

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
01. Februar 2018 (01.02.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2018/019454 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

*B60W 40/072* (2012.01)     *G01C 21/30* (2006.01)  
*B60W 40/107* (2012.01)     *B60W 40/04* (2006.01)  
*B60W 40/109* (2012.01)     *G06K 9/00* (2006.01)  
*B60W 40/114* (2012.01)     *B60W 50/00* (2006.01)

(71) Anmelder: **BAYERISCHE MOTOREN WERKE AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Petuelring 130, 80809 München (DE).

(72) Erfinder: **RAKOWSKI, Tim**; Waldfriedenstr. 9, 85241 Hebertshausen (DE). **RAUCH, Sebastian**; Brucker-Str. 14, 85232 Guending (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/063653

(22) Internationales Anmeldedatum: 06. Juni 2017 (06.06.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2016 214 045.0  
29. Juli 2016 (29.07.2016) DE

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING A ROADWAY MODEL FOR THE SURROUNDINGS OF A VEHICLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERMITTELN EINES FAHRBAHNMODELLS FÜR EIN FAHRZEUGUMFELD

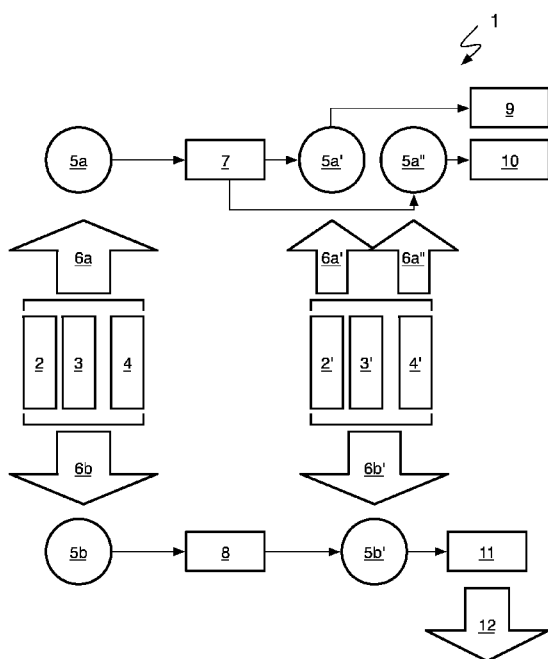


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for determining a roadway model (12) by means of recursive estimation and a vehicle (14). The recursion process has the following steps: sensory acquisition of observation data (2, 3) which characterized the surroundings of the vehicle or the movement thereof; acquisition of map data (4) which characterize the surroundings of the vehicle; generation of a multiplicity of different hypotheses (9-11) for the roadway model to be determined, according to a parameterised status function (5A), wherein each of the hypotheses (9-11) represents a possible roadway model for the current recursion step and is characterized by a different Association (6a, 6b), generated by means of corresponding parameterisation, of the observation data (2, 3) and map data (4) which respectively serve as input variables of the state function (5a, 5b); estimating a confidence value relating to a pre-determined confidence measure for each of the hypotheses (9-11) of the current recursion step by means of a recursive estimation method using at least one hypothesis (7, 8) from the preceding recursion step as an input variable; selecting, on the basis of the estimated confidence values, one of the hypotheses (9-11) as a roadway model (12) for the surroundings of the vehicle (14) for the current recursion step.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells (12) mittels rekursiven Schätzens sowie ein Fahrzeug (14). Die Rekursion weist die folgenden Schritte auf: Sensorisches Erfassen von Beobachtungsdaten (2, 3), die das Umfeld des Fahrzeugs oder dessen Bewegung kennzeichnen; Erfassen von Kartendaten (4), welche das Umfeld des Fahrzeugs kennzeichnen; Generieren einer Mehrzahl verschiedener Hypothesen (9-11) für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell gemäß einer parametrisierten Zustandsfunktion



WO 2018/019454 A1

SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

(5A), wobei jede der Hypothesen (9-11) ein mögliches Fahrbahnmodell für den aktuellen Rekursionsschritt darstellt und durch eine mittels einer entsprechenden Parametrierung erzeugten unterschiedliche Assoziation (6a, 6b) der jeweils als Eingangsgrößen der Zustandsfunktion (5a, 5b) dienenden Beobachtungsdaten (2, 3) und Kartendaten (4) gekennzeichnet ist; Schätzen eines Konfidenzwerts bezüglich eines vorbestimmten Konfidenzmaßes für jede der Hypothesen (9-11) des aktuellen Rekursionsschritts mittels eines rekursiven Schätzverfahrens unter Einbeziehung wenigstens einer Hypothese (7, 8) aus dem vorausgegangenen Rekursionsschritt als eine Eingangsgröße; Auswählen, auf Basis der geschätzten Konfidenzwerte, einer der Hypothesen (9-11) als Fahrbahnmodell (12) für das Umfeld eines Fahrzeugs (14) zum aktuellen Rekursionsschritt.

## VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERMITTELN EINES FAHRBAHNMODELLS FÜR EIN FAHRZEUGUMFELD

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Fahr-  
5 bahnmodells für das Umfeld eines Fahrzeugs mittels rekursiven Schätzens sowie ein  
Fahrzeug mit einer solchen Vorrichtung.

Moderne Fahrzeuge sind bereits heute mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattet,  
welche bis zu einem gewissen Grad in das Fahrverhalten des Fahrzeugs eingreifen,  
10 d.h. Richtungsänderungen, Brems- und/oder Beschleunigungsvorgänge einleiten  
können. Dazu ist es unter anderem notwendig, den Fahrbahnverlauf mit den dem  
Fahrzeug zur Verfügung stehenden Ressourcen möglichst präzise vorhersagen zu  
können, um das Fahrverhalten des Fahrzeugs bzw. des Fahrerassistenzsystems da-  
15 rauf abzustimmen. Von besonderer Bedeutung ist die Vorhersage des Fahrbahnver-  
laufs dabei für Fahrzeuge, die zum hochautomatisierten Fahren ("HAF") oder gar au-  
tonomen Fahren eingerichtet sind, so dass sich das Fahrzeug dabei autonom oder  
weitgehend autonom fortbewegen kann. Beim hochautomatisierten Fahren erfolgt die  
Steuerung des Fahrzeugs überwiegend vollständig automatisiert, und der Fahrer  
20 muss nur in wenigen bestimmten Ausnahmesituationen, die das HAF-System zumin-  
dest nicht ausreichend sicher beherrscht, selbst eingreifen und die Steuerung des  
Fahrzeugs übernehmen. Beim autonomen Fahren erfolgt die Steuerung des Fahr-  
zeugs dagegen grundsätzlich vollständig automatisiert und der Fahrer muss weder  
selbst eingreifen noch das automatisierte Fahren überwachen.

25 Üblicherweise werden zur Vorhersage des Fahrbahnverlaufs Sensordaten oder Kar-  
tendaten, aus denen das Umfeld des Fahrzeugs betreffende Information hervorgeht,  
verwendet, oder beide Arten von Daten sogar fusioniert. Dabei ist es eine besondere  
Herausforderung, aus der Vielzahl der möglichen Kombinationen von Sensordaten  
und/oder Kartendaten diejenige zu finden, welche den tatsächlich vorliegenden Fahr-  
30 bahnverlauf am verlässlichsten wiedergibt.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Ermittlung des Fahrbahnverlaufs,  
insbesondere als Grundlage für eine automatisierte Steuerung eines Fahrzeugs, zu  
ermöglichen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells gemäß Anspruch 1, ein darauf beruhendes Verfahren gemäß Anspruch 11 zum Steuern eines Fahrzeugs, eine Vorrichtung gemäß Anspruch 12 zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells sowie ein Fahrzeug gemäß Anspruch 14, das eingerichtet ist das Verfahren gemäß Anspruch 1 auszuführen.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft dementsprechend ein Verfahren zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells für das Umfeld eines Fahrzeugs mittels rekursiven Schätzens, wobei jede Rekursion die folgenden Schritte aufweist: Sensorisches Erfassen von Beobachtungsdaten, die das Umfeld des Fahrzeugs oder dessen Bewegung kennzeichnen; Erfassen von Kartendaten, welche das Umfeld des Fahrzeugs kartographisch kennzeichnen; Generieren einer Mehrzahl verschiedener Hypothesen für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell gemäß einer parametrisierten Zustandsfunktion, wobei jede der Hypothesen ein mögliches Fahrbahnmodell für den aktuellen Rekursionsschritt darstellt und durch eine mittels einer entsprechenden Parametrierung erzeugten unterschiedliche Assoziation der jeweils als Eingangsgrößen der Zustandsfunktion dienenden Beobachtungsdaten und Kartendaten gekennzeichnet ist; Schätzen eines Konfidenzwerts bezüglich eines vorbestimmten Konfidenzmaßes für jede der Hypothesen des aktuellen Rekursionsschritts mittels eines rekursiven Schätzverfahrens unter Einbeziehung wenigstens einer Hypothese aus dem vorausgegangenen Rekursionsschritt als eine Eingangsgröße; Auswählen, auf Basis der geschätzten Konfidenzwerte, einer der Hypothesen als Fahrbahnmodell für das Umfeld eines Fahrzeugs zum aktuellen Rekursionsschritt.

Unter einem "Fahrbahnmodell" im Sinne der Erfindung ist eine modellhafte Beschreibung von Eigenschaften eines Fahrbahnverlaufs im Umfeld, insbesondere im Vorfeld eines Fahrzeugs, zu verstehen, die insbesondere auch die Position und/oder Orientierung des Fahrzeugs relativ zu dem Fahrbahnverlauf angeben kann. Diese Eigenschaften des Fahrbahnverlaufs können insbesondere eine Richtung, Breite oder Krümmung der Fahrbahn, eine Anzahl von deren nebeneinanderliegenden Fahrspuren, die Position des Fahrzeugs bezüglich der Fahrspuren (zum Beispiel Fahrzeug befindet sich auf der linken, der mittleren oder der rechten von drei Fahrspuren), und/oder eine Ausrichtung des Fahrzeugs auf den Fahrspuren (zum Beispiel mit unterschiedlichen Gierwinkeln) angeben.

35

Oft liefern die für ein Fahrzeugumfeld sensorisch erfassten Beobachtungsdaten und die dazu erfassten Kartendaten keine vollständig übereinstimmende Beschreibung des Fahrzeugumfelds, so dass im Rahmen einer Fusion dieser Daten ein mit mög-  
5 lichst hoher Wahrscheinlichkeit die Wirklichkeit zumindest in guter Näherung beschreibendes Fahrbahnmodell ermittelt werden muss. Im Rahmen des Verfahrens können daher unterschiedliche Assoziationen der als Eingangsgrößen der Zustandsfunktion dienenden Beobachtungsdaten und Kartendaten gebildet werden, die zu unterschiedlichen Interpretation des Umfelds des Fahrzeugs führen können, insbeson-  
10 dere zu unterschiedlichen Fahrbahnverläufen und/oder unterschiedlichen Positionen bzw. Ausrichtungen des Fahrzeugs bezüglich der Fahrbahnverläufe. Diese verschiedenen Interpretationen des Umfelds des Fahrzeugs resultieren in verschiedenen Hypothesen des Fahrbahnverlaufs. Die verschiedenen Hypothesen können dabei aus einem Ausgangssatz von vorgegebenen Hypothesen ausgewählt werden und ent-  
15 sprechen verschiedenen Fahrbahnmodellen.

Mit Hilfe des Verfahrens können anders als bei herkömmlichen Schätzverfahren zu jedem Rekursionsschritt mehrere alternative Hypothesen aufgestellt, bewertet und ggf. zum nächsten Rekursionsschritt hin weiterentwickelt werden, so dass die Effek-  
20 tivität, insbesondere die Zuverlässigkeit der Schätzung, bei der Bestimmung des Fahrbahnmodells erhöht wird.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung und deren Weiterbildungen beschrieben, die jeweils, soweit dies nicht ausdrücklich oder technisch  
25 ausgeschlossen ist, beliebig miteinander kombiniert werden können.

Gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform wird zur Initialisierung des Verfahrens wenigstens eine Hypothese aus solch einem Ausgangssatz von vorgegebenen Hypothesen ausgewählt. Diese wenigstens eine Hypothese dient im folgenden  
30 Rekursionsschritt als Eingangsgröße beim Schätzen des Konfidenzwerts mittels des rekursiven Schätzverfahrens.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt das sensorische Erfassen der Beobachtungsdaten, mittels Sensoren, die selbst Teil des Fahrzeugs bzw.

5 daran oder darin angebracht sind. Solche Sensoren können insbesondere Geschwindigkeitssensoren, Beschleunigungssensoren, Kameras, Lidar-Sensoren, Radar-Sensoren und/oder Ultraschallsensoren sein. Bevorzugt sind die Sensoren konfiguriert bereits unmittelbar solche Daten zu liefern die als Beobachtungsdaten dienen können und anhand derer das Fahrzeugumfeld und/oder eine Bewegung des Fahrzeugs unmittelbar beschrieben werden kann (sog. high-level-Daten). Alternativ oder zusätzlich können die Sensoren auch konfiguriert sein, Rohdaten (sog. low-level-Daten) zu liefern, aus denen erst Beobachtungsdaten abgeleitet werden müssen, um etwa Objekte, insbesondere Fahrspurmarkierungen, andere Fahrzeuge und/oder Randbauungen o.ä., zu erkennen und in Form von high-level-Daten zu kennzeichnen. Die Kartendaten werden bevorzugt einer, vorzugsweise ständig oder zumindest regelmäßig aktualisierten, Karte entnommen. Sowohl Beobachtungsdaten als auch Kartendaten erlauben unter anderem Rückschlüsse auf den weiteren Fahrbahnverlauf. Mittels des Verfahrens und der damit einhergehenden Fusion dieser beider Datenarten können besonders genaue und zuverlässige Fahrbahnmodelle erstellt werden.

20 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform geht durch das Schätzen des Konfidenzwerts mittels des rekursiven Schätzverfahrens eine Historie der Mehrzahl von Hypothesen in die Bewertung der Relevanz der Hypothesen des aktuellen Rekursionsschrittes mit ein. Eine relevante Hypothese entspricht dabei einem wahrscheinlichen Fahrbahnverlauf, wobei die Wahrscheinlichkeit durch den Konfidenzwert gegeben ist. Durch die Berücksichtigung der Historie der Mehrzahl von Hypothesen wird ein besonders zuverlässiges Schätzen des Konfidenzwerts ermöglicht.

25 Insgesamt wird dadurch, dass das Fahrbahnmodell aus einer Mehrzahl von Hypothesen anhand des durch rekursives Schätzen gewonnenen Konfidenzwerts eines Konfidenzmaßes bestimmt wird, die Vorhersage des Fahrbahnverlaufs besonders zuverlässig.

30 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das rekursive Schätzen mittels eines Kalman-Filters durchgeführt. Dadurch kann der Schätzvorgang vorteilhaft in Echtzeit durchgeführt werden. Der Kalman-Filter ist zudem besonders für das rekursive Schätzen von Hypothesen basierend auf Hypothesen eines vorausgehenden Rekursionsschrittes geeignet, weil er dabei direkt einen Konfidenzwert der ge-

geschätzten Hypothese, insbesondere deren Wahrscheinlichkeit, liefert. Bevorzugt berechnet sich der Konfidenzwert dabei aus der Wahrscheinlichkeit der mittels Messung erhaltenen Beobachtungsdaten bei gegebenen erwarteten Beobachtungsdaten bzw. Messergebnissen als die bedingte Wahrscheinlichkeit  $P(z_t | c_{1:t})$ , wobei  $z_t$  die Beobachtung bzw. Messung zum aktuellen Zeitpunkt  $t$  repräsentiert und  $c_{1:t}$  die Assoziationen zwischen Messungen und Elementen des zu schätzenden Fahrbahnmodells (Zustandsvektor) beinhaltet. In einer bevorzugten Weiterbildung ist das Kalman-Filter ein sog. unscented Kalman-Filter. Dadurch können auch nichtlineare Zusammenhänge in der Historie der Hypothesen und/oder den Eingangsgrößen berücksichtigt bzw. genähert und insbesondere Hypothesen besonders zuverlässig geschätzt werden. In einer anderen bevorzugten Weiterbildung ist das Kalman-Filter ein sog. extended Kalman-Filter.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird beim Schritt des Auswählens einer der Hypothesen als Fahrbahnmodell für das Umfeld eines Fahrzeugs zum aktuellen Rekursionsschritt diejenige Hypothese mit dem besten, insbesondere dem höchsten, Konfidenzwert ausgewählt. So wird die Wahrscheinlichkeit maximiert, dass das Fahrbahnmodell dem realen Fahrbahnverlauf, zumindest im Wesentlichen, entspricht. Zudem kann die Auswahl der Hypothese auf diese Weise mit besonders geringem Rechenaufwand bewirkt werden, was dessen Echtzeitfähigkeit unterstützt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird beim Generieren der Mehrzahl verschiedener Hypothesen für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell zumindest eine der Hypothesen aus dem vorangegangenen Rekursionsschritt in Abhängigkeit von den Beobachtungsdaten oder den Kartendaten in mehrere verschiedene Hypothesen für den aktuellen Rekursionsschritt rekursiv weiterentwickelt. Dabei wird die Weiterentwicklung bevorzugt anhand einer Schätzung, insbesondere durch Anwenden eines Kalman-Filters, durchgeführt. Vorzugsweise geht dabei eine mittels einer entsprechenden Parametrierung erzeugte unterschiedliche Assoziation der Beobachtungsdaten und/oder Kartendaten in die Weiterentwicklung ein, so dass die durch Anwendung des Kalman-Filters geschätzten Hypothesen des aktuellen Rekursionsschritts durch aktuelle Beobachtungsdaten und Kartendaten charakterisiert sind.

Trotz eines initial hohen Konfidenzwerts kann sich eine Hypothese im Laufe der Zeit, d.h. unter Weiterentwicklung mit ständig aktualisierten Beobachtungsdaten und Kartendaten, jedoch auch als falsch herausstellen. Durch die Weiterentwicklung mehrerer verschiedener Hypothesen kann in einem solchen Fall vorteilhaft für die Auswahl  
5 weiterer Fahrbahnmodelle in einem oder mehreren folgenden Rekursionsschritten auf eine andere der Mehrzahl verschiedener weiterentwickelter Hypothesen bzw. daraus durch Weiterentwicklung entstehenden Hypothesen für den Rekursionsschritt bzw. die folgenden Rekursionsschritte zurückgegriffen werden, insbesondere dann, wenn der Konfidenzwert der verschiedenen alternativen Hypothesen jenen der bisher wahr-  
10 scheinlichsten Hypothesen erreicht oder überschreitet.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird, um die Robustheit des Verfahrens zu erhöhen, die als Fahrbahnmodell des vorausgegangenen Rekursionsschritt ausgewählte Hypothese auch als Hypothese für den aktuellen Rekursionsschritt zur Verfügung gestellt, jedoch mit einer gegenüber dem vorausgegangenen  
15 Rekursionsschritt reduzierten, insbesondere einer diesbezüglich unterdurchschnittlichen, Wahrscheinlichkeit. Diese Hypothese wird dann im aktuellen Rekursionsschritt nur dann als Fahrbahnmodell ausgewählt, wenn die anderen Hypothesen des aktuellen Rekursionsschrittes demgegenüber unwahrscheinlicher sind, also auch absolut  
20 gesehen eine nur geringe Wahrscheinlichkeit aufweisen. Das kann insbesondere dann der Fall sein, wenn für solche Hypothesen die Assoziation der Beobachtungsdaten und Kartendaten fehlerhaft bzw. die Beobachtungsdaten und/oder die Kartendaten selbst fehlerhaft sind.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Schätzung der Hypothesen im aktuellen Rekursionsschritt und/oder deren Weiterentwicklung in jeweils eine oder mehrere verschiedene Hypothesen für den nächsten Rekursionsschritt parallel auf einer Mehrzahl von Prozessoren oder Prozessorkernen durchgeführt. Bevorzugt entspricht dabei die Anzahl der parallel verwendeten Prozessoren bzw. Prozessorkerne der Anzahl der verschiedenen zu schätzenden bzw. bei der Weiterentwicklung zu erzeugenden Hypothesen. Dies ist möglich, da die unterschiedlichen Schätzungen bzw. Weiterentwicklungen vollkommen unabhängig voneinander sind und nur von der jeweiligen Assoziation der Beobachtungsdaten und Kartendaten abhängen. Dadurch kann das Fahrbahnmodell für das Umfeld eines Fahrzeugs besonders  
35 effizient ermittelt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die zumindest eine Hypothese aus dem vorangegangenen Rekursionsschritt, die in eine oder mehrere Hypothesen für den aktuellen Rekursionsschritt weiterentwickelt wird, auf einem der folgenden Wege oder einer Kombination aus wenigstens zwei dieser Wege ausgewählt:

5 (i) Filterung mittels eines statistischen Partikelfilters (ii) Anwenden eines Branch-and-Bound-Algorithmus (iii) Auswahl einer echten Untermenge von  $n$  Hypothesen aus der Menge der Hypothesen des vorangegangenen Rekursionsschritts, wobei die Hypothesen der Untermenge innerhalb der Menge der Hypothesen die  $n$  besten Konfidenzwerte aufweisen mit  $n \geq 1$ , vorzugsweise  $n \geq 2$ . Gemäß bevorzugter Weiterbildungen dieser Ausführungsform kann optional vor der Auswahl gemäß einer oder einer Kombination mehrerer der Wege (i) bis (iii) als Weiterer Schritt eine Mustererkennung durchgeführt werden bezüglich der Konfidenzwertverteilung über die Menge der Hypothesen aus wenigstens einem dem vorangegangenen Rekursionsschritt noch vorgelagerten Rekursionsschritt und eine Entscheidung über die Weiterentwicklung dieser Hypothese des vorangegangenen Rekursionsschritts auf Basis eines bezüglich dieser Konfidenzwertverteilung erkannten Musters getroffen werden. Auf diese Weise kann die Anzahl der nachfolgend noch für die Auswahl einer oder mehrerer Hypothesen aus dem vorangegangenen Rekursionsschritt zu untersuchenden Hypothesen vorab reduziert werden, was insbesondere zu Effizienzgewinnen führen kann. Insbesondere kann dabei ein Teil der Historie der Hypothesen identifiziert werden, in den fehlerhafte und/oder unzuverlässige Eingangsgrößen eingegangen sind. Dies kann bei der Weiterentwicklung von Hypothesen berücksichtigt werden, insbesondere indem solche Hypothesen, die auf fehlerhaften und/oder unzuverlässigen Eingangsgrößen basieren, verworfen bzw. nicht für eine Weiterentwicklung beachtet werden.

10 15 20 25

Dadurch kann die Menge der Hypothesen, die weiterentwickelt werden sollen, vorteilhaft verringert werden, ohne die Qualität der Fahrbahnmodellermittlung wesentlich negativ zu beeinflussen.

30 Durch ein, bevorzugt kontinuierliches bzw. regelmäßiges Aussortieren von Hypothesen, die nicht mehr weiterentwickelt werden, insbesondere durch Verwendung einer oder mehrere der vorgenannten Varianten (i) bis (iii), kann vorteilhaft die Komplexität bzw. Breite des sich rekursiv entwickelnden Hypothesenbaums und somit auch der für die weiteren Rekursionsschritte erforderliche Aufwand, insbesondere Rechen- und

35 Speicheraufwand, effektiv begrenzt werden.

- Bei der Variante (i) mit einer Auswahl einer oder mehrerer Hypothesen durch die Filterung mittels eines statistischen Partikelfilters werden die eine bzw. mehrere Hypothesen zufällig aus der Menge der Hypothesen des vorangegangenen Rekursionsschritts ausgewählt, wobei die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Hypothese ausgewählt wird, insbesondere proportional zu ihrem Konfidenzwert sein kann. Mit einem solchen Partikelfilter können auch nichtlineare Zusammenhänge in der Historie und/oder der Eingangsgrößen verarbeitet werden.
- 10 Bei der Variante (ii) wird eine Auswahl werden mehrere Hypothesen durch das Anwenden eines aus dem Stand der Technik bekannten Branch-and-Bound-Algorithmus ausgewählt. Bei derartigen Algorithmen wird regelmäßig ein erlaubter Bereich, d.h. hier eine Menge von Hypothesen eines Rekursionsschritts, nach und nach in mehrere Teilmengen aufgespalten (Branch). Mittels geeigneter Schranken (Bound) wird so  
15 dann eine möglichst große Anzahl suboptimaler Belegungen (Hypothesen) frühzeitig erkannt und ausgesondert, so dass der zu durchsuchende Lösungsraum für nachfolgende Operationen, d.h. hier die Anzahl weiterzuentwickelnden Hypothesen, klein gehalten wird.
- 20 Bei der Variante (iii) mit einer Auswahl und Weiterentwicklung einer echten Unter-  
menge von  $n$  Hypothesen aus der Menge der Hypothesen des vorangegangenen Re-  
kursionsschritts auch Hypothesen ausgewählt und weiterentwickelt, die das Potenzial  
aufweisen, in einem zukünftigen Rekursionsschritt einen hohen, insbesondere den  
höchsten, Konfidenzwert aufzuweisen. Weil dabei mehrere Hypothesen weiterentwi-  
25 ckelt werden, wird dies auch als „Multihypothesen-Tracking“ bezeichnet. Dadurch  
kann die Schätzung des Fahrbahnmodells besonders robust gestaltet werden. Insbe-  
sondere kann dabei ein Teil der Historie der Hypothesen identifiziert werden, in den  
fehlerhafte und/oder unzuverlässige Eingangsgrößen eingegangen sind. Dies kann  
bei der Weiterentwicklung von Hypothesen berücksichtigt werden, insbesondere in-  
30 dem solche Hypothesen, die auf fehlerhaften und/oder unzuverlässigen Eingangsgrö-  
ßen basieren, verworfen bzw. nicht für eine Weiterentwicklung beachtet werden.  
Dadurch kann die Menge der Hypothesen, die weiterentwickelt werden sollen, vorteil-  
haft verringert werden, ohne die Qualität der Fahrbahnmodellermittlung wesentlich  
negativ zu beeinflussen.

35

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weisen die sensorisch erfassten Beobachtungsdaten wenigstens eines der folgenden Objekte auf: eine Fahrspurmarkierung, eine Randbebauung, ein feststehendes und/oder bewegtes Hindernis. Vorteilhaft können die Beobachtungsdaten zu einem, insbesondere dynamischen, Umfeldmodell zusammengefasst werden, in welchem kurzfristige Änderungen des realen Fahrbahnverlaufs, insbesondere durch Baustellen und/oder Fahrbahnsperren, berücksichtigt sind. Bevorzugt können anhand der Historie der Hypothesen und der Beobachtungsdaten solche Hypothesen identifiziert und ausgeschlossen werden, welche auf falschen, insbesondere nicht aktuellen, Kartendaten basieren.

10

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt das Erzeugen unterschiedlicher Assoziationen der jeweils als Eingangsgrößen der Zustandsfunktion dienenden Beobachtungsdaten und Kartendaten und somit der verschiedenen Hypothesen durch verschiedene Gewichtungen und/oder Auswahlen dieser Eingangsgrößen mittels der Parametrisierung der Zustandsfunktion. Dadurch können, insbesondere bei der Weiterentwicklung von Hypothesen aus einem vorausgehenden Rekursionsschritt, verschiedene Modelle des Umfelds des Fahrzeugs abgebildet und jeweils mittels des Konfidenzmaßes bewertet werden. Dadurch wird eine Mehrzahl von möglichen Fahrbahnmodellen parallel beschrieben. Es ist aber auch möglich, dass unterschiedliche Assoziationen der Beobachtungsdaten und Kartendaten in gleichen Hypothesen für ein Fahrbahnmodell resultieren. Bevorzugt, werden in diesem Fall diese gleichen Hypothesen zu einer einzigen Hypothese zusammengefasst, insbesondere zu einer Hypothese mit einem besonders hohen Konfidenzwert.

15

20

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird auf Basis der Konfidenzwerte-Verteilung festgestellt, ob für einen oder mehrere aufeinanderfolgende Rekursionsschritte die Hypothesen mit den besten Konfidenzwerten regelmäßig signifikant von den Kartendaten abweichen. Falls dies der Fall ist, werden die Kartendaten auf Basis des bzw. der ausgewählten Fahrbahnmodelle für diesen bzw. diese Rekursionsschritte korrigiert und/oder die Nichtaktualität der Kartendaten an eine zentrale Infrastruktur zur Bereitstellung der Kartendaten, etwa einen zentralen Kartendaten-server, gemeldet. In der Folge können an der zentralen Infrastruktur, etwa durch einen Kartendienstleister, eine Aktualisierung der Karte durchgeführt und die aktualisierten Kartendaten auch anderen Verkehrsteilnehmern zur Verfügung gestellt wer-

25

30

den. Dies ist besonders vorteilhaft bei kurzfristigen Änderungen von Fahrbahnverläufen, insbesondere durch Baustellen und/oder Sperrungen von Fahrspuren, die in einer Karte, insbesondere selbst in hoch-genauen, üblicherweise nicht verzeichnet sind, da hierdurch die Konfidenzwerte von Hypothesen bei wiederholtem Abfahren der geänderten Fahrbahnverläufe durch Übereinstimmung der Beobachtungsdaten und (aktualisierten) Kartendaten steigen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform beträgt die Ortsauflösung der Kartendaten mindestens 25 cm, vorzugsweise mindestens 15 cm, besonders vorzugsweise mindestens 10 cm. Das bedeutet, dass die Kartendaten Strukturen bzw. Objekte, deren Abmessung zumindest in einer Dimension mindestens der jeweiligen Mindestortsauflösung entspricht, durch die Kartendaten repräsentiert werden können bzw. das solche Objekte und Strukturen mit der entsprechenden Genauigkeit repräsentiert werden können. Beispielsweise ist bei einer Ortsauflösung von 25 cm der Fahrbahnverlauf mit einer der Ortsauflösung entsprechenden Genauigkeit von 25 cm durch die Kartendaten abgebildet. Dementsprechend sind auf derart genauen Kartendaten basierende Hypothesen besonders geeignet ausreichend genaue und verlässliche Fahrbahnmodelle zu liefern.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden die ermittelten Fahrbahnmodelle zum zumindest teilautomatisierten, vorzugsweise hochautomatisierten oder autonomen Fahren des Fahrzeugs verwendet. Aufgrund der hohen Zuverlässigkeit des in jedem Rekursionsschritt geschätzten Fahrbahnmodells und/oder den mehreren pro Rekursionsschritt weiterentwickelten Hypothesen kann das Fahrzeug besonders sicher bzw. flexibel geführt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden, insbesondere beim zumindest teilautomatisierten, vorzugsweise hochautomatisierten oder autonomen Fahren, erfolgt die Schätzung des Konfidenzwertes und/oder die Weiterentwicklung mindestens einer aktuellen Hypothesen in eine oder mehrere Hypothesen für den nächsten Rekursionsschritt nur auf Basis der Kartendaten, wenn erkannt wird, dass die Beobachtungsdaten nicht verfügbar oder fehlerhaft sind. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Beobachtungsdaten oder zumindest ein Teil der Beobachtungsdaten etwa aufgrund eines Sensorausfalls oder -defekts nicht oder nur fehlerbehaftet

zur Verfügung stehen. Vorzugsweise kann das Fahrzeug anhand einer als Fahrbahnmodell ausgewählten, ausschließlich oder zumindest im Wesentlichen auf Kartendaten basierenden Hypothese, in einen sicheren Zustand überführt werden, insbesondere die Geschwindigkeit des Fahrzeugs verringert und/oder ein Nothalt durchgeführt werden, bei dem das Fahrzeug zum Stillstand kommt, insbesondere, soweit vorhanden auf einem Seitenstreifen oder einem anderen als sicher einzustufenden Fahrbahnbereich, wie etwa einem nahen Parkplatz.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Fahrzeugs mit den Schritten: Ermitteln wenigstens eines Fahrbahnmodells gemäß dem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, insbesondere gemäß einer oder mehrerer der hierin beschriebenen Ausführungsformen und Weiterbildungen dazu; und Steuern des Fahrzeugs im Rahmen eines teilautomatisierten, hochautomatisierten oder autonomen Fahrbetriebs des Fahrzeugs auf Basis des wenigstens einen ermittelten Fahrbahnmodells. So können die ermittelten Fahrbahnmodelle zur Implementierung von automatisiertem Fahren von Fahrzeugen, insbesondere Kraftfahrzeugen, vorteilhaft verwendet werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden die ermittelten Fahrbahnmodelle nur auf vorgegebenen Strecken zum zumindest teilautomatisierten, vorzugsweise hochautomatisierten oder autonomen Fahren des Fahrzeugs verwendet. Die Auswahl der vorgegebenen Strecken kann dabei insbesondere abhängig vom Streckentyp (etwa Autobahn, Landstraße, Ortsstraße o.ä.) und von der Qualität des dafür verfügbaren Kartenmaterials erfolgen. Auf diese Weise kann das erforderliche Sicherheitsniveau für das automatisierte Fahren gewährleistet werden, da ungeeignete Streckenabschnitte manuell oder jedenfalls mit einem zu einem geringeren Grad automatisierten Fahrbetriebsmodus gefahren werden müssen, so dass der Fahrer selbst die erforderliche zusätzliche Sicherheit leisten kann, wenn diese nicht allein in einem automatisierten Fahrbetrieb auf Basis der ermittelten Fahrbahnmodelle möglich ist oder erscheint.

Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells für das Umfeld eines Fahrzeugs mittels rekursiven Schätzens. Sie weist eine Sensorvorrichtung zur Erfassung von Beobachtungsdaten, die das Umfeld des

Fahrzeugs oder dessen Bewegung kennzeichnen, und einen Speicher zum Speichern von Kartendaten, die das Umfeld des Fahrzeugs kennzeichnen, sowie eine Verarbeitungseinheit, die zum Ausführen des Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung eingerichtet ist, auf.

5

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Kommunikationseinheit auf, welche dazu eingerichtet ist, Hypothesen für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell und/oder Beobachtungsdaten an eine zentrale Infrastruktur, etwa einen zentralen Server, zu senden und von dieser zentralen Infrastruktur Hypothesen zu empfangen. Dabei ist die Verarbeitungseinheit dazu eingerichtet, die empfangenen Hypothesen bei der Auswahl einer der Hypothesen als Fahrbahnmodell für das Umfeld des Fahrzeugs mit einzubeziehen. Vorzugsweise wurden die von der Vorrichtung empfangenen Hypothesen zuvor von anderen Fahrzeugen an die zentrale Infrastruktur gesendet, so dass diese Hypothesen insbesondere auf einem Umfeldmodell der anderen Fahrzeuge basieren. Alternativ oder zusätzlich können die empfangenen Hypothesen auch von der zentralen Infrastruktur basierend auf Beobachtungsdaten, die insbesondere von anderen Fahrzeugen an die zentrale Infrastruktur gesendet wurden, generiert werden. In der Gesamtheit der von dem bzw. über die zentrale Infrastruktur übertragenen Hypothesen wird der reale Fahrbahnverlauf mit besonders hoher Wahrscheinlichkeit durch eine der Hypothesen wiedergegeben. Durch das Konzentrieren von Informationen durch Hypothesen und/oder Beobachtungsdaten in der zentralen Infrastruktur weisen die von der zentralen Infrastruktur übertragenen Hypothesen besonders hohe Konfidenzwerte auf.

Wie schon im Zusammenhang mit dem Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, bzw. einer seiner Ausführungsformen im Einzelnen beschrieben, kann die zentrale Infrastruktur zugleich auch zur zentralen Bereitstellung der Kartendaten dienen und diese einer Vielzahl von Fahrzeugen zur Verfügung stellen sowie gegebenenfalls Korrekturinformationen zu den Kartendaten von diesen erhalten, um darauf beruhend Aktualisierungen der Kartendaten vorzunehmen. Dementsprechend ist die Vorrichtung gemäß einer bevorzugten Weiterbildung auch eingerichtet, über die Kommunikationseinheit Informationen an eine solche zentrale Infrastruktur zu senden, die einen Aktualisierungsbedarf der Kartendaten angeben und bevorzugt auch erfasste Beobachtungsdaten oder daraus abgeleitete Aktualisierungsinformationen enthalten, auf deren Basis eine Aktualisierung der Karte erfolgen kann.

35

Ein vierter Aspekt der Erfindung betrifft schließlich ein Fahrzeug, das eingerichtet ist, das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, insbesondere gemäß einer oder mehrerer der hierin beschriebenen Ausführungsformen und Weiterbildungen dazu, auszuführen. Dazu kann das Fahrzeug insbesondere eine Vorrichtung gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung, insbesondere gemäß dessen hierin beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen, aufweisen.

Die in Bezug auf den ersten Aspekt der Erfindung und dessen vorteilhafte Ausgestaltung beschriebenen Merkmale und Vorteile gelten entsprechend auch für den zweiten bis vierten Aspekt der Erfindung und dessen vorteilhafte Ausgestaltung.

Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren. Dabei zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Beispiels für das Verfahren zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells; und

**Fig. 2** eine schematische Darstellung eines Beispiels für eine Vorrichtung zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells.

**Fig. 1** zeigt ein schematisches Diagramm zur Illustration eines Verfahrens 1 zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung. Dabei werden sensorisch erfasste Beobachtungsdaten 2, 3 und Kartendaten 4 mittels unterschiedlicher Assoziationen 6a und 6b der Beobachtungsdaten 2, 3 und Kartendaten 4 fusioniert. Diese Fusionierung wird jeweils mittels einer Zustandsschätzung, insbesondere mittels einer Zustandsfunktion 5a bzw. 5b, erreicht, für welche die Beobachtungsdaten 2, 3 und Kartendaten 4 als, insbesondere parametrierbare, Eingangsgrößen dienen. Daraus ergeben sich über unterschiedliche Parametrierungen und somit Assoziationen 6a bzw. 6b unterschiedliche Hypothesen 7 und 8 für ein zu ermittelndes Fahrbahnmodell. Die Hypothesen 7, 8 werden in einem Rekursionsschritt unter Einbeziehung aktualisierter Beobachtungsdaten 2', 3' und Kartendaten 4' in aktualisierte Hypothesen 9, 10, 11 weiterentwickelt, wobei sich eine Hypothese 7 in mehrere Hypothesen 9, 10 verzweigen kann.

Die Beobachtungsdaten 2, 3 basieren auf der Erfassung des Umfelds des Fahrzeugs durch wenigstens einen Sensor, insbesondere durch Kameras, Radarsensoren, Lidarsensoren und/oder Ultraschallsensoren. Die Beobachtungsdaten 2, 3 beschreiben sensorisch erfasste Objekte, insbesondere Fahrspurmarkierungen, andere Fahrzeuge und/oder Randbebauungen etc..

Die Kartendaten 4 bzw. 4' betreffen kartografische Informationen aus einer Karte, die den Fahrbahnverlauf, insbesondere die Fahrspurmarkierungen und idealerweise auch Randbebauungen, wiedergibt. Bevorzugt ist die Karte eine hoch-genaue Karte, insbesondere mit einer Ortsauflösung, insbesondere Genauigkeit der relativen Anordnung der Elemente, wie etwa Fahrspuren oder Randbebauungen, der durch die Kartendaten repräsentierten Karte, die besser ist als 25 cm, vorzugsweise besser als 15 cm, besonders vorzugsweise besser als 10 cm.

Die fusionierten Beobachtungsdaten 2, 3 und Kartendaten 4 stellen somit eine Basis zur Interpretation des Umfelds des Fahrzeugs dar. Entsprechend können unterschiedliche Assoziationen 6a, 6b der Beobachtungsdaten 2, 3 und Kartendaten 4 unterschiedliche oder aber auch gleiche bzw. sich nur unwesentlich unterscheidende Interpretationen des Umfelds des Fahrzeugs, d.h. Hypothesen dazu ergeben.

Dies soll durch das folgende Beispiel für die Erzeugung unterschiedlicher Hypothesen illustriert werden:

Ein Fahrzeug befinde sich auf einer Straße mit zwei Fahrspuren in Fahrtrichtung des Fahrzeugs. Laut den einer Karte entnommenen Kartendaten 4 verläuft die Straße, d.h. verlaufen die zwei für das Fahrzeug befahrbaren Fahrspuren, geradeaus. Eine Baustelle auf der linken Fahrspur in Fahrtrichtung des Fahrzeugs wird von den Sensoren des Fahrzeugs als ein feststehendes Objekt auf der linken Fahrspur registriert. Da die Baustelle auf der Karte nicht eingezeichnet ist, sind die Beobachtungsdaten 2, 3 und die Kartendaten 4 widersprüchlich.

Eine erste Assoziation 6a der Beobachtungsdaten 2, 3 mit den Kartendaten 4 resultiert in einer ersten Hypothese 7, die eine zweispurige, geradeaus verlaufende Straße repräsentiert. Eine zweite, unterschiedliche Assoziation 6b der Beobachtungsda-

ten 2, 3 mit den Kartendaten 4 resultiert in einer zweiten Hypothese 8, die eine ein-  
spurige, geradeaus verlaufende Straße repräsentiert, bei der die durch das Objekt  
verspernte Fahrspur nicht vorhanden ist. Die beiden unterschiedlichen Assoziatio-  
nen 6a und 6b werden dabei über eine entsprechende Parametrierung der Beobach-  
5 tungsdaten 2, 3 und Kartendaten 4, insbesondere durch unterschiedliche Gewich-  
tung dieser Daten in der jeweiligen Parametrisierung 5a, 5b der Zustandsfunktion er-  
reicht. Die Parametrisierung kann insbesondere in Form einer Gewichtung der als  
ihre Eingangsgrößen dienenden Daten 2, 3 und 4 erfolgen. Dabei ist insbesondere  
auch ein Gewichtungsszenario möglich, bei dem bei der ersten Assoziation 6a die  
10 Beobachtungsdaten 2, 3 mit einem Gewicht von null oder zumindest im Wesentlichen  
null versehen und somit praktisch unberücksichtigt bleiben, während die Kartenda-  
ten 4 mit einem Gewicht von eins oder zumindest im Wesentlichen eins versehen  
werden und somit zumindest im Wesentlichen die Hypothese bestimmen. Für die  
zweite Assoziation 6b dagegen können in diesem Szenario in umgekehrter Weise die  
15 Beobachtungsdaten 2, 3 mit einem Gewicht von eins oder zumindest im Wesentli-  
chen eins versehen sein und somit zumindest im Wesentlichen die Hypothese be-  
stimmen, während die Kartendaten 4 mit einem Gewicht von null oder zumindest im  
Wesentlichen null versehen werden und somit praktisch unberücksichtigt bleiben. In  
anderen Szenarien weisen dagegen sowohl die Beobachtungsdaten, jedenfalls ein  
20 Teil davon, als auch die Kartendaten jeweils eine Gewichtung bzw. Einbindung in die  
Assoziation auf, bei der sie die resultierende Hypothese mitbestimmen.

Vorzugsweise enthält eine Hypothese 7, 8 mehr Information als nur den vorherge-  
sagten Fahrbahnverlauf. Eine Hypothese 7, 8 bzw. das durch Auswahl einer Hypo-  
25 these bestimmte Fahrbahnmodell kann insbesondere neben Klothoidenparametern,  
welche den Verlauf der Fahrbahn charakterisieren, auch Spurbreiteninformation aller  
Fahrspuren und/oder Informationen zur Fahrzeugposition auf der Fahrbahn, (bei-  
spielsweise auf welcher Fahrspur sich das Fahrzeug befindet) und/oder zur Fahr-  
zeugausrichtung auf der Fahrbahn (beispielsweise unter welchem (Gier-) Winkel sich  
30 das Fahrzeug gegenüber der oder den Fahrspuren bewegt) aufweisen. Ferner enthält  
eine Hypothese 7, 8 bzw. das entsprechende Fahrbahnmodell bevorzugt auch Infor-  
mation über den Fahrzeugzustand, insbesondere dessen Geschwindigkeit und/oder  
Beschleunigung, und/oder Information über andere Fahrzeuge (Fahrzeugpositionen,  
Fahrzeugausrichtungen, Fahrzeugzustände).

35

Im Rahmen des Verfahrens kann verallgemeinert eine i-te Hypothese als ein Tripel von Information  $h_t^{(i)}$  dargestellt werden, insbesondere durch

$$h_t^{(i)} = \left( \mu_{t^{(i)}}^{(i)}, \Sigma_{t^{(i)}}^{(i)}, P \left( z_{1:t^{(i)}} | c_{1:t^{(i)}}^{(i)} \right) \right).$$

Dabei sind  $\mu_{t^{(i)}}^{(i)}$  und  $\Sigma_{t^{(i)}}^{(i)}$  der Mittelwert und die Kovarianz der Hypothese zur Zeit  $t^{(i)}$ ,  
 5 und  $P \left( z_{1:t^{(i)}} | c_{1:t^{(i)}}^{(i)} \right)$  gibt die Wahrscheinlichkeit der Hypothese an, wobei  $z_{1:t^{(i)}}$  die in die Historie der (vorausgegangenen) Hypothesen eingegangenen Messungen (Beobachtungsdaten und Kartendaten) sind und  $c_{1:t}$  die Assoziationen zwischen Messungen und Elementen des zu schätzenden Fahrbahnmodells (Zustandsvektor) beinhaltet und somit letztlich die Hypothese identifiziert.

10

Die beiden Hypothesen 7, 8 werden parallel weiterentwickelt. Dabei werden neue, aktuelle Beobachtungsdaten 2', 3' und Kartendaten 4' (die in der Regel einen aufgrund der Fahrt unterschiedlichen Kartenausschnitt bzw. Fahrbahnabschnitt betreffen und sich daher von den Kartendaten 4 unterscheiden können) mittels unterschiedlicher  
 15 Assoziationen 6a' und 6b' fusioniert, so dass sich wieder diesen Assoziationen entsprechende Zustandsfunktionen 5a' bzw. 5b' ergeben. Die Weiterentwicklung der Hypothesen 7, 8 wird bevorzugt jeweils durch einen Kalman-Filter realisiert, der einen resultierenden Zustand (hier z.B.: Hypothese 11) unter Einbeziehung von aktuellen Messwerten (hier: assoziierte Beobachtungsdaten 2', 3' und Kartendaten 4) aus einem vorangehenden Zustand (hier: Hypothese 8), d.h. rekursiv, schätzt.

20

Abhängig von der vorausgegangenen Hypothese 7 können bei einer Weiterentwicklung derselben mehrere unterschiedliche resultierende Hypothesen 9, 10 aus der vorausgegangenen Hypothese 7 gebildet werden. Dies lässt sich abermals an dem  
 25 oben herangezogenen Beispiel illustrieren: Das Fahrbahnmodell der ersten Hypothese 7 legt eine zweisepurige, geradeaus verlaufende Straße zu Grunde. Neue Beobachtungsdaten 2', 3' weisen wie schon bei der vorausgegangenen Messung im Schritt zuvor immer noch auf ein Hindernis auf der linken Fahrspur hin. Die erste Assoziation 6a' der aktuellen Daten 2', 3' und 4', bei der die Beobachtungsdaten 2', 3' in  
 30 der Zustandsfunktion 5a' stärker gewichtet sind als die Kartendaten 4', resultiert in einer ersten aktuellen Hypothese 9, wobei das resultierende Fahrbahnmodell ein auf der linken Fahrspur sehr langsam fahrendes oder stehendes Objekt anzeigt. Eine zusätzliche zweite unterschiedliche Assoziation 6a" der aktuellen Daten 2', 3' und 4', bei der jedoch die Kartendaten stärker gewichtet sind als in der ersten Assoziation

6a', resultiert entsprechend in einer zweiten neuen Hypothese 10, wobei das resultierende Fahrbahnmodell weiterhin eine zweispurige, geradeaus verlaufende Straße ist. Beide Hypothesen 9 und 10 sind jedoch rekursiv mittels eines Kalman-Filters aus der gemeinsamen früheren Hypothese 7 rekursiv weiterentwickelt worden, anders als die  
5 Hypothese 11, die aus Hypothese 8 hervorgegangen ist.

Die Anwendung des Kalman-Filters liefert auch einen Konfidenzwert bezüglich eines vorbestimmten Konfidenzmaßes, der insbesondere angibt, wie zuverlässig sich eine vorausgegangene Hypothese 7, 8 in eine neue Hypothese 9, 10 bzw. 11 weiterentwickeln lässt, d.h. wie gut bzw. genau die Schätzung der neuen Hypothese 9, 10, 11  
10 mit der vorhergehenden Hypothese 7, 8 als Ausgangszustand und einer Assoziation der neuen Beobachtungsdaten 2', 3' und Kartendaten 4' als neue Messwerte ist.

Der Konfidenzwert kann daher zur Auswahl eines Fahrbahnmodells 12 aus den aktuellen Hypothesen herangezogen werden. Insbesondere kann diejenige neue bzw. aktuelle Hypothese 9, 10, 11 als Fahrbahnmodell ausgewählt werden, welche den im Vergleich zu den anderen Hypothesen höchsten Konfidenzwert aufweist.  
15

Durch das mit einem solchen Verfahren 1 ermittelte Fahrbahnmodell kann ein Fahrzeug sicher hochautomatisch, d.h. autonom, über eine Fahrbahn, insbesondere eine mehrspurige Fahrbahn wie etwa eine Autobahn, geführt werden. Dabei kann das ermittelte Fahrbahnmodell in einer Ausführung nur die Schätzung des Fahrbahnverlaufs und/oder der Randbebauung, d.h. Fahrbahnumgebung, aufweisen. Alternativ oder zusätzlich kann das ermittelte Fahrbahnmodell auch eine Schätzung der dynamischen Umgebung, insbesondere andere Fahrzeuge, Fußgänger, etc., aufweisen.  
20  
25

Durch das Verfahren 1 werden die Anforderungen an eine, insbesondere hochgenaue, Karte reduziert. Durch den geringeren Detailierungsgrad kann auch die Aktualisierung einer Karte vereinfacht werden. Insbesondere kann die benötigte Sicherheitslast der Karte, die benötigte Auflösung und der benötigte Informationsgehalt, und damit auch der benötigte Speicherbedarf sowie Übertragungszeiten der Kartendaten, reduziert bzw. bei gleicher Auflösung bzw. gleichem Informationsgehalt eine noch zuverlässigere und ggf. genauere Fahrbahnmodellschätzung erreicht werden.  
30

Durch das Verfahren 1 kann andererseits auch eine Verbesserung gegenüber einer rein Sensor-basierten Fahrbahnmodellschätzung erreicht werden, da die Reichweite des geschätzten Fahrbahnmodells über den Erfassungsbereich der Sensoren hinaus erhöht wird und mehr Semantik (Fahrspurtyp, Fahrbahnmarkierungstyp, Geschwindigkeitbegrenzung, Verkehrsregeln, Navigationsinformation) in die Fahrbahnmodell-  
5 schätzung eingehen kann.

**Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung eines Beispiels für eine Vorrichtung 13 zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells, die in einem Fahrzeug 14 angeordnet ist. Über  
10 das Fahrzeug 14 hinweg sind mehrere Sensoren 15', 15'', 15''' verteilt, die Teil einer Sensorvorrichtung 15 sind. Die Sensorvorrichtung 15 ist, ebenso wie ein Speicher 16 zum Speichern von Kartendaten, mit einer Verarbeitungseinheit 17 verbunden. Über die Verbindungen können Beobachtungsdaten und Kartendaten an die Verarbeitungseinheit 17 übertragen werden.

15 Der Speicher 16 enthält eine oder mehrere, vorzugsweise hoch-genaue, Karten. Die Karten zeigen den Straßenverlauf und/oder den Fahrspurverlauf und/oder die Fahrspurbreiten und/oder die Randbebauung, vorzugsweise mit einer Genauigkeit besser als 25 cm, weiter vorzugsweise besser als 15 cm, besonders bevorzugt besser als 10  
20 cm. Aus den Karten entnommene Kartendaten kennzeichnen dadurch das Umfeld des Fahrzeugs. Anhand der Kartendaten kann insbesondere der weitere Fahrbahnverlauf auf mehreren hundert Metern oder Kilometern bestimmt oder zumindest geschätzt werden.

25 Die Sensoren 15', 15'', 15''' der Sensorvorrichtung 15 sind dazu eingerichtet, das Umfeld des Fahrzeugs zu erfassen, insbesondere in Bildform aufzunehmen und/oder abzutasten. Die Sensoren 15', 15'', 15''' können als Kamera, Radarsensor, Lidarsensor, Ultraschallsensor, Beschleunigungssensor, Geschwindigkeitssensor o.ä. ausgebildet sein und erfassen die Bewegung des Fahrzeugs, insbesondere dessen Beschleunigung und Geschwindigkeit o.ä., sowie Objekte, insbesondere Fahrbahnmarkierungen,  
30 andere Fahrzeuge und/oder Randbebauungen o.ä. in bis zu 200 m. Aus den von diesen Sensoren 15', 15'', 15''' ermittelten Daten lassen sich, gegebenenfalls nach Weiterverarbeitung, Beobachtungsdaten gewinnen, die ein Umfeld des Fahrzeugs kennzeichnen. Da die Beobachtungsdaten ständig neu generiert werden, ist das

durch die Beobachtungsdaten gekennzeichnete Umfeld des Fahrzeugs besonders aktuell.

Die Verarbeitungseinheit 17 ist dazu eingerichtet, insbesondere gemäß dem im Zusammenhang mit Fig. 1 beschriebenen Verfahren, eine Mehrzahl verschiedener Hypothesen für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell anhand unterschiedlicher Assoziationen der Beobachtungsdaten und Kartendaten zu generieren sowie für jede der Hypothesen einen Konfidenzwert bezüglich eines Konfidenzmaßes zu schätzen, wobei vorangehende Hypothesen als Eingangsgrößen der Schätzung dienen. Die Verarbeitungseinheit 17 ist auch dazu eingerichtet, eine der Hypothesen als Fahrbahnmodell auszuwählen, insbesondere diejenige Hypothese mit dem höchsten Konfidenzwert.

Während vorausgehend wenigstens eine beispielhafte Ausführungsform beschrieben wurde, ist zu bemerken, dass eine große Anzahl von Variationen dazu existiert. Es ist dabei auch zu beachten, dass die beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen nur nichtlimitierende Beispiele darstellen, und es nicht beabsichtigt ist, dadurch den Umfang, die Anwendbarkeit oder die Konfiguration der hier beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren zu beschränken. Vielmehr wird die vorausgehende Beschreibung dem Fachmann eine Anleitung zu Implementierung mindestens einer beispielhaften Ausführungsform liefern, wobei sich versteht, dass verschiedene Änderungen in der Funktionsweise und der Anordnung der in einer beispielhaften Ausführungsform beschriebenen Elemente vorgenommen werden können, ohne dass dabei von dem in den angehängten Ansprüchen jeweils festgelegten Gegenstand sowie seinen rechtlichen Äquivalenten abgewichen wird.

25

Bezugszeichenliste

1	Verfahren zur Fahrbahnermittlung
2, 3	Beobachtungsdaten zu einem ersten Rekursionsschritt
5	4 Kartendaten zum ersten Rekursionsschritt
	2', 3' Beobachtungsdaten zu einem zweiten Rekursionsschritt
	4' Kartendaten zum ersten Rekursionsschritt
	5a, b Zustandsfunktionen zum ersten Rekursionsschritt
	5a',a'',b' Zustandsfunktionen zum zweiten Rekursionsschritt
10	6a, b Assoziationen zum ersten Rekursionsschritt
	6a',a'',b' Assoziationen zum zweiten Rekursionsschritt
	7, 8 Hypothesen zum ersten Rekursionsschritt
	9, 10, 11 Hypothesen zum zweiten Rekursionsschritt
15	12 Auswahl der Hypothese 11 als Fahrbahnmodell für den zweiten Rekursionsschritt

20

## ANSPRÜCHE

1. Verfahren (1) zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells für das Umfeld eines Fahrzeugs (14) mittels rekursiven Schätzens, wobei jede Rekursion die folgenden Schritte aufweist:
  - 5 Sensorisches Erfassen von Beobachtungsdaten, die das Umfeld des Fahrzeugs (14) oder dessen Bewegung kennzeichnen;
  - Erfassen von Kartendaten, welche das Umfeld des Fahrzeugs (14) kartografisch kennzeichnen;
  - 10 Generieren einer Mehrzahl verschiedener Hypothesen (9-11) für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell gemäß einer parametrisierten Zustandsfunktion, wobei jede der Hypothesen (9-11) ein mögliches Fahrbahnmodell für den aktuellen Rekursionsschritt darstellt und durch eine mittels einer entsprechenden Parametrierung erzeugten unterschiedliche Assoziation (6) der jeweils als Eingangsgrößen der Zustandsfunktion dienenden Beobachtungsdaten (2, 3) und Kartendaten (4) gekennzeichnet ist;
  - Schätzen eines Konfidenzwerts bezüglich eines vorbestimmten Konfidenzmaßes für jede der Hypothesen (9-11) des aktuellen Rekursionsschritts mittels eines rekursiven Schätzverfahrens unter Einbeziehung wenigstens einer Hypothese (7, 8) aus dem vorausgegangenen Rekursionsschritt als eine Eingangsgröße;
  - 20 Auswählen (12), auf Basis der geschätzten Konfidenzwerte, einer der Hypothesen (9-11) als Fahrbahnmodell für das Umfeld eines Fahrzeugs (14) zum aktuellen Rekursionsschritt.
  - 25
2. Verfahren (1) nach Anspruch 1, wobei das rekursive Schätzen mittels eines Kalman-Filters durchgeführt wird.
3. Verfahren (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei beim Schritt des Auswählens (12) einer der Hypothesen (9-11) als Fahrbahnmodell für das Umfeld eines Fahrzeugs (14) zum aktuellen Rekursionsschritt, diejenige Hypothese (11) mit dem besten Konfidenzwert ausgewählt wird.
- 30

4. Verfahren (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei beim Generieren der Mehrzahl verschiedener Hypothesen (9-11) für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell zumindest eine der Hypothesen (7, 8) aus dem vorangegangenen Rekursionsschritt in Abhängigkeit von den Beobachtungsdaten (2', 3') oder den Kartendaten (4) in mehrere verschiedene Hypothesen (9-11) für den aktuellen Rekursionsschritt rekursiv weiterentwickelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Schätzung der Hypothesen im aktuellen Rekursionsschritt und/oder deren Weiterentwicklung in jeweils eine oder mehrere verschiedene Hypothesen für den nächsten Rekursionsschritt parallel auf einer Mehrzahl von Prozessoren oder Prozessorkernen durchgeführt wird.
6. Verfahren (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Hypothese (7, 8) aus dem vorangegangenen Rekursionsschritt, die in eine oder mehrere Hypothesen (9-11) für den aktuellen Rekursionsschritt weiterentwickelt wird, auf einem der folgenden Wege oder einer Kombination aus wenigstens zwei dieser Wege ausgewählt wird:
- Filterung mittels eines statistischen Partikelfilters;
  - Anwenden eines Branch-and-Bound-Algorithmus;
  - Auswahl einer echten Untermenge von  $n$  Hypothesen aus der Menge der Hypothesen (7, 8) des vorangegangenen Rekursionsschritts, wobei die Hypothesen der Untermenge innerhalb der Menge der Hypothesen (7, 8) die  $n$  besten Konfidenzwerte aufweisen mit  $n \geq 1$ , vorzugsweise  $n \geq 2$ .
7. Verfahren (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die sensorisch erfassten Beobachtungsdaten (2, 3) wenigstens eines der folgenden Objekte aufweisen:
- eine Fahrspurmarkierung, eine Randbebauung, ein feststehendes und/oder bewegtes Hindernis.
8. Verfahren (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Erzeugen unterschiedlicher Assoziationen (6) der jeweils als Eingangsgrößen der Zustandsfunktion dienenden Beobachtungsdaten (2, 3) und Kartendaten (4) und somit der verschiedenen Hypothesen (9-11) durch verschiedene Gewichtungen

und/oder Auswahlen dieser Eingangsgrößen mittels der Parametrisierung der Zustandsfunktion erfolgt.

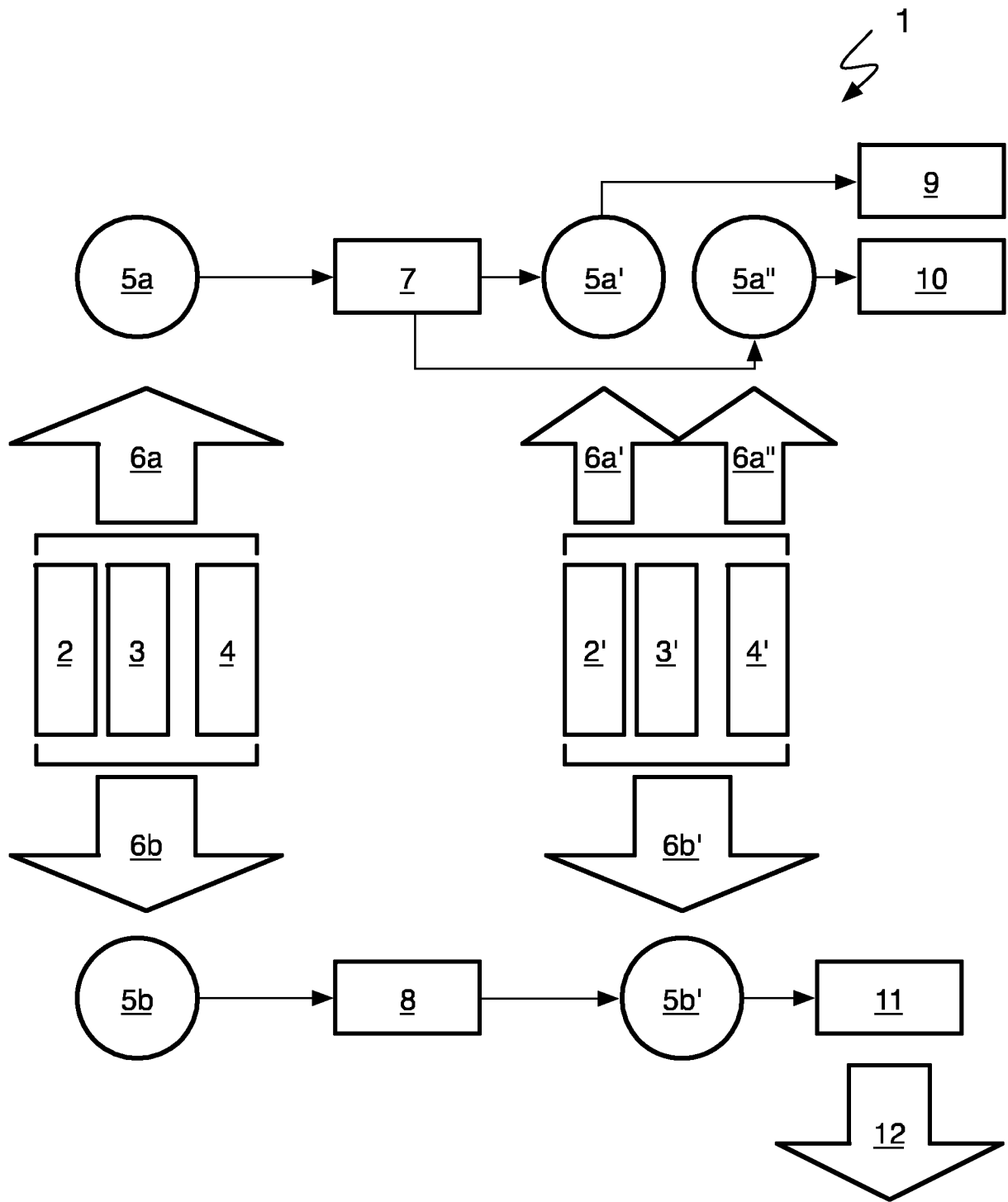
- 5 9. Verfahren (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit dem weiteren Schritt:  
Feststellen, auf Basis der Konfidenzwerte Verteilung, ob für einen oder mehrere aufeinanderfolgende Rekursionsschritte, die Hypothesen mit den besten Konfidenzwerten regelmäßig signifikant von den Kartendaten (4) abweichen; und  
10 Falls dies der Fall ist Korrigieren der Kartendaten (4) auf Basis des ausgewählten Fahrbahnmodells für diesen Rekursionsschritt und/oder Melden der Nichtaktualität der Kartendaten an eine zentrale Infrastruktur zur Bereitstellung der Kartendaten.
- 15 10. Verfahren (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Ortsauflösung der Kartendaten (4) mindestens 25 cm, vorzugsweise mindestens 15 cm, besonders vorzugsweise mindestens 10 cm beträgt.
- 20 11. Verfahren (1) zum Steuern eines Fahrzeugs mit den Schritten:  
Ermitteln wenigstens eines Fahrbahnmodells gemäß dem Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche; und  
Steuern des Fahrzeugs im Rahmen eines teilautomatisierten, hochautomatisierten oder autonomen Fahrbetriebs des Fahrzeugs (14) auf Basis des wenigstens einen ermittelten Fahrbahnmodells.
- 25 12. Vorrichtung (13) zum Ermitteln eines Fahrbahnmodells für das Umfeld eines Fahrzeugs (14) mittels rekursiven Schätzens, aufweisend:  
eine Sensorvorrichtung (15) zur Erfassung von Beobachtungsdaten (2, 3), die das Umfeld des Fahrzeugs (14) oder dessen Bewegung kennzeichnen;  
einen Speicher (16) zum Speichern von Kartendaten (4), die das Umfeld des  
30 Fahrzeugs (14) kennzeichnen;  
eine Verarbeitungseinheit (17), die zum Ausführen des Verfahrens (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 eingerichtet ist.
13. Vorrichtung (13) nach Anspruch 12, ferner aufweisend:

eine Kommunikationseinheit, welche dazu eingerichtet ist, Hypothesen (9-11) für das zu ermittelnde Fahrbahnmodell und/oder Beobachtungsdaten (2, 3) an eine zentrale Infrastruktur zu senden und von dieser zentralen Infrastruktur Hypothesen (9-11) zu empfangen;

5 wobei die Verarbeitungseinheit (17) dazu eingerichtet ist, die empfangenen Hypothesen (9-11) bei der Auswahl einer der Hypothesen (7-11) als Fahrbahnmodell für das Umfeld des Fahrzeugs (14) mit einzubeziehen.

10 14. Fahrzeug (14), insbesondere Kraftfahrzeug, das eingerichtet ist, das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.

15. Fahrzeug (14) nach Anspruch 14, aufweisend eine Vorrichtung (13) nach einem der Ansprüche 12 oder 13.



**Fig. 1**

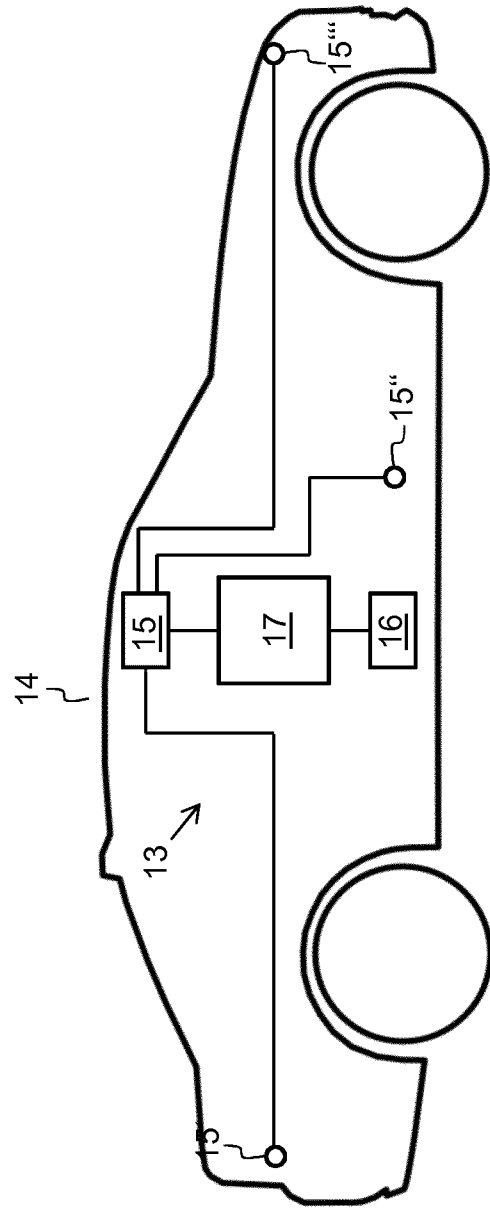


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/063653

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 INV. B60W40/072 B60W40/107 B60W40/109 B60W40/114 G01C21/30  
 B60W40/04 G06K9/00 B60W50/00  
 ADD.  
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 B60W G01C G06K  
 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2005 038314 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 14 September 2006 (2006-09-14) abstract paragraphs [0001] - [0019], [0022] -----	1-15
X A	WO 2004/031691 A1 (HRL LAB LLC [US]; KHOSLA DEEPAK [US]) 15 April 2004 (2004-04-15) abstract paragraphs [0011] - [0015], [0028] - [0036], [0056], [0057] -----	1-5,7,8, 10-12, 14,15 6,9,13
X	US 2011/320163 A1 (MARKKULA GUSTAV [SE] ET AL) 29 December 2011 (2011-12-29)  abstract; figure 1 paragraphs [0021], [0022], [0034] - [0058] ----- -/--	1-4,6,8, 10,12, 14,15

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  25 September 2017	Date of mailing of the international search report  11/10/2017
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Elbel, Benedikte
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/063653

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2 116 958 A2 (HELLA KGAA HUECK & CO [DE]) 11 November 2009 (2009-11-11) abstract paragraphs [0012], [0028] -----	5,7
A	US 2014/067187 A1 (FERGUSON DAVID IAN [US] ET AL) 6 March 2014 (2014-03-06) paragraph [0097] -----	9,13

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/063653
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102005038314 A1	14-09-2006	DE 102005038314 A1 WO 2006094585 A1	14-09-2006 14-09-2006
-----			
WO 2004031691 A1	15-04-2004	AU 2003275438 A1 TW 200413952 A US 6718259 B1 WO 2004031691 A1	23-04-2004 01-08-2004 06-04-2004 15-04-2004
-----			
US 2011320163 A1	29-12-2011	BR PI0823224 A2 CN 102209658 A EP 2352664 A1 JP 5411284 B2 JP 2012507780 A US 2011320163 A1 WO 2010053408 A1	16-06-2015 05-10-2011 10-08-2011 12-02-2014 29-03-2012 29-12-2011 14-05-2010
-----			
EP 2116958 A2	11-11-2009	DE 102008022856 A1 EP 2116958 A2	12-11-2009 11-11-2009
-----			
US 2014067187 A1	06-03-2014	EP 2879929 A1 JP 6083882 B2 JP 2015537268 A JP 2017097906 A KR 20150052272 A US 2014067187 A1 WO 2014039200 A1	10-06-2015 22-02-2017 24-12-2015 01-06-2017 13-05-2015 06-03-2014 13-03-2014
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B60W40/072 B60W40/04	B60W40/107 G06K9/00
	B60W40/109 B60W50/00	B60W40/114
		G01C21/30
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) B60W G01C G06K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2005 038314 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 14. September 2006 (2006-09-14) Zusammenfassung Absätze [0001] - [0019], [0022] -----	1-15
X	WO 2004/031691 A1 (HRL LAB LLC [US]; KHOSLA DEEPAK [US]) 15. April 2004 (2004-04-15) Zusammenfassung Absätze [0011] - [0015], [0028] - [0036], [0056], [0057] -----	1-5,7,8, 10-12, 14,15 6,9,13
A		
X	US 2011/320163 A1 (MARKKULA GUSTAV [SE] ET AL) 29. Dezember 2011 (2011-12-29)  Zusammenfassung; Abbildung 1 Absätze [0021], [0022], [0034] - [0058] ----- -/--	1-4,6,8, 10,12, 14,15
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. September 2017		11/10/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Elbel, Benedikte

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 2 116 958 A2 (HELLA KGAA HUECK & CO [DE]) 11. November 2009 (2009-11-11) Zusammenfassung Absätze [0012], [0028]	5,7
A	US 2014/067187 A1 (FERGUSON DAVID IAN [US] ET AL) 6. März 2014 (2014-03-06) Absatz [0097]	9,13

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/063653

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005038314 A1	14-09-2006	DE 102005038314 A1	14-09-2006
		WO 2006094585 A1	14-09-2006
-----			
WO 2004031691 A1	15-04-2004	AU 2003275438 A1	23-04-2004
		TW 200413952 A	01-08-2004
		US 6718259 B1	06-04-2004
		WO 2004031691 A1	15-04-2004
-----			
US 2011320163 A1	29-12-2011	BR PI0823224 A2	16-06-2015
		CN 102209658 A	05-10-2011
		EP 2352664 A1	10-08-2011
		JP 5411284 B2	12-02-2014
		JP 2012507780 A	29-03-2012
		US 2011320163 A1	29-12-2011
		WO 2010053408 A1	14-05-2010
-----			
EP 2116958 A2	11-11-2009	DE 102008022856 A1	12-11-2009
		EP 2116958 A2	11-11-2009
-----			
US 2014067187 A1	06-03-2014	EP 2879929 A1	10-06-2015
		JP 6083882 B2	22-02-2017
		JP 2015537268 A	24-12-2015
		JP 2017097906 A	01-06-2017
		KR 20150052272 A	13-05-2015
		US 2014067187 A1	06-03-2014
		WO 2014039200 A1	13-03-2014
-----			