

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 148 460 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:

**24.10.2001 Patentblatt 2001/43**(51) Int Cl.7: **G08G 1/16**(21) Anmeldenummer: **01108311.0**(22) Anmeldetag: **02.04.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

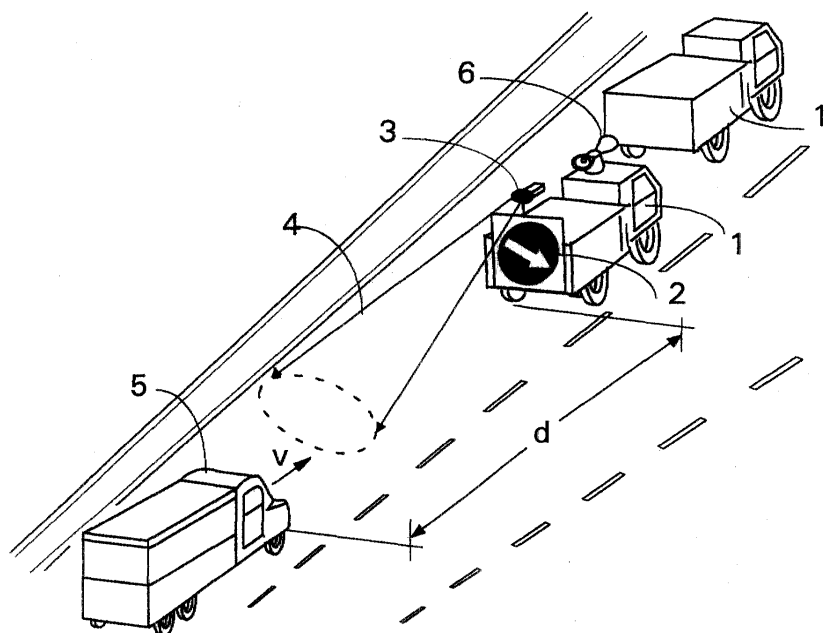
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

**AL LT LV MK RO SI**(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)**(72) Erfinder: **Sachse, Thomas, Dr.  
83052 Bruckmühl (DE)**(30) Priorität: **07.04.2000 DE 10017369**(54) **Warnsystem zum Sichern einer temporären Strassenbaustelle**

(57) Temporär eingerichtete Baustellen an Fernverkehrsstraßen belegen oft mindestens eine Fahrspur, die für den auflaufenden Verkehr nur durch ein Baufahrzeug (1) mit einer Absperrtafel (2) gesperrt wird. Zum wirkungsvolleren Absichern ist ferner der Absperrtafel (2) zugeordnet eine optisch wirksame Detektoreinrichtung, z.B. ein Laserdetektor vorgesehen, die einen vor der Absperrtafel liegenden Streckenabschnitt abtastet und Abstand (d) und Geschwindigkeit (v) eines darauf nähernden Fahrzeuges (5) in vorgegebenen Intervallen

( $\Delta t$ ) misst. Bei einer Auswertung der Messwerte wird die Beschleunigung (a) des Fahrzeuges (5) ermittelt. Aus einer logischen Verknüpfung dieser Größen, insbesondere mittels Fuzzy-Logik, wird ein Wahrscheinlichkeitswert dafür ermittelt, dass das sich nähernde Fahrzeug auf die Baustelle auffahren wird. Eine Warneinrichtung (6) wird durch einen kritischen Wert für die Auffahrwahrscheinlichkeit ausgelöst und gibt an den Baustellenbereich und/oder das sich nähernde Fahrzeug ein Alarmsignal ab.

**FIG 1****EP 1 148 460 A2**

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Warnsystem zum Sichern einer an einer Fernverkehrsstraße temporär eingerichteten Baustelle gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

**[0002]** Für temporär eingerichtete Baustellen an Fernverkehrsstraßen gelten die Richtlinien für "Baustellen kürzerer Dauer". Danach wird die durch die Baustelle belegte Fahrspur der mehrspurigen Fernverkehrsstraße für den ankommenden Verkehr durch ein Baufahrzeug mit einer Absperrtafel abgesichert, die den ankommenden Verkehr zum Spurwechsel auffordert. Aufgrund von Übermüdung oder mangelnder Aufmerksamkeit von Kraftfahrern kommt es trotz wirkungsvoller optischer Warnsignale dennoch immer wieder zu Kollisionen mit dem die Baustelle sichernden Baufahrzeug. Besonders gefährlich sind dabei naturgemäß auffahrende Lastkraftwagen. Die Unfallstatistik belegt, dass auch im Baustellenbereich eingerichtete Geschwindigkeitsbeschränkungen diese Gefahrensituation nicht ausreichend entschärfen können. Ebenso haben auch alle Versuche, die Baustellensituation für den ankommenden Verkehr optisch noch wirkungsvoller darzustellen, die Unfallgefahr zwar vermindert, jedoch noch nicht in einem Maße herabgesetzt, das bereits als zufriedenstellend zu bezeichnen wäre.

**[0003]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, für ein Warnsystem der eingangs genannten Art eine weitere Ausführungsform zu schaffen, die die Möglichkeit bietet, die Gefahrensituation an einer temporär eingerichteten Baustelle entscheidend zu entschärfen, dort ohne weiteres in Betrieb zu nehmen ist und vor allem auch eine hohe Betriebssicherheit, insbesondere im Hinblick auf schwere Unfälle bietet.

**[0004]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einem Warnsystem der eingangs genannten Art durch die im Kennzeichen des Patentanspruches 1 beschriebenen Merkmale gelöst.

**[0005]** Alle Sicherungen für temporär eingerichtete Straßenbaustellen beruhen bisher auf passiven Lösungen. Dabei werden alle Anstrengungen darauf gerichtet, die Gefahrenstelle durch optische Signale zu kennzeichnen und so die Aufmerksamkeit des auflaufenden Verkehrs auf die besondere Verkehrssituation zu lenken. Die erfindungsgemäße Lösung geht aber von der Überlegung aus, dass alle derartigen Maßnahmen wohl nicht verhindern können, dass unaufmerksame oder auch übermüdete Kraftfahrer die Gefahrensituation falsch einschätzen oder im schlimmsten Fall überhaupt nicht realisieren. Auffahrunfälle, die die im Baustellenbereich Beschäftigten gefährden, sind deshalb nicht auszuschließen. Die Erfindung löst sich daher von der Überlegung, alle Anstrengungen insbesondere nur darauf zu richten, den ankommenden Verkehr zu warnen. Sie geht statt dessen den Weg, zusätzlich diesen ankommenden Verkehr zu beobachten, dabei kritische Situationen zu erfassen und dann die Beteiligten, d.h. insbesondere auch die im Baustellenbereich Beschäftigten, möglichst rechtzeitig zu warnen. Selbst wenn eine Warnung nur kurzfristig vor einem eintretenden Unfall gegeben werden kann, so sind dann dadurch gefährdete Personen doch vorbereitet und können versuchen, sich in Sicherheit zu bringen.

**[0006]** Zu diesem Zweck werden einzelne Fahrzeuge, die sich auf einer durch die Baustelle belegten Fahrspur dieser Baustelle nähern, detektiert. In kurzen Zeitintervallen werden deren Abstand und Geschwindigkeit gemessen und daraus auch deren Beschleunigung bzw. Verzögerung ermittelt. Diese Messgrößen werden fortlaufend ausgewertet, um in Form eines Wertes der Auffahrwahrscheinlichkeit eine besonders kritische Situation mit einiger Sicherheit vorausschauend zu beurteilen.

**[0007]** Besonders vorteilhaft ist eine Weiterbildung der Erfindung, wonach die Auswertung dieser Messgrößen in einer mehrstufigen Fuzzy-Entscheidungslogik erfolgt, die in einer ersten Stufe zunächst den jeweiligen Messwerten für Geschwindigkeit, Abstand und Beschleunigung des im überwachten Streckenabschnitt befindlichen Fahrzeuges Zugehörigkeiten zu Wertebereichen, z.B. "gering", "mittel", "hoch" einer entsprechenden linguistischen Variablen "Geschwindigkeit", "Abstand" bzw. "Beschleunigung" zuordnet. In dieser Fuzzy-Entscheidungslogik werden in einer zweiten Stufe in Verknüpfung dieser Zugehörigkeiten mit Hilfe einer den Abstand entsprechend interpretierenden Regelbasis Zugehörigkeiten für eine linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" ermittelt. In einer dritten Stufe der Entscheidungslogik werden die ermittelten Zugehörigkeiten der linguistischen Ausgangsvariablen "Gefahr" in Anwendung einer Mittelungsfunktion jeweils in scharfe Ausgangsgrößen für eine Auffahrwahrscheinlichkeit umgewandelt, wobei bei einem bestimmten Wert für die Auffahrwahrscheinlichkeit die Warneinrichtung ausgelöst wird.

**[0008]** Diese Weiterbildung der Erfindung nutzt in besonders vorteilhafter Weise die Möglichkeiten der Fuzzy-Logik für den gegebenen Anwendungsfall. Deren Charakteristikum, mit Unschärferelationen zu arbeiten, erlaubt einen Entscheidungsprozeß bezüglich eines möglicherweise erst eintreffenden Ereignisses, basierend auf aktuellen Daten. Da die Möglichkeiten der Fuzzy-Logik, ihre Eigenschaften und ihre zweckmäßige Anwendung auf in einem Einzelfall vorliegende Kriterien auch in der Straßenverkehrstechnik bereits durchaus bekannt sind sowie auch die technischen Realisierungsmöglichkeiten vorliegen, stehen ohne weiteres die Mittel zur Verfügung, das erfindungsgemäße Warnsystem auch mit vertretbarem technischen Aufwand zu verwirklichen.

**[0009]** Von weiterem Vorteil ist, dass die Fuzzy-Logik - im Gegensatz zu klassischen Entscheidungs- und Regelverfahren, die auf der Auswertung absoluter Größen beruhen - als Ergebnis des Entscheidungsprozesses Wahrscheinlichkeitswerte liefert, die die Basis dafür bilden können, das Warnsystem mehrstufig auszubilden. Damit besteht zum Beispiel die Möglichkeit, in einer ersten Stufe zunächst nochmals zu versuchen, die Aufmerksamkeit des unachtsamen,

die kritische Gefahrensituation wohl nicht richtig einschätzenden Kraftfahrers auf sich zu lenken. Erst dann, wenn dieser Kraftfahrer immer noch nicht reagiert und damit aller Wahrscheinlichkeit nach doch eine Kollision mit dem die Baustelle absperrenden Fahrzeug unvermeidbar erscheint, wird in einer zweiten Stufe an die im Baustellenbereich Beschäftigten selbst ein Warnsignal abgegeben.

**[0010]** Weiterhin ermöglichen die Eigenschaften der Fuzzy-Logik, das Warnsystem gemäß der Erfindung mit relativ einfachen Mitteln auf die lokalen Umfeldbedingungen an einer temporären Baustelle einzujustieren. Die Fuzzy-Logik ermöglicht, die Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen "Abstand", "Geschwindigkeit" bzw. "Beschleunigung" jeweils den geografischen und auch wetterbedingten Verhältnissen an einer Baustelle durch einfaches Ändern von Parametern anzupassen. Das erfindungsgemäße Warnsystem ist daher in einer durchaus flexiblen Weise so einzurichten, dass der Entscheidungsprozeß aufgrund der gemessenen Daten immer auf die lokalen Verhältnisse bezogen abläuft und damit zu optimierten Ergebnissen führt.

**[0011]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher beschrieben. Dabei zeigt

**FIG 1** schematisch eine Baustellensituation, bei der die linke Randspur einer Fernverkehrsstraße durch eine Baustelle belegt ist, wobei von dem die Baustelle sichernden Baufahrzeug aus auf der belegten Fahrspur näher kommende Fahrzeuge überwacht sowie deren sich ändernder Abstand und Geschwindigkeit gemessen und anschließend ausgewertet wird,

**FIG 2** ein Flussdiagramm einer Auswerteeinrichtung für diese Messdaten, die auf einer Fuzzy-Entscheidungslogik beruht,

**FIG 3 - 5** jeweils eine schematische Darstellung der Zugehörigkeitsfunktionen für linguistische Variablen "Geschwindigkeit", "Abstand" bzw. "Beschleunigung" dieser Fuzzy-Entscheidungslogik und

**FIG 6** als Ergebnis des Entscheidungsprozesses in einem Diagramm die Zugehörigkeitsfunktion für eine Ausgangsvariable "Auffahrwahrscheinlichkeit", ausgedrückt in prozentualen Werten.

**[0012]** In Figur 1 ist schematisch eine Verkehrssituation dargestellt, die für temporäre Baustellen, insbesondere an mehrspurigen Fernstraßen, typisch ist. In der Zeichnung ist diese Baustelle durch auf der linken Fahrspur abgestellte Baufahrzeuge 1 bzw. 1' schematisch angedeutet. In Verkehrsrichtung gesehen, trägt das erste, vor die eigentliche Baustelle gesetzte Baufahrzeug 1 an seiner Rückwand angeordnet eine weithin erkennbare Sperrtafel 2, die den auflaufenden Verkehr zum Spurwechsel in die benachbarte Innenspur auffordert. Insbesondere an kurzfristig und auch nur für eine kurze Zeit eingerichteten Baustellen, sog. Tagesbaustellen, bildet dieses, die Baustelle nach hinten abschließende Baufahrzeug 1 neben Warnbeleuchtungen an den Baustellenfahrzeugen die wesentlichste Sicherungsmaßnahme für die im Baustellenbereich Beschäftigten.

**[0013]** Derartige Baustellen kürzerer Dauer, die im Interesse des Verkehrsflusses ohne aufwendige Absicherungselemente zur Verkehrsführung eingerichtet werden, sind aber mit einem nicht vernachlässigbaren Unfallrisiko verbunden. Unfälle, bei denen eine Kollision eines auffahrenden Fahrzeuges mit dem die Baustelle nach hinten absichernden Baufahrzeug 1 eintritt, sind meist auf Übermüdung oder Unachtsamkeit der auffahrenden Kraftfahrer zurückzuführen. Besonders schwerwiegende Folgen haben dabei durch Lastkraftwagen verursachte Unfälle. Es stellt sich somit das Problem, ohne Verzicht auf die Flexibilität bei der Einrichtung derartiger Baustellen kürzerer Dauer, weitere Sicherungsmaßnahmen zu treffen, die das Unfallrisiko herabsetzen bzw. zumindest den im Baustellenbereich Beschäftigten die Möglichkeit geben, sich selbst rechtzeitig vor einem Auffahrunfall in Sicherheit zu bringen.

**[0014]** In Figur 1 ist schematisch ein Sicherungssystem als eine Möglichkeit für die Lösung dieses Problems angedeutet. Es beinhaltet eine Detektoreinrichtung 3 mit beispielsweise einem Laserdetektor als Sensor, die auf beziehungsweise an dem die Baustelle vor dem auflaufenden Verkehr absperrenden Baufahrzeug 1 montiert ist. Wie in Figur 1 durch ein schematisch in Richtung auf den auflaufenden Verkehr ausgestrahltes Strahlenbündel 4 angedeutet ist, werden die sich auf der abgesperrten Fahrspur der Baustelle nähernden Fahrzeuge, beispielsweise ein Lastkraftwagen 5, detektiert. In kurzen Intervallen, beispielsweise nach jeweils 100 ms, wird der Abstand  $d$  sowie die Geschwindigkeit  $v$  des sich im Beispiel auf der gesperrten Fahrspur nähernden Lastkraftwagens 5 gemessen. Aus den Messergebnissen aufeinanderfolgender Intervalle lässt sich zusätzlich die Beschleunigung  $a$  bzw. Verzögerung des sich nähernden Fahrzeuges ermitteln.

**[0015]** Die Technologie für derartige Messungen ist in der Straßenverkehrstechnik aus der Mehrzahl von Anwendungsfällen an sich durchaus bekannt. Allerdings sind im vorliegenden Anwendungsfall durchaus spezifische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Dazu gehört, dass die Messgrößen, d.h. die Geschwindigkeit  $v$  und der Abstand  $d$  fehlerbehaftet sind. Umso mehr gilt dies für eine errechnete Beschleunigung  $a$ , die auf einer Auswertung aufeinanderfolgender Intervalle beruht. Sofern die Detektoreinrichtung 3 mit einem Laserstrahl als Abtaststrahl arbeitet, sind ferner die Reflexionseigenschaften des Laserstrahles zu berücksichtigen. Generell wird der Laserstrahl an den Fensterflächen der Kraftfahrzeuge relativ schlecht reflektiert. Aber auch Farbflächen haben unterschiedliche Reflexionseigenschaften, dabei sind helle Flächen für die Abtastung günstiger als dunkle. Hinsichtlich dieser Reflexionseigen-

schaften zeigten praktische Versuche, dass im allgemeinen Lastkraftwagen mit "ebener" Front mit einer geringeren Fehlerrate detektiert werden als Personenkraftwagen. Wesentlich ist dabei, dass der Laserstrahl ein sich näherndes Fahrzeug frontal und nicht seitlich trifft, Bewegungskomponenten quer zur Detektionsrichtung werden nicht erfasst. Schließlich ist hinzuzufügen, dass die Detektoreinrichtung statisch starr befestigt sein muss, damit nicht durch Fahrtwind oder andere Erschütterungen fehlerhafte Messungen durchgeführt werden. Die genannten Rahmenbedingungen belegen, dass es zweckmäßig ist, alle Messergebnisse im Hinblick auf ihre Plausibilität zu überprüfen, um daraus keine falschen Aktionen abzuleiten.

**[0016]** Wenn man nun ein Sicherungssystem zur Warnung vor einer wahrscheinlichen Kollision eines sich der Baustelle nähernden Fahrzeuges auf der Basis derartiger Abstands- und Geschwindigkeitsmessungen aufbauen will, sind diese Messungen in einem ausreichend großen Abstand von dem die Baustelle sichernden Baufahrzeug 1 vorzunehmen, der mehrere 100 m beträgt, beispielsweise in einem Bereich von 250 bis 300 m liegt. Ganz signifikant für den hier vorliegenden Anwendungsfall derartiger Geschwindigkeits- bzw. Abstandsmessungen sind für die daraus abzuleitende Aktion weitere Kriterien. So kann beispielsweise aus der Tatsache, dass sich auf der gesperrten Fahrspur ein Fahrzeug der Baustelle mit beträchtlicher Geschwindigkeit  $v$  nähert, noch nicht auf eine hohe Kollisionswahrscheinlichkeit geschlossen werden. Dies gilt selbst dann nicht, wenn das betreffende Fahrzeug zudem beschleunigt. In vielen Fällen liegt ein derartiges Fahrverhalten dann vor, wenn der Kraftfahrer in Vorbereitung auf einen Spurwechsel noch einen Überholvorgang abschließt. Anders liegt der Fall, wenn sich ein Fahrzeug auf der abgesperrten Fahrspur mit einer an sich relativ niedrigen, nahezu gleichbleibenden Geschwindigkeit nähert. Diese Situation erscheint auf den ersten Blick unkritisch, doch könnte diesem Fahrverhalten auch zugrundeliegen, dass der jeweilige Kraftfahrer die vor ihm liegende Baustelle als Gefahrenbereich noch nicht realisiert hat. Diese Beispiele mögen belegen, dass klassische, auf Absolutwerten der gemessenen Größen beruhende Entscheidungs- oder Regelverfahren durchaus nicht zu einem betriebssicheren Entscheidungsergebnis führen müssen.

**[0017]** In Figur 2 ist schematisch in einem Flussdiagramm ein Bewertungs- und Entscheidungsablauf dargestellt, der den verschiedenen Parametern der zu beurteilenden Verkehrssituation besser angepasst ist als klassische, auf digitalen Aussagen beruhende Entscheidungs- bzw. Regelverfahren. Dieses Diagramm zeigt als Eingabegrößen 7 die in vorbestimmten Intervallen von beispielsweise 100 ms gemessenen Geschwindigkeits- und Abstandswerte  $v$  bzw.  $d$ . In einem Rechenschritt 8 wird aus den Geschwindigkeitswerten  $v_i$  sowie  $v_{i-1}$  für zwei aufeinanderfolgende Intervalle  $i-1$  bzw.  $i$  die entsprechende Beschleunigung  $a$  gemäß nachstehender Beziehung ermittelt:

$$a = \begin{cases} \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} & \text{für } v_i \cdot v_{i-1} > 0 \\ 0 & \text{für } v_i \leq 0 \\ 0 & \text{für } v_{i-1} \leq 0 \end{cases}$$

**[0018]** Im nächsten Schritt, einem Kontrollschritt 9 werden die so bestimmten Messergebnisse für die aktuelle Geschwindigkeit  $v$ , den momentanen Abstand  $d$  bzw. die aktuelle Beschleunigung  $a$  des sich nähernden Fahrzeuges mit den entsprechenden Messwerten der bereits vorliegenden Messreihe zu den zurückliegenden Zeitintervallen verglichen, um sie auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen. In vielen Fällen dürfte es zweckmäßig sein, auch für sich betrachtet durchaus plausibel erscheinende Messwerte zu glätten, wenn diese zu sehr verrauscht sind. Rauschanteile können unter anderem auf die unterschiedlichen Reflexionseigenschaften des abtastenden Laserstrahles zurückzuführen sein, die vorstehend dargelegt wurden. Diese Glättung wird in einem Rechenprozess 10 ausgeführt. Dabei werden die den Rauschanteil kompensierenden, geglätteten Werte für die Geschwindigkeit  $v$ , die Beschleunigung  $a$  bzw. den Abstand  $d$  eines einzelnen Fahrzeuges werden beispielsweise aufgrund der folgenden Beziehungen ermittelt:

$$\tilde{v}_{Fz}(t_i) = \beta_v \cdot v_{Fz}(t_i) + (1 - \beta_v) \cdot \tilde{v}_{Fz}(t_{i-1}) \quad 0 \leq \beta_v \leq 1$$

$$\tilde{a}_{Fz}(t_i) = \beta_a \cdot a_{Fz}(t_i) + (1 - \beta_a) \cdot \tilde{a}_{Fz}(t_{i-1}) \quad 0 \leq \beta_a \leq 1$$

$$\tilde{d}_{Fz}(t_i) = \beta_d \cdot d_{Fz}(t_i) + (1 - \beta_d) \cdot \tilde{d}_{Fz}(t_{i-1}) \quad 0 \leq \beta_d \leq 1$$

**[0019]** Der anschließende Prozess 11 im Flussdiagramm von Figur 2 besagt nun schematisch, dass eine eigentliche Verknüpfung der insoweit aufbereiteten Messergebnisse zu einem Entscheidungskriterium mit Hilfe einer Fuzzy-Logik erfolgt. Im Gegensatz zu einem klassischen Entscheidungs- oder Regelverfahren wertet die Fuzzy-Logik ihr zugeführte quantifizierte Eingangsgrößen im Entscheidungsprozeß nicht unmittelbar als absolute Werte aus. Vielmehr beruht die Fuzzy-Logik darauf, mit sogenannten linguistischen Variablen einen Zustand nicht quantitativ, sondern qualitativ dadurch zu beschreiben, dass man ihn bestimmten Zugehörigkeitsbereichen zuordnet. Durch eine Mehrzahl von Anwendungsfällen von Fuzzy-Logik im Bereich der Straßenverkehrstechnik ist zu belegen, dass dem Fachmann auf diesem Gebiet der Umgang damit Fuzzy-Logik durchaus vertraut ist. Es ist deshalb hier nicht erforderlich, Fuzzy-Logik als solche im Detail zu erläutern.

**[0020]** Für das notwendige Verständnis genügt es darzulegen, wie die unterschiedlichen Messwerte für Geschwindigkeit  $v$ , Abstand  $d$  bzw. Beschleunigung  $a$  eines sich der Baustelle nähernden Fahrzeuges miteinander zu verknüpfen sind. Dabei wird auszuführen sein, dass den unterschiedlichen Messgrößen unterschiedlich signifikante Aussagen zuzuordnen sind, die mit jeweils individueller Gewichtung in eine Gesamtaussage eingehen. Als Ergebnis liefert die Fuzzy-Logik in diesem Falle eine Wahrscheinlichkeitsaussage über das Vorliegen einer Kollisionsgefahr, die von einem sich der Baustelle nähernden Fahrzeug ausgeht. Aufgrund einer solchen Wahrscheinlichkeitsaussage ist es möglich, auch in ihrer Dringlichkeit abgestufte Warnungen vorzusehen.

**[0021]** In einem ersten Schritt der Fuzzifizierung werden alle Entscheidungsgrößen, hier also bezüglich der Geschwindigkeit  $v$ , des Abstandes  $d$  bzw. der Beschleunigung  $a$  mit Hilfe einer Zugehörigkeitsfunktion in wahrscheinliche Aussagen umgewandelt. Mit anderen Worten ausgedrückt, werden einem "scharfen", d.h. absoluten Wert einer der genannten Eingangsgrößen Zugehörigkeiten zu den Wertebereichen der entsprechenden linguistischen Variablen zugeordnet.

**[0022]** Für die Geschwindigkeit  $v$  ist die Zugehörigkeitsfunktion für diesen Anwendungsfall in Figur 3 dargestellt. Die Darstellungsweise ist für den mit der Fuzzy-Logik vertrauten Fachmann im wesentlichen selbsterklärend, so dass es hier keiner ins einzelne gehenden Erläuterung bedarf. Es werden drei Variablen "gering", "mittel" bzw. "hoch" für die Geschwindigkeit  $v$  unterschieden. Danach ist eine ermittelte Geschwindigkeit des detektierten Kraftfahrzeuges von beispielsweise 10 km/h mit großer Wahrscheinlichkeit als gering einzustufen, dagegen stellt eine Geschwindigkeit  $v$  von 50 km/h ebenso wahrscheinlich als geringe wie als eine mittlere Geschwindigkeit einzustufen. Diese Überschneidungen bzw. Unschärfen in der Zuordnung einzelner Messwerte zu entsprechenden Variablen sind typisch für das Systemkonzept der Fuzzy-Logik.

**[0023]** In ähnlicher Weise ist die linguistische Variable für den Abstand  $d$  und die Beschleunigung  $a$  in den Figuren 4 bzw. 5 definiert.

**[0024]** Nach dieser Zuordnung der einzelnen Messwerte für die Geschwindigkeit  $v$ , den Abstand  $d$  bzw. die Beschleunigung  $a$  werden in einem nächsten Schritt die so ermittelten Zugehörigkeiten miteinander verknüpft und dabei Zugehörigkeiten für die linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" ermittelt. Im Anwendungsfall ist es zweckmäßig, die Zugehörigkeiten für eine linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" je nach dem Abstand  $d$  des ankommenden Fahrzeuges in unterschiedlicher Weise zu interpretieren. Dies ist in den nachfolgenden Tabellen für die entsprechenden Zugehörigkeiten der linguistischen Variablen "Abstand" festgelegt.

Tabelle 1

| Auffahrwahrscheinlichkeit für $d$ = sehr gering |        |           |           |
|-------------------------------------------------|--------|-----------|-----------|
| $a / v$                                         | gering | mittel    | hoch      |
| gleichbleibend                                  | mittel | sehr hoch | sehr hoch |
| beschleunigend                                  | gering | mittel    | hoch      |

Tabelle 2

| Auffahrwahrscheinlichkeit für $d$ = gering |        |           |           |
|--------------------------------------------|--------|-----------|-----------|
| $a / v$                                    | gering | mittel    | hoch      |
| gleichbleibend                             | mittel | sehr hoch | sehr hoch |
| beschleunigend                             | gering | mittel    | hoch      |

Tabelle 3

| Auffahrwahrscheinlichkeit für d = mittel |        |        |      |
|------------------------------------------|--------|--------|------|
| a / v                                    | gering | mittel | hoch |
| gleichbleibend                           | mittel | mittel | hoch |
| beschleunigend                           | gering | mittel | hoch |

Tabelle 4

| Auffahrwahrscheinlichkeit für d = hoch |        |        |        |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| a / v                                  | gering | mittel | hoch   |
| gleichbleibend                         | gering | mittel | hoch   |
| beschleunigend                         | gering | gering | mittel |

**[0025]** In einem weiteren Schritt werden die sich aus der in den Tabellen 1 bis 4 dargestellten Regelbasis ergebenden Zugehörigkeiten der Ausgangsvariablen "Gefahr" mit Hilfe einer Mittelungsfunktion in eine scharfe Ausgangsgröße "Auffahrwahrscheinlichkeit" umgewandelt. Das dabei eingesetzte, an sich bekannte Prinzip wird als Max-Min-Inferenz bezeichnet. Dargestellt ist diese Umwandlung der Zugehörigkeiten der Ausgangsvariablen "Gefahr" in die scharfe, in Prozenten ausgedrückte Ausgangsgröße "Auffahrwahrscheinlichkeit" schematisch in Figur 6.

**[0026]** Die so ermittelte Auffahrwahrscheinlichkeit wird im Sinne der Fuzzy-Logik zwar als ein scharfer Ausgangswert interpretiert, absolut betrachtet muss ein einzelner Wert jedoch nicht immer richtig, d.h. fehlerfrei sein. Würde immer eine Warnung aufgrund einer einzelnen so ermittelten hohen Auffahrwahrscheinlichkeit eines sich nähernden Fahrzeuges ausgegeben, so könnte dies häufiger zu Fehlalarmen führen. Besonders kritisch wäre es, wenn sich infolgedessen die Beschäftigten an der Baustelle an diese Fehlalarme gewöhnten und darum eine einzelne Warnung unter Umständen nicht mehr einer tatsächlich kritischen Situation zuordneten. Es scheint daher zweckmäßig, zumindest die Beschäftigten im Baustellenbereich insbesondere mittels eines akustischen Warnsignals nicht bereits aufgrund eines Einzelwertes aufmerksam zu machen.

**[0027]** Um einzelne, fehlerbehaftete Aussagen bezüglich der prozentualen Auffahrwahrscheinlichkeit zu eliminieren bzw. zu kompensieren, wäre es möglich, Mittelwerte der letzten n Messungen beziehungsweise der letzten n Ergebnisse zu bilden, wobei zum Beispiel  $n \geq 3$  gewählt wird. Eine andere Möglichkeit bestünde darin, eine Warnung erst dann auszugeben, wenn ein festgelegter Schwellenwert bezüglich der prozentualen Auffahrwahrscheinlichkeit in mindestens n aufeinanderfolgenden Intervallen überschritten ist. In beiden Fällen ergäbe sich damit, systematisch bedingt, zwar ein Zeitverzug für die auszugebende Warnung, im Hinblick auf die Betriebssicherheit des Warnsystems und damit dessen Akzeptanz bei den Betroffenen wäre dies aber durchaus in Kauf zu nehmen.

**[0028]** Schließlich lässt die Aussage einer Auffahrwahrscheinlichkeit in prozentualen Werten auch die Möglichkeit zu, unterschiedliche Warnstufen vorzusehen. So könnte beispielsweise bei einer Auffahrwahrscheinlichkeit von 50% zunächst der Fahrer des Kraftfahrzeuges, das sich der Baustelle in kritischer Weise nähert, optisch und/oder akustisch gewarnt werden, während eine Warnung für den Baustellenbereich selbst erst dann ausgegeben wird, wenn die Auffahrwahrscheinlichkeit einen kritischen Wert von 80% erreicht hat.

**[0029]** In Figur 2 sind die vorstehend beschriebenen Bewertungen der Ergebnisse für die Auffahrwahrscheinlichkeit funktional schematisiert in dem Prüfschritt 12 dargestellt, an den sich der Alarm 13 anschließt, sofern kritische Werte für die Auffahrwahrscheinlichkeit, wie vorstehend beschrieben, überschritten werden.

**[0030]** Bisher wurde nicht berücksichtigt, dass Witterungs- und Straßenverhältnisse einen entscheidenden Einfluss darauf haben, ob die festgestellte Art und Weise der Annäherung eines Kraftfahrzeuges an den Baustellenbereich tatsächlich als kritisch einzustufen ist oder nicht. Wesentliche Umfeldbedingungen sind dabei Nässe oder Gefälle der Fahrbahn, auch statische Geschwindigkeitsbeschränkungen an der Baustelle. Diese genannten Größen beeinflussen die Fahrzeugdynamik und das mögliche Verhalten des Fahrers in entscheidender Weise. Um eine entsprechende Betriebssicherheit des Warnsystems zu gewährleisten, muss daher dem Betreiber die Möglichkeit gegeben werden, die jeweiligen Einsatzbedingungen in das System eingeben zu können, so dass die Entscheidungslogik diese Umfeldbedingungen entsprechend bei der Festlegung der Zugehörigkeitsfunktionen berücksichtigt. Um eine betriebssichere Bedienung beziehungsweise Inbetriebnahme des Warnsystems zu erreichen, ist es zweckmäßig, für die Umfeldbedingungen standardisierte Parametersätze vorzugeben, die dem Betreiber eine möglichst einfache, dabei klare Auswahl ermöglichen. Ein Beispiel, wie derartige Parametersätze festgelegt werden könnten, ist in der nachfolgenden Tabelle 5 wiedergegeben.

Tabelle 5

| Betriebsparametersätze |                  |      |                 |       |          |               |
|------------------------|------------------|------|-----------------|-------|----------|---------------|
| #                      | Fahrbahn zustand |      | Fahrbahnneigung |       |          | zulässig km/h |
|                        | trocken          | nass | Gefälle         | Ebene | Steigung |               |
| 1                      | +                |      | +               |       |          |               |
| 2                      | +                |      |                 | +     |          |               |
| 3                      | +                |      |                 |       | +        |               |
| 4                      |                  | +    | +               |       |          |               |
| 5                      |                  | +    |                 | +     |          |               |
| 6                      |                  | +    |                 |       | +        |               |
| 7                      | +                |      | +               |       |          | ≤ 80          |
| 8                      | +                |      |                 | +     |          | ≤ 80          |
| 9                      | +                |      |                 |       | +        | ≤ 80          |
| 10                     |                  | +    | +               |       |          | ≤ 80          |
| 11                     |                  | +    |                 | +     |          | ≤ 80          |
| 12                     |                  | +    |                 |       | +        | ≤ 80          |

**[0031]** Die Tabelle beschreibt somit zwölf verschiedene Betriebssituationen, von denen der Betreiber jeweils die zutreffende auswählt und mittels der entsprechenden Nummer des Parameters in das Warnsystem eingibt. Die damit gegebenen Varianten sind wohl ausreichend, um die Entscheidungslogik an die jeweils am Einsatzort vorliegende Situation, das heißt die Zugehörigkeitsfunktionen der beschriebenen linguistischen Variablen "Geschwindigkeit", "Abstand" bzw. "Beschleunigung" anzupassen.

**[0032]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Warnsystems ist ferner ein Überwachungsgerät zum Aufnehmen von Bildern des vorbestimmten, vor der Absperrtafel liegenden Streckenabschnitts vorgesehen, wobei die innerhalb eines Zeitraums aufgenommenen Bilder zusammen mit den dazu zeitgleich aufgenommenen Messwerten der Detektoreinrichtung ausgelöst durch ein vorgegebenes Ereignis abgespeichert werden. Hierdurch besteht die Möglichkeit, das Personenwarnsystem zusätzlich noch für eine Unfallüberwachung zu nutzen. Bei Ausbleiben des vorgegebenen Ereignisses werden die beispielsweise durch eine Videokamera aufgenommenen Bilder sowie die durch die Detektoreinheit aufgenommenen Messwerte für die Geschwindigkeit und den Abstand von der Absperrtafel eines sich annähernden Fahrzeugs nach einer vorgegebenen Zeitdauer verworfen und durch aktuell aufgenommene Daten ersetzt. Bei Eintreten des vorgegebenen Ereignisses, etwa einem Unfall, der beispielsweise über den dadurch verursachten Lärm detektierbar ist, werden die aufgenommenen Bilder und Messwerte eines bis zum Zeitpunkt des vorgegebenen Ereignisses andauernden Zeitraums permanent abgespeichert. Damit könnte nach einem Unfall überprüft werden, ob das Warnsystem einwandfrei funktioniert hat.

## Patentansprüche

1. Warnsystem zum Sichern einer an einer Fernverkehrsstraße temporär eingerichteten Baustelle, die mindestens eine Fahrspur der Fernverkehrsstraße belegt, wobei die Sperrung der belegten Fahrspur für den auflaufenden Verkehr mittels einer Absperrtafel angezeigt ist, wobei ferner eine der Absperrtafel räumlich zugeordnete optisch wirksame Detektoreinrichtung mit einer Sende- und Empfangseinheit vorgesehen ist, die entgegen der Verkehrsrichtung auf der belegten Fahrspur einen vorbestimmten, vor der Absperrtafel liegenden Streckenabschnitt abtastet, Abstand (d) und Geschwindigkeit (v) eines darauf befindlichen Fahrzeuges (5) in vorgegebenen Intervallen ( $\Delta t$ ) misst, wobei der Detektoreinrichtung eine Auswerteeinrichtung zugeordnet ist, mittels der aus einer Änderung der gemessenen Geschwindigkeit in aufeinanderfolgenden Intervallen eine Beschleunigung (a) des Fahrzeuges ermittelt wird und dass eine Warneinrichtung vorgesehen ist, die durch einen kritischen Wert ausgelöst ein Alarmsignal abgibt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinrichtung weiterhin aus einer logischen Verknüpfung der Messwerte einen Wahrscheinlichkeitswert dafür ermittelt, dass das sich nähernde Fahrzeug auf die Baustelle auffahren wird, und dass das Alarmsignal der Warneinrichtung durch einen kritischen Wert für die Auffahrwahrscheinlichkeit

scheinlichkeit ausgelöst an den Baustellenbereich und/oder das sich nähernde Fahrzeug abgegeben wird.

2. Warnsystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Auswerteeinrichtung eine mehrstufige Fuzzy-Entscheidungslogik enthalten ist, die in einer ersten Stufe zunächst den jeweiligen Messwerten für Geschwindigkeit (v), Abstand (d) und Beschleunigung (a) des im überwachten Streckenabschnitt befindlichen Fahrzeuges (5) Zugehörigkeiten zu Wertebereichen, z. B. "gering", "mittel", "hoch" einer entsprechenden linguistischen Variablen "Geschwindigkeit", "Abstand" bzw. "Beschleunigung" zuordnet, die anschließend in einer zweiten Stufe in Verknüpfung dieser Zugehörigkeiten mit Hilfe einer den Abstand (d) entsprechend interpretierenden Regelbasis Zugehörigkeiten für eine linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" ermittelt und die in einer dritten Stufe die ermittelten Zugehörigkeiten der linguistischen Ausgangsvariablen "Gefahr" in Anwendung einer Mittelungsfunktion jeweils in scharfe Ausgangsgrößen für eine Auffahrwahrscheinlichkeit umgewandelt, wobei bei einem vorbestimmten Wert für die Auffahrwahrscheinlichkeit die Warneinrichtung ausgelöst wird.
3. Warnsystem nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Regelbasis bei sehr geringen oder geringen Abständen (d) sowie ohne Beschleunigung (a) einerseits den Zugehörigkeiten "gering", "mittel" und "hoch" der linguistischen Variablen "Geschwindigkeit" Wertebereiche "mittel", "sehr hoch" beziehungsweise ebenfalls "sehr hoch" für die linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" zugeordnet sind sowie bei den gleichen Abstandsbereichen, aber Beschleunigung bei andererseits den genannten Zugehörigkeiten der linguistischen Variablen "Geschwindigkeit" die Wertebereiche "gering", "mittel" beziehungsweise "hoch" für die linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" zugeordnet sind.
4. Warnsystem nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Regelbasis ferner bei mittleren Abständen (d) sowie ohne Beschleunigung (a) einerseits den Zugehörigkeiten "gering", "mittel" und "hoch" der linguistischen Variablen "Geschwindigkeit" die Wertebereiche "mittel", ebenfalls "mittel" beziehungsweise "hoch" für die linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" zugeordnet sind sowie bei dem gleichen Abstandsbereich, jedoch bei Beschleunigung andererseits den genannten Zugehörigkeiten der linguistischen Variablen "Geschwindigkeit" die Wertebereiche "gering", "mittel" beziehungsweise "hoch" für die linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" zugeordnet sind.
5. Warnsystem nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Regelbasis weiterhin bei großen Abständen (d) sowie ohne Beschleunigung (a) einerseits den Zugehörigkeiten "gering", "mittel" oder "hoch" der linguistischen Variablen "Geschwindigkeit" die Wertebereiche "gering", "mittel" beziehungsweise "hoch" für die linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" zugeordnet sind sowie bei ebenfalls bei großen Abständen, aber Beschleunigung andererseits den genannten Zugehörigkeiten der linguistischen Variablen "Geschwindigkeit" die Wertebereiche "gering", ebenfalls "gering" beziehungsweise "mittel" für die linguistische Ausgangsvariable "Gefahr" zugeordnet sind.
6. Warnsystem nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu seinem Anpassen an lokale Betriebsbedingungen vorbestimmte Parametersätze für ein Einstellen die Entscheidungslogik der Auswerteeinrichtung vorgesehen sind, durch die insbesondere ein Fahrbahnzustand, eine Längsneigung der Fahrbahn und/oder eine Geschwindigkeitsbegrenzung im Baustellenbereich definiert sind.
7. Warnsystem nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **gekennzeichnet durch** eine Plausibilitätsprüfung der Messwerte für den Abstand (d) und die Geschwindigkeit (v) sowie der daraus ermittelten Werte für die Beschleunigung (a) vor ihrer weiteren Verarbeitung.
8. Warnsystem nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Kompensieren einzelner Messfehler die plausibel erscheinenden Werte für den Abstand (d), die Geschwindigkeit (v) beziehungsweise die Beschleunigung (a) durch Vergleichen der entsprechenden Werte aufeinanderfolgender Intervalle geglättet werden.
9. Warnsystem nach einem der Ansprüche 2 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Kompensieren von Bewertungsfehlern zum Fahrverhalten des sich auf der gesperrten Fahrspur nähernden Fahrzeuges (5) die Ausgangsgrößen für die Auffahrwahrscheinlichkeit über mehrere Zeitintervalle gemittelt werden.
10. Warnsystem nach einem der Ansprüche 2 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Warneinrichtung zum Kompensieren von Bewertungsfehlern zum Fahrverhalten des sich auf der gesperrten Fahrspur nähernden Fahrzeuges (5) erst dann ausgelöst wird, wenn die Ausgangsgrößen für die Auffahrwahrscheinlichkeit über mehrere Zeitintervalle hinweg einen vorgegebenen Schwellenwert überschritten haben.



11. Warnsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Warneinrichtung mehrstufig ausgebildet ist, wobei jeder Warnstufe ein individueller kritische Wahrscheinlichkeitswert für eine bevorstehende Kollision des sich auf der gesperrten Fahrspur nähernden Fahrzeuges (5) im Baustellenbereich zugeordnet ist und für die Warnstufen individuelle Warnsignale für das sich nähernde Fahrzeug und/oder den im Baustellenbereich Beschäftigten vorgesehen sind.

12. Warnsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** ferner ein Überwachungsgerät zum Aufnehmen von Bildern des vorbestimmten, vor der Absperrtafel liegenden Streckenabschnitts vorgesehen ist, wobei die innerhalb eines Zeitraums aufgenommenen Bilder zusammen mit den dazu zeitgleich aufgenommenen Messwerten der Detektoreinrichtung ausgelöst durch ein vorgegebenes Ereignis abgespeichert werden.

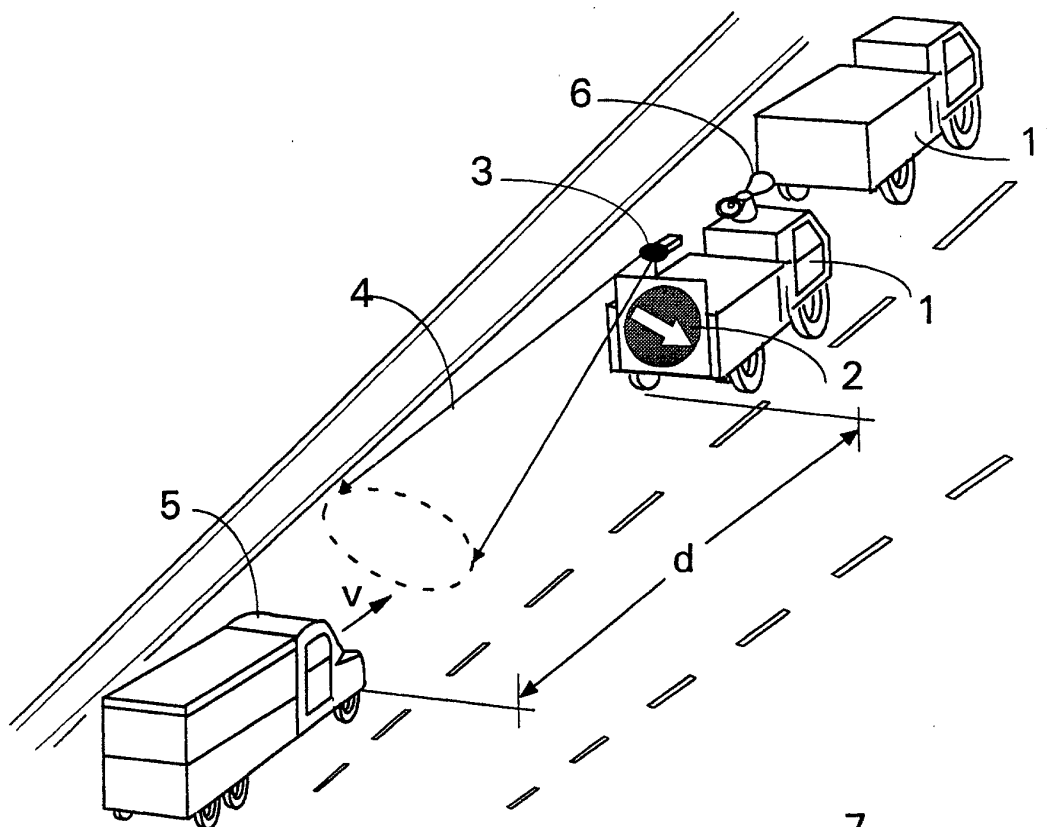


FIG 1

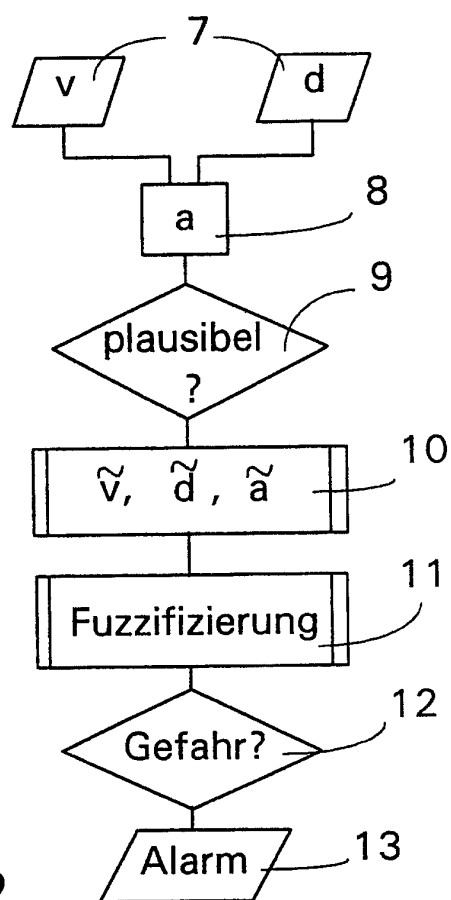


FIG 2

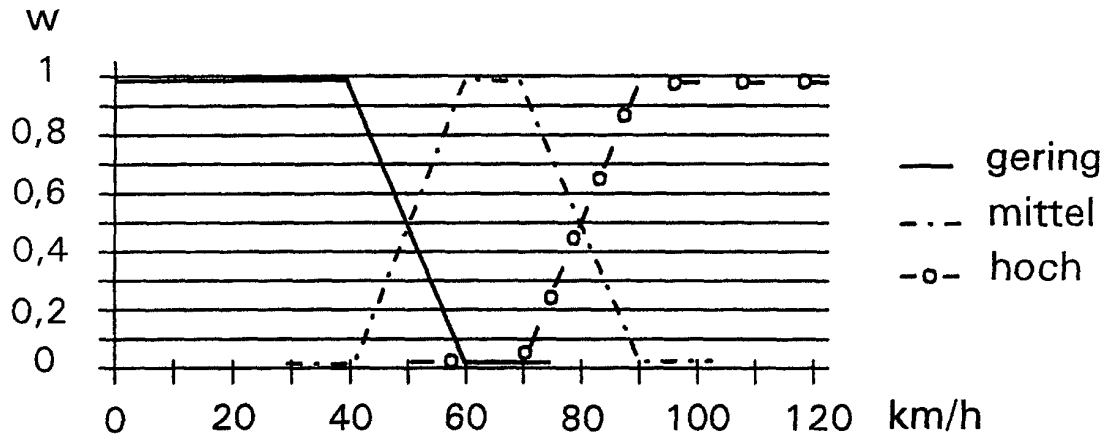


FIG 3

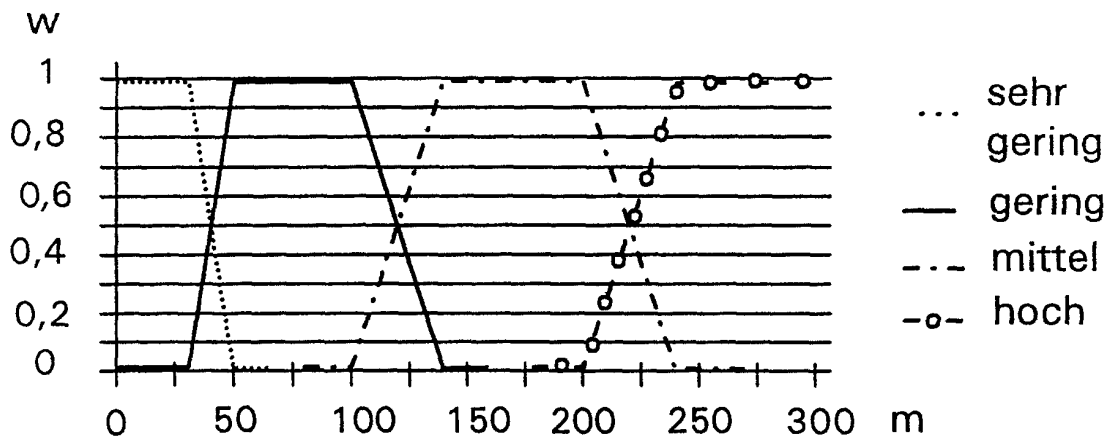


FIG 4

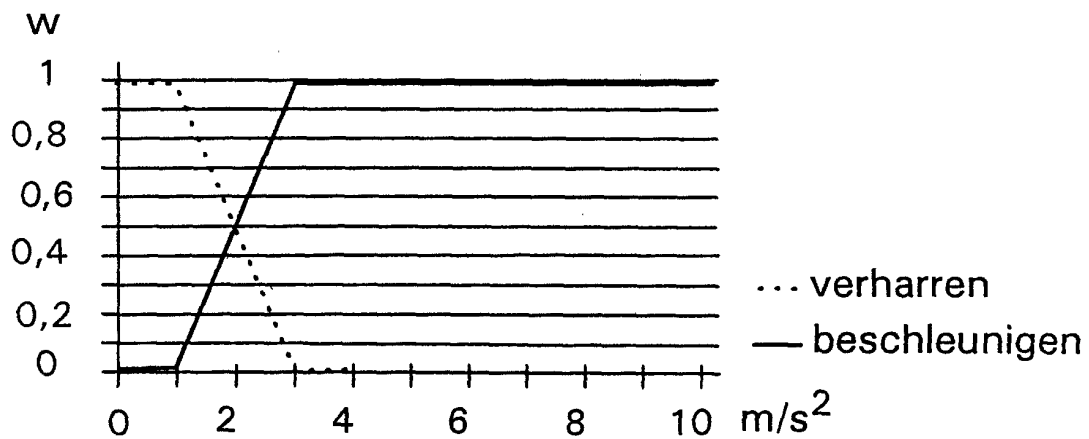


FIG 5

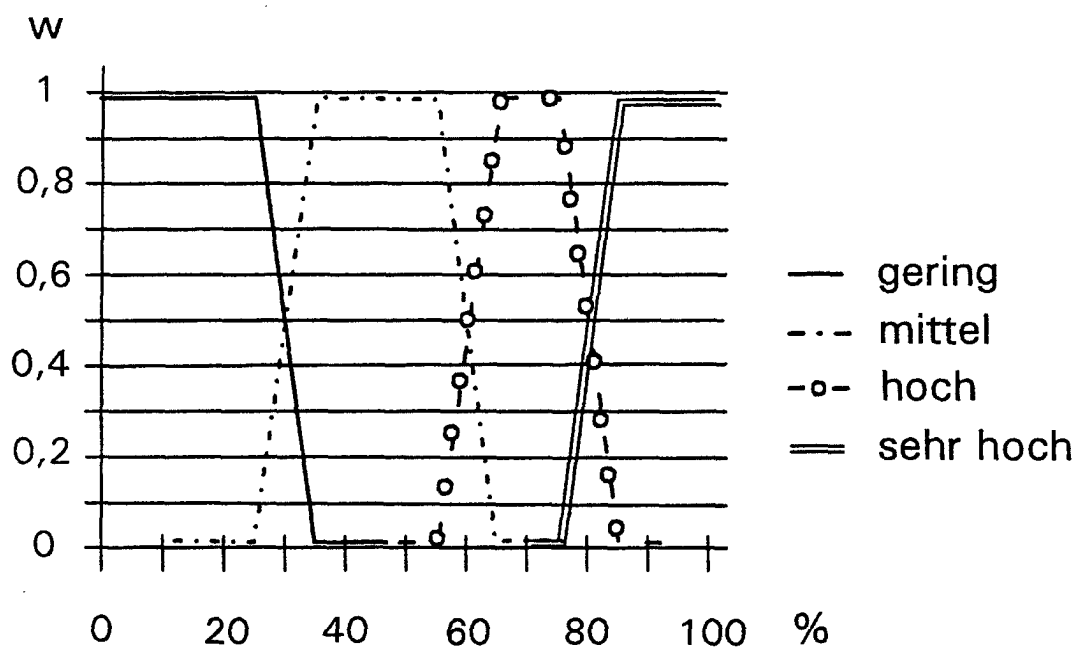


FIG 6