



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 124 240.1**  
(22) Anmeldetag: **20.09.2021**  
(43) Offenlegungstag: **23.03.2023**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **17.08.2023**

(51) Int Cl.: **G01S 7/497 (2006.01)**  
**G01S 7/40 (2006.01)**  
**G01C 7/02 (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:  
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
53227 Bonn, DE**

(72) Erfinder:  
**Schäfer, Jörg, 12555 Berlin, DE; Schmäzle,  
Philipp, 38112 Braunschweig, DE; Andert, Franz,  
12459 Berlin, DE**

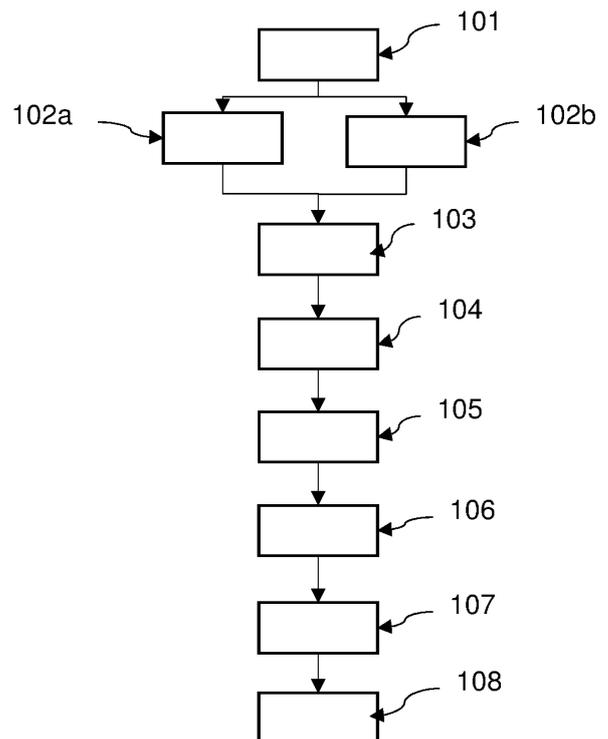
(74) Vertreter:  
**RÖSLER-RASCH-van der HEIDE & PARTNER  
PATENT- UND RECHTSANWÄLTE  
Partnerschaftsgesellschaft mbB, 81241 München,  
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**DE 10 2016 214 030 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten von an einem Fahrzeug fest angeordneten Sensoren**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{\text{SEN}_n}$  einer Anzahl  $N$  an einem Fahrzeug  $F$  fest angeordneter Sensoren  $\text{SEN}_n$ , wobei die Sensoren  $\text{SEN}_n$  jeweils dazu eingerichtet und ausgeführt sind, in einer Umgebung des Fahrzeugs  $F$  Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte zu erfassen und im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $\text{SEN}_n$  Positionen  $\text{POS}_{O_n,i}$  der Oberflächenelemente  $O_i$  zu ermitteln, mit  $n = 1, 2, \dots, N$  und  $N \geq 1$  und  $i = 1, 2, \dots, I$  und  $I \geq 1$ ; mit folgenden Schritten:

- mit dem Fahrzeug  $F$  Abfahren (101) einer Trajektorie  $T$ , dabei fortlaufendes Erfassen (102a) von aktuellen Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs  $F$  in einem Koordinatensystem  $K_F$ , je Sensor  $\text{SEN}_n$  fortlaufendes Erfassen (102b) von Oberflächenelementen  $O_i$  stationärer Objekte in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs  $F$  jeweils aus einer Vielzahl von verschiedenen Perspektiven zu den Objekten, und Ermitteln (103) von Positionen  $\text{POS}_{O_n,i}(t)$  der erfassten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $\text{SEN}_n$ , wobei die Position des Sensor  $\text{SEN}_n$  mit dem Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems  $K_n$  übereinstimmt;
- für die während des Abfahrens der Trajektorie  $T$  ermittelten Positionen  $\text{POS}_{O_n,i}(t)$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  Zuweisen (104) einer Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_n,i}$  zu jeder ermittelten Position  $\text{POS}_{O_n,i}(t)$ , wobei die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_n,i}$  jeder Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeit dafür zuweist, dass an der Position  $\zeta_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ...



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten von an einem Fahrzeug fest angeordneten Sensoren. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Fahrzeug mit einer ebensolchen Vorrichtung.

**[0002]** Eine hochgenaue Positions- und Orientierungsbestimmung von an einem Fahrzeug angeordneten Sensoren, insbesondere von LiDAR-Sensoren, ist eine unerlässliche Voraussetzung für eine anschließende sinnvolle Verarbeitung und Nutzung der entsprechenden Sensordaten, beispielsweise für Anwendungen im Bereich der autonomen Längs- und Quersteuerung des Fahrzeugs. Der Begriff „Orientierung“ kann vorliegend beispielsweise in einer dreidimensionalen Anwendung durch drei Eulerwinkel beschrieben werden.

**[0003]** Die sukzessive Aggregation und Auswertung derartiger Sensordaten erfordert insbesondere eine hochgenaue relative Positions- und Orientierungsbestimmung derartiger am Fahrzeug angeordneter Sensoren zu erfassten hochgenauen Positions- und Orientierungsdaten des Fahrzeugs.

**[0004]** Das hier beschriebene Verfahren ermöglicht eine robuste und hochgenaue Positions- und Orientierungsbestimmung von an einem Fahrzeug angeordneten Sensoren. Eine kontinuierliche Überwachung der Integrität der Positions- und Orientierungsdaten der Fahrzeugsensoren ermöglicht darüber hinaus ein automatisches Erkennen und Korrigieren von falschen Positions- und Orientierungsdaten der Fahrzeugsensoren, wie sie beispielsweise durch Wartungsaktivitäten an den Sensoren, durch harte Stöße und Unfälle entstehen können.

**[0005]** Aus der DE 102016214030 A1 geht ein Verfahren zum Erfassen eines Verkehrsumfeldes mit einer mobilen Einheit hervor. Dabei werden mittels einer Erfassungseinheit Datensätze mit Datenpunkten erfasst, wobei jedem Datensatz ein Zeitpunkt zugeordnet wird. Es werden für die erfassten Datensätze jeweils Landmarkenbeobachtungen bestimmt, wobei den Landmarkenbeobachtungen Landmarkenparameter und Objektklassen zugeordnet sind, und anhand der bestimmten Landmarkenbeobachtungen werden Umfeldmodelldaten erzeugt, wobei die Umfeldmodelldaten eine Beschreibung des Verkehrsumfeldes umfassen. Anhand der Umfeldmodelldaten werden Abstandsberechnungen für die Landmarkenbeobachtungen anhand ihrer Objektklasse und ihrer Landmarkenparameter durchgeführt, wobei Abstandswerte für die Landmarkenbeobachtungen bestimmt werden. Dabei werden bestimmten Landmarken anhand der Abstandswerte die Landmarkenbeobachtungen zugeordnet. Den Umfeld Modelldaten werden Wahrscheinlichkeiten zugeordnet und die zugeordneten Wahrscheinlichkeiten werden anhand der Landmarkenbeobachtungen verändert. Die Umfeld Modell Daten werden anhand der den Landmarkenbeobachtungen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten aktualisiert.

**[0006]** Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, die ein robustes und hochgenaues Ermitteln von Positions- und Orientierungskordinaten von an einem Fahrzeug fest angeordneten Sensoren, insbesondere LiDAR-Sensoren, ermöglicht.

**[0007]** Die Erfindung ergibt sich aus den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche. Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, sowie der Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren dargestellt sind.

**[0008]** Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  einer Anzahl  $N$  an einem Fahrzeug  $F$  fest angeordneter Sensoren  $SEN_n$ , wobei die Sensoren  $SEN_n$  jeweils dazu eingerichtet und ausgeführt sind, in einer Umgebung des Fahrzeugs  $F$  Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte zu erfassen und im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  Positionen  $POS_{O_{n,i}}$  der Oberflächenelemente  $O_i$  zu ermitteln, mit  $n = 1, 2, \dots, N$  und  $N \geq 1$  und  $i = 1, 2, \dots, I$  und  $I \geq 1$ . Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst folgende Schritte.

**[0009]** In einem ersten Schritt erfolgt mit dem Fahrzeug  $F$  ein Abfahren einer Trajektorie  $T$ , dabei erfolgt: ein fortlaufendes Erfassen von aktuellen Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs  $F$  in einem Koordinatensystem  $K_F$ , je Sensor  $SEN_n$  ein fortlaufendes Erfassen von Oberflächenelementen  $O_i$  stationärer Objekte in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs  $F$  jeweils aus einer Vielzahl von verschiedenen Perspektiven zu den Objekten, und ein Ermitteln von Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  der erfassten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$ , wobei die Position des Sensor

SEN<sub>n</sub> vorteilhaft mit dem Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems K<sub>n</sub> übereinstimmt. Ein Messergebnis eines Sensor SEN<sub>n</sub> ist somit eine Position POS<sub>O<sub>n</sub></sub>(t).

**[0010]** In einem zweiten Schritt erfolgt für die während des Abfahrens der Trajektorie T ermittelten Positionen POS<sub>O<sub>n</sub></sub>(t) im jeweiligen Koordinatensystem K<sub>n</sub> ein Zuweisen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung PX<sub>ζ<sub>n,i</sub></sub> zu jeder ermittelten Position POS<sub>O<sub>n</sub></sub>(t), wobei die Wahrscheinlichkeitsverteilung PX<sub>ζ<sub>n,i</sub></sub> jeder Position ζ<sub>n</sub> im Koordinatensystem K<sub>n</sub> eine Wahrscheinlichkeit dafür zuweist, dass an der Position ζ<sub>n</sub> ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht, wobei der Schwerpunkt der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung PX<sub>ζ<sub>n,i</sub></sub> an der jeweils zugeordneten Position: ζ<sub>n,i</sub> := POS<sub>O<sub>n</sub></sub>(t) liegt.

**[0011]** In einem dritten Schritt erfolgt je Koordinatensystem K<sub>n</sub> ein Ermitteln einer aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilung P[Y<sub>ζ<sub>n</sub></sub>]<sub>K<sub>n</sub></sub> die eine Wahrscheinlichkeit angibt, dass an einer beliebigen Position ζ<sub>n</sub> im Koordinatensystem K<sub>n</sub> des Sensors SEN<sub>n</sub> ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist, mit

X<sub>ζ<sub>n,i</sub></sub>:            Boolesche Zufallsvariable im Koordinatensystem K<sub>n</sub> des n-ten Sensors SEN<sub>n</sub>,  
Y<sub>ζ<sub>n</sub></sub>:            Y<sub>ζ<sub>n</sub></sub> = V<sub>i=1</sub><sup>l</sup> X<sub>ζ<sub>n,i</sub></sub> von X<sub>ζ<sub>n,i</sub></sub> abhängige Boolesche Zufallsvariable, die angibt, ob an der Position ζ<sub>n</sub> ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist (= wahr = 1) oder nicht (= unwahr = 0)  
ζ<sub>n</sub>:                beliebige Position im Koordinatensystem K<sub>n</sub>.

**[0012]** In einem vierten Schritt erfolgt ein Ermitteln einer optimierten Transformation T<sub>OPT</sub> der N aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen P[Y<sub>ζ<sub>n</sub></sub>]<sub>K<sub>n</sub></sub> aus den Koordinatensystemen K<sub>n</sub> in das Koordinatensystem K<sub>F</sub>: P[Y<sub>ζ<sub>n</sub></sub>]<sub>K<sub>n</sub></sub> → P[Y<sub>ξ</sub>]<sub>K<sub>F</sub></sub> wobei der Beitrag der Wahrscheinlichkeitsverteilung P[Y<sub>ζ<sub>n</sub></sub>]<sub>K<sub>n</sub></sub> an einem beliebigen Ort ξ im Koordinatensystem K<sub>F</sub> P[Y<sub>n,ξ</sub>]<sub>K<sub>F</sub></sub> ist, und wobei die Transformation T<sub>OPT</sub> derart optimiert wird, dass für alle Orte ξ im Koordinatensystem K<sub>F</sub> die Varianz von P[Y<sub>ξ</sub>]<sub>K<sub>F</sub></sub> minimiert ist.

**[0013]** In einem fünften Schritt erfolgt auf Basis der ermittelten optimierten Transformation T<sub>OPT</sub> ein Ermitteln der Positions- und Orientierungs-Koordinaten q<sub>SEN<sub>n</sub></sub> im Koordinatensystem K<sub>F</sub> über den Zusammenhang: q<sub>SEN<sub>n</sub></sub> = q<sub>F</sub> - Δq<sub>SEN<sub>n</sub></sub>, mit

Δq<sub>SEN<sub>n</sub></sub>:            Relativkoordinaten zwischen dem Ursprung des Koordinatensystems K<sub>F</sub> und den Ursprüngen der in K<sub>F</sub> transformierten Koordinatensysteme K<sub>n</sub>.

**[0014]** In einem sechsten Schritt erfolgt ein Ausgeben der ermittelten Positions- und Orientierungs-Koordinaten q<sub>SEN<sub>n</sub></sub> und/oder der Positions- und Orientierungs-Koordinaten q<sub>F</sub> und/oder der Relativkoordinaten Δq<sub>SEN<sub>n</sub></sub>.

**[0015]** Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht ein robustes und hochgenaues Ermitteln von Positions- und Orientierungskordinaten q<sub>SEN<sub>n</sub></sub> und/oder Relativkoordinaten Δq<sub>SEN<sub>n</sub></sub> von an einem Fahrzeug fest angeordneten Sensoren, insbesondere LiDAR-Sensoren, in 2D oder 3D.

**[0016]** Die Positions- und Orientierungs-Koordinaten q<sub>SEN<sub>n</sub></sub> der N Sensoren SEN<sub>n</sub> können beispielsweise im Dreidimensionalen durch kartesische Koordinaten und Eulerwinkel q<sub>SEN<sub>n</sub></sub> = (x<sub>n</sub>, y<sub>n</sub>, z<sub>n</sub>, φ<sub>n</sub>, θ<sub>n</sub>, ψ<sub>n</sub>, t) im jeweiligen Koordinatensystem K<sub>n</sub> angegeben werden. Die Positions- und Orientierungs-Koordinaten q<sub>F</sub>(t) des Fahrzeugs F in dem Koordinatensystem K<sub>F</sub> können beispielsweise ebenfalls im Dreidimensionalen durch kartesische Koordinaten und Eulerwinkel angegeben werden:

q<sub>F</sub>(t) = (x<sub>F</sub>, y<sub>F</sub>, z<sub>F</sub>, φ<sub>F</sub>, θ<sub>F</sub>, ψ<sub>F</sub>, t). Vorteilhaft ist das Koordinatensystem K<sub>F</sub> ein globales Koordinatensystem, vorzugsweise identisch mit einem Koordinatensystem eines Satellitennavigationssystems, das zur Ermittlung der Fahrzeugposition genutzt wird.

**[0017]** Das fortlaufende Erfassen der aktuellen Positions- und Orientierungs-Koordinaten q<sub>F</sub>(t) des Fahrzeugs F in dem Koordinatensystem K<sub>F</sub> erfolgt vorteilhaft, beispielsweise mittels eines Satellitennavigationssystems (GNSS:= Global Navigation Satellite System) bspw. eines Doppler-GPS. Hochgenaue Orientierungsdaten des Fahrzeugs können vorteilhaft beispielsweise mittels Beschleunigungssensoren („IRS“:= Inertial Reference System) ermittelt werden.

**[0018]** Die Sensoren SEN<sub>n</sub> sind vorteilhaft LiDAR- oder Radar- oder Ultraschall- oder Mikrowellensensoren oder 3D-Kamera-Sensoren oder eine Mischung daraus. Die Sensoren SEN<sub>n</sub> sind jeweils dazu ausgeführt, in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs F angeordnete stationäre Objekte von instationären Objekten zu

unterscheiden, von den stationären Objekten Oberflächenelemente  $O_i$  zu erfassen und Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  (=

**[0019]** Messwerte) der erfassten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  zu ermitteln. Die Sensoren  $SEN_n$  verfügen vorteilhaft über den eigentlichen Sensor zur Erfassung von Rohdaten sowie über eine Rohdatenaufbereitungs-Einheit zur Ermittlung der Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  im Koordinatensystem des jeweiligen Sensors.

**[0020]** Stationäre Objekte sind beispielsweise Objekte, die ihre Form, Position und Orientierung im Aufnahmezeitraum, d.h. im Zeitraum während des Abfahrens der Trajektorie  $T$  nicht verändern. Stationäre Objekte sind beispielsweise Häuser, parkende Autos, Laternenpfähle, Ampeln, Absperrungen, etc.

**[0021]** Vorteilhaft überschneiden sich die Messbereiche der Sensoren  $SEN_n$ , so dass ein stationäres Objekt in der Fahrzeugumgebung gleichzeitig von zwei oder mehr Sensoren  $SEN_n$  und somit gleichzeitig aus zwei oder mehr verschiedenen Perspektiven erfasst wird. Ein stationäres Objekt soll natürlich vorteilhaft weiterhin auch aufgrund der Bewegung des Fahrzeugs  $F$  entlang der Trajektorie  $T$  auch von nur einem Sensor  $SEN_n$  aus mehreren Perspektiven erfasst werden.

**[0022]** Für jedes von einem Sensor erfasste Oberflächenelement  $O_i$  eines stationären Objekts wird somit eine Position  $POS_{O_{n,i}}(t)$  ermittelt. Da die Erfassung der Oberflächenelemente  $O_i$  mit einer vorgegebenen Messfrequenz erfolgt, sind die Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  diskret und abzählbar. Je nach Aufgabenstellung, d.h. ob die Positions- und Orientierungskordinaten  $q_{SEN_n}$  und/oder Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$  zweidimensional oder dreidimensional angegeben werden sollen, sind die Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  sind 2D-Positionen oder 3D-Positionen. Nach Abfahren der Trajektorie  $T$  durch das Fahrzeug  $F$  ergibt sich somit für jeden der Sensoren  $SEN_n$  eine Punktwolke mit einer Vielzahl von Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  im jeweiligen Koordinatensystem des Sensors.

**[0023]** Die Trajektorie  $T$  definiert dabei den Bewegungspfad des Fahrzeugs  $F$ , je nach Anwendung des Verfahrens (2D oder 3D) als 2D-Bahnkurve oder 3D-Bahnkurve. Die Trajektorie  $T$  hat einen Startpunkt und einen Endpunkt. Beim Abfahren der Trajektorie  $T$  passiert das Fahrzeug  $F$  den Startpunkt zu einer Zeit  $t_{START}$  und den Endpunkt zu einer Zeit  $t_{END}$ . Positionen  $P_T$  des Fahrzeugs  $F$  entlang der Trajektorie  $T$  ergeben sich daher als Position  $P_T(t)$  mit  $t \in [t_{START}, t_{END}]$ .

**[0024]** Vorteilhaft definiert die Trajektorie  $T$  einen Bewegungspfad des Fahrzeugs  $F$ , der ein slalomartiges oder zig-zack-artiges Umfahren von stationären Objekten in der Umgebung des Fahrzeugs  $F$  ergibt/definiert. Weiterhin vorteilhaft wird die Trajektorie  $T$  vom Fahrzeug  $F$  autonom ausgewählt und abgefahren.

**[0025]** Am Beispiel von LiDAR-Sensoren ergeben sich die Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  der erfassten Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte als diejenigen Raumpunkte im Koordinatensystem des jeweiligen LiDAR-Sensors  $SEN_n$  an dem eine Reflexion des Laserstrahls an der Oberfläche eines stationären Objekts in der Umgebung des Fahrzeugs  $F$  erfolgt.

**[0026]** Im zweiten Schritt werden allen Punkten (= Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$ ) der genannten Punktwolken in den Koordinatensystemen  $K_n$  jeweils eine Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  zugewiesen, wobei jeder Punkt (=  $POS_{O_{n,i}}(t)$ ) als Zentrum der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  betrachtet wird. Somit werden die Punktwolken in den  $N$  Sensorkoordinatensystemen  $K_n$  in Wahrscheinlichkeitsfunktionen überführt, die jeweils eine Wahrscheinlichkeit dafür angeben, dass an einer beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist.

**[0027]** Vorteilhaft ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  eine Normalverteilung (Gaußverteilung). Vorteilhaft ist die Varianz der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeweils proportional zur Entfernung des Punktes  $\zeta_{n,i}$  vom jeweiligen Sensor  $SEN_n$  bzw. vom Ursprung des jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  gewählt:

$$PX_{\zeta_{n,i}} = N_{\zeta_{n,i}, \rho} \parallel \zeta_{n,i} \parallel_2,$$

mit

$N$ : Normalverteilung

$\rho$ : Konstante zum Fine-Tunen der Verteilungen

$\|\zeta_{n,i}\|_2$ : Distanz zwischen Sensor  $SEN_n$  und dem Punkt  $\zeta_{n,i}$ , der die Position  $POS_{O_{n,i}}(t)$  des Oberflächenelements  $O$ , im Koordinatensystem  $K_n$  angibt.

**[0028]** Mit anderen Worten, die Wahrscheinlichkeit  $PX_{\zeta_{n,i}}$ , dass für die Boolesche Variable  $X_{\zeta_{n,i}}$  gilt:  $X_{\zeta_{n,i}} = 1$  steigt mit zunehmender Nähe der Position  $POS_{O_{n,i}}(t)$  zu einem Punkt  $\zeta_{n,i}$ .

**[0029]** In dem dritten Schritt wird die aggregierte Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  ermittelt, die die Wahrscheinlichkeit angibt, dass an einer beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des Sensors  $SEN_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  basiert dabei auf den „oder“-Verknüpfungen:  $Y_{\zeta_n} = \bigvee_{i=1}^I X_{\zeta_{n,i}}$  der Zufallsvariablen  $X_{\zeta_{n,i}}$ . Bei der Punktwolke  $POS_{O_{n,i}}(t)$  im Koordinatensystem  $K_n$  gilt vorteilhaft jeder Punkt  $PO_{O_{n,i}}(t)$  als eine neue Messung. So hat man in jedem Koordinatensystem  $K_n$  eine Anzahl von  $I$  Zufallsvariablen an jeder beliebigen Position  $\zeta_n$  und damit eine komplexe Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Vorhandensein von Oberflächenelementen eines stationären Objektes an jeder beliebigen Position  $\zeta_n$ .

**[0030]** Neben der Information über die Wahrscheinlichkeit  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  für das Vorhandensein eines Oberflächenelementes eines stationären Objektes an jeder beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des Sensors  $SEN_n$ , können noch weitere Informationen genutzt werden.

**[0031]** Wenn beispielsweise an einer Position  $\zeta_n$  aus Sicht des Sensors  $n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes vorhanden ist (Wahrscheinlichkeit  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n} = 1$ ), dann ist offensichtlich kein für den jeweiligen Sensor sichtbares Objekt zwischen der Position  $\zeta_n$  und dem Sensor, d.h. zwischen der Position  $\zeta_n$  und dem Koordinatenursprung des Koordinatensystems  $K_n$  vorhanden. Für diese Bereiche (Linie zwischen Koordinatenursprung des Koordinatensystems  $K_n$  und Position  $\zeta_n$ ) einfach eine Wahrscheinlichkeit von Null anzunehmen ist nicht ausreichend, denn dieselbe Information gilt für Positionen, welche der jeweilige Sensor überhaupt nicht erkennen kann.

**[0032]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass eine Gewichtung  $W_{\zeta_{n,i}}$  der aggregierten Wahrscheinlichkeit  $P[Y_{\zeta_n}]$  an jeder Position  $\zeta_n$  durch Integrieren von  $P[Y_{\zeta_n}]$  entlang einer Linie, die vom Ursprung des Koordinatensystems  $K_n$  über den Punkt  $\zeta_{n,i}$  verläuft, beginnend bei dem Punkt  $\zeta_{n,i}$  bis ins Unendliche, angewandt wird. Die Gewichtung  $W_{\zeta_{n,i}}$  der aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  am Punkt  $\zeta_{n,i}$  ist vorteilhaft definiert durch:

$$W_{\zeta_{n,i}} = \int_{\zeta_{n,i}}^{\infty} P[Y_{\zeta_n}] d\zeta_n^*, \text{ wobei } P[Y_{\zeta_n}] \text{ entlang einer Linie, die vom Ursprung des Koordinatensystems } K_n \text{ über den Punkt } \zeta_{n,i} \text{ verläuft beginnend bei dem Punkt } \zeta_{n,i} \text{ bis ins Unendliche integriert wird.}$$

**[0033]** Die Motivation für diese Gewichtung ist die Folgende. Sofern man eine Monte Carlo Simulation zur Verteilung von Oberflächenelementen von stationären Objekten im Raum gemäß der Wahrscheinlichkeit  $P[Y_{\zeta_n}]$  annimmt, und dabei an oder hinter einer Position  $\zeta_n$  (Sichtlinie, gesehen vom jeweiligen Koordinatenursprung aus) ein Oberflächenelement vorhanden ist, kann man schließen, dass kein von einem Sensor erkennbares Objekt vor der Position  $\zeta_n$  angeordnet ist. Die relative Häufigkeit dieser Situationen ergibt sich zu  $W_{\zeta_{n,i}}$ .

**[0034]** In dem vierten Schritt erfolgt ein Ermitteln optimierter Transformationen  $T_{OPT}$  der  $N$  aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  aus den Koordinatensystemen  $K_n$  in das Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n} \rightarrow P[Y_{\xi}]_{K_F}$ , wobei der Beitrag der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  an einem beliebigen Ort  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$   $P[Y_{n,\xi}]_{K_F}$  ist, und wobei die Transformation  $T_{OPT}$  derart optimiert wird, dass für alle Orte  $\xi$  die Varianz von  $P[Y_{\xi}]_{K_F}$  minimiert ist. Vorteilhaft wird zum Ermitteln der optimierten Transformation  $T_{OPT}$  ein Gradientenverfahren (engl. „gradient descent based optimizer“) verwendet.

**[0035]** Alternativ zur Minimierung der Varianz kann auch wie nachfolgend dargestellt die Log-Likelihood maximiert werden. Für die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\xi}]_{K_F}$  gilt, dass an der Position  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$  entweder ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht. Ist an der Position  $\xi$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass alle von den Sensoren  $SEN_n$  erfassten Messwerte übereinstimmen:

$$P[Y_{1,\xi} \wedge \dots \wedge Y_{I,\xi}]_{K_F} = \prod_{i=1}^I P[Y_{i,\xi}]_{K_F}$$

**[0036]** Ist andererseits an der Position  $\xi$  kein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass alle von den Sensoren erfassten Messwerte übereinstimmen:

$$P[\neg Y_{1,\xi} \wedge \dots \wedge \neg Y_{I,\xi}]_{K_F} = \prod_{i=1}^I \left(1 - P[Y_{i,\xi}]_{K_F}\right)$$

**[0037]** Damit ist die Gesamt-Wahrscheinlichkeit, dass alle Sensormesswerte ( $\text{POS}_{O_n}(t)$ ) im Koordinatensystem  $K_F$  übereinstimmen:

$$P[Z_\xi] = \prod_{i=1}^I P[Y_{i,\xi}]_{K_F} + \prod_{i=1}^I \left(1 - P[Y_{i,\xi}]_{K_F}\right) \quad (1)$$

**[0038]** Wenn man zusätzlich noch die begrenzte Sichtbarkeit der Umgebung durch Abschattung durch Objekte berücksichtigt, muss noch die vorstehend beschriebene transformierte Gewichtung  $W_{i,\xi}$  jeder Messung berücksichtigt werden. Ein einfacher Ansatz hierzu ist die Gewichtung  $W_{i,\xi}$  als einfachen linearen Interpolationsfaktor in dem Produkt zu verwenden. D.h., wenn gilt:  $W_{i,\xi} = 0$ , ändert die betroffene Messung gar nichts (bspw. multipliziert man dann mit 1) und wenn gilt:  $W_{i,\xi} = 1$ , trägt dies zur Änderung der Gesamtwahrscheinlichkeit aller Sensoren bei, übereinzustimmen. Dies ändert Gleichung (1) wie folgt:

$$P[Z_\xi] = \prod_{i=1}^I \left(W_{i,\xi} \cdot P[Y_{i,\xi}]_{K_F} + (1 - W_{i,\xi}) \cdot 1\right) + \prod_{i=1}^I \left(W_{i,\xi} \cdot \left(1 - P[Y_{i,\xi}]_{K_F}\right) + (1 - W_{i,\xi}) \cdot 1\right)$$

$$P[Z_\xi] = \prod_{i=1}^I \left(W_{i,\xi} \cdot P[Y_{i,\xi}]_{K_F} + 1 - W_{i,\xi}\right) + \prod_{i=1}^I \left(1 - W_{i,\xi} \cdot P[Y_{i,\xi}]_{K_F}\right)$$

**[0039]** Wenn keine Messung für eine Position  $\xi$  vorliegt, dann gilt:  $P[Z_\xi] = 1$ . Die Wahrscheinlichkeit, dass die Messergebnisse aller Sensoren an jeder Position  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$  übereinstimmen ist gegeben durch:

$$\mathcal{L} = \prod_{\xi} P[Z_\xi]$$

**[0040]** Zur Optimierung wird die Ableitung benötigt, was eine aufwendige Rechenprozedur für dieses Produkt darstellt, so dass vorteilhaft vorgeschlagen wird eine log-Likelihood-Methode zu verwenden:

$$\log \mathcal{L} = \log \prod_{\xi} P[Z_\xi] = \sum_{\xi} \log P[Z_\xi]$$

**[0041]** Die Werte  $P[Z_\xi]$  sind stets positiv, so dass der Logarithmus wohl definiert ist.  $P[Z_\xi]$  enthält zudem ein Produkt  $P[\neg Y_{i,\xi}]$ , die alle Positiv sind, da kein Sensor 100% genaue Messungen liefert, d.h. alle  $P[Y_{i,\xi}]$  sind kleiner als 1.

**[0042]** In einer Weiterbildung des vorgeschlagenen Verfahrens werden die aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]$  vor dem Ermitteln der optimierten Transformation  $T_{\text{OPT}}$  jeweils auf eine horizontale Ebene projiziert werden, so dass Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]$  jeweils zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind.

**[0043]** In einem fünften Schritt kann auf Basis der ermittelten optimierten Transformation  $T_{\text{OPT}}$  ein Ermitteln der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{\text{SEN}_n}$  im Koordinatensystem  $K_F$  über den Zusammenhang:  $q_{\text{SEN}_n} = q_F - \Delta q_{\text{SEN}_n}$  erfolgen. So ergeben sich die bspw. die Relativkoordinaten  $\Delta q_{\text{SEN}_n}$  als die Relativkoordinaten zwischen dem Ursprung des Koordinatensystems  $K_F$  und den Ursprüngen der in  $K_F$  transformierten Koordinatensysteme  $K_n$ .

**[0044]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die Sensoren  $\text{SEN}_n$  die Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte mit einer Taktfrequenz im Bereich von 5 Hz bis 200 Hz, insbesondere von 10 Hz bis 100 Hz erfassen.

**[0045]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die aktuellen Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs  $F$  in dem Koordinatensystem  $K_F$  von einem Positions- und Lageerfassungssystem des Fahrzeugs  $F$  erfasst und bereitgestellt werden.

**[0046]** Vorteilhaft umfasst das Positions- und Lageerfassungssystem des Fahrzeugs ein Fein GNSS-System, bspw. einen GPS-, Galileo- oder einen GLONASS-Empfänger sowie ein Inertial-Referenz-System (IRS).

**[0047]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass das vorstehend beschriebene Verfahren vom Fahrzeug F nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitspanne oder nach Feststellen von vorgegebenen Fehlern der Sensoren  $SEN_n$  oder nach Beschleunigungen des Fahrzeugs, die zumindest einen vorgegebenen Grenzwert überschreiten, einem Fahrer automatisiert vorgeschlagen oder automatisiert ausgeführt wird.

**[0048]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass die ermittelten Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  und/oder die Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F$  und/oder die Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$  an ein Fahrzeugsteuerungssystem des Fahrzeugs F übermittelt werden, wobei das Fahrzeugsteuerungssystem derart eingerichtet und ausgeführt ist, dass es ein vollautonomes oder teilautonomes Fahren des Fahrzeugs F ermöglicht.

**[0049]** Der Aufwand für die Durchführung des vorgeschlagenen Verfahrens ist gering, da es während einer Fahrt durchgeführt werden kann, wie beispielsweise bei einer Parkplatzsuche, die in gewissen Abständen ohnehin durchgeführt wird. Das Verfahren kann vollständig automatisiert durchgeführt werden. Das Verfahren ermöglicht eine sehr hohe Genauigkeit bei der Bestimmung der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  und bei der Bestimmung der Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$ .

**[0050]** Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein System zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$ , einer Anzahl N an einem Fahrzeug F fest angeordneter Sensoren  $SEN_n$ , wobei die Sensoren  $SEN_n$  jeweils dazu eingerichtet und ausgeführt sind, in einer Umgebung des Fahrzeugs F Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte zu erfassen und im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  als Messergebnisse des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  Positionen  $POS_{O_{n,i}}$  der Oberflächenelemente  $O_i$  zu ermitteln, mit  $n = 1, 2, \dots, N$  und  $N \geq 1$  und  $i = 1, 2, \dots, I$  und  $I \geq 1$ .

**[0051]** Das vorgeschlagene System umfasst ein erstes Erfassungssystem, das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, zumindest während eines Abfahrens einer Trajektorie T mit dem Fahrzeug F fortlaufend aktuelle Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs F in einem Koordinatensystem  $K_F$  zu erfassen; ein zweites Erfassungssystem, das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, während des Abfahrens der Trajektorie T mit dem Fahrzeug F je Sensor  $SEN_n$  fortlaufend Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs F jeweils aus einer Vielzahl von verschiedenen Perspektiven zu erfassen und Positionen  $PO_{O_{n,i}}(t)$  der erfassten ortsfesten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  zu ermitteln, wobei die Position des Sensor  $SEN_n$  mit dem Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems  $K_n$  übereinstimmt; ein Auswertesystem, das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, für die während des Abfahrens der Trajektorie T ermittelten Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  zu jeder ermittelten Position  $POS_{O_{n,i}}(t)$  zuzuweisen, wobei die

**[0052]** Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeder Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeit dafür zuweist, dass an der Position  $\zeta_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht und wobei der Schwerpunkt der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  an der jeweils zugeordneten Position:  $\zeta_{n,i} := POS_{O_{n,i}}(t)$  liegt, und das weiterhin dazu ausgeführt und eingerichtet ist, je Koordinatensystem  $K_n$  eine aggregierte Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]$  zu ermitteln, die eine Wahrscheinlichkeit angibt, dass an einer beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des Sensors  $SEN_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht, mit  $X_{\zeta_{n,i}}$ : Boolesche Zufallsvariable an der Position  $\zeta_{n,i}$  im Koordinatensystem  $K_n$  des n-ten Sensors  $SEN_n$ ,  $Y_{\zeta_n} : Y_{\zeta_n} = \bigvee_{i=1}^I X_{\zeta_{n,i}}$  von  $X_{\zeta_{n,i}}$  abhängige Boolesche Zufallsvariable  $\zeta_n$ : beliebige Position im Koordinatensystem  $K_n$ ; einen Optimierer, der dazu ausgeführt und eingerichtet ist, eine optimierte Transformation  $T_{OPT}$  der N aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  aus den Koordinatensystemen  $K_n$  in das Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n} \rightarrow P[Y_{\zeta_n}]_{K_F}$  zu ermitteln, wobei der Beitrag der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  an einem beliebigen Ort  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$   $P[Y_{n,\xi}]_{K_F}$  ist, und wobei die Transformation  $T_{OPT}$  derart optimiert ist, dass für alle Orte  $\xi$  die Varianz von  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_F}$  minimiert ist, und der weiterhin dazu ausgeführt und eingerichtet ist, auf Basis der ermittelten optimierten Transformation  $T_{OPT}$  die Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  im Koordinatensystem  $K_F$  über den Zusammenhang:  $q_{SEN_n} = q_F - \Delta q_{SEN_n}$  zu ermitteln, mit  $\Delta q_{SEN_n}$ : Relativkoordinaten zwischen dem Ursprung des Koordinatensystems  $K_F$  und den Ursprüngen der in  $K_F$  transformierten Koordinatensysteme  $K_n$ ; sowie eine Ausgabeschnittstelle, die zur Ausgabe oder Anzeige oder Bereitstellung der ermittelten Posi-

tions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{\text{SEN}_n}$  und/oder der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F$  und/oder der Relativkoordinaten  $\Delta q_{\text{SEN}_n}$  ausgeführt und eingerichtet ist.

**[0053]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass die Sensoren  $\text{SEN}_n$  LIDAR- oder Radar- oder Ultraschall- oder Mikrowellensensoren oder 3D-Kamera-Sensoren oder eine Mischung daraus sind.

**[0054]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass das Auswertesystem derart eingerichtet ist, dass die Varianz der Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeweils proportional zur Entfernung des Punktes  $\zeta_{n,1}$  von jeweiligen Sensor  $\text{SEN}_n$  bzw. vom Ursprung des jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  gewählt ist:  $PX_{\zeta_{n,i}} = N_{\zeta_{n,i}, \rho \|\zeta_{n,i}\|_2}$ , mit  $N$ : Normalverteilung,  $\rho$ : Konstante, und  $\|\zeta_{n,i}\|_2$ : Distanz zwischen Sensor  $\text{SEN}_n$  und dem Punkt  $\zeta_{n,i}$ , der die Position  $\text{POS}_{O_i}(t)$  des Objekts  $O_i$  im Koordinatensystem  $K_n$  angibt.

**[0055]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass das Auswertesystem derart eingerichtet ist, dass die aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  am Punkt  $\zeta_{n,i}$  mit  $W_{\zeta_{n,i}} = \int_{\zeta_{n,i}}^{\infty} P[Y_{\zeta_n}^*] d\zeta_n^*$  gewichtet werden, wobei  $P[Y_{\zeta_n}^*]$  entlang einer Linie, die vom Ursprung des Koordinatensystems  $K_n$  über den Punkt  $\zeta_{n,i}$  verläuft beginnend bei dem Punkt  $\zeta_{n,i}$  bis ins Unendliche integriert wird.

**[0056]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass das Auswertesystem derart eingerichtet ist, dass die aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]$  vor dem Ermitteln der optimierten Transformation  $T_{\text{OPT}}$  jeweils auf eine horizontale Ebene projiziert werden, so dass Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]$  jeweils zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind.

**[0057]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass die Sensoren  $\text{SEN}_n$  derart eingerichtet und ausgeführt sind, dass sie die Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte mit einer Taktfrequenz im Bereich von 5 Hz bis 200 Hz, insbesondere von 10 Hz bis 100 Hz erfassen.

**[0058]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass das erste Erfassungssystem ein Positions- und Lageerfassungssystem im Fahrzeugs  $F$  ist.

**[0059]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass das Erfassungssystem ein GNSS-System, bspw. einen GPS-, Galileo- oder einen GLONASS-Empfänger sowie ein Inertial-Referenz-System (INS) umfasst.

**[0060]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass das System weiterhin umfasst: ein zweites System zur automatischen Längs- und Quersteuerung des Fahrzeugs  $F$ , das derart ausgeführt und eingerichtet ist, dass aufgrund erkannter stationärer Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs Feine Trajektorie  $F$  ermittelt wird, die ein Erfassen von Oberflächenelementen  $O_i$  der Objekte je Sensor  $\text{SEN}_n$  aus unterschiedlichen Perspektiven ermöglicht, insbesondere eine Trajektorie  $T$  ermittelt wird, die ein slalomartiges oder zig-zack-artiges Umfahren der stationären Objekte definiert und das ein autonomes Abfahren der ermittelten Trajektorie  $T$  ermöglicht.

**[0061]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des vorgeschlagenen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass ein drittes System vorhanden ist, das derart ausgeführt und eingerichtet ist, dass es nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitspanne und/oder nach Feststellen von Fehlern der Sensoren  $\text{SEN}_n$  und/oder nach erfassten Beschleunigungen des Fahrzeugs  $F$ , die zumindest einen vorgegebenen Grenzwert überschreiten, zumindest einen Hinweis an einen Fahrer des Fahrzeugs  $F$  ausgibt, dass eine Kalibrierung der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{\text{SEN}_n}$  der Sensoren  $\text{SEN}_n$  erforderlich ist oder ein Verfahren wie vorstehend beschrieben ausgeführt, insbesondere automatisiert ausgeführt wird.

**[0062]** Vorteile und vorteilhafte Weiterbildungen des vorgeschlagenen Systems ergeben sich zudem durch sinngemäße Übertragung der im Zusammenhang mit dem vorgeschlagenen Verfahren gemachten Ausführungen, auf die hierzu verwiesen wird.

**[0063]** Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Fahrzeug, insbesondere ein Kraftfahrzeug, ein Elektrofahrzeug, ein Motorrad, mit einem System, wie vorstehend beschrieben.

**[0064]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der - gegebenenfalls unter Bezug auf die Zeichnung - zumindest ein Ausführungsbeispiel im Einzelnen beschrieben ist. Gleiche, ähnliche und/oder funktionsgleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0065]** Es zeigen:

**Fig. 1** einen schematisierten Ablaufplan eines erfindungsgemäßen Verfahrens

**Fig. 2** einen schematisierten Aufbauplan eines erfindungsgemäßen Systems

**Fig. 3** eine Aufsicht auf ein schematisierten Fahrzeug F, wobei die Positionen X die horizontale Anordnung von sechs Sensoren  $SEN_n$  am Fahrzeug kennzeichnen und die schraffierten Bereiche die den Sensoren zugeordneten Messbereiche angeben

**Fig. 4** eine schematisierte Darstellung einer meanderförmigen Trajektorie  $\gamma$ , wobei die dargestellten Kreise Positionen von Laternenpfählen markieren

**[0066]** **Fig. 1** zeigt einen schematisierten Ablaufplan eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  einer Anzahl N an einem Fahrzeug F fest angeordneter Sensoren  $SEN_n$ , wobei die Sensoren  $SEN_n$  jeweils dazu eingerichtet und ausgeführt sind, in einer Umgebung des Fahrzeugs F Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte zu erfassen und im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  Positionen  $POS_{O_{n,i}}$  der Oberflächenelemente  $O_i$  zu ermitteln, mit  $n = 1, 2, \dots, N$  und  $N \geq 1$  und  $i = 1, 2, \dots, I$  und  $I \geq 1$ . Das Verfahren umfasst folgende Schritte.

**[0067]** In einem ersten Schritt 101 erfolgt mit dem Fahrzeug F ein Abfahren einer Trajektorie T. Dabei erfolgt in Schritt 102a ein fortlaufendes Erfassen von aktuellen Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs F in einem Koordinatensystem  $K_F$  und in Schritt 102b je Sensor  $SEN_n$  ein fortlaufendes Erfassen von Oberflächenelementen  $O_i$  stationärer Objekte in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs F jeweils aus einer Vielzahl von verschiedenen Perspektiven zu den Objekten.

**[0068]** In Schritt 103 erfolgt ein Ermitteln von Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  der erfassten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$ , wobei die Position des Sensor  $SEN_n$  mit dem Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems  $K_n$  übereinstimmt.

**[0069]** In Schritt 104 erfolgt für die während des Abfahrens der Trajektorie T ermittelten Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  ein Zuweisen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  zu jeder ermittelten Position  $POS_{O_{n,i}}(t)$ , wobei die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeder Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeit dafür zuweist, dass an der Position  $\zeta_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht und wobei der Schwerpunkt der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  an der jeweils zugeordneten Position:  $\zeta_{n,i} := POS_{O_{n,i}}(t)$  liegt.

**[0070]** In Schritt 105 erfolgt je Koordinatensystem  $K_n$  ein Ermitteln einer aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  die eine Wahrscheinlichkeit angibt, dass an einer beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des Sensors  $SEN_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht, mit

- $X_{\zeta_{n,i}}$ : Boolesche Zufallsvariable im Koordinatensystem  $K_n$  des n-ten Sensors  $SEN_n$ ,
- $Y_{\zeta_n}$ :  $Y_{\zeta_n} = \bigvee_{i=1}^I X_{\zeta_{n,i}}$  von  $X_{\zeta_{n,i}}$  abhängige Boolesche Zufallsvariable
- $\zeta_n$ : beliebige Position im Koordinatensystem  $K_n$ , sowie eine Projektion der ermittelten aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  auf eine gemeinsame horizontale Ebene, so dass Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]$  jeweils zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind. In diesem Ausführungsbeispiel werden somit nur zweidimensionale Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  oder Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$  ermittelt.

**[0071]** In Schritt 106 erfolgt ein Ermitteln einer optimierten Transformation  $T_{OPT}$  der N aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  aus den Koordinatensystemen  $K_n$  in das Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n} \rightarrow P[Y_{\xi}]_{K_F}$ , wobei der Beitrag der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  an einem beliebigen Ort  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{n,\xi}]_{K_F}$  ist, und wobei die Transformation  $T_{OPT}$  derart optimiert wird, dass für alle Orte  $\xi$  die Varianz von  $P[Y_{\xi}]_{K_F}$  minimiert ist.

**[0072]** In Schritt 107 erfolgt auf Basis der ermittelten optimierten Transformation  $T_{OPT}$  ein Ermitteln der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$ , oder von Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$  im Koordinatensystem  $K_F$  über den Zusammenhang:  $q_{SEN_n} = q_F - \Delta q_{SEN_n}$ , mit  $\Delta q_{SEN_n}$ : Relativkoordinaten zwischen dem Ursprung des Koordinatensystems  $K_F$  und den Ursprüngen der in  $K_F$  transformierten Koordinatensysteme  $K_n$ .

**[0073]** In Schritt 108 erfolgt schließlich ein Ausgeben/Anzeigen der ermittelten Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  und/oder der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F$  und/oder der Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$ .

**[0074]** Fig. 2 zeigt einen schematisierten Aufbauplan eines erfindungsgemäßen Systems zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  einer Anzahl  $N$  an einem Fahrzeug  $F$  fest angeordneter Sensoren  $SEN_n$  201, wobei die Sensoren  $SEN_n$  201 jeweils dazu eingerichtet und ausgeführt sind, in einer Umgebung des Fahrzeugs  $F$  Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte zu erfassen und im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  (201) Positionen  $PO_{O_{n,i}}$  der Oberflächenelemente  $O_i$  zu ermitteln, mit  $n = 1, 2, \dots, N$  und  $N \geq 1$  und  $i = 1, 2, \dots, I$  und  $I \geq 1$ .

**[0075]** Das System umfasst ein erstes Erfassungssystem 202, das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, zumindest während eines Abfahrens einer Trajektorie  $T$  mit dem Fahrzeug  $F$  fortlaufend aktuelle Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs  $F$  in einem Koordinatensystem  $K_F$ , zu erfassen und ein zweites Erfassungssystem 203, das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, während des Abfahrens der Trajektorie  $T$  mit dem Fahrzeug  $F$  je Sensor  $SEN_n$  201 fortlaufend Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs  $F$  jeweils aus einer Vielzahl von verschiedenen Perspektiven zu erfassen und Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  der erfassten ortsfesten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  201 zu ermitteln, wobei die Position des Sensor  $SEN_n$  201 mit dem Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems  $K_n$  übereinstimmt.

**[0076]** Das System umfasst weiterhin ein Auswertesystem 204, das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, für die während des Abfahrens der Trajektorie  $T$  ermittelten Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  zu jeder ermittelten Position  $POS_{O_{n,i}}(t)$  zuzuweisen, wobei die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeder Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeit dafür zuweist, dass an der Position  $\zeta_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht und wobei der Schwerpunkt der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  an der jeweils zugeordneten Position:  $\zeta_{n,i} := POS_{O_{n,i}}(t)$  liegt, und das weiterhin dazu ausgeführt und eingerichtet ist, je Koordinatensystem  $K_n$  eine aggregierte Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]$  zu ermitteln, die eine Wahrscheinlichkeit angibt, dass an einer beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des Sensors  $SEN_n$  201 ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist, mit

$X_{\zeta_{n,i}}$ : Boolesche Zufallsvariable im Koordinatensystem  $K_n$  des  $n$ -ten Sensors  $SEN_n$  201,

$Y_{\zeta_n}$ :  $Y_{\zeta_n} = \bigvee_{i=1}^I X_{\zeta_{n,i}}$  von  $X_{\zeta_{n,i}}$  abhängige Boolesche Zufallsvariable

$\zeta_n$ : beliebige Position im Koordinatensystem  $K_n$ .

**[0077]** Das System umfasst weiterhin einen Optimierer 205, der dazu ausgeführt und eingerichtet ist, eine optimierte Transformation  $T_{OPT}$  der  $N$  aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  aus den Koordinatensystemen  $K_n$  in das Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n} \rightarrow P[Y_{\xi}]_{K_F}$  zu ermitteln, wobei der Beitrag der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  an einem beliebigen Ort  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$   $P[Y_{n,\xi}]_{K_F}$  ist, und wobei die Transformation  $T_{OPT}$  derart optimiert ist, dass für alle Orte  $\xi$  die Varianz von  $P[Y_{n,\xi}]_{K_F}$  minimiert ist, und der weiterhin dazu ausgeführt und eingerichtet ist, auf Basis der ermittelten optimierten Transformation  $T_{OPT}$  die Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  im Koordinatensystem  $K_F$  über den Zusammenhang:  $q_{SEN_n} = q_F - \Delta q_{SEN_n}$  zu ermitteln, mit

$\Delta q_{SEN_n}$ : Relativkoordinaten zwischen dem Ursprung des Koordinatensystems  $K_F$  und den Ursprüngen der in  $K_F$  transformierten Koordinatensysteme  $K_n$ .

**[0078]** Das Auswertesystem 204 sowie der Optimierer 205 nutzen vorteilhaft einen gemeinsamen Prozessor (bspw. einen Bordcomputer des Fahrzeugs  $F$ ) oder unterschiedliche Prozessoren.

**[0079]** Das System umfasst weiterhin eine Ausgabeschnittstelle 206, die zur Ausgabe oder Anzeige oder Bereitstellung der ermittelten Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  und/oder der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F$  und/oder der Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$  ausgeführt und eingerichtet ist. Die

Ausgabeschnittstelle 206 kann vorteilhaft beispielsweise eine optische Ausgabe (Monitor) und/oder Sprachausgabeeinheit (Lautsprecher) sein.

**[0080]** Fig. 3 zeigt eine Aufsicht auf ein schematisierten Fahrzeug F, wobei die Positionen X die horizontale Anordnung von sechs LiDAR-Sensoren  $SEN_n$  am Fahrzeug F kennzeichnen und die schraffierten Bereiche die den LiDAR-Sensoren  $SEN_n$  zugeordneten Messbereiche angeben.

**[0081]** In einem Ausführungsbeispiel sind nach dem Einbau neuer LiDAR-Sensoren in ein Fahrzeug F bspw. dem Bordcomputer nur ungenaue Positions- und Orientierungsinformationen der LiDAR-Sensoren bekannt. Dabei betrage die Positionsgenauigkeit der Position Informationen 1 m und die Genauigkeit der Orientierung Informationen im zweidimensionalen  $45^\circ$ .

**[0082]** Das Fahrzeug F wird nun bei einer Parkplatzsuche über einen Parkplatz in einer mäanderförmigen Trajektorie T gefahren, wobei der Parkplatz überwiegend unbesetzt ist und mit mehreren Laternenpfählen ausgestattet ist (siehe Fig. 4).

**[0083]** Der Bordcomputer erkennt die Notwendigkeit der Rekalibrierung der Positions- und Orientierungskordinaten  $q_{SEN_n}$  der LiDAR-Sensoren  $SEN_n$  bspw. durch den beim Einbau der Sensoren durchgeführten Reset. Daraufhin werden die Messdaten der LiDAR-Sensoren  $SEN_n$  und die Positions- und Orientierungsdaten des Fahrzeugs F während des Abfahrens der Trajektorie T (Fig. 4) aufgezeichnet. Dabei werden die Messdaten vorteilhaft nur dann zu Kalibrierung von  $q_{SEN_n}$  verwendet, falls die Trajektorie T während des Aufnahmezeitraums der Messdaten einem geeigneten Bewegungspfad entspricht. Geeignete Bewegungspfade werden vorteilhaft vom Hersteller des Fahrzeugs definiert und hängen insbesondere von der Anzahl, Position und Lage der LiDAR-Sensoren  $SEN_n$  am Fahrzeug ab. Sobald die erfassten Messdaten vorgegebenen Anforderungen entsprechen, wird das vorstehend beschriebene Auswerteverfahren der Messdaten ausgeführt. Konvergiert dabei das Optimierungsverfahren zur Ermittlung der optimierten Transformation  $T_{OPT}$ , so wird die ermittelte neue Positions- und Orientierungsinformation zu den LiDAR-Sensoren  $SEN_n$  im Bordcomputer gespeichert und für eine spätere Sensordatenverarbeitung verwendet.

**[0084]** Fig. 4 eine schematisierte Darstellung einer mäanderförmigen Trajektorie T, wobei die dargestellten Kreise Positionen von Laternenpfählen markieren.

**[0085]** Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und erläutert wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen. Es ist daher klar, dass eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten existiert. Es ist ebenfalls klar, dass beispielhaft genannte Ausführungsformen wirklich nur Beispiele darstellen, die nicht in irgendeiner Weise als Begrenzung etwa des Schutzbereichs, der Anwendungsmöglichkeiten oder der Konfiguration der Erfindung aufzufassen sind. Vielmehr versetzen die vorhergehende Beschreibung und die Figurenbeschreibung den Fachmann in die Lage, die beispielhaften Ausführungsformen konkret umzusetzen, wobei der Fachmann in Kenntnis des offenbarten Erfindungsgedankens vielfältige Änderungen beispielsweise hinsichtlich der Funktion oder der Anordnung einzelner, in einer beispielhaften Ausführungsform genannter Elemente vornehmen kann, ohne den Schutzbereich zu verlassen, der durch die Ansprüche und deren rechtliche Entsprechungen, wie etwa einer weitergehenden Erläuterung in der Beschreibung, definiert wird.

#### Bezugszeichenliste

101 bis 108	Verfahrensschritte
201	Sensoren $SEN_n$
202	erstes Erfassungssystem
203	zweites Erfassungssystem
204	Auswertesystem
205	Optimierer
206	Ausgabeschnittstelle

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{\text{SEN}_n}$  einer Anzahl  $N$  an einem Fahrzeug  $F$  fest angeordneter Sensoren  $\text{SEN}_n$ , wobei die Sensoren  $\text{SEN}_n$  jeweils dazu eingerichtet und ausgeführt sind, in einer Umgebung des Fahrzeugs  $F$  Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte zu erfassen und im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $\text{SEN}_n$  Positionen  $\text{POS}_{O_n,i}$  der Oberflächenelemente  $O_i$  zu ermitteln, mit  $n = 1, 2, \dots, N$  und  $N \geq 1$  und  $i = 1, 2, \dots, I$  und  $I \geq 1$ ; mit folgenden Schritten:

- mit dem Fahrzeug  $F$  Abfahren (101) einer Trajektorie  $T$ , dabei fortlaufendes Erfassen (102a) von aktuellen Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs  $F$  in einem Koordinatensystem  $K_F$ , je Sensor  $\text{SEN}_n$  fortlaufendes Erfassen (102b) von Oberflächenelementen  $O_i$  stationärer Objekte in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs  $F$  jeweils aus einer Vielzahl von verschiedenen Perspektiven zu den Objekten, und Ermitteln (103) von Positionen  $\text{POS}_{O_n,i}(t)$  der erfassten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $\text{SEN}_n$ , wobei die Position des Sensor  $\text{SEN}_n$  mit dem Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems  $K_n$  übereinstimmt;

- für die während des Abfahrens der Trajektorie  $T$  ermittelten Positionen  $\text{POS}_{O_n,i}(t)$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  Zuweisen (104) einer Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  zu jeder ermittelten Position  $\text{POS}_{O_n,i}(t)$ , wobei die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeder Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeit dafür zuweist, dass an der Position  $\zeta_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist und wobei der Schwerpunkt der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  an der jeweils zugeordneten Position:  $\zeta_{n,i} := \text{PO}_{O_n,i}(t)$  liegt,

- je Koordinatensystem  $K_n$  Ermitteln (105) einer aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  die eine Wahrscheinlichkeit angibt, dass an einer beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des Sensors  $\text{SEN}_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist, mit

$X_{\zeta_{n,i}}$ : Boolesche Zufallsvariable im Koordinatensystem  $K_n$  des  $n$ -ten Sensors  $\text{SEN}_n$ ,

$Y_{\zeta_n}: Y_{\zeta_n} = \bigvee_{i=1}^I X_{\zeta_{n,i}}$  von  $X_{\zeta_{n,i}}$  abhängige Boolesche Zufallsvariable

$\zeta_n$ : beliebige Position im Koordinatensystem  $K_n$ ;

- Ermitteln (106) einer optimierten Transformation  $T_{\text{OPT}}$  der  $N$  aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  aus den Koordinatensystemen  $K_n$  in das Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n} \rightarrow P[Y_{\zeta_n}]_{K_F}$ , wobei der Beitrag der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  an einem beliebigen Ort  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{\zeta_n, \xi}]_{K_F}$  ist, und wobei die Transformation  $T_{\text{OPT}}$  derart optimiert wird, dass für alle Orte  $\xi$  die Varianz von  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_F}$  minimiert ist,

- auf Basis der ermittelten optimierten Transformation  $T_{\text{OPT}}$  Ermitteln (107) der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{\text{SEN}_n}$  im Koordinatensystem  $K_F$  über den Zusammenhang:  $q_{\text{SEN}_n} = q_F - \Delta q_{\text{SEN}_n}$ , mit  $\Delta q_{\text{SEN}_n}$ : Relativkoordinaten zwischen dem Ursprung des Koordinatensystems  $K_F$  und den Ursprüngen der in  $K_F$  transformierten Koordinatensysteme  $K_n$ ; und

- Ausgeben (108) der ermittelten Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{\text{SEN}_n}$  und/oder der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F$  und/oder der Relativkoordinaten  $\Delta q_{\text{SEN}_n}$ .

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeweils eine Normalverteilung (Gaußverteilung) ist.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, bei dem die Varianz der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $PX_{\zeta_{n,i}}$  jeweils proportional zur Entfernung des Punktes  $\zeta_{n,i}$  von jeweiligen Sensor  $\text{SEN}_n$  bzw. vom Ursprung des jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  gewählt ist:

$$PX_{\zeta_{n,i}} = N_{\zeta_{n,i}, \rho \|\zeta_{n,i}\|_2},$$

mit

$N$ : Normalverteilung

$\rho$ : Konstante

$\|\zeta_{n,i}\|_2$ : Distanz zwischen Sensor  $\text{SEN}_n$  und dem Punkt  $\zeta_{n,i}$ , der die Position  $\text{POS}_{O_n,i}(t)$  des Oberflächenelements  $O_i$  im Koordinatensystem  $K_n$  angibt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  am Punkt  $\zeta_{n,i}$

$$\text{mit } W_{\zeta_{n,i}} = \int_{\zeta_{n,i}}^{\infty} P[Y_{\zeta_n}^*] d\zeta_n^*$$

gewichtet werden, wobei  $P[Y_{\zeta_n}]$  entlang einer Linie, die vom Ursprung des Koordinatensystems  $K_n$  über den Punkt  $\zeta_{n,i}$  verläuft beginnend bei dem Punkt  $\zeta_{n,i}$  bis ins Unendliche integriert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, bei dem das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 vom Fahrzeug F nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitspanne oder nach Feststellen von vorgegebenen Fehlern der Sensoren  $SEN_n$  oder nach Beschleunigungen des Fahrzeugs, die zumindest einen vorgegebenen Grenzwert überschreiten einem Fahrer automatisiert vorgeschlagen oder automatisiert ausgeführt wird.

6. System zum Ermitteln von Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  einer Anzahl N an einem Fahrzeug F fest angeordneter Sensoren  $SEN_n$  (201), wobei die Sensoren  $SEN_n$  (201) jeweils dazu eingerichtet und ausgeführt sind, in einer Umgebung des Fahrzeugs F Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte zu erfassen und im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  (201) Positionen  $POS_{O_{n,i}}$  der Oberflächenelemente  $O_i$  zu ermitteln, mit  $n = 1, 2, \dots, N$  und  $N \geq 1$  und  $i = 1, 2, \dots, I$  und  $I \geq 1$ ; umfassend:

- ein erstes Erfassungssystem (202), das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, zumindest während eines Abfahrens einer Trajektorie T mit dem Fahrzeug F fortlaufend aktuelle Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F(t)$  des Fahrzeugs F in einem Koordinatensystem  $K_F$ , zu erfassen;

- ein zweites Erfassungssystem (203), das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, während des Abfahrens der Trajektorie T mit dem Fahrzeug F je Sensor  $SEN_n$  (201) fortlaufend Oberflächenelemente  $O_i$  stationärer Objekte in der aktuellen Umgebung des Fahrzeugs F jeweils aus einer Vielzahl von verschiedenen Perspektiven zu erfassen und Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  der erfassten ortsfesten Oberflächenelemente  $O_i$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  des jeweiligen Sensors  $SEN_n$  (201) zu ermitteln, wobei die Position des Sensor  $SEN_n$  (201) mit dem Ursprung des jeweiligen Koordinatensystems  $K_n$  übereinstimmt;

- ein Auswertesystem (204), das dazu ausgeführt und eingerichtet ist, für die während des Abfahrens der Trajektorie T ermittelten Positionen  $POS_{O_{n,i}}(t)$  im jeweiligen Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P_{\zeta_{n,i}}$  zu jeder ermittelten Position  $POS_{O_{n,i}}(t)$  zuzuweisen, wobei die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P_{X_{\zeta_{n,i}}}$  jeder Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  eine Wahrscheinlichkeit dafür zuweist, dass an der Position  $\zeta_n$  ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist oder nicht und wobei der Schwerpunkt der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P_{X_{\zeta_{n,i}}}$  an der jeweils zugeordneten Position:  $\zeta_{n,i} := POS_{O_{n,i}}(t)$  liegt, und das weiterhin dazu ausgeführt und eingerichtet ist, je Koordinatensystem  $K_n$  eine aggregierte Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]$  zu ermitteln, die eine Wahrscheinlichkeit angibt, dass an einer beliebigen Position  $\zeta_n$  im Koordinatensystem  $K_n$  des Sensors  $SEN_n$  (201) ein Oberflächenelement eines stationären Objektes angeordnet ist, mit

$X_{\zeta_{n,i}}$ : Boolesche Zufallsvariable im Koordinatensystem  $K_n$  des n-ten Sensors  $SEN_n$ ,

$Y_{\zeta_n}: Y_{\zeta_n} = \bigvee_{i=1}^I X_{\zeta_{n,i}}$  von  $X_{\zeta_{n,i}}$  abhängige Boolesche Zufallsvariable

$\zeta_n$ : beliebige Position im Koordinatensystem  $K_n$ ;

- ein Optimierer (205), der dazu ausgeführt und eingerichtet ist, eine optimierte Transformation  $T_{OPT}$  der N aggregierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  aus den Koordinatensystemen  $K_n$  in das Koordinatensystem  $K_F$ :  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n} \rightarrow P[Y_{\xi}]_{K_F}$  zu ermitteln, wobei der Beitrag der Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P[Y_{\zeta_n}]_{K_n}$  an einem beliebigen Ort  $\xi$  im Koordinatensystem  $K_F$   $P[Y_{n,\xi}]_{K_F}$  ist, und wobei die Transformation  $T_{OPT}$  derart optimiert ist, dass für alle Orte  $\xi$  die Varianz von  $P[Y_{\xi}]_{K_F}$  minimiert ist, und der weiterhin dazu ausgeführt und eingerichtet ist, auf Basis der ermittelten optimierten Transformation  $T_{OPT}$  die Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  im Koordinatensystem  $K_F$  über den Zusammenhang:  $q_{SEN_n} = q_F - \Delta q_{SEN_n}$  zu ermitteln, mit

$\Delta q_{SEN_n}$ : Relativkoordinaten zwischen dem Ursprung des Koordinatensystems  $K_F$  und den Ursprüngen der in  $K_F$  transformierten Koordinatensysteme  $K_n$ ; und

- eine Ausgabeschnittstelle (206), die zur Ausgabe oder Anzeige oder Bereitstellung der ermittelten Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  und/oder der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_F$  und/oder der Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$  ausgeführt und eingerichtet ist.

7. System nach Anspruch 6, bei dem das erste Erfassungssystem (202) ein Positions- und Lageerfassungssystem im Fahrzeugs F ist, das ein GNSS-System, bspw. einen GPS-, Galileo- oder einen GLO-NASS-Empfänger sowie ein Inertial-Referenz-System (INS) umfasst.

8. System nach einem der Ansprüche 6 oder 7, weiterhin umfassend ein zweites System zur automatischen Längs- und Quersteuerung des Fahrzeugs F, das derart ausgeführt und eingerichtet ist, dass aufgrund erkannter stationärer Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs F eine Trajektorie T ermittelt wird, die ein Erfassen von Oberflächenelementen  $O_i$  der Objekte je Sensor  $SEN_n$  (201) aus unterschiedlichen Perspektiven ermöglicht, insbesondere eine Trajektorie T ermittelt wird, die ein slalomartiges oder zig-zack-arti-

ges Umfahren der stationären Objekte definiert und das ein autonomes Abfahren der ermittelten Trajektorie T ermöglicht.

9. System nach einem der Ansprüche 6-8, bei dem ein drittes System vorhanden ist, das derart ausgeführt und eingerichtet ist, dass es nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitspanne und/oder nach Feststellen von einem Fehler in zumindest einem der Sensoren  $SEN_n$  (201) und/oder nach einer erfassten Beschleunigung des Fahrzeugs F, die zumindest einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet zumindest einen Hinweis an einen Fahrer des Fahrzeugs F ausgibt, dass eine Kalibrierung der Positions- und Orientierungs-Koordinaten  $q_{SEN_n}$  bzw. der Relativkoordinaten  $\Delta q_{SEN_n}$  der Sensoren  $SEN_n$  erforderlich ist oder ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 automatisch ausgeführt wird.

10. Fahrzeug mit einem System nach einem der Ansprüche 6-9.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

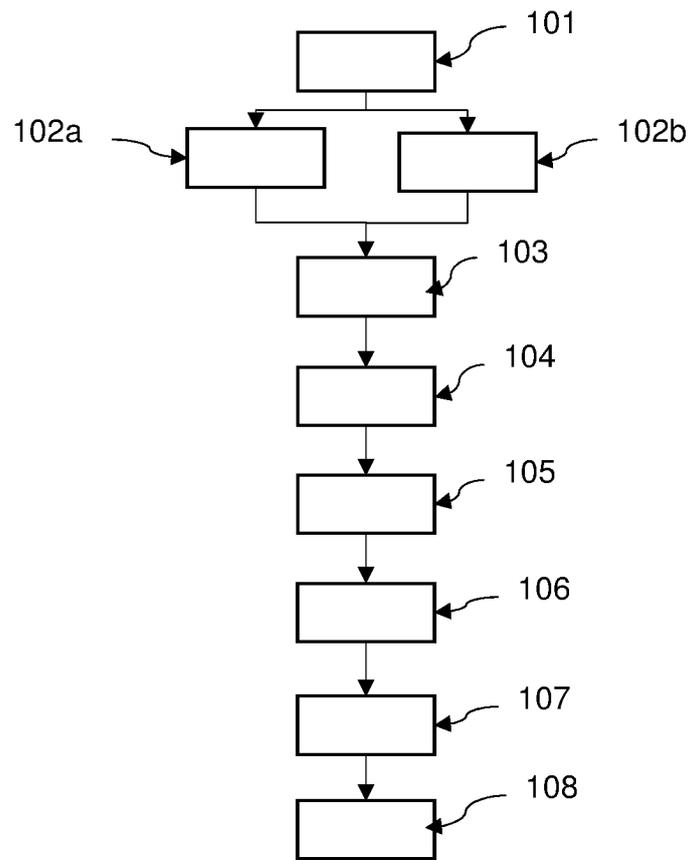


Fig. 1

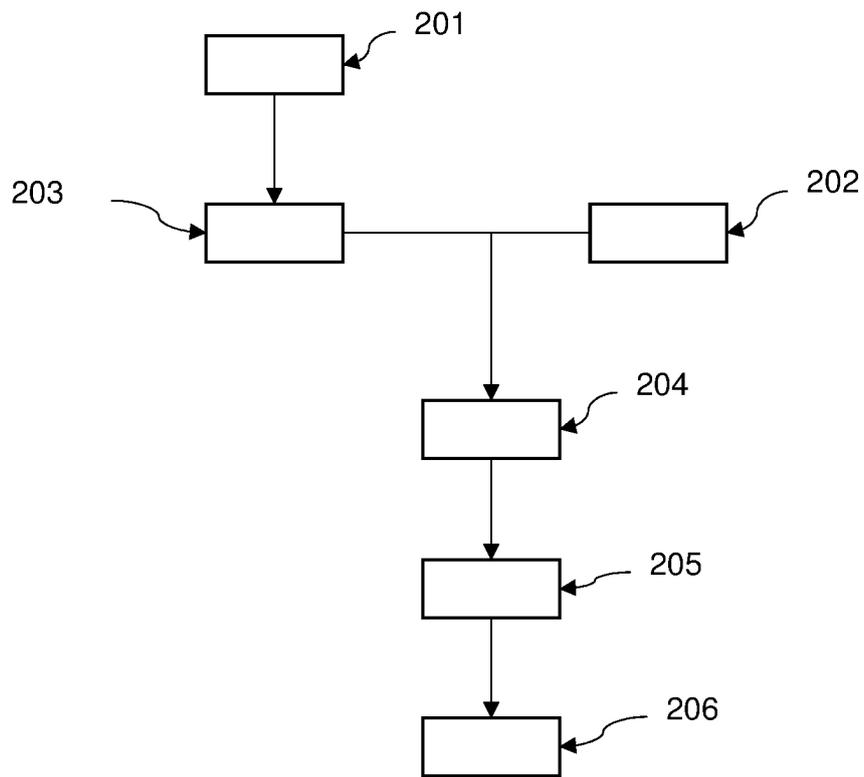


Fig. 2

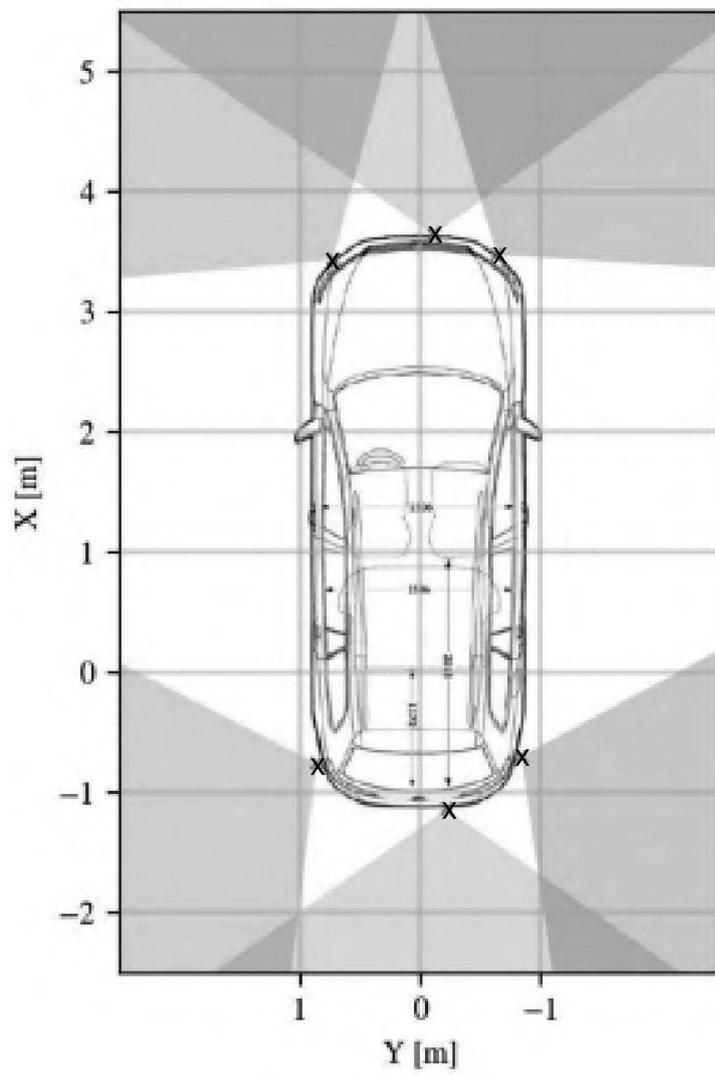


Fig. 3

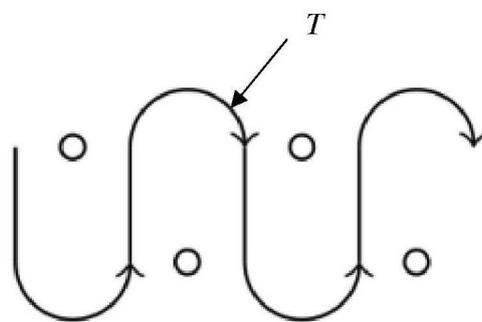


Fig. 4