



(10) **DE 10 2012 107 445 B4** 2016.03.03

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 107 445.3**
(22) Anmeldetag: **14.08.2012**
(43) Offenlegungstag: **15.05.2014**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.03.2016**

(51) Int Cl.: **G01S 7/41 (2006.01)**
G01S 13/91 (2006.01)
G01S 13/42 (2006.01)
G01S 13/58 (2006.01)
G08G 1/015 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
JENOPTIK Robot GmbH, 40789 Monheim, DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Oehmke und Kollegen, 07743 Jena, DE

(72) Erfinder:
Lehning, Michael, Dr., 31137 Hildesheim, DE;
Pröfrock, Dima, Dr., 31141 Hildesheim, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 040 015	B4
DE	38 10 357	A1
EP	2 011 103	B1
EP	1 990 654	A1

FANG, J.X. u.a.: A ground vehicle classification approach using unmodulated continuous-wave radar. In: IET International Conference on Radar Systems 2007, S. 1-4

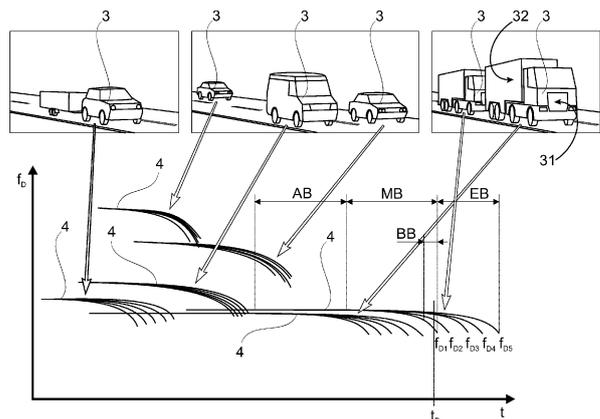
(54) Bezeichnung: **2Verfahren zur Klassifizierung von fahrenden Fahrzeugen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Klassifizieren von Fahrzeugen (3), bei dem Fahrzeuge (3) beim Durchfahren eines durch Radarstrahlung (11) gebildeten Radarkegels (12) angemessen werden, indem die mit Radarstrahlung (11) beaufschlagten Oberflächen der Fahrzeuge (3) die Radarstrahlung (11) reflektieren und Messsignale (4) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung generieren, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Anordnen eines winkelauflösenden Radargerätes (1), welches Messsignale (4) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung liefert, aus denen Radialentfernungen (RE), Objektwinkel (γ) und Radialgeschwindigkeiten ableitbar sind, in einer vertikalen Aufstellhöhe (v_{AH}) zur Fahrbahnoberfläche einer Fahrbahn (2) sowie einem horizontalen spitzen Aufstellwinkel (α) zu einem Fahrbahnrand der Fahrbahn (2),
- Aussenden einer einen Radarkegel (12) bildenden Radarstrahlung (11) mittels des Radargerätes (1) und Erfassen der Messsignale (4) zu mehreren Messzeitpunkten in einer Messzeit (t), von wenigstens einem den Radarkegel (12) durchfahrenden Fahrzeug (3),
- Abspeichern der Frequenzen der erfassten Messsignale (4) angemessener Fahrzeuge (3) als Funktionen über die Messzeit (t) und Bilden eines Spektrogramms pro Fahrzeug (3),
- Überprüfen der Spektrogramme auf Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite der Frequenz und Festlegen wenigstens eines Messzeitpunkts als Bewertungszeitpunkt (t_B) im Bewertungsbereich (BB),

e) Vergleich dieser Bewertungsbereiche (BB) mit Bewertungsbereichen abgespeicherter Spektrogramme für verschiedene Fahrzeugklassen, und Zuordnung zu dem ähnlichsten, um damit die durchfahrenden Fahrzeuge (3) zu klassifizieren und

f) Ableiten von Objektwinkeln (γ) aus den Messsignalen (4) zu dem wenigstens einen Bewertungszeitpunkt (t_B) innerhalb der Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite, wobei die jeweils abgeleiteten Objektwinkel (γ) für den betreffenden Bewertungszeitpunkt (t_B) jeweils als Funktion über die Frequenz abgespeichert werden und der Verlauf der Funktion mit für verschiedene Fahrzeugklassen abgespeicherten Vergleichsmodellen (VM) verglichen wird, um die Klassifizierung der Fahrzeuge (3) zu verifizieren.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Klassifizierung von Fahrzeugen, wie es gattungsgemäß aus der Patentschrift EP 2 011 103 B1 bekannt ist.

[0002] Die Klassifizierung von Fahrzeugen im fließenden Verkehr weist ein breites Anwendungsspektrum auf. Insbesondere im Rahmen einer automatisierten Überwachung und Regelung des Straßenverkehrs kommt der automatischen Grobklassifizierung, zur Einteilung der Fahrzeuge in große und langsamere (LKW, Busse) und in kleinere und schnellere Fahrzeuge (PKW), eine besondere Bedeutung zu. Entsprechend der erfassten Fahrzeugklasse können beispielsweise nach Fahrzeugklassen differenziert Mautgebühren erhoben, Ampelanlagen geregelt oder Verkehrsverstöße geahndet werden.

[0003] In den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren zur Grobklassifizierung von Fahrzeugen erfolgt die Zuordnung zu einer Fahrzeugklasse häufig durch die Ermittlung der individuellen Fahrzeuglänge anhand des Ein- und Austritts eines Fahrzeugs in den Messbereich einer Messeinrichtung. Mittels Auswertverfahren kann aus den aufgenommenen Signalen mit ausreichender Sicherheit ein auswertbares Merkmal für die Fahrzeuglänge generiert werden, das eine Zuordnung der Fahrzeuge zur Klasse der Busse bzw. LKWs oder zur Klasse der PKWs gestattet. Hierzu bekannte Vorrichtungen arbeiten dabei entweder mit Induktionsschleifen, welche die Klassifizierung anhand der bei einer Überfahrt ermittelten Länge und Bodenfreiheit der Fahrzeuge durchführen, oder mit Radargeräten, welche die Klassifizierung anhand der Durchfahrt des Fahrzeugs durch den Kegel des Radarstrahls (Radarkegel) mittels einer aus der Durchfahrtsdauer und der Geschwindigkeit ermittelten Fahrzeuglänge durchführen.

[0004] In einem in der Offenlegungsschrift EP 1 990 654 A1 offenbarten Verfahren erfolgt die Ermittlung der Fahrzeuglänge durch ein im spitzen Winkel seitlich zur Fahrbahn aufgestelltes Radargerät. Anhand der beim Eintreten und Verlassen des Fahrzeugs ermittelten Entfernungspunkte und dem bekannten Aufstellwinkel kann die Länge der Durchfahrtsstrecke des Fahrzeugs durch den Radarkegel ermittelt werden. Aus der ermittelten Fahrzeuggeschwindigkeit und der Durchfahrtszeit kann die in dieser Zeit vom Fahrzeug zurückgelegte Gesamtstrecke ermittelt werden. Damit kann aus der Differenz der Gesamtstrecke und der Durchfahrtsstrecke die Fahrzeuglänge berechnet werden und durch einen Vergleich mit den für eine Klasse typischen Fahrzeuglängen das erfasste Fahrzeug klassifiziert werden. Fehlereinflüsse, die sich aus der gegenseitigen Verdeckung von Fahrzeugen ergeben, können mit diesem Verfahren nicht aufgelöst werden.

[0005] Bei einem in der Offenlegungsschrift DE 38 10 357 A1 beschriebenen Verfahren, erfolgt die Klassifizierung ebenfalls anhand der ermittelten Fahrzeuglänge. Dazu wird zunächst während der Durchfahrt eines Fahrzeuges durch den Radarkegel eines Radargerätes ein Dopplerecho aufgenommen und aus dessen Frequenzspektrum die Frequenz mit maximaler Amplitude ermittelt. Anhand dieser Frequenz wird eine Geschwindigkeit ermittelt. Aus der Geschwindigkeit und der Signaldauer des Dopplerechos kann dann die Fahrzeuglänge ermittelt werden. Die Messung der Fahrzeuglänge über die Signaldauer ist mit mehreren Fehlereinflüssen verbunden. Da die Radarstrahlung von einer von der Fahrzeuglänge abhängig großen Fläche reflektiert wird, wird die Signaldauer prinzipiell um die Fahrzeuglänge verfälscht erfasst. Weiterhin führen Abschattungen der schräg auf die Fahrzeuge gerichteten Radarstrahlung an Teilen der Fahrzeuge zu einer verfälschten Längenmessung. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Längenmessung wird ein für jede Einflussgröße getrennt und empirisch ermittelter Korrekturfaktor verwendet. Die Klassifizierung erfolgt abschließend durch den Vergleich des korrigierten zeitlichen Verlaufs des Dopplerechos mit dem von gespeicherten und identifizierten Mustern. Letztendlich ist die ermittelte Fahrzeuglänge jedoch nur eine sehr grobe Schätzung, bei der es leicht zu fehlerhaften Klassifizierungsergebnissen kommen kann.

[0006] Eine hypothetische Möglichkeit, die Klassifikation von Fahrzeugen ohne eine unmittelbare Erfassung der Fahrzeuglänge durchzuführen, wird in der Patentschrift EP 2 011 103 B1 beschrieben. Mit einem Radargerät wird ein Radarstrahl entlang eines Verkehrsweges ausgerichtet. Es wird ein linearfrequenzmoduliertes CW-Radargerät verwendet, mit dem sich Geschwindigkeiten und Entfernungen von Verkehrsteilnehmern ermitteln lassen. Die von Verkehrsteilnehmern reflektierten Signale werden vom Rauschen separiert und in einer Datenverarbeitungseinrichtung ausgewertet. Als Ergebnis dieser Verarbeitung werden zwei Fourier-Transformationskoeffizienten erzeugt, wobei der eine Koeffizient eine Funktion der Entfernung und der andere Koeffizient eine Funktion der Geschwindigkeit der erfassten Verkehrsteilnehmer darstellt. Werden beide Funktionen in den zwei Dimensionen eines kartesischen Diagramms gegeneinander aufgetragen, entstehen für die unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer charakteristische Muster. Die Zusammensetzung und Form dieser Muster ist dabei ein Maß für die Streuung der Geschwindigkeiten und Abstände der reflektierten Signale eines Verkehrsteilnehmers, deren statistische Auswertung eine Zuordnung von Verkehrsteilnehmern zu vordefinierten Klassen zulassen. Aufgrund des Messprinzips des linearfrequenzmodulierten CW-Radargeräts können jedoch keine Winkel erfassten Objekten zugeordnet werden. Damit ist es zwar möglich festzustellen, dass sich z. B. ein PKW

oder ein LKW im Radarkegel befindet, jedoch kann diese Aussage, sofern sich mehrere Verkehrsteilnehmer gleichzeitig im Radarkegel befinden, nicht sicher zugeordnet werden.

[0007] Eine weitere Lösung (Fang et al., 2007, IET International Conference on Radar Systems, 1–4) berücksichtigt, dass Radarstrahlung in der Praxis an mehreren Stellen eines Fahrzeugs reflektiert wird und es zu entsprechenden Streuungen eines empfangenen Radarsignals kommt. Diese gestreuten Signale werden als Dopplerfrequenzen der reflektierenden Fahrzeugstellen über die Zeit erfasst. Dabei wird ein Bündel von Dopplerfrequenzverläufen erhalten, die mittels der Hough-Transformation räumlichen Koordinaten zugeordnet werden können. Mittels dieser räumlichen Koordinaten und deren relativen Beziehungen zueinander ist eine Zuordnung des jeweils angemessenen Fahrzeugs mit hoher Zuverlässigkeit einer bestimmten Größenklasse zuordenbar.

[0008] Es ist die Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zu finden, das geeignet ist, mehrere einen Radarkegel durchfahrende Fahrzeuge gleichzeitig und sicher zu klassifizieren.

[0009] Diese Aufgabe wird für ein Verfahren zum Klassifizieren von Fahrzeugen, bei dem Fahrzeuge beim Durchfahren eines durch Radarstrahlung gebildeten Radarkegels angemessen werden, indem die mit Radarstrahlung beaufschlagten Oberflächen der Fahrzeuge die Radarstrahlung reflektieren und Messsignale mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung generieren, mit folgenden Verfahrensschritten gelöst.

[0010] Es wird ein winkelauflösendes Radargerät, welches Messsignale mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung liefert, aus denen Radialentfernungen, Objektwinkel und Radialgeschwindigkeiten ableitbar sind, in einer Aufstellhöhe zur Fahrbahnoberfläche einer Fahrbahn sowie einem horizontalen spitzen Aufstellwinkel zu einem Fahrbahnrand der Fahrbahn angeordnet.

[0011] Dieses Radargerät sendet eine einen Radarkegel bildende Radarstrahlung aus und es werden zu mehreren Messzeitpunkten in einer Messzeit, Messsignale kommend von wenigstens einem den Radarkegel durchfahrenden und damit angemessenen Fahrzeug erfasst.

[0012] Es werden die Frequenzen der erfassten Messsignale der angemessenen Fahrzeuge als Funktionen über die Messzeit abgespeichert und aus diesen ein Spektrogramm pro Fahrzeug gebildet.

[0013] Anschließend werden die Spektrogramme auf Bewertungsbereiche mit maximaler Bandbreite der Frequenz überprüft und diese Bewertungs-

bereiche mit Bewertungsbereichen vorgegebener und abgespeicherter Spektrogramme für verschiedene Fahrzeugklassen verglichen. Die angemessenen Fahrzeuge werden dann jeweils der Fahrzeugklasse zugeordnet, für die das vorgegebene Spektrogramm abgespeichert vorliegt, welches dem gebildeten Spektrogramm am nächsten kommt. Dabei kann der Vergleich sich darauf beschränken, dass die maximalen Bandbreiten der gebildeten Spektrogramme mit den maximalen Bandbreiten der vorgegebenen, abgespeicherten Spektrogramme verglichen werden. Im Bewertungsbereich wird wenigstens ein Messzeitpunkt als ein Bewertungszeitpunkt festgelegt.

[0014] Vorteilhaft werden aus den Messsignalen zu wenigstens einem der Bewertungszeitpunkte innerhalb der Bewertungsbereiche mit maximaler Bandbreite, jeweils Objektwinkel abgeleitet, die für den betreffenden Bewertungszeitpunkt jeweils als Funktion über die Frequenz abgespeichert werden und der Verlauf der Funktion mit für verschiedene Fahrzeugklassen abgespeicherten Vergleichsmodellen verglichen wird, um die Klassifizierung der Fahrzeuge zu verifizieren.

[0015] Alternativ werden vorteilhaft aus den Messsignalen zu wenigstens einem der Bewertungszeitpunkte innerhalb der Bewertungsbereiche mit maximaler Bandbreite, jeweils Radialentfernungen abgeleitet, die für den betreffenden Bewertungszeitpunkt jeweils als Funktion über die Frequenz abgespeichert werden und der Verlauf der Funktionen mit für verschiedene Fahrzeugklassen abgespeicherten Vergleichsmodellen verglichen werden, um die Klassifizierung der Fahrzeuge zu verifizieren.

[0016] Es ist von Vorteil, wenn aus den Messsignalen zu wenigstens einem der Bewertungszeitpunkte innerhalb der Bewertungsbereiche mit maximaler Bandbreite, Signalamplituden der Messsignale für den betreffenden Bewertungszeitpunkt jeweils als Funktion über die Frequenz abgespeichert werden und der Verlauf der Funktionen mit für verschiedene Fahrzeugklassen abgespeicherten Vergleichsmodellen verglichen werden, um die Klassifizierung der Fahrzeuge zu verifizieren.

[0017] Vorteilhaft erfolgt aus dem Vergleich aller gebildeten Funktionen mit abgespeicherten Vergleichsmodellen eine Modellierung der Fahrzeuggröße.

[0018] Es ist von Vorteil bei der Bildung einer jeden Funktion eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für verschiedene Fahrzeuggrößen zu bestimmen und diese Wahrscheinlichkeiten über den gesamten zeitlichen Verlauf gewichtet zu akkumulieren.

[0019] Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

[0020] Fig. 1: eine schematische Darstellung einer Anordnung des Radargeräts neben der Fahrbahn,

[0021] Fig. 2: Spektrogramme mehrerer in einem Messzeitraum angemessener Fahrzeuge,

[0022] Fig. 3a: die prinzipielle Herleitung der Frequenzspektren der Signalkomponenten aus den Messsignalen eines Punktreflektors,

[0023] Fig. 3b: die prinzipielle Herleitung der Frequenzspektren der Signalkomponenten aus den Messsignalen eines überwiegend frontal erfassten Fahrzeugs,

[0024] Fig. 3c: die prinzipielle Herleitung der Frequenzspektren der Signalkomponenten aus den Messsignalen eines überwiegend seitlich erfassten Fahrzeugs,

[0025] Fig. 4: ein Beispiel einer Klassifizierung eines PKW und eines LKW anhand von klassifizierten Vergleichsmodellen.

[0026] Für das Verfahren zum Klassifizieren eines oder auch zum gleichzeitigen Klassifizieren mehrerer sich auf einer Fahrbahn 2 fortbewegender Fahrzeuge 3 wird als ein winkelauflösendes Radargerät 1, ein FSK-Radargerät, eine Sonderform des aus dem Stand der Technik bekannten FMCW-Radars, verwendet. Mit dem FSK-Radargerät 1 können gleichzeitig mehrere Fahrzeuge 3 erfasst und auch verfolgt (Tracking) werden. Ein FSK-Radar 1 (FSK = Frequency Shift Keying) sendet eine Radarstrahlung 11 auf mindestens zwei alternierenden Trägerfrequenzen aus bzw. nimmt von erfassten Fahrzeugen 3 verursachte Reflexionen der mindestens zwei alternierenden Trägerfrequenzen wieder auf. Durch die Auswertung von Frequenzverschiebungen zwischen und innerhalb der beiden von den Fahrzeugen 3 reflektierten Trägerfrequenzen, wird innerhalb kurzer Zeit eine räumliche Auflösung zwischen mehreren Fahrzeugen 3 entsprechend deren Radialentfernungen RE, Radialgeschwindigkeiten und Objektwinkeln γ gegenüber dem Radargerät 1 ermöglicht.

[0027] Verschiedene Verfahren und dazu geeignete Vorrichtungen zum Ableiten der genannten Parameter aus den Radarsignalen sind aus dem Stand der Technik bekannt, wie z. B. die in der DE 10 2004 040 015 B4 beschriebene Planarantenne mit zwei getrennten Empfangsflächen.

[0028] In Abhängigkeit von den Abstrahleigenschaften des Radargeräts 1 bildet die Radarstrahlung 11, wie in Fig. 1 dargestellt, einen vom Radargerät 1 ausgehenden und sich aufweitenden Radarkegel 12, mit einer Symmetrieachse 13. Die Ausrichtung des Radargeräts 1 und damit des Radarkegels 12 gegenüber der Fahrbahn 2 kann anhand der Orientierung

der Symmetrieachse 13 beschrieben und eingestellt werden. Der Radarkegel 12 wird so auf die Fahrbahn 2 gerichtet, dass die Fahrzeuge 3 an einem vom Radargerät 1 entfernten Ort (nahezu frontal) bis zu einem nahe am Radargerät 1 befindlichen Ort (nahezu seitlich) mit Radarstrahlung 11 beaufschlagt werden. An dem entfernten Ort tritt das Fahrzeug 3 in den Radarkegel 12 ein und am nahen Ort verlässt es den Radarkegel 12 wieder.

[0029] Die vom Radargerät 1 ausgesendete Radarstrahlung 11 wird an den mit Radarstrahlung 11 beaufschlagten und die Radarstrahlung 11 reflektierenden Oberflächen der Fahrzeuge 3 reflektiert und die reflektierte Radarstrahlung 11 wieder vom Radargerät 1 erfasst. Anhand der ausgesendeten und reflektierten Radarstrahlung 11 werden die Fahrzeuge 3 angemessen. Durch eine Relativbewegung der den Radarkegel 12 durchfahrenden Fahrzeuge 3 gegenüber dem Radargerät 1 erzeugen diese in der reflektierten Radarstrahlung 11 Dopplerverschiebungen aus denen das Radargerät 1 niederfrequente Messsignale 4 generiert die den Dopplerverschiebungen entsprechen und in Form von Dopplerfrequenzen f_D erfasst und ausgewertet werden. Die Auswertung der Messsignale 4 mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ermöglicht eine Klassifizierung der Fahrzeuge 3.

[0030] Zur Durchführung des Verfahrens wird in einem ersten Verfahrensschritt das Radargerät 1 so zur Fahrbahn 2 angeordnet, dass eine Radialgeschwindigkeit, eine Radialentfernung RE und ein Objektwinkel γ von sich auf das Radargerät 1 zu bewegendem Fahrzeugen 3 aufgenommen werden kann. Das Radargerät 1 wird dazu neben der Fahrbahn 2 angeordnet, sodass die Symmetrieachse 13 mit einem Fahrbahnrand 21 einen horizontalen spitzen Aufstellwinkel α einschließt. Weiterhin ist das Radargerät 1 in Bodennähe (z. B. in üblicher Höhe der Radachsen der Fahrzeuge 3), in einer bekannten vertikalen Aufstellhöhe v_{AH} und mit einem vertikalen Aufstellwinkel (nicht dargestellt) der Symmetrieachse 13 zur Oberfläche der Fahrbahn 2, von üblicherweise 0° aufgestellt, sodass die Symmetrieachse 13 parallel zur Oberfläche der Fahrbahn 2 ausgerichtet ist.

[0031] In einer Ausführung des Verfahrens ist es auch möglich das Radargerät 1 direkt über der Fahrbahn 2, z. B. in Höhe einer die Fahrbahn 2 überspannenden Brücke anzubringen. In diesem Fall ist die Symmetrieachse 13 parallel zum Fahrbahnrand 21 und mit einem vertikalen Aufstellwinkel zur Oberfläche der Fahrbahn 2 orientiert. Die Fahrzeuge 3 werden somit an dem weit vom Radargerät 1 entfernten Ort, nahezu frontal bis zum nahe am Radargerät 1 liegenden Ort, nahezu von oben erfasst.

[0032] Die vom Radargerät 1 erfassten Messsignale 4 werden in Form der Dopplerfrequenzen f_D aus-

gegeben. Aus den Dopplerfrequenzen f_D werden direkt die Radialgeschwindigkeiten der angemessenen Fahrzeuge **3** ermittelt.

[0033] Zur vereinfachten Begriffsklärung wird das Fahrzeug **3**, wie in **Fig. 1** dargestellt, auf das Reflexionssignal eines idealen Punktreflektors **33** reduziert und das Radargerät **1** als eine punktförmige Quelle der Radarstrahlung **11** betrachtet, von der auch die Symmetrieachse **13** des Radarkegels **12** ausgeht. Der Fachmann weiß, dass es sich bei der Symmetrieachse **13** um die Sendeachse des Radargerätes **1** handelt, die parallel zu einer Achse der Empfängerachse, auf die die Objektwinkel γ bezogen sind, verläuft. Der Abstand dieser Achsen kann jedoch vernachlässigt werden, weshalb die Symmetrieachse **13** als die eine Achse des Radargerätes **1** verstanden werden kann, auf die sowohl die Angaben zum Radarkegel **12** als auch die Objektwinkel γ bezogen werden können.

[0034] Die Radialentfernung RE des Fahrzeugs **3** entspricht damit dem direkten Abstand des Punktreflektors **33** zur punktförmigen Quelle. Sie wird unmittelbar aus einer Frequenzverschiebungsmessung zwischen den beiden Trägerfrequenzen des FSK-Radars **1** abgeleitet.

[0035] Die Radialgeschwindigkeit des Fahrzeugs **3** ist damit die Geschwindigkeit, mit der sich der Punktreflektor **33** in radialer Richtung auf die punktförmige Quelle zu bewegt. Die Radialgeschwindigkeit ist nur eine Geschwindigkeitskomponente einer realen Fahrzeuggeschwindigkeit, mit der sich das Fahrzeug **3** in einer Fahrtrichtung **34** auf der Fahrbahn **2** bewegt. Aufgrund des seitlich neben der Fahrbahn **2** aufgestellten Radargerätes **1** ist die Fahrtrichtung **34** des Fahrzeug **3** am Radargerät **1** vorbei gerichtet. Bei einer vektoriellen Betrachtung lässt sich die Fahrzeuggeschwindigkeit aus einer Addition einer radial zum Radargerät **1** ausgerichteten Geschwindigkeitskomponente (Radialgeschwindigkeit) und einer rechtwinklig dazu ausgerichteten Geschwindigkeitskomponente (Bahngeschwindigkeit) ermitteln. Die Radialgeschwindigkeit wird unmittelbar aus der Dopplerfrequenz f_D der vom Punktreflektor **33** reflektierten Radarstrahlung **11** abgeleitet.

[0036] Als Objektwinkel γ wird der Winkel bezeichnet, der an der punktförmigen Quelle der Radarstrahlung **11** zwischen der Symmetrieachse **13** und einer Geraden zum Punktreflektor **33** aufgespannt wird. Die Ermittlung des Objektwinkels γ erfolgt anhand zweier unterschiedlicher Phasenverschiebungen, die von der einen Senderfläche abgestrahlten Radarstrahlung **11**, die an den beiden Empfängerflächen gemessen werden, nach dem Prinzip der Triangulationsrechnung.

[0037] Im Gegensatz zum idealen Punktreflektor **33** weist ein Fahrzeug **3** eine räumliche Ausdehnung mit einer Vielzahl räumlich verteilter und die Radarstrahlung **11** reflektierender Oberflächen auf, die wiederum eine Vielzahl von erfassbaren Punktreflektoren **33** bilden. Dementsprechend weist das für ein erfasstes Fahrzeug **3** aufgenommene Messsignal **4** auch eine Vielzahl von Dopplerfrequenzen f_D auf. Je nach Radialentfernung RE, Objektwinkel γ und Fahrzeugwinkel ϵ des Fahrzeugs **3** werden an den Fahrzeugen **3** auch mehrere räumlich verteilte Reflexionen der Radarstrahlen **11** erfasst. Die Anzahl und Verteilung der Reflexionen an den Fahrzeugen **3** nimmt mit einer sich verringernden Radialentfernung RE zu, da aus der Perspektive des Radargerätes **1** auch die Größen der reflektierenden Oberflächen der Fahrzeuge **3** zunimmt. Für jede einzelne der erfassten Reflexionen kann die Radialentfernung RE, Radialgeschwindigkeit und der Objektwinkel γ , differenziert nach deren räumlichen Anordnung an den Oberflächen des Fahrzeugs **3** abgeleitet werden.

[0038] In einem zweiten Verfahrensschritt wird die den Radarkegel **12** bildende Radarstrahlung **11** vom Radargerät **1** ausgesendet. Bei der Durchfahrt von wenigstens einem Fahrzeug **3** durch den Radarkegel **12** wird die Radarstrahlung **11** teilweise an den reflektierenden Oberflächen des Fahrzeugs **3** reflektiert und die Reflexionen vom Radargerät **1** als Messsignale **4** mit einer entsprechenden Signalamplitude SA erfasst. Die Erfassung der Messsignale **4** erfolgt in einer Messzeit t zu mehreren Messzeitpunkten.

[0039] Um einen ausreichenden Signal-Rausch-Abstand zu einem prinzipbedingt miterfassten Grundrauschen der Messsignale **4** herzustellen und die Eindeutigkeit bei der Erfassung der Messsignale **4** zu erhöhen, wird für die Signalamplituden SA sinnvollerweise ein Schwellwert festgelegt, den die Signalamplituden SA der erfassten Messsignale **4** überschreiten müssen, um bei einer nachfolgenden Signalverarbeitung berücksichtigt zu werden.

[0040] In einem dritten Verfahrensschritt werden die Messsignale **4** in Form der Dopplerfrequenzen f_D den Messzeitpunkten zugeordnet zwischengespeichert. Sie lassen sich über die Messzeit t auf einer Zeitachse aufgetragen. Alle erfassten Messsignale **4** eines angemessenen Fahrzeugs **3** lassen sich hierbei jeweils in Form eines zeitlichen Verlaufs der Dopplerfrequenzen f_D als Spektrogramm darstellen.

[0041] In **Fig. 2** sind Spektrogramme gebildet aus Messsignalen **4** von verschiedenen Fahrzeugen **3** dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Spektrogramme charakteristische Formen aufweisen, die sich direkt den angemessenen Fahrzeugen **3** zuordnen lassen und sich in Abhängigkeit von der Größe der Fahrzeuge **3** in bestimmten Signalbereichen unterscheiden. Weiterhin weisen die Messsignale **4** im Spek-

trogramm eine unterschiedliche Lage auf. Da die gemessenen Dopplerfrequenzen f_D proportional der Radialgeschwindigkeit des Fahrzeugs **3** sind, werden die Messsignale **4** schnellerer Fahrzeuge **3** auf der Frequenzachse bei höheren Werten eingeordnet als die Messsignale **4** langsamerer Fahrzeuge **3**. Diese Unterscheidung kann jedoch noch nicht zur Klassifizierung der Fahrzeuge **3** herangezogen werden, da theoretisch jedes Fahrzeug **3** auch mit jeder beliebigen Fahrzeuggeschwindigkeit bewegt werden könnte.

[0042] Anhand des zum spätesten Messzeitpunkt erfassten Fahrzeugs **3** (rechtes Spektrogramm in **Fig. 2**) soll, beispielhaft dessen Form beschrieben werden.

[0043] Die Erfassung von Messsignalen **4** beginnt, wenn das Fahrzeug **3** in den Radarkegel **12** eintritt. Der Eintritt erfolgt an dem vom Radargerät **1** entfernten Ort, sodass das Fahrzeug **3** nahezu frontal von der Radarstrahlung **11** erfasst wird. Die Radarstrahlung **11** wird deshalb im Wesentlichen an den Oberflächen einer Fahrzeugfront **31** reflektiert, die aus der Perspektive des Radargeräts **1** noch sehr klein ist. Die von dieser reflektierten Radarstrahlung **11** erfassten Dopplerfrequenzen f_D weisen daher eine geringe, noch undifferenzierte Spektralverteilung auf und die Messsignale ähneln damit den Messsignalen **4** des idealen Punktrefektors **33**. Die Darstellung der Messsignale **4** im Spektrogramm zeigt deshalb bei frühen Messzeitpunkten, einen Anfangsbereich AB mit sehr geringer Spektralverteilung. Da an dem vom Radargerät **1** entfernten Ort die Bahngeschwindigkeit noch sehr gering ist, entspricht die Radialgeschwindigkeit in etwa der Fahrzeuggeschwindigkeit. Unter der Voraussetzung, dass sich das Fahrzeug **3** während der Durchquerung des Radarkegels **12** mit konstanter Fahrzeuggeschwindigkeit entlang der Fahrbahn **2** bewegt, bleiben die Messsignale **4** im Spektrogramm ohne eine signifikante Änderung der Dopplerfrequenzen f_D nahezu konstant.

[0044] Da die Fahrtrichtung **34** des Fahrzeugs **3** am Radargerät **1** vorbei gerichtet ist, nimmt mit abnehmender Radialentfernung RE des Fahrzeugs **3** zum Radargerät **1** die Radialgeschwindigkeit, durch die zunehmende Bahngeschwindigkeit, ebenfalls ab. In einem Mittenbereich MB weist der Verlauf der Messsignale **4** deshalb zunächst eine leichte Krümmung in Richtung kleinerer Dopplerfrequenzen f_D mit einem kontinuierlich zunehmenden Abfall auf. Mit abnehmender Radialentfernung RE vergrößert sich, aus der Perspektive des Radargeräts **1**, auch die reflektierende Oberfläche des Fahrzeugs **3**. Weiterhin nimmt das Fahrzeug **3** bei abnehmender Radialentfernung RE einen anderen Objektwinkel γ zur Symmetrieachse **13** ein, sodass neben der Fahrzeugfront **31** auch zunehmend Oberflächen einer Fahrzeugflanke **32** zur Reflexion von Radarstrahlen **11** und da-

mit zur Erzeugung von Dopplerfrequenzen f_D beitragen. Das Radargerät **1** kann somit eine größere Anzahl von Reflexionen mit einer größeren räumlichen Streuung auf den Oberflächen des Fahrzeugs **3** erfassen als zu früheren Messzeitpunkten. Die Dopplerfrequenzen f_D , die an den unterschiedlichen Oberflächen des räumlich ausgedehnten Fahrzeugs **3** erzeugt werden, weisen je nach deren Radialentfernung RE zum Radargerät **1** unterschiedliche Radialgeschwindigkeiten auf. Diese sehr geringen aber mit dem FSK-Radargerät **1** auflösbaren Unterschiede der Radialgeschwindigkeiten bzw. der gemessenen Dopplerfrequenzen f_D äußern sich im Spektrogramm in einer, mit Verringerung der Radialentfernung RE zum Radargerät **1** kontinuierlich zunehmenden Verbreiterung der Spektralverteilung der Dopplerfrequenzen f_D . Zum Ende der Durchfahrt durch den Radarkegel **12** befindet sich das Fahrzeug **3** nahe am Radargerät **1**. Der Objektwinkel γ ist dadurch entsprechend groß, sodass am Fahrzeug **3** zum größten Teil die Oberflächen der Fahrzeugflanke **32** von der Radarstrahlung **11** erfasst werden. Aufgrund der Länge des Fahrzeugs **3** wird in dieser Position eine maximale räumliche Streuung der von der Fahrzeugfront **31** und Fahrzeugflanke **32** ausgehenden Reflexionen erreicht. Durch die stark differenzierte räumliche Streuung werden auch die Unterschiede der Radialgeschwindigkeiten bzw. der gemessenen Dopplerfrequenzen f_D maximal. Im Spektrogramm zeigen die Messsignale **4** deshalb am Ende des Mittenbereichs MB, kurz vor Austritt des Fahrzeugs **3** aus dem Radarkegel **12** eine maximal mögliche Spektralverteilung.

[0045] Zur Darstellung der zunehmenden Spektralverteilung werden in **Fig. 2** beispielhaft fünf Dopplerfrequenzen f_{D1} bis f_{D5} verwendet, mit denen die Vielzahl der an der Oberfläche des Fahrzeugs **3** erfassten Reflexionen verdeutlicht werden soll. Der zeitliche Verlauf der Messsignale **4** beginnt mit der Dopplerfrequenz f_{D1} , die an einer reflektierenden Oberfläche nahe der Fahrzeugfront **31** erzeugt wird und endet mit der Dopplerfrequenz f_{D5} , die an einer reflektierenden Oberfläche am Ende der Fahrzeugflanke **32** erzeugt wird. Zwischen den Dopplerfrequenzen f_{D1} und f_{D5} werden die weiteren Dopplerfrequenzen f_{D2} , f_{D3} und f_{D4} erfasst, die an reflektierenden Oberflächen des Fahrzeugs **3** entstehen, die sich zwischen der Fahrzeugfront **31** und dem Ende der Fahrzeugflanke **32** befinden. Bei frühen Messzeitpunkten kann davon ausgegangen werden, dass die Dopplerfrequenzen f_{D3} bis f_{D5} noch nicht erfassbar sind, da diese an der Fahrzeugflanke **32** entstehen, die zu diesen Messzeitpunkten für das Radargerät **1** nicht sichtbar ist. Bei real erfassten Messsignalen **4** befinden sich in den Zwischenräumen zwischen den Dopplerfrequenzen f_{D1} bis f_{D5} , neben den Dopplerfrequenzen f_{D2} , f_{D3} und f_{D4} noch eine Vielzahl weiterer Dopplerfrequenzen f_D , die in **Fig. 2** zur Vereinfachung nicht dargestellt werden.

[0046] Kurz vor dem Austritt aus dem Radarkegel **12** bewegt sich das Fahrzeug **3** auf der Fahrbahn **2** am Radargerät **1** vorbei, sodass die Bahngeschwindigkeit sehr stark zunimmt und die Radialgeschwindigkeit sehr stark abnimmt. Der Abfall der Radialgeschwindigkeit ist zu diesem Messzeitpunkt maximal. Sobald das Fahrzeug **3** den Radarkegel **12** verlässt, können keine Reflexionen mehr erfasst werden. Das Messsignal **4** weist deshalb einen Endbereich EB auf, in dem die Aufzeichnungen der unterschiedlichen Dopplerfrequenzen f_{D1} bis f_{D5} enden. Durch die Längenausdehnung des Fahrzeugs **3** treten die über die Länge des Fahrzeugs **3** verteilten reflektierenden Oberflächen zeitlich nacheinander aus dem Radarkegel **12** aus, sodass es im Endbereich EB zu einer starken zeitlichen Auffächerung der Messsignale **4** kommt. Die zeitliche Ausdehnung der Auffächerung ist proportional zur Länge des Fahrzeugs **3**.

[0047] In einem vierten Verfahrensschritt wird in dem Spektrogramm ein Bewertungsbereich BB der Messsignale **4** ermittelt, in dem die Spektralverteilung der Dopplerfrequenzen f_D eine maximale Bandbreite aufweist. Wie anhand von **Fig. 2** zu erkennen ist, kann der Bewertungsbereich BB i. d. R. am Ende des Mittenbereichs MB des Verlaufs der Messsignale **4** gefunden werden, kurz bevor das Fahrzeug **3** beginnt den Radarkegel **12** zu verlassen. Im Bewertungsbereich BB wird wenigstens ein Messzeitpunkt als Bewertungszeitpunkt t_B festgelegt, an dem neben allen ermittelten Dopplerfrequenzen f_D weitere aus den Messsignalen **4** ableitbare Signalkomponenten ausgelesen oder ermittelt werden. Zu den weiteren Signalkomponenten gehören, die Signalamplituden SA der erfassten Dopplerfrequenzen f_D sowie die Radialentfernungen RE und die Objektwinkel γ zu den räumlich verteilten, reflektierenden Oberflächen des Fahrzeugs **3** an denen die erfassten Dopplerfrequenzen f_D erzeugt wurden. Die Signalkomponenten werden anschließend einer detaillierten Auswertung zugeführt. Die Auswertung erfolgt für jede der Signalkomponenten getrennt, indem die entsprechende Signalkomponente als Funktion über die Dopplerfrequenz f_D , in jeweils einem Frequenzspektrum aufgetragen und abgespeichert wird. Für die Auswertung werden nur Abschnitte der Frequenzspektren verwendet, in dem die erforderlichen Informationen enthalten sind. Diese Abschnitte wurden zuvor experimentell ermittelt. Die restlichen Abschnitte der Frequenzspektren brauchen bei der Auswertung nicht weiter beachtet werden.

[0048] Die detaillierte Auswertung kann prinzipiell auch zu früheren Messzeitpunkten, außerhalb des Bewertungsbereichs BB erfolgen. Aufgrund der höheren spektralen Dichte nimmt dort jedoch die Eindeutigkeit der Signalkomponenten und damit die Zuverlässigkeit der Auswertung ab. Zu späteren Messzeitpunkten, außerhalb des Bewertungsbereichs BB, ist die detaillierte Auswertung nicht mehr möglich, da

hier das Fahrzeug **3** bereits den Radarkegel **12** verlässt und so nicht mehr alle Dopplerfrequenzen f_D zur Auswertung zur Verfügung stehen.

[0049] Die detaillierte Auswertung der Signalkomponenten soll anhand der in den **Fig. 3a** bis **Fig. 3c** dargestellten Fälle erläutert werden.

[0050] Zum besseren Verständnis wird in **Fig. 3a** zunächst die Auswertung der Signalkomponenten des idealen Punktreflektors **33** gezeigt. Die Anordnung des Punktreflektors **33** gegenüber dem Radargerät **1** ist in der oberen Abbildung in einer Prinzipdarstellung gezeigt. Aufgrund der fehlenden räumlichen Ausdehnung besitzt der Punktreflektor **33** zum Bewertungszeitpunkt t_B (und beim Punktreflektor **33** auch zu allen anderen Messzeitpunkten) nur eine, die Radarstrahlung **11** reflektierende Oberfläche in einer einzigen Radialentfernung RE zum Radargerät **1**. Deshalb erzeugt der Punktreflektor **33** auch nur eine Dopplerfrequenz f_D mit einer Signalamplitude SA, ohne spektrale Bandbreite. Weiterhin kann auch nur eine Radialentfernung RE und ein Objektwinkel γ ermittelt werden. In den Frequenzspektren der Radialentfernung RE und des Objektwinkels γ wird deshalb auch nur jeweils ein Messwert bei einer Dopplerfrequenz f_D dargestellt.

[0051] In den **Fig. 3b** und **Fig. 3c** wird die Auswertung der Signalkomponenten des Fahrzeugs **3** gezeigt. Die Prinzipdarstellungen zeigen den quaderförmigen Umriss des Fahrzeugs **3** in einer Ansicht von oben, das sich in einem Radarkegel **12** in einer wenigstens annähernd gleichen Radialentfernung RE aber unterschiedlichen Fahrzeugwinkeln ϵ (nur in **Fig. 1** dargestellt), die das Fahrzeug **3** jeweils mit seiner Längsachse, gleich der Fahrtrichtung mit der Richtung der radialen Entfernung zum Radargerät **1** einschließt. Das Fahrzeug **3** wird damit vom Radargerät **1** aus unterschiedlichen Blickwinkeln gesehen. Solche Änderungen des Fahrzeugwinkels ϵ entstehen bei der Durchfahrt des Fahrzeugs **3** durch den Radarkegel **12**.

[0052] In **Fig. 3b** werden die zum Bewertungszeitpunkt t_B erfassten Signalkomponenten des Fahrzeugs **3** dargestellt, dessen Längsachse in einem flachen Fahrzeugwinkel ϵ ausgerichtet ist, sodass die Radarstrahlung **11** im wesentlichen an der Fahrzeugfront **31** (mit einer gepunkteten Linie angedeutet) und nur zu einem geringen Anteil an der Fahrzeugflanke **32** (mit einer gestrichelten Linie angedeutet) reflektiert wird. Durch die räumliche Ausdehnung trägt eine Vielzahl räumlich verteilter, reflektierender Oberflächen (Reflektoren) zur Bildung des Messsignals **4** bei, die im Gegensatz zum Punktreflektor **33** zu einer spektralen Bandbreite in den Frequenzspektren der Signalkomponenten führen.

[0053] Das Frequenzspektrum der Signalamplituden SA, das heißt, die Funktion der Signalamplituden SA über Dopplerfrequenz f_D , zeigt zwei charakteristische Abschnitte. In dem Abschnitt der niedrigeren Dopplerfrequenzen f_D ist der Frequenzverlauf durch einen nahezu linearen Anstieg der Signalamplituden SA gekennzeichnet. Dieser Anstieg kann den an der Fahrzeugfront **31** erzeugten Reflexionen zugeordnet werden, da die an der Fahrzeugfront **31** gemessenen Radialgeschwindigkeiten im Gegensatz zu den an der Fahrzeugflanke **32** gemessenen, aufgrund des größeren Anteils der Bahngeschwindigkeit, geringer sind. Die maximalen Signalamplituden SA werden an der zum Radargerät **1** weisenden Ecke des Fahrzeugs **3** und deren Übergängen zur Fahrzeugfront **31** und Fahrzeugflanke **32** erreicht. Hier ist der Anteil der rechtwinklig zu der gedachten radialen Verbindung zum Radargerät **1** ausgerichteten Oberflächen besonders hoch, sodass die Radarstrahlung **11** besonders gut reflektiert wird. Vom Maximum aus fallen die Signalamplituden SA zu den höheren Dopplerfrequenzen f_D hin wieder ab. Der Abfall der Signalamplitude SA wird durch die (im Gegensatz zur Fahrzeughecke) weniger direkt auf das Radar zeigenden Reflektoren erzeugt. Die höhere Radialgeschwindigkeit dagegen führt zu der bereits angesprochenen höheren spektralen Bandbreite.

[0054] Das Frequenzspektrum der Radialentfernung RE, das heißt die Funktion der Radialentfernung RE über die Dopplerfrequenz f_D , zeigt ebenfalls wieder zwei charakteristische Abschnitte. Im Abschnitt niedrigerer Dopplerfrequenzen f_D ist die Radialentfernung RE nahezu unverändert. Dieser Abschnitt wird durch die an der Fahrzeugfront **31** erzeugten Reflexionen gebildet. Da die Fahrzeugfront **31** nahezu orthogonal zu der gedachten radialen Verbindung zum Radargerät **1** orientiert ist, treten an der Fahrzeugfront **31** keine wesentlichen Unterschiede in der Radialentfernung RE auf. Beim Übergang von der Fahrzeugfront **31** auf die Fahrzeugflanke **32** nehmen die Radialentfernungen RE entsprechend der Länge und den damit verbundenen Objektwinkeländerungen zur Symmetrieachse **13** des angemessenen Fahrzeugs **3** zu. Im Abschnitt der höheren Dopplerfrequenzen f_D weist die Funktion daher einen Anstieg auf. Das Frequenzspektrum ist im Abschnitt des Anstiegs der Radialentfernung RE schmaler, weil durch den schrägen Winkel die Änderung der Radialgeschwindigkeit geringer ist. Die Signalstärke (reflektierte Radarstrahlung) hat keinen Einfluss auf die Breite sondern nur auf die Höhe.

[0055] Das Frequenzspektrum der Objektwinkel γ , das heißt, die Funktion der Objektwinkel γ über die Dopplerfrequenz f_D , ist durch einen linear abfallenden Objektwinkel γ gekennzeichnet. Der Abfall ist dabei ein Ausdruck für die Länge und Breite des Fahrzeugs **3**, die aus der Perspektive des Radargeräts **1** durch den Fahrzeugwinkel ϵ vom Radargerät **1** erfasst wird.

[0056] In Fig. 3c sind die Signalkomponenten des Fahrzeugs **3** nochmals dargestellt. Im Unterschied zur Darstellung in Fig. 3b ist die Längsachse des Fahrzeug **3** hier in einem steilen Fahrzeugwinkel ϵ ausgerichtet, sodass die Radarstrahlung **11** zu einem größeren Anteil an der Fahrzeugflanke **32** die (mit einer gestrichelten Linie angedeutet) und zu einem geringeren Anteil an der Fahrzeugfront **31** (mit einer gepunkteten Linie angedeutet) reflektiert wird.

[0057] Entsprechen der von der Fahrzeugfront **31** und der Fahrzeugflanke **32** stammenden Anteile der zur Reflexion der Radarstrahlung **11** beitragenden reflektierenden Oberflächen ändern sich auch die Aufteilung der charakteristischen Abschnitte in den Frequenzspektren der Signalamplitude SA und der Radialentfernung RE. Bei einem ähnlichen Signalverlauf ist nun der Anteil des an der Fahrzeugfront **31** aufgenommenen Frequenzspektrums deutlich schmaler als der an der Fahrzeugflanke **32** aufgenommene Anteil.

[0058] Im Frequenzspektrum der Objektwinkel γ zeigt der Frequenzverlauf einen deutlich steileren Anstieg des Objektwinkels γ .

[0059] Wie der Vergleich der Frequenzspektren bei unterschiedlichen Fahrzeugwinkeln ϵ zeigt, ist der Verlauf der ausgewerteten Signalkomponente typisch für eine bestimmte Ausrichtung und Länge des Fahrzeugs **3**.

[0060] Die Klassifizierung des angemessenen Fahrzeugs **3** erfolgt in einem fünften Verfahrensschritt. Dazu werden die für das Fahrzeug **3** ermittelten Frequenzspektren mit zuvor anhand von Modellfahrzeugen, das heißt Fahrzeugen deren Klassifikationszuordnung bekannt ist, ermittelten und abgespeicherten Frequenzspektren verglichen, die in Form von Vergleichsmodellen VM vorliegen.

[0061] Damit ein direkter Vergleich möglich ist, wurden die Vergleichsmodelle VM zuvor mit einem Radargerät **1** angelernt, welches genauso zur Fahrbahn **2** angeordnet war, wie das Radargerät **1** jetzt zur Verfahrensdurchführung aufgestellt wurde und die Frequenzspektren wurden aus den Messsignalen zu einem Messzeitpunkt abgeleitet, bei welchem sich das Vergleichsmodell VM in einer gleichen Radialentfernung RE befand. Die Vergleichsmodelle VM besitzen daher bereits eine Zuordnung zu einer Fahrzeugklasse. Wenn eine Übereinstimmung des angemessenen Fahrzeugs **3** mit einem der Vergleichsmodelle VM festgestellt wird, kann das angemessene Fahrzeug **3** der entsprechenden Fahrzeugklasse zugewiesen werden. Das angemessene Fahrzeug **3** ist somit ebenfalls klassifiziert.

[0062] In Fig. 4 ist die Klassifizierung von sich in der Fahrzeuglänge unterscheidender Fahrzeuge **3** dar-

gestellt. Die aus den Messsignalen **4** als Funktionen über die Dopplerfrequenz f_D abgeleiteten Frequenzspektren der Signalamplituden SA, der Radialentfernungen RE und des Objektwinkels γ (in **Fig. 4** in der zweiten Spalte dargestellt) werden mit den Vergleichsmodellen VM (in **Fig. 4** in der dritten und vierten Spalte dargestellt) verglichen. In **Fig. 4** werden zwei Vergleichsmodelle VM verwendet, eins für die Fahrzeugklasse der PKWs (gepunktete Linie) und eins für die Fahrzeugklasse der LKWs (gestrichelte Linie). Der Vergleich der für das in der oberen Hälfte von **Fig. 4** dargestellte Fahrzeug **3** ermittelten Frequenzspektren mit den Frequenzspektren der Vergleichsmodelle VM ergibt eine maximale Übereinstimmung mit dem Vergleichsmodell VM des PKWs (dritte Spalte). Dieses Fahrzeug **3** kann somit als PKW klassifiziert werden. Die für das in der unteren Hälfte von **Fig. 4** dargestellte Fahrzeug **3** ermittelten Frequenzspektren weisen eine maximale Übereinstimmung mit dem Vergleichsmodell VM des LKWs (vierte Spalte) auf. Dieses Fahrzeug **3** kann somit als LKW klassifiziert werden.

[0063] Die Vergleichsmodelle VM werden bevorzugt während des Verfahrens mit Hilfe aus einer für die unterschiedlichen Fahrzeugklassen jeweils vorgegebenen Formel und den aktuellen Parametern, die aus der Aufstellung des Radargerätes **1** und den Messsignalen **4** gewonnen werden, nämlich die Radialgeschwindigkeiten, Radialentfernungen RE, der Fahrzeugwinkel ϵ und die Objektwinkel γ , berechnet.

[0064] Die Vergleichsmodelle VM können auch bei einer festen Anordnung des Radargerätes **1** zur Fahrbahn **2**, aus zuvor aufgenommenen Verläufen der Messsignale **4** erzeugt werden. Dazu wird in den zuvor aufgenommenen Verläufen der Messsignale **4** zunächst die Länge der Fahrzeuge **3** ermittelt. Die Länge der Fahrzeuge **3** wird am Ende des Mittenbereichs MB des Verlaufes der Messsignale **4** aus der Bandbreite der Spektralverteilung des Verlaufes der Messsignale **4** (z. B. zum Bewertungszeitpunkt t_B) ermittelt, wobei große Fahrzeuge **3** eine große Bandbreite und kurze Fahrzeuge **3** eine kleine Bandbreite aufweisen.

[0065] Es ist auch möglich, die Länge der Fahrzeuge **3** in Abhängigkeit von der Radialgeschwindigkeit aus der Zeitdauer zu ermitteln, die das Fahrzeug **3** benötigt um sich aus dem Radarkegel **12** heraus zu bewegen. Die Zeitdauer kann am Ende des Verlaufes der Messsignale **4** aus der Breite des Endbereichs EB ermittelt werden.

[0066] Entsprechend der ermittelten Länge der Fahrzeuge **3** erfolgt mittels einer Wahrscheinlichkeitsbetrachtung eine Einordnung der zuvor aufgenommenen oder zeitgleich ermittelten Verläufe der Messsignale **4** in unterschiedliche Gruppen. Durch eine (manuelle) Bewertung der in den Gruppen einge-

ordneten Fahrzeuge **3** werden die Gruppen und damit die darin eingeordneten Verläufe der Messsignale **4** bzw. Fahrzeuge **3** einer entsprechenden Fahrzeugklasse zugeordnet.

[0067] Zur Erzeugung der Vergleichsmodelle VM werden alle in eine Gruppe eingeordneten, klassifizierten Verläufe von Messsignalen **4** über deren gesamten zeitlichen Verlauf gewichtet und akkumuliert. Im akkumulierten Verlauf der Messsignale **4** wird der Abschnitt der größten spektralen Bandbreite ermittelt und dort zu einem Bewertungszeitpunkt t_B die ableitbaren Signalkomponenten (Signalamplitude SA, Radialentfernung RE, Objektwinkel γ) ermittelt. Die aus den Signalkomponenten erzeugten einzelnen Frequenzspektren beinhalten nunmehr ein der Fahrzeugklasse entsprechendes durchschnittliches Frequenzspektrum und können als Vergleichsmodelle VM verwendet werden. Für die Vergleichsmodelle VM ist es dabei ausreichend nur charakteristische Abschnitte, z. B. Anstiege oder Knickstellen der Frequenzspektren zu verwenden und die verbleibenden Abschnitte, wie in **Fig. 3** in den Frequenzspektren der Radialentfernung RE und des Objektwinkels γ gezeigt, zu maskieren.

[0068] Vergleichsmodelle VM können auch aus einer theoretischen Berechnung heraus gewonnen werden. Dazu werden die Aufstellbedingungen (horizontaler Aufstellabstand h_{AA} , horizontaler Aufstellwinkel α , vertikale Aufstellhöhe v_{AH} und vertikaler Aufstellwinkel β) des Radargerätes **1** an einem realen Einsatzort als Messsignale **4** erfasst. Zur Darstellung der Fahrzeuge **3** werden vereinfachte, maßstabsgetreue Fahrzeugmodelle (z. B. die Oberflächen einer Quaderform) generiert. Entsprechend der Aufstellbedingungen und der Fahrzeugmodelle können theoretische Reflexionsantworten berechnet werden, aus denen die Vergleichsmodelle VM erstellt werden können.

[0069] Prinzipiell ist das Verfahren auch dann anwendbar, wenn die Aufstellbedingungen des Radargerätes **1** gegenüber der Fahrbahn **2** nicht genau bekannt sind, da im Verfahren ausschließlich die auf das Radargerät **1** bezogenen Messsignale **4** (Dopplerfrequenz f_D , Radialentfernung RE und Objektwinkel γ) zur Klassifizierung der Fahrzeuge **3** verwendet werden. Der Radarkegel **12** kann deshalb mit einem gewissen Toleranzbereich zur Fahrbahn **2** ausgerichtet werden, in dem die benötigten Messsignale **4** noch mit ausreichender Sicherheit erfasst werden können. Bei einer Anordnung des Radargerätes **1**, die nicht den Aufstellbedingungen entspricht, bei denen die Vergleichsmodelle VM erstellt wurden, ist es jedoch immer erforderlich vor Anwendung des Verfahrens neue Vergleichsmodelle VM zu erstellen, die den aktuellen Aufstellbedingungen entsprechen.

[0070] Eine Anordnung des Radargeräts **1** ohne Kenntnis der Aufstellbedingungen hat außerdem den Nachteil, dass die Fahrzeuggeschwindigkeit nicht ermittelt werden kann. Damit entfällt beispielsweise die Möglichkeit, Geschwindigkeitsverstöße der Fahrzeuge **3** zu erkennen und diese in Abhängigkeit der Klassifikation der Fahrzeuge **3** auszuwerten. Grundsätzlich können die Aufstellbedingung aber auch vom Radargerät **1** automatisch gelernt werden, so dass es dann auch für die Fahrzeuggeschwindigkeit wieder messfähig ist.

Bezugszeichenliste

1	Radargerät
11	Radarstrahlung
12	Radarkegel
13	Symmetrieachse
2	Fahrbahn
3	Fahrzeug
31	Fahrzeugfront
32	Fahrzeugflanke
33	Punktreflektor
34	Fahrtrichtung
4	Messsignal
BB	Bewertungsbereich
AB	Anfangsbereich
MB	Mittensbereich
EB	Endbereich
t	Messzeit
t_B	Bewertungszeitpunkt
SA	Signalamplitude
RE	Radialentfernung
hAA	horizontaler Aufstellabstand
vAH	vertikale Aufstellhöhe
f_D	Dopplerfrequenz
VM	Vergleichsmodell
α	horizontaler Aufstellwinkel
γ	Objektwinkel
ε	Fahrzeugwinkel

Patentansprüche

1. Verfahren zum Klassifizieren von Fahrzeugen (**3**), bei dem Fahrzeuge (**3**) beim Durchfahren eines durch Radarstrahlung (**11**) gebildeten Radarkegels (**12**) angemessen werden, indem die mit Radarstrahlung (**11**) beaufschlagten Oberflächen der Fahrzeuge (**3**) die Radarstrahlung (**11**) reflektieren und Messsignale (**4**) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung generieren, mit folgenden Verfahrensschritten:

a) Anordnen eines winkelauflösenden Radargerätes (**1**), welches Messsignale (**4**) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung liefert, aus denen Radialentfernungen (RE), Objektwinkel (γ) und Radialgeschwindigkeiten ableitbar sind, in einer vertikalen Aufstellhöhe (vAH) zur Fahrbahnoberfläche einer Fahrbahn (**2**) sowie einem horizontalen spitzen

Aufstellwinkel (α) zu einem Fahrbahnrand der Fahrbahn (**2**),

b) Aussenden einer einen Radarkegel (**12**) bildenden Radarstrahlung (**11**) mittels des Radargerätes (**1**) und Erfassen der Messsignale (**4**) zu mehreren Messzeitpunkten in einer Messzeit (t), von wenigstens einem den Radarkegel (**12**) durchfahrenden Fahrzeug (**3**),

c) Abspeichern der Frequenzen der erfassten Messsignale (**4**) angemessener Fahrzeuge (**3**) als Funktionen über die Messzeit (t) und Bilden eines Spektrogramms pro Fahrzeug (**3**),

d) Überprüfen der Spektrogramme auf Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite der Frequenz und Festlegen wenigstens eines Messzeitpunkts als Bewertungszeitpunkt (t_B) im Bewertungsbereich (BB),

e) Vergleich dieser Bewertungsbereiche (BB) mit Bewertungsbereichen abgespeicherter Spektrogramme für verschiedene Fahrzeugklassen, und Zuordnung zu dem ähnlichsten, um damit die durchfahrenden Fahrzeuge (**3**) zu klassifizieren und

f) Ableiten von Objektwinkeln (γ) aus den Messsignalen (**4**) zu dem wenigstens einen Bewertungszeitpunkt (t_B) innerhalb der Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite, wobei die jeweils abgeleiteten Objektwinkel (γ) für den betreffenden Bewertungszeitpunkt (t_B) jeweils als Funktion über die Frequenz abgespeichert werden und der Verlauf der Funktion mit für verschiedene Fahrzeugklassen abgespeicherten Vergleichsmodellen (VM) verglichen wird, um die Klassifizierung der Fahrzeuge (**3**) zu verifizieren.

2. Verfahren zum Klassifizieren von Fahrzeugen (**3**), bei dem Fahrzeuge (**3**) beim Durchfahren eines durch Radarstrahlung (**11**) gebildeten Radarkegels (**12**) angemessen werden, indem die mit Radarstrahlung (**11**) beaufschlagten Oberflächen der Fahrzeuge (**3**) die Radarstrahlung (**11**) reflektieren und Messsignale (**4**) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung generieren, mit folgenden Verfahrensschritten:

a) Anordnen eines winkelauflösenden Radargerätes (**1**), welches Messsignale (**4**) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung liefert, aus denen Radialentfernungen (RE), Objektwinkel (γ) und Radialgeschwindigkeiten ableitbar sind, in einer vertikalen Aufstellhöhe (vAH) zur Fahrbahnoberfläche einer Fahrbahn (**2**) sowie einem horizontalen spitzen Aufstellwinkel (α) zu einem Fahrbahnrand der Fahrbahn (**2**),

b) Aussenden einer einen Radarkegel (**12**) bildenden Radarstrahlung (**11**) mittels des Radargerätes (**1**) und Erfassen der Messsignale (**4**) zu mehreren Messzeitpunkten in einer Messzeit (t), von wenigstens einem den Radarkegel (**12**) durchfahrenden Fahrzeug (**3**),

c) Abspeichern der Frequenzen der erfassten Messsignale (**4**) angemessener Fahrzeuge (**3**) als Funktionen über die Messzeit (t) und Bilden eines Spektrogramms pro Fahrzeug (**3**),

d) Überprüfen der Spektrogramme auf Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite der Frequenz und Festlegen wenigstens eines Messzeitpunkts als Bewertungszeitpunkt (t_B) im Bewertungsbereich BB,

e) Vergleich dieser Bewertungsbereiche (BB) mit Bewertungsbereichen abgespeicherter Spektrogramme für verschiedene Fahrzeugklassen, und Zuordnung zu dem ähnlichsten, um damit die durchfahrenden Fahrzeuge (3) zu klassifizieren und

f) Ableiten von Radialentfernungen (RE) aus den Messsignalen (4) zu dem wenigstens einem Bewertungszeitpunkt (t_B) innerhalb der Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite, wobei die jeweils abgeleiteten Radialentfernungen (RE) für den betreffenden Bewertungszeitpunkt (t_B) jeweils als Funktion über die Frequenz abgespeichert werden und der Verlauf der Funktionen mit für verschiedene Fahrzeugklassen abgespeicherten Vergleichsmodellen (VM) verglichen werden, um die Klassifizierung der Fahrzeuge (3) zu verifizieren.

3. Verfahren zum Klassifizieren von Fahrzeugen (3), bei dem Fahrzeuge (3) beim Durchfahren eines durch Radarstrahlung (11) gebildeten Radarkegels (12) angemessen werden, indem die mit Radarstrahlung (11) beaufschlagten Oberflächen der Fahrzeuge (3) die Radarstrahlung (11) reflektieren und Messsignale (4) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung generieren, mit folgenden Verfahrensschritten:

a) Anordnen eines winkelauflösenden Radargerätes (1), welches Messsignale (4) mit Frequenzen entsprechend der Dopplerverschiebung liefert, aus denen Radialentfernungen (RE), Objektwinkel (γ) und Radialgeschwindigkeiten ableitbar sind, in einer vertikalen Aufstellhöhe (v_{AH}) zur Fahrbahnoberfläche einer Fahrbahn (2) sowie einem horizontalen spitzen Aufstellwinkel (α) zu einem Fahrbahnrand der Fahrbahn (2),

b) Aussenden einer einen Radarkegel (12) bildenden Radarstrahlung (11) mittels des Radargerätes (1) und Erfassen der Messsignale (4) zu mehreren Messzeitpunkten in einer Messzeit (t), von wenigstens einem den Radarkegel (12) durchfahrenden Fahrzeug (3),

c) Abspeichern der Frequenzen der erfassten Messsignale (4) angemessener Fahrzeuge (3) als Funktionen über die Messzeit (t) und Bilden eines Spektrogramms pro Fahrzeug (3),

d) Überprüfen der Spektrogramme auf Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite der Frequenz und Festlegen wenigstens eines Messzeitpunkts als Bewertungszeitpunkt (t_B) im Bewertungsbereich BB,

e) Vergleich dieser Bewertungsbereiche (BB) mit Bewertungsbereichen abgespeicherter Spektrogramme für verschiedene Fahrzeugklassen, und Zuordnung zu dem ähnlichsten, um damit die durchfahrenden Fahrzeuge (3) zu klassifizieren und

f) Abspeichern von Signalamplituden (SA) der Messsignale (4) aus den Messsignalen (4) zu dem wenigstens einem der Bewertungszeitpunkte (t_B) innerhalb der Bewertungsbereiche (BB) mit maximaler Bandbreite, wobei die Signalamplituden (SA) der Messsignale (4) für den betreffenden Bewertungszeitpunkt (t_B) jeweils als Funktion über die Frequenz abgespeichert werden und der Verlauf der Funktionen mit für verschiedene Fahrzeugklassen abgespeicherten Vergleichsmodellen (VM) verglichen werden, um die Klassifizierung der Fahrzeuge (3) zu verifizieren.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem Vergleich aller gebildeten Funktionen mit abgespeicherten Vergleichsmodellen (VM) eine Modellierung der Fahrzeuggröße erfolgt.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Bildung einer jeden Funktion eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für verschiedene Fahrzeuggrößen bestimmt wird, und diese Wahrscheinlichkeiten über den gesamten zeitlichen Verlauf gewichtet akkumuliert werden.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

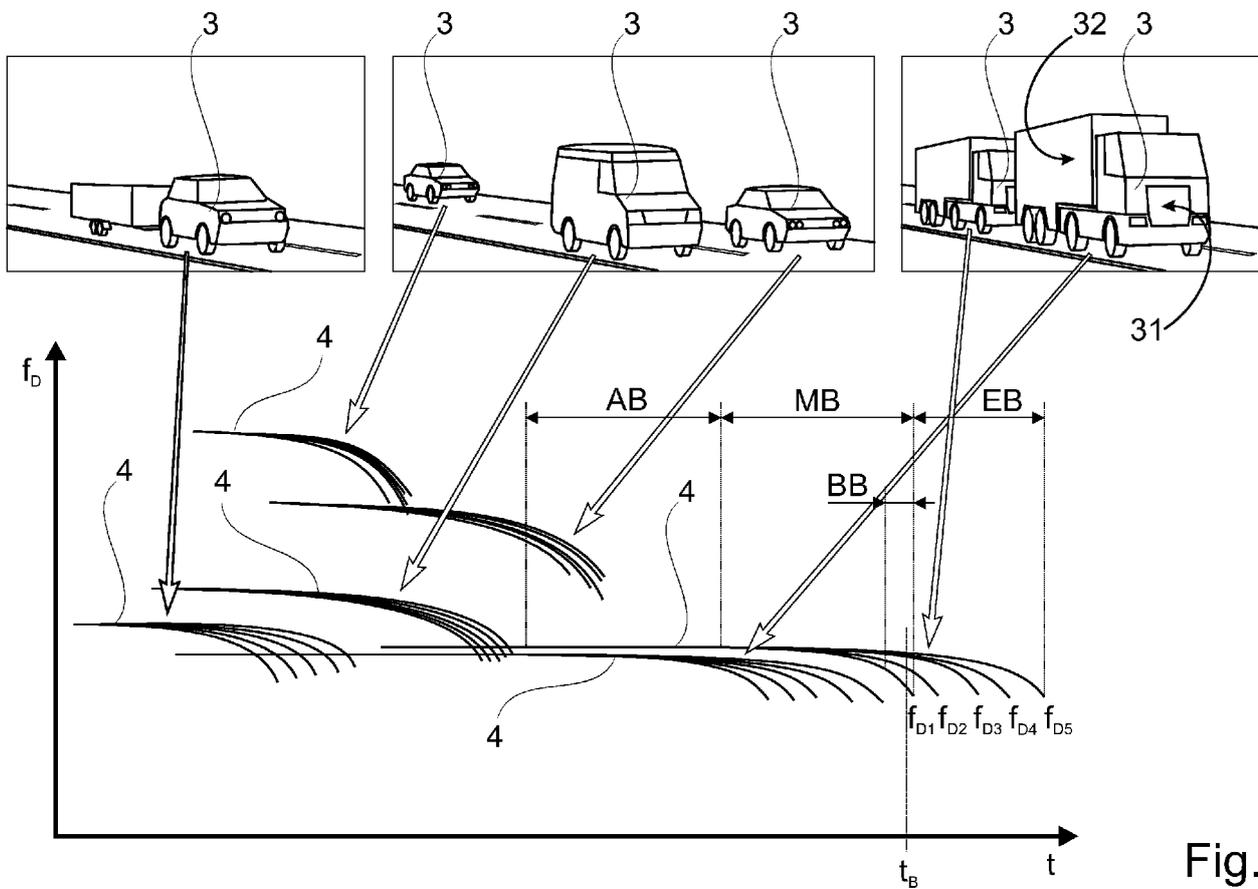


Fig. 2

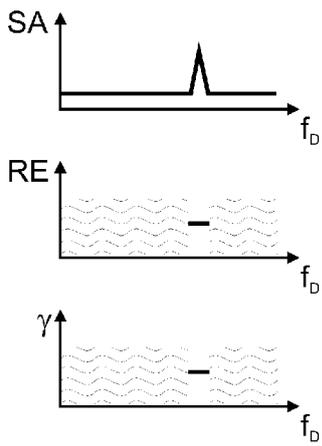
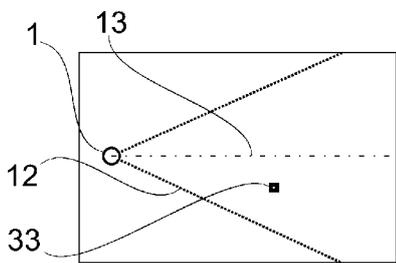


Fig. 3a

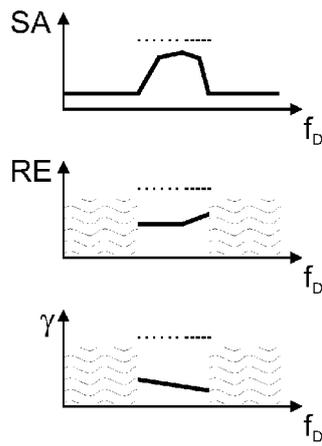
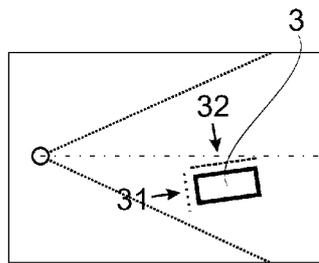


Fig. 3b

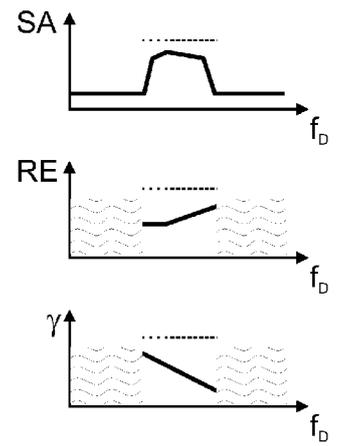
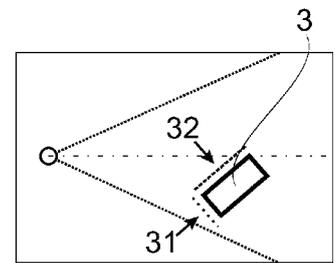


Fig. 3c

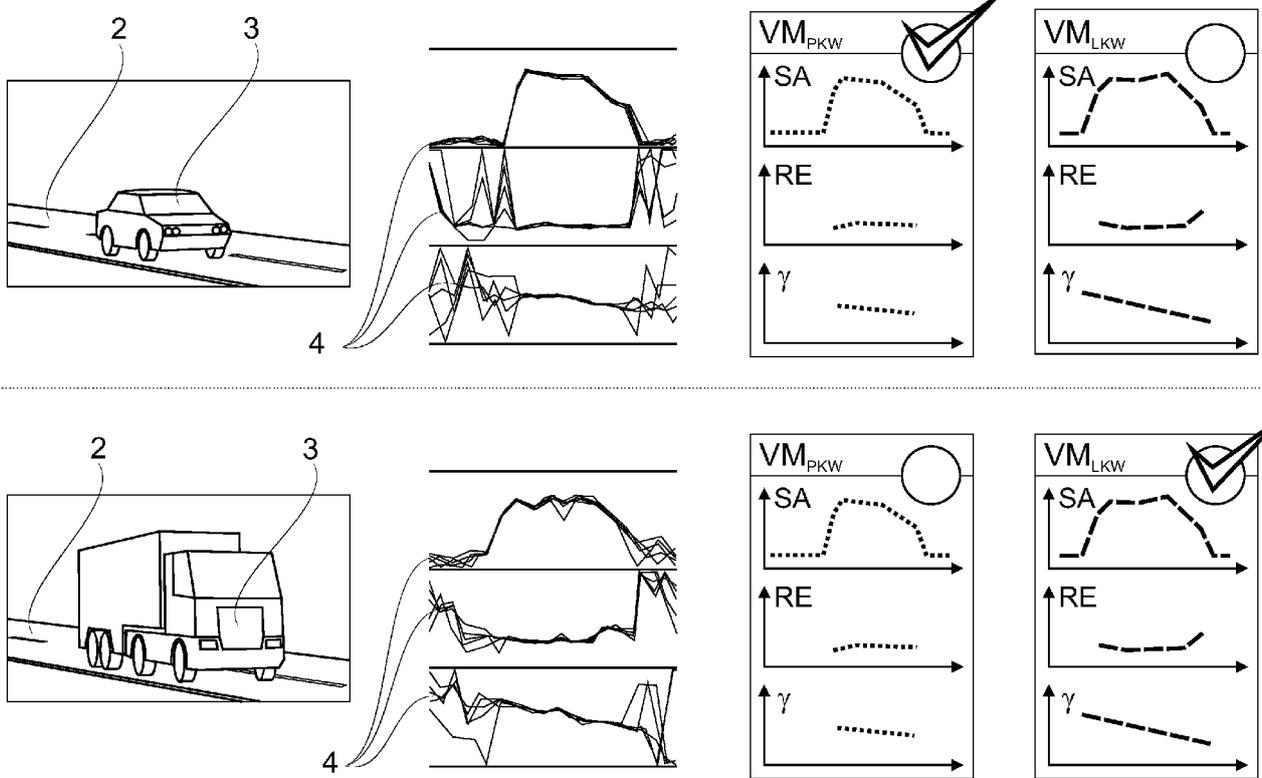


Fig. 4