

(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
12. Februar 2009 (12.02.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/019214 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B60R 21/015 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/060137

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. August 2008 (01.08.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 037 610.5 9. August 2007 (09.08.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CONTINENTAL SAFETY ENGINEERING INTERNATIONAL GMBH [DE/DE]; Karl-Zeiss-Strasse 9, 63755 Alzenau (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHERF, Oliver [DE/DE]; Bergstr. 20, 63856 Bessenbach (DE). ZECHA, Stephan [DE/DE]; Spessartstr. 47, 63768 Hösbach (DE).

(74) Anwalt: BONN, Roman; c/o Continental Automotive GmbH, Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING A PROBABLE MOVEMENT AREA/LOCATION AREA OF A LIVING BEING

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BESTIMMEN EINES WAHRSCHEINLICHEN BEWEGUNGS-AUFENTHALTSBE-
REICHS EINES LEBEWESENS

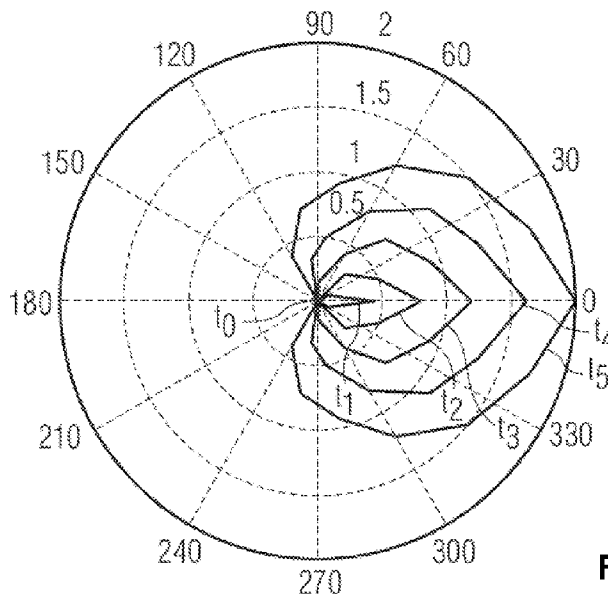


FIG. 3

(57) Abstract: The invention describes a method for determining a probable movement area/location area of a living being, in particular for use in a passenger protection system in a vehicle or a driving simulator. The information on the surroundings is sensed with at least one sensor system. The information on the surroundings is evaluated with a computing unit in order to identify a living being. A movement trajectory and a movement state are determined for the living being at a given time. In order to determine the movement area/location area, possible locations are determined at the given time on the basis of a location of the movement trajectory and the movement state taking into account a physiological movement capability of the living being for one or more points in time in the future.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/019214 A2



EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zum Bestimmen eines wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs eines Lebewesens, insbesondere für die Anwendung in einem Personenschutzsystem in einem Fahrzeug oder einem Fahrsimulator. Die Umgebungsinformationen werden mit zumindest einer Sensorik erfasst. Die die Umgebungsinformationen werden mit einer Recheneinheit ausgewertet, um ein Lebewesen zu identifizieren. Für das Lebewesen werden eine Bewegungstrajektorie und ein Bewegungszustand zu einem gegebenen Zeitpunkt ermittelt. Zur Ermittlung des Bewegungs-Aufenthaltsbereichs werden zu dem gegebenen Zeitpunkt ausgehend von einem Ort der Bewegungstrajektorie und dem Bewegungszustand unter Berücksichtigung eines physiologischen Bewegungsvermögens des Lebewesens für einen oder mehrere zukünftige Zeitpunkte mögliche Aufenthaltsorte bestimmt.

Beschreibung

**Verfahren zum Bestimmen eines wahrscheinlichen Bewegungs-
Aufenthaltsbereichs eines Lebewesens**

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen eines
wahrscheinlichen zukünftigen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs
eines Lebewesens, insbesondere für die Anwendung in einem
Personenschutzsystem in einem Fahrzeug oder einem Fahrsimula-
10 tor. Bei diesen werden mit zumindest einer Sensorik Umge-
bungsinformationen erfasst. Die Umgebungsinformationen werden
mit einer Recheneinheit ausgewertet, um ein Lebewesen zu i-
dentifizieren. Weiter werden für das Lebewesen eine Bewe-
gungstrajektorie und ein Bewegungszustand zu einem gegebenen
15 Zeitpunkt ermittelt.

Aus der DE 101 32 681 C1 ist darüber hinaus ein Verfahren zur
Klassifizierung von einem Hindernis anhand von Precrashsen-
sorsignalen bekannt, bei dem die Hindernisgeschwindigkeit
20 ausgewertet und daran das Hindernis klassifiziert wird, also
ein langsames Hindernis als Fußgänger eingestuft wird und in
diesem Falle Fußgängerschutzeinrichtungen aktiviert.
Eine Beurteilung des zukünftigen Bewegungs-Aufenthalts-
bereichs wird nicht vorgenommen oder zumindest nicht näher
25 beschrieben.

Um das Risiko einer Kollision im Straßenverkehr zwischen
Kraftfahrzeugen und Fußgängern, Radfahrern oder Tieren (all-
gemein Lebewesen) zu erkennen und bei entsprechend hoher Kol-
30 lisionswahrscheinlichkeit entsprechende Schutzmaßnahmen ein-
zuleiten, ist eine Erfassung und Beurteilung jeweiliger Ver-
kehrssituationen notwendig. Anhand dieser Informationen kann
einerseits ein Bewegungszustand des Fahrzeugs und anderer-
seits ein Bewegungszustand des jeweils beobachteten Lebewe-
35 sens ermittelt werden. Anhand einer Extrapolation wird das
weitere Bewegungsverhalten der beiden Verkehrsteilnehmer er-
mittelt. Durch eine Kombination der Aufenthaltswahrschein-

lichkeiten der beiden Verkehrsteilnehmer kann ein Kollisionsrisiko abgeschätzt werden.

Für die Zuverlässigkeit der Abschätzung des Kollisionsrisikos ist die Prognosefähigkeit des Bewegungsverhaltens des Lebewesens von entscheidender Bedeutung. Je genauer die Prognosefähigkeit ausgebildet ist, desto eher ist eine selektive Auslösung von an die Situation angepassten Schutzsystemen möglich. Hierdurch können insbesondere auch Fehlauflösungen vermieden werden, die nichts zum Schutz der Verkehrsteilnehmer beitragen und lediglich die Instandhaltungskosten des Fahrzeugs erhöhen oder im Fall von Falschwarnungen den Fahrer irritieren oder Folgeschäden nach sich ziehen.

Die DE 103 25 762 A1 beschreibt ein Verfahren zum Betrieb eines Bildverarbeitungssystems für ein Fahrzeug. Bei diesem werden mit wenigstens einem Bildsensor Umgebungsinformationen erfasst und mit einer Recheneinheit dahingehend ausgewertet, um das Vorhandensein von Verkehrsteilnehmern zu erkennen. Dabei wird die Blickrichtung eines oder mehrerer erkannter Verkehrsteilnehmer erfasst. Hierdurch wird die Abschätzung eines Kollisionsrisikos vorgenommen, indem die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer berücksichtigt wird. Die Erfassung der Blickrichtung eines oder mehrerer Verkehrsteilnehmer wird als Maß für die Aufmerksamkeit herangezogen. Hierbei liegt die Überlegung zu Grunde, dass die Blickrichtung eines Verkehrsteilnehmers anzeigt, ob dieser aufmerksam ist und z.B. ein herannahendes Fahrzeug durch diesen Verkehrsteilnehmer wahrgenommen wird. Das Kollisionsrisiko wird als höher eingestuft, wenn der Verkehrsteilnehmer in eine dem Bildsensor entgegengesetzte Richtung blickt als wenn dieser dagegen direkt in den Bildsensor blickt. Es ist ferner vorgesehen, in Abhängigkeit der erfassten und ausgewerteten Blickrichtung erkannten Verkehrsteilnehmer ein Wahrscheinlichkeitsmaß zur Abschätzung des Kollisionsrisikos zu bilden. Dieses wird aufgrund von Bewegungsinformationen des Fahrzeugs und/oder des oder der erkannten Verkehrsteilnehmer gebildet.

Bei der Bewegungsinformation handelt es sich um Geschwindigkeit, Richtung sowie Trajektorie, mit der sich ein Fahrzeug und/oder ein erkannter Verkehrsteilnehmer bewegen.

5 Die DE 10 2005 051 805 B3 beschreibt ein Verfahren zur Unterstützung eines Fahrers in Gefahrenbereichen, bei dem Umgebungsinformationen aus der Fahrzeugumgebung erfasst werden, um einen Gefahrenbereich und dessen Topologie zu erkennen. Aufgrund der Topologie des Gefahrenbereichs wird dann eine
10 zum Passieren des Gefahrenbereichs notwendige Minimalgeschwindigkeit und zulässige Maximalgeschwindigkeit bestimmt.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile aus dem Stand der Technik zu vermeiden und ein Verfahren
15 zum Bestimmen eines wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs eines Lebewesens anzugeben, welches eine zuverlässigere und präzisere Vorhersage über den wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereich erlaubt.

20 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Bestimmen eines wahrscheinlichen zukünftigen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs eines
25 Lebewesens, insbesondere für die Anwendung in einem Personenschutzsystem in einem Fahrzeug oder einem Fahrsimulator, werden mit zumindest einer Sensorik Umgebungsinformationen erfasst. Die Umgebungsinformationen werden mit einer Recheneinheit
30 ausgewertet, um ein Lebewesen zu identifizieren. Sodann werden für das Lebewesen eine Bewegungstrajektorie und ein Bewegungszustand zu einem gegebenen Zeitpunkt ermittelt.

Zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs zu dem gegebenen Zeitpunkt werden ausgehend von einem Ort der Bewegungstrajektorie und dem Bewegungszustand unter Berücksichtigung eines physiologischen Bewegungsvermögens des Lebewesens für einen oder mehrere zukünftige Zeitpunkte mögliche Aufenthaltsorte bestimmt.

In der nachfolgenden Beschreibung wird unter einem Lebewesen ein Radfahrer, ein Fußgänger oder ein Tier verstanden. Unter einem Bewegungs-Aufenthaltsbereich des Lebewesens wird ein Bereich verstanden, in dem sich das Lebewesen in einem zukünftigen oder nächsten Zeitpunkt mit einer hohen Wahrscheinlichkeit (größer als 50 %, insbesondere größer als 70 % und weiter bevorzugt größer als 90 %) aufhalten wird.

Der Erfindung liegt der Gedanke zu Grunde, dass sich das Lebewesen physiologisch bedingt nicht in alle Richtungen mit dem gleichen Beschleunigungsvermögen weiterbewegen kann. Im Gegensatz zu konventionellen Trajektoriealgorithmen wird also nach diesem Verfahren gerade nicht die derzeitige Bewegungsform in die Zukunft fortgeschrieben, sondern auf deren Basis ein beschränktes physiologisches Bewegungsvermögen berücksichtigt. Zudem haben Lebewesen im Gegensatz zu den sonst üblichen Objekten im Straßenverkehr die Möglichkeit eines abrupten Richtungswechsels durch Drehung um die eigene Achse, Schritte seitwärts oder nach hinten, was den Bewegungs-Aufenthaltsbereich des Lebewesens gegenüber herkömmlichen Trajektorievorhersagen massiv verändert, wie aufgrund diverser Bewegungsstudien festgestellt werden konnte.

Durch die sensorische Aufnahme von Umgebungsinformationen, beispielsweise unter Verwendung bildgebender Verfahren, lassen sich einerseits eine Bewegungstrajektorie und andererseits ein Bewegungszustand für das Lebewesen ermitteln. Durch die Verknüpfung dieser beiden Informationen mit dem physiologischen Bewegungsvermögen des Lebewesens, das biomechanische Gegebenheiten des erfassten Lebewesens berücksichtigt,

lassen sich mit größerer Genauigkeit für einen oder mehrere zukünftige Zeitpunkte mögliche Aufenthaltsorte bestimmen. Diese Informationen können dann einer Risikomodellierung zugeführt werden, um beispielsweise abzuschätzen, wie hoch eine Kollisionswahrscheinlichkeit des Lebewesens mit dem Fahrzeug ist.

Die Sensorik zur Erfassung der Umgebungsinformationen kann beispielsweise Radar, Lidar, Kameras, Ultraschallsensoren umfassen oder durch Kommunikationstechnologien, wie z.B. RFID (RFID = Radio Frequency Identification) oder GPS (GPS = Global Positioning System) gebildet oder unterstützt sein.

Zweckmäßigerweise wird das Verfahren iterativ für zeitlich fortschreitende Zeitpunkte durchgeführt, wodurch eine hohe Prognosequalität erhalten wird.

Als Parameter für die Ermittlung des Bewegungszustands und/oder des zukünftig möglichen Bewegungsaufenthaltsbereichs werden einer oder mehrere der folgenden Parameter ermittelt und verarbeitet:

- Eine Position des Lebewesens. Hierunter wird insbesondere eine Relativposition des Lebewesens zu dem Fahrzeug verstanden. Das Kriterium kann auch ein Abstand oder eine Relativposition des Lebewesens zu einem ermittelten Bewegungsverlauf des Fahrzeugs sein.
- Eine Ausrichtung des Lebewesens zur Umgebung. Hierunter wird insbesondere verstanden, in welchem Winkel das Lebewesen zur Umgebung, insbesondere zum Fahrzeug oder zu einer Fahrbahn, sich befindet. Aufgrund des physiologischen Bewegungsvermögens des Lebewesens spielt die Ausrichtung des Lebewesens zur Umgebung, z.B. mit dem Rücken zur Fahrbahn oder dem Fahrzeug stehend oder seitlich zur Fahrbahn oder dem Fahrzeug gehend, eine große Rolle für den zukünftig möglichen Bewegungsaufenthaltsbereich.

- Eine translatorische und/oder rotatorische Geschwindigkeit des Lebewesens. Das physiologische Bewegungsvermögen und damit der zukünftig mögliche Bewegungsaufenthaltsbereich hängen von einer Geschwindigkeit des Lebewesens ab, mit welcher sich dieses bewegt.
- Eine translatorische und/oder rotatorische Beschleunigung des Lebewesens, von welcher aufgrund des physiologischen Bewegungsvermögens des Lebewesens die von diesem erreichbare maximale Geschwindigkeit und/oder das weitere Beschleunigungsvermögen abhängen.
- Ein vorliegender Krümmungsradius der Bewegung des Lebewesens und/oder eine Änderung in einer Bewegungsrichtung oder eines Krümmungsradius der Bewegung des Lebewesens. Diesem zu berücksichtigenden Parameter liegt die Überlegung zu Grunde, dass ein Lebewesen, das bereits eine Kurve vollzieht, eine Änderung der Bewegungsrichtung und/oder der Geschwindigkeit und/oder der Beschleunigung nur eingeschränkt vornehmen kann im Vergleich zu einem geradeaus laufenden Lebewesen.
- Ein insbesondere witterungsabhängiger Bodenreibwert des Untergrunds, welcher z.B. bei ermittelter Feuchtigkeit skaliert werden kann. Der Bodenreibwert ist von entscheidender Bedeutung für das Beschleunigungsvermögen des Lebewesens.
- Eine Klasse des Lebewesens, insbesondere das Alter des Lebewesens, ein vorgegebenes Körperabmaß (bspw. Höhe, Bein- oder Schrittlänge), ein Geschlecht oder eine Gattung (bspw. Mensch/Tier/Kind/Fahrradfahrer)
- ein Bewegungsvermögen durch einen oder mehrere Seitwärtsschritte
- ein Bewegungsvermögen durch einen oder mehrere Rückwärtsschritte.

Gerade die Fähigkeiten einzig von Lebewesen, sich um die eigene Achse zu drehen, seitwärts oder zumindest aus dem Stand abrupt rückwärts zu gehen, sich also entgegen der aktuellen Ausrichtung des Körpers zu bewegen, andererseits aber eben

auch gerade ein begrenztes und auch unterschiedliches physiologisches Bewegungsvermögen in alle Richtungen ergeben für die Vorhersage des wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs signifikant andere Ergebnisse als konventionelle
5 Trajektoriealgorithmen.

Die oben aufgeführten Parameter können beispielsweise durch die Auswertung von Bildinformationen und/oder Ortsinformationen bestimmt werden.

10 Wenngleich bestimmte Parameter hiervon, wie die Position, Ausrichtung, translatorische Geschwindigkeit und Beschleunigung oder der Kurvenradius, bereits auch für konventionelle Trajektoriealgorithmen ebenfalls erfasst und berücksichtigt werden, so unterscheidet sich das vorliegende Verfahren doch
15 daran, dass für die Vorhersage des wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs immer das physiologische Bewegungsvermögen berücksichtigt wird, wodurch keine starre Fortsetzung des bisherigen Bewegungszustands, sondern eine Einbeziehung und Begrenzung auf das aktuell physiologische Mögliche
20 erfolgt.

In einer weiteren Ausgestaltung wird aus einer Datenbank oder einem Kennlinienfeld ein dem oder den ermittelten Parametern zugeordneter möglicher zukünftiger Aufenthaltsort oder
25 -bereich des Lebewesens ausgelesen, indem die messtechnisch erfassten Parameter beispielsweise mit in der Datenbank oder dem Kennlinienfeld hinterlegten Parametern verglichen werden. Die der Datenbank oder dem Kennlinienfeld zu Grunde liegenden Parameter können beispielsweise durch Versuche ermittelt worden
30 sein.

Alternativ werden einer oder mehrere der Parameter einem Modellrechner zugeführt zur Ermittlung des Bewegungs-Aufenthaltsbereichs des Lebewesens, wobei dem Modellrechner
35 ein abstrahiertes Bewegungsmodell für Lebewesen zu Grunde gelegt ist. Hierbei werden die messtechnisch erfassten Parameter dem Modellrechner zugeführt, welcher anhand des Bewe-

gungsmodells für Lebewesen in der Lage ist, den zukünftig
möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereich zu ermitteln. Dieses
Vorgehen weist den Vorteil auf, dass auf einfachere Weise un-
terschiedliche Klassen von Lebewesen berücksichtigt werden
5 können, indem durch entsprechende Skalierung einzelne Parame-
ter stärker oder schwächer berücksichtigt werden. Ein weite-
rer Vorteil besteht darin, dass der zukünftig mögliche Bewe-
gungs-Aufenthaltsbereich auf Basis physikalischer Gegebenhei-
ten und empirisch ermittelter Daten bestimmt werden kann.
10 Hierdurch lässt sich eine hohe Genauigkeit in der Vorhersage
erzielen.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird zur Ermittlung des
zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ein Bewe-
15 gungsverlauf in Abhängigkeit der aktuellen Geschwindigkeit,
der aktuellen Ausrichtung und der aktuellen Körperrotation
ermittelt.

In einer weiteren Ausgestaltung wird zur Ermittlung des zu-
20 künftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs das maximale
Beschleunigungsvermögen des Lebewesens in Abhängigkeit seiner
Bewegungsgeschwindigkeit berücksichtigt. Hierbei liegt die
Überlegung zu Grunde, dass das Beschleunigungsvermögen eines
Lebewesens über den von einem Lebewesen abgedeckten Geschwin-
25 digkeitsbereich nicht konstant, sondern variabel ist. Glei-
ches gilt für das Verzögerungsvermögen eines Lebewesens. Wei-
terhin hat sich herausgestellt, dass das Verzögerungsvermögen
eines Lebewesens größer ist als das Beschleunigungsvermögen.
Diese Erkenntnis kann sich bei der Ermittlung des zukünftig
30 möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs zu Nutze gemacht wer-
den. Neben einem maximalen Beschleunigungsvermögen in die
bisherige Bewegungsrichtung wird dabei vorzugsweise auch ein
maximales Beschleunigungsvermögen entgegengesetzt zur bishe-
rigen Bewegungsrichtung und/oder Ausrichtung des Lebewesens
35 vorgegeben.

So werden für das Lebewesen vorzugsweise zumindest einer der folgenden Parameter vorgegeben:

- eine Maximalgeschwindigkeit, ab der das Beschleunigungsvermögen in bisherige Bewegungsrichtung Null wird, d.h. die absolute Höchstgeschwindigkeit,
 - eine Maximalbeschleunigung sowohl in als auch entgegen der Ausrichtung eines stehenden Lebewesens,
 - eine Geschwindigkeit, bei der das maximale Beschleunigungsvermögen in die bisherige Bewegungsrichtung maximal ist,
 - eine Geschwindigkeit, bei der das maximale Beschleunigungsvermögen entgegengesetzt zur bisherigen Bewegungsrichtung und/oder Ausrichtung des Lebewesens betragsmäßig maximal ist, d.h. bei der das Lebewesen maximal abbremsen kann,
 - eine Maximalgeschwindigkeit entgegen der Ausrichtung des Lebewesens, ab der das Beschleunigungsvermögen entgegen der Ausrichtung Null wird. Aus diesen Werten können dann ausgehend von einer aktuellen Bewegungsform das dementsprechende Beschleunigungsvermögen in Bewegungsrichtung sowie entgegen, also das Abbremsvermögen bestimmt werden. Alternativ können natürlich entsprechende Kennlinien hinterlegt sein.
- Diese Werte sind vorzugsweise in Abhängigkeit von der Klasse des Lebewesens, insbesondere Alter, Geschlecht und Körpermaßen varierend vorgegeben.

In einer weiteren Ausgestaltung wird zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ein minimal durchlaufbarer Kurvenradius in Abhängigkeit der vorliegenden Laufgeschwindigkeit und/oder -beschleunigung berücksichtigt. Die Kenntnis eines minimal durchlaufbaren Kurvenradius ermöglicht eine Prognose wie schnell ein Lebewesen seine Richtung ändern kann, um beispielsweise über eine Fahrbahn zu laufen oder mit dem Bewegungsverlauf des Fahrzeugs zu kreuzen.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, dass zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ein maximales Verzögerungsvermögen in Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit und/oder einem Kurvenradius der Bewegung des

Lebewesens berücksichtigt wird. Mit dieser Information kann beispielsweise berücksichtigt werden, ob ein potentiell mit dem Fahrzeug kollidierendes Lebewesen in der Lage ist, rechtzeitig vor einem Kollisionsbereich zum Stehen zu kommen oder
5 sich von dem Kollisionsbereich zu entfernen.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs einen Winkel zu berücksichtigen, in dem das Lebewesen zu einem ermittelten
10 Fahrverlauf des Fahrzeugs steht oder sich zu diesem bewegt, wobei in Abhängigkeit des Winkels ermittelt wird, in welcher Zeit das Lebewesen sich in Richtung des Fahrverlaufs drehen und im Wesentlichen gleichzeitig beschleunigen kann, um in den Bereich des Fahrverlaufs zu gelangen. Die Kenntnis des
15 Winkels sowie die von dem Lebewesen benötigte Zeit, um z.B. auf die Fahrbahn zu gelangen, ermöglicht eine präzisere Abschätzung eines zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs und damit eine verbesserte Abschätzung eines Kollisionsrisikos.

20 Als Winkel wird ein Winkel zwischen 150° und 210° und damit ein mit dem Rücken zum Fahrverlauf stehendes oder sich bewegendes Lebewesen berücksichtigt. Alternativ wird insbesondere als Winkel ein Winkel zwischen 60° und 120° und damit ein
25 seitlich zum Fahrverlauf stehendes oder sich bewegendes Lebewesen berücksichtigt. Der Fahrverlauf kann hierbei mit dem Verlauf einer Fahrbahn übereinstimmen.

Zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-
30 Aufenthaltsbereichs wird eine Relativposition des Lebewesens zum Fahrverlauf, insbesondere ein Abstand berücksichtigt, indem das Lebewesen zu dem Fahrverlauf steht oder sich zu diesem bewegt, wobei in Abhängigkeit der Relativposition ermittelt wird, in welcher Zeit das Lebewesen beschleunigen kann,
35 um in den Bereich des Fahrverlaufs zu gelangen.

Es ist ferner vorgesehen, dass zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs Umgebungsinformationen und/oder Hindernisse berücksichtigt werden. Diese Informationen können beispielsweise durch digitale Karten oder die
5 Umfoldsensorik ermittelt werden. Die Berücksichtigung von Hindernissen, z.B. einem Straßenverlauf, dem Vorhandensein von Häuserwänden und dergleichen, ermöglicht eine weitere Steigerung der Vorhersagegenauigkeit des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs.

10

Der ermittelte Bewegungs-Aufenthaltsbereich des Lebewesens soll gemäß einer weiteren Ausgestaltung als Eingangsgröße für eine Risikomodellierung verwendet werden, bei welcher die Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen dem Lebewesen und einem
15 Fahrzeug, welches das erfindungsgemäße Verfahren ausführt, ermittelt wird.

20

Hierbei kann vorgesehen sein, dass in der Risikomodellierung der ermittelte Bewegungs-Aufenthaltsbereich und ein weiterer Bewegungspfad, insbesondere ein Bewegungsverlauf eines Fahrzeugs, miteinander verarbeitet werden, um das Kollisionsrisiko des Lebewesens und des Fahrzeugs zu ermitteln.

25

In einer weiteren Ausgestaltung wird der Bewegungs-Aufenthaltsbereich in mehrere Bereiche mit unterschiedlichen Aufenthaltswahrscheinlichkeiten unterteilt. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass für einen ermittelten, zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereich einzelne Bereiche mit Aufenthaltswahrscheinlichkeiten versehen werden, wobei die
30 Aufenthaltswahrscheinlichkeit ein Maß für die Wahrscheinlichkeit ist, mit der sich das Lebewesen in den nächsten Millisekunden oder Sekunden, ausgehend von der über die Zeit gemessenen Position (Bewegung), aufhalten wird. Anhand der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten können beispielsweise Maßnahmen zur
35 Vermeidung einer Kollision festgemacht werden. So ist es beispielsweise in einem Bereich mit einer geringen Aufenthaltswahrscheinlichkeit unter Umständen ausreichend, wenn das

Fahrzeug eine autonome Bremsung vornimmt und/oder ein Warnsignal abgibt. In einem Bereich mit einer hohen Aufenthaltswahrscheinlichkeit kann es gegebenenfalls sinnvoll sein, sowohl autonom zu bremsen als auch eine Lenkbewegung zu vollziehen, um das Kollisionsrisiko zu verringern.

Es kann ferner vorgesehen sein, dass bei der Ermittlung der Bereiche mit unterschiedlichen Aufenthaltswahrscheinlichkeiten charakteristische Bewegungsablaufmuster für vorgegebene Verkehrssituationen, insbesondere bauliche Begrenzungen, Fußgängerüberwege und Ampeln des Lebewesens berücksichtigt werden. Hierbei wird beispielsweise berücksichtigt, dass das Lebewesen bei einer von grün auf rot umspringenden Fußgängerampel noch versuchen wird, über die Straße zu gelangen. Derartige Kenntnis kann zur Ergreifung geeigneter Maßnahmen bei der Minimierung des Kollisionsrisikos berücksichtigt werden.

Die Erfindung umfasst dabei auch ein Fahrzeug mit einem Schutzsystem für Lebewesen ausserhalb des Fahrzeugs, insbesondere Fußgängerschutzeinrichtungen ausgestattet zur Durchführung des Verfahrens

- mit zumindest einer Sensorik, um Umgebungsinformationen zu erfassen,
- einer Recheneinheit, welche die Umgebungsinformationen ausgewertet werden, um ein Lebewesen zu identifizieren, für das Lebewesen eine Bewegungstrajektorie und ein Bewegungszustand zu einem gegebenen Zeitpunkt zu ermitteln und einen wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereich und daraus eine Kollisionswahrscheinlichkeit und damit Notwendigkeit zur Auslösung des Schutzsystems abzuleiten, wobei
- das Fahrzeug zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche ausgebildet, insbesondere
- die Sensorik zur Erfassung von Parametern von Lebewesen und deren physiologischem Bewegungsvermögen sowie
- die Recheneinheit zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs zu dem gegebenen Zeitpunkt

ausgehend von einem Ort der Bewegungstrajektorie und dem Bewegungszustand unter Berücksichtigung eines physiologischen Bewegungsvermögens des Lebewesens für einen oder mehrere zukünftige Zeitpunkte ausgebildet ist.

5

Die Erfindung wird nachfolgend weiter unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen lateralem Beschleunigungs- und Verzögerungsvermögen eines Lebewesens in Abhängigkeit einer von ihm erreichten Geschwindigkeit verdeutlicht,
- Fig. 2 ein Diagramm, das den Zusammenhang zwischen Rotationsvermögen eines Lebewesens in Abhängigkeit einer von ihm erreichten lateralen Geschwindigkeit verdeutlicht,
- Fig. 3 ein Polardiagramm, welches den Bewegungsspielraum eines stehenden Menschen unter Berücksichtigung von lateralem Beschleunigungsvermögen sowie Rotationsvermögen zeigt,
- Fig. 4 ein Polardiagramm, welches den Bewegungsspielraum eines stehenden Menschen unter Berücksichtigung von lateralem Beschleunigungsvermögen sowie Rotationsvermögen sowie Bewegungsvermögen seitwärts und rückwärts zeigt,
- Fig. 5 ein Diagramm, welches den Bewegungsspielraum eines sich mit einer Geschwindigkeit fortbewegenden Menschen in Längs- und Querrichtung verdeutlicht, und
- Fig. 6 ein Ablaufdiagramm, aus dem das erfindungsgemäße Verfahren hervorgeht.

Um das Kollisionsrisiko zwischen einem Fahrzeug und einem Lebewesen, insbesondere einem Fußgänger, Radfahrer oder Tier, bestimmen zu können, ist es notwendig, einerseits einen Bewegungsverlauf des Fahrzeugs (sog. Fahrschlauch) und andererseits einen Bewegungsverlauf des Lebewesens zuverlässig zu prognostizieren. Während die Ermittlung des Fahrschlauchs eines Fahrzeugs bereits mit hoher Präzision vornehmbar ist, ist die Ermittlung des Bewegungsverlaufs des Lebewesens bislang mit einer Vielzahl von Unsicherheitsfaktoren behaftet. Die vorliegende Erfindung ermöglicht eine präzise und zuverlässige Bestimmung eines wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs des Lebewesens, bei dem neben einer Bewegungstrajektorie und einem Bewegungszustand zu einem gegebenen Zeitpunkt ein physiologisches Bewegungsvermögen des Lebewesens für einen oder mehrere zukünftige Zeitpunkte berücksichtigt werden, um daraus mögliche Aufenthaltsorte und schließlich den zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereich zu ermitteln. Die Ergebnisse der Ermittlung des möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs des Lebewesens werden dann einer bekannten Risikomodellierung als Eingangsgröße zugeführt, um den wahrscheinlichen Ort einer Kollision und die Wahrscheinlichkeit der Kollision zwischen dem Fahrzeug und dem Lebewesen abzuschätzen und entsprechende Schutzmaßnahmen vorbereiten bzw. einleiten zu können.

Bei der Betrachtung des physiologischen Bewegungsvermögens werden verschiedenste Bewegungszustände sowie Kombinationen möglicher Bewegungszustände berücksichtigt.

So wird beispielsweise die maximale Beschleunigung aus dem Stand ohne Drehung, mit einer Drehung um 90° sowie einer Drehung um 180° berücksichtigt. Bei der Berücksichtigung des maximalen Beschleunigungsvermögens aus dem Stand eines Fußgängers wurde beispielsweise herausgefunden, dass das Beschleunigungsvermögen von einem Anfangswert zunächst auf einen Maximalwert zunimmt, um dann mehr oder minder kontinuierlich mit zunehmender Geschwindigkeit des Fußgängers wiederum abzu-

nehmen. Bei einer Drehung um 180° wurde herausgefunden, dass das maximale Beschleunigungsvermögen einerseits stark altersabhängig und andererseits um einen statistischen Mittelwert stark nach oben und unten abweicht. Dabei können jedoch im Vergleich zum Beschleunigungsvermögen aus dem Stand betragsmäßig lediglich geringere Beschleunigungswerte erreicht werden.

In entsprechender Weise wird das maximale Verzögerungsvermögen eines Fußgängers aus vollem Lauf, einmal ohne Wegdrehen und ein anderes Mal mit maximal möglicher Richtungsänderung berücksichtigt. Auch hier wurden starke, alterabhängige Unterschiede festgestellt. Das Verzögerungsvermögen aus vollem Lauf ohne Richtungsänderung ist betragsmäßig größer als das maximale Beschleunigungsvermögen des Fußgängers.

Ein weiterer, den möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereich beeinflussender Parameter ist die maximale Beschleunigung aus einer Gehgeschwindigkeit heraus. Dabei werden folgende typische Fälle berücksichtigt: eine Drehung um 90° nach links sowie rechts sowie eine Drehung um 45° nach links und rechts. Hierbei wurden minimal mögliche Kurvenradien des Fußgängers ermittelt. Dabei wurde herausgefunden, dass ein minimaler Kurvenradius durch Fußgänger, gleich welchen Alters, nicht unterschritten werden konnte. Diese Information ist wertvoll, um abschätzen zu können, an welchem Ort und gegebenenfalls in welcher Zeit sich ein Fußgänger in Richtung einer Fahrbahn drehen und bewegen kann, auf welchem sich ein Fahrzeug nähert.

In entsprechender Weise wurden Kurvenradien eines Fußgängers aus vollem Lauf nach links und rechts ermittelt.

Zur Abschätzung des physiologischen Bewegungsvermögens wurden ferner ein Sprung nach vorne sowie ein seitlicher Sprung berücksichtigt. Die hierbei erreichbaren Zeiten sowie Distanzen können hilfreich dazu verwendet werden, wie insbesondere ein

Fußgänger in einer plötzlich auftretenden Gefahrensituation reagieren kann.

Fig. 1 zeigt ein Diagramm, in welchem das Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsvermögen eines Fußgängers in Abhängigkeit von seiner zurückgelegten Geschwindigkeit dargestellt ist. Der Begriff der bisherigen Bewegungsrichtung/Ausrichtung bedeutet dabei, dass von einem Lebewesen ausgegangen wird, welches sich in der Ausrichtung seines Körpers, also insbesondere Rumpfes fortbewegt, wobei bei einem stehenden Lebewesen ja keine Bewegungsrichtung, aber eben eine entsprechende Körperausrichtung vorhanden ist.

In Quadrant Q1 ist das positive Beschleunigungsvermögen in bisherige Bewegungsrichtung/Ausrichtung dargestellt.

In Quadrant Q2 ist das negative Beschleunigungsvermögen, also die Abbremsfähigkeit bei Vorwärtsbewegung dargestellt, während Quadranten Q3 und Q4 von einer vorliegenden Bewegung rückwärts zur Ausrichtung ausgehen und somit Q3 das für diese Bewegungsrichtung negative Beschleunigungsvermögen, also Abbremsen und ggfs. wieder in Normalrichtung beschleunigen beschreibt, während Q4 das Beschleunigungsvermögen im Rückwärtsgang zeigt.

Zunächst ist in Fig. 1 als ganz entscheidender Unterschied zu herkömmlichen Trajektoriealgorithmen festzuhalten, dass auch einem stehenden Fußgänger ein definiertes Beschleunigungsvermögen sowohl in als auch entgegen der Ausrichtung zugeordnet wird.

Wie aus dem Diagramm ohne Weiteres zu erkennen ist, ist das maximale Beschleunigungsvermögen a_{\max} und das maximale Verzögerungsvermögen $-a_{\max}$ nicht bei in etwa einer gleichen Geschwindigkeit v ausgeprägt, sondern nimmt das Beschleunigungsvermögen mit zunehmender Geschwindigkeit frühzeitig ab, während auch bei höheren Geschwindigkeiten noch ein deutlich höheres Verzögerungsvermögen festzustellen ist. Betragsmäßig

ist hierbei das Verzögerungsvermögen eines Fußgängers größer als sein Beschleunigungsvermögen.

Zudem wird erstmalig ein Bewegungsvermögen entgegengesetzt zur Ausrichtung berücksichtigt, wenngleich zwar auch Fahrzeuge rückwärts fahren könnten, dies in der Trajektorie jedoch nie gesondert berücksichtigt wurde. Berücksichtigt man das physiologische Bewegungsvermögen jedoch entsprechend, so ist schon aus Fig. 1 zu erkennen, dass eben das Beschleunigungsvermögen wie auch die Maximalgeschwindigkeit entgegen der Ausrichtung deutlich von denen bei normalen Vorwärtsbewegung abweichen.

Gibt man einem Algorithmus beispielsweise folgende Parameter für das Lebewesen vor:

- eine Maximalgeschwindigkeit, ab der das Beschleunigungsvermögen in bisherige Bewegungsrichtung Null wird,
 - eine Maximalbeschleunigung sowohl in als auch entgegen der Ausrichtung eines stehenden Lebewesens,
 - eine Geschwindigkeit, bei der das maximale Beschleunigungsvermögen in die bisherige Bewegungsrichtung maximal ist,
 - eine Geschwindigkeit, bei der das maximale Beschleunigungsvermögen entgegengesetzt zur bisherigen Bewegungsrichtung und/oder Ausrichtung des Lebewesens betragsmäßig maximal ist,
 - eine Maximalgeschwindigkeit entgegen der Ausrichtung des Lebewesens, ab der das Beschleunigungsvermögen entgegen der Ausrichtung Null wird,
- so kann daraus relativ einfach und hinreichend genau das jeweilige Beschleunigungs- und Verzögerungsvermögen abgeleitet werden.

Diese Werte sind vorzugsweise in Abhängigkeit von der Klasse des Lebewesens, insbesondere Alter, Geschlecht und Körpermaßen varierend vorgegeben, da hier deutliche Unterschiede festzustellen sind.

Allein die Berücksichtigung dieses Zusammenhangs zwischen Beschleunigung und Geschwindigkeit eines Fußgängers ermöglicht im Vergleich zum Stand der Technik wesentlich präzisere Vorhersagen eines möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs und damit die Ermittlung einer Kollisionswahrscheinlichkeit.

Fig. 2 zeigt analog das Rotationsvermögen um die eigene Achse, wobei normalerweise das Rotationsvermögen zu beiden Richtungen symmetrisch ausgebildet ist, in Vorwärtsrichtung aber deutlich höher als im Rückwärtslauf und selbst bei hohen Geschwindigkeiten eine abnehmende, aber recht erstaunliche Drehfähigkeit erhalten bleibt. Damit unterscheidet sich aus dieser Parameter des physiologischen Bewegungsvermögens entscheidet von klassischen Trajektoriealgorithmen, da diese eine Drehung um die eigene Achse, erst recht nicht im Stand kennen.

Das seitliche physiologische Bewegungsvermögen, also quer zur Körperrichtung und normalen Laufrichtung wird zudem beeinflusst durch das Vermögen zu Seitwärtsschritten. Dieses Vermögen zu Seitwärtsschritten ist im Stand signifikant und führt auch bei geringer Fortbewegungsgeschwindigkeit zu den in den folgenden Figuren 3 und 4 im Vergleich erkennbaren Unterschieden im maximal erreichbaren Aufenthaltsraum, nimmt aber mit zunehmender Laufgeschwindigkeit deutlich ab und kann bei normaler Vorwärtsbewegung notfalls weggelassen und durch ein erhöhtes Drehvermögen ersetzt werden.

Fig. 3 in einem Polardiagramm den Bewegungsspielraum eines stehenden Fußgängers unter Berücksichtigung seines lateralen und rotatorischen Beschleunigungsvermögens unter Auslassung von Seitwärts- und Rückwärtsbewegungen. In dem Polardiagramm sind Winkel von 0° bis 360° eingezeichnet. Ein Winkel von 0° bedeutet hierbei, dass der Fußgänger geradeaus läuft. In dem Polardiagramm sind ferner konzentrische Kreise eingezeichnet, die mit 0,5, 1, 1,5 und 2 gekennzeichnet sind. Hierbei handelt es sich um Entfernungen (z.B. in Metern) relativ zu dem

Zentrum, an dem sich der Mensch zum Zeitpunkt t_0 befindet. Zu den Zeitpunkten t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 , wobei $t_5 > t_4 > t_3 > t_2 > t_1$ ist, kann sich der Mensch jeweils innerhalb der jeweils zugeordneten ISO-Linien aufhalten.

5

Aufgrund seines physiologischen Bewegungsvermögens kann sich dieser zu einem Zeitpunkt t_1 in einem durch die betreffende ISO-Linie umschlossenen Bereich bewegen. Hierbei ist im Wesentlichen eine Bewegung nach vorne (d.h. in Laufrichtung, Winkel 0°) möglich, während eine Abweichung von dem Winkel 0° nach links (im Gegenuhrzeigersinn) oder rechts (im Uhrzeigersinn) kaum möglich ist. Zu einem Zeitpunkt t_2 ($t_2 > t_1$) erweitert sich der Bereich nach vorne sowie auch nach rechts und links (vgl. die mit t_2 gekennzeichnete ISO-Linie). In entsprechender Weise kann sich der Fußgänger zu einem Zeitpunkt t_5 ($t_5 > t_4 > t_3 > t_2 > t_1$) in dem durch die entsprechende ISO-Linie umschlossenen Bereich aufhalten. Hierbei ist nicht nur eine Bewegung nach vorne, sondern auch eine Bewegung seitlich nach hinten möglich.

20

Bei der Betrachtung des Polardiagramms ergibt sich ohne Weiteres, dass das physiologische Bewegungsvermögen zu den im Vergleich zu t_0 in der Zukunft liegenden Zeitpunkten t_1 bis t_5 eine Bewegung in den Winkelbereich zwischen 120° und 240° nicht zulässt. Dieses Erkenntnis ist wichtig, wenn der Fußgänger z.B. mit dem Rücken der Fahrbahn zugewandt ist. Vielmehr erlaubt es der physiologische Bewegungsspielraum lediglich, dass sich der Fußgänger tendenziell geradeaus (Winkel 0°) nach vorne bewegt, wobei kurzfristig lediglich Abweichungen in einem Winkelbereich von weniger als $\pm 90^\circ$ und erst zu einem späteren Zeitpunkt (Zeitpunkt t_5) Abweichungen von $\pm 120^\circ$ möglich sind. Hierbei ergibt sich jedoch auch, dass mit zunehmendem Winkel die von dem Fußgänger zurücklegbare Distanz geringer wird. Nicht berücksichtigt ist hierbei in dieser Darstellung, dass ein Fußgänger auch einen Schritt nach hinten (Winkel 180°) machen kann, wobei die dabei zurücklegbare Strecke gering ist.

35

Diese Bewegungsformen seitwärts und rückwärts mit einbezogen, ergibt sich nochmal eine deutliche Änderung des Bewegungs-
Aufenthaltsbereichs, wie Fig. 4 zeigt. Es ergibt sich näherungsweise elliptisches Muster, wobei der Schwerpunkt der El-
lipse deutlich aus dem Nullpunkt in Richtung der normalen
5 Ausrichtung verschoben ist, da das Bewegungsvermögen in Ausrichtung höher als entgegen der Ausrichtung ist.

Fig. 5 zeigt ein Diagramm, welches den Bewegungsspielraum eines sich mit einer Geschwindigkeit v fortbewegenden Menschen
10 in Längsrichtung s_1 und Querrichtung s_q verdeutlicht. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass sich der Fußgänger zu einem Zeitpunkt 0 am Koordinatenursprung befindet und sich mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit in Längsrichtung (d.h. längs
15 der x-Achse) bewegt. Zu einem Zeitpunkt $t = 0,4$ s kann sich der Fußgänger nach Berücksichtigung sämtlicher Parameter in dem mit BAB1 gekennzeichneten und schraffierten Bewegungs-Aufenthaltsbereich aufhalten. Zu einem Zeitpunkt $t = 0,6$ s kann sich der Fußgänger in dem mit BAB2 gekennzeichneten Bereich
20 aufhalten. In entsprechender Weise ist der mögliche Bewegungs-Aufenthaltsbereich BAB3 zum Zeitpunkt $t = 0,8$ s und BAB4 zum Zeitpunkt $t = 1$ s eingezeichnet. Hierbei ist gut ersichtlich, dass mit fortschreitender Zeit sich der Bewegungs-Aufenthaltsbereich zum einen zunehmend verbreitert, d.h. in
25 Querrichtung s_q erstreckt, und andererseits eine größere Tiefe aufweist. Dies resultiert daraus, dass die potentiellen Möglichkeiten des Fußgängers hinsichtlich einer Bewegung mit fortschreitender Zeit variabler werden, so dass sich hierdurch bedingt, auch der mögliche Aufenthaltsbereich vergrößert.
30

In Fig. 5 sind lediglich Bewegungs-Aufenthaltsbereiche BAB1, ..., BAB4 in einer Querrichtung (im Ausführungsbeispiel nach links) dargestellt. Es versteht sich von selbst, dass sich
35 der Bewegungs-Aufenthaltsbereich auch in die andere Querrichtung erstreckt und das in Fig. 5 gezeigte Diagramm deshalb an der x-Achse gespiegelt werden muss.

Fig. 6 zeigt ein Ablaufdiagramm, aus dem das erfindungsgemäße Vorgehen ersichtlich wird. In einem Schritt S1 wird eine IST-Position eines Fußgängers erfasst. Dies kann z.B. durch Bilddarfassungsmittel in einem Fahrzeug erfolgen. In einem

5 Schritt S2 wird eine Störung einer Positionsinformation (ST) berücksichtigt, welche z.B. durch Messfehler und dergleichen verursacht sein kann. Aus den in Schritt S2 ermittelten, bereinigten Daten wird in einem Schritt S3 eine Chronologie, d.h. eine Historie der Bewegung des Fußgängers ermittelt.

10 Hierbei ist es z.B. ausreichend, wenn die Historie 0,5 bis 1 s in die Vergangenheit reicht. Aus diesen Informationen kann zum einen eine Bewegungstrajektorie und zum anderen ein Bewegungszustand des Fußgängers ermittelt werden. Die Ermittlung des gegenwärtigen Bewegungszustands des Fußgängers erfolgt in

15 einem Schritt S5. Unter Berücksichtigung des physiologischen Bewegungsvermögens des Fußgängers wird in einem Schritt S6 ein physikalischer Bewegungsspielraum ermittelt. Dieser Bewegungsspielraum entspricht dem zukünftig möglichen Bewegungsaufenthaltsbereich, welchen der Fußgänger aufgrund seiner

20 Ausrichtung, Laufgeschwindigkeit, translatorischen und/oder rotatorischen Bewegung, seinem Kurvenradius, seinem Alter, dem Bodenreibungswert usw. einnehmen kann. Schließlich wird in einem Schritt S7 eine Wahrscheinlichkeitsverteilung des Bewegungsspielraums bzw. Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ermittelt.

25 Hierbei wird der Bewegungs-Aufenthaltsbereich in eine Anzahl an unterschiedlichen Bereichen mit einer jeweiligen Wahrscheinlichkeit des Aufenthalts unterteilt. Das Ergebnis wird einer Auswerteeinheit AE zugeführt. Der aktuelle Bewegungsverlauf des Fußgängers, d.h. dessen Bewegungstrajektorie,

30 wird in einem Schritt S6 ermittelt, welcher parallel zu Schritt S5 ausgeführt werden kann. Der zukünftige Bewegungsverlauf des Fußgängers wird in einem Schritt S7 durch die Berücksichtigung von Einschränkungen durch Umgebungsbedingungen vorher bestimmt und der Auswerteeinheit AE zugeführt. Parallel hierzu können in einem Schritt S8 typische Bewegungsab-

35 laufmuster berücksichtigt werden. Hierbei fließt z.B. ein Erkenntnis ein, wie sich ein Fußgänger an einer Ampel oder

einem Fußgängerüberweg verhält. Aus diesen Informationen wird versucht, eine erwartete Vorzugsbewegungsrichtung zu bestimmen. Diese Information wird ebenfalls der Auswerteeinheit AE zugeführt, welche in einem Schritt S10 aus den ihr zugeführten Informationen einen Bewegungshorizont des Fußgängers ermittelt. Der Bewegungshorizont entspricht hierbei wiederum dem Bewegungs-Aufenthaltsbereich.

Die Erfindung ermöglicht eine wesentlich genauere Vorhersage der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Fußgängers oder Radfahrers oder Tiers in der nahen Zukunft, ausgehend von einer über der Zeit gemessenen Position. Das z.B. in einem Steuergerät implementierte Verfahren berechnet aus Bewegungsmöglichkeiten des Fahrzeugs und des Lebewesens das Risiko einer Kollision. Dabei wird die Prognosequalität durch die Berücksichtigung des physiologischen Bewegungsvermögens des Lebewesens erhöht.

Wie aus der vorangegangenen Beschreibung deutlich wurde, kann ein Mensch deutlich schneller verzögern als beschleunigen oder bei größeren Laufgeschwindigkeiten keine Richtungsänderung oder nur Richtungsänderungen mit kleinen Radien vornehmen. Dieses Bewegungsvermögen ist darüber hinaus individuell abhängig von Alter, Geschlecht, Kondition, etc. und wird z.B. vor der Implementierung in einen Algorithmus durch Tests ermittelt. Die Informationen können z.B. in einem Speicher hinterlegt werden und in Abhängigkeit von den ermittelten Eingangsdaten zur präziseren Ermittlung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit herangezogen werden.

Darüber hinaus können durch Tests oder Verkehrsbeobachtungen charakteristische Bewegungsablaufmuster von Lebewesen, insbesondere in typischen Verkehrssituationen (z.B. an Fußgängerüberwegen, Ampeln usw.) ermittelt und im Rahmen des Verfahrens berücksichtigt werden. Auch damit wird durch Vergleich der Bewegungsablaufmuster mit der gemessenen bzw. ermittelten Bewegung des Lebewesens die Vorhersagegenauigkeit gesteigert.

Darüber hinaus ist das Einbeziehen von Umgebungsinformationen möglich, wobei diese von Navigationssystemen oder digitalen Karten bereitgestellt werden können. Darüber hinaus ist eine
5 Kombination mit Zustandsbeobachtern (Kombination digitaler Karten in Verbindung mit Umfeldsensorik) möglich. Einschränkungen der Bewegungsmöglichkeiten durch Hindernisse (z.B. in einem Straßenverlauf, Häuserwänden und dergleichen) können berücksichtigt werden, wodurch die Vorhersagegenauigkeit ebenfalls steigt. Diese kann auch bei der Vorhersage des zukünftigen Aufenthalts des Fahrzeugs berücksichtigt werden.
10

Wird ein Fahrzeug zur Durchführung dieses Verfahrens mit einer entsprechenden Sensorik zur Erfassung von Parametern von
15 Lebewesen, insbesondere den für deren physiologischem Bewegungsvermögen maßgeblichen Parametern ausgestattet und die Recheneinheit zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs zu dem gegebenen Zeitpunkt ausgehend von einem Ort der Bewegungstrajektorie und dem Bewegungszustand unter Berücksichtigung des physiologischen Bewegungsvermögens des Lebewesens für einen oder mehrere zukünftige
20 Zeitpunkte ausgebildet, indem beispielsweise entsprechende Kennlinienfelder und Physiologiemodelle hinterlegt und dann von der Recheneinheit anhand der Parameter der wahrscheinliche Bewegungs-Aufenthaltsbereich bestimmt wird,
25 kann ein Schutzsystem für Lebewesen ausserhalb des Fahrzeugs, insbesondere Fußgängerschutzeinrichtungen deutlich genauer aktiviert und Fehlalarme deutlich reduziert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen eines wahrscheinlichen Bewegungs-
Aufenthaltsbereichs eines Lebewesens, insbesondere für die
5 Anwendung in einem Personenschutzsystem in einem Fahrzeug o-
der einem Fahrsimulator, bei dem
- mit zumindest einer Sensorik Umgebungsinformationen er-
fasst werden,
 - die Umgebungsinformationen mit einer Recheneinheit aus-
10 gewertet werden, um ein Lebewesen zu identifizieren,
 - für das Lebewesen eine Bewegungstrajektorie und ein Be-
wegungszustand zu einem gegebenen Zeitpunkt ermittelt
wird,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-
Aufenthaltsbereichs zu dem gegebenen Zeitpunkt ausgehend von
einem Ort der Bewegungstrajektorie und dem Bewegungszustand
unter Berücksichtigung eines physiologischen Bewegungsvermö-
gens des Lebewesens für einen oder mehrere zukünftige Zeit-
20 punkte mögliche Aufenthaltsorte bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
als Parameter für die Ermittlung des Bewegungszustands
und/oder des zukünftig möglichen Bewegungs-
25 Aufenthaltsbereichs einer oder mehrere der folgenden Parame-
ter ermittelt und verarbeitet werden:
- eine rotatorische Geschwindigkeit des Lebewesens,
 - eine rotatorische Beschleunigung um eine Hochachse des
Lebewesens,
 - 30 - ein vorliegender Krümmungsradius der Bewegung des Lebe-
wesens,
 - eine Änderung in einer Bewegungsrichtung oder eines
Krümmungsradius der Bewegung des Lebewesens,
 - eine Massenträgheit des Lebewesens,
 - 35 - ein insbesondere Witterungsabhängiger Bodenreibwert des
Untergrunds,

- eine Klasse des Lebewesens, insbesondere ein Alter, ein vorgegebenes Körperabmaß (bspw. Höhe, Bein- oder Schrittlänge), ein Geschlecht oder eine Gattung (bspw. Mensch/Tier/Kind/Fahrradfahrer)
- 5
- ein Bewegungsvermögen durch einen oder mehrere Seitwärtsschritte
 - ein Bewegungsvermögen durch einen oder mehrere Rückwärtsschritte.
- 10
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Parameter für die Ermittlung des Bewegungszustands und/oder des zukünftig möglichen Bewegungs-
- Aufenthaltsbereichs einer oder mehrere der folgenden Parameter ermittelt und verarbeitet werden:
- 15
- eine Position des Lebewesens,
 - eine Ausrichtung des Lebewesens zur Umgebung,
 - eine translatorische Geschwindigkeit des Lebewesens,
 - eine translatorische Beschleunigung des Lebewesens.
- 20
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer Datenbank oder einem Kennlinienfeld ein dem oder den ermittelten Parametern zugeordneter möglicher zukünftiger Aufenthaltsort oder -bereich des Lebewesens ausgelesen wird.
- 25
5. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass einer oder mehrere der Parameter einem Modellrechner zugeführt werden zur Ermittlung des Bewegungs-Aufenthaltsbereichs des Lebewesens, wobei dem Modellrechner ein abstrahiertes Bewegungsmodell für Lebewesen zugrunde gelegt ist.
- 30

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ein Bewegungsverlauf in Abhängigkeit der aktuellen Geschwindigkeit, der aktuellen Ausrichtung und der aktuellen Körperrotation berücksichtigt wird.
7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs das maximale Beschleunigungsvermögen des Lebewesens in Abhängigkeit seiner Bewegungsgeschwindigkeit berücksichtigt wird.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ein minimal durchlaufbarer Kurvenradius in Abhängigkeit der vorliegenden Laufgeschwindigkeit und/oder -beschleunigung berücksichtigt wird.
9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ein maximales Verzögerungsvermögen in Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit und/oder einem Kurvenradius der Bewegung des Lebewesens berücksichtigt wird.
10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des zukünftig möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs ein Winkel berücksichtigt wird, in dem das Lebewesen zu einem ermittelten Fahrverlauf des Fahrzeugs steht oder sich zu diesem bewegt, wobei in Abhängigkeit des Winkels ermittelt wird, in welcher Zeit das Lebewesen sich in Richtung des Fahrverlaufs drehen und im Wesentlichen gleichzeitig beschleunigen kann, um in den Bereich des Fahrverlaufs zu gelangen.

11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass als Winkel ein Winkel zwischen
150° und 210° und damit ein mit dem Rücken zu dem Fahrverlauf
stehendes oder sich bewegendes Lebewesen berücksichtigt wird.

5

12. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass als Winkel ein Winkel zwischen
60° und 120° und damit ein seitlich zu dem Fahrverlauf ste-
hendes oder sich bewegendes Lebewesen berücksichtigt wird.

10

13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des zukünftig
möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs eine Relativposition
des Lebewesens zu einem Fahrverlauf, insbesondere ein Ab-
stand, berücksichtigt wird, in dem das Lebewesen zu dem Fahr-
verlauf steht oder sich zu diesem bewegt, wobei in Abhängig-
keit der Relativposition ermittelt wird, in welcher Zeit das
Lebewesen beschleunigen kann, um in den Bereich des Fahrver-
laufs zu gelangen.

15
20

14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des zukünftig
möglichen Bewegungs-Aufenthaltsbereichs Umgebungsinformatio-
nen und/oder Hindernisse berücksichtigt werden.

25

15. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der ermittelte Bewegungs-
Aufenthaltsbereich als Eingangsgröße für eine Risikomodellie-
rung verwendet wird.

30

16. Verfahren nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet, dass in der Risikomodellierung der
ermittelte Bewegungs-Aufenthaltsbereich und ein weiterer Be-
wegungspfad, insbesondere ein Fahrschlauch, eines Fahrzeugs,
5 miteinander verarbeitet werden, um ein Kollisionsrisiko des
Lebewesens und des Fahrzeugs zu ermitteln.
17. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass der Bewegungs-Aufenthaltsbereich
10 in mehrere Bereiche mit unterschiedlichen Aufenthaltswahr-
scheinlichkeiten unterteilt wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass
bei der Ermittlung der Bereiche mit unterschiedlichen Aufent-
15 haltswahrscheinlichkeiten charakteristische Bewegungsablauf-
muster für vorgegebene Verkehrssituationen, insbesondere bau-
liche Begrenzungen, Fußgängerüberwege und Ampeln, des Lebewe-
sens berücksichtigt werden.
- 20 19. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass
in Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit des Lebewesens
neben einem maximalen Beschleunigungsvermögen in die bisheri-
ge Bewegungsrichtung auch ein maximales Beschleunigungsvermö-
gen entgegengesetzt zur bisherigen Bewegungsrichtung und/oder
25 Ausrichtung des Lebewesens vorgegeben ist.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass
für das Lebewesen zumindest einer der folgenden Parameter
vorgegeben sind:
- 30 - eine Maximalgeschwindigkeit, ab der das Beschleunigungsver-
mögen in bisherige Bewegungsrichtung Null wird,
- eine Maximalbeschleunigung sowohl in als auch entgegen der
Ausrichtung eines stehenden Lebewesens,
- eine Geschwindigkeit, bei der das maximale Beschleunigungs-
35 vermögen in die bisherige Bewegungsrichtung maximal ist,

- eine Geschwindigkeit, bei der das maximale Beschleunigungs-
vermögen entgegengesetzt zur bisherigen Bewegungsrichtung
und/oder Ausrichtung des Lebewesens betragsmäßig maximal ist,
- eine Maximalgeschwindigkeit entgegen der Ausrichtung des
5 Lebewesens, ab der das Beschleunigungsvermögen entgegen der
Ausrichtung Null wird,
wobei diese Werte vorzugsweise in Abhängigkeit von der Klasse
des Lebewesens, insbesondere Alter, Geschlecht und Körperab-
maßen variierend vorgegeben sind.

10

21. Fahrzeug mit einem Schutzsystem für Lebewesen ausserhalb
des Fahrzeugs, insbesondere Fußgängerschutzeinrichtungen

- mit zumindest einer Sensorik, um Umgebungsinformationen
zu erfassen,

15

- einer Recheneinheit, welche die Umgebungsinformationen
ausgewertet werden, um ein Lebewesen zu identifizieren,
für das Lebewesen eine Bewegungstrajektorie und ein Be-
wegungszustand zu einem gegebenen Zeitpunkt zu ermitteln
und einen wahrscheinlichen Bewegungs-Aufenthaltsbereich
20 und daraus eine Kollisionswahrscheinlichkeit und damit
Notwendigkeit zur Auslösung des Schutzsystems abzulei-
ten,

20

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Fahrzeug zur Durchführung des Verfahrens nach einem
25 der vorangehenden Ansprüche ausgebildet, insbesondere

- die Sensorik zur Erfassung von Parametern von Lebewesen
und deren physiologischem Bewegungsvermögen sowie

- die Recheneinheit zur Ermittlung des zukünftig möglichen
Bewegungs-Aufenthaltsbereichs zu dem gegebenen Zeitpunkt
30 ausgehend von einem Ort der Bewegungstrajektorie und dem
Bewegungszustand unter Berücksichtigung eines physiolo-
gischen Bewegungsvermögens des Lebewesens für einen oder
mehrere zukünftige Zeitpunkte ausgebildet ist.

30

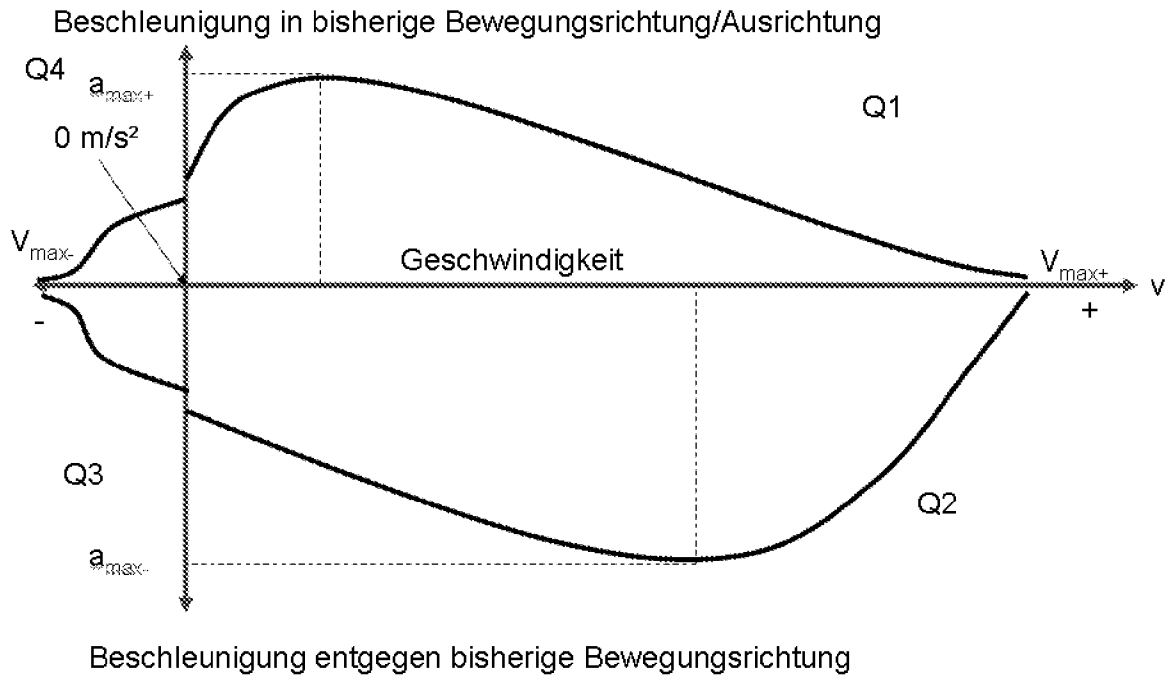


FIG. 1

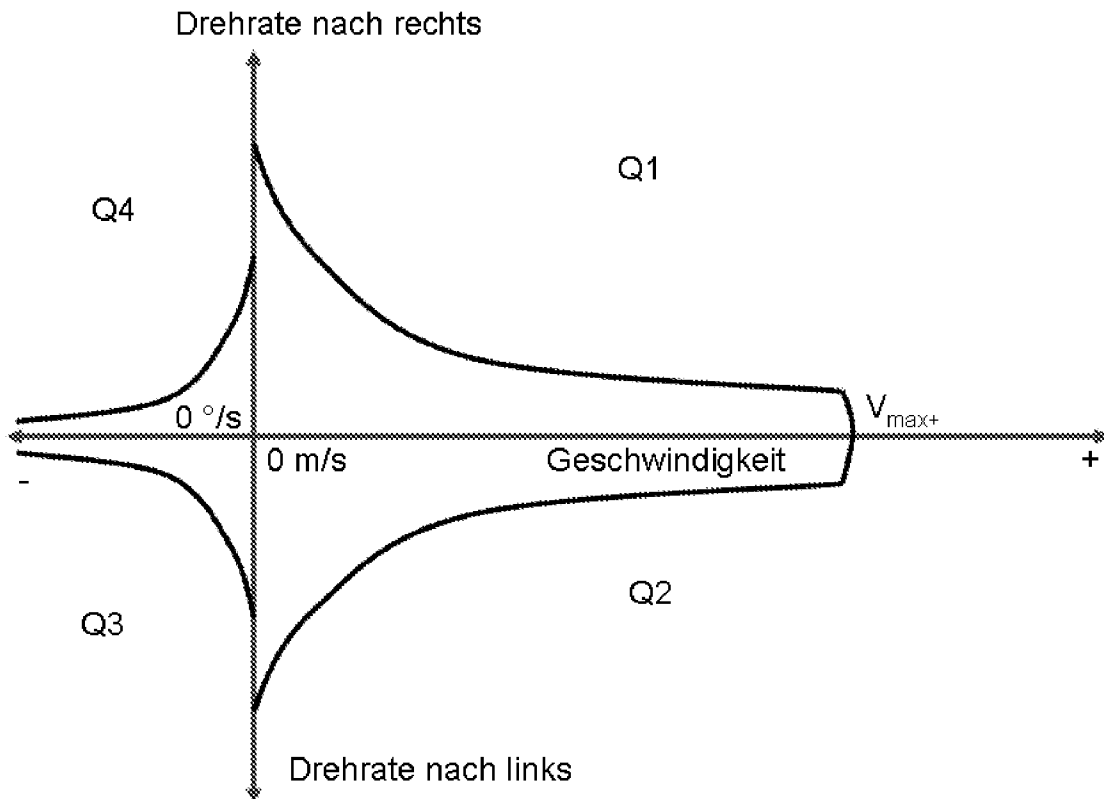


FIG. 2

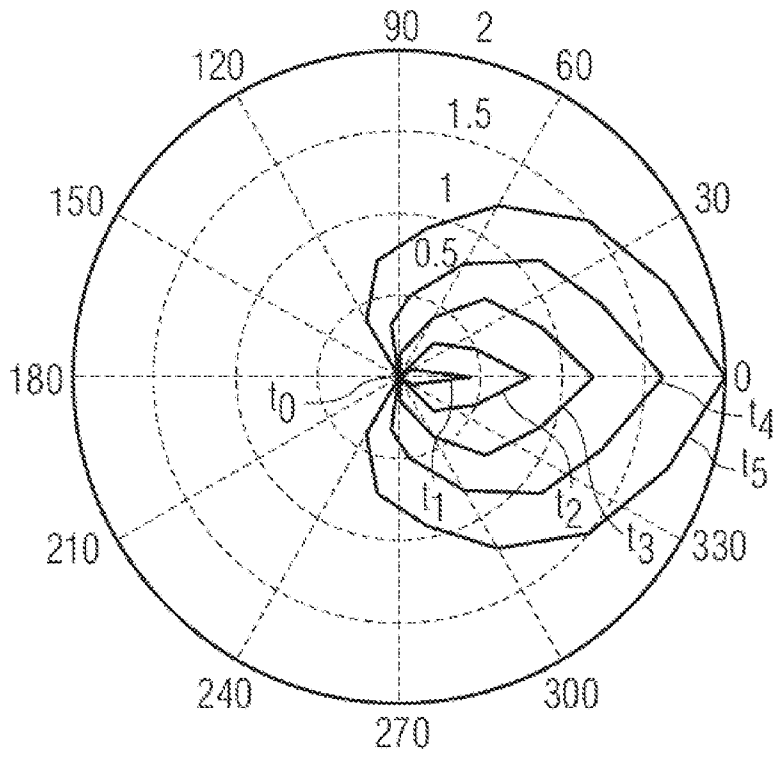


FIG. 3

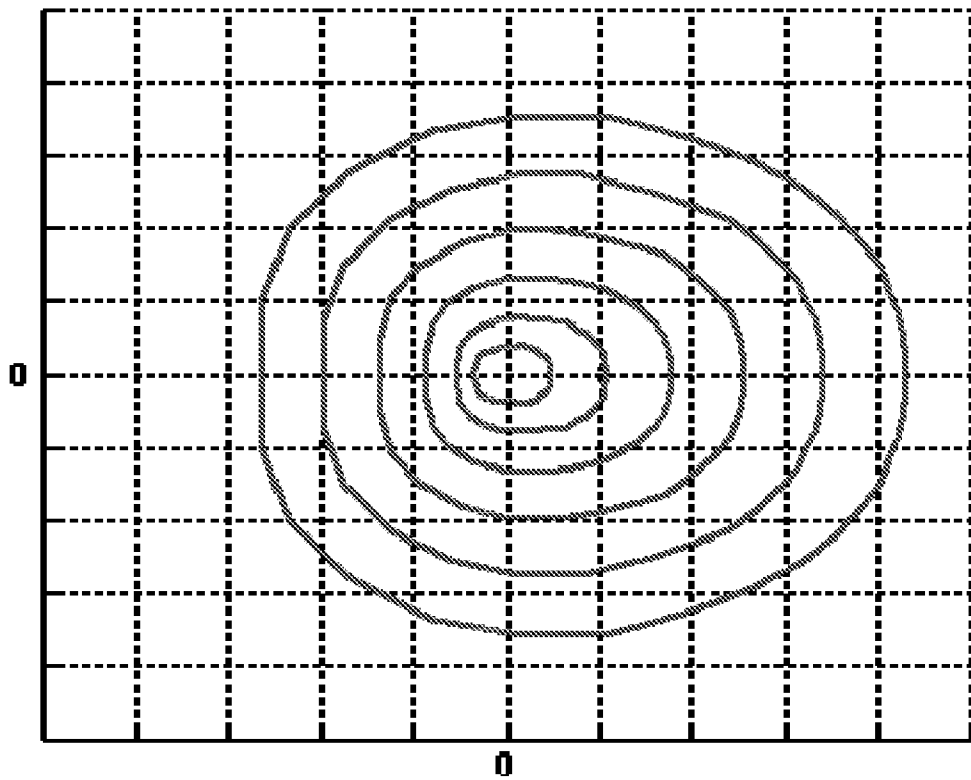


FIG. 4

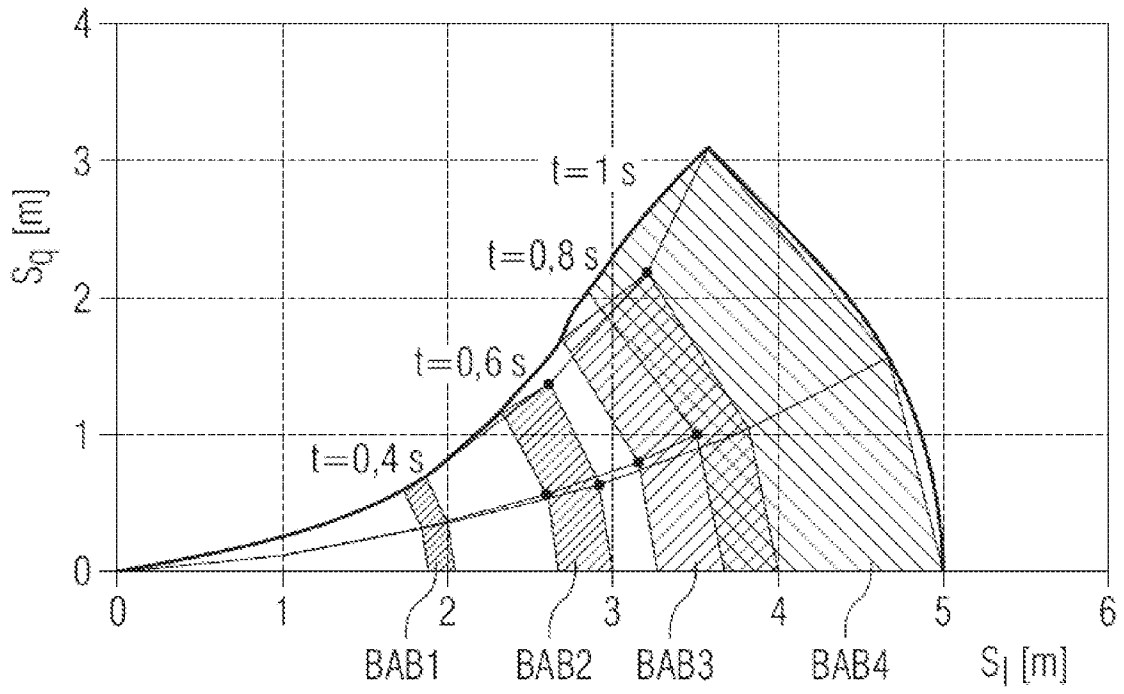


FIG. 5

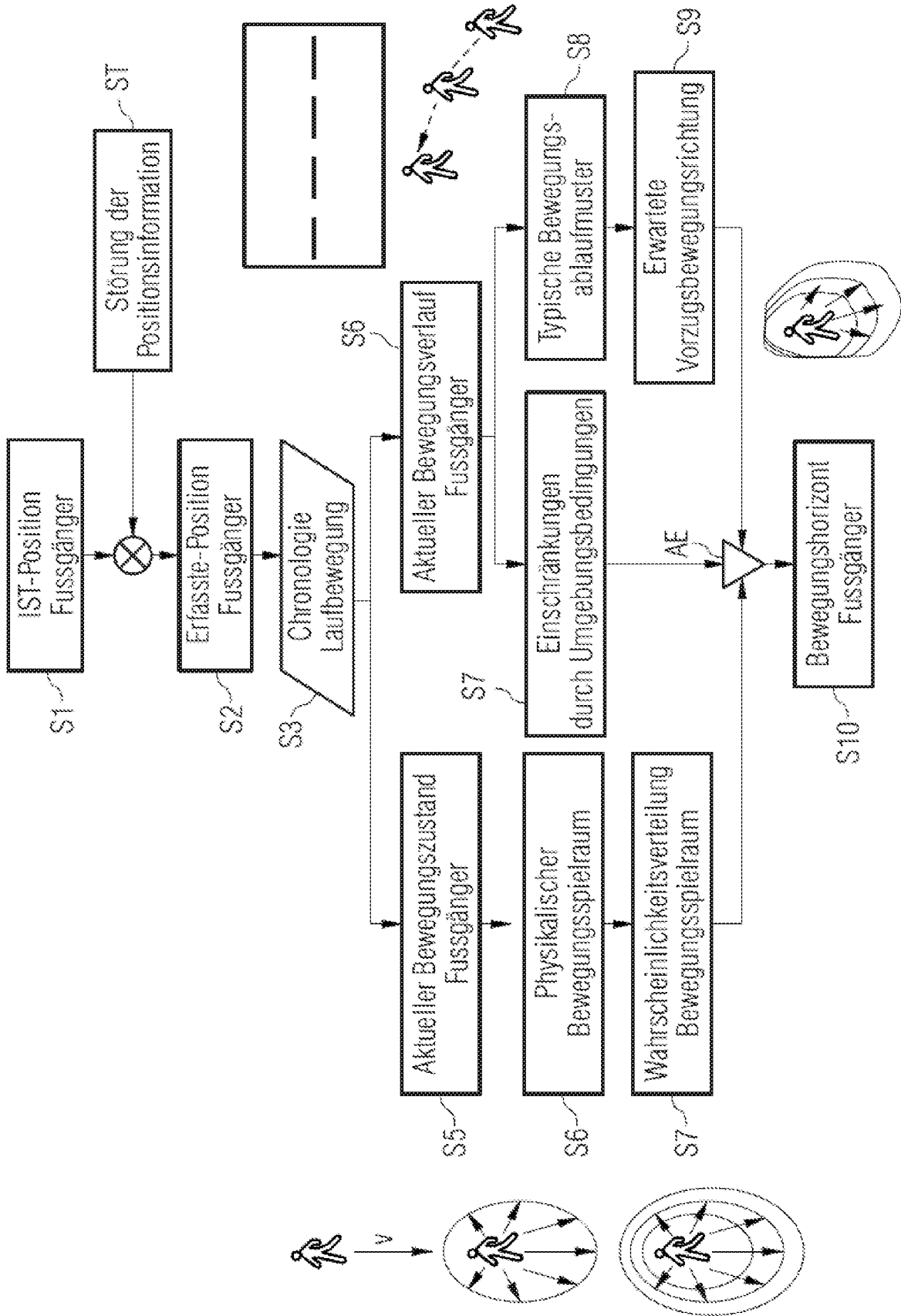


FIG. 6