

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 740 280 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
30.10.1996 Patentblatt 1996/44

(51) Int. Cl.⁶: **G08G 1/065**

(21) Anmeldenummer: **96106579.4**

(22) Anmeldetag: **26.04.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB IT LI NL

(30) Priorität: **28.04.1995 DE 19515229**

(71) Anmelder: **INFORM Institut für Operations
Research und Management GmbH
52076 Aachen (DE)**

(72) Erfinder:
• **Krause, M.O.R. Berhard, Dipl.-Ing.
50859 Köln (DE)**
• **Pozybill, Martin
70599 Stuttgart (DE)**

(74) Vertreter: **Bauer, Hubert, Dipl.-Ing.
Am Keilbusch 4
52080 Aachen (DE)**

(54) **Verfahren zur Störungserkennung im Strassenverkehr**

(57) Bei einem Verfahren zur Störungserkennung im Straßenverkehr innerhalb eines zu überwachenden Sektors werden an je einem Meßquerschnitt am Sektoranfang und Sektorende als Meßdaten die Anzahl und die Geschwindigkeit der die Meßquerschnitte passierenden Fahrzeugen kontinuierlich erfaßt, während endlicher Meßintervalle gesammelt und zyklisch zu Durchschnittswerten der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit verdichtet und dann ausgewertet. Dabei umfaßt jeder Meßquerschnitt alle in einer Fahrtrichtung befahrbaren Fahrstreifen. Um Störungen im Straßenverkehr unabhängig von der Verkehrssituation mit möglichst kleinem Zeitverlust und mit einem geringen Datenverarbeitungsaufwand erkennen zu können, wird vorgeschlagen, daß aus den für den Sektoranfang ermittelten Durchschnittswerten zyklisch ein Prognosewert der Verkehrsstärke für die das Sektorende passierenden Fahrzeuge unter Berücksichtigung der Länge des Sektors und einer Annahme über das Fahrverhalten der erfaßten Fahrzeuge berechnet wird und bei der Bestimmung des Prognosewerts auftretende, beschreibbare Unsicherheiten durch eine Fuzzy-Modellierung berücksichtigt werden, daß zyklisch ein Vergleich des Prognosewerts und des aus den am Meßquerschnitt am Sektorende erfaßten Meßdaten ermittelten Durchschnittswerts der Verkehrsstärke am Sektorende durchgeführt und die jeweilige Differenzverkehrsstärke bestimmt wird, daß eine zyklenübergreifende Summierung der Werte der Differenzverkehrsstärke durchgeführt und fortlaufend die Anzahl der im zu überwachenden Sektor zusätzlich verbleibenden Fahrzeuge bestimmt wird sowie daß bei Überschreitung eines Grenzwerts der Fahrzeuganzahl im Sektor eine Störungsmeldung ausgelöst wird.

EP 0 740 280 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Störungserkennung im Straßenverkehr innerhalb eines zu überwachenden Sektors, bei dem an je einem Meßquerschnitt am Sektoranfang und Sektorende als Meßdaten die Anzahl und die Geschwindigkeit der die Meßquerschnitte passierenden Fahrzeugen kontinuierlich erfaßt, während endlicher, fortlaufend nummerierter Meßintervalle gesammelt und zyklisch zu Durchschnittswerten der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit verdichtet und dann ausgewertet werden, wobei jeder Meßquerschnitt alle in einer Fahrtrichtung befahrbaren Fahrstreifen umfaßt.

Aufgrund des stetig zunehmenden Straßenverkehrs werden zu dessen kollektiver Steuerung auf mehrbahnigen Straßen immer häufiger Beeinflussungsanlagen mit Wechselverkehrszeichen verwendet, bei deren Steuerung unterschiedliche Verfahren zur Störungserkennung im Straßenverkehr angewendet werden. Die Motivation zur Investition in derartige Anlagen und zur Entwicklung zugehöriger Verfahren zur Störungserkennung liegt darin begründet, daß durch die Wechselverkehrszeichen durchführbare Warnungen des sich auf Störungsstellen zubewegenden nachfolgenden Verkehrs die Gefahr in Form von Folgeunfällen deutlich reduziert werden kann. Von Bedeutung ist hierbei insbesondere eine möglichst zuverlässige sowie rasche Erkennung der Störung, d.h. eine Verkürzung der kritischen Zeit zwischen dem Eintreten und der Absicherung einer Störung.

Die Verkehrserfassung erfolgt derzeit in der Regel über Meßverfahren, die ortsgebunden an sogenannten Meßquerschnitten Meßdaten von Einzelfahrzeugen aufnehmen. Üblich ist die Überwachung einzelner, jeweils durch einen Meßquerschnitt am Anfang und Ende begrenzter Sektoren, d.h. Abschnitte einer Verkehrslinie. In der Verkehrstechnik ist die Größe "Verkehrsstärke" als die Anzahl der erfaßten Fahrzeuge pro Zeiteinheit definiert, woraus sich als deren Einheit beispielsweise [Fahrzeuge/min] ergibt.

Ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art ist in der Druckschrift "Automatische Störfallerkennung auf Autobahnen mit Hilfe von Fuzzy-Logik", herausgegeben von der Siemens AG, München, Bereich Anlagentechnik, Geschäftsgebiet Straßenverkehrstechnik, beschrieben. Das Verfahren besteht im wesentlichen aus den zwei Hauptteilen Datenaufbereitung und Fuzzy-Entscheidungslogik. Im Datenaufbereitungsteil werden aus den über jeweils ein endliches Meßintervall gemittelten Durchschnittswerten der Geschwindigkeit und der Verkehrsstärke im wesentlichen die drei als Basisgrößen der Störfallerkennung bezeichneten Indikatoren "Geschwindigkeitsdichtedifferenz" (VK-Diff), "Trendfaktor" und "Trend der Verkehrsstärke" berechnet. Diese drei Indikatoren dienen als Eingangsvariablen für die Fuzzy-Entscheidungslogik, die als Ausgangsgröße eine Störfallwahrscheinlichkeit liefert. Die Fuzzy-Entscheidungslogik weist einen dreistufigen Aufbau auf und besteht aus den drei Modulen "Pulkerkennung", "Störfallvoruntersuchung" und dem eigentlichen Kern, der sogenannten "Störfallerkennung". Dieses Kernmodul liefert als Ausgangsgröße eine sogenannte Störfallwahrscheinlichkeit, die in einer Spanne von 0 bis 100 % angegeben wird.

Aufgrund der sehr komplizierten, aber dennoch eher behelfsmäßigen Definition des Indikators "Geschwindigkeitsdichtedifferenz" arbeitet das bekannte Verfahren nur in ganz bestimmten Verkehrssituationen zuverlässig ohne Zeitverzögerung. Insbesondere bei Störungen, die im hinteren Bereich des überwachten Sektors auftreten, ist die Zuverlässigkeit der Störungserkennung mangelhaft. Auch mit dem Ansatz, als Entscheidungssystem zur Kombination der verwendeten Indikatoren eine Fuzzy-Entscheidungslogik zu verwenden, konnten diese prinzipiellen Unzulänglichkeiten des Verfahrens nicht behoben, sondern lediglich in gewissem Maße abgeschwächt werden.

Es sind des weiteren Verfahren allgemein bekannt, bei denen die Detektion einer Störung im wesentlichen aus der Überstauung eines Meßquerschnitts abgeleitet wird, d.h. eine Störung dann erkannt wird, wenn Fahrzeuge bereits auf einem Meßquerschnitt stehen oder diesen mit sehr geringer Geschwindigkeit passieren. Diese sogenannten lokalen Verfahren weisen jedoch den gravierenden Nachteil auf, daß je nach der Entfernung zwischen der Störung und dem Meßquerschnitt bis zur Detektion der Störung wertvolle Zeit verlorenggeht. Insbesondere bei einer sehr großen Länge eines zu überwachenden Sektors, die aus Kostengründen wegen der dann verringerten Zahl der Meßquerschnitte stets anzustreben ist, vergeht zwischen dem Auftreten einer Störung in kurzem Abstand vor einem Meßquerschnitt und dem Zeitpunkt, zu dem ein sich bildendes Stauende den nächsten stromaufwärts liegenden Meßquerschnitt erreicht, ein sehr großer Zeitraum. Da sich von hinten dem Stauende nähernde Fahrzeuge während dieser systembedingten Totzeit nicht gewarnt werden können, besteht die erhebliche Gefahr, daß am Stauende Auffahrunfälle als Folgeerscheinungen der Primärstörung auftreten.

In einem Prospekt der Firma ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH, Aachen, mit dem Titel "AVE - die Komplettlösung für modernes Verkehrsmanagement" wird ferner ein Verfahren zur Störungserkennung im Straßenverkehr beschrieben, das auf der Ermittlung und Analyse streckenbezogener Verkehrsparameter basiert. Bei diesem auf der sogenannten Methode der "Mustererkennung" aufbauenden Ansatz werden die an den Meßquerschnitten erfaßten Signale der Einzelfahrzeuge ausgewertet, indem charakteristische Mustermerkmale extrahiert, analysiert und normiert werden. Die derart aufbereiteten Meßdaten (Mustermerkmale) werden jeweils an die dem nächsten stromab liegenden Meßquerschnitt zugeordnete Streckenstation übertragen und dort fortlaufend mit den analysierten Meßdaten des Ausgangsquerschnitts verglichen. Mit Hilfe geeigneter Korrelationsverfahren werden sogenannte Strecken-Systemfunktionen gebildet, aus denen sich die streckenbezogenen Verkehrsparameter "Reisezeit" (und damit die mittlere Reisegeschwindigkeit) der betrachteten Fahrzeugkollektive im Streckenabschnitt zwischen Eingangs- und Ausgangs-

meßquerschnitt sowie die "Verkehrsdichte" im Streckenabschnitt zwischen Eingangs- und Ausgangsmeßquerschnitt ableiten lassen.

Derartige Verfahren stellen allerdings sehr hohe Anforderungen an die Meßtechnik und an die Datenübertragungskapazitäten, so daß zusätzlich zur Datenübertragung zwischen den den jeweiligen Meßquerschnitten zugeordneten Streckenstationen und einer zentralen Auswertestelle auch direkte Verbindungen zwischen den benachbarten Streckenstationen untereinander erforderlich sind.

Bei den derzeit in Betrieb befindlichen Meß-, Übertragungs- und Auswertungseinrichtungen zur Durchführung der Verfahren nach dem Stand der Technik sind diese Hardware-Voraussetzungen in der Regel nicht erfüllt, so daß sehr kostspielige Nachrüstungen erforderlich wären, um derartige streckenbezogene Verfahren anwenden zu können. Des weiteren sind sämtliche derzeit im Einsatz oder noch in der Entwicklung befindliche Techniken zur Verkehrsdatenerfassung (d.h. zur Messung lokaler Geschwindigkeiten, der Verkehrsstärke sowie der Verkehrszusammensetzung), die im wesentlichen von Induktionsschleifen, Mikrowellensensoren (Radar), Laser-Scannern sowie Video-Kameras mit anschließender Auswertung der aufgezeichneten Daten mittels spezieller Computer-Programme repräsentiert werden, mit relativ großen Unsicherheiten behaftet. Insbesondere die Erfassung von Pkw ist dabei fehleranfällig. In der Praxis werden häufig einzelne Fahrzeuge, z.B. infolge von Spurwechseln im Bereich von Meßquerschnitten, nicht erfaßt. Auch ist der Ausfall fahstreifenbezogener oder gar meßquerschnittsbezogener Erfassungseinrichtungen möglich. Aus diesem Grunde liefern Verfahren auf Basis einer streckenbezogenen Verkehrsdatenerfassung, bei denen die Zuverlässigkeit der Fahrzeugerkennung eine zentrale Bedeutung einnimmt, nur unbefriedigende Ergebnisse.

Bekannte Verfahren zur Störungserkennung werten die in der Rechenzentrale auflaufenden und aus den erfaßten Meßdaten durch zyklische Verdichtung ermittelten Durchschnittswerte in einer Echtzeitdatenverarbeitung aus. Die Datensituation ist jedoch aufgrund der nie zu 100 % zuverlässigen Fahrzeugerkennung unsicher.

Zur Entscheidung unter Unsicherheit oder auf der Basis unsicherer Daten existieren verschiedene Ansätze, von denen in der Verkehrstechnik neben der bereits weiter oben beschriebenen Methode der Fuzzy-Logik nach dem Stand der Technik auch Methoden zur Signalkonditionierung sowie statistische Verfahren eingesetzt werden.

Als Nachteil bei der Signalkonditionierung, die zumeist in Form einer exponentiellen Glättung durchgeführt wird, tritt in Erscheinung, daß für jeden Meßquerschnitt und für alle Einzeldaten Parameter geführt und eingestellt werden müssen, woraus ein sehr hoher Parametrisierungsaufwand resultiert. Statistische Verfahren hingegen weisen den Nachteil auf, daß sie wegen der in der Einzelentscheidung fehlenden Grundgesamtheit nicht signifikant sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem unabhängig von der Verkehrssituation mit möglichst kleinem Zeitverlust und mit einem geringen Datenverarbeitungs- und Meßtechnikaufwand Störungen im Straßenverkehr erkannt werden können.

Ausgehend von einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art, wird diese Aufgabe dadurch gelöst,

- daß aus den am Sektoranfang ermittelten Durchschnittswerten der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit der Fahrzeuge, der Länge des Sektors, einer Annahme für die zeitliche Verteilung der Fahrzeuge innerhalb des Meßintervalls und einer Annahme für den Verlauf der Geschwindigkeit der Fahrzeuge beim Durchfahren des Sektors zyklisch ein Prognosewert der Verkehrsstärke am Sektorende berechnet wird, wobei

- a) aus der Länge des Sektors und der Annahme für den Verlauf der Geschwindigkeit der Fahrzeuge beim Durchfahren des Sektors eine Durchfahrtszeit ermittelt wird,

- b) aus dieser Durchfahrtszeit die Nummern derjenigen Meßintervalle bestimmt werden, in denen die im jeweiligen Meßintervall am Sektoranfang erfaßten Fahrzeuge den Meßquerschnitt am Sektorende passieren,

- c) unter Berücksichtigung der Annahme für die zeitliche Verteilung der Fahrzeuge Anteilsfaktoren für die Aufteilung des Durchschnittswertes der Verkehrsstärke auf die gemäß b) bestimmten Meßintervalle ermittelt werden und

- d) der Prognosewert der Verkehrsstärke durch Summierung der Produkte aus den Anteilsfaktoren und den zugehörigen Verkehrsstärken berechnet wird, wobei über alle vorangegangenen Meßintervalle und das aktuelle Meßintervall summiert wird.

- daß zyklisch ein Vergleich des Prognosewerts der Verkehrsstärke und des aus den am Meßquerschnitt am Sektorende erfaßten Meßdaten ermittelten Durchschnittswerts der Verkehrsstärke am Sektorende durchgeführt und die jeweilige Differenzverkehrsstärke bestimmt wird,

- daß eine zyklusübergreifende Summierung der Werte der Differenzverkehrsstärke durchgeführt und fortlaufend die Anzahl der im zu überwachenden Sektor zusätzlich verbleibenden Fahrzeuge bestimmt wird sowie

- daß bei Überschreitung eines Grenzwertes für die Anzahl der zusätzlich im Sektor verbleibenden Fahrzeuge eine Störungsmeldung ausgelöst wird.

Durch die erfindungsgemäß durchgeführte, fortlaufende, dynamische Bilanzierung der in den überwachten Sektor zusätzlich einfahrenden Fahrzeuge läßt sich eine sehr zuverlässige und von der jeweiligen Verkehrssituation weitgehend unabhängige Störungserkennung erzielen. Bei einer störungsfreien Verkehrslage läßt sich der in den überwachten Sektor einfließende Verkehr unter Berücksichtigung der gemittelten Geschwindigkeiten, des Fahrverhaltens, der Sektorlänge und einer Verteilungsannahme am Sektorausgang wiederfinden.

Bei der Bestimmung des Prognosewerts der Verkehrsstärke für die das Sektorende passierenden Fahrzeuge wird nach dem erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigt, welcher Anteil der während eines Erfassungszyklus gemessenen Fahrzeuge den überwachten Sektor noch in demselben Zyklus, erst im folgenden Zyklus oder in einem späteren Zyklus verlassen wird. Zu diesem Zweck erfolgt die Bestimmung der Anteilsfaktoren, mit deren Hilfe das am Sektoranfang erfaßte Fahrzeugkollektiv eines Erfassungszyklus auf die beiden Zyklen aufgeteilt wird, während derer seine Anteile den Sektor voraussichtlich wieder verlassen werden.

Die Nachteile von Verfahren, die die Meßdaten der Meßquerschnitte am Sektoranfang und Sektorende lediglich zeitgleich und unabhängig von der Streckentopologie betrachten und mit denen selbst bei der Konstruktion komplizierter Analyseverfahren nur eine relativ unzuverlässige Störungserkennung möglich ist, werden durch das erfindungsgemäße Verfahren sicher vermieden. Dabei liegt der Datenverarbeitungsaufwand bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auf einem sehr niedrigen Niveau, das am ehesten mit dem bei Verfahren zur Störfallerkennung auf Basis lokaler Meßgrößen vergleichbar ist. Deren gravierende Nachteile, daß eine Störfallerkennung erst bei der Überstauung eines Meßquerschnitts möglich ist, wird durch die Erfindung jedoch vermieden, da durch die dynamischen Bilanzierungen mögliche Störungen sehr rasch und nahezu unabhängig von ihrer Lage im überwachten Sektor detektierbar sind.

Im Vergleich zu nach dem Stand der Technik bekannten Verfahren, bei denen eine Ermittlung und Analyse streckenbezogener Verkehrsparameter durchgeführt wird und bei denen daher wegen der Korrelation von Fahrzeuggruppen am Sektoranfang und Sektorende über eine Mustererkennung ein enorm hoher Datenverarbeitungsaufwand erforderlich ist, ist dieser Aufwand beim erfindungsgemäßen Verfahren sehr gering. Die Berechnung komplizierter Indikatoren, wie z.B. der Geschwindigkeitsdichtedifferenz (VK-Diff) oder spezieller Trendfaktoren ist nicht notwendig. Dies gilt gleichfalls für die Analyse der Meßdaten auf das mögliche Vorliegen eines Fahrzeugpulk, der das Ergebnis bei streckenbezogenen Verfahren ohne seine Detektion und adäquate Berücksichtigung verfälschen würde.

Ein Vergleich mit bekannten Verfahren, wie z.B. dem Verfahren auf Basis der drei Indikatoren "Geschwindigkeitsdichtedifferenz", "Trendfaktor", "Trend der Verkehrsstärke", zeigt deutlich, daß mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens Verkehrsstörungen zuverlässiger und schneller erkennbar sind. Mit ihm sind auch in langen Sektoren sehr hohe Sicherheiten bei der Störungserkennung erreichbar, und die Ergebnisse werden nur sehr wenig von der Lage der Störung innerhalb des Sektors beeinflußt, was auf die bekannten Verfahren nicht zutrifft.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich auch sehr wirtschaftlich einsetzen, da eine zusätzliche direkte Verbindung zwischen den den Meßquerschnitten zugeordneten Streckenstationen, wie sie bei Verfahren auf Grundlage streckenbezogener Verkehrsparameter unbedingt erforderlich ist, vermieden werden kann und weil aufgrund der hohen Zuverlässigkeit der Störfallerkennung die Abstände zwischen zwei Meßquerschnitten, d.h. die Sektorlänge, sehr groß bemessen sein kann.

Die Berechnung der Anzahl der zusätzlich im überwachten Sektor verbleibenden Fahrzeuge, die der Störungsmeldung zugrundeliegt, läßt sich durch die folgenden Formeln veranschaulichen:

1. Berechnung der Durchfahrtszeiten

Die Durchfahrtszeit $TD_{i,z}$, die ein Fahrzeug zum Durchfahren des überwachten Sektors benötigt, ist:

$$TD_{i,z} = S_i / v_{i,z}$$

worin:

$$v_{i,z} = (1/S_i) * \int_{s=0..S_i} v(s) ds$$

mit

$TD_{i,z}$: die Zeit, die Fahrzeuge zum Durchfahren des Sektors benötigen
 $v(s)$: angenommene Geschwindigkeit eines Fahrzeugs am Ort s innerhalb des Sektors
 $v_{i,z}$: über den Streckenverlauf des Sektors S_i gemittelte Geschwindigkeit

S_i : Länge des Sektors zwischen den Meßquerschnitten i und $i + 1$
 s : Längenvariable mit $s \in 0 \dots S_i$

und den Indizes

i : Index für Meßquerschnitte, in Fahrtrichtung aufsteigend
 z : Index für Erfassungszyklen, 1 = aktueller Zyklus, in die Vergangenheit aufsteigend

Für $v(s)$ muß eine Annahme getroffen werden, die den aktuellen Verkehrszustand sowie die Streckentopologie berücksichtigen sollte.. Beispielsweise ist bei starken Steigungsstrecken - insbesondere für schwach motorisierte Fahrzeuge - mit einem Absinken der Geschwindigkeit beim Durchfahren zu rechnen. Gleiches gilt für sehr kurvige Strecken, das Gegenteil für Gefällestrecken. Die Abhängigkeit von $v(s)$ vom Verkehrszustand kann durch die gemessenen Geschwindigkeiten $vm_{i,z}$ erfolgen, die Streckentopologie wird durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt. Darin ist

$vm_{i,z}$: Gemessener Durchschnittswert der Geschwindigkeit der im Zyklus z am Meßquerschnitt i erfaßten Fahrzeuge

Als Beispiel dient die Annahme einer konstanten Fahrgeschwindigkeit und keiner besonderen Topologie des Streckenverlaufs (keine Kurven, Steigung, Gefälle), dann kann $v(s) = \text{const} = vm_{i,z}$ angenommen werden. Andere Annahmen sind möglich.

2. Aufteilung der erfaßten Fahrzeuge

Innerhalb des Erfassungszyklus z wird die Anzahl von Fahrzeugen am Meßquerschnitt i gezählt. Aus der Durchfahrtszeit $TD_{i,z}$ läßt sich ermitteln, wann Fahrzeuge, die im aktuellen Zeitzyklus am Meßquerschnitt i in den Sektor einfahren, am Meßquerschnitt $i+1$ zu erwarten sind. Bei einer diskreten Betrachtung der Zeiterfassung ist zu ermitteln, in welchem Erfassungszyklus welcher Anteil der Fahrzeuge den Sektor verläßt. Die Anteilsfaktoren $n_{i,z}$ ergeben sich für den aktuellen Zyklus $z=1$ und die vergangenen Zyklen $z > 1$ aus:

$$n_{i,z} = \text{Max}(0, (z - TD_{i,z}/T)) \text{ für } TD_{i,z} < z * T$$

$$n_{i,z} = \text{Max}(0, (1 - \text{Max}(0, (z - TD_{i,z}/T)))) \text{ für } TD_{i,z} \geq z * T$$

mit

$n_{i,z}$: der zum aktuellen Zyklus gehörige Anteilsfaktor; dieser Anteil an den insgesamt während des aktuellen Zyklus in den Sektor eingefahrenen Fahrzeuge verläßt nach der Durchfahrtszeit $TD_{i,z}$ den Sektor in demselben Zyklus z am Meßquerschnitt $i+1$ wieder.
 T : Länge des Erfassungszyklus

3. Ermittlung des Prognosewerts der Verkehrsstärke

Aus den gezählten Fahrzeugen, einer Annahme über die zeitliche Verteilung der erfaßten Fahrzeuge über den Erfassungszyklus T und den ermittelten Anteilsfaktoren der Fahrzeuge läßt sich nun der Prognosewert der Verkehrsstärke ermitteln.

Dabei wird für die während des Zyklus erfaßten Fahrzeuge eine Verteilungsannahme $x = P(t)$ über der Zeit $t \in 0 \dots T$ zugrundegelegt. In der Regel kann mit einer einfachen Gleichverteilung der Fahrzeuge gearbeitet werden.

Der Prognosewert der Verkehrsstärke ergibt sich als

$$PQ_{i+1,1} = \sum P(n_{i,z}) * Q_{i,z}$$

($z=1 \dots Z$) Darin ist

$PQ_{i+1,1}$: Der aktuelle Prognosewert ($z=1$) der Verkehrsstärke am Meßquerschnitt $i+1$
 $Q_{i,z}$: Anzahl der am Meßquerschnitt i im Erfassungszyklus z gezählten Fahrzeuge
 $P(n_{i,z})$: der Verteilungsannahme ermittelte Anteil an Fahrzeugen $Q_{i,z}$, die im Zyklus z am Meßquerschnitt $i+1$ ausfahren, z.B. ist bei Annahme einer Gleichverteilung $P(n_{i,z}) = n_{i,z}$

4. Bestimmung der Differenzverkehrsstärke

Die Differenzverkehrsstärke $DQ_{i,z}$ ermittelt sich durch:

$$DQ_{i,z} = PQ_{i,z} - Q_{i,z}$$

mit

- $DQ_{i,z}$: Differenzverkehrsstärke am Meßquerschnitt i im Erfassungszyklus z
 $PQ_{i,z}$: Prognosewert der Verkehrsstärke am Meßquerschnitt i im Erfassungszyklus z
 $Q_{i,z}$: Anzahl der am Meßquerschnitt i im Erfassungszyklus z gezählten Fahrzeuge

5. Bestimmung der überschüssigen Fahrzeuge

Die Anzahl BDQ_i der zusätzlich im überwachten Sektor verbleibenden Fahrzeuge ermittelt sich aus:

$$BDQ_i = \sum DQ_{i,z}$$

($z = 1 \dots Z$)

oder rekursiv aus

$$BDQ_i = BDQ_{i,alt} + DQ_{i,z}$$

mit:

- BDQ_i : Anzahl an Fahrzeugen im Sektor zwischen den Meßquerschnitten i-1 und i
 $DQ_{i,z}$: Differenzverkehrsstärke am Meßquerschnitt i im Erfassungszyklus z
 Z : Anzahl der Zyklen, innerhalb der die Summierung durchgeführt wird

Erweiterungen durch eine Kalibrierung auf 0 (eine negative Fahrzeuganzahl ist nur durch Anlaufverhalten oder Erfassungsprobleme denkbar) oder im rekursiven Verfahren durch eine Dämpfung verhindern die Summierung von Meßfehlern.

Übersteigt die Größe BDQ_i einen bestimmten (beispielsweise vom Verkehrszustand abhängigen Grenzwert), so wird eine Störungsmeldung ausgelöst. Die Störungsmeldung kann je nach der Schwere der Störung, d.h. der Höhe von BDQ_i , unterschiedlich sein, um die nachfolgenden Fahrzeuge zu einem im speziellen Fall angemessenen Fahrverhalten aufzufordern.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß die Berechnung des Prognosewertes der Verkehrsstärke getrennt für jeden Fahrstreifen einer Fahrtrichtung durchgeführt wird und ein zyklischer Vergleich zwischen der Summe der Prognosewerte aller Fahrstreifen einer Fahrtrichtung und dem am Meßquerschnitt am Sektorende bestimmten Wert der Verkehrsstärke durchgeführt wird. Die Zuverlässigkeit des Prognosewerts kann mit Hilfe dieser Einzelbetrachtung der Fahrstreifen gesteigert werden, da für einen einzelnen Fahrstreifen genauere Annahmen für das Fahrverhalten und die zeitliche Verteilung der Fahrzeuge getroffen werden können. Einzelprognosen für jeden Fahrstreifen mit jeweils spezifischem Fahrverhalten (rechter Fahrstreifen: LKW-Verkehr, linke(r) Fahrstreifen: Überholverkehr) und anschließende Summierung liefern somit bessere Ergebnisse als eine Summenbildung vor der Prognose, die zu einem Informationsverlust führt.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorgeschlagen, daß zur Auslösung der Störungsmeldung eine Fuzzy-Logik angewendet wird, in der neben der Anzahl der zusätzlich im Sektor verbleibenden Fahrzeuge mindestens eine den Verkehrszustand beschreibende Eingangsgröße verwendet wird.

Unter Verkehrszustand sind in diesem Zusammenhang die (evtl. über mehrere Zyklen gemittelte) Geschwindigkeit der Fahrzeuge, der Verkehrsstärke und die Verkehrsdichte (= Verkehrsstärke/Geschwindigkeit), die Standardabweichung der Geschwindigkeit (als Maß für die „Unruhe“ im Verkehrsfluß) sowie topologische oder meteorologische Größen zu verstehen, wobei bei der Definition der den Verkehrszustand beschreibenden Eingangsgröße nicht unbedingt auf sämtliche der vorstehenden Größen zurückgegriffen werden muß. Als Vorteil der Berücksichtigung des Verkehrszustands bei der Auslösung der Störungsmeldung ergibt sich eine erhebliche Steigerung der Zuverlässigkeit des Verfahrens. Auf diese Weise läßt sich eine besonders einfache Anpassung des erfindungsgemäßen Verfahrens an unterschiedliche Einsatzorte und -bedingungen durchführen, da eine zeitaufwendige Einstellung und Kalibrierung starrer Grenzwerte entfällt.

Derselbe Effekt einer Zuverlässigkeitssteigerung tritt ebenfalls ein, wenn in weiterer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens die beschreibbare Unsicherheit, wann Fehlerfassungen an einem Meßquerschnitt auftreten, bei der Fuzzy-Logik berücksichtigt werden und somit bei der Auslösung einer Störungsmeldung Eingang finden.

Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht ferner darin, daß von der Fuzzy-Logik eine Ausgangsgröße geliefert wird, die die Art des Störfalls beschreibt.

Auf diese Weise lassen sich je nach Schwere der Störung unterschiedliche Störungsmeldungen ausgeben (beispielsweise „zähfließender Verkehr“ oder „völliger Stillstand“ der Fahrzeuge). Der sich auf eine Störungsstelle zubewegende Verkehr kann somit effektiv gewarnt und zu einem jeweils angemessenen Fahrverhalten aufgefordert werden.

Es ist des weiteren besonders vorteilhaft, wenn der Verlauf der Geschwindigkeit der Fahrzeuge beim Durchfahren des Sektors mit Hilfe von Fuzzy-Logik beschrieben wird.

Hierdurch können bei der Bestimmung des Prognosewertes der Verkehrsstärke am Sektorende die beschreibbaren Unsicherheiten, wie die Fahrer der Fahrzeuge ihren vom jeweiligen Verkehrszustand abhängigen Verhaltensspielraum bei ihrer Fahrweise ausnutzen, in vorteilhafter Weise berücksichtigt werden. Als Effekt ergibt sich eine nochmalige Steigerung der Zuverlässigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Erfindung weiter ausgestaltend ist vorgesehen, daß als Meßdaten lediglich die Verkehrsstärke und die Geschwindigkeit der Lkw für die Störungserkennung ausgewertet werden, sofern der Anteil der Lkw an der Gesamtverkehrsstärke einen bestimmten Grenzwert übersteigt.

Erfahrungsgemäß unterliegen die Geschwindigkeiten der Lkw deutlich geringeren Schwankungen als die der Pkw, wodurch die Zuverlässigkeit der Störfallerkennung mit dieser Maßnahme weiter gesteigert werden kann. Mit der Einführung des zukünftig vorgeschriebenen EU-Geschwindigkeitsreglers für Lkw, der deren Höchstgeschwindigkeit auf maximal 88 km/h begrenzt, wird noch eine Verstärkung dieses positiven Effekts erwartet. Des weiteren werden Lkw im Vergleich zu Pkw mit der heute üblichen Erfassungstechnik mit sehr viel größerer Sicherheit erfaßt. Zu Zeiten, in denen der Lkw-Anteil an der Gesamtverkehrsstärke einen für eine zuverlässige Störungserkennung erforderlichen Grenzwert unterschreitet, ist eine Umschaltung auf die Erfassung sämtlicher Fahrzeuge, d.h. sowohl der Pkw als auch der Lkw, sinnvoll.

Ferner ist es noch besonders vorteilhaft, wenn die am Sektorende eines Sektors erfaßten Meßdaten gleichzeitig als Meßdaten am Sektoranfang eines nachfolgenden Sektors verwendet werden.

Auf diese Weise läßt sich eine sektorbezogene Beobachtung auf eine einfache und sehr kostengünstige Weise auf eine Vollüberwachung einer gesamten aus mehreren Sektoren zusammengesetzten Linie ausdehnen. Jeder Meßquerschnitt stellt dabei gleichzeitig den Meßquerschnitt am Sektorende des Sektors i sowie am Sektoranfang des Sektors i+1 dar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Störungserkennung im Straßenverkehr innerhalb eines zu überwachenden Sektors, bei dem an je einem Meßquerschnitt am Sektoranfang und Sektorende als Meßdaten die Anzahl und die Geschwindigkeit der die Meßquerschnitte passierenden Fahrzeugen kontinuierlich erfaßt, während endlicher fortlaufend nummerierter Meßintervalle gesammelt und zyklisch zu Durchschnittswerten der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit verdichtet und dann ausgewertet werden, wobei jeder Meßquerschnitt alle in einer Fahrtrichtung befahrbaren Fahrstreifen umfaßt, dadurch gekennzeichnet,

- daß aus den am Sektoranfang ermittelten Durchschnittswerten der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit der Fahrzeuge, der Länge des Sektors, einer Annahme für die zeitliche Verteilung der Fahrzeuge innerhalb des Meßintervalls und einer Annahme für den Verlauf der Geschwindigkeit der Fahrzeuge beim Durchfahren des Sektors zyklisch ein Prognosewert der Verkehrsstärke am Sektorende berechnet wird, wobei

a) aus der Länge des Sektors und der Annahme für den Verlauf der Geschwindigkeit der Fahrzeuge beim Durchfahren des Sektors eine Durchfahrtszeit ermittelt wird,

b) aus dieser Durchfahrtszeit die Nummern derjenigen Meßintervalle bestimmt werden, in denen die im jeweiligen Meßintervall am Sektoranfang erfaßten Fahrzeuge den Meßquerschnitt am Sektorende passieren,

c) unter Berücksichtigung der Annahme für die zeitliche Verteilung der Fahrzeuge Anteilsfaktoren für die Aufteilung des Durchschnittswertes der Verkehrsstärke auf die gemäß b) bestimmten Meßintervalle ermittelt werden und

d) der Prognosewert für das jeweilige Meßintervall der Verkehrsstärke durch Summierung der Produkte aus den Anteilsfaktoren und den zugehörigen Verkehrsstärken berechnet wird, wobei über alle vorangegangenen Meßintervalle und das aktuelle Meßintervall summiert wird.

- 5 - daß zyklisch ein Vergleich des Prognosewerts der Verkehrsstärke und des aus den am Meßquerschnitt am Sektorende erfaßten Meßdaten ermittelten Durchschnittswerts der Verkehrsstärke am Sektorende durchgeführt und die jeweilige Differenzverkehrsstärke bestimmt wird,
- 10 - daß eine zyklenübergreifende Summierung der Werte der Differenzverkehrsstärke durchgeführt und fortlaufend die Anzahl der im zu überwachenden Sektor zusätzlich verbleibenden Fahrzeuge bestimmt wird sowie
- daß bei Überschreitung eines Grenzwertes für die Anzahl der zusätzlich im Sektor verbleibenden Fahrzeuge eine Störungsmeldung ausgelöst wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung des Prognosewertes der Verkehrsstärke getrennt für jeden Fahrstreifen einer Fahrtrichtung durchgeführt wird und ein zyklischer Vergleich zwischen der Summe der Prognosewerte aller Fahrstreifen einer Fahrtrichtung und dem am Meßquerschnitt am Sektorende bestimmten Wert der Verkehrsstärke durchgeführt wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auslösung der Störungsmeldung eine Fuzzy-Logik angewendet wird, in der neben der Anzahl der zusätzlich im Sektor verbleibenden Fahrzeuge mindestens eine den Verkehrszustand beschreibende Eingangsgröße verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß beschreibbare Unsicherheiten durch Fehlerfassungen an einem Meßquerschnitt bei der Fuzzy-Logik berücksichtigt werden.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß von der Fuzzy-Logik eine Ausgangsgröße geliefert wird, die die Art der Störung angibt.
- 30 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf der Geschwindigkeit der Fahrzeuge beim Durchfahren des Sektors mit Hilfe von Fuzzy-Logik beschrieben wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßdaten lediglich die Verkehrsstärke und die Geschwindigkeit der Lkw für die Störungserkennung ausgewertet werden, sofern der Anteil der Lkw an der Gesamtverkehrsstärke einen bestimmten Grenzwert übersteigt.
- 35 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die am Sektorende eines Sektors erfaßten Meßdaten gleichzeitig als Meßdaten am Sektoranfang eines nachfolgenden Sektors verwendet werden.

40

45

50

55