

(12)

Patentschrift

(21)

Anmeldenummer:

A 372/2009

(22)

Anmeldetag:

06.03.2009

(45)

Veröffentlicht am:

15.07.2020

(51)

Int. Cl.:

G08G 9/02

G01S 13/93

G08G 1/16

(2006.01)

(2006.01)

(2006.01)

(30)

Priorität:

15.07.2008 DE 102008033128 beansprucht.

(56)

Entgegenhaltungen:

DE 4302527 A1
DE 102006047131 A1
US 6133867 A
WO 0208010 A1
WO 0205244 A1

(73)

Patentinhaber:

Airbus Defence and Space GmbH
82024 Taufkirchen (DE)

(72)

Erfinder:

NADERHIRN MICHAEL
LINZ (AT)
LANGTALER PETER
LINZ (AT)

(54)

SYSTEM UND VERFAHREN ZUR KOLLISIONSVERMEIDUNG

(57)

Es wird ein System zur Erkennung von Hindernissen und Berechnen eines Ausweichmanövers in einem Fahrzeug offenbart. Das System umfasst folgende Komponenten: eine Autopiloteinheit zur Steuerung der Bewegung des Fahrzeuges, wobei die Autopiloteinheit eine Schnittstelle zum Empfang von Bewegungsparametern, die eine Soll-Bewegung des Fahrzeuges beschreiben, aufweist und die Autopiloteinheit dazu ausgebildet ist, abhängig von den Bewegungsparametern das Fahrzeug so zu steuern, dass die tatsächliche Bewegung des Fahrzeuges annähernd der Soll-Bewegung entspricht; eine Sensoreinheit mit zumindest einen ersten Umweltsensor, der dazu ausgebildet ist, Hindernis zu orten und von der Relativposition des Hindernisses und der Relativgeschwindigkeit des Hindernisses abhängige Sensordaten bereitzustellen; eine Datenverarbeitungseinheit, die dazu ausgebildet ist, die Sensordaten aufzubereiten und Messwerte für die Relativposition und die Relativgeschwindigkeit zur Verfügung zu stellen; eine Einheit zum Berechnen eines Ausweichmanövers, die dazu ausgebildet ist anhand der Messwerte Bewegungsparameter für eine Soll-Bewegung eines Ausweichmanöver zu berechnen und diese Bewegungsparameter der Schnittstelle der Autopiloteinheit zur Verfügung zu stellen.

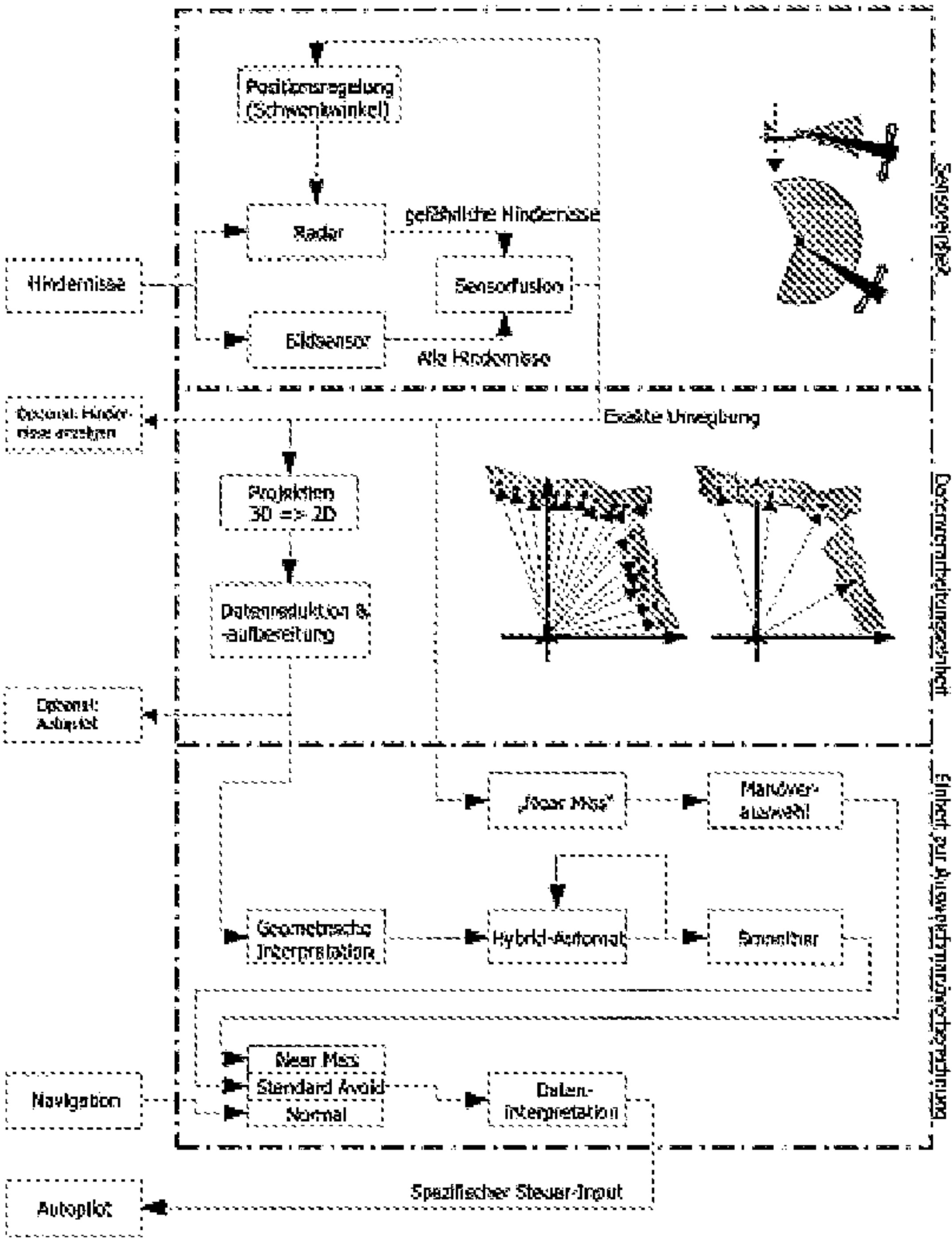


Fig. 1

Beschreibung

SYSTEM UND VERFAHREN ZUR KOLISIONSVERMEIDUNG

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zur automatischen Vermeidung von Kollisionen eines Fahrzeuges mit weiteren Objekten. Das System bzw. das Verfahren ist beispielsweise geeignet für die automatische Vermeidung von Kollisionen durch unbemannte, steuerbare Fluggeräte mit anderen Fluggeräten oder mit feststehenden Hindernissen.

HINTERGRUND

[0002] Insbesondere in der Luftfahrt sowie auch im Automobilbau sind verschiedene Systeme und Verfahren zur automatischen Hinderniserkennung und Kollisionsvermeidung bekannt. Die Publikation DE 43 02 527 A1 betrifft eine Vorrichtung für Kraftfahrzeuge zum Nachweisen von Hindernissen. Beschrieben wird die Detektion eines Hindernisses in einem „Nachweisbereich“. Ob und wie diese Daten für ein automatisches Ausweichen verwertet werden können ist nicht beschrieben.

[0003] Die Publikation DE 10 2006 047 131 A1, betrifft ein Verfahren zum automatischen Steuern eines Fahrzeugs. Dabei werden mit einem Sensor Freiflächen und Hindernisse vor dem Fahrzeug detektiert. Basierend auf dem Ergebnis der Detektion wird ein Ausweichmanöver eingeleitet, jedoch ist über die Art und Weise der Berechnung des Ausweichmanövers nichts beschrieben.

[0004] Die Publikation US 6,133,867 betrifft ein GPS-basiertes *"collision avoidance system"*. Dies setzt allerdings voraus, dass die „Hindernisse“ mit demselben System ausgestattet sind und kooperieren, was im Allgemeinen nicht der Fall ist. Betreffend die Wahl eines Ausweichpunktes im Hinblick auf die Robustheit des Verfahrens bietet diese Publikation jedoch auch keine Anhaltspunkte, da Robustheitsüberlegungen bei Verwendung einer GPS-gestützten Positionsbestimmung wegen der damit erzielbaren Genauigkeit nicht notwendig sind.

[0005] Die Publikation WO 02/08010 A1 betrifft ein automatisches Brems- und Lenksystem für ein Fahrzeug. Dabei wird eine Strategie zur Berechnung einer Ausweichroute vorgeschlagen sowie eine Strategie zur Minimierung der Wucht der Kollision, sofern ein Ausweichen nicht möglich ist. Betreffend die Wahl eines geeigneten Ausweichpunktes zur robusten Berechnung einer Ausweichroute liefert diese Publikation allerdings keinen Beitrag.

[0006] Die Publikation WO 02/05244 A1 betrifft ein Verfahren zur Berechnung genauer Grenzen von vorhergesagten Gefahrenbereichen (*„accurate boundaries of predicted areas of danger“*). In dieser Publikation wird vorgeschlagen, einen Gefahrenbereich (*„area of danger“*) mit Hilfe einer kreisförmigen Zone (*„miss distance circle“*) zu bestimmen. Betreffend die Wahl eines geeigneten Ausweichpunktes zur robusten Berechnung einer Ausweichroute ist hier jedoch auch nichts beschrieben.

[0007] Die Publikation WO 01/46766 A1 betrifft ein Verfahren und Vorrichtung zur räumlichen Kollisionsvermeidung in der Luftfahrt. Betreffend die Wahl eines geeigneten Ausweichpunktes zur robusten (unter Berücksichtigung von Messfehlern) Berechnung einer Ausweichroute liefert jedoch auch diese Publikation allerdings keinen Beitrag.

[0008] Die Publikation US 2002/152029 A1 betrifft ein Verfahren zur Berechnung einer Ausweichflugbahn für ein Flugzeug in der horizontalen Ebene zur Auflösung eines Flugverkehrskonflikts. Auch hier werden keine Messfehler betrachtet, was für eine robuste Berechnung eines Ausweichpunktes nötig ist. Ähnliches gilt für die Publikationen US 2008/0288169 A1, US 6,173,219 B1 und US 6,424,889 B1.

[0009] Im Hinblick auf den oben beschriebenen Stand der Technik kann die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe darin gesehen werden, ein System und ein Verfahren zur Steue-

ung eines Fahrzeuges bereitzustellen, welches das zuverlässige Ausweichen des Fahrzeuges an stillstehenden oder sich bewegenden Hindernissen gewährleistet. Mögliche Kollisionen sollen vermieden werden. Unter dem Begriff "Fahrzeug" werden im Folgenden Landfahrzeuge, Wasserfahrzeuge (z.B. Schiffe), Unterwasserfahrzeuge (z.B. U-Boote), Luftfahrzeuge (z.B. Flugzeuge) sowie Weltraumfahrzeuge verstanden.

ZUSAMMENFASSUNG

[0010] Ein Beispiel der Erfindung betrifft ein System zur Erkennung von Hindernissen und Berechnen eines Ausweichmanövers in einem Fahrzeug. Das System umfasst folgende Komponenten: eine Autopiloteinheit zur Steuerung der Bewegung des Fahrzeuges, wobei die Autopiloteinheit eine Schnittstelle zum Empfang von Bewegungsparametern, die eine Soll-Bewegung des Fahrzeuges beschreiben, aufweist und die Autopiloteinheit dazu ausgebildet ist, abhängig von den Bewegungsparametern das Fahrzeug so zu steuern, dass die tatsächliche Bewegung des Fahrzeuges annähernd der Soll-Bewegung entspricht; eine Sensoreinheit mit zumindest einen ersten Umweltsensor, der dazu ausgebildet ist, Hindernis zu orten und von der Relativposition des Hindernisses und der Relativgeschwindigkeit des Hindernisses abhängige Sensordaten bereitzustellen; eine Datenverarbeitungseinheit, die dazu ausgebildet ist, die Sensordaten aufzubereiten und Messwerte für die Relativposition und die Relativgeschwindigkeit zur Verfügung zu stellen; eine Einheit zum Berechnen eines Ausweichmanövers, die dazu ausgebildet ist anhand der Messwerte Bewegungsparameter für eine Soll-Bewegung eines Ausweichmanöver zu berechnen und diese Bewegungsparameter der Schnittstelle der Autopiloteinheit zur Verfügung zu stellen.

[0011] Ein anderes Beispiel der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen von Hindernissen und Berechnen eines Ausweichmanövers in einem Fahrzeug. Das Verfahren umfasst folgende Schritte: Orten eines Hindernisses mit Hilfe eines ersten Umweltsensors und bereitstellen von entsprechenden Sensordaten, die die Relativposition und die Relativgeschwindigkeit des Hindernisses repräsentieren; Aufzubereiten der Sensordaten und bereitstellen von Messwerten für die Relativposition und die Relativgeschwindigkeit; Berechnen von Bewegungsparameter für eine Soll-Bewegung eines Ausweichmanöver abhängig von den Messwerten; und Zuführen dieser Bewegungsparameter an eine Schnittstelle einer Autopiloteinheit zur Steuerung der Bewegung des Fahrzeuges, wobei die Autopiloteinheit dazu ausgebildet ist, abhängig von den Bewegungsparametern das Fahrzeug so zu steuern, dass die tatsächliche Bewegung des Fahrzeuges annähernd der Soll-Bewegung entspricht.

[0012] Ein weiteres Beispiel der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeuges zur automatischen Vermeidung von Kollisionen des Fahrzeuges mit Hindernissen. Das Verfahren umfasst folgende Schritte: Erkennen und Lokalisieren von Hindernissen vor dem Fahrzeug, wobei die Relativposition des Hindernisses in Bezug auf das Fahrzeug durch seine Koordinaten bestimmt wird; Messen der Relativgeschwindigkeit der erkannten Hindernisse; Beurteilen ob Kollisionsgefahr zwischen dem Fahrzeug und einem Hindernis besteht abhängig von der jeweiligen Relativposition und Relativgeschwindigkeit; Ausführen der folgenden Schritte, wenn eine Kollisionsgefahr mit einem Hindernis vorliegt: Berechnen eines Unsicherheitsbereichs um das Hindernis abhängig von bekannten Messfehlern; Berechnen eines Ausweichpunktes an einem Rand des Unsicherheitsbereichs; Definieren einer Schutzzone mit einem Radius um den Ausweichpunkt; Definieren einer kreisbahnförmigen Ausweichroute mit einem vorgegebenen Kurvenradius; Steuern des Fahrzeuges bei einem kritischen Abstand vom, sodass das Fahrzeug der kreisbahnförmigen Ausweichroute folgt, wobei die kreisbahnförmigen Ausweichroute die Schutzzone tangiert.

KURZBESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN

[0013] Die folgenden Figuren und die weitere Beschreibung soll helfen, die Erfindung besser zu verstehen. Die Elemente in den Figuren sind nicht unbedingt als Einschränkung zu verstehen, vielmehr wird Wert darauf gelegt, das Prinzip der Erfindung darzustellen. In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen korrespondierende Teile.

- [0014]** FIG. 1 ist ein Blockdiagramm, welches ein Beispiel des erfindungsgemäßen Systems illustriert, das eine Sensoreinheit, eine Datenverarbeitungseinheit und eine Einheit zur Berechnung eines Ausweichmanövers umfasst;
- [0015]** FIG. 2 illustriert den praktischen Aufbau der Sensoreinheit mit einer Kamera und einem Radarsensor zur Ermittlung der Relativposition und der Relativgeschwindigkeit von Hindernissen;
- [0016]** FIG. 3 illustriert eine von der Datenverarbeitungseinheit durchgeführte Projektion eines Abstandsvektors und eines Geschwindigkeitsvektors in eine horizontale Ebene, in der sich das Fahrzeug bewegt;
- [0017]** FIG. 4-6 illustrieren beispielhaft eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ausweichen und Vermeiden von Kollisionen bei stationären Hindernissen;
- [0018]** FIG. 7 illustriert die Berechnung eines Unsicherheitsbereiches um ein Hindernis, wobei ein Eckpunkt des Unsicherheitsbereiches als Ausweichpunkt ausgewählt wird;
- [0019]** FIG. 8a-c illustrieren beispielhaft eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Ausweichen und Vermeiden von Kollisionen bei bewegten nicht kooperativen Hindernissen;
- [0020]** FIG. 9a,b illustrieren beispielhaft die Beziehungen zwischen einem bewegten nicht-kooperativen Hindernis und die gemessenen und berechneten Größen;
- [0021]** FIG. 10 illustrieren beispielhaft eine Koordinatentransformation zur Berechnung der Ausweichroute bei einem bewegten nicht-kooperativen Hindernis;
- [0022]** FIG. 11 illustriert eine Ausweichroute, die den Bewegungskorridor des Hindernisses kreuzt;
- [0023]** FIG. 12 illustriert den Bewegungskorridor des Hindernisses unter Berücksichtigung von Hindernissen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0024] Ein System zur sicheren Navigation und Kollisionsvermeidung erfüllt üblicherweise zwei unterschiedliche Aufgaben, nämlich erstens, die Route des zu steuernden Fahrzeuges von dessen aktuellen Position zu einem gegebenen Wegpunkt zu planen, und zweitens, Hindernisse auf dieser Route laufend zu detektieren und gegebenenfalls ein Ausweichmanöver einzuleiten. Die erste Aufgabe (Routenplanung nach Wegpunkten) wird normalerweise im Voraus erledigt, d.h. die Routenplanung erfolgt nicht während der Fahrt, sondern vor der Abfahrt bzw., im Falle von Fluggeräten, vor dem Abflug (Pre-Flight Planning). Die zweite Aufgabe (Erkennen von Hindernissen und Ausweichen) muss kontinuierlich während der Fahrt bzw. des Flugs erfolgen. Im Fall, dass ein a priori unbekanntes Hindernis im Bereich der geplanten Route detektiert wird, muss entschieden werden, ob ein Ausweichen notwendig ist. Ist dies der Fall, muss eine geeignetes Ausweichmanöver geplant werden und die im Voraus geplante (pre-flight planned) Route wird verlassen. Nach dem Abschluss des Ausweichmanövers befindet sich eine neue Route zu dem nächsten Wegpunkt der ursprünglich geplanten Route berechnet.

[0025] Nach dem Erkennen eines Hindernisses, wird dieses klassifiziert und entsprechend dieser Klassifizierung ein geeignetes Ausweichmanöver berechnet. Die Klassifizierung erfolgt nach stationären und bewegten Hindernissen bzw. kooperativen und nicht kooperativen Hindernissen. Ein kooperatives Hindernis versucht selbst, nach dem gleichen Prinzip auszuweichen wie das betrachtete Fahrzeug/Flugzeug, wohingegen nicht-kooperative Hindernisse das Fahrzeug/Flugzeug ignorieren. Es können also drei Klassen von Hindernissen unterschieden werden. Erstens stationäre Hindernisse, die klarerweise immer nicht kooperativ sind, zweitens bewegte nicht-kooperative Hindernisse und drittens bewegte kooperative Hindernisse. Die zu den drei Klassen gehörenden Methoden der Berechnung eines Ausweichmanövers sind sehr

ähnlich und beruhen auf dem selben Prinzip. Der Einfachheit halber wird zuerst das Ausweichen für ein stationäres Hindernis beschrieben. Das mit dem Erfindungsgemäßen System gesteuerte Fahrzeug (z.B. Flugzeug) wird dabei auch als "eigenes Fahrzeug" bezeichnet.

[0026] Bei der Berechnung einer Ausweichroute zur Kollisionsvermeidung wird wie folgt vorgegangen: Es wird angenommen, dass die Entfernung zu Hindernissen einen bestimmten Mindestabstand (R_{RISK}) nicht unterschreiten darf. Um kleinere lokale Hindernisse herum kann ein kreisförmiger Sicherheitsbereich (mit Radius R_{RISK}^0) angenommen werden, in welchen das Fahrzeug (z.B. Flugzeug) nicht eindringen darf. Um die Abtastzeit ΔT zwischen zwei Messungen zu berücksichtigen, kann der Radius R_{RISK}^0 noch um die Strecke vergrößert werden, die das eigene Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit v_i innerhalb dieser Abtastzeit ΔT zurücklegt ($R_{\text{RISK}} = R_{\text{RISK}}^0 + v_i \cdot \Delta T$). Der Flächenbereich vor dem Fahrzeug, in welchen sich das eigene Fahrzeug bewegt und bewegen wird und in welchem in nächster Zeit Hindernisse auftauchen können, auf welche reagiert werden muss, wird mit Hilfe einer bordeigenen Sensoreinheit laufend überwacht. Im Fall des Erkennens eines Hindernisses wird eine Ausweichbahn des eigenen Fahrzeuges an dem Hindernis vorbei berechnet. Die Ausweichbahn ist aus einem Kreisbogen (mit Radius ρ) und optional aus einem Geradenstück zusammengesetzt, wobei das Geradenstück tangential an den Kreisbogen anschließt und der Kreisbogen tangential an die Bewegungsbahn des eigenen Fahrzeuges vor dem Start des Ausweichmanövers anschließt. Der Radius ρ des Kreisbogens entspricht einem von der jeweiligen Geschwindigkeit abhängigen minimalen Krümmungsradius der Ausweichbahn. Das eigene Fahrzeug wird spätestens dann entsprechend der vorausberechneten Ausweichbahn gesteuert, wenn anderenfalls ein Eindringen des eigenen Fahrzeuges in den Sicherheitsbereich um ein erkanntes Hindernis nicht mehr vermeidbar ist, wobei die Ausweichbahn dann den Sicherheitsbereich tangiert.

[0027] Bevor jedoch auf die Ausweichverfahren im Speziellen eingegangen wird, soll zuerst das Gesamtsystem erläutert werden.

[0028] Ein beispielhaftes System gemäß der vorliegenden Erfindung ist in FIG. 1 schematisch dargestellt. Damit das System zur Erkennung von Hindernissen und Berechnen eines Ausweichmanövers in einem Fahrzeug gesteuert werden kann, umfasst es eine Autopiloteinheit, die die Bewegung des Fahrzeuges steuert. Die Autopiloteinheit kann eine Schnittstelle zum Empfang von Bewegungsparametern aufweisen. Die Bewegungsparameter beschreiben eine Soll-Bewegung des Fahrzeuges und die Autopiloteinheit steuert abhängig von den Bewegungsparametern das Fahrzeug so, dass dessen tatsächliche Bewegung des Fahrzeuges annähernd der Soll-Bewegung entspricht. Im Falle eines Flugzeuges sind solche Bewegungsparameter typischerweise die Winkelstellungen der Höhen- und Seitenruder, oder auch Vorgaben für Rollwinkel, Nickwinkel, und Gierwinkel bzw. Winkelgeschwindigkeiten.

[0029] Das System umfasst des Weiteren eine Sensoreinheit mit zumindest einem ersten Umweltsensor, der dazu ausgebildet ist, Hindernis zu orten und von der Relativposition des Hindernisses und der Relativgeschwindigkeit des Hindernisses abhängige Sensordaten bereitzustellen. Der erste Umweltsensor kann z.B. ein optischer Sensor, insbesondere eine Kamera sein. Es können dabei Kameras verwendet werden die im sichtbaren, oder im Infrarotbereich arbeiten.

[0030] Als weitere Komponente kann das System eine Datenverarbeitungseinheit aufweisen, die dazu ausgebildet ist, die Sensordaten aufzubereiten und Messwerte für die Relativposition und die Relativgeschwindigkeit der georteten Hindernisse für die weitere Verarbeitung zur Verfügung zu stellen. Die Datenaufbereitung kann beispielsweise in einer Datenreduktion bestehen oder einer mathematischen Reduktion der dreidimensionalen Wirklichkeit auf ein zweidimensionales Modell. Auf diese Projektion wird weiter unten noch genauer eingegangen (vgl. Beschreibung zur FIG. 3).

[0031] Als dritte Komponente umfasst das System gemäß FIG. 1 eine Einheit zum Berechnen eines Ausweichmanövers. Diese Einheit kann auch in der Autopiloteinheit integriert sein. Im Fall der Luftfahrt kann es jedoch von entscheidendem wirtschaftlichen Vorteil sein, eine bereits für die Luftfahrt zertifizierte Autopiloteinheit mit definierter externer Schnittstelle zu verwenden. Für

eine Verwendung in der Luftfahrt muss dann nur mehr das erfindungsgemäße System, jedoch nicht der Autopilot zertifiziert werden. Die Einheit zur Berechnung eines Ausweichmanövers ist dazu ausgebildet, abhängig von den Messwerten für Relativposition und Relativgeschwindigkeit Bewegungsparameter für eine Soll-Bewegung eines Ausweichmanöver zu berechnen und diese Bewegungsparameter der Schnittstelle der Autopiloteinheit zur Verfügung zu stellen.

[0032] Ein potentiell Hindernis befindet sich im Allgemeinen in einem Abstand R_{SENSE} vor dem Fahrzeug in einer durch Azimut-Winkel ψ und Elevationswinkel θ bestimmten Richtung. Der Umweltsensor (Kamera, Radarsensor) erfasst dabei den Bereich vor dem Fahrzeug und ermittelt Abstand R_{SENSE} , den Azimut-Winkel ψ , den Elevationswinkel θ und die Relativgeschwindigkeit v des betrachteten Hindernisses und stellt diese Größen als Sensordaten für die weitere Verarbeitung zur Verfügung.

[0033] Um genauere Messergebnisse zu erhalten kann die Sensoreinheit als zweiten Umweltsensor einen Radarsensor enthalten. Die Sensoreinheit ist in diesem Fall dazu ausgebildet, die Sensordaten von dem ersten und dem zweiten Umweltsensor zusammenzuführen und aus der in den Sensordaten enthaltenen Information Azimutwinkel ψ , Elevationswinkel θ und Abstand R_{SENSE} und Relativgeschwindigkeit v des Hindernisses zu berechnen.

[0034] Aus den Bilddaten, die von der Kamera erzeugt werden, kann die Sensoreinheit potentielle Hindernisse erkennen und diese klassifizieren. Ist das Hindernis z.B. ein Flugzeug kann aufgrund des Bildes der Flugzeugtyp erkannt werden. Basierend auf dieser Klassifizierung kann die tatsächlichen Größe des betrachteten Hindernisses (Flugzeuges) aus einer Datenbank ermittelt werden. Aus der tatsächlichen Größe eines jeden Hindernisses und dessen Größe am Bild kann der Abstand zwischen betrachteten Hindernis und dem Fahrzeug berechnet werden. Auch der Azimutwinkel ψ und der Elevationswinkel θ können aus der Position des Hindernisses im Bild der Kamera ermittelt werden.

[0035] Eine höhere Genauigkeit bei der Messung erhält man, wenn man die Relativposition, insbesondere die Richtung (d.h. Azimut und Elevationswinkel) des Hindernisses, (grob) näherungsweise mit Hilfe von Bildverarbeitungsmethoden aus dem Kamerabild ermittelt und dann den Radarsensor, der nur ein wesentlich geringeres Sichtfeld ("field of view") aufweist, in Richtung des betrachteten Hindernis schwenkt. Dann kann die Relativposition und die Relativgeschwindigkeit mit dem Radarsensor gemessen werden mit einer höheren Genauigkeit als die näherungsweise Messung mit der Kamera. Die Sensoreinheit, insbesondere das Sichtfeld der Kamera und des schwenkbaren Radarsensors sind in FIG. 2 illustriert.

[0036] Sind mehrere Hindernisse auf dem Kamerabild erkennbar, ist die Sensoreinheit in der Lage, potentielle Hindernisse zu erkennen und diese nach ihrer "Gefährlichkeit" zu ordnen. Am gefährlichsten ist jenes Hindernis, mit dem aufgrund seiner Relativposition und seiner Relativgeschwindigkeit zum Fahrzeug eine Kollision am wahrscheinlichsten ist. In der Luftfahrt kann häufig das Hindernis, dass sich am nächsten am Mittelpunkt einer möglichen kreisbahnförmigen Ausweichroute befindet, als gefährlichstes Objekt eingestuft werden. Auf dieses als am gefährlichsten eingestufte Hindernis wird dann der Radarsensor ausgerichtet.

[0037] Das System nach FIG. 1 umfasst, wie oben erwähnt, eine Datenverarbeitungseinheit. Diese kann dazu ausgebildet sein, die Relativposition eines Hindernisses in eine horizontale Ebene zu projizieren, um den Horizontalabstand zu ermitteln und diesen als Messwert für die Relativposition zur Verfügung zu stellen. Mit einer solchen Projektion wird das in Wirklichkeit dreidimensionale Problem auf ein zweidimensionales reduziert. Diese Reduktion ist auch in der Luftfahrt oder der Unterseefahrt zweckmäßig, da aus Gründen der Effizienz ein Ausweichmanöver normalerweise innerhalb einer bestimmten Flughöhe stattfindet und (außer in Ausnahmesituationen, in denen ein Not-Ausweichmanöver eingeleitet werden muss) kein Ausweichen nach oben oder unten erfolgt. Derartige Ausweichmanöver würden viel mehr Energie benötigen als Ausweichmanöver in einer Ebene. Der Horizontalabstand R_{PROJ} ergibt sich dann aus dem tatsächlich gemessenen Abstand R_{SENSE} durch Multiplikation mit dem Kosinus des Elevationswinkels θ . Die Berechnung der Horizontalgeschwindigkeit v_{PROJ} erfolgt analog.

[0038] Eine weitere Aufgabe der Datenverarbeitungseinheit ist die Datenreduktion, sofern viele Hindernisse erkannt werden. Die Relativposition jedes Hindernisses ist mit einem Unsicherheitsbereich behaftet, d.h. mit einem Messfehler betreffend den Abstand R_{SENSE} , und einem Messfehler betreffend die Winkel ψ und θ . Wenn nun mehrere Hindernisse nahe beieinander liegen oder ein sehr großes Hindernis erkannt wird (z.B. eine Mauer) dann können mehrere Messpunkte zusammengefasst werden und für die zusammengefassten Hindernisse (oder das große Hindernis) eine gemeinsame Relativposition mit einem entsprechend vergrößerten Unsicherheitsbereich berechnet werden.

[0039] Ein reguläres Ausweichmanöver kann nicht ausgeführt werden wenn ein Hindernis plötzlich - z.B. von oben oder unten - sich vor das Fahrzeug bewegt und sich dann näher als ein kritischer Abstandes R_{RISK} im Bereich vor dem Fahrzeug befindet. Ein Herannahen des Hindernisses kann in diesem Fall nicht beobachtet werden, es taucht praktisch plötzlich im Sichtfeld der Sensoreinheit auf. Ein solcher Fall wird als "Near Miss" bezeichnet und verlangt ein Not-Ausweichmanöver, das auch nach rechts oder links, aber auch nach oben oder unten eingeleitet werden kann und bei dem das Fahrzeug auch kurzfristig über seine Belastungsgrenzen gebracht werden kann.

[0040] Die Einheit zum Berechnen eines Ausweichmanövers kann des Weiteren eine Einheit zur Klassifizierung des Hindernisses umfassen. Diese ist dazu ausgebildet, basierend auf den Messdaten das Hindernis zu klassifizieren, um daraus Rückschlüsse über das Verhalten des Hindernisses zu ziehen. Bei dieser Klassifizierung wird aus den Sensordaten ermittelt, ob das Hindernis ein statisches (nicht bewegtes) Objekt, ein bewegtes kooperierendes Objekt oder ein bewegtes nicht-kooperierendes Objekt ist. Unter einem kooperierenden Objekt wird ein Objekt verstanden, das vordefinierte Regeln und Verhaltensweisen beim Ausweichen beachtet. Ein nicht kooperierendes Objekt ignoriert das Fahrzeug und behält seine bisherige Bewegungsbahn bei. Abhängig von der Relativposition und der Relativgeschwindigkeit (d.h. den in die horizontale Ebene projizierten Komponenten davon) und dem Ergebnis der Klassifizierung werden dann Bewegungsparameter für eine Ausweichroute berechnet und der diese der Schnittstelle der Autopiloteinheit zur Verfügung zu stellen. Die Autopiloteinheit steuert dann die entsprechenden Aktoren (z.B. Höhenruder und Seitenruder beim Flugzeug) am Fahrzeug so, dass dieses die berechnete Ausweichroute durchführt.

[0041] Die FIG. 3 bis 7 illustrieren die Berechnung der Ausweichroute (Ausweichbahn) genauer. Das Verfahren zur Berechnung einer Ausweichroute zur automatischen Vermeidung von Kollisionen des Fahrzeugs Hindernissen umfasst die im Folgenden näher beschriebenen und in den FIG. 3 bis 7. illustrierten Schritte.

[0042] Die Basis der Berechnung bildet die oben bereits beschriebene Hinderniserkennung. In einem ersten Schritt erfolgt das Lokalisieren von Hindernissen vor dem Fahrzeug, wobei die Relativposition des Hindernisses in Bezug auf das Fahrzeug durch seine Koordinaten (z.B. Kugelkoordinaten, d.h. Abstand, Azimutwinkel, Elevationswinkel) bestimmt wird. Die Relativgeschwindigkeit der erkannten muss ebenfalls ermittelt werden. Dies kann z.B. mit dem Radarsensor erfolgen. Danach erfolgt eine Beurteilen der erkannten Hindernisse dahingehend, eine ob Kollisionsgefahr zwischen dem Fahrzeug und dem jeweiligen Hindernis besteht, abhängig von der jeweiligen Relativposition und Relativgeschwindigkeit.

[0043] Wenn eine Kollisionsgefahr erkannt wird, dann erfolgt eine Berechnung eines Ausweichmanövers wie im Folgenden erläutert:

[0044] Es wird eine Unsicherheitsbereichs um das Hindernis abhängig von bekannten Messfehlern berechnet, ein solcher Unsicherheitsbereich hat bei statischen Hindernissen die Form eines Kreisringsegments. In FIG. 7 ist ein Unsicherheitsbereich um ein Hindernis an der nominellen Position O_j gezeigt. Das Hindernis befindet sich in einem nominellen Abstand R_{SENSE} vor dem Fahrzeug A_i unter einem Azimutwinkel ψ . Der Unsicherheitsbereich Γ für die Winkel ist das Intervall

$$\Gamma = [\psi - \psi_{\text{MIN}}, \psi + \psi_{\text{MAX}}]$$

und der Unsicherheitsbereich Σ für den Abstand

$$\Sigma = [R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}, R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}].$$

[0045] Der gesamte Unsicherheitsbereich ist das durch die Punkte "Punkt 1", "Punkt 2", "Punkt 3" und "Punkt 4" gebildete Kreisringsegment. Die kartesischen Koordinaten (x-Koordinate, y-Koordinate) der vier Punkte berechnen sich wie folgt:

$$\text{Punkt 1: } [(R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \cos(\psi - \psi_{\text{MIN}}), (R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \sin(\psi - \psi_{\text{MIN}})]$$

$$\text{Punkt 2: } [(R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \cos(\psi - \psi_{\text{MIN}}), (R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \sin(\psi - \psi_{\text{MIN}})]$$

$$\text{Punkt 3: } [(R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \cos(\psi + \psi_{\text{MAX}}), (R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \sin(\psi + \psi_{\text{MAX}})]$$

$$\text{Punkt 4: } [(R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \cos(\psi + \psi_{\text{MAX}}), (R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \sin(\psi + \psi_{\text{MAX}})].$$

[0046] Vom Fahrzeug aus gesehen ist der Punkt "Punkt 4" der am weitesten rechts gelegene und ist bei einem Ausweichen nach Rechts jener Punkt, der dem Mittelpunkt der kreisförmigen Ausweichroute am nächsten liegt. Folglich wäre ein Hindernis, an diesem äußersten Punkt des Unsicherheitsbereiches am gefährlichsten, wenn man das oben erwähnte Kriterium für die "Gefährlichkeit" von Hindernissen heranzieht. Um ein robustes Ausweichen zu gewährleisten, muss also im schlimmsten Fall, dem Punkt "Punkt 4" ausgewichen werden. Robust heißt in diesem Fall, dass die Ausweichroute unter Berücksichtigung der Messfehler noch sicher ist und ein gewünschter Mindestabstand zum Hindernis eingehalten wird. Punkt 4 ist also der Punkt dem ausgewichen wird, dieser wird daher im Folgenden als Ausweichpunkt bezeichnet. Bei einem Ausweichen nach Links wäre der Ausweichpunkt der Punkt "Punkt 1".

[0047] Das weitere Verfahren wird anhand der FIG. 4 bis 6 erläutert, wobei der Unsicherheitsbereich aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mehr dargestellt ist. Gezeigt ist nur mehr der Ausweichpunkt, der mit O_k bezeichnet ist.

[0048] Bei stationären Hindernissen wird eine kreisförmige Schutzzone SZ mit einem Radius R_{RISK} um den Ausweichpunkt definiert. In diese Schutzzone SZ soll das Fahrzeug nicht eindringen. Damit bleibt sichergestellt dass das Fahrzeug dem Hindernis näher kommt als ein Minimalabstand R_{RISK} . Das Fahrzeug weicht immer auf einer (annähernd) kreisförmigen Ausweichroute aus. Diese Annahme ist für die Berechnung sowohl für Fluggeräte, als auch Landfahrzeuge und Schiffe ausreichend genau. Die Kreisbahn der Ausweichroute hat den minimal möglichen Radius ρ , der bekannt ist jedoch von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängt. Der Abstand zum Hindernis wird laufend gemessen. Bei einem kritischen Abstand wird das Ausweichmanöver eingeleitet (d.h. der Autopilot mit entsprechenden Bewegungsparametern angesteuert), so dass die kreisbahnförmigen Ausweichroute ER die Schutzzone SZ tangiert. Dieser kritische Abstand $R_{\text{SENSE,MIN}}$ (vgl. FIG. 4) kann direkt aus den gemessenen Größen berechnet werden. Als Kriterium dafür, dass ein Ausweichmanöver eingeleitet werden muss, kann bei stationären Hindernissen die folgende Ungleichung angegeben werden:

$$2 \cdot \rho \cdot R_{\text{RISK}} + R_{\text{RISK}}^2 + 2 \cdot \rho \cdot R_{\text{SENSE}} \cdot \sin(\psi) - R_{\text{SENSE}}^2 > 0, \quad (1)$$

wobei ρ der Kurvenradius der Ausweichbahn ER, R_{RISK} der Radius der kreisförmigen Schutzzone um das Hindernis, ψ der Azimutwinkel, unter dem das Hindernis gesehen wird und R_{SENSE} der gemessene Abstand des eigenen Fahrzeuges zum Hindernis ist. Für den Abstand R_{SENSE} und den Azimutwinkel ψ werden die Worst-Case-Werte ($R_{\text{SENSE,MIN}}$, $\psi + \psi_{\text{max}}$) eingesetzt, um die Berechnung robust gegen Messunsicherheiten zu machen. Mathematisch ausgedrückt bedeutet das:

$$R_{\text{SENSE}} = \min\{\Sigma\}, \text{ und}$$

$$\sin(\psi) = \max\{\sin(\Gamma)\}.$$

[0049] Anders ausgedrückt: ein Ausweichmanöver muss eingeleitet werden, wenn zumindest für eine Kombination von ($R_{\text{SENSE}} \in \Sigma$) und ($\psi \in \Gamma$) die Ungleichung (1) erfüllt ist. Ein derartiges Vorgehen ist robust gegen Messunsicherheiten bei der Messung der Position des Hindernisses. Es kann gezeigt werden, dass dieser „worst case“ immer bei minimalem Abstand R_{SENSE} und maximalem Azimutwinkel ψ ist.

[0050] Wie bereits oben erwähnt werden für die Berechnung des kritische Abstands $R_{\text{SENSE,MIN}}$ die in die horizontale Ebene projizierten Größen (vgl. FIG. 3) verwendet. sobald ein Hindernis detektiert wird, das die Ungleichung (1) erfüllt, wird das Ausweichmanöver eingeleitet, d.h. das Fahrzeug/Flugzeug wird auf eine kreisförmige Ausweichbahn mit dem Radius p gelenkt.

[0051] Nach dem Einleiten des Ausweichmanövers befindet sich das Fahrzeug A_i auf der kreisförmigen Ausweichroute. Dabei wird weiter laufend der Abstand zum Hindernis gemessen. Sobald der Abstand $R_{\text{SENSE}}(t+1)$ zu einem Zeitpunkt $t+1$ größer ist als zu einem vorherigen Zeitpunkt t ($R_{\text{SENSE}}(t+1) > R_{\text{SENSE}}(t)$), das Fahrzeug sich also wieder vom Hindernis entfernt, kann eine Gegenbewegung eingeleitet werden, um das ursprüngliche Ziel, den Wegpunkt WP, zu erreichen (vgl. FIG. 5). Das Fahrzeug wird dann solange entlang der kreisförmigen Schutzzone bewegt, bis der Abstand zwischen dem Winkel φ der Flugrichtung in Bezug auf Norden und dem Winkel φ_{WP} des Hindernisses in Bezug auf die Nordrichtung einen vordefinierten Schwellwert unterschreitet. Danach wird wieder die normale Wegpunktnavigation aktiviert, wie sie z.B. in der Luftfahrt üblich ist.

[0052] Bewegte, nicht-kooperative Hindernisse zeichnen sich dadurch aus, dass sie das zu steuernde Fahrzeug/Fluggerät ignorieren, d.h. ihre bisherige Bewegung geradlinig fortsetzen. Die bei stationären Hindernissen kreisförmige Schutzzone wird bei bewegten Hindernissen mitbewegt. Bei einer geradlinigen Bewegung des Hindernisses ist die Schutzzone also ein Korridor, dessen Breite dem Durchmesser der kreisförmigen Schutzzone eines stationären Hindernisses, also $2 \cdot R_{\text{risk}}$, entspricht. Eine schematische Darstellung mit einem bewegten Hindernis O_j , das eine gemessene Geschwindigkeit von v_j aufweist, mit einem zu steuernden Fahrzeug (Fluggerät) A_i , das eine Geschwindigkeit von v_i aufweist, mit einer korridorförmigen Schutzzone SZ um das Hindernis O_j , und mit einer die Schutzzone tangierenden kreisbahnförmigen Ausweichbahn ER des Fahrzeuges A_i ist in Figur 8a gezeigt. Die Figur 8b zeigt eine ähnliche Darstellung mit einem weiteren bewegten, nicht kooperativen Hindernis O_k .

[0053] Sofern ein bewegtes Hindernis O_j , O_k , O_l (vgl. Figuren 8a-c) erkannt wird, wird ermittelt, ob aufgrund dessen Geschwindigkeitsvektoren v_j , v_k bzw. v_l und der eigenen Geschwindigkeit v_i des zu steuernden Fahrzeuges A_i eine Kollision droht. Wenn ja, wird eine kreisbahnförmige Ausweichbahn ER eingeschlagen, wobei das Verfahren zur Berechnung ähnlich abläuft wie bei einem stationären Hindernis (vgl. Figuren 4-6).

[0054] In den in den Figuren 8a und 8b gezeigten Fällen, tangiert die Ausweichbahn ER den Bewegungskorridor (d.h. die Schutzzone SZ) des Hindernisses O_j bzw. O_k , wobei in der Luftfahrt entsprechend den in diesem Bereich gültigen Regeln die Ausweichbahn aus Sicht des zu steuernden Fahrzeuges immer nach rechts verläuft. Im Gegensatz zu stationären Hindernissen gibt es bei bewegten nicht kooperativen Hindernissen auch die Möglichkeit, dass die Ausweichbahn in der vorgegebenen Richtung (z.B. nach rechts wie in der Luftfahrt üblich) durch den Bewegungskorridor (d.h. die Schutzzone) blockiert ist. In diesem Fall (Korridor schneidet Ausweichbahn) ist eine Änderung der "Standard-Ausweichstrategie" (z.B. Ausweichen nach rechts) notwendig. Diese Situation ist in Figur 8c dargestellt.

[0055] Ob eine Kollision mit einem bewegten nicht kooperativen Hindernis droht kann durch geometrische Überlegungen ähnlich denen, die zur Gleichung (1) führen, ermittelt werden. Figur 9a illustriert die Detektion eines bewegten Hindernisses O_k . Mit Hilfe der oben beschriebenen Bordsensoren des zu steuernden Fahrzeuges/Fluggerätes werden die folgenden Werte gemessen: Geschwindigkeitsvektor v_o (axiale und laterale Komponente v_{ox} und v_{oy}), Abstand R_{SENSE} zwischen Fahrzeug A_i und Hindernis O_k , Azimutwinkel ψ und die eigene Geschwindigkeit v_i des zu steuernden Fahrzeuges. Wie beim Ausweichen stationärer Hindernisse wird um das Objekt O_k eine kreisförmiger Bereich definiert, in die das Fahrzeug A_i nicht eindringen darf. Der kreisförmige Bereich definiert auch die Breite des Korridors, in dem sich das Hindernis bewegt. Der Winkel zwischen der x-Achse, die per Definition in der Bewegungsrichtung des zu steuernden Fahrzeuges liegt, und dem Geschwindigkeitsvektor v_o des Hindernisses wird mit dem Symbol χ bezeichnet. Die in Figur 9a gezeigte Darstellung ist in einem ruhenden Koordinatensystem gezeichnet. Diese Darstellung kann in eine äquivalente Darstellung in einem mit dem Fahr-

zeug/Fluggerät A_i mitbewegten Koordinatensystem übergeführt werden, die in Figur 9b dargestellt ist. In dieser Darstellung ist die Geschwindigkeit des Fahrzeuges/Fluggerätes null, die Relativgeschwindigkeit des Hindernisses mit v_r (Komponenten v_{rx} und v_{ry}) und der Winkel zwischen x-Achse und dem Relativgeschwindigkeitsvektor mit χ_r bezeichnet. Um ein Kriterium dafür zu erhalten, ob eine Kollision droht, wird die relative Lage von der durch den Relativgeschwindigkeitsvektor definierten Gerade g und einen um das Fahrzeug gedachten Kreis k mit dem Radius R_{RISK} betrachtet. Schneidet die Gerade g den Kreis k , droht eine Kollision. Mathematisch kann diese Beziehung zwischen Gerade g und Kreis k durch die Ungleichung

$$\sin^2(\psi - \chi_r) - (R_{RISK}/R_{SENSE})^2 > 0 \quad (2)$$

ausgedrückt werden. Ist diese Ungleichung erfüllt, droht keine Kollision. Der Winkel χ_r berechnet sich einfach aus der Gleichung

$$v_{rx}/v_{ry} = \cot(\chi_r) = \kappa, \quad (3)$$

wobei für die Relativgeschwindigkeiten gilt:

$$v_{rx} = v_{ox} - v_{ix}, \quad v_{ry} = v_{oy} - v_{iy}.$$

[0056] Sofern die x-Koordinate in der Bewegungsrichtung des Fahrzeuges/Fluggerätes A_i liegt, ist jedoch die Komponente v_{iy} immer null.

[0057] Die Ungleichung (2) gilt für ideal genaue Messwerte. Zur Berücksichtigung von Messunsicherheiten wird wieder eine "worst case" Betrachtung Vorgenommen, d.h. man sucht ein Minimum des Ausdrucks auf der linken Seite der Ungleichung (2). Das neue Kriterium lautet also

$$\min\{\sin^2(\Delta) - (R_{RISK}/\Sigma)^2\} > 0, \quad (4)$$

wobei $\Sigma = [R_{SENSE,MIN}, R_{SENSE,MAX}]$ und $\Delta = [\delta_{min}, \delta_{max}]$ [wie sind δ_{min} , δ_{max} festgelegt? Auf den Folien steht $\delta_{min} = \min \Gamma - \max A$, nur was ist "A" (Unsicherheitsbereich von χ_r ?)].

[0058] Die obigen Kriterien der Ungleichungen (2) und (4) ermöglichen lediglich eine Entscheidung, ob eine Kollision droht. Ob, und zu welchem spätest möglichen Zeitpunkt ein Ausweichen noch möglich ist, wird dabei nicht geprüft. In den Fällen, in denen der Korridor weit genug von dem Fahrzeug/Flugzeug entfernt ist, dass ein Ausweichen entlang einer Kreisbahn, die den Korridor gerade noch berührt, möglich ist (vgl. Figuren 8a und 8b) erhält man ein Kriterium für das Einleiten des Ausweichmanövers aus der Ungleichung (4) durch eine Koordinatentransformation, die in Figur 10 dargestellt ist. Die entsprechende Ungleichung lautet:

$$\min\{\sin^2(\Delta_{ER})\} - ((R_{RISK} + \rho)/\min\{\Sigma_{ER}\})^2 > 0, \quad (5)$$

wobei im Vergleich zur Ungleichung (4) statt R_{RISK} die Summe $R_{RISK} + \rho$ eingesetzt wird und statt den Bereichen Δ und Σ die entsprechenden transformierten Bereiche Δ_{ER} und Σ_{ER} , wobei:

$$\Delta_{ER} = [\min\{\Gamma_{ER}\} - \max\{A\}, \max\{\Gamma_{ER}\} - \min\{A\}],$$

$$\Gamma_{ER} = \tan^{-1}((\Sigma \cdot \sin(\Gamma) - \rho)/(\Sigma \cdot \cos(\Gamma))) \text{ und}$$

$$\Sigma_{ER} = \sqrt{\rho^2 + \Sigma^2 - 2 \cdot \Sigma \cdot \rho \cdot \cos(\pi/2 - \Gamma)}.$$

Ein Ausweichmanöver muss eingeleitet werden, wenn zumindest für eine Kombination von $(R_{SENSE,ER} \in \Sigma_{ER})$, $(\psi_{ER} \in \Gamma_{ER})$ und $(\chi_r \in A)$ die Ungleichung (5) erfüllt ist.

[0059] Es können Fälle auftreten, wie z.B. in Figur 8c dargestellt, in denen kein Standard-Ausweichen möglich ist, da die Ausweichbahn durch den Korridor SZ blockiert ist. In diesem Fall, kann entweder in die andere Richtung als die Standard-Richtung ausgewichen werden, oder, sofern das möglich ist, der Korridor vor dem Hindernis gequert. Dies ist genau dann möglich, wenn die Zeit, die das Fahrzeug/Fluggerät A_i zum Verlassen des Korridors SZ benötigt, kleiner oder gleich ist, als die Zeit, die das Hindernis benötigt, um sich bis auf einen Abstand R_{RISK} dem Fahrzeug A_i anzunähern. Diese Situation ist beispielhaft in Figur 11 dargestellt. Messunsicherheiten in der Geschwindigkeitsmessung wirken sich bei bewegten Hindernissen dadurch aus, dass der Bewegungskorridor nicht geradlinig verläuft (wie im in Fig. 11 gezeigten Idealfall) sondern je Längeneinheit um den Wert $2 \cdot \sin(\alpha)$ breiter wird, wobei α die maximale

Unsicherheit im Winkels des Geschwindigkeitsvektors v_o ist. Diese Situation ist in Figur 12 dargestellt.

[0060] Kooperative Hindernisse: Als dritte Klasse von Hindernissen werden bewegte kooperative Hindernisse unterschieden. Diese weichen nach denselben Regeln aus wie das zu steuernde Fahrzeug. Ob das Hindernis ein kooperatives Verhalten zeigt, kann z.B. über eine Funkverbindung mit dem Hindernis ermittelt werden. Das heißt, das Hindernis-Objekt und das zu steuernde Fahrzeug/Fluggerät müssen sich „kennen“. Als Kriterium dafür, dass ein Ausweichmanöver eingeleitet werden muss, kann bei bewegten kooperativen Hindernissen die folgende Ungleichung angegeben werden:

$$2 \cdot p \cdot R + R^2 + 2 \cdot p \cdot R_{\text{SENSE}} \cdot \sin(\psi) - R_{\text{SENSE}}^2 > 0, \quad (6)$$

mit $R = R_{\text{RISK}} + p$. Im Vergleich zur Ungleichung (1) unterscheidet sich die Ungleichung (6) lediglich dadurch, dass die Variable R_{RISK} (Radius Schutzzone) die Summe $R_{\text{RISK}} + p$ eingesetzt wird. Der Fall der kooperativen bewegten Hindernisse kann also als Sonderfall eines stationären Hindernisses gesehen werden.

[0061] Einen weiteren Spezialfall stellen Strömungen wie beispielsweise Wind oder Wasser dar. Bei einer konstanten Strömung wird das Fahrzeug zusätzlich mit der konstanten Geschwindigkeit der Strömung in die Richtung derselben bewegt. Um die Bewegung des Fahrzeugs im erdfesten Koordinatensystem zu beschreiben zu können, wird der Geschwindigkeitsvektor der Eigenbewegung des Fahrzeugs mit dem Geschwindigkeitsvektor der Strömung addiert. Durch die Strömung bewegt sich das Fahrzeug auch ohne Eigenbewegung mit der Geschwindigkeit der Strömung, relativ zum Objekt.

Im Falle einer Strömung können nun stationäre Hindernisse als dynamische nicht-kooperative Hindernisse behandelt werden, da die Relativbewegung vom Fahrzeug zum stationären Hindernis in einer Strömung äquivalent zu einer Relativbewegung vom Fahrzeug zu einem dynamischen nicht kooperativen Hindernis, welches eine dem Wind entgegengesetzte Geschwindigkeit, und gleichen Betrag hat, ist.

[0062] Bei dem Erfindungsgemäßen Verfahren werden also im Fall von Strömungen stationäre Hindernisse als dynamische nicht-kooperative behandelt, da die Relativbewegung vom Fahrzeug zum stationären Hindernis in einer Strömung äquivalent ist zu einer Relativbewegung vom Fahrzeug zu einem dynamischen nicht kooperativen Hindernis, welches eine dem Wind entgegengesetzte Geschwindigkeit, aber den gleichen Betrag hat.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zur Steuerung eines Fahrzeugs (A_i) zur automatischen Vermeidung von Kollisionen des Fahrzeugs mit Hindernissen (H_k); das Verfahren umfasst folgende Schritte:
Erkennen und Lokalisieren von Hindernissen (H_k) vor dem Fahrzeug (A_i), wobei die Relativposition des Hindernisses (H_k) in Bezug auf das Fahrzeug (A_i) durch seine Koordinaten bestimmt ($R_{\text{SENSE}}, \theta, \psi$) wird;
Messen der Relativgeschwindigkeit (v_r) der erkannten Hindernisse (H_k);
Beurteilen, ob Kollisionsgefahr zwischen dem Fahrzeug (A_i) und einem Hindernis (H_k) besteht abhängig von der jeweiligen Relativposition ($R_{\text{SENSE}}, \theta, \psi$) und Relativgeschwindigkeit (v_r);
Ausführen der folgenden Schritte, wenn eine Kollisionsgefahr mit einem Hindernis (H_k) vorliegt:
Berechnen eines Unsicherheitsbereichs (Γ, Σ) um das Hindernis abhängig von bekannten Messfehlern;
Berechnen eines Ausweichpunktes (O_k) innerhalb oder an einem Rand des Unsicherheitsbereichs (Γ, Σ);
Definieren einer Schutzzone (SZ) mit einem Radius (R_{RISK}) um den Ausweichpunkt (O_k);
Definieren einer kreisbahnförmigen Ausweichroute (ER) mit einem vorgegebenen Kurvenradius (ρ);
Steuern des Fahrzeuges bei einem kritischen Abstand vom Hindernis, sodass das Fahrzeug (A_i) der kreisbahnförmigen Ausweichroute (ER) folgt, wobei die kreisbahnförmigen Ausweichroute (ER) die Schutzzone (SZ) tangiert.
2. Das Verfahren nach Anspruch 1, bei dem nach dem Messen der Relativposition (R, θ, ψ) und der Relativgeschwindigkeit (v) von Hindernissen (H_k) unterhalb oder oberhalb einer horizontalen, durch das Fahrzeug (A_i) verlaufenden Ebene diese jeweilige Relativposition (R, θ, ψ) bzw. die Relativgeschwindigkeit (v) in die horizontale Ebene projiziert werden und die projizierte Position (R_{proj}, ψ) bzw. Geschwindigkeit (v_{proj}) als Messwerte für die Berechnung des Unsicherheitsbereichs, des Ausweichpunktes (O_k) und der Schutzzone (SZ) verwendet werden.
3. Das Verfahren nach Anspruch 2, bei dem, während sich das Fahrzeug (A_i) sich auf der kreisbahnförmigen Ausweichbahn (ER) befindet, der Abstand (R_{SENSE}) zum Hindernis (H_k) gemessen wird, und, wenn der Abstand (R_{SENSE}) zum Hindernis zunimmt, die kreisbahnförmige Ausweichroute (ER) verlassen und eine Gegenbewegung eingeleitet wird.
4. Das Verfahren nach Anspruch 3, bei dem, nach Einleiten der Gegenbewegung eine Bahnregelung in Richtung eines Wegpunktes (WP) aktiviert wird, wenn ein Betrag der Winkeldifferenz ($|\varphi - \psi_{\text{WP}}|$) zwischen Wegpunkt und eine Himmelsrichtung sowie Fahrzeug (A_i) und die Himmelsrichtung (N) kleiner als ein vorgegebener Schwellwert ist.
5. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die erkannten Hindernisse (H_k) in Gruppen klassifiziert werden, nämlich eine erste Gruppe "stationären Hindernisse", eine zweite Gruppe "bewegte, kooperierende Hindernisse" und eine dritte Gruppe "bewegte, nicht kooperierende Hindernisse", wobei kooperierende Hindernisse vordefinierte Regeln zum Ausweichen beachten und nicht kooperierende Hindernisse das Fahrzeug ignorieren.
6. Das Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem der Unsicherheitsbereich und somit der Ausweichpunkt (O_k) in Abhängigkeit der Klassifizierung als stationäres, bewegtes kooperierendes oder bewegtes, nicht kooperierendes Hindernissen bestimmt wird.
7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 5 und 6, bei dem im Falle von stationären Hindernissen vier Eckpunkte des stationären Unsicherheitsbereichs gemäß den Formeln
 Punkt 1: $[(R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \cos(\psi - \psi_{\text{MIN}}), (R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \sin(\psi - \psi_{\text{MIN}})]$
 Punkt 2: $[(R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \cos(\psi - \psi_{\text{MIN}}), (R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \sin(\psi - \psi_{\text{MIN}})]$
 Punkt 3: $[(R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \cos(\psi + \psi_{\text{MAX}}), (R_{\text{SENSE}} + R_{\text{MAX}}) \sin(\psi + \psi_{\text{MAX}})]$
 Punkt 4: $[(R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \cos(\psi + \psi_{\text{MAX}}), (R_{\text{SENSE}} - R_{\text{MIN}}) \sin(\psi + \psi_{\text{MAX}})]$

bestimmt werden, wobei der Unsicherheitsbereich durch einen Nominalwert (ψ , R_{SENSE}) des Azimutwinkels und des Abstands und entsprechende Unsicherheitsgrößen ($(\psi_{\text{MIN}}, \psi_{\text{MAX}}, R_{\text{MIN}}, R_{\text{MAX}})$) charakterisiert ist.

8. Das Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Ausweichpunkt der Punkt 4 ist, wenn nach rechts ausgewichen werden soll und der Punkt 1 ist, wenn nach links ausgewichen werden soll.
9. Verfahren nach Anspruch 5, wobei für ein bewegtes kooperatives Hindernis die Schutzzone (SZ) um den Ausweichradius (ρ) des kooperativen Hindernissen erweitert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem bei stationären Hindernissen der kritische Abstand dann erreicht ist, sobald folgende Ungleichung erfüllt ist:

$$2 \cdot \rho \cdot R_{\text{RISK}} + R_{\text{RISK}}^2 + 2 \cdot \rho \cdot R_{\text{SENSE}} \cdot \sin(\psi) - R_{\text{SENSE}}^2 > 0,$$
wobei ρ der Radius der Ausweichbahn, R_{RISK} der Radius einer kreisförmigen Schutzzone, ψ der gemessene Azimutwinkel des Hindernisses und R_{SENSE} der gemessene Abstand zwischen Hindernis (H_k) und Fahrzeug (A_i) ist.
11. Das Verfahren nach Anspruch 5, bei dem bei stationären Hindernissen (H_k) der kritische Abstand dann erreicht ist, sobald folgende Ungleichung erfüllt für irgendeinen Azimutwinkel ψ aus einem Unsicherheitsbereich Γ und für irgendeinen Abstand R_{SENSE} aus einem Unsicherheitsbereich Σ ist:

$$2 \cdot \rho \cdot R_{\text{RISK}} + R_{\text{RISK}}^2 + 2 \cdot \rho \cdot \Sigma \cdot \sin(\Gamma) - \Sigma^2 > 0,$$
wobei ρ der Radius der Ausweichbahn, R_{RISK} der Radius einer kreisförmigen Schutzzone (SZ) ist.
12. Das Verfahren nach Anspruch 5, bei dem bei kooperativen bewegten Hindernissen der kritische Abstand dann erreicht ist, sobald folgende Ungleichung erfüllt ist:

$$2 \cdot \rho \cdot R + R^2 + 2 \cdot \rho \cdot R_{\text{SENSE}} \cdot \sin(\psi) - R_{\text{SENSE}}^2 > 0,$$
wobei $R = R_{\text{RISK}} + \rho$ und ρ der Radius der Ausweichbahn, R_{RISK} der Radius einer kreisförmigen Schutzzone, ψ der gemessene Azimutwinkel des Hindernisses und R_{SENSE} der gemessene Abstand zwischen Hindernis (H_k) und Fahrzeug (A_i) ist.
13. Das Verfahren nach Anspruch 5, bei dem bei stationären Hindernissen der kritische Abstand dann erreicht ist, sobald folgende Ungleichung erfüllt für irgendeinen Azimutwinkel ψ aus einem Unsicherheitsbereich Γ und für irgendeinen Abstand R_{SENSE} aus einem Unsicherheitsbereich Σ ist:

$$2 \cdot \rho \cdot R + R^2 + 2 \cdot \rho \cdot R_{\text{SENSE}} \cdot \sin(\psi) - R_{\text{SENSE}}^2 > 0,$$
wobei $R = R_{\text{RISK}} + \rho$ und ρ der Radius der Ausweichbahn, R_{RISK} der Radius einer kreisförmigen Schutzzone ist.
14. Das Verfahren nach Anspruch 5, bei dem bei bewegten nicht kooperativen Hindernissen eine Kollision vorausberechnet wird.
15. Das Verfahren nach Anspruch 14, bei dem eine Kollision vorausberechnet wird, indem die Ungleichung

$$\sin^2(\psi - \chi_r) - (R_{\text{RISK}}/R_{\text{SENSE}})^2 > 0$$
ausgewertet wird und eine Kollisionsgefahr dann angenommen wird, wenn die Ungleichung nicht erfüllt ist, wobei
 ψ der gemessene Azimutwinkel des Hindernisses (H_k), R_{RISK} der einzuhaltende Mindestabstand zum Hindernis, R_{SENSE} der gemessene Abstand zum Hindernis und χ_r jener Winkel ist, den der Relativgeschwindigkeitsvektor des Hindernisses (H_k) und die Bewegungsrichtung einschließen.
16. Das Verfahren nach Anspruch 15, bei dem die Unsicherheitsbereiche von χ_r , R_{SENSE} und ψ berücksichtigt werden.

17. Das Verfahren nach Anspruch 5 oder 14, bei dem der die Schutzzone (SZ) ein Bewegungskorridor des Hindernisses (H_k) ist, dessen Breite dem doppelten des einzuhaltenden Mindestabstandes (R_{RISK}) zum Hindernis (H_k) entspricht.
18. Das Verfahren nach Anspruch 5 oder 14, bei dem der die Schutzzone (SZ) ein Bewegungskorridor des Hindernisses (H_k) ist, dessen minimale Breite dem doppelten des einzuhaltenden Mindestabstandes (R_{RISK}) zum Hindernis ist wobei der Korridor je Längeneinheit um die Größe $2\sin(\alpha)$ breiter wird, wobei α dem maximalen Winkelfehler des gemessenen Geschwindigkeitsvektors des Hindernisses entspricht.
19. Das Verfahren nach Anspruch 18, bei dem sich die durch den Korridor definierte Schutzzone (SZ) vor dem Hindernis nur über eine Länge $R_{\text{RISK}} + v_o t$ erstreckt, wobei R_{RISK} der einzuhaltende Mindestabstand zwischen Hindernis und Fahrzeug, V_o die gemessene Geschwindigkeit des Hindernisses und t jene Zeit ist, die das Fahrzeug benötigt, auf der Ausweichbahn (ER) den Korridor wieder zu verlassen.
20. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 19, bei dem, im Fall von Strömungen, stationäre Hindernisse als dynamische nicht-kooperative behandelt werden, die eine Relativgeschwindigkeit zum Fahrzeug haben, welche der Strömungsgeschwindigkeit entgegengesetzt ist, aber den gleichen Betrag wie diese hat.

Hierzu 8 Blatt Zeichnungen

1/8

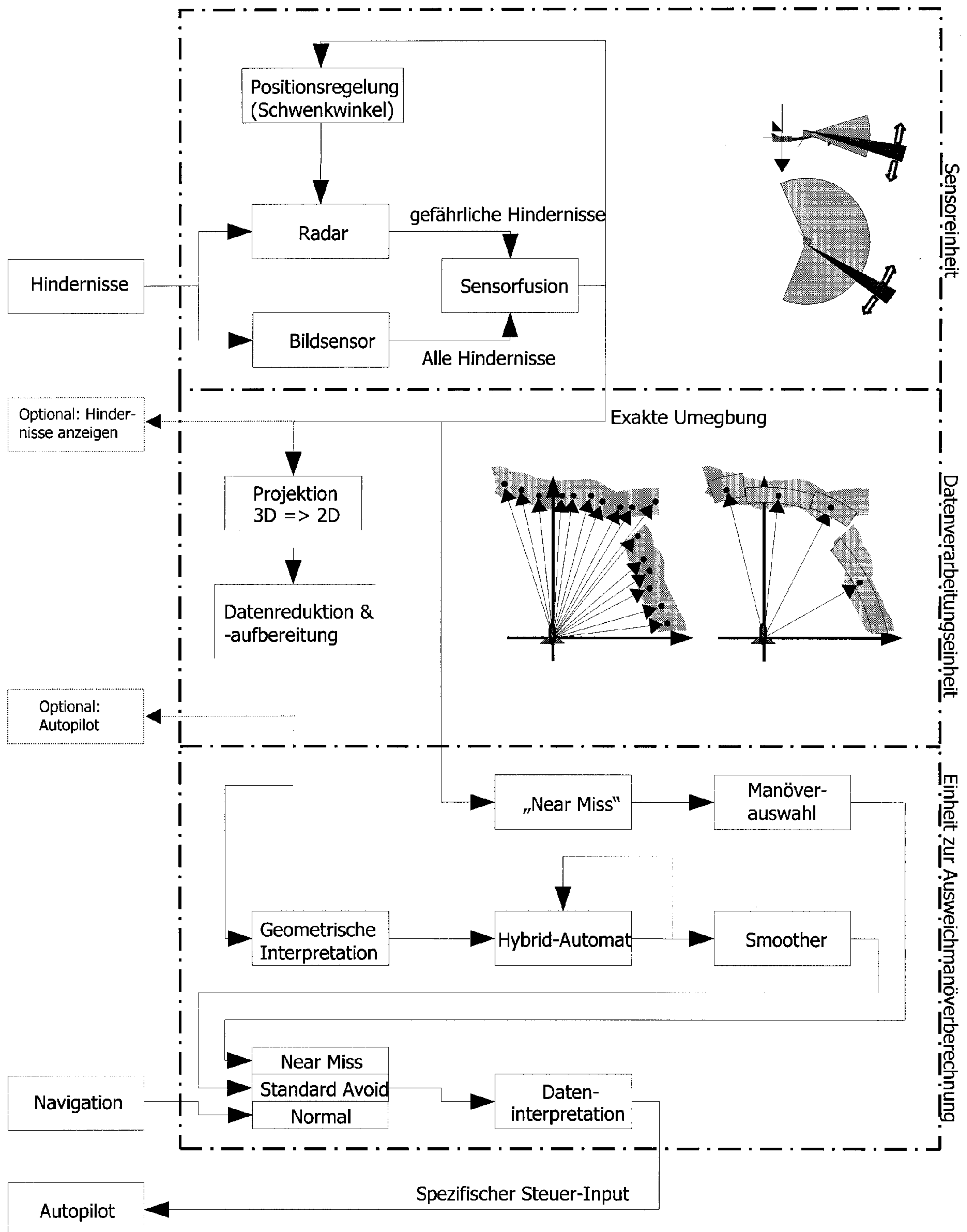


Fig. 1

2/8

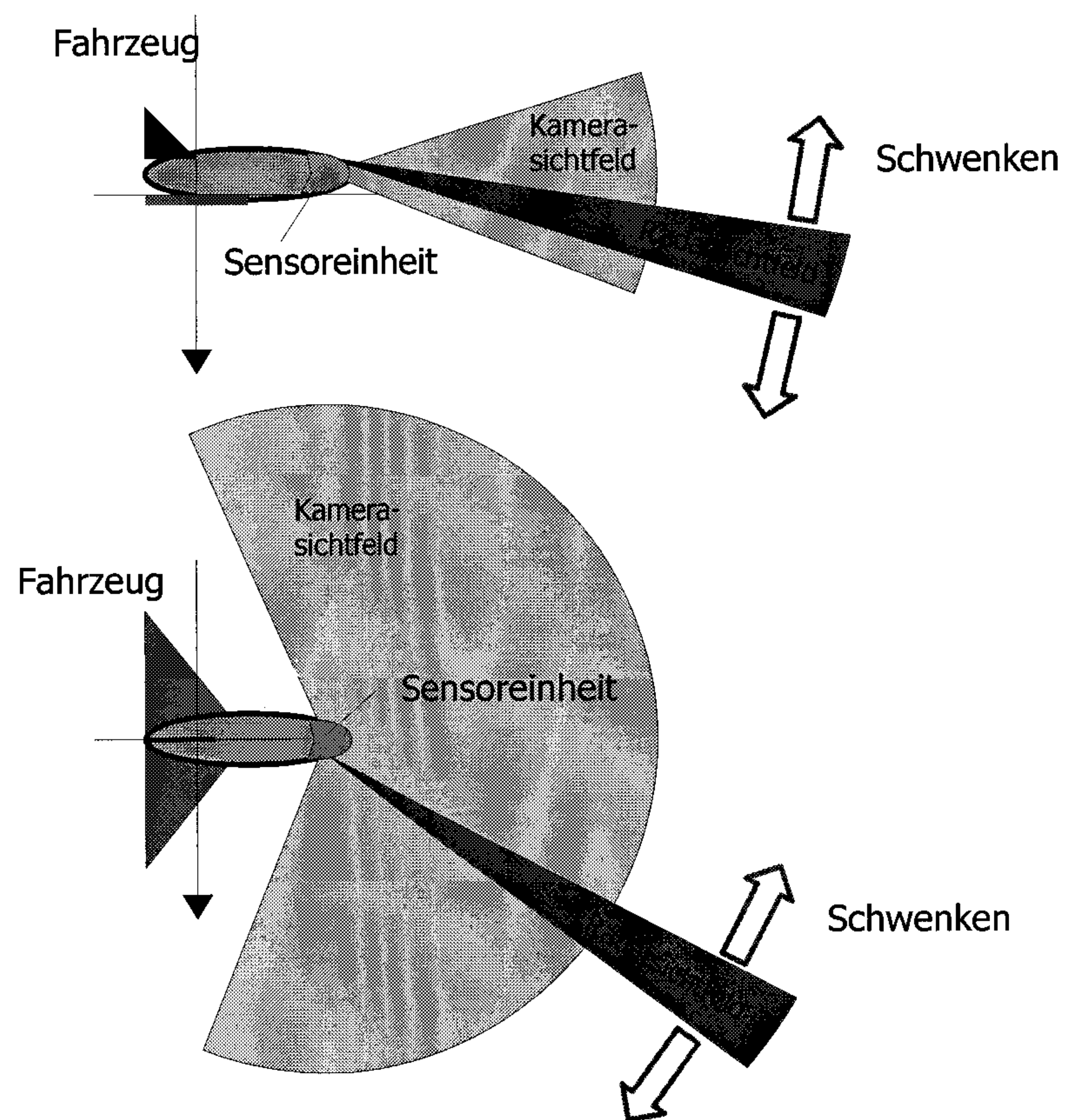


Fig. 2

3/8

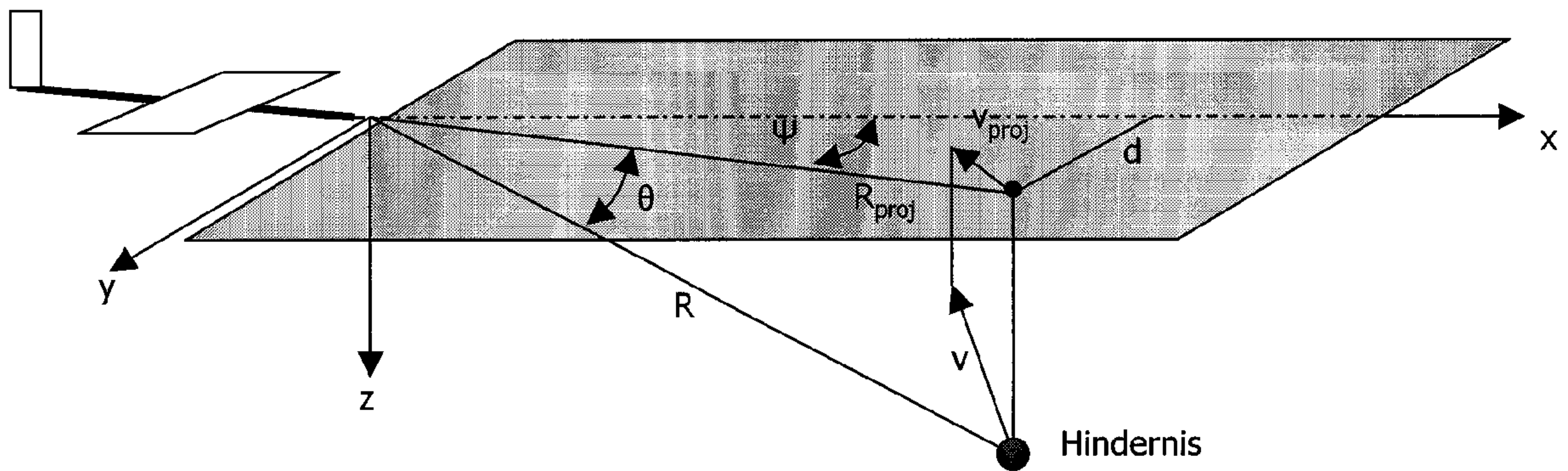


Fig. 3

θ ... Elevationswinkel
 ψ ... Azimutwinkel
 R ... Abstand Fahrzeug-Hindernis
 v ... Relativgeschwindigkeit des Hindernisses

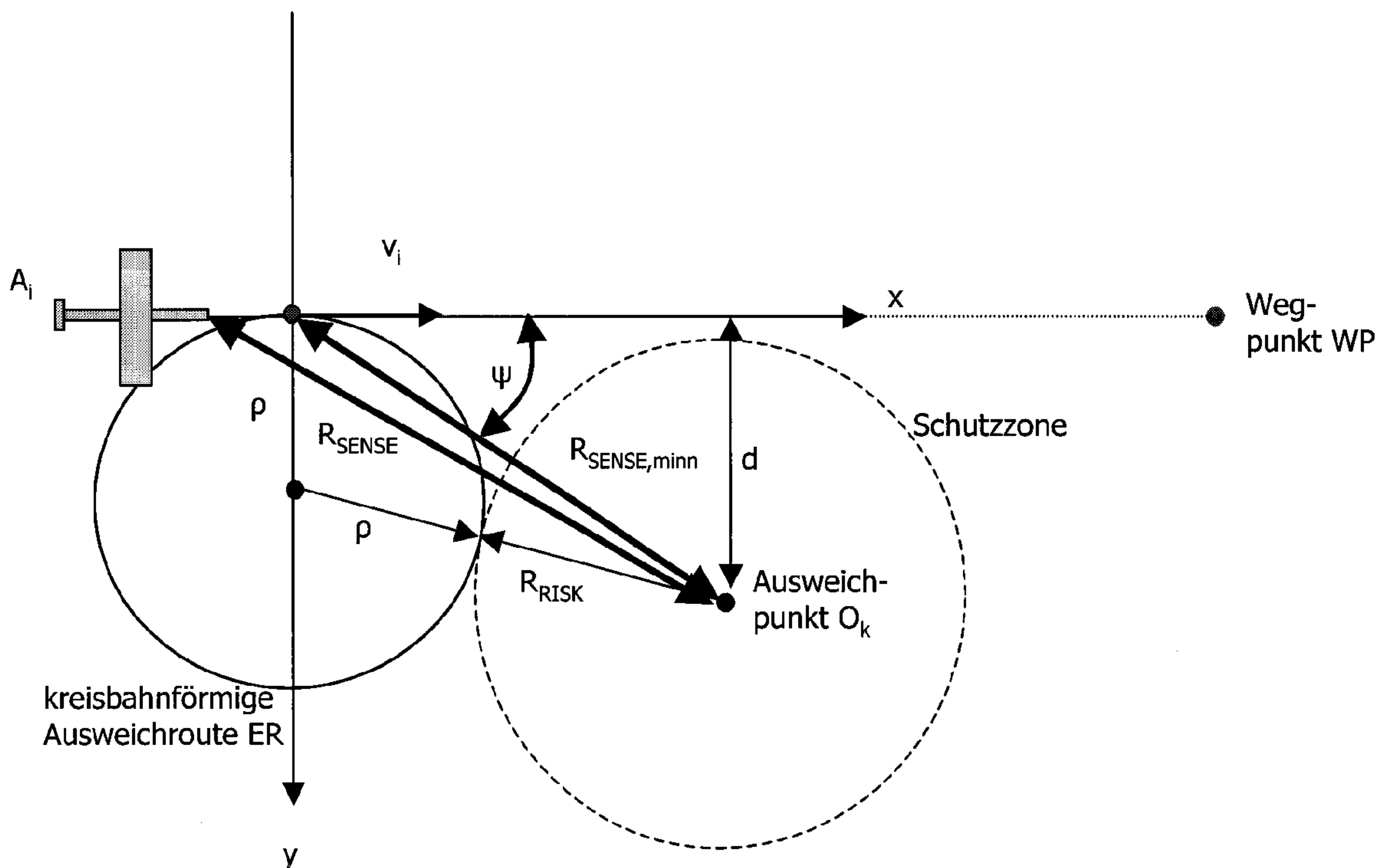


Fig. 4

4/8

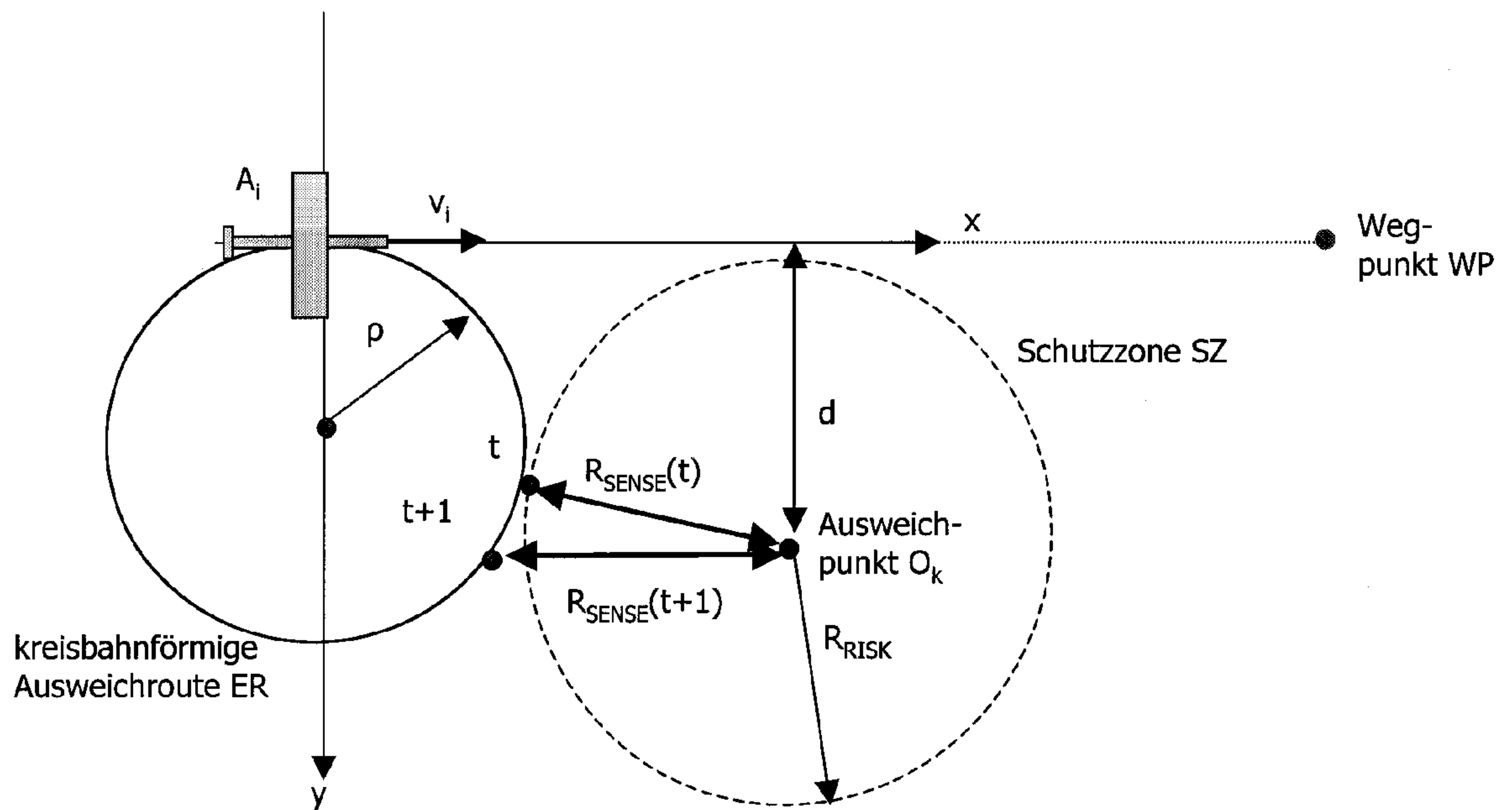


Fig. 5

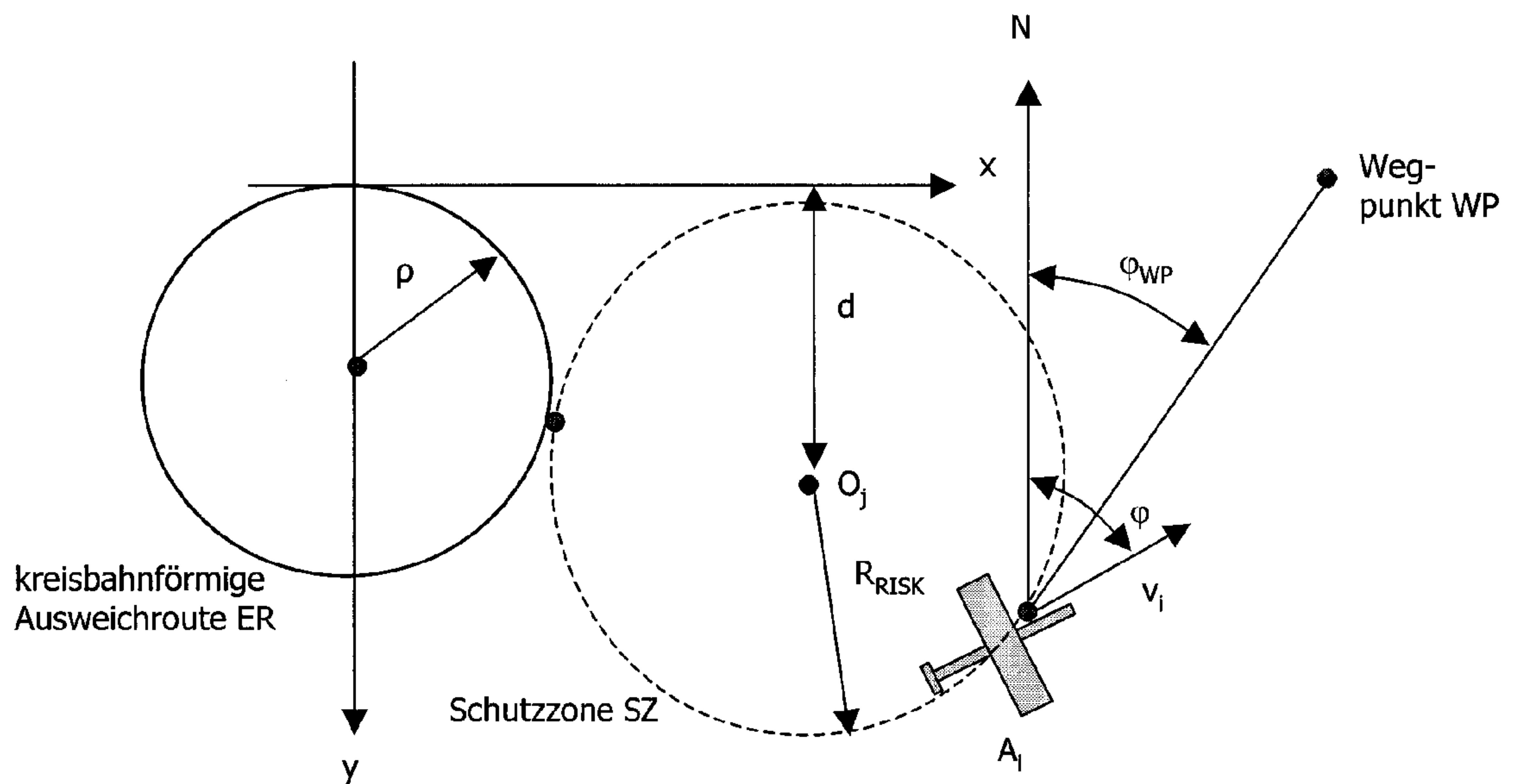


Fig. 6

5/8

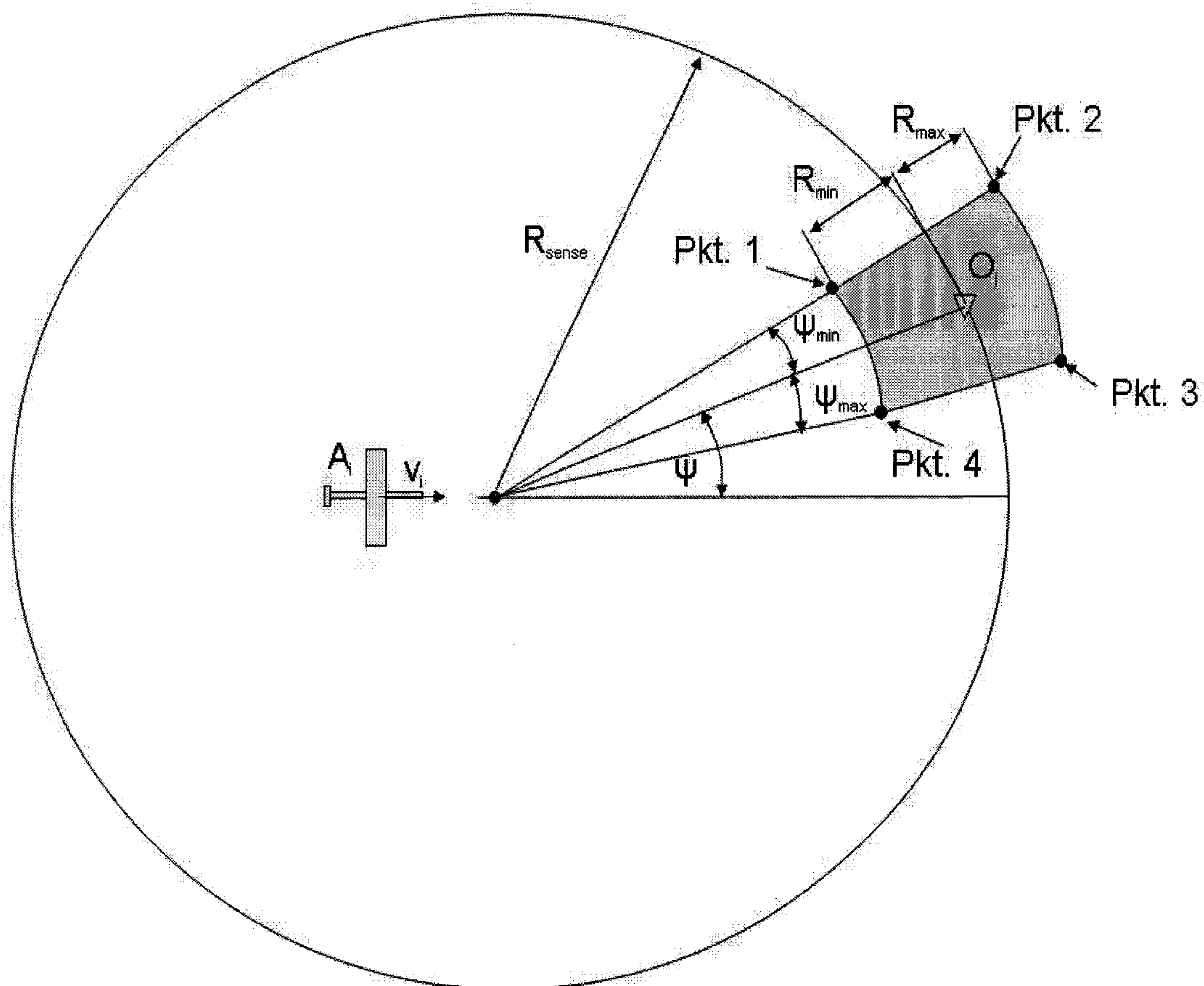


Fig. 7

6/8

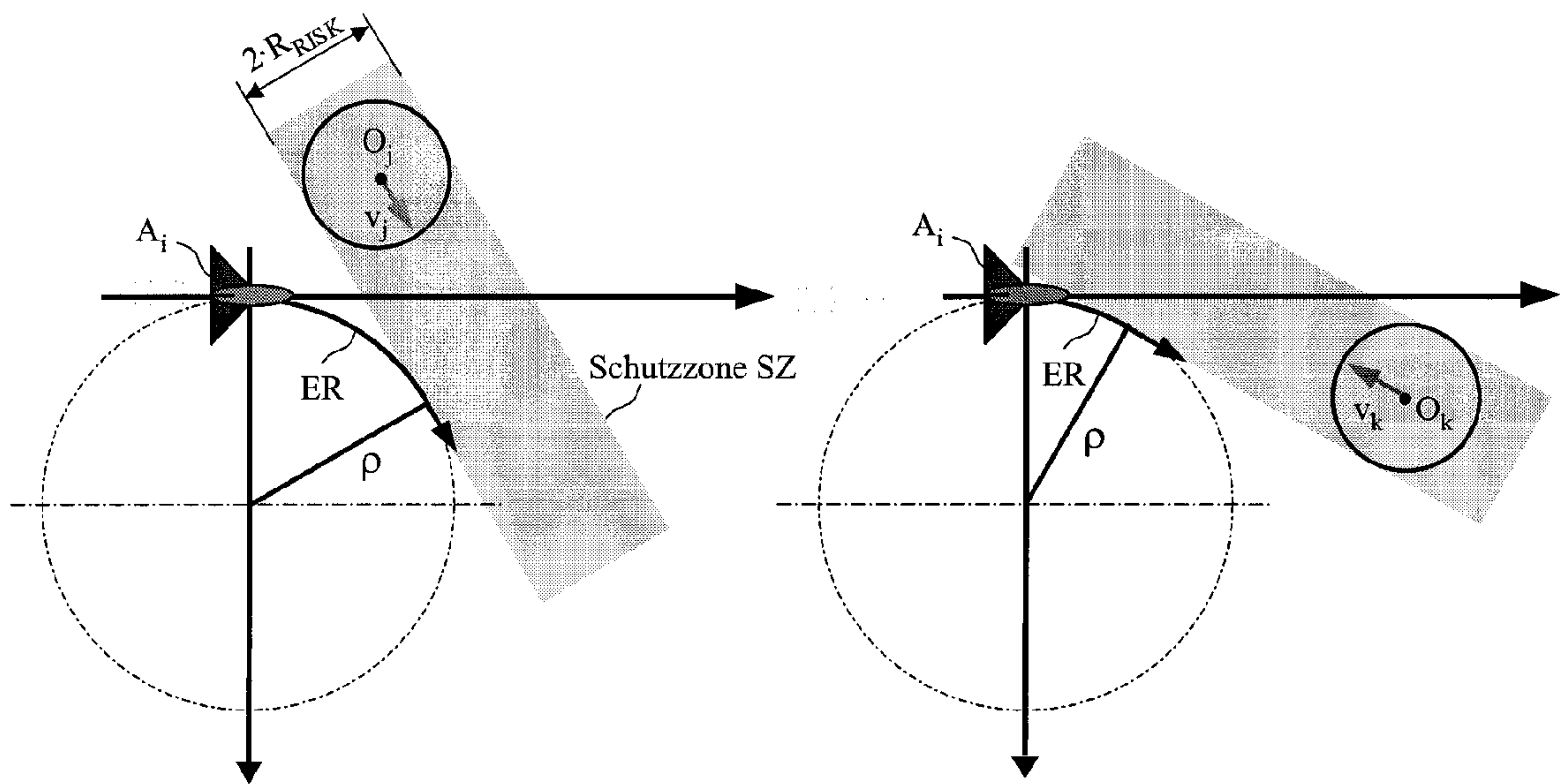


Fig. 8a

Fig. 8b

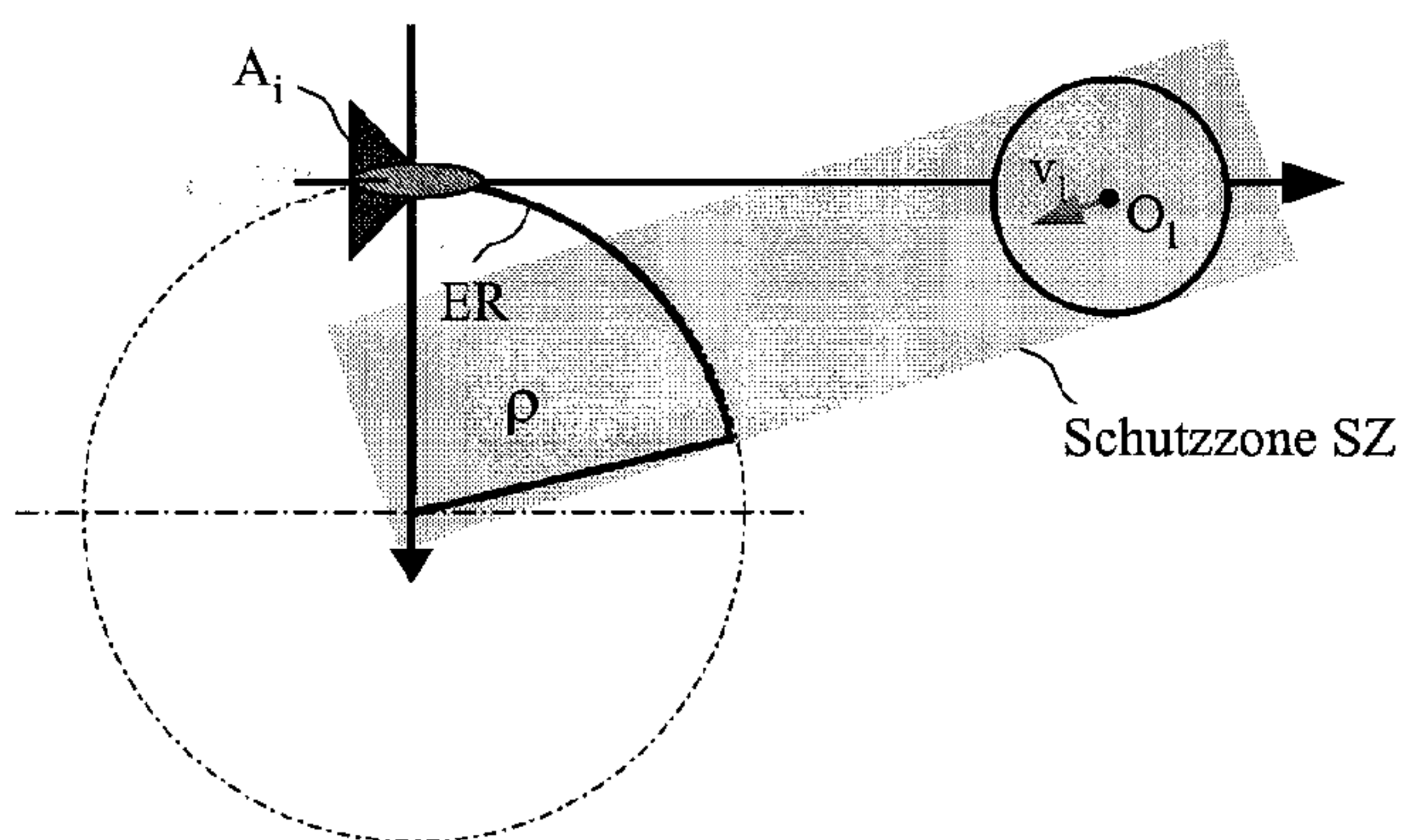
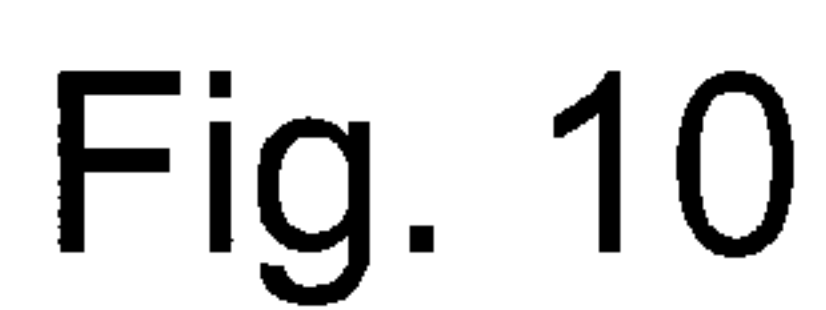
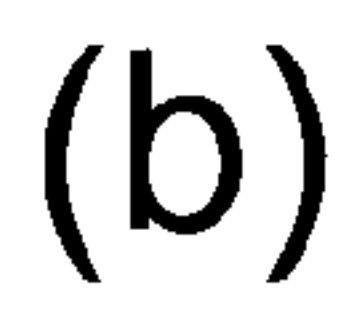


Fig. 8c

Ausweichroute ER blockiert

(a)



8/8

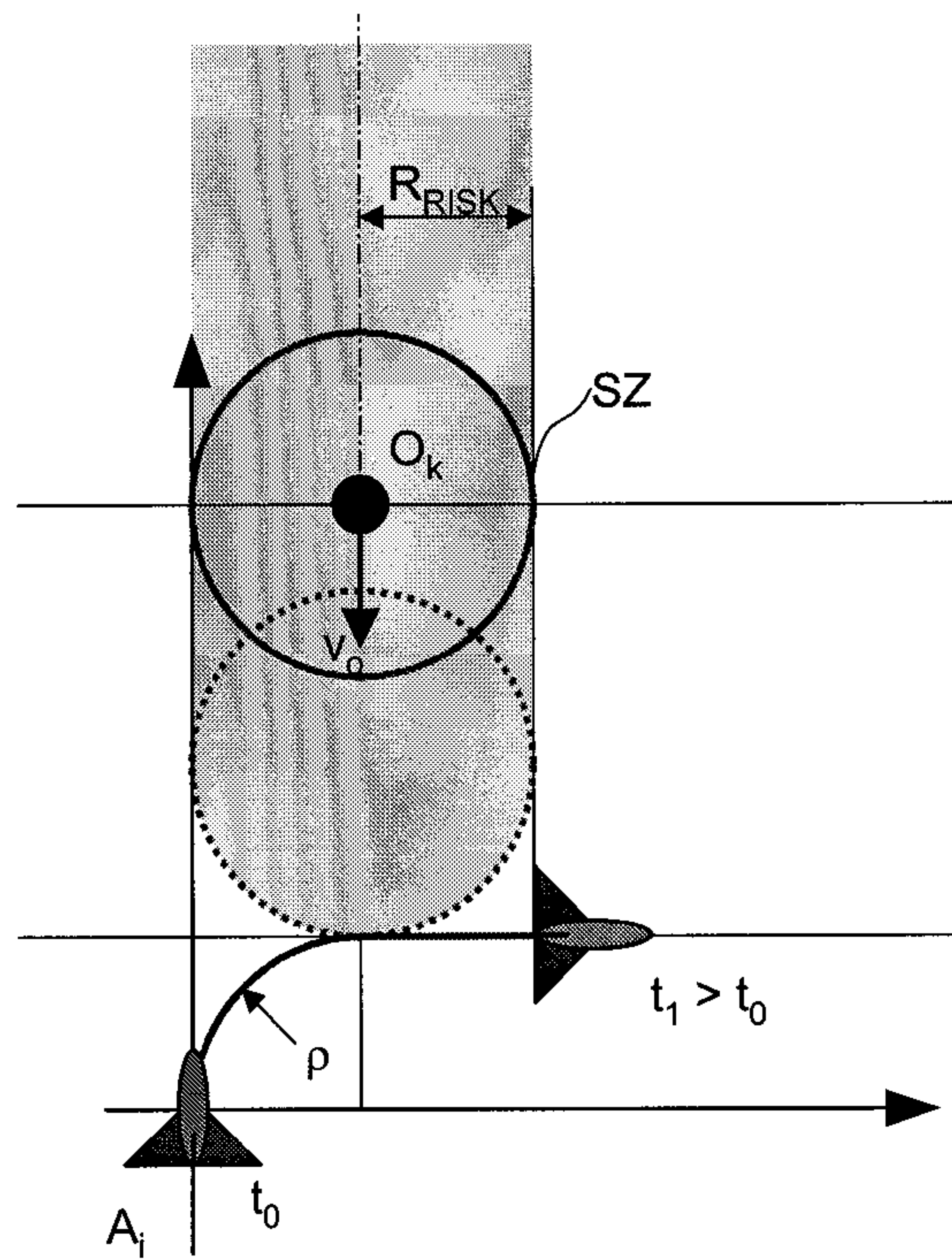


Fig. 11

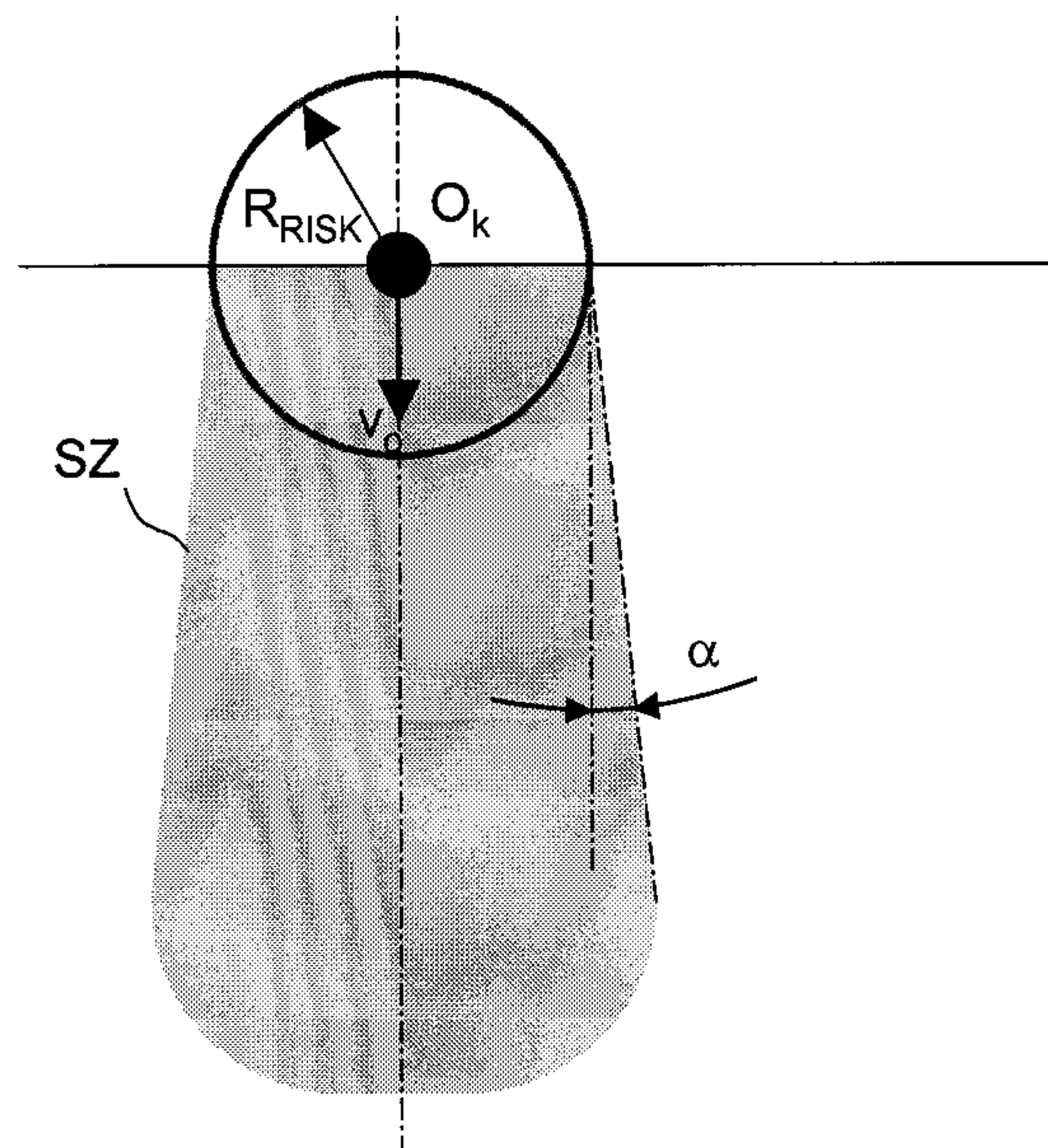


Fig. 12