

(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
17. Januar 2019 (17.01.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/011536 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B60W 30/09 (2012.01) **B60W 30/08** (2012.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/064859

(22) Internationales Anmeldedatum:

06. Juni 2018 (06.06.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2017 211 815.6

11. Juli 2017 (11.07.2017) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Post-
fach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **LICH, Thomas**; Paradiesweg 54, 73733 Esslin-
gen (DE). **GUSSNER, Thomas**; Lindenstr. 51, 71634 Lud-
wigsburg (DE). **SCHLENDER, Thomas**; Ginsterweg 10,
71272 Renningen (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, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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).

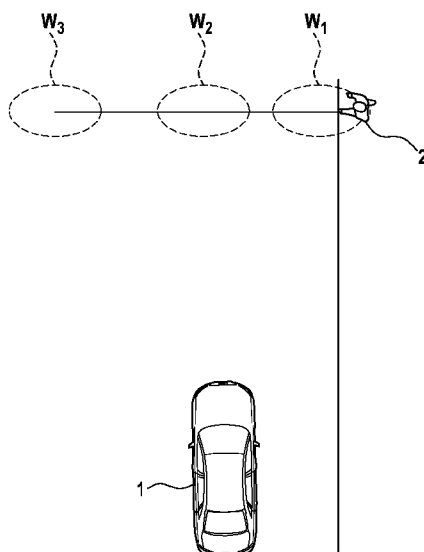
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD, DEVICE, COMPUTER PROGRAM AND A MACHINE-READABLE STORAGE MEDIUM FOR OPER-
ATING A VEHICLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN, VORRICHTUNG, COMPUTERPROGRAMM UND EIN MASCHINENLESBARES
SPEICHERMEDIUM ZUM BETREIBEN EINES FAHRZEUGS

Fig. 1



(57) Abstract: A method (400) for operating a vehicle (1), comprising the steps: - detecting (401) a collision object (2), particularly a road user at in-
creased risk, particularly a pedestrian; - determining (402) a stay probabi-
lity of the collision object (2), particularly according to a prediction model
for the collision object (2); - determining (403) an evasion trajectory (20,
20') in order to avoid a collision with the collision object (2) or a collision
trajectory according to the determined stay probability; - controlling (404)
the vehicle (1) such that the vehicle (1) is guided, automatically at least
in part, along the determined evasion trajectory (20, 20') or the collision
trajectory.

(57) Zusammenfassung: Verfahren (400) zum Betreiben eines Fahrzeugs
(1), mit den Schritten: -Erkennen (401) eines Kollisionsobjekts(2), insbe-
sondere eines erhöht gefährdeten Verkehrsteilnehmers, insbesondere eine
Fußgängers; -Bestimmen (402) einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit des
Kollisionsobjekts (2), insbesondere abhängig von einem Prädiktionsmodell
für das Kollisionsobjekt (2); -Bestimmen (403) einer Ausweichtrajektorie
(20, 20') zur Vermeidung einer Kollision mit dem Kollisionsobjekt(2)oder
einer Kollisionstrajektorie in Abhängigkeit von der bestimmten Aufent-
haltswahrscheinlichkeit; -Steuern (404) des Fahrzeugs(1)derart, dass das
Fahrzeug (1) zumindest teilweise automatisiert entlang der bestimmten
Ausweichtrajektorie (20, 20') oder der Kollisionstrajektorie geführt wird.



WO 2019/011536 A1

5 Beschreibung

Titel

Verfahren, Vorrichtung, Computerprogramm und ein maschinenlesbares
Speichermedium zum Betreiben eines Fahrzeugs

10

Stand der Technik

15

Im Markt befinden sich bereits viele Systeme, die durch eine automatische Notbremsung Unfälle mit anderen Verkehrsteilnehmern, insbesondere mit Fahrzeugen im Längsverkehr und mit erhöht gefährdeten Verkehrsteilnehmern, sog. Vulnerable Road User (VRU), vermeiden bzw. mindern können.

20

Allerdings kann, gerade bei höheren Geschwindigkeiten, eine Kollision u.U. durch ein Ausweichmanöver vermieden werden, wenn eine Notbremsung nur noch durch die Reduktion der Geschwindigkeit die Unfallfolgen mindert.

25

Aus Keller, C.G. et al: "Active Pedestrian Safety by Automatic Braking and Evasive Steering", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Vol 12 (4), 2011 sind Systeme bekannt, die durch ein automatisches oder fahrerinitiiertes Ausweichmanöver Unfälle vermeiden können.

30

Eine wichtige Frage, die über die Durchführbarkeit eines Ausweichmanövers entscheidet, ist, wie sich das Kollisionsobjekt, z.B. der erhöht gefährdeter Verkehrsteilnehmer, z.B. der Fußgänger, dem ausgewichen werden soll, in Zukunft bewegen wird. Hierzu existieren bereits Modelle, die das Bewegungsverhalten des Kollisionsobjekts beschreiben. Allerdings sind diese Modelle statischer Natur und berücksichtigen, dass bei einer möglichen Auslöseentscheidung für eine automatische Vollbremsung oder einem Ausweichvorgang das Kollisionsobjekt, wenn es sich bspw. um einen Fußgänger

35

handelt, plötzlich stehen bleibt oder flüchtet lediglich in einer Worst-Case Betrachtung. Die verschiedenen Reaktionsmöglichkeiten des Kollisionsobjekts, insbesondere, wenn es sich um dabei um einen Fußgänger handelt, wird daher nicht differenziert betrachtet. Ebenfalls wird die Bewegungshistorie des Kollisionsobjekts vernachlässigt, da es Abhängigkeiten zwischen zukünftigem und historischem Bewegungsverhalten gibt, die bei einer Entscheidungsfindung (Ausweichen oder Bremsen) unterstützen können. Somit kann es beim Einleiten von Vollbremsungen bzw. Ausweichvorgängen aufgrund der – ggf. unangebrachten – Worst-Case-Betrachtung dazu kommen, dass viel heftiger als notwendig eingegriffen wird.

Offenbarung der Erfindung

Vor diesem Hintergrund setzt die vorliegende Erfindung an und schafft ein Verfahren, ferner eine Vorrichtung, ein Computerprogramm und ein maschinenlesbares Speichermedium zum Betreiben eines Fahrzeugs.

Würde man die möglichen Reaktionen des Kollisionsobjekts bzw. dessen Bewegungshistorie auch bei der Planung von Ausweichtrajektorien berücksichtigen, wäre ein sicheres Ausweichmanöver nur in sehr wenigen Fällen überhaupt möglich und würde in der Regel deutlich zu breit ausfallen, da die ungünstigste mögliche Bewegungsänderung des Kollisionsobjekts einkalkuliert werden müsste.

Vor diesem Hintergrund schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs, mit den Schritten:

- Erkennen eines Kollisionsobjekts;
- Bestimmen einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Kollisionsobjekts, insbesondere abhängig von einem Prädiktionsmodell für das Kollisionsobjekt;
- Bestimmen einer Ausweichtrajektorie zur Vermeidung einer Kollision mit dem Kollisionsobjekt oder einer Kollisionstrajektorie in Abhängigkeit von der bestimmten Aufenthaltswahrscheinlichkeit;

- Steuern des Fahrzeugs derart, dass das Fahrzeug zumindest teilweise automatisiert entlang der bestimmten Ausweichtrajektorie oder Kollisionstrajektorie geführt wird.

5 Unter einem Kollisionsobjekt ist vorliegend ein durch die Sensorik des Fahrzeugs erkanntes Objekt zu verstehen, mit dem eine Kollision mit hoher Wahrscheinlichkeit stattfinden wird, wenn sich weder die Bewegung des Fahrzeugs noch – falls möglich – die Bewegung des Objekts ändern. Von Vorteil ist dabei, wenn aus der Menge der
10 erkannten Objekte nur diejenigen für das Verfahren der vorliegenden Erfindung weiterverfolgt werden, die sich dem Fahrzeug in kritisch annähern.

Unter einer kritischen Annäherung kann vorliegend eine Annäherung verstanden werden, bei dem die Annäherungsparameter, wie Art des Objekt, Richtung, Abstand, Geschwindigkeit, etc. auf einen Kritikalitätswert abgebildet werden und dieser
15 Kritikalitätswert einen vorbestimmten Grenzwert für eine kritische Annäherung überschreitet. Als Kollisionsobjekt kann auch ein erhöht gefährdeter Verkehrsteilnehmer verstanden werden.

Unter einem erhöht gefährdeten Verkehrsteilnehmer werden vorliegend all diejenigen
20 Teilnehmer am Straßenverkehr verstanden, die nicht von einer schützenden Hülle einer Karosserie umgeben sind. Dazu zählen u.a. Motorradfahrer, Fahrradfahrer und im besonderen Maße Fußgänger.

Unter einem Prädiktionsmodell für das Kollisionsobjekt wird vorliegend eine
25 Berechnungsvorschrift verstanden, die basierend auf Messwerten von bspw. Sensoren des Fahrzeugs eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Kollisionsobjekts ableitet.

Unter einer Ausweichtrajektorie wird vorliegend ein Bewegungspfad für das Fahrzeug verstanden, der dazu geeignet ist, eine Kollision mit dem Kollisionsobjekt die mit hoher
30 Wahrscheinlichkeit zu vermeiden.

Unter einer Kollisionstrajektorie wird vorliegend ein Bewegungspfad für das Fahrzeug verstanden, der dazu geeignet ist, im Falle, dass eine Kollision mit dem Kollisionsobjekt ausgehend von dem zugrundeliegenden Modell unausweichlich ist, zu

einer Kollision zu führen, deren Folgen ausgehend von dem zugrundeliegenden Modell minimal sind.

5 In Situationen, in denen eine Kollision unausweichlich ist, kann durch eine geeignete Beeinflussung der Bewegung des Fahrzeugs das Ergebnis der Kollision abgemildert werden. Bspw. könnte, wenn es sich bei dem Kollisionsobjekt um ein Fahrzeug handelt, dieses Fahrzeug derart getroffen werden, dass eine optimale Absorption der Kollisionsenergie ermöglicht wird. Dadurch können die Folgen für die Insassen der beteiligten Fahrzeuge minimiert werden.

10 Solche Bewegungspfade (Ausweichtrajektorie, Kollisionstrajektorie) können dabei in Abläufe für die Mittel zur Längs- bzw. Querb beschleunigung des Fahrzeugs umgesetzt werden. Unter einer Längs beschleunigung wird dabei vorliegend sowohl die positive Beschleunigung, d.h. die tatsächliche Vergrößerung der Geschwindigkeit des
15 Fahrzeugs verstanden, als auch die negative Beschleunigung, d.h. das tatsächliche Verringern der Geschwindigkeit, d.h. ein Abbremsen des Fahrzeugs, verstanden. Unter einer Querb beschleunigung wird vorliegend das Bewegen des Fahrzeugs quer zur Längsausrichtung des Fahrzeugs verstanden. Die Querb beschleunigung kann dabei je nach Antriebskonzept des Fahrzeugs durch Lenk- oder Brems- ggf. auch
20 Beschleunigungsaktionen einzelner Räder des Fahrzeugs erfolgen.

Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird in dem Prädiktionsmodell die Bewegungshistorie des Kollisionsobjekts berücksichtigt.

25 Die Berücksichtigung der Bewegungshistorie in dem Prädiktionsmodell führt zu einer verbesserten Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Kollisionsobjekts. Sodass sich eine optimalere Ausweichtrajektorie bestimmen lässt.

30 Eine Ausweichtrajektorie gilt gemäß der vorliegenden Erfindung als optimaler, wenn sie dazu geeignet ist, die Kollisionswahrscheinlichkeit mit dem Kollisionsobjekt zu minimieren bei gleichzeitiger Minimierung der Beeinflussung der Bewegung des Fahrzeugs.

Eine Kollisionstrajektorie gilt gemäß der vorliegenden Erfindung als optimaler, wenn sie dazu geeignet ist, die Kollisionsfolgen zu minimieren.

5 Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird in dem Prädiktionsmodell der prädizierte Aufprallpunkt des Kollisionsobjekts auf das Fahrzeug berücksichtigt.

10 Die Berücksichtigung des prädizierten Aufprallpunkts führt zu einer verbesserten Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Kollisionsobjekts, da sich gezeigt hat, dass abhängig von dem prädizierten Aufprallpunkt das zukünftige Verhalten des Kollisionsobjekts, insbesondere, wenn es sich bei dem Kollisionsobjekt um einen Fußgänger handelt, maßgeblich beeinflusst wird. Bei der Berücksichtigung des prädizierten Aufprallpunkts können unter Umständen bestimmte Bewegungszustände des Fußgängers bzw. allgemeiner des Kollisionsobjekts, unberücksichtigt bleiben, dies reduziert die Berechnungsressourcen für die Ausweichtrajektorie und führt insgesamt
15 betrachtet zu einer genaueren Bestimmung der Ausweichtrajektorie.

20 Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird in dem Prädiktionsmodell der Kollisionsbereich des Fahrzeugs, in dem der prädizierte Aufprallpunkt des Kollisionsobjekts auf das Fahrzeug liegt, berücksichtigt.

25 Zur weiteren Minimierung der Berechnungsressourcen kann der prädizierte Aufprallpunkt einem Kollisionsbereich (Near Side, Center Area, Far Side) des Fahrzeugs zugeordnet werden. Dies verringert dadurch die Berechnungsressourcen, da das prädizierte Verhalten des Kollisionsobjekts innerhalb eines Kollisionsbereichs gleichförmig abläuft.

30 Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird im Schritt des Bestimmens die Ausweichtrajektorie oder der Kollisionstrajektorie mittels eines Verfahrens zur Mehrzieloptimierung bestimmt. Von Vorteil ist als Ziele der Minimierung die Kollisionswahrscheinlichkeit mit dem Kollisionsobjekt bzw. die Minimierung der Gesamtausweichbreite bzw. die Minimierung der Querschleunigung bzw. im Falle einer unausweichlichen Kollision, die Minimierung der Kollisionsfolgen zu verwenden.

Diese Ausführungsform weist den Vorteil auf, dass Verfahren zur Mehrzieloptimierung effizient ausgeführt werden können.

Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens enthält das Verfahren zur
5 Mehrzieloptimierung ferner mindestens eine der folgenden Nebenbedingungen:

- Verbleib der Kollisionswahrscheinlichkeit unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes für das Kollisionsrisiko;
- Verbleib in einem vorbestimmten Fahrkorridor;
- Verbleib der Querschleunigung unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes
10 für die Querschleunigung;
- Verbleib des Querversatzes unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes für den Querversatz;
- Verbleib der Kollisionsfolgen unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes für die Kollisionsfolgen.

15
Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Ausweichtrajektorie oder die Kollisionstrajektorie als ein Polynom n-ter Ordnung, insbesondere 5-ter Ordnung dargestellt.

20 Ein Polynom n-ter Ordnung kann mittels bekannter effizienter Verfahren schnell iterativ gelöst werden.

Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Kollisionswahrscheinlichkeit abhängig von einem Passierpunkt ermittelt.

25
Unter dem Passierpunkt wird vorliegend der Punkt verstanden, an dem sich das Fahrzeug während des Ausweichmanövers oder der Kollision auf Höhe des Fußgängers befindet.

30
Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens ist das Prädiktionsmodell aktualisierbar.

Diese Ausführungsform des Verfahrens bietet den Vorteil, dass das Prädiktionsmodell vorlaufend angepasst werden kann. Bspw. dann, wenn neuere Erkenntnisse vorliegen oder wenn aktuellere Daten vorliegen.

- 7 -

Die Aktualisierung des Prädiktionsmodells kann bspw. bei einem Servicebesuch in einer Werkstatt erfolgen. Ebenso denkbar ist eine Umsetzung der Aktualisierbarkeit durch ein sog. Flash Over the Air Verfahren. Dabei werden über
5 Funkübertragungstechnologien entsprechende Updates an dem bzw. den Fahrzeugen durchgeführt.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung, die dazu eingerichtet ist, eine Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung
10 auszuführen.

Bei einer solchen Vorrichtung kann es sich um ein Steuergerät oder einen Steuergeräteverbund des Fahrzeugs handeln. Bei einem Steuergeräteverbund werden verschiedene Aspekte des Verfahrens von unterschiedlichen Steuergeräten
15 durchgeführt. Wo notwendig tauschen die Steuergeräte untereinander Daten aus. Der Datenaustausch erfolgt dabei über eines der Kommunikationsnetzwerke im Fahrzeug, bspw. über den CAN- oder FlexRay-Bus.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogramm, das dazu eingerichtet ist, eine Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung
20 auszuführen.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein maschinenlesbares Speichermedium, auf dem das Computerprogramm gemäß der vorliegenden Erfindung
25 gespeichert ist.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher erläutert.

30
Zeichnungen

Es zeigen

Fig. 1 Illustration eines Prädiktionsmodells gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ein Beispiel für ein Prädiktionsmodell gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 ein weiteres Beispiel für ein Prädiktionsmodell gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung.

Im Folgenden wird zunächst das Prädiktionsmodell für Fußgänger beschrieben. Anschließend wird beschrieben, wie Parameter zur genauen Ausgestaltung des Prädiktionsmodells mit Hilfe von Erkenntnissen aus der Unfallforschung festgelegt werden können. Schließlich wird beschrieben, wie eine Bestimmung einer Ausweichtrajektorie basierend auf dem beschriebenen Modell durchgeführt werden kann.

Die zukünftige Position eines Fußgängers wird durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen $p_i(x,y)$ für mehrere äquidistante Zeitpunkte t_i bis zu einem maximalen Prädiktionshorizont t_n dargestellt. Diese Verteilungen sind dabei eine gewichtete Summe von Normalverteilungen mit Standardabweichungen σ_k und Mittelwerten μ_k

$$p_i(x,y) = \sum_{k=1}^3 W_k N(x,y, \sigma_k, \mu_k).$$

Dabei gilt

$$\sum_{k=1}^3 W_k = 1.$$

Die drei Komponenten W_1 , W_2 , W_3 der Verteilung repräsentieren drei mögliche und beispielhafte Bewegungszustände des Fußgängers:

- Stehenbleiben;
- mit konstanter Geschwindigkeit Weiterlaufen;

- Beschleunigen.

Es ist denkbar und möglich weitere Komponenten in das Prädiktionsmodell aufzunehmen, die weitere Bewegungszustände des Fußgängers repräsentierten; z. B. Rückwärtsgehen.

Die Standardabweichungen σ_k hingegen ergeben sich aus der Prädiktionsunsicherheit für den jeweiligen Bewegungszustand, die sich aus der Unsicherheit der Positionsmessung und Geschwindigkeitsmessung, die über den Prädiktionszeitraum propagiert werden, ergeben. Für die Zustände, in denen der Fußgänger beschleunigt bzw. stehenbleibt werden ebenfalls Verteilungen angenommen.

Mögliche Verteilungen können bspw. Tiemann, N. et al: "Predictive Pedestrian Protection - Situation Analysis with a Pedestrian Motion Model", AVEC 2010 entnommen werden.

Fig. 1 zeigt die Illustration eines Prädiktionsmodells gemäß der vorliegenden Erfindung. In der in Fig. 1 dargestellten Situation liegt eine erhöhte Kollisionswahrscheinlichkeit des Fahrzeugs 1 mit dem erhöht gefährdeten Verkehrsteilnehmer 2 vor.

Das illustrierte Prädiktionsmodell basiert auf den drei vorstehend eingeführten Dimension Stehenbleiben W_1 , Weiterlaufen W_2 , Beschleunigen W_3 . Jeder Dimension W_1 , W_2 , W_3 wird ein Gewicht zugeordnet, das die Wahrscheinlichkeit wiedergibt, mit der sich das Kollisionsobjekt im jeweiligen Bewegungszustand aufhält bzw. in diesen wechseln wird.

Die Parameter können auf Basis von Unfalldaten von Beinaheunfällen oder echten Unfällen erhoben werden. Neben den prädizierten Verteilungsfunktionen für jeden Bewegungszustand ist ein wesentlicher Bestandteil der Erfindung die Wahl der Gewichte W_k , die wiederum einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis der Bestimmung der Ausweichtrajektorien hat. Die Gewichte W_k werden nicht fix, sondern situationsabhängig gewählt.

Zum Beispiel werden die Gewichte abhängig vom prädizierten Aufprallpunkt y_{coll} gewählt.

Die Funktionsvorschrift

$$w_k = f(y_{coll}), \quad k = 1, 2, 3$$

5

mit dem prädizierten Kollisionspunkt y_{coll} kann dabei empirisch bspw. basierend auf der Auswertung von realen Unfällen bestimmt werden.

10

Als im besonderen Maße relevant für die zukünftige Aufenthaltswahrscheinlichkeit $p_i(x, y)$ des Fußgängers hat sich die Zuordnung des Aufprallpunkts y_{coll} zu einem Kollisionsbereich ergeben. Dabei kann der Frontbereich des Fahrzeugs bspw. in drei Bereiche eingeteilt werden. Center Area, d.h. der mittige Bereich der Fahrzeugfront, sowie die Near Side und die Far Side. Die Near Side ist der Seitenbereich der Fahrzeugfront, die näher zum Fußgänger gelegen ist. D.h., wenn sich der Fußgänger von rechts dem Fahrzeug nähert der Bereich rechts der Center Area. Die Far Side ist entsprechend der Seitenbereich der Fahrzeugfront, die entfernter zum Fußgänger gelegen ist.

15

20

Es hat sich gezeigt, dass es vorteilhaft ist die Gewichte W_k abhängig von empirischen Beobachtungen des Verhaltens von erhöht gefährdeten Verkehrsteilnehmern (VRU), bspw. Fußgängern, bei Realunfällen zu erstellen.

25

Neben dem Kollisionspunkt y_{coll} können auch weitere Einflussgrößen z_i verwendet werden, sodass

$$w_k = \tilde{f}(y_{coll}, z_1, z_2, \dots), \quad k = 1, 2, 3$$

gilt.

30

Beispiele für weitere Einflussgrößen z_i sind:

- Kopforientierung des Fußgängers
- Breite der Fahrbahn
- Gegenverkehr

- Annäherungswinkel an die Fahrbahn
- Zebrastreifen
- Lichtzeichenanlage
- Kurvenradius
- 5 • Licht- und Sichtverhältnisse
- Fahrt auf innerstädtischen oder außerstädtischen Straßen
- Vorfahrer Verkehr (Verkehrsdichte)
- Geschwindigkeit des EGO Fahrzeugs

10 Die Bestimmung der Ausweichtrajektorien oder Kollisionstrajektorie erfolgt gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mittels einer Mehrzieloptimierung. Typische Optimierungsziele sind dabei

- Minimierung des Kollisionsrisikos mit dem Fußgänger;
- Minimierung der Gesamtausweichbreite;
- 15 • Minimierung der Querschleunigung;
- im Falle einer unausweichlichen Kollision, Minimierung der Kollisionsfolgen.

Neben der Optimierung der vorstehenden Ziele müssen Nebenbedingungen eingehalten werden. Eine typische Auswahl Nebenbedingungen sind dabei:

- 20 • das Kollisionsrisiko bleibt kleiner als eine vorbestimmte Grenze (Maximalwert);
- Verbleib in einem Fahrkorridor;
- Querschleunigung verbleibt unterhalb einer vorbestimmten Grenze;
- Maximaler Querversatz ist kleiner als eine vorbestimmte Grenze
- Im Falle einer unausweichlichen Kollision, die Kollisionsfolgen verbleiben
- 25 unterhalb einer vorbestimmten Grenze.

Ein wichtiger Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die Minimierung des Kollisionsrisikos bzw. die Beschränkung desselben auf einen Maximalwert.

30 Unter einem Kollisionsrisiko wird vorliegend ein Wert verstanden, auf den kollisionsrelevante Faktoren, wie bspw. Sensorwerte, abgebildet werden. Für diesen Wert kann eine Grenze vorbestimmt werden, die bei Anwendung der Ausweichtrajektorie auf das Fahrzeug nicht überschritten werden darf.

Das Kollisionsrisiko mit dem Fußgänger, dem ausgewichen werden soll, kann gemäß der vorliegenden Erfindung abhängig von dem Passierpunkt (x_{PP} , y_{PP}) bestimmt werden.

5

Mit dem oben beschriebenen Fußgängermodell ergibt sich aus einem gegebenen Passierpunkt ein Kollisionsrisiko mittels der Integration der Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte $p(x,y)$ über den entsprechenden Aufenthaltsbereich des Fahrzeugs.

10

Der Fahrkorridor kann dabei so bestimmt sein, dass garantiert ist, dass keine (andere) Kollision mit statischen und dynamischen Hindernissen, z.B. Gegenverkehr, stattfindet,

15

Die vorbestimmte Grenze für die Querbefleunigung kann dabei physikalisch motiviert sein. Dabei sind die Grenzwerte für eine stabile Führung des Fahrzeugs zu berücksichtigen, z.B. Haftreibung, Belastungen.

20

Die vorbestimmte Grenze für den Querversatz kann sich bspw. an der typischen oder aktuellen Spurbreite orientieren.

Als effizienter Weg zur Bestimmung der Ausweichtrajektorie hat sich ein Polynom n-ter Ordnung erwiesen. Insbesondere ein Polynom 5-ter Ordnung.

25

Setzt man für die Ausweichtrajektorie bzw. Kollisionstrajektorie ein Polynom 5-ter Ordnung an, erhält man

$$y(x(t)) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_5x^5$$

mit

30

$$x(t) = v \cdot t$$

wobei v die momentane Fahrzeuggeschwindigkeit ist. So kann dieses Optimierungsproblem iterativ gelöst werden. Das Ergebnis sind die Koeffizienten a_i des Polynoms.

Fig. 2 und 3 zeigen exemplarisch zwei unterschiedliche Situationen mit unterschiedlichen Werten für die Gewichte W_1 , W_2 , W_3 und im Ergebnis verschiedenen Ausweichtrajektorien.

Im ersten Fall (Fig. 2) ist es deutlich wahrscheinlicher, dass der Fußgänger 2 stehen bleibt (W_1) oder mit gleicher Geschwindigkeit weiterläuft (W_2) als dass der Fußgänger 2 beschleunigt (W_3). Mit einer entsprechend gewählten Schranke für die Kollisionswahrscheinlichkeit kann dadurch implizit der Fall, dass der Fußgänger beschleunigt (W_3) außer Acht gelassen werden.

Im ersten Fall (Fig. 2) wird daher als Ausweichtrajektorie 20 eine Bewegungsvorschrift gewählt, die für das Fahrzeug einen seitlichen Versatz nach links vorsieht.

Im zweiten Fall (Fig. 3) verhält es sich umgekehrt. Hier kann der Fall vernachlässigt werden, dass der Fußgänger stehen bleibt (W_1), da dies im Verhältnis zu den beiden anderen Dimensionen unwahrscheinlich ist.

Im zweiten Fall (Fig. 3) wird daher als Ausweichtrajektorie 20' eine Bewegungsvorschrift gewählt, die für das Fahrzeug einen seitlichen Versatz nach rechts vorsieht.

Die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten können dabei auf empirische Daten basieren und dementsprechend als Parameter appliziert und bei Bedarf oder beim Vorliegen neuer Erkenntnisse oder aktuellerer Daten aktualisiert werden.

Die Tabelle in Fig. 4 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung.

In Schritt 401 wird ein Kollisionsobjekt 2, insbesondere ein erhöht gefährdeter Verkehrsteilnehmer (VRU), wie bspw. ein Fußgänger, über die Sensorik des Fahrzeugs 1 odgl. erkannt. Nach der Erkennung eines Kollisionsobjekts 2 gilt es eine optimale Gegenaktion zu bestimmen, die nach Möglichkeit zu einer Verhinderung der Kollision bei gleichzeitiger minimaler Gefährdung des weiteren Verkehrs, inklusive des Fahrers und der Insassen des Fahrzeugs 1 zu bestimmen.

5 Dazu wird zunächst in Schritt 402 eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Kollisionsobjekts 2 bestimmt. Erfolgt die Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit auf dem Prädiktionsmodell gemäß der vorliegenden Erfindung, so erfolgt eine besonders genaue Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der relevantesten Faktoren für die Bestimmung derselben.

10 In Schritt 403 kann basierend auf der bestimmten Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Kollisionsobjekts eine optimale Ausweichtrajektorie 20, 20' ermittelt bzw. bestimmt werden.

15 Mittels der bestimmten Ausweichtrajektorie werden in Schritt 404 die entsprechenden Längs- und Querschleunigungsmittel des Fahrzeugs 1 derart angesteuert, dass das Fahrzeug 1 im Wesentlichen der Ausweichtrajektorie folgt.

5 Ansprüche

1. Verfahren (400) zum Betreiben eines Fahrzeugs (1), mit den Schritten:
 - Erkennen (401) eines Kollisionsobjekts (2), insbesondere eines erhöht gefährdeten Verkehrsteilnehmers, insbesondere eines Fußgängers;
 - Bestimmen (402) einer Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Kollisionsobjekts (2), insbesondere abhängig von einem Prädiktionsmodell für das Kollisionsobjekt (2);
 - Bestimmen (403) einer Ausweichtrajektorie (20, 20') zur Vermeidung einer Kollision mit dem Kollisionsobjekt (2) oder einer Kollisionstrajektorie in Abhängigkeit von der bestimmten Aufenthaltswahrscheinlichkeit;
 - Steuern (404) des Fahrzeugs (1) derart, dass das Fahrzeug (1) zumindest teilweise automatisiert entlang der bestimmten Ausweichtrajektorie (20, 20') oder Kollisionstrajektorie geführt wird.
2. Verfahren (400) nach Anspruch 1, wobei in dem Prädiktionsmodell die Bewegungshistorie des Kollisionsobjekts (2) berücksichtigt wird.
3. Verfahren (400) nach Anspruch 1 oder 2, wobei in dem Prädiktionsmodell der prädizierte Aufprallpunkt des Kollisionsobjekts (2) auf das Fahrzeug (1) berücksichtigt wird.
4. Verfahren (400) nach Anspruch 3, wobei in dem Prädiktionsmodell der Kollisionsbereich des Fahrzeugs (1), in dem der prädizierte Aufprallpunkt des Kollisionsobjekts (2) auf das Fahrzeug (1) berücksichtigt wird.
5. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Schritt des Bestimmens die Ausweichtrajektorie (20, 20') oder der Kollisionstrajektorie mittels eines Verfahrens zur Mehrzieloptimierung bestimmt wird, insbesondere

mit den Zielen Minimierung der Kollisionswahrscheinlichkeit mit dem Kollisionsobjekt und/oder Minimierung der Gesamtausweichbreite und/oder Minimierung der Querschleunigung und/oder Minimierung der zu erwartenden Kollisionsfolgen.

5

6. Verfahren (400) nach Anspruch 5, wobei das Verfahren zur Mehrzieloptimierung ferner mindestens eine der folgenden Nebenbedingungen enthält:

- Verbleib der Kollisionswahrscheinlichkeit unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes für das Kollisionsrisiko.
- Verbleib in einem vorbestimmten Fahrkorridor;
- Verbleib der Querschleunigung unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes für die Querschleunigung;
- Verbleib des Querversatzes unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes für den Querversatz;
- Verbleib der Kollisionsfolgen unterhalb eines vorbestimmten Grenzwertes für die Kollisionsfolgen.

10

15

7. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ausweichtrajektorie (2σ , $2\sigma'$) oder Kollisionstrajektorie als ein Polynom n-ter Ordnung, insbesondere 5-ter Ordnung dargestellt wird.

20

8. Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die Kollisionswahrscheinlichkeit abhängig von einem Passierpunkt ermittelt wird.

25

9. Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Prädiktionsmodell aktualisierbar ist.

10. Vorrichtung, die dazu eingerichtet ein Verfahren (400) nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.

30

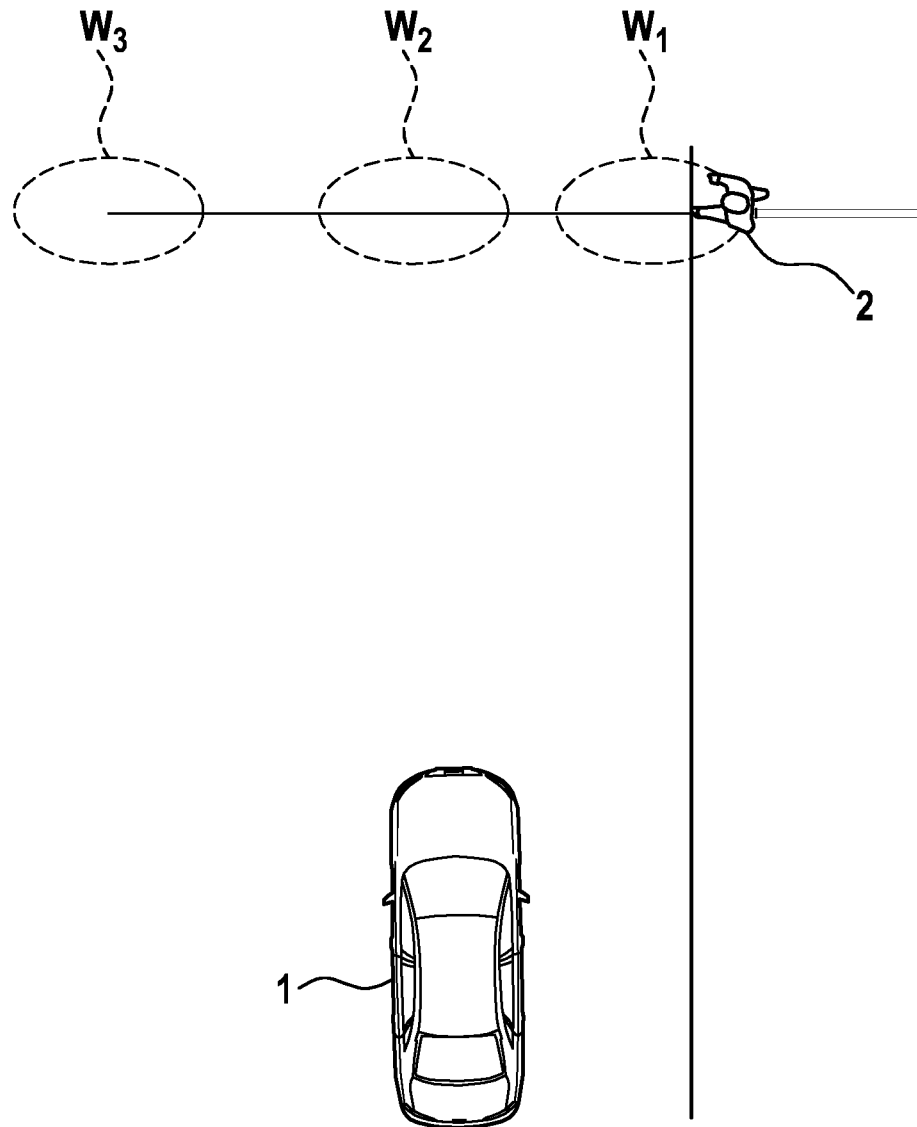
11. Computerprogramm, das dazu eingerichtet ist ein Verfahren (400) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 auszuführen.

- 17 -

12. Maschinenlesbares Speichermedium, auf dem das Computerprogramm gemäß Anspruch 11 gespeichert ist.

1 / 3

Fig. 1



2 / 3

Fig. 2

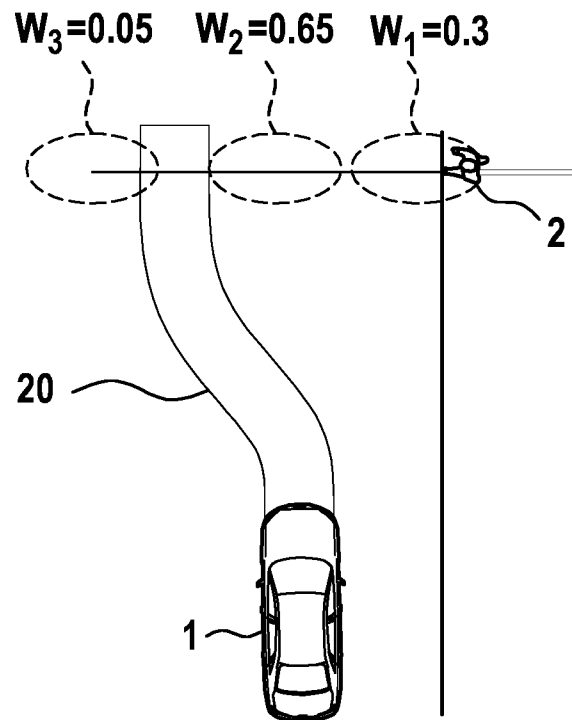
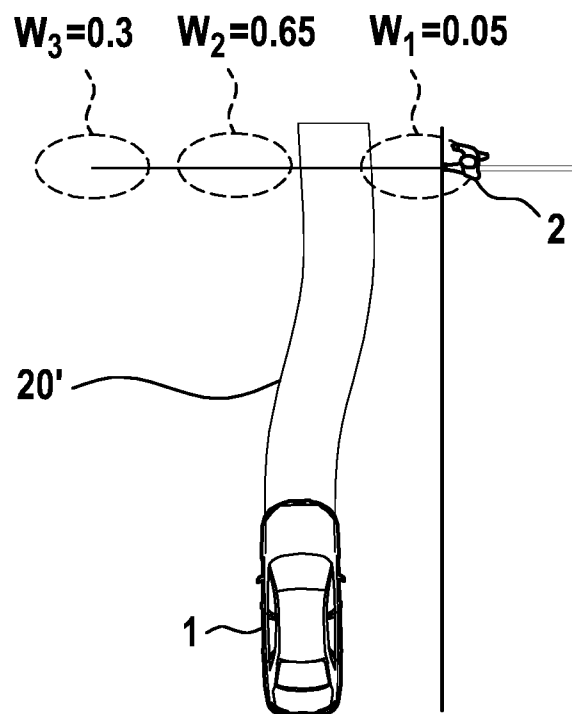
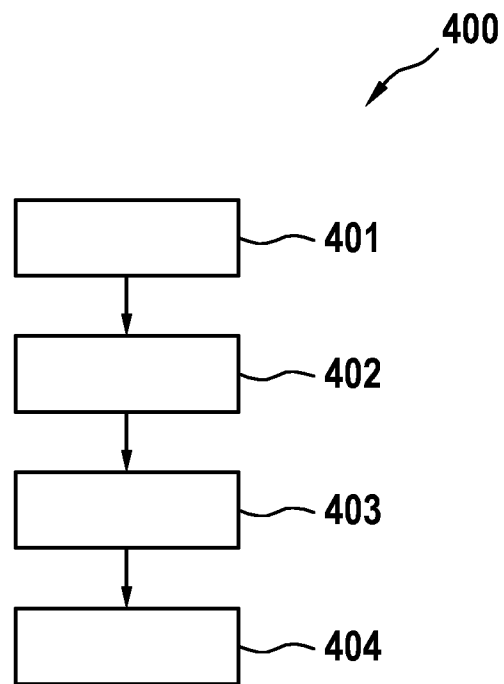


Fig. 3



3 / 3

Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/064859

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B60W 30/09**(2012.01)i; **B60W 30/08**(2012.01)i

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

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 Y	DE 102014201382 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 30 July 2015 (2015-07-30) paragraphs [0005], [0010], [0015], [0016], [0032] - [0052]	1,5,6,9-12 7
X Y	US 2016101779 A1 (KATOH MASAYUKI [JP]) 14 April 2016 (2016-04-14) paragraphs [0006] - [0008], [0014], [0032] - [0035], [0047] - [0058], [0084] - [0085]	1,2,5,6,8-12 7
X Y	US 2017120902 A1 (KENTLEY TIMOTHY DAVID [US] ET AL) 04 May 2017 (2017-05-04) claim 1	1,3-6,8-12 7
Y	CHRISTOPH G KELLER ET AL. "Active Pedestrian Safety by Automatic Braking and Evasive Steering" <i>IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA</i> , Vol. 12, No. 4, 01 December 2011 (2011-12-01), pages 1292-1304 DOI: 10.1109/TITS.2011.2158424 ISSN: 1524-9050, XP011379326 paragraph A.:page 1296, left column	7
X	DE 102007037610 A1 (SIEMENS RESTRAINT SYSTEMS GMBH [DE]) 19 February 2009 (2009-02-19) paragraphs [0008], [0015], [0034], [0047], [0048]	1,2,9-12

☒ 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

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 October 2018

Date of mailing of the international search report

12 October 2018

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Müller-Nagy, Andrea

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/064859**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102013202463 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 21 August 2014 (2014-08-21) paragraphs [0005], [0011], [0016], [0030] - [0043]	1,2,9,12
X	DE 102014103579 A1 (DENSO CORP [JP]) 02 October 2014 (2014-10-02) paragraphs [0038] - [0040]	1,2,9-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/064859

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102014201382	A1	30 July 2015	CN	104802796	A	29 July 2015
				DE	102014201382	A1	30 July 2015
				US	2015210311	A1	30 July 2015
				US	2016152269	A1	02 June 2016
US	2016101779	A1	14 April 2016	CN	105324275	A	10 February 2016
				DE	112013007129	T5	03 March 2016
				JP	5939357	B2	22 June 2016
				JP	WO2014192137	A1	23 February 2017
				US	2016101779	A1	14 April 2016
				WO	2014192137	A1	04 December 2014
US	2017120902	A1	04 May 2017	US	2017120902	A1	04 May 2017
				WO	2017079311	A1	11 May 2017
DE	102007037610	A1	19 February 2009	DE	102007037610	A1	19 February 2009
				DE	112008001804	A5	15 July 2010
				WO	2009019214	A2	12 February 2009
DE	102013202463	A1	21 August 2014	NONE			
DE	102014103579	A1	02 October 2014	DE	102014103579	A1	02 October 2014
				JP	6022983	B2	09 November 2016
				JP	2014197326	A	16 October 2014
				US	2014292502	A1	02 October 2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B60W30/09 B60W30/08
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B60W

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 2014 201382 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 30. Juli 2015 (2015-07-30)	1,5,6, 9-12
Y	Absätze [0005], [0010], [0015], [0016], [0032] - [0052]	7
X	US 2016/101779 A1 (KATOH MASAYUKI [JP]) 14. April 2016 (2016-04-14)	1,2,5,6, 8-12
Y	Absätze [0006] - [0008], [0014], [0032] - [0035], [0047] - [0058], [0084] - [0085]	7
X	US 2017/120902 A1 (KENTLEY TIMOTHY DAVID [US] ET AL) 4. Mai 2017 (2017-05-04)	1,3-6, 8-12
Y	Anspruch 1	7
	----- -/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

1. Oktober 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/10/2018

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

Müller-Nagy, Andrea

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	CHRISTOPH G KELLER ET AL: "Active Pedestrian Safety by Automatic Braking and Evasive Steering", IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, Bd. 12, Nr. 4, 1. Dezember 2011 (2011-12-01), Seiten 1292-1304, XP011379326, ISSN: 1524-9050, DOI: 10.1109/TITS.2011.2158424 Abschnitt A.; Seite 1296, linke Spalte -----	7
X	DE 10 2007 037610 A1 (SIEMENS RESTRAINT SYSTEMS GMBH [DE]) 19. Februar 2009 (2009-02-19) Absätze [0008], [0015], [0034], [0047], [0048] -----	1,2,9-12
X	DE 10 2013 202463 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 21. August 2014 (2014-08-21) Absätze [0005], [0011], [0016], [0030] - [0043] -----	1,2,9,12
X	DE 10 2014 103579 A1 (DENSO CORP [JP]) 2. Oktober 2014 (2014-10-02) Absätze [0038] - [0040] -----	1,2,9-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/064859

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014201382 A1	30-07-2015	CN 104802796 A	29-07-2015
		DE 102014201382 A1	30-07-2015
		US 2015210311 A1	30-07-2015
		US 2016152269 A1	02-06-2016

US 2016101779 A1	14-04-2016	CN 105324275 A	10-02-2016
		DE 112013007129 T5	03-03-2016
		JP 5939357 B2	22-06-2016
		JP WO2014192137 A1	23-02-2017
		US 2016101779 A1	14-04-2016
		WO 2014192137 A1	04-12-2014

US 2017120902 A1	04-05-2017	US 2017120902 A1	04-05-2017
		WO 2017079311 A1	11-05-2017

DE 102007037610 A1	19-02-2009	DE 102007037610 A1	19-02-2009
		DE 112008001804 A5	15-07-2010
		WO 2009019214 A2	12-02-2009

DE 102013202463 A1	21-08-2014	KEINE	

DE 102014103579 A1	02-10-2014	DE 102014103579 A1	02-10-2014
		JP 6022983 B2	09-11-2016
		JP 2014197326 A	16-10-2014
		US 2014292502 A1	02-10-2014
