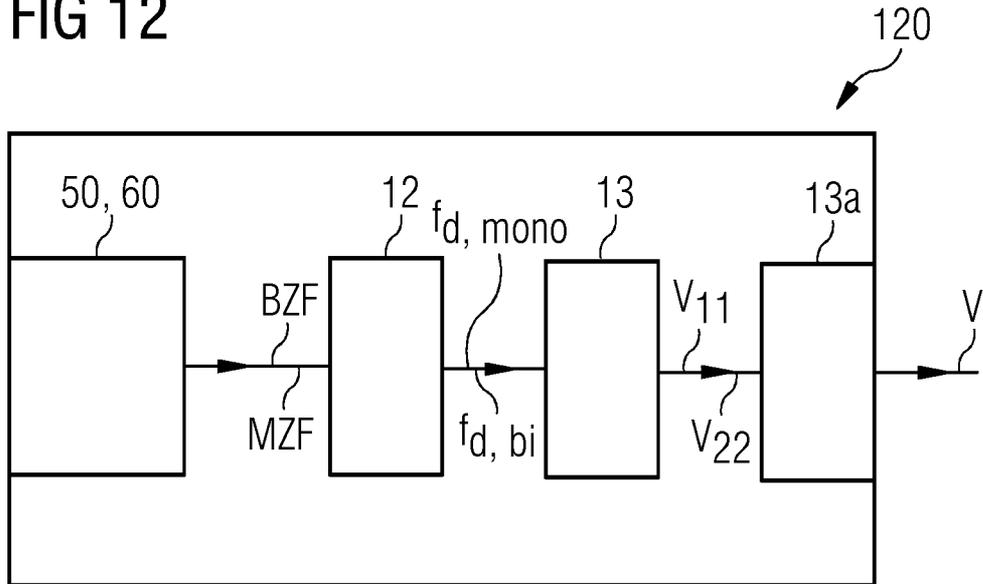


FIG 13

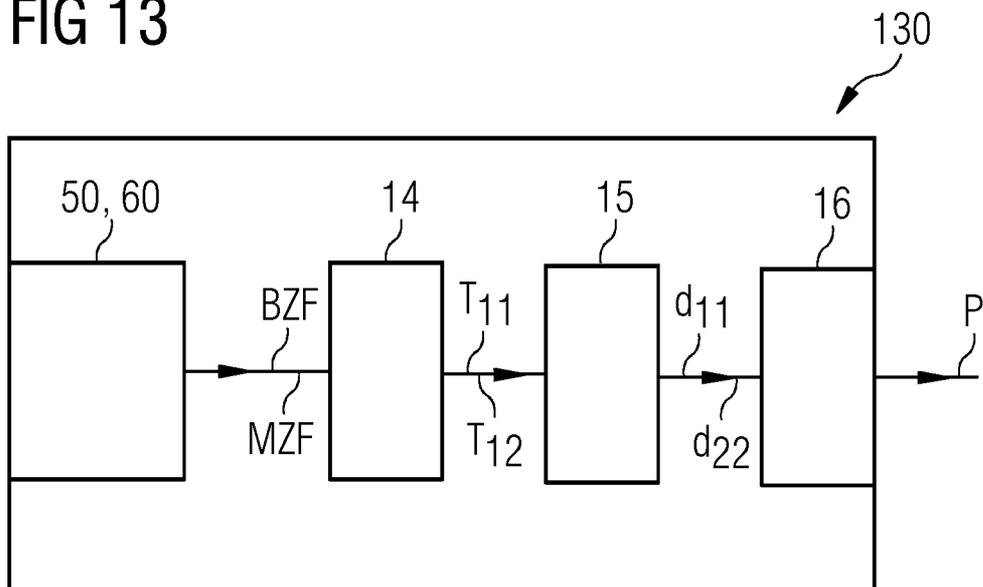


FIG 15

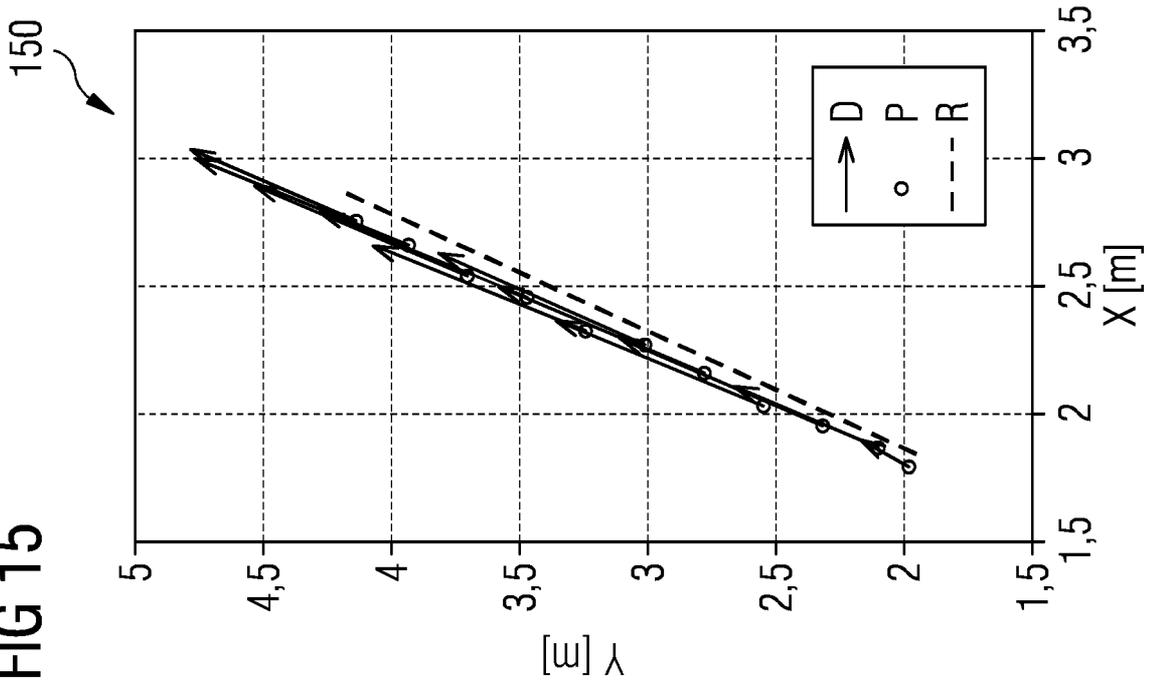
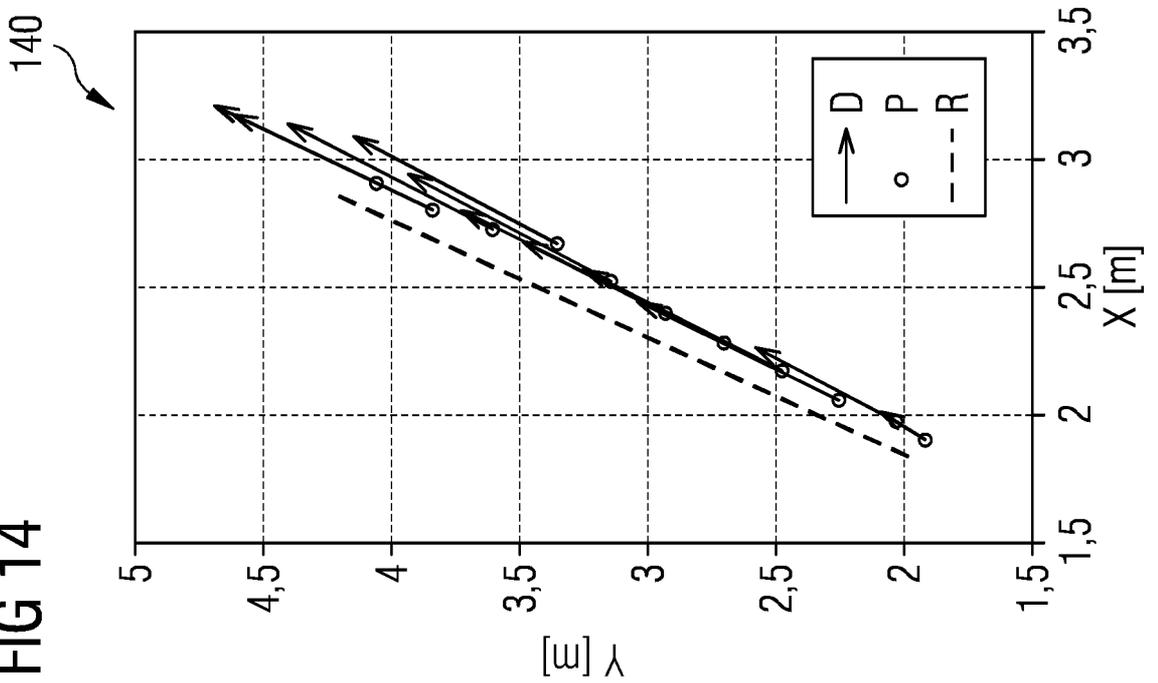


FIG 14



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2020/061484**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G01S 7/03</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/34</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/42</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/58</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/931</i> (2020.01)i; <i>G01S 7/02</i> (2006.01)i; <i>G01S 13/87</i> (2006.01)i; <i>G01S 17/00</i> (2020.01)i; <i>G01S 17/34</i> (2020.01)i; <i>G01S 17/931</i> (2020.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EDSTALLER STEFAN ET AL. "Vector Velocity and Position Measurement Using a 77-GHz Cooperative Radar System" <i>2019 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM (IMS), IEEE</i> , 07 May 2019 (2019-05-07), pages 548-551 XP033579363 the whole document	1-15
A	FRISCHEN ANDREAS ET AL. "A Cooperative MIMO Radar Network Using Highly Integrated FMCW Radar Sensors" <i>IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, PLENUM, USA</i> , Vol. 65, No. 4, 01 April 2017 (2017-04-01), pages 1355-1366 DOI: 10.1109/TMTT.2016.2647701 ISSN: 0018-9480, XP011644690 the whole document	1-15
A	DE 102015224787 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14 June 2017 (2017-06-14) paragraphs [0004] - [0016], [0021] - [0033] figures 1-3	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>07 August 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>20 August 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Kruck, Peter</b> Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2020/061484**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102017215561 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 07 March 2019 (2019-03-07) paragraphs [0006] - [0011], [0014] - [0030] figures 1-4	1-15
<hr/>		

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/EP2020/061484</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102015224787	A1	14 June 2017	NONE	
DE	102017215561	A1	07 March 2019	CN 111051913	A 21 April 2020
				DE 102017215561	A1 07 March 2019
				EP 3679391	A1 15 July 2020
				KR 20200044935	A 29 April 2020
				US 2020191906	A1 18 June 2020
				WO 2019048110	A1 14 March 2019

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2020/061484

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	G01S7/03 G01S7/02	G01S13/34 G01S13/87
	G01S13/42 G01S17/00	G01S13/58 G01S17/34
	G01S13/931 G01S17/931	
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) G01S		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EDSTALLER STEFAN ET AL: "Vector Velocity and Position Measurement Using a 77-GHz Cooperative Radar System", 2019 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM (IMS), IEEE, 7. Mai 2019 (2019-05-07), Seiten 548-551, XP033579363, das ganze Dokument ----- -/--	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
7. August 2020		20/08/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Kruck, Peter

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	FRISCHEN ANDREAS ET AL: "A Cooperative MIMO Radar Network Using Highly Integrated FMCW Radar Sensors", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, PLENUM, USA, Bd. 65, Nr. 4, 1. April 2017 (2017-04-01), Seiten 1355-1366, XP011644690, ISSN: 0018-9480, DOI: 10.1109/TMTT.2016.2647701 das ganze Dokument	1-15
A	----- DE 10 2015 224787 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 14. Juni 2017 (2017-06-14) Absätze [0004] - [0016], [0021] - [0033] Abbildungen 1-3	1-15
A	----- DE 10 2017 215561 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 7. März 2019 (2019-03-07) Absätze [0006] - [0011], [0014] - [0030] Abbildungen 1-4 -----	1-15

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/061484

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015224787 A1	14-06-2017	KEINE	
-----			
DE 102017215561 A1	07-03-2019	CN 111051913 A	21-04-2020
		DE 102017215561 A1	07-03-2019
		EP 3679391 A1	15-07-2020
		KR 20200044935 A	29-04-2020
		US 2020191906 A1	18-06-2020
		WO 2019048110 A1	14-03-2019
-----			