



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren eines Objekts entlang einer Straße eines Kraftfahrzeugs auf der Basis von mindestens zwei Bildern eines Umgebungsbereichs des Kraftfahrzeugs, die nacheinander von mindestens einer fahrzeugseitigen Kamera aufgenommen werden, zur extrinsischen Kalibrierung der mindestens einen Kamera. Außerdem betrifft die Erfindung eine Rechenvorrichtung, ein Fahrerassistenzsystem sowie ein Kraftfahrzeug mit einem Fahrerassistenzsystem.

**[0002]** Vorliegend richtet sich das Interesse auf Kameras für Kraftfahrzeuge. Die Kameras sind dazu ausgelegt, einen Umgebungsbereich in Abbildungen oder Bildern aufzunehmen. Informationen, die von den Bildern extrahiert werden, können einem Fahrerassistenzsystem des Kraftfahrzeugs bereitgestellt werden. Solche Informationen können die Anwesenheit von Objekten oder Hindernissen in der Nähe des Kraftfahrzeugs umfassen. Die Objektdetektion ist aus dem Stand der Technik bekannt, z. B. aus US 2007/127778 A1, die ein Objektdetektionssystem mit einer Abbildungsvorrichtung, die an einem Fahrzeug angeordnet ist, und einer Steuereinheit, die ein zweidimensionales Bild, welches eine Szene vor dem Fahrzeug darstellt, von der Abbildungsvorrichtung empfängt, beschreibt.

**[0003]** Objekte können überdies von 3D-Entfernungsdaten abgeleitet werden, die von Stereokameras, LIDAR oder anderen Mitteln erhalten werden, die typischerweise auf Langstreckendetektion und Lokalisierung von Bordsteinen als Straßengrenzen von nach vorn oder nach hinten gewandten Kameras ausgerichtet sind. Ein solcher Stand der Technik beinhaltet typischerweise eine komplexe Analyse der 3D-Punktwolke, die häufig mit Bildhelligkeitskanten-Informationen kombiniert ist, um Bordsteine erfolgreich zu lokalisieren und zu charakterisieren. Für einige Anwendungen ist es von Hauptinteresse, die Anwesenheit von Objekten in den von der Kamera aufgenommenen Bildern zu detektieren. Insbesondere sollte die Anwesenheit von länglichen Umgebungsmerkmalen längs der Straße, die über oder unter einem mittleren Bodenniveau stehen, detektiert werden. Diese länglichen Merkmale können Wände, Bordsteine, Gräben, Vegetation oder stehende Fahrzeuge sein. In diesem Zusammenhang ist eine komplexe Analyse nicht erforderlich, da eine Klassifikation oder Charakterisierung der Eigenschaften dieser Objekte nicht erforderlich ist.

**[0004]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lösung bereitzustellen, wie Objekte in Bildern in besonders schneller und zuverlässiger Weise und mit geringem Aufwand detektiert werden können.

**[0005]** Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren, eine Rechenvorrichtung, ein Fahrerassistenzsystem sowie ein Kraftfahrzeug mit den Merkmalen gemäß den jeweiligen unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind der Gegenstand der abhängigen Ansprüche, der Beschreibung und der Figuren.

**[0006]** In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein Verfahren bereitgestellt, das zum Detektieren eines Objekts entlang einer Straße eines Kraftfahrzeugs insbesondere auf der Basis von mindestens zwei Bildern eines Umgebungsbereichs des Kraftfahrzeugs, die nacheinander von mindestens einer fahrzeugseitigen Kamera aufgenommen werden, zur extrinsischen Kalibrierung der mindestens einen Kamera dient. Dabei zeigen die Bilder zumindest teilweise eine Textur einer Straßenoberfläche an. Ferner können mindestens zwei einander entsprechende Blöcke auf der Basis der mindestens zwei Bilder bestimmt werden, jeweilige Bewegungsvektoren für jedes der mindestens zwei Paare von einander entsprechenden Blöcken werden bestimmt und Tiefeninformationen hinsichtlich der mindestens zwei Bilder auf der Basis der mindestens zwei Bewegungsvektoren werden bestimmt. Überdies kann das Objekt auf der Basis der Tiefeninformationen detektiert werden.

**[0007]** In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein Verfahren bereitgestellt, das zum Detektieren eines Objekts entlang einer Straße eines Kraftfahrzeugs auf der Basis von mindestens zwei Bildern eines Umgebungsbereichs des Kraftfahrzeugs, die nacheinander von mindestens einer fahrzeugseitigen Kamera aufgenommen werden, zur extrinsischen Kalibrierung der mindestens einen Kamera dient. Dabei zeigen die Bilder zumindest teilweise eine Textur einer Straßenoberfläche an. Ferner werden mindestens zwei einander entsprechende Blöcke auf der Basis der mindestens zwei Bilder bestimmt. Jeweilige Bewegungsvektoren für jedes der mindestens zwei Paare von einander entsprechenden Blöcken werden bestimmt und Tiefeninformationen hinsichtlich der mindestens zwei Bilder auf der Basis der mindestens zwei Bewegungsvektoren werden bestimmt. Überdies wird das Objekt auf der Basis der Tiefeninformationen detektiert.

**[0008]** Mittels des Verfahrens kann ein zuverlässiger Betriebszustand der mindestens einen Kamera des Kraftfahrzeugs bereitgestellt werden. Das Fahrzeug kann vier Kameras umfassen, die ein Rundumsichtkamarasystem bilden, wobei eine erste Kamera in einem vorderen Bereich des Kraftfahrzeugs angeordnet sein kann, eine zweite Kamera in einem hinteren Bereich des Kraftfahrzeugs angeordnet sein kann, eine dritte Kamera auf einer Fahrerseite des Kraftfahrzeugs, insbesondere an einem Seitenspiegel auf der Fahrerseite, angeordnet sein kann und eine vierte Kamera auf einer Beifahrerseite des Kraftfahrzeugs,

insbesondere an einem Seitenspiegel auf der Beifahrerseite, angeordnet sein kann. Die Kameras können Fischaugenlinsen umfassen, um einen Blickwinkel und folglich einen Detektionsbereich der Kameras zu vergrößern.

**[0009]** Die Kameras sind dazu ausgelegt, den dreidimensionalen Umgebungsbereich des Kraftfahrzeugs in einem zweidimensionalen Bild oder Abbild darzustellen. Daher ist gewöhnlich ein Kameramodell vorgesehen, um die 3D-Weltkoordinaten des Umgebungsbereichs in 2D-Pixelkoordinaten des Bildes abzubilden. Das Kameramodell hängt gewöhnlich von intrinsischen Kameraparametern, wie der Brennweite, dem Bildsensorformat und dem Bildmittelpunkt, und extrinsischen Kameraparametern, wie der räumlichen Orientierung und der Höhe der Kamera, die auch als Pose der Kamera bezeichnet werden, ab, wobei die extrinsischen Parameter im Allgemeinen durch Vorgabe festgelegt sind. Diese extrinsischen Parameter können die realen und aktuellen extrinsischen Parameter der Kamera beispielsweise aufgrund von mechanischen Toleranzen im Fahrzeugherstellungsprozess, aufgrund einer Airmatic-Aufhängung oder aufgrund von Beladungsänderungen im Fahrzeug wie z. B. der Anzahl von Fahrgeäten oder des Gewichts in einem Kofferraum des Fahrzeugs nicht darstellen. Diese fehlerhaften extrinsischen Parameter können eine negative Auswirkung auf den Wiedergabeprozess oder die Bildsynthese haben. Folglich ist es erforderlich, die Kamera zu kalibrieren, um zuverlässige Bilder zu erhalten, die einem Fahrerassistenzsystem des Kraftfahrzeugs bereitgestellt werden können.

**[0010]** Um ein zuverlässig und effizient arbeitendes Kalibrierungsverfahren bereitzustellen, besteht ein Zweck des Verfahrens gemäß der Erfindung darin, die Anwesenheit von länglichen Umgebungsmerkmalen oder Objekten längs der Straße, die über oder unter dem mittleren Bodenniveau stehen, wie z. B. Wände, Bordsteine, Gräben, Vegetation oder stehende Fahrzeuge, zu detektieren, da sie einen negativen Einfluss auf das Kalibrierungsverfahren haben. Dazu ist es insbesondere nicht erforderlich, die Eigenschaften dieser Objekte zu klassifizieren oder zu charakterisieren, sondern nur ihre Anwesenheit in einem Paar von Einzelbildern zu detektieren, die von der mindestens einen Kamera, die am Fahrzeug montiert ist, erfasst werden, während das Fahrzeug insbesondere ungefähr geradeaus und parallel zum Objekt, z. B. dem Bordstein, fährt.

**[0011]** Folglich kann ein autonomes Kalibrierungsverfahren auf Straßenbasis basierend auf durch die Kamera aufgenommenen Bildern bereitgestellt werden, das nicht durch die Anwesenheit solcher Objekte verfälscht wird. Insbesondere werden identifizierte Bilder mit solchen länglichen Merkmalen als ungeeignete Einzelbilder gekennzeichnet und werden folglich

ausgemustert. Das Verfahren kann durch eine fahrzeugseitige Rechenvorrichtung durchgeführt werden, die dazu ausgelegt ist, solche Objekte auf der Basis der mindestens zwei Bilder, die von der mindestens einen Kamera aufgenommen werden, zu identifizieren.

**[0012]** Zuerst wird eine sogenannte Blockvergleichsoperation („block matching operation“) auf der Basis der mindestens zwei Bilder durchgeführt, um entsprechende Blöcke innerhalb der Bilder zu finden. Entsprechende Blöcke werden als Bildbereiche von zwei Bildern oder Videoeinzelbildern verstanden, die zumindest teilweise denselben Umgebungsbereich anzeigen. Mit anderen Worten umfasst jedes Paar einen ersten Block als ersten Bildbereich eines ersten Bildes, der einen jeweiligen Straßenoberflächenbereich anzeigt, und einen zweiten Block als zweiten Bildbereich eines zweiten Bildes, der zumindest teilweise den Straßenoberflächenbereich des entsprechenden ersten Blocks darstellt. Für den Blockvergleich können mindestens zwei erste Blöcke als Referenzblöcke an vordefinierten ersten Stellen im ersten Bild gewählt werden. Die Referenzblöcke können benachbart oder überlappend sein und ihre Form kann rechteckig, kreisförmig oder irgendetwas anderes sein. Vorzugsweise sind benachbarte rechteckige Blöcke in einem regelmäßigen Gitter oder vielmehr in Reihen und Spalten angeordnet. Die Blockgröße kann variieren, z. B. 8×8 Pixel, 16×16 Pixel, 24×24 Pixel, 32×32 Pixel oder mehr, insbesondere in Abhängigkeit von der Bildqualität. Dann wird das mindestens eine zweite Bild, z. B. das vorherige Einzelbild, nach diesen zweiten Blöcken mit zumindest bereichsweise derselben Darstellung wie der entsprechende erste Block durchsucht. Pixel innerhalb jedes Blocks können während der Vergleichsoperation übersprungen oder unterabgetastet werden, um die Berechnung in vorteilhafter Weise zu beschleunigen.

**[0013]** Eine solche Blockvergleichsoperation kann eine Vollsuchoperation („full-search operation“) sein, die auch als Algorithmus einer erschöpfenden Suchoperation („exhaustive-search operation algorithm“) genannt wird, wobei alle möglichen Stellen innerhalb des Bildes oder innerhalb eines ernannten Suchbereichs im Bild geprüft werden, sowie Verfahren auf Gradientengefällebasis wie z. B. Rautensuche („diamond-search“) oder Suche auf Hexagonbasis („hexagon-based-search“). Um die entsprechenden Blöcke in den mindestens zwei Bildern zu identifizieren, kann eine Kostenfunktion, die auch als Blockverzerrungsmaß bezeichnet wird, verwendet werden, wie z. B. Kreuzkorrelation, Summe von absoluten Differenzen, Summe von quadratischen Differenzen oder fortschrittlichere Verfahren wie z. B. Summe von absoluten transformierten Differenzen, Rang-, Zensus-, Frequenzbereichsverfahren und mehr.

**[0014]** Es erweist sich als vorteilhaft, wenn Teilbereiche des zweiten Bildes als Suchbereiche definiert werden, die nach den zweiten Blöcken durchsucht werden, um diese zweiten Blöcke zu identifizieren, die den jeweiligen ersten Blöcken entsprechen. Die Suchbereiche sind Bildbereiche in dem mindestens einen zweiten Bild mit den erwarteten Stellen der zweiten Blöcke. Durch Definieren dieses Suchbereichs kann der zweite Block in sehr schneller Weise gefunden werden. Insbesondere werden eine Position und/oder eine Größe der Suchbereiche in dem mindestens einen zweiten Bild in Abhängigkeit von einer aktuellen Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs bestimmt oder eine vorbestimmte Position und/oder Größe der Suchbereiche werden in dem mindestens einen zweiten Bild vorbestimmt. Die Suchbereiche können in jedem Einzelbild gemäß einer Vorhersage dynamisch positioniert werden, die vom gegenwärtigen Wert der Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs abgeleitet ist. Alternativ können feste Suchbereiche verwendet werden, wobei die Position und/oder Größe vorgegeben werden, so dass ein vorbestimmter Betriebsgeschwindigkeitsbereich des Kraftfahrzeugs und die erwartete Verlagerung der Blöcke innerhalb der zwei Bilder abgedeckt sind.

**[0015]** Nach dem Identifizieren der einander entsprechenden Blöcke in den mindestens zwei Bildern wird der Bewegungsvektor oder Verschiebungsvektor für jedes Paar von einander entsprechenden Blöcken bestimmt. Für zwei Paare von einander entsprechenden Blöcken werden zwei Bewegungsvektoren bestimmt. Die Bewegungsvektoren ergeben sich aus der Bewegung des Fahrzeugs und beschreiben die Verschiebung der Pixelpositionen oder der Stelle von zwei entsprechenden Blöcken zwischen zwei aufeinander folgenden Bildern. Die Bewegungsvektoren können durch einen zweidimensionalen Vektor, der in Bildkoordinaten gegeben ist, mit einer ersten x-Komponente und einer zweiten y-Komponente beschrieben werden. Die x-Achse entspricht insbesondere einer ungefähr geraden Fahrtrichtung des Kraftfahrzeugs und ist parallel zu einer Orientierungsrichtung des länglichen Objekts oder vielmehr parallel zu einer Kante der Straße orientiert.

**[0016]** Mittels der Bewegungsvektoren können die Tiefeninformationen aus den mindestens zwei Bildern extrahiert werden. Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass Bewegungsvektoren, die von einem Paar von Einzelbildern stammen, tatsächlich Stereoübereinstimmungen sind und 3D-Tiefeninformationen enthalten, die beispielsweise über Triangulation und bekannte Eigenbewegung extrahiert werden können. Die Fahrzeug- und folglich die Kameraeigenbewegung kann von Bordodometriesensoren des Kraftfahrzeugs abgeleitet werden oder kann rechnerisch aus den Bewegungsvektoren abgeschätzt werden. Dies wird auch als visuelle Odometrie bezeichnet. Es ist auch möglich, Tiefen- und Eigenbewe-

gungsinformationen gleichzeitig über Bündelblockausgleichung zu erhalten. Da für die Kamerakalibrierung nur die Gegenwart der Objekte entlang der Straße entscheidend ist, kann auf eine korrekte 3D-Rekonstruktion der Bodenoberfläche verzichtet werden. Vielmehr werden plötzliche Variationen der Tiefe längs der Straße, die auf die Anwesenheit von Bordsteinen oder ähnlichen Merkmalen hinweisen, mittels der Bewegungsvektoren detektiert.

**[0017]** Zusammengefasst hat das Verfahren gemäß der Erfindung den Vorteil, dass es nur die Tiefeninformationen analysiert, ohne die Objekte zu klassifizieren. Folglich können Objekte in Bildern sehr schnell und mit geringem Rechenaufwand detektiert werden.

**[0018]** Besonders bevorzugt wird zum Bestimmen der Tiefeninformationen eine Länge von jedem der mindestens zwei Bewegungsvektoren bestimmt und das Objekt wird auf der Basis einer Differenz zwischen den Längen der mindestens zwei Bewegungsvektoren detektiert. Die Erfindung nutzt aus, dass größere Objekte wie die länglichen Merkmale längs der Straße näher an der Kamera liegen und folglich längere Bewegungsvektoren oder vielmehr größere Disparitäten erzeugen als Merkmale auf der Bodenoberfläche wie die Textur der Straßenoberfläche. Daher können die Tiefeninformationen in einer leichten Weise durch Analysieren oder Vergleichen der Werte für die Länge von zwei Bewegungsvektoren abgeleitet werden.

**[0019]** In einer vorteilhaften Ausführungsbeispiel werden die mindestens zwei Bilder in mehrere Blöcke unterteilt, die in Spalten und Reihen angeordnet sind, wobei die bestimmten Bewegungsvektoren jeweils in Bezug auf eine bestimmte Reihe und Spalte bestimmt werden und die Differenzen zwischen zwei Bewegungsvektoren in Bezug auf zwei benachbarte Reihen durch Subtrahieren der Bewegungsvektoren über jede Reihe von den Bewegungsvektoren über eine vorherige benachbarte Reihe bestimmt werden. Dies bedeutet, dass jedes Paar von entsprechenden Blöcken sich auf eine bestimmte Reihe und eine bestimmte Spalte in einem der Bilder, insbesondere im zweiten Bild, bezieht. Da die Anwesenheit eines länglichen Objekts in einem Paar von Einzelbildern aus einer plötzlichen Variation der Länge der Bewegungsvektoren zwischen benachbarten Reihen gefolgert werden kann, werden die Bewegungsvektoren über jede Reihe von den entsprechenden Bewegungsvektoren in der vorherigen Reihe subtrahiert. Mit anderen Worten wird jeder Bewegungsvektor in Bezug auf eine bestimmte Spalte und eine bestimmte Reihe von dem Bewegungsvektor in Bezug auf dieselbe Spalte und die vorherige Reihe subtrahiert. Für zwei benachbarte Reihen wird folglich eine Anzahl von Differenzen bestimmt, die der Anzahl von Spalten entspricht. Vorzugsweise wird ein Medianfilter auf alle Differenzen über jede Reihe angewen-

det, um Ausreißer zu entfernen. Mit anderen Worten wird das Medianfilter auf alle Differenzen angewendet, die für zwei benachbarte Reihen bestimmt werden. Die Entfernung von Ausreißern hindert die Rechenvorrichtung an einer fehlerhaften Detektion von Merkmalen.

**[0020]** Es erweist sich als vorteilhaft, wenn für zwei benachbarte Reihen eine mittlere Differenz auf der Basis der für die zwei benachbarten Reihen berechneten Differenzen berechnet wird, wobei das Objekt detektiert wird, wenn die mittlere Differenz einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet. Mit anderen Worten wird die mittlere Differenz berechnet, um eine einzelne Auswertung für die zwei benachbarten Reihen zu erhalten. Diese Auswertung wird mit dem Schwellenwert verglichen, wobei die Anwesenheit des länglichen Objekts detektiert wird, wenn die Auswertung den Schwellenwert überschreitet, und die Abwesenheit detektiert wird, wenn die Auswertung den Schwellenwert unterschreitet. Folglich gibt die Auswertung einen binären Klassifikator für die Anwesenheit eines Bordsteins oder im Allgemeinen einer plötzlichen Änderung der Tiefe der Bodenoberfläche.

**[0021]** In einer Weiterbildung der Erfindung werden zum Detektieren des Objekts die Bewegungsvektoren auf der Basis der mindestens zwei Bilder nur im Fall einer vorbestimmten minimalen Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs bestimmt. Dies bedeutet, dass die Eingangseinzelbilder durch eine minimale erforderliche Fahrstrecke aufgrund der Bedingung der minimalen Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs getrennt sind. Dies führt zu extrahierten Bewegungsvektoren mit einer minimalen Länge von einigen Pixeln, die folglich weniger relativen Fehler mitführen. Dies kann bei normalen Fahrgeschwindigkeiten des Fahrzeugs und/oder durch Überspringen von Einzelbildern bei sehr geringen Geschwindigkeiten erreicht werden. Durch Sicherstellen der minimalen Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs wird ein Fehler, der durch die Auswirkung von Beobachtungsrauschen, Unregelmäßigkeiten der Bodenoberfläche und Fahrzeugoszillationen, die durch kurze Bewegungsvektoren verursacht werden, eingespeist wird, verringert.

**[0022]** Vorzugsweise wird eine Kostenfunktion, die eine Abweichung zwischen dem Bewegungsvektor jedes Paares und einem vorbestimmten Vektor beschreibt, bestimmt, ein teilweise rotationskompensierter Bewegungsvektor wird für jedes Paar durch Minimieren der Kostenfunktion bestimmt und die Tiefeninformationen werden auf der Basis der teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren bestimmt. Innerhalb dieses Schritts wird eine teilweise extrinsische Kalibrierung durch Finden insbesondere von zwei räumlichen Orientierungskomponenten der räumlichen 3-DOF-(Freiheitsgrad)Orientierung der mindestens einen Kamera relativ zur Bo-

denebene durch Analysieren der durch die Blockvergleichsoperation erzeugten Bewegungsvektoren durchgeführt. Überdies ist die Orientierung der Kameras ein erster zu kalibrierender extrinsischer Parameter. Die Orientierung kann beispielsweise in einem Roll-Nick-Gier-Rotationsschema ausgedrückt werden, das sich der Reihe nach um die festen X-, Y- und Z-Achsen des Weltkoordinatensystems dreht, wobei die X-Achse entlang einer Fahrzeuglängsachse orientiert ist, die Y-Achse entlang einer Fahrzeugquerachse orientiert ist und die Z-Achse entlang einer Fahrzeughochachse orientiert ist.

**[0023]** Die zu minimierende Kostenfunktion oder Verlustfunktion wird formuliert, die insbesondere geometrische Eigenschaften der Bewegungsvektoren auf der Straßenoberfläche oder Bodenebene und die Einschränkung für ungefähr geradliniges Fahren ausnutzt. Ein kalibriertes System sollte Bewegungsvektoren erzeugen, die von einer perspektivischen Verzerrung frei sind, d. h. Bewegungsvektoren, die alle zur horizontalen x-Achse (im Einzelbild) parallel sind und eine gleiche Länge aufweisen, während auf einem ebenen Boden geradeaus gefahren wird. Folglich gibt die Kostenfunktion die Differenz zwischen der vorliegenden realen Bedingung und der idealen Bedingung an. Somit ist der vorbestimmte Vektor der verzerrungsfreie Vektor parallel zur horizontalen Achse. Um zwei der drei unbekannt extrinsischen Rotationen zu kompensieren, wird die Kostenfunktion lediglich auf der Basis einer ersten Komponente des Bewegungsvektors bestimmt, die eine Verlagerung von zwei entsprechenden Blöcken entlang einer vorbestimmten Richtung beschreibt. Insbesondere wird die Kostenfunktion in Abhängigkeit von der y-Komponente der Bewegungsvektoren bestimmt. Die Kostenfunktion wird minimiert, um alle Bewegungsvektoren horizontal zu machen, insbesondere ohne Angleichen ihrer Längen. Die Bewegungsvektoren mit Richtungen, die parallel zur horizontalen x-Achse orientiert sind, sind die teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren. Insbesondere werden diese teilweise rotationskompensierten zum Extrahieren der Tiefeninformationen verwendet. Genauer werden die Werte der Länge der teilweise rotationskompensierten Vektoren bestimmt. Die Differenzen werden durch Subtrahieren der rotationskalibrierten Bewegungsvektoren über jede Reihe von den entsprechenden rotationskalibrierten Bewegungsvektoren in der vorherigen Reihe bestimmt. Insbesondere wird das Medianfilter auf diese Differenzen über jede Reihe angewendet, um die Ausreißer zu entfernen. Dann wird die mittlere Differenz berechnet, um die einzelne Auswertung für diese Reihe zum Vergleich mit dem vorbestimmten Schwellenwert zu erhalten. Durch teilweises Kalibrieren der Kamera können falsch-positive Detektionen oder vielmehr die fehlerhafte Detektion der Anwesenheit des länglichen Objekts vermieden werden.

**[0024]** In einer vorteilhaften Entwicklung der Erfindung wird im Fall der Detektion einer Abwesenheit des Objekts eine extrinsische Kalibrierung der Kamera auf der Basis der mindestens zwei Bilder durchgeführt, wobei eine Rotation der mindestens einen Kamera auf der Basis der teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren durch Angleichen einer Länge der teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren kalibriert wird, und eine Höhe der Kamera durch Bestimmen einer aktuellen Höhe der Kamera in Abhängigkeit von der angeglichenen Länge und einem erwarteten Wert der angeglichenen Länge kalibriert wird. Innerhalb dieses Schritts wird die extrinsische Kalibrierung durch Vollenden der Orientierungskalibrierung und zusätzliches Durchführen einer Höhenkalibrierung vollendet.

**[0025]** Insbesondere wird die extrinsische Kalibrierung der Kamera, eine sogenannte Bewegungsverfolgungskalibrierungs-(MTC – „motion tracking operation“) Operation, auf der Basis der durch die mindestens eine Kamera aufgenommenen Bilder durchgeführt, die zumindest teilweise die Straßenoberfläche oder Bodenoberfläche in einer Umgebung des Kraftfahrzeugs sowie die Textur, die auf der Oberfläche vorhanden ist, wie z. B. Asphalt, zeigen, aber die nicht das Objekt zeigen. Unter Verwendung von jenen Bildern, die die Textur der Straßenoberfläche anzeigen, ist die Rechenvorrichtung überdies dazu ausgelegt, die Kamera zu kalibrieren, insbesondere ohne die Anforderung, dass irgendwelche speziellen interessierenden Merkmale wie z. B. Ecken, Konturen, Kanten oder Linien, im Bild vorhanden sind.

**[0026]** Zuerst werden rotationskompensierte Vektoren durch Angleichen der Länge der Bewegungsvektoren abgeleitet. Dann wird die Höhe der Kamera als zu kalibrierender zweiter extrinsischer Parameter durch Analysieren der angeglichenen rotationskompensierten Bewegungsvektoren bestimmt, die von der Minimierung der Kostenfunktion abgeleitet sind. Die Höhe kann eine absolute Höhe jeder Kamera von der Bodenoberfläche oder eine relative Höhe zwischen den Kameras des Kraftfahrzeugs sein.

**[0027]** Die Länge der korrigierten, rotationskalibrierten Bewegungsvektoren der Kamera ist zur Geschwindigkeit oder Schnelligkeit des Fahrzeugs proportional und zur Höhe der Kamera von der Bodenebene umgekehrt proportional. Die erwartete Länge entspricht der Länge des vorbestimmten Vektors und hängt von der Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs ab. Daher wird der erwartete Wert für die Länge in vorteilhafter Weise in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs vorgegeben. Insbesondere wird die Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs mittels Odometrie des Kraftfahrzeugs und/oder auf der Basis mindestens eines weiteren Bewegungsvektors bestimmt, der auf der Basis von Bildern bestimmt wird, die durch mindestens eine weitere Ka-

mera des Kraftfahrzeugs aufgenommen werden. Die Odometrie ist die Verwendung von Daten von Bewegungssensoren des Kraftfahrzeugs, z. B. Radrotation, Lenkwinkel usw., um eine Positionsänderung des Fahrzeugs über die Zeit abzuschätzen. Zusätzlich oder alternativ können Bewegungsvektoren von mehr als einer Kamera betrachtet werden. Daher kann die Höhe der Kamera durch Einstellen des Werts der Höhe jeder Kamera bestimmt werden, so dass die erneut projizierten Bewegungsvektoren bei allen Kameras die gleiche Länge aufweisen. Für diesen Zweck erweist es sich als vorteilhaft, wenn eine mittlere Länge der Bewegungsvektoren der linken und rechten Spiegelkameras als Referenz genommen wird und der Wert der Höhe der anderen Kameras eingestellt wird, um sie anzupassen, da die Spiegelkameras durch Beladungsänderungen des Kraftfahrzeugs am wenigsten beeinflusst werden.

**[0028]** Die extrinsische Kalibrierung der Kamera wird nur auf der Basis der Bilder oder Bildbereiche durchgeführt, in welchen Bildern oder Bildbereichen die Abwesenheit des länglichen Objekts detektiert wurde. Folglich erfordert die MTC nur eine texturierte Oberfläche wie z. B. Asphalt, auf der sie gleichzeitig eine große Anzahl von Merkmalen anstatt Linien oder punktförmige Merkmale verfolgt. Diese Merkmale sind besonders kleine Blöcke einer Textur an vordefinierten Stellen in einem Gitter, deren Anwesenheit immer angenommen werden kann, ohne darauf zu warten. Sie werden in einem Paar von Einzelbildern unter Verwendung der Blockvergleichsoperation in Betracht eines Satzes von Bewegungsvektoren als Eingabe in die Kalibrierung verglichen. Mit anderen Worten wird nicht darauf gewartet, dass gute starke Merkmale zufällig im Bild erscheinen. Während der Kalibrierung, die die Bewegungsvektoren verwendet, können die Bilder, die die länglichen Objekte anzeigen, mittels der Tiefeninformationen identifiziert werden, die durch die Bewegungsvektoren bereitgestellt werden, und können effizient ausgemustert werden.

**[0029]** Da zumeist ein autonomer Kalibrierungsalgorithmus auf Straßebasis, der die 3-DOF-Orientierung einer Kamera relativ zu einer Straßen- oder Bodenoberfläche sucht, insbesondere eine Bodenreferenz an einem gewissen Punkt durch Vergleichen oder Verfolgen von Merkmalen oder einer Teilmenge von Merkmalen auf der Bodenoberfläche erhalten muss, kann es schwierig sein, zwischen Merkmalen, die sich wahrhaft auf der Bodenoberfläche befinden, und Merkmalen, die sich in unmittelbarer Nähe dazu befinden, aufgrund der spärlichen Detektion von Merkmalen und Beobachtungsrauschen zu unterscheiden. Die bedingungslose Annahme von allen Merkmalsübereinstimmungen kann jedoch zu signifikanten Fehlern führen, wenn die extrinsische Kalibrierung berechnet wird, insbesondere wenn Merkmale außerhalb der Bodenoberfläche dauerhaft in einer Anzahl von Einzelbildern erscheinen, wie z. B.

wenn längs des Bordsteins gefahren wird. Daher ist es sehr vorteilhaft, jene Einzelbilder, die ein solches Merkmal anzeigen, zu erkennen und insbesondere zu entfernen.

**[0030]** Es erweist sich als vorteilhaft, wenn im Fall von Bildern, die von einer Kamera mit einer Fischaugenlinse aufgenommen werden, eine Fischaugenverzerrung der Bilder entfernt wird, bevor die einander entsprechenden Blöcke identifiziert werden. In diesem Schritt wird eine sogenannte virtuelle Draufsicht des Umgebungsbereichs oder vielmehr der Straßenoberfläche, die durch die Fischaugenkamera aufgenommen wird, erzeugt, bevor die Blockvergleichsoperation durchgeführt wird. Daher können die Kamerabilder in Form von fischaugenverzerrten Bildern gemäß der bekannten intrinsischen Kalibrierung oder intrinsischen Parametern jeder Kamera und der aktuellen extrinsischen Kalibrierung, die anfänglich, z. B. in einer unkalibrierten Kamera, gleich der nominalen extrinsischen Vorgabekalibrierung ist, transformiert werden. Folglich kann die Fischaugenverzerrung vollständig aus den Bildern entfernt werden. Die virtuelle Draufsicht kann mit Hilfe einer Nachschlagetabelle erzeugt werden und kann ein Antialiasing-Filter während der Wiedergabe beinhalten, um die Bildqualität und folglich die Verfolgungsleistung zu verbessern. Dies ist sehr vorteilhaft, da es rechteckige interessierende Bereiche (ROI) oder Blöcke in den Bildern ermöglicht. Es normiert das Aussehen von Texturen zwischen Einzelbildern, was die Verfolgungsleistung wesentlich verbessert und eine systematische Abweichung auf Pixelniveau oder systematische Fehler aus der Kalibrierung entfernt. Folglich stellt die virtuelle Draufsicht automatisch eine Maßstabs-, Rotations-, affine und perspektivische Invarianz für alle Merkmale auf der Bodenoberfläche bereit.

**[0031]** Die Erfindung betrifft außerdem eine Rechenvorrichtung für ein Fahrerassistenzsystem eines Kraftfahrzeugs, die dazu ausgelegt ist, ein Verfahren gemäß der Erfindung durchzuführen. Die Rechenvorrichtung kann in eine fahrzeugseitige Steuereinheit integriert sein. Die Rechenvorrichtung ist dazu ausgelegt, die Anwesenheit oder Abwesenheit von länglichen Objekten in Bildern, die von der mindestens einen fahrzeugseitigen Kamera aufgenommen werden, zu detektieren. Ferner ist die Rechenvorrichtung dazu ausgelegt, die mindestens eine Kamera, insbesondere jede fahrzeugseitige Kamera individuell während der Fahrzeugbewegung mittels der Bilder zu kalibrieren, wobei die Bilder insbesondere die Textur und keine länglichen Objekte anzeigen.

**[0032]** Überdies betrifft die Erfindung außerdem ein Fahrerassistenzsystem für ein Kraftfahrzeug mit mindestens einer Kamera und einer Rechenvorrichtung gemäß der Erfindung. Die Fahrerassistenz unterstützt einen Fahrer des Fahrzeugs mittels der Kameras, die den Umgebungsbereich des Fahrzeugs

überwachen. Das Fahrerassistenzsystem kann vier Kameras umfassen, die ein Rundumsichtkamarasystem bilden. Die Kameras können auch Fischaugenlinsen umfassen, die einen Detektionsbereich der Kameras vergrößern. Das Fahrerassistenzsystem kann Objekte in den durch die kalibrierten Kameras aufgenommenen Bildern zuverlässig detektieren und kann folglich den Fahrer des Fahrzeugs unterstützen, beispielsweise durch Erzeugen eines Warnsignals oder automatisches Bremsen des Kraftfahrzeugs, wenn eine bevorstehende Kollision des Kraftfahrzeugs mit dem detektierten Objekt detektiert wird.

**[0033]** Ein Kraftfahrzeug gemäß der Erfindung umfasst ein Fahrerassistenzsystem gemäß der Erfindung. Das Kraftfahrzeug ist insbesondere als Personenkraftwagen konfiguriert.

**[0034]** Die mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiele und deren Vorteile gelten entsprechend für die Rechenvorrichtung für das erfindungsgemäße Fahrerassistenzsystem sowie für das erfindungsgemäße Kraftfahrzeug.

**[0035]** Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren und der Figurenbeschreibung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen, sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Es sind somit auch Ausführungen von der Erfindung als umfasst und offenbart anzusehen, die in den Figuren nicht explizit gezeigt und erläutert sind, jedoch durch separierte Merkmalskombinationen aus den erläuterten Ausführungen hervorgehen und erzeugbar sind. Es sind auch Ausführungen und Merkmalskombinationen als offenbart anzusehen, die somit nicht alle Merkmale eines ursprünglich formulierten unabhängigen Anspruchs aufweisen. Es sind darüber hinaus Ausführungen und Merkmalskombinationen, insbesondere durch die oben dargelegten Ausführungen, als offenbart anzusehen, die über die in den Rückbezügen der Ansprüche dargelegten Merkmalskombinationen hinausgehen oder abweichen.

**[0036]** Die Erfindung wird nun auf der Basis von bevorzugten Ausführungsbeispielen sowie mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen genauer erläutert.

**[0037]** Diese zeigen in:

**[0038]** Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Kraftfahrzeugs gemäß der Erfindung;

**[0039]** Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Ablaufplans eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens gemäß der Erfindung;

**[0040]** Fig. 3 eine schematische Ansicht von Bildern, die in Blöcke unterteilt sind, sowie eine schematische Ansicht von Bewegungsvektoren:

**Fig. 1** zeigt ein Kraftfahrzeug **1** gemäß der vorliegenden Erfindung. Im vorliegenden Fall ist das Kraftfahrzeug **1** als Personenkraftwagen gestaltet. Das Kraftfahrzeug **1** weist ein Fahrerassistenzsystem **2** zum Unterstützen eines Fahrers des Kraftfahrzeugs **1** auf. Das Fahrerassistenzsystem **2** umfasst eine Rechenvorrichtung **3**, die beispielsweise durch eine fahrzeugseitige Steuereinheit gebildet sein kann. Außerdem umfasst das Fahrerassistenzsystem **2** mindestens eine Kamera **4**. Im vorliegenden Fall umfasst das Fahrerassistenzsystem **2** vier Kameras **4**, wobei eine erste Kamera **4** in einem vorderen Bereich **5** des Kraftfahrzeugs **1** angeordnet ist, eine zweite Kamera **4** in einem hinteren Bereich **6** des Kraftfahrzeugs **1** angeordnet ist, eine dritte Kamera **4** auf einer Fahrerseite **7** des Kraftfahrzeugs **1**, insbesondere an einem Seitenspiegel der Fahrerseite **7**, angeordnet ist und eine vierte Kamera **4** auf einer Beifahrerseite **8** des Kraftfahrzeugs **1**, insbesondere an einem Seitenspiegel der Beifahrerseite **8**, angeordnet ist. Die Kameras **4**, die auf der Fahrerseite **7** und der Beifahrerseite **8** angeordnet sind, können auch die Seitenspiegel ersetzen, wodurch das Kraftfahrzeug **1** als spiegelloses Fahrzeug **1** ausgelegt sein kann, das spiegelloses Fahren ermöglicht. Mittels der Kameras **4** kann ein Umgebungsbereich **9** des Kraftfahrzeugs **1** in Bildern erfasst werden. Die Kameras **4** können Fischaugenlinsen umfassen, um einen Blickwinkel und folglich einen Detektionsbereich der Kameras **4** zu vergrößern.

**[0041]** Die Kameras **4** sind dazu ausgelegt, den dreidimensionalen Umgebungsbereich **9** des Kraftfahrzeugs **1** in Form von zweidimensionalen Bildern anzuzeigen. Daher können die Kameras **4** die 3D-Weltkoordinaten in 2D-Pixelkoordinaten auf der Basis der Kenntnis von intrinsischen und extrinsischen Parametern der Kamera **4** transformieren. Solche intrinsischen Parameter sind beispielsweise die Brennweite und das Bildsensorformat der Kamera **4**. Extrinsische Parameter umfassen insbesondere eine Lage der Kamera **4**, die eine räumliche Orientierung der Kameras **4** beschreibt, und eine Höhe der Kameras **4**, die in einem Roll-Nick-Gier-Koordinatensystem, X, Y, Z-Achsen, gegeben ist. Da die Kameras **4** ihre Lage aufgrund der Beladung des Fahrzeugs oder aufgrund von Stößen während der Bewegung des Kraftfahrzeugs **1** ändern können, ist die Rechenvorrichtung **3** dazu ausgelegt, eine extrinsische Kalibrierung jeder Kamera **4** individuell während der Bewegung des Fahrzeugs **1**, insbesondere während einer ungefähr geradlinigen Bewegung, auf einer Straße **10** durchzuführen.

**[0042]** Daher nimmt die zu kalibrierende Kamera **4** mindestens zwei Bilder der Reihe nach auf, wobei die Bilder zumindest teilweise eine Textur einer Straßenoberfläche **11** der Straße **10** anzeigen. Die Textur umfasst insbesondere Asphalt. Um die Kameras **4** unter Verwendung der mindestens zwei Bilder zu kalibrieren, ist die Rechenvorrichtung **3** dazu ausgelegt, ein autonomes extrinsisches Kalibrierungsverfahren auf Straßenbasis, eine sogenannte Bewegungsverfolgungskalibrierung, MTC, durchzuführen. Das Kalibrierungsverfahren führt zu einem einzelnen Kalibrierungsergebnis durch Analysieren des Pairs von aufeinander folgenden Bildern oder Einzelbildern, insbesondere von jeder Kamera **4**, während sich das Kraftfahrzeug **1** bewegt, insbesondere innerhalb annehmbarer Geschwindigkeits- und Lenktoleranzen.

**[0043]** Hier fährt das Kraftfahrzeug **1** parallel zu einem länglichen Objekt **12** längs der Straße **10**. Im vorliegenden Fall ist das Objekt **12** ein Bordstein. Das Objekt **12** kann auch eine Wand, ein Graben, Vegetation oder ein stehendes Fahrzeug sein. Falls diese Objekte **12** in den von der Kamera **4** aufgenommenen Bildern vorhanden sind, könnte die Kalibrierung verfälscht werden. Daher soll die Anwesenheit dieser länglichen Umgebungsobjekte **12** oder Merkmale entlang der Straße **10**, die über oder unter dem mittleren Bodenniveau stehen, detektiert werden. Es wird nicht versucht, die Eigenschaften dieser Objekte zu klassifizieren oder zu charakterisieren, sondern nur ihre Anwesenheit in einem Paar von Einzelbildern zu detektieren, die z. B. von der unkalibrierten Kamera **4** erfasst werden, die am Fahrzeug **1** montiert ist, während das Fahrzeug **1** ungefähr gerade und parallel zum Bordstein oder Objekt **12** fährt. Im Fall des Erkennens von solchen länglichen Merkmalen **12** können die jeweilige Einzelbilder als ungeeignete Einzelbilder markiert werden und folglich ausgemustert werden, um eine Kalibrierung zu erzeugen, die nicht durch die Anwesenheit von solchen Objekten **12** verfälscht ist. Zum Detektieren dieser Objekte **12** ist die Rechenvorrichtung **3** dazu ausgelegt, ein Verfahren durchzuführen, das schematisch in Fig. 2 gezeigt ist.

**[0044]** In einem ersten Schritt S1 können zwei Einzelbilder von derselben Kamera **4** in virtuelle Draufsichten, eine sogenannte Perspektive von oben nach unten, unter Verwendung der bekannten intrinsischen und nominalen extrinsischen Kalibrierung dieser Kamera **4** berichtigt werden. Insbesondere wird Schritt S1 im Fall von Kameras **4** mit Fischaugenlinsen durchgeführt, um die Fischaugenverzerrung aus den durch die Kamera **4** aufgenommenen Bildern zu entfernen. Die nominale extrinsische Kalibrierung ist durch die mechanische Spezifikation gegeben und beinhaltet insbesondere einen gewissen Fehler aufgrund von mechanischen Toleranzen bei der Montage der Kamera **4**. Dies kann zu einer nicht idealen schrägen virtuellen Draufsicht führen, die eine gewisse perspektivische Verzerrung aufweist.

**[0045]** In einem zweiten Schritt S2 wird eine Blockvergleichsoperation durchgeführt, die kleine rechteckige Blöcke **14** (siehe **Fig. 3**) von Pixeln zwischen den zwei Bildern **13**, insbesondere den virtuellen Draufsichten, in einem Abschnitt vergleicht, der für jede Kamera **4** relevant ist. Die Bilder **13** werden in Bildkoordinaten  $x, y$  beschrieben.

**[0046]** Referenzblöcke können an vordefinierten festen Stellen in einem Einzelbild, einem ersten Bild, gewählt werden und innerhalb ernannter Suchbereiche in einem anderen Einzelbild, z. B. einem vorherigen zweiten Bild, gesucht werden. Die Referenzblöcke können benachbart oder überlappend sein und ihre Form kann rechteckig, kreisförmig oder irgendetwas anderes sein. Typischerweise werden benachbarte rechteckige Blöcke, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet sind, verwendet. Die Blockgröße kann variieren (z. B.  $8 \times 8$ ,  $16 \times 16$ ,  $24 \times 24$ ,  $32 \times 32$  Pixel oder mehr) in Abhängigkeit von der Bildqualität und dem Maßstab der Draufsicht. Pixel innerhalb jedes Blocks **14** können während der Vergleichsoperation übersprungen, insbesondere überabgetastet, werden, um die Berechnung zu beschleunigen. Nach dem Identifizieren von zwei einander entsprechenden Blöcken **14** in den zwei Bildern wird für jedes Paar von entsprechenden Blöcken **14** ein Bewegungsvektor oder Verschiebungsvektor bestimmt, der die Verschiebung der Stelle von einem Bildbereich, der einen bestimmten Straßenoberflächenbereich anzeigt, zwischen den Bildern **13** aufgrund der Fahrzeugbewegung beschreibt. Mit anderen Worten erzeugt der Blockvergleichsschritt S3 einen Satz von Bewegungsvektoren für jede Kamera **4**.

**[0047]** Die Suchbereiche können dynamisch in jedem Einzelbild gemäß einer Vorhersage positioniert werden, die von der aktuellen Kalibrierung und einer Fahrzeugodometrie abgeleitet ist, die auf einem fahrzeugseitigen Netzwerk, z. B. CAN oder Flex-Ray, veröffentlicht werden kann. Die Verwendung der Fahrzeugodometrie ist nicht obligatorisch, aber vereinfacht die Algorithmenkonstruktion. Alternativ können große feste Suchbereiche verwendet werden, die einen vorbestimmten Betriebsgeschwindigkeitsbereich und folglich die erwartete Verlagerung von Blöcken **14** innerhalb der zwei Bilder **13** abdecken. Eine Mehrfachmaßstab-Blockvergleichsmethode („multi-scale block matching approach“) oder andere intelligente Verfahren könnten auch verwendet werden, um die Suche zu beschleunigen, ohne die Odometrie zu verwenden.

**[0048]** Typische Blockvergleichsalgorithmen können verwendet werden, wie z. B. jene, die bei der Bewegungsabschätzung für Videokompression verwendet werden. Diese umfassen, sind jedoch nicht begrenzt auf die Vollsuche, die auch als Algorithmus mit erschöpfender Suche bezeichnet wird, wobei alle möglichen Stellen innerhalb des ernannten Suchbe-

reichs geprüft werden, und auch Verfahren auf Gradientengefällebasis, wie z. B. Rautensuche oder Suche auf Hexagonbasis. Eine typische Kostenfunktion, die auch als Blockverzerrungsmaß bezeichnet wird, kann verwendet werden, wie z. B. Kreuzkorrelation, Summe von absoluten Differenzen, Summe von quadratischen Differenzen, oder fortschrittlichere Verfahren wie z. B. Summe von absoluten transformierten Differenzen, Rang-, Zensus-, Frequenzbereichsverfahren und mehr.

**[0049]** Insbesondere sind die Bilder oder Eingangseinzelbilder durch eine minimale erforderliche Fahrstrecke getrennt, so dass die extrahierten Bewegungsvektoren eine minimale Länge von einigen Pixeln aufweisen und folglich weniger relativen Fehler mitführen. Dies wird natürlichweise bei normalen Fahrgeschwindigkeiten des Kraftfahrzeugs **1** (auch in Abhängigkeit vom Maßstab der virtuellen Draufsicht) und/oder durch Überspringen von Einzelbildern bei sehr geringen Geschwindigkeiten des Kraftfahrzeugs **1** erreicht. Dies basiert auf der Kenntnis, dass die Auswirkung von Beobachtungsrauschen, Unregelmäßigkeiten der Bodenoberfläche **11** und Fahrzeugoszillationen, die einen Fehler in die Berechnungen einspeisen, bei kurzen Bewegungsvektoren signifikanter ist.

**[0050]** Ein dritter Schritt S3 bildet einen teilweisen Kalibrierungsschritt, der an den extrahierten Bewegungsvektoren durchgeführt wird, um die Nick- und Gierkamerarotationen in Bezug auf die Fahrzeugquerachse Y bzw. Fahrzeughochachse Z zu korrigieren, wobei die Rollrotation in Bezug auf die Längsachse X unverändert gelassen wird. Diese Kalibrierung kann korrekt ohne das Erfordernis durchgeführt werden, dass die Merkmale, die durch die Bewegungsvektoren dargestellt werden, die auf der Bodenoberfläche **11** liegen, d. h. sie wird nicht durch den Bordstein **12** oder ähnliche Objekte beeinflusst. Der Vorteil besteht darin, dass sie das Meiste des perspektivischen Fehlers entfernt, der später zu falschen Detektionen führen kann. Zur Kalibrierung wird eine zu minimierende Kostenfunktion formuliert, die die geometrischen Eigenschaften der Bewegungsvektoren auf der Bodenebene **11**, insbesondere in Anbetracht der Einschränkung für ungefähr geradliniges Fahren, ausnutzt.

**[0051]** Während auf einem ebenen Boden geradeaus gefahren wird, sollte ein kalibriertes System Bewegungsvektoren in der virtuellen Draufsicht erzeugen, die von einer perspektivischen Verzerrung frei sind, d. h. Bewegungsvektoren, die alle zur horizontalen  $x$ -Achse parallel sind und die gleiche Länge aufweisen. Am einfachsten kann dieses Ziel durch die Summe der Quadrate der  $y$ -Komponenten und die Varianz der  $x$ -Komponenten aller Bewegungsvektoren ausgedrückt werden. Für eine kalibrierte Kamera unter idealen Bedingungen wäre dies null. Hier wer-

den die Bewegungsvektoren insbesondere unter Verwendung nur der y-Komponenten der Bewegungsvektoren kalibriert, wobei versucht wird, sie alle horizontal zu machen, ohne auch ihre Längen anzugleichen. Durch Minimieren der Kostenfunktion können die Bewegungsvektoren auf teilweise rotationskompensierte und kalibrierte Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  abgebildet werden, wie in **Fig. 3** gezeigt. Die Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  sind frei von einer perspektivischen Verzerrung und sind alle zur horizontalen x-Achse parallel. Die teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren in Bezug auf eine Vielzahl von entsprechenden Blöcken können erneut auf die Ebene der Straßenoberfläche **11** oder Bodenebene projiziert werden, wobei die erneut projizierten, teilweise kalibrierten Bewegungsvektoren insbesondere zur Fahrzeuglängsachse X parallel orientiert sind.

**[0052]** Die von einem Paar von Einzelbildern abgeleiteten Bewegungsvektoren sind tatsächlich Stereoübereinstimmungen und enthalten 3D-Tiefeninformationen, die über Triangulation und bekannte Eigenbewegung extrahiert werden können. In einem vierten Schritt S4 werden folglich Tiefeninformationen aus den Bildern auf der Basis der Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  extrahiert, um das längliche Objekt **12** zu detektieren. Die Eigenbewegung des Fahrzeugs **1** und folglich der Kamera kann von Bordodometriesensoren abgeleitet oder rechnerisch aus den Bewegungsvektoren abgeschätzt werden, was auch als visuelle Odometrie bezeichnet wird. Es ist auch möglich, Tiefen- und Eigenbewegungsinformationen gleichzeitig über Bündelausgleichung zu erhalten. Irgendeine Form von Berechnung kann jedoch signifikant eingeschränkt sein im Hinblick auf die vorher-sagbare Fahrzeugbewegung, die ungefähr bekannte extrinsische Kamerakalibrierung und die Merkmale nahe der Bodenoberfläche in der Nähe des Autos **1**. Die Kamera **4** dreht sich beispielsweise ungefähr nur um die vertikale Achse Z, wenn das Fahrzeug **1** abbiegt, die Fahrzeugbewegung kann ausreichend gut von den Bordodometriesensoren vorhergesagt werden. Die extrinsische Kalibrierung ist insbesondere aus den mechanischen Spezifikationen typischerweise mit einer Toleranz von  $\pm 3$  Grad Fehler in irgendeiner Achse X, Y, Z bekannt. Die Berücksichtigung dieser Faktoren und das Einschließen von ihnen als Einschränkungen in die Berechnung können zu sehr stabilen Lösungen führen, die ansonsten sehr schwierig zu erreichen wären.

**[0053]** Da es insbesondere hauptsächlich um eine gerade Fahrzeugbewegung geht, verringert sich die Eigenbewegung auf eine einfache Translation und keine weitere Kompensation ist erforderlich. Für ein berechtigtes Stereobildpaar ist die Tiefe eines Merkmalspunkts oder vielmehr eines Detektionspunkts, der dem Objekt **12** zugeordnet ist, zu seiner Disparität umgekehrt proportional.

**[0054]** Insbesondere ist die Korrelation  $z = f \cdot b / d$ , wobei  $z$  die unbekannte Tiefe ist,  $d$  die unbekannte Disparität ist,  $f$  die Brennweite der virtuellen Kameras ist und  $b$  die Basis ist. Die lineare Bewegung und die virtuelle Draufsicht stellen leicht ein berechtigtes Stereobildpaar bereit, wobei die Grundlinie gleich der Fahrstrecke zwischen zwei Einzelbildern ist und die Brennweite durch Spezifikation der virtuellen Kamera bekannt ist, die verwendet wird, um die virtuellen Draufsichten zu erzeugen. Die Tiefe eines Merkmalspunkts kann dann aus seiner Disparität berechnet werden, die gleich der Länge des entsprechenden Bewegungsvektors  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  ist.

**[0055]** Merkmale in kleinerer Tiefe weisen gewöhnlich größere Disparitäten auf. Mit anderen Worten erzeugen Merkmale, die näher an der Kamera **4** liegen, wie z. B. der Bordstein **12**, längere Bewegungsvektoren  $v_{i,c2}$  als Merkmale auf der Bodenoberfläche **11**, wie in **Fig. 3** gezeigt. Ebenso erzeugen Merkmale, die niedriger liegen als die Bodenoberfläche **11**, wie z. B. Gräben, kürzere Bewegungsvektoren. Wie in **Fig. 3** zu sehen ist, sind die Längen  $l_1$  von Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$  in einem ersten Blockbereich **15** mit einer ersten und einer zweiten Reihe R1, R2 größer als die Längen  $l_2$  von Bewegungsvektoren  $v_{i,c2}$  in einem zweiten Blockbereich **16** mit einer dritten, einer vierten, einer fünften und einer sechsten Reihe R3, R4, R5, R6. Folglich ergeben sich die Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$  im ersten Blockbereich **15** aus einem länglichen Objekt **12** längs der Straße **10** und die Bewegungsvektoren  $v_{i,c2}$  im zweiten Blockbereich **16** gehören zur Straßenoberfläche **11**.

**[0056]** Mit anderen Worten kann die Anwesenheit eines Bordsteins **12** in einem Paar von Einzelbildern durch eine plötzliche Variation der Länge  $l_1$ ,  $l_2$  der Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  zwischen benachbarten Reihen, hier zwischen der zweiten und der dritten Reihe R2, R3, die visuell durch eine Linie **17** getrennt sind, gefolgert werden. Da das Interesse nur auf relative Änderungen der Tiefe gerichtet ist, ist es nicht erforderlich, die tatsächliche Tiefe jedes Merkmals zu berechnen. Stattdessen kann eine Statistik direkt auf die Länge  $l_1$ ,  $l_2$  der Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  angewendet werden.

**[0057]** Für diesen Zweck kann ein heuristisches Verfahren verwendet werden. Die Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  über jede Reihe R1 bis R6 werden von den entsprechenden Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$  in der vorherigen Reihe R1 bis R6 subtrahiert. Ein Medianfilter kann auf diese Differenzen über jede Reihe R1 bis R6 angewendet werden, um Ausreißer zu entfernen. Dann kann die mittlere Differenz berechnet werden, um eine einzelne Auswertung für diese Reihe R1 bis R6 zu erhalten. Eine plötzliche Änderung der Tiefe zwischen zwei aufeinander folgenden Reihen, hier zwischen den Reihen R2 und R3, erzeugt eine höhere Auswertung. Eine Schwellenwertbildung der

Varianz der Auswertungen ergibt einen binären Klassifikator für die Anwesenheit eines Bordsteins **12** oder allgemein einer plötzlichen Änderung der Tiefe der Bodenoberfläche **11**. Diese Heuristik kann einen Kalibrierungsfehler im Rollen der Kamera **4** tolerieren, d. h. um die Fahrzeuglängsachse X, da dies die Länge  $l_1, l_2$  der Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}, v_{i,c2}$  zwischen verschiedenen Reihen R1 bis R6 in gleichmäßiger Weise ändert. Der Kalibrierungsfehler in den Nick- und Gierrotationen wurde bereits in Schritt S3 entfernt.

**[0058]** Ferner kann eine Tiefenabbildung direkt von den Bewegungsvektoren  $v_{i,c1}, v_{i,c2}$ , oder vielmehr den Disparitäten extrahiert werden, wie vorher erläutert. Dann kann ein 3D-Bordsteinmodell an die Tiefenabbildung angepasst werden. Dieses Modell würde am einfachsten aus zwei Ebenen in verschiedenen Höhen bestehen, wobei eine Ebene als Bodenebene bei  $Z = 0$  angenommen wird. Der Ort der Bordsteinkante könnte durch eine Linie oder eine Linie, die als parallel zur Längsachse X eingeschränkt ist, parametrisiert werden. Dies würde einen Parameter für die Höhendifferenz zwischen den Ebenen und einen oder zwei Parameter für die Linie erfordern. Die Anwesenheit und der Ort des Bordsteins **12** würden aus den Modellparametern und der Anpassungsgüte abgeleitet werden. Komplexere Modelle sind auch möglich, wie z. B. Betrachten von schrägen Ebenen oder gekrümmten Oberflächen und/oder einer gekrümmten Bordsteinkante.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 2007/127778 A1 [0002]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren eines Objekts (12) entlang einer Straße (10) eines Kraftfahrzeugs (1) auf der Basis von mindestens zwei Bildern (13) eines Umgebungsbereichs (9) des Kraftfahrzeugs (1), die nacheinander von mindestens einer fahrzeugseitigen Kamera (4) aufgenommen werden, zur extrinsischen Kalibrierung der mindestens einen Kamera (4), wobei die Bilder (13) zumindest teilweise eine Textur einer Straßenoberfläche (11) anzeigen, und wobei die folgenden Schritte durchgeführt werden:

- a) Bestimmen von mindestens zwei einander entsprechenden Blöcken (14) auf der Basis der mindestens zwei Bilder (13);
- b) Bestimmen von jeweiligen Bewegungsvektoren für jedes der mindestens zwei Paare von einander entsprechenden Blöcken (14);
- c) Bestimmen von Tiefeninformationen hinsichtlich der mindestens zwei Bilder (13) auf der Basis der mindestens zwei Bewegungsvektoren;
- d) Detektieren des Objekts (12) auf der Basis der Tiefeninformationen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Bestimmen der Tiefeninformationen eine Länge ( $l_1$ ,  $l_2$ ) von jedem der mindestens zwei Bewegungsvektoren bestimmt wird und das Objekt (12) auf der Basis einer Differenz zwischen den Längen ( $l_1$ ,  $l_2$ ) der mindestens zwei Bewegungsvektoren detektiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Bilder (13) in mehrere Blöcke (14) unterteilt werden, die in Spalten und Reihen (R1, R2, R3, R4, R5, R6) angeordnet sind, wobei die bestimmten Bewegungsvektoren jeweils in Bezug auf eine bestimmte Reihe (R1, R2, R3, R4, R5, R6) und Spalte bestimmt werden und die Differenzen zwischen zwei Bewegungsvektoren in Bezug auf zwei benachbarte Reihen (R1, R2, R3, R4, R5, R6) durch Subtrahieren der Bewegungsvektoren über jede Reihe (R1, R2, R3, R4, R5, R6) von den Bewegungsvektoren über eine vorherige benachbarte Reihe (R1, R2, R3, R4, R5, R6) bestimmt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Medianfilter auf alle Differenzen über jede Reihe (R1, R2, R3, R4, R5, R6) angewendet wird, um Ausreißer zu entfernen.

5. Verfahren nach Anspruch 3 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass für zwei benachbarte Reihen (R1, R2, R3, R4, R5, R6) eine mittlere Differenz auf der Basis der für die zwei benachbarten Reihen (R1, R2, R3, R4, R5, R6) berechneten Differenzen berechnet wird, wobei das Objekt (12) detektiert wird, wenn die mittlere Differenz einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Detektieren des Objekts (12) die Bewegungsvektoren auf der Basis der mindestens zwei Bilder (13) nur im Fall einer vorbestimmten minimalen Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs (1) bestimmt werden.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Kostenfunktion, die eine Abweichung zwischen dem Bewegungsvektor jedes Paares und einem vorbestimmten Vektor beschreibt, bestimmt wird, ein teilweise rotationskompensierter Bewegungsvektor ( $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$ ) für jedes Paar von entsprechenden Blöcken (14) durch Minimieren der Kostenfunktion bestimmt wird und die Tiefeninformationen auf der Basis der teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren ( $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$ ) bestimmt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kostenfunktion nur auf der Basis einer ersten Komponente der Bewegungsvektoren bestimmt wird, die eine Verlagerung von zwei entsprechenden Blöcken entlang einer vorbestimmten Richtung beschreibt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Fall der Detektion einer Abwesenheit des Objekts (12) in Schritt d), ein Schritt f) durchgeführt wird, der eine extrinsische Kalibrierung der Kamera (4) auf der Basis der mindestens zwei Bilder umfasst, wobei eine Rotation der mindestens einen Kamera (4) auf der Basis der teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren ( $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$ ) durch Angleichen einer Länge der teilweise rotationskompensierten Bewegungsvektoren ( $v_{i,c1}$ ,  $v_{i,c2}$ ) kalibriert wird und eine Höhe der Kamera (4) durch Bestimmen einer aktuellen Höhe der Kamera (4) in Abhängigkeit von der angeglichenen Länge und einem erwarteten Wert der angeglichenen Länge kalibriert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erwartete Wert für die angegliche Länge in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs (1) vorgegeben wird, wobei die Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs (1) mittels Odometrie und/oder auf der Basis mindestens eines weiteren Bewegungsvektors bestimmt wird, der auf der Basis von Bildern (13) bestimmt wird, die durch mindestens eine weitere Kamera (4) des Kraftfahrzeugs (1) aufgenommen werden.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Fall von Bildern (13), die durch eine Kamera (4) mit einer Fischaugenlinse aufgenommen werden, ein Schritt e) vor Schritt a) ausgeführt wird, in welchem Schritt e) eine Fischaugenverzerrung der Bilder (13) entfernt wird.

12. Rechenvorrichtung (3) für ein Fahrerassistenzsystem (2) eines Kraftfahrzeugs (1), die dazu ausgelegt ist, ein Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche durchzuführen.

13. Fahrerassistenzsystem (2) für ein Kraftfahrzeug (1) mit mindestens einer Kamera (4) und einer Rechenvorrichtung (3) nach Anspruch 12.

14. Kraftfahrzeug (1) mit einem Fahrerassistenzsystem (2) nach Anspruch 13.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

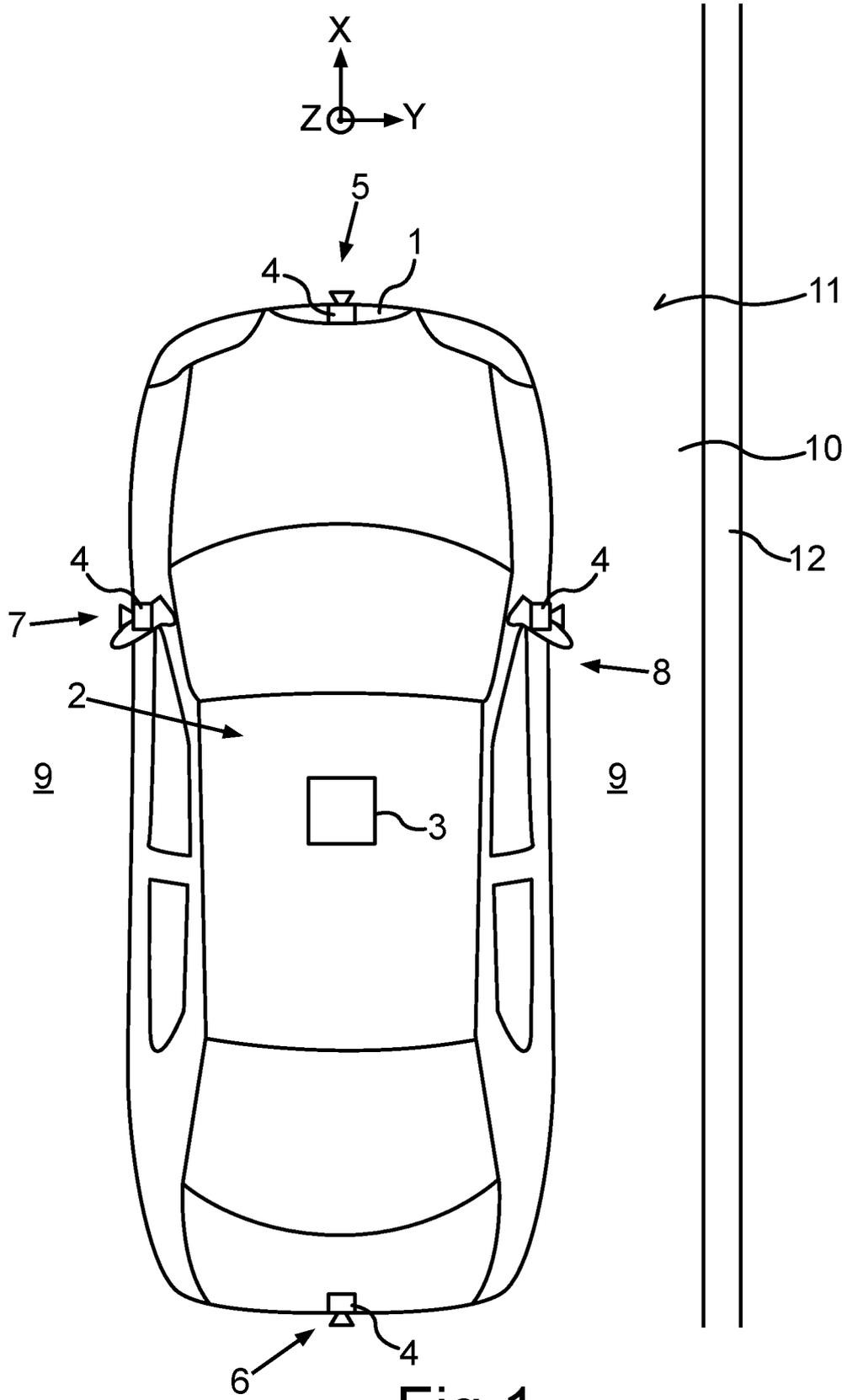


Fig. 1

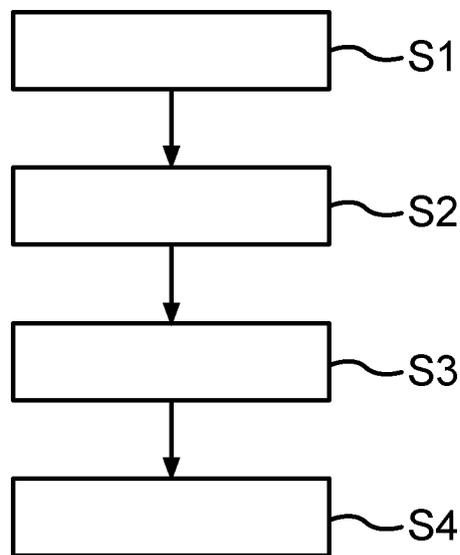


Fig.2

